

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ
GƏNCƏ DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

Konfrans Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının
103-cü ildönümünə həsr olunub

FİZİKANIN MÜASİR ÇAĞIRIŞLARI
RESPUBLİKA ELMİ KONFRANSI

GƏNCƏ – 2026

Baş redaktor: GDU-nun rektoru, kimya elmləri doktoru, professor Yusif Yusibov;
Baş redaktorun müavini: GDU-nun Elm və innovasiyalar üzrə prorektoru, dosent Pərvin Kərimzadə.

Konfransın Elmi Komitəsi

1. Təyyar Cəfərov - akademik, AR ETN Fizika İnstitutunun baş elmi işçisi;
2. Səlimə Mehdiyeva - AMEA-nın müxbir üzvi, AR ETN Fizika İnstitutunun baş elmi işçisi;
3. Elçin Hüseynov- professor, AR ETN Fizika İnstitutunun direktoru;
4. Hüseyn İbrahimov - professor, AR ETN Fizika İnstitutunun laboratoriya rəhbəri;
5. Vəqif Salmanov- professor, BDU, Yarımkəçiricilər fizikası kafedrasının müdiri;
6. Maarif Cəfərov- professor, BDU, Nanomaterialların kimyəvi fizikası kafedrasının müdiri;
7. Adilə Abbasova- professor, AR ETN Fizika İnstitutunun baş elmi işçisi;
8. Rəhim Mədətov - professor, AR ETN Fizika İnstitutunun baş elmi işçisi;
9. Rövşən Məmmədov- fizika elmləri doktoru, Bakı Dövlət Universitetinin baş elmi işçisi;
10. Mayıl Tağıyev- professor, AR ETN Fizika İnstitutunun baş elmi işçisi;
11. Muğan Quliyev - professor, GDU, Fizika və texniki fənlər fakültəsinin dekanı;
12. Elçin Cavadov- dosent, GDU, ÜTF və texnologiya kafedrasının müdiri;
13. Emin Yaqubov - dosent, GDU, Magistratura şöbəsinin müdiri;
14. Yəhya Namazov - dosent, GDU, Fizika kafedrasının müdiri.

Konfrans materialları GDU-nun Nəşriyyat şöbəsinin və konfransın proqram komitəsinin 30 aprel 2026-ci il tarixli qərarı ilə çap olunur.

Nəşrə məsul: Nəşriyyat şöbəsinin müdiri G.T.Cəfərova;

Mühəndis-proqramçı: S.A.Piriyev;

Operatorlar: Ş.M.Bayramova, N.H.Nəbiyev.

Konfrans materialları, Gəncə, 2026, 224 səh.

MÜNDƏRİCAT

KONDENSƏ OLUNMUŞ MADDƏ FİZİKASI

Adddayeva Z R., Salmanov V. M., Muradov M.B. <i>Structural insights into FeGaInS₄ nanoparticles via pulsed laser ablation in liquids</i>	7
Niftiyev N.N, Daşdəmirov A.O., Məmmədov F.M., Ağayeva R.M. <i>MnGa₂S₄ kristalinin dielektrik nüfuzluğunun tezlik və temperaturdan asılılığı</i>	11
Гаджиева М. Р., Маммадли Ч. А., Гусейнов Дж. И., Аббасов И. И. <i>Импедансная спектроскопия диэлектрических свойств кристаллов ZnSe</i>	14
Abbasov İ. İ., Aslanov R. B., Hüseynov C. İ., Məmmədli Ç. A. <i>Dəyişən elektrik sahəsində ZnSe kristallarının elektrik keçiriciliyi</i>	17
Гасанов Х. А., Гасанов О. М., Адгезалова Х. А. <i>Электрон-фононное рассеяние квантово-размерной пленки с гиперболическим потенциалом пеицля-теллера</i> ...22	
Hüseynov C. İ., Daşdəmirov A. O., Rzayev R. F. <i>Y₂O₃ Nano hissəciklərinin raman spektroskopiyası</i>	25
Babayeva A.F., Ahmadova F.Sh. <i>Photoconductivity of Gase-Ge Heterojunction and Its Application as a High-Efficiency Photodiode</i>	28
Həmzəyeva A.Y., İmanova S. R. <i>ASPE-Bi₂Te₃ kompozitlərində tərkibdən asılı səth morfolojiyasının tədqiqi</i>	31
Baghirov M. A., Eyvazova G. M. <i>Dielectric behavior of go/pva nanocomposites: effect of go concentration and frequency–temperature dependence</i>	33
Balayeva L. A. , Guseinov A. G. <i>Boron effects on optical properties of lpe-grown GaSe thin films</i>	36
Yagubov N., Sultanova A., Ganbarova G., Jafarov Y., Aliyeva K., Allahverdiyeva A. <i>Photovoltaic materials for solar energy</i>	39
Тагиева М. Дж. <i>Различия надбарьерного и тунельного механизма разрушения полимеров на примере ориентированного волокна (поликапромида)</i>	41
Abdinov Ə.Ş., Hüseynov T.X., Davudov B.B., Ağayev M.N., Rəsulov E.A., Allahverdiyev Ş.A., Tağıyeva E.Q. <i>Anod yaxınlığındakı elektrik təbəqəsinin dinamikası</i>	45
Sadıqlı L. E. <i>Cu İnterkalasiyasının GaSe laylı monokristallarının səth və laylararası strukturuna təsirinin sem ilə tədqiqi</i>	49
İmanova S. R., Salmanzadə A. Ə. <i>FeCO₃-dən alınmış Fe₂O₃ matrisli yarımkeçirici kompozitlərin dielektrik xassələrinin öyrənilməsi</i>	50
Rüstəmov V. C., Qasimov İ.İ., Babayeva A. E. <i>TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se₂ Yarımkeçirici birləşməsində pyezomodulyasiya hadisəsinin tədqiqi</i>	54
Qasimov İ.İ., Babayeva A.E. <i>Pyezoelektrik materiallar və onların tətbiqi sahələri</i>	57
Cəfərov M., Namazov Y.B., Verdiyeva N.Ə. <i>Lantanoid atomlarının TlInSe₂ birləşməsinin termoelektrik və fotokeçiricilik xassələrinə təsiri</i>	59
Rüstəmov V. C., Namazov Y.B., Zeynalov Z.M., Ələkbərov Ş. Ş. <i>TlGaS₂ – TlInSe₂ sistemində faza tarazlığının tədqiqi</i>	63
Mədətov R.S., Səfərzadə Ə.Ə., Verdiyeva N.Ə., Məmmədzadə Ö.İ., Laylı ququluşlu Ga-Se monokristalinin səth morfoiogiyasına radiasiya defektlərinin təsirinin agm metodu ilə tədqiqi.....	66
Guliyeva S. S., Balayeva L. A. , Guseinov A. G. <i>GaSe/GeS heterojunction via melt-assisted thin film fabrication</i>	69

Абасова А.З., Гасанова Л.Г., Магомедов А.З., Джахангирова С.А. Фотозлектрические свойства диодов на основе GaSe после облучения нейтронами.....	71
Rustamov V.C., Namazov Y.B., Dadaşlı Ç. T. İnterkalyasiya qurğusu və ölçmə üçün nümunənin hazırlanması.....	74
Madatov R. S., Mamishova R. M., Khaligzadeh A. Sh., Farajova U. F. Effect of γ -radiation on the electrical conductivity of p-CuTlS ₂ single crystal.....	78
Cəfərova S. Q., Xəlilova A.M., Məmmədzađə A. M. Yarımkeçirici injeksiya lazerlərində istifadə olunan bəzi optik rezonator sistemləri.....	79
Namazov Y.B., Məmmədova S. O., Məmmədzađə A. M. GaAs əsaslı yarımkeçirici lazerlərdə optik doldurmanın xüsusiyyətlərinin araşdırılması.....	81
Namazov Y. B., Hüseynov R. K., İmanov R.K., Həsənova N. N., Bipolyar və unipolyar tranzistorların quruluşu, iş prensipi və tətbiqi.....	84
Hasanov E.R., Khalilova Sh.G., Mustafayeva R.K. Current oscillations in semiconductors in strong electric and magnetic fields.....	86
Bakhishli S.Z., Mamedova A.Ch. Synthesis and X-ray diffraction study of TlFeS ₂ (Se ₂) chalcogenide compounds.....	93
Тагиев М.М., Алиева Х.Ф., Абдуллаева И.А., Маммедзаде А.М., Магеррамова К.И., Гулиев М.С. Теплопроводность экструдированных образцов твердых растворов Bi _{0,7} Sb _{1,3} Te _{2,93} Se _{0,07} , с примесями диспрозия.....	96
Тагиев М.М., Алиева Х.Ф., Абдуллаева И.А., Маммедзаде А.М., Гулиев М.С. Механизм влияния отжига на термоэлектрические свойства твердых растворов Bi ₈₅ Sb ₁₅	99
Cavadov E.M., Məmmədov E.M., Seyidova İ.A. Termoelektrik səmərəlilik və onun artırılması yolları.....	102
Rüstəmov V.C., Namazov Y.B., Əsədova H. X., Əmiraslanov İ. F. TlIn _{1-x} Au _x Se ₂ -TlSe -TlSe heterokeçidlərinin fotoelektrik xassələrinə qamma kvantların təsiri.....	105
Rüstəmov V.C., Namazov Y.B., Əmiraslanov İ. F., Əsədova H. X. TlIn _{1-x} Au _x Se ₂ -TLSE heterokeçidlərinin müxtəlif şüalanma dozalarında volt-farad (VFX) xarakteristikaları.....	107
Рустамов В. Д., Гулиев М.С., Мовсумова И.М., Амирасланов И.Ф. Синтез, выращивание и исследование параметров светодиодчиков на основе твёрдых растворов Tl _{1-x} Cu _x InSe ₂	109
Гасымлы С.Т., Салманов В.М., Мамедов Р.М., Мустафаева Д.Ш., Влияние лазерного облучения в процессе осаждения на свойства пленок CdS.....	113
Салманов В.М., Мамедов Р.М., Магомедов А.З., Мамедзаде И.Я., Р.Р. Бакмирзоев Наногетероструктуры InSe/GaS, синтезированные лазерной абляцией.....	116
Мамедов Т.С., Агалиева С.Т., Салманов В.М., Мамедов Р.М. Экспериментальное оптоэлектронное исследование гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs, выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии.....	119

FİZİKANIN TƏDRİSİ VƏ TƏTBİQİ

Quliyev M.S., Namazov Y. B., Avazova F.R. Arzumanoa A. A. Fizika tədrisində süni intellektin tətbiqinin təlimin fərdiləşdirilməsi vasitəsi kimi	122
Джалилова С.Х. Междисциплинарная интеграция в курсе физики: методологические подходы обучения и преподавания.....	125
Насиёев Т. М. Orta məktəbdə fizikanın tədrisində virtual laboratoriyalardan istifadə texnologiyası.	132

Musayeva G. Ə. <i>Nəsirəddin Tusinin əsərlərində fiziki və astronomik baxışların müasir tədrisdə istifadəsi</i>	137
İmanov R.M., Məmmədova S.O., Hacıyeva L. R. Avazova F. R., Arzumanova A.A. <i>Fizikanın tədrisində analogiyalar və modellərdən istifadə metodikası</i>	139
Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Məmmədov Ş.M., Məmmədova E.A. <i>Məktəb fizika dərslərində problemlə situasiyaların yaradılması</i>	142
Quliyev M.S., Namazov Y.B., Quliyev N.İ. <i>Ekoloji təmiz hidrogeninin istehsalı üçün bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə</i>	145
Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Tahirova T.T. <i>Hidrogen istehsalında süni fotosintezdən istifadənin yeni texnologiyaları</i>	147
Quliyev M.S., Quliyev N.İ., İmanov R.M., Məmmədov Ş.M. <i>Fizika dərslərində problemlə situasiyanın yaradılması problemlə təlimin mühüm mərhələsi kimi</i>	149
Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Məmmədova E.A., İsmayılov E.X. <i>Fizika məşğələlərində interaktiv təlim metodları</i>	152
Isgəndərova S.P., Rüstəmov V.C. <i>Yer biosferinin öyrənilməsində və qorunmasında fizikanın rolu</i>	154
Гасанова Л.К., <i>Математические методы при преподавании физики</i>	157
Məmmədova S.O. <i>Vahid məsələlərin həllində fizika və ekologiyaın qarşılıqlı əlaqəsi</i>	159
Namazov Y.B., Rüstəмова S.K., Xəlilova A.M. Quliyeva A.A. <i>Fizikadan məsələ həlli tədrisin səmərəliliyinin artırılması vasitəsi kimi (orta məktəb nümunəsində)</i>	161
Namazov Y. B., Rüstəмова S. K, Rüstəмова L. V., Zərbəliyeva V. S. <i>Ümumtəhsil məktəblərinin tam orta məktəb pilləsində fizika fənninin təlimində şagirdlərdə elmi savadlılığın formalaşdırılmasının əsasları</i>	165
Rüstəмова S.K., Abdullayev S.M. , Xəlilova A.M. Quliyeva A. A., <i>Şəxsiyyətyönlümlülük prinsiplərini reallaşdıran fizika məsələlərinin işlənməsi metodikası</i>	167
Kazımova N.K., Əzizova K.K., Nuriyeva S.R., <i>Fizikanın tədrisi metodikası: Müasir yanaşmalar və effektivlik</i>	169
Quliyev M. S., Namazov Y.B., Quliyev A.İ., İmanov R.M. <i>Fizika tədrisində süni intellektin tətbiqi fiziki proseslərin modelləşdirilməsi vasitəsi kimi</i>	171
Namazov Y.B., Avazova F.R., Arzumanova A. A., Rzayeva G.Ə. <i>Fizikanın tədrisində keyfiyyət xarakterli məsələlərin həlli aktiv təlim metodu kimi</i>	175

MATERIALŞÜNASLIQ VƏ ONUN TƏTBİQİ

Yaqubov E. K., Hüseynov E. C. <i>Fərqli bişirmə üsulları ilə alınmış ovuntu alüminium kompozisiyaların struktur xüsusiyyətləri və xassələri</i>	178
Cavadov E. M. <i>Korroziya proseslərinin elektrokimyəvi mexanizmlərinin materialların davamlılığına təsiri</i>	184
Hüseynov V. İ. <i>Bərk cismlərin mexaniki xassələri və praktiki tətbiq imkanları</i>	186
Həsənli R., İsmayılov N. <i>Bəzi metallurji proseslərin modelləşdirilməsi xüsusiyyətləri</i>	190
Quliyev M.S., Namazov Y.B., Quliyev N.İ. <i>Suyun parçalanması zamanı hidrogen alınması üçün fotokatalizin termodinamikası və kinetikasi</i>	194
Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Cavadov E.M. <i>Günəş enerjisini yanacağa çevirməyin yeni üsulu</i>	198
Qasımov İ.İ., İsgəndərova S.P. <i>Elektrik və impuls siqnalların verilməsində tezliyin çevrilməsi</i>	200

Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Cavadov E.M. <i>Gələcəyin hidrogen energetikasının inkişaf perspektivləri</i>	202
Qasimov İ.İ., İsgəndərova S.P. <i>İmpuls analoq siqnallarını ötürən aktiv element sistemli açarlar</i>	204
Qasimov İ.İ.,İsgəndərova S.P. <i>Gərginliyin dəyişməsindən asılı olaraq fırlanma istiqaməti çevirilən mühərriklərin funksiyaları</i>	207
Mehdiyeva S.İ., Ələkbərov R.İ., Abasova A.Z., Sadıxlı R.F., Məmmədov S.M. <i>Sb-Se binar xalkogenid şüşələrində şüşələşmə və kristallaşma</i>	209
Sadıxova M. Ş., Əhmədov Ş. B. <i>Kompozit materaillərin təsnifatı və müasir maşınqayırmada onların rolu</i>	213
Musayev S.X., Abbasov R. A. <i>Elektrotexnikada müasir inkişaf istiqamətlərinin və texnoloji yeniliklərin rolu</i>	216
Musayev S.X., Abbasov R. A. <i>Yarımkeçirici əsaslı kompozitlərin müasir alınma üsulları və səthlərinin mikrorelyeflərinin tədqiqi</i>	218
Cavadov E. M., İsmayılov E. X., Məmmədov E. M. <i>Elektrotexniki qurğular üçün karbon komponentli polimer kompozisiya materiallarının istilik-fiziki xüsusiyyətləri</i>	219
Абдинов А.Ш.1, Бабаева Р.Ф., Амирова С.И., Рагимова Н.А., Расулов Э.А. <i>Влияние высокотемпературного облучение гамма-квантами на температурную зависимость электрофизических параметров кристаллов n-Cd_xHg_{1-x}Te</i>	222

I BÖLMƏ

KONDENSƏ OLUNMUŞ MADDƏ FİZİKASI

STRUCTURAL INSIGHTS INTO FeGaInS₄ NANOPARTICLES VIA PULSED LASER ABLATION IN LIQUIDS

Adddayeva Z, R,^{*a,b}, Salmanov M.M^a., Muradov M.B^b

^a*Department of Semiconductor physics, Baku State University, 23 Academic Zahid Khalilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan.*

^b*Nano Research Laboratory, Baku State University, 23 Academic Zahid Khalilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan.*

^{*}*E-mail: zeynabramazan53899@gmail.com*

Keywords: FeGaInS₄, laser ablation, layered crystal, PLAL, microstrain, crystallite size

Controlled synthesis of nanomaterials with defined size, morphology, and purity is crucial, as these factors strongly influence optical, electronic, catalytic, and dielectric properties[1].

Pulsed Laser Ablation in Liquids (PLAL) is a versatile, ligand-free, and eco-friendly method that produces high-purity nanostructures via laser-induced plasma formation and rapid quenching, enabling unique phases difficult to achieve by conventional method[2].

Unlike chemical routes, PLAL yields clean surfaces without surfactants, enhancing interfacial processes such as charge transport and polarization, which is critical for energy devices and polymer nanocomposites[2].

Bulk FeGaInS₄ crystals used as targets were synthesized in vacuum-sealed quartz ampoules with controlled heating and further annealed at 800 K to improve crystallinity and uniformity[3]. Subsequently, FeGaInS₄ nanoparticles were produced via the Pulsed Laser Ablation in Liquids (PLAL) method. A schematic representation of the experimental setup used for the PLAL process is shown in Figure 1.

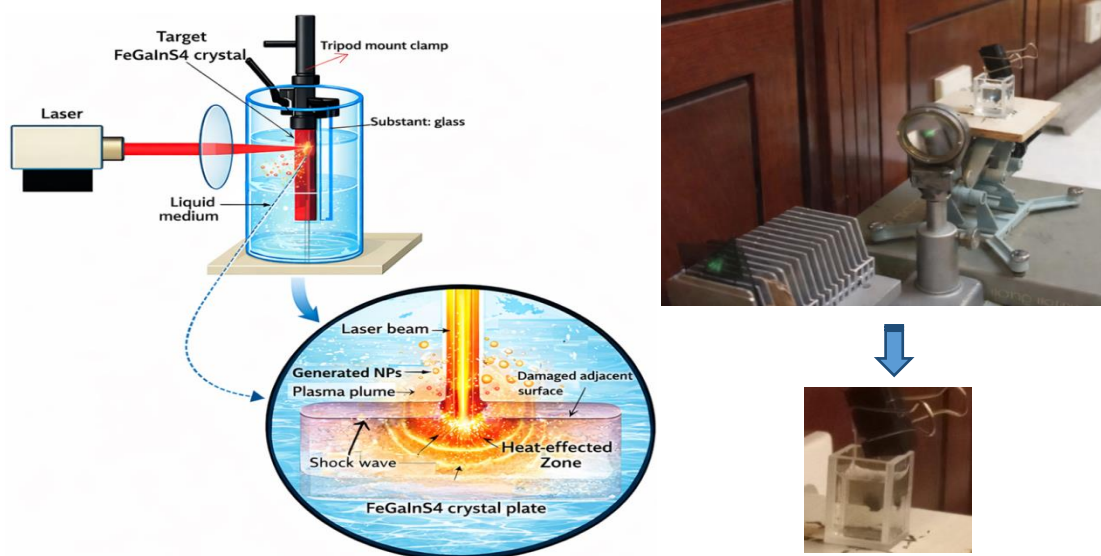


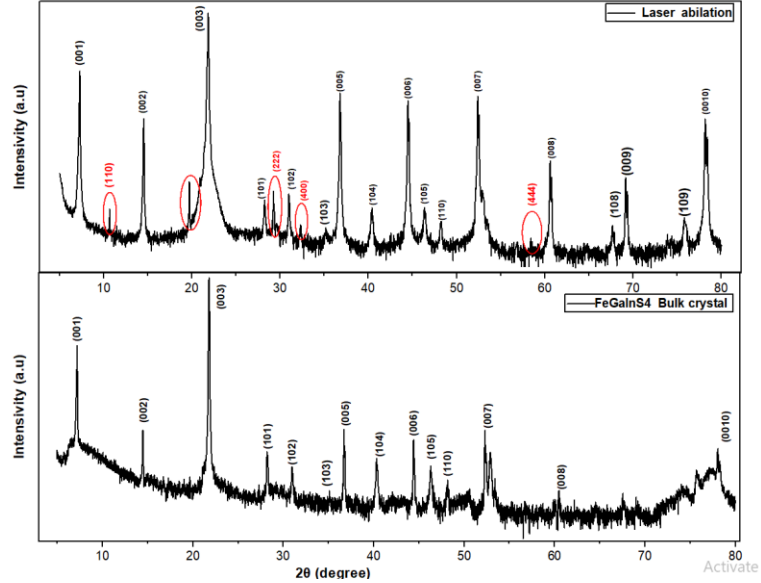
Figure 1. Schematic representation of the PLAL setup for FeGaInS₄ crystal ablation.

X-ray diffraction (XRD) is widely used to determine crystallite size, lattice defects, and internal strain. The phase composition and crystalline integrity of the samples before and after

laser ablation were investigated using X-ray diffraction (XRD). Figure 2 illustrates the diffraction patterns for both the bulk crystal and the nanostructured samples obtained via PLAL.

Figure 2. XRD patterns of FeGaInS₄ crystals before and after laser ablation.

For the FeGaInS₄ bulk crystal, sharp and well-defined diffraction peaks were observed at values of 7.15°, 14.41°, 21.72°, 28.2°, 30.95°, 37.0°, 40.8°, 44.74°, 45.46°, 53.5°, 61.2°, 68.0°,



69.0°, 75.0°, and 78.6°. These peaks correspond to the (001), (002), (003), (102), (005), (104), (006), (105), (007), (008), (109), and (0010) crystallographic planes, respectively. The diffraction data confirm the trigonal symmetry (*R3m* space group) of the FeGaInS₄ phase, indicating high crystallinity in good agreement with previous reports [5].

The XRD analysis of the PLAL-processed samples revealed that the primary diffraction peaks remain consistent with the bulk material, suggesting that the fundamental FeGaInS₄ phase is preserved during the ablation process. However, additional low-intensity peaks emerged in the ablated samples. Specifically, peaks at $2\theta \approx 10^\circ$ and 19° were attributed to β -FeOOH and GaOOH phases, respectively [6]. The formation of these oxyhydroxide phases is a characteristic phenomenon in PLAL, resulting from the reaction of ablated Fe and Ga atoms with active O and OH radicals generated by the laser-induced decomposition of the water medium.

Furthermore, peaks observed at $2\theta \approx 29^\circ$, 31° and 59° and were assigned to FeGa₂S₄ and FeIn₂S₄ phases. These findings indicate that during IR laser irradiation, a portion of the ablated components undergoes recrystallization into alternative binary or ternary sulfide phases, reflecting a partial structural transformation from trigonal (*R3m*) to cubic spinel-type (*Fd3m*) configurations. While the presence of FeOOH and GaOOH may enhance photocatalytic activity, their low intensities suggest a relatively small volume fraction in the final product [7,8].

To further quantify the structural evolution, the Williamson–Hall (W–H) method was employed to determine the crystallite size (*D*), microstrain (ϵ), and defect density (δ). The W–H plots and the calculated parameters are presented in Figure 3 and Table 1, respectively.

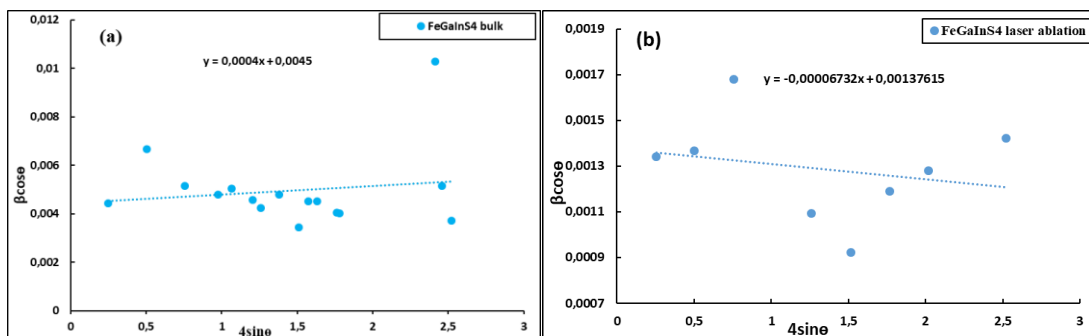


Figure 3. Williamson–Hall plots of (a) bulk FeGaInS₄ crystals and (b) laser-ablated FeGaInS₄ samples.

Table 1. Structural parameters of the investigated samples

Sample	Crystallite size (nm)	Micro Strain $\epsilon \cdot 10^{-7}$	Defect density $\delta \cdot 10^{-5} (\text{nm})^{-2}$
FeGaInS₄ (bulk)	35.4	6	94,4
FeGaInS₄ (laser ablation)	105.1	-0.6	9,61

W–H analysis showed crystallite size increased from 35.4 to 105.1 nm after laser ablation, indicating improved crystal order. Microstrain changed from 6.09×10^{-7} (tensile) to -0.6×10^{-7} (compressive), while dislocation density decreased nearly tenfold from 94.4×10^{-5} to $9.61 \times 10^{-5} \text{ nm}^{-2}$. These effects arise from laser-induced annealing and partial recrystallization, where rapid heating and ultrafast cooling reduce defects and promote grain growth. Consequently, XRD peaks narrow and the lattice becomes more compact. The trigonal structure of FeGaInS₄ remains stable, with only minor secondary phases detected. Overall, PLAL-synthesized nanoparticles exhibit high structural stability and promising optoelectronic potential for photodetectors, energy systems, and photocatalysis.

Reference

- [1]. Zhang, D., Gökce, B., &Barcikowski, S. (2017). Laser synthesis and processing of colloids: Fundamentals and applications. *Chemical Reviews*, 117(5), 3990–4103. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00468>
- [2]. Salmanov, V. M., Huseynov, A. G., Jafarov, M. A., Mamedov, R. M., Mamedova, T. A., &Nasirov, E. F. (2024). CdS nanoparticles synthesized by laser ablation in liquid. *Semiconductors*, 58(6), 533–537. <https://doi.org/10.1134/S1063782624601183>
- [3]. Mammadov, F. M., Babanly, D. M., Imamaliyeva, S. Z., Huseynova, I. F., Moroz, M. V., Abbasova, V. A., ... &Babanly, M. B. (2025). Solid-phase relations in the FeSe-Ga₂Se₃-Se system and thermodynamic investigation of the FeGa₂Se₄ compound and (FeSe) 1-x (Ga₂Se₃) x solid solutions. *Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis*, 100207.
- [4]. Addayeva, Z., Muradov, M., Filiz, B. C., &Baghirov, M. B. (2025). Influence of graphene oxide on crystallite size, lattice strain, and porosity in FeGaInS₄/PVA composites. *Functional Composites and Structures*, 7(4), 045001.

5. [5]. S. Mustapha, M. M. Ndamitso, A. S. Abdulkareem, J. O. Tijani, D. T. Shuaib, A. K. Mohammed, A. Sumaila, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 2019, 10(4), 045013.
6. [6]. Mei, L., Liao, L., Wang, Z., & Xu, C. (2015). Interactions between phosphoric/tannic acid and different forms of FeOOH. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015(1), 250836.
7. [7]. Aalim, M., & Shah, M. A. (2022). Modulation of magnetism and optical properties of hematite (α -Fe₂O₃) nanorods fabricated via thermal conversion of hydrothermally synthesized akaganeite (β -FeOOH). *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 11(9), 091008.
8. [8]. Muruganandham, M., Amutha, R., Wahed, M. S. A., Ahmmad, B., Kuroda, Y., Suri, R. P., & Sillanpaa, M. E. (2012). Controlled fabrication of α -GaOOH and α -Ga₂O₃ self-assembly and its superior photocatalytic activity. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(1), 44-53.

Abstract

FeGaInS₄ nanoparticles were synthesized via PLAL using pure bulk crystals as targets. XRD and Williamson–Hall analysis revealed an increase in crystallite size from 35.4 to 105.1 nm, a transition of microstrain from tensile to compressive, and a significant reduction in defect density. The main trigonal structure (R3m) was preserved, while minor secondary phases (FeOOH, GaOOH, binary/ternary sulfides) formed. These structural changes result from laser-induced thermal annealing and ultrafast quenching, producing larger, more ordered nanostructures, highlighting their potential for optoelectronic, photocatalytic, and energy applications.

Xülasə

FeGaInS₄ nanohissəcikləri PLAL üsulu ilə təmiz bulk kristallardan hədəf kimi istifadə edilərək sintez edilmişdir. XRD və Williamson–Hall analizi kristallit ölçüsünün 35.4-dən 105.1 nm-ə artdığını, mikro-straining ərilmədən sıxılmaya keçdiyini və defekt sıxlığının əhəmiyyətli dərəcədə azaldığını göstərdi. Əsas trigonal struktur (R3m) qorunmuş, FeOOH, GaOOH və ikili/üçlü sulfidlərin kiçik miqdarı isə ikinci dərəcəli fazalar kimi yaranmışdır. Bu struktur dəyişiklikləri lazerin yaratdığı istilik anilasiyası və ultrasürətli soyutma nəticəsində daha böyük və nizamlı nanostrukturalar əmələ gətirir, optoelektronika, fotokataliz və enerji tətbiqləri üçün perspektiv təqdim edir.

Аннотация

Наночастицы FeGaInS₄ были синтезированы методом PLAL с использованием чистых крупных кристаллов в качестве мишеней. Анализ XRD и Williamson–Hall показал увеличение размера кристаллитов с 35,4 до 105,1 нм, переход микронапряжений от растяжения к сжатию и значительное уменьшение плотности дефектов. Основная тригональная структура (R3m) сохранена, при этом образовались незначительные вторичные фазы (FeOOH, GaOOH, бинарные/тернарные сульфиды). Эти структурные изменения вызваны лазерной термообработкой и ультрабыстрым охлаждением, формируя более крупные и упорядоченные наноструктуры и открывая перспективы для оптоэлектроники, фотокатализа и энергетических приложений.

MnGa₂S₄ KRİSTALININ DİELEKTRİK NÜFUZLUĞUNUN TEZLİK VƏ TEMPERATURDAN ASILILIĞI

Niftiyev N.N. , Daşdəmirov A.O.* , Məmmədov F.M.** , Ağayeva R.M.**

*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti**

Az-1000, Bakı, Ü. Hacıbəyli, 68

*AMEA Kataliz və Qeyri – üzvi Kimya İnstitutu***

Az-1143, Bakı, H. Cavid pr., 29

namiq7@bk.ru

Açar sözlər: MnGa₂S₄, dielektrik nüfuzluğu, tezlik, temperatur, aktivləşmə enerjisi, relaksasiya dispersiyası, sıçrayış keçiriciliyi, CBH modeli

İşdə MnGa₂S₄ kristalının dielektrik nüfuzluğunun elektrik sahəsinin tezliyindən və temperaturdan asılılığı 294–374 K temperatur və 25–10⁵ Hz tezlik intervalında tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi (ϵ) temperatur artdıqca artır, tezlik artdıqca isə azalır. Bu artım temperatur yüksəldikcə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının çoxalması ilə əlaqədardır. Dielektrik itkiləri xarakterizə edən xəyali hissə (ϵ'') tezliyin artması ilə kəskin azalaraq relaksasiya dispersiyası göstərir. ϵ'' -nin temperaturdan asılılığı Arrhenius qanununa uyğundur və aktivləşmə enerjisinin tezlik artdıqca 0,36 eV-dan 0,16 eV-a qədər azaldığı müəyyən edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, MnGa₂S₄ kristalında keçiricilik qarışıq zona–sıçrayış mexanizmi ilə baş verir və CBH modeli ilə izah olunur.

Son illərdə həm maqnit, həm də yarımkeçirici xassələri eyni zamanda nümayiş etdirən materiallara maraq əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Bu cür materiallarda keçid elementlərinin (xüsusilə 3d qabığı tam dolmamış elementlərin) iştirakı nəticəsində yeni fiziki xassələr formalaşır. AB₂X₄ tipli üçlü birləşmələr (A = Mn, Fe, Co, Ni; B = Ga, In; X = S, Se, Te) maqnit və yarımkeçirici xüsusiyyətlərin kombinasiyası ilə seçilir. Bu materiallarda maqnit xassələrinin elektron və optik təsirlərlə idarə olunması onların optoelektronika, fotodetektorlar, lazer sistemləri və fotokataliz sahələrində tətbiqini mümkün edir.

MnGa₂S₄ birləşməsi bu sinfin mühüm nümayəndələrindən biridir. Onun kristal quruluşu, maqnit və optik xassələri əvvəlki tədqiqatlarda araşdırılmışdır. Təqdim olunan iş dielektrik nüfuzluğunun temperatur və tezlikdən asılılığının öyrənilməsinə həsr olunmuşdur.

MnGa₂S₄ kristalı yüksək təmizlikli Mn (99,995%), Ga (99,999%) və S (99,99%) elementlərindən sintez edilmişdir. Komponentlər stoxiometrik nisbətdə qarışdırılaraq vakuumda ($\approx 10^{-2}$ Pa) kvars ampulalarda sintez edilmişdir. Rentgenstruktur analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, kristal rombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri: $a = 12,90 \text{ Å}$, $b = 7,45 \text{ Å}$, $c = 6,13 \text{ Å}$ təşkil edir [1].

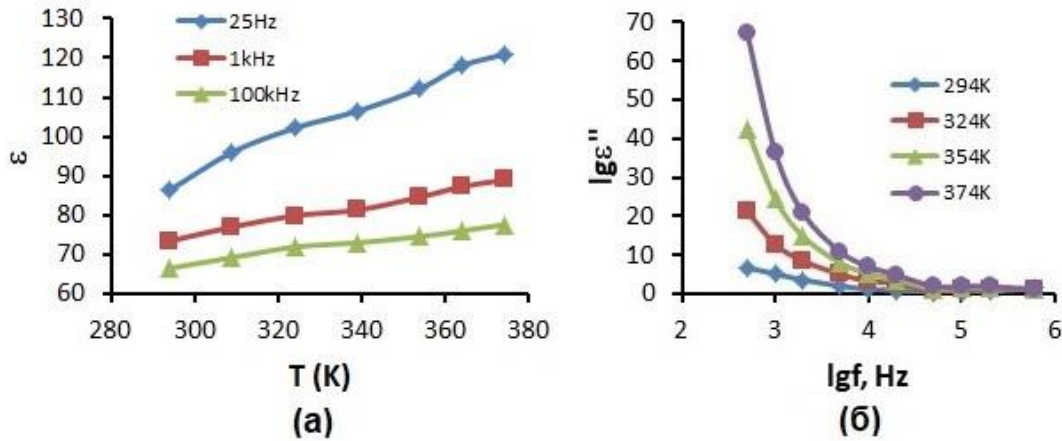
Dielektrik ölçmələri üçün $\sim 1,5 \text{ mm}$ qalınlığında nümunələr hazırlanmış və onların səthinə gümüş pastası çəkilmişdir. Ölçmələr 293–400 K temperatur intervalında və 25–10⁶ Hz tezlik diapazonunda aparılmışdır. Dielektrik parametrləri $\epsilon' = \text{Cd}/(\epsilon_0 S)$, $\epsilon'' = \text{tg} \delta \cdot \epsilon'$ ifadələrindən hesablanmışdır.

Şəkil 1a-da müxtəlif tezliklər üçün dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ϵ') temperaturdan asılılığı göstərilmişdir. Temperatur artdıqca ϵ' -in artması müşahidə olunur (85–120 intervalında). Bu hal elektrik keçiriciliyinin temperaturla artması ilə izah edilir:

$$\epsilon' = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega \text{tg} \delta}, \quad (1)$$

Temperatur artdıqca yükdaşıyıcıların konsentrasiyası yüksəlir və nəticədə həm keçiricilik, həm də ϵ' artır [2]. Digər tərəfdən, tezlik artdıqca ϵ' azalır ki, bu da dipolların yüksək tezlikdə sahəyə uyğunlaşa bilməməsi ilə bağlıdır.

Şəkil 1b-də dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin (ϵ'') tezlikdən asılılığı göstərilmişdir. $5 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^3$ Hz tezlik intervalında ϵ'' kəskin azalır, daha yüksək tezliklərdə isə azalma daha zəif xarakter alır. Ümumilikdə ϵ'' tezliyin artması ilə təxminən 60 dəfə azalır. Bu, relaksasiya dispersiyasının mövcudluğunu göstərir [3].



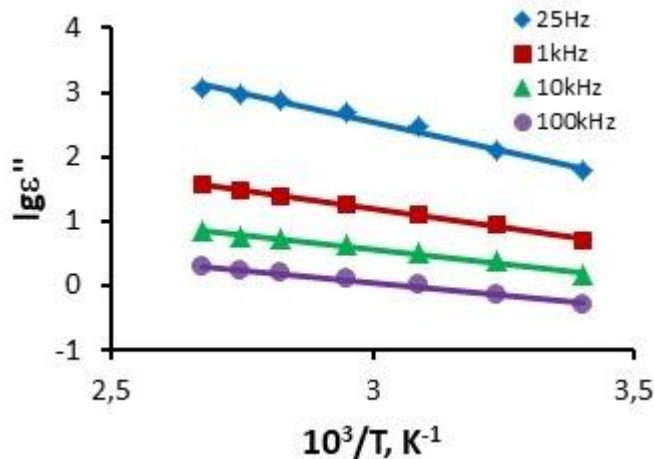
Şəkil 1.

- a) Müxtəlif tezliklərdə MnGa_2S_4 kristalında ϵ' -in temperaturdan asılılığı.
b) Müxtəlif temperaturalarda MnGa_2S_4 kristalında ϵ'' -in tezlikdən asılılığı.

Şəkil 2-də ϵ'' -nin temperaturdan asılılığı verilmişdir. Bu asılılıq aktivləşmə xarakteri daşıyır və Arrhenius qanunu ilə ifadə olunur:

$$\epsilon'' \sim \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right). \quad (2)$$

$\lg \epsilon'' - 10^3/T$ qrafiklərinin meyindən aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, tezlik artdıqca aktivləşmə enerjisi 0,36 eV-dan 0,16 eV-a qədər azalır. Aşağı tezliklərdə yükdaşıyıcılar dərin lokal səviyyələrdən zonalarə keçid edir (zona mexanizmi), yüksək tezliklərdə isə yaxın lokal səviyyələr arasında sıçrayış edir (sıçrayış mexanizmi). Orta tezliklərdə isə hər iki mexanizm paralel şəkildə baş verir.



Şəkil 2. Müxtəlif tezliklərdə MnGa_2S_4 kristalında ϵ'' -nin temperaturdan asılılığı.

Bu nəticələr göstərir ki, MnGa_2S_4 kristalında keçiricilik qarışıq zona–sıçrayış mexanizmi ilə baş verir [4]. Aktivləşmə enerjisinin tezlikdən asılı azalması korrelyasiyalı sıçrayış modeli (CBH) ilə uyğunluq təşkil edir [5]. Bu modelə görə tezlik artdıqca sıçrayış məsafəsi azalır və daşıyıcılar daha yaxın enerji səviyyələri arasında hərəkət edir.

Ədəbiyyat

1. Pardo M., Fourcroy P., Flahaut J. System $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-MnS}$ diagramme de phase-etude cristallographique // Materials Research Bulletin. 1975. V. 10, P. 665.
2. Niftiyev N.N., Tagiev O. B., Muradov M. B., Mamedov F.M. Electrical properties of layered FeGaInS_4 single crystals with an alternating current // Semiconductors. 2009. V. 43, P. 1407–1409.
3. Niftiyev N. N., Dashdemirov A.O., Mamedov F.M., Muradov M.B. Dielectric properties of layered MnGaInSe_4 single crystals in an alternating electric field // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2023. V. 59, No. 5, P. 644–648.
4. Niftiyev N.N., Mammadov F.M., Sardarli R.M., Salmanov F.T., Orujov N.F., Babanlı M.B. Dielectric properties of FeGaInSe_4 crystal in an alternating electric field // Solid State Communications. 2025. V. 405, 116134.
5. Pike G.E. AS Conductivity of scandium oxide and a new hopping model for conductivity // Physical Review B 6. 1972. P. 1572,

Аннотация

В данной работе исследована зависимость диэлектрической проницаемости кристалла MnGa_2S_4 от частоты электрического поля и температуры в интервале 294–374 К и $25\text{--}10^5$ Гц. Установлено, что действительная часть диэлектрической проницаемости увеличивается с ростом температуры и уменьшается с увеличением частоты. Это увеличение связано с ростом концентрации носителей заряда при повышении температуры. Мнимая часть, характеризующая диэлектрические потери, резко уменьшается с увеличением частоты, что указывает на наличие релаксационной дисперсии. Показано, что температурная зависимость ϵ'' подчиняется закону Аррениуса, а энергия активации уменьшается с ростом частоты от 0,36 до 0,16 эВ. Полученные результаты свидетельствуют о том, что проводимость в кристалле MnGa_2S_4 реализуется по смешанному зонно-прыжковому механизму и хорошо описывается моделью коррелированных прыжков (CBH).

Resume

In this work, the dependence of the dielectric permittivity of MnGa_2S_4 crystal on the frequency of the electric field and temperature has been studied in the ranges of 294–374 K and $25\text{--}10^5$ Hz. It was found that the real part of the dielectric permittivity increases with increasing temperature and decreases with increasing frequency. This behavior is associated with the increase in charge carrier concentration as the temperature rises. The imaginary part, which characterizes dielectric losses, decreases sharply with increasing frequency, indicating the presence of relaxation dispersion. The temperature dependence of ϵ'' follows the Arrhenius law, and the activation energy decreases from 0.36 eV to 0.16 eV with increasing frequency. The obtained results indicate that electrical conduction in MnGa_2S_4 crystal occurs via a mixed band–hopping mechanism and can be well explained by the correlated barrier hopping (CBH) model.

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ZnSe

¹Гаджиева М. Р., ¹Маммадли Ч. А., ¹Гусейнов Дж. И., ²Аббасов И. И.

¹Азербайджанский государственный педагогический университет, Баку

²Азербайджанский государственный Университет Нефти и Промышленности, Баку

Ключевые слова: ZnSe, диэлектрическая проницаемость, частотная дисперсия, температурная зависимость, дипольная поляризация, релаксационные процессы.

Широкозонные полупроводники A^2B^6 , в частности селенид цинка, широко используются при создании люминесцентных и лазерных экранов, фотоприемников, в ИК-технике [1]. Селенид цинка прозрачен в оптическом диапазоне длин волн и хорошо пропускает инфракрасное (ИК) излучение [2]. Материал с низким содержанием примесей и собственных дефектов структуры удаётся получать методом химического осаждения из газовой фазы (Chemical Vapour Deposition, методом CVD) с использованием в качестве исходных реагентов цинка и смеси газообразного селеноводорода. Это делает CVD-метод наиболее перспективным для получения образцов *ZnSe* с высокими эксплуатационными характеристиками. Одной из важнейших характеристик оптических материалов, которая позволяет использовать их в качестве активного элемента в различных устройствах, является частотной и температурной зависимостью диэлектрической проницаемости.

В данной работе исследованы некоторые физические свойства *CVD ZnSe*, в том числе рентгеноструктурный анализ и оптическая микроскопия, диэлектрический отклик на изменение электрического поля. Образец поликристаллического *ZnSe* толщиной 3мм, используемый в данной работе, получен методом химического осаждения из газовой фазы [3].

Рентгеноструктурные исследования свидетельствуют, что образец *CVD ZnSe* является поликристаллическим. Анализ интенсивностей рентгеновских отражений показывает наличие в кристалле преобладающего направления, а также, что исследуемый образец состоит из одной фазы.

Для исследования морфологии и микросостава поверхности образца использовался сканерный электронный микроскоп японского производства марки JEOL JSM6610-LV. Количественным рентгеновским микроанализом определен состав фазы и распределение химических элементов на поверхности исследуемого образца. Анализ полученных результатов показывает однородности поверхности, но со изменением стехиометрии в пределах области гомогенности *ZnSe* стороны избытка селена.

Действительную и мнимую части комплексной диэлектрической проницаемости поликристаллического *CVD ZnSe* в переменном электрическом поле измеряли на цифровом приборе *E7 – 20* (25 ± 10^6 Гц). С помощью прибора *E7 – 20* измеряется емкость (*C*), активное сопротивление (*R*), модуль комплексного сопротивления (*Z*), добротность (*Q*), тангенс угла потерь (*tgδ*) и фазовый сдвиг комплексного сопротивления исследуемого образца.

Для диэлектрических измерений были изготовлены образцы из *CVD ZnSe* в виде плоских конденсаторов. В качестве обкладок была использована серебряная паста. Диапазон частот переменного электрического поля составлял $25 - 10^6$ Гц. На образец подавалось напряжение 1 В. Значения действительной части диэлектрической проницаемости рассчитывались, исходя из толщины сегнетоэлектрической пленки *d*, площади контакта *S* по формуле для плоского конденсатора $\epsilon' = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot S}$ рассчитанной по

измеренным значениям емкости C и установлено, что ее значение изменяется в пределах $180 \div 540$ в диапазоне частот $25 \div 10^6$ Гц. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости обусловлена инерционностью процессов поляризации. Исследования частотные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости $\epsilon'(f)$ поликристаллического $CVD ZnSe$ при различных температурах показывают, что $\epsilon'(f)$ имеет место сильная частотная дисперсия.

На рис. 1 приведен график зависимости действительной части диэлектрической проницаемости (ϵ') от частоты тока (ν) в температурном интервале $290 \div 470$ К. Как видно из рисунка в области инфранизких частот ($f < 100$ Гц) диэлектрическая проницаемость $CVD ZnSe$ остается постоянной. Когда время релаксации дипольных молекул меньше полупериода электрического поля, диполи имеют полную ориентацию в направлении поля, поэтому диэлектрическая проницаемость остается постоянной. Во всем исследованном интервале температур значение действительной части диэлектрической проницаемости монотонно уменьшается с увеличением частоты в диапазоне частот $10^2 \div 10^4$ Гц. Наиболее крутой спад ϵ' наблюдался при сравнительно низких частотах ($10^2 \div 10^3$ Гц). В диапазоне частот $10^4 \div 6$ Гц величина ϵ' слабо зависит от частоты. По мере увеличения температуры частотная дисперсия ϵ' усиливалась, и для температуры $T=180$ °С наблюдалась очень сильная зависимость ϵ' от частоты. Характер изменения ϵ' с частотой свидетельствует о релаксационной дисперсии диэлектрической проницаемости в поликристаллического $CVD ZnSe$. Следует отметить, что релаксационная дисперсия характерна для дипольного и миграционного механизмов поляризации.

На рис. 2 представлены температурные зависимости действительной $\epsilon'(T)$ части диэлектрической проницаемости $CVD Zn$ при различных значениях частоты. Температурные зависимости действительной $\epsilon'(T)$ и мнимой частей диэлектрической проницаемости $\epsilon''(T)$ идентичны. Характерным является то, что до определенной температуры ϵ' и ϵ'' остаются практически постоянными, а при дальнейшем увеличении температуры обе проницаемости резко растут. Из рисунка видно, что с увеличением частоты температура, соответствующая резкому росту ϵ' , смещается в сторону высоких температур. Характер температурной зависимости диэлектрической проницаемости соответствует дипольной поляризации полярных диэлектриков. В изученных $CVD Zn$ в основном наблюдается

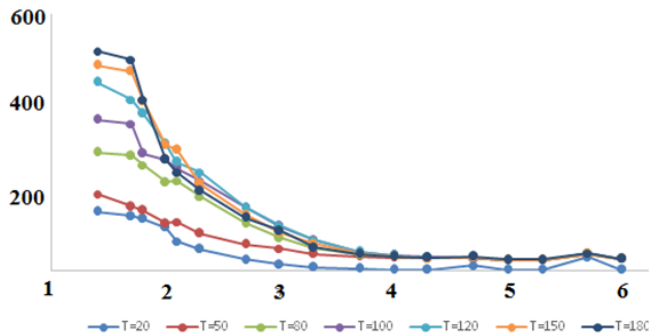
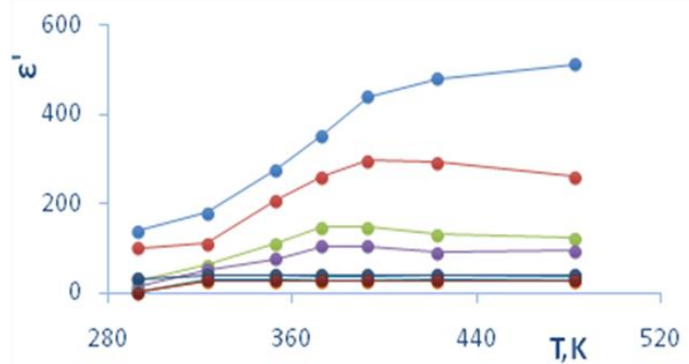


Рис. 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости в $CVD ZnSe$



Температурная зависимость диэлектрической проницаемости в $CVD ZnSe$

термически активируемый рост ε' . Это связано с температурной зависимостью электропроводности исследованных образцов.

Рентгеноструктурный анализ показал, что образец является однофазным поликристаллом с выраженной текстурой, что указывает на наличие преимущественного кристаллографического направления роста. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ выявили однородную морфологию поверхности образца. При этом обнаружены незначительные отклонения стехиометрии в пределах области гомогенности ZnSe, проявляющиеся в виде избытка селена, что может быть связано с особенностями CVD-процесса получения материала.

Диэлектрические измерения показали, что действительная часть диэлектрической проницаемости ε' поликристаллического CVD ZnSe в диапазоне частот 25–10⁶ Гц изменяется в пределах 180–540 и демонстрирует выраженную частотную дисперсию. Установлено, что ε' монотонно уменьшается с увеличением частоты, особенно в области 10²–10⁴ Гц, что свидетельствует о релаксационном характере поляризационных процессов. С повышением температуры наблюдается усиление частотной дисперсии и рост значений ε' и ε'' , что указывает на термически активируемую природу поляризации.

Литературы

1. [1]. I. Abbasov, M. Musayev, J. Huseynov, et al. Temperature behavior of X-Ray luminescence spectra of ZnSe // International Journal of Modern Physics B, 2022, Vol. 36, N 02, p.2250018
2. [2]. N.N.Hashimova, I.I.Abbasov, M.A.Musayev, et al. Study of the photoluminescence spectra observed from different points on the surface of a polycrystalline CVD ZnSe // Funct. Mater. 2022/9, Vol. 29, 3, p. 331-337
3. [3]. Ильиных Н. И., Ковалёв Л. Е. Влияние фоновой примеси железа на ИК-поглощение и диэлектрический отклик высокоомных монокристаллов ZnSe. Неорганические Материалы, 2018, том 54, No 8, с. 799–802.

Резюме

В работе исследованы физические свойства поликристаллического ZnSe, полученного методом CVD. Рентгеноструктурный анализ подтвердил однофазную поликристаллическую структуру с выраженной текстурой. СЭМ и рентгеновский микроанализ показали однородность поверхности и незначительное отклонение стехиометрии в сторону избытка селена. Изучены действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости. Установлена выраженная частотная и температурная дисперсия, обусловленная релаксационными процессами дипольной и миграционной поляризации. С ростом частоты диэлектрическая проницаемость уменьшается, а с повышением температуры возрастает, при этом максимум смещается к более высоким температурам при увеличении частоты. Результаты указывают на термически активируемый характер диэлектрического отклика материала.

Xülasə

Bu işdə CVD metodu ilə alınmış polikristal ZnSe-nin fiziki xassələri tədqiq edilmişdir. Rentgen strukturu analizi materialın ifadəli teksturaya malik birləşən polikristal quruluşa sahib olduğunu təsdiqləmişdir. SEM və rentgen mikroanaliz nəticələri səthin homogenliyini və stexiometriyadan cüzi kənarlaşmanı – selenin artıq miqdarı istiqamətində – göstərmişdir. Dielektrik keçiriciliyin həqiqi və xəyali hissələri öyrənilmişdir. Dipol və miqrasiya

polyarizasiyasının relaksasiya prosesləri ilə əlaqədar olaraq güclü tezlik və temperatur dispersiyası müəyyən edilmişdir. Tezliyin artması ilə dielektrik keçiricilik azalır, temperaturun yüksəlməsi ilə isə artır; eyni zamanda maksimum qiymət tezliyin artması ilə daha yüksək temperaturalara sürüşür. Nəticələr materialın dielektrik cavabının istiliklə aktivləşən xarakterə malik olduğunu göstərir.

Abstract

This work investigates the physical properties of polycrystalline ZnSe obtained by the CVD method. X-ray structural analysis confirmed a single-phase polycrystalline structure with a pronounced texture. SEM and X-ray microanalysis revealed surface homogeneity and a slight deviation from stoichiometry toward selenium excess. The real and imaginary parts of the dielectric permittivity were studied. A pronounced frequency and temperature dispersion was observed, attributed to relaxation processes of dipolar and migration polarization. With increasing frequency, the dielectric permittivity decreases, while it increases with rising temperature; moreover, the maximum shifts toward higher temperatures as frequency increases. The results indicate a thermally activated nature of the dielectric response of the material.

DƏYİŞƏN ELEKTRİK SAHƏSİNDƏ *ZnSe* KRİSTALLARININ ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİ

¹*Abbasov İ. İ.,* ²*Aslanov R. B.,* ³*Hüseynov C. İ.,* ³*Məmmədli Ç. A.*

¹*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Bakı şəhəri*

²*Azərbaycan ET nazirliyinin Biofizika İnstitutu, Bakı şəhəri*

³*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı şəhəri*

ibrahimabbasov179@gmail.com, jahangirhuseynov1958@gmail.com

Açar sözlər: CVD sintezi, XRD analizi, Raman spektroskopiyası, EDS analiz, elektrik keçiriciliyi, impedans spektroskopiyası, Jonscher qanunu

Giriş

Müasir elektron və optoelektron texnologiyalarda geniş qadağan olunmuş zona eninə malik yarımkeçirici materiallar, xüsusən A^2B^6 tipli sink selenid (*ZnSe*) kristalları xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu materiallar yüksək elektrik müqaviməti, aşağı dielektrik itkiləri, mexaniki dayanıqlılıq, radiasiya müqaviməti və ətraf mühit parametrlərinə qarşı sabitlik kimi üstün xüsusiyyətlərə malikdir. *ZnSe* kristalları 0,6–20 *mkm* diapazonunda şəffaf olub, CO_2 lazer optikasında, infraqırmızı sistemlərdə, termal görüntülmə və gecəgörmə cihazlarında geniş istifadə olunur. İri ölçülü, yüksək şəffaf və bircinsli *ZnSe* kristallarının alınması üçün ən səmərəli üsul qaz fazasından kimyəvi buxar çökdürülməsi (CVD) texnologiyası hesab olunur. Bu metod vasitəsilə alınan kristallar minimal quruluş defektlərinə və yüksək optik keyfiyyətə malik olur.

Son illərdə bu birləşmələrin nazik təbəqə, kvant nöqtələri və nanokristallar formasında alınması onların tətbiq imkanlarını genişləndirmişdir. Ölçü effektləri nəticəsində qadağan olunmuş zonanın genişlənməsi spektral xassələrin idarə olunmasına şərait yaradır və bu materialları yüksək səmərəli optoelektron sistemlər üçün perspektivli edir. A_2B_6 tipli yarımkeçiricilər arasında sink selenid (*ZnSe*) kristalları xüsusi yer tutur. Bu materiallar yüksək xüsusi müqavimət, aşağı dielektrik itkilər, mexaniki dayanıqlıq və radiasiyaya davamlılıq kimi üstün xassələrə malikdir. *ZnSe* kristalları 0.6–20 μm spektral diapazonda şəffaf olub, CO_2 lazer optikası, infraqırmızı sistemlər və termal təsvir qurğularında geniş tətbiq edilir.

ZnSe kristallarının elektrik sahəsi altında tezlik və temperatur asılı elektro-fiziki xassələrinin öyrənilməsi həm fundamental, həm də tətbiqi baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Elektrik keçiriciliyi, dielektrik sabiti və relaksasiya proseslərinin temperatur və tezlikdən asılılığının tədqiqi yükdaşıyıcıların kinetik mexanizmlərini və qüsurlarını aydınlaşdırmağa imkan verir. Bu baxımdan, təqdim olunan iş CVD üsulu ilə alınmış ZnSe kristallarının elektrik keçiriciliyinin tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Eksperimental Metodika

Yüksək təmizlikli ZnSe kristalları müxtəlif üsullarla yetişdirilə bilsə də, bu tədqiqatda yüksək struktur və optik homogenliyə malik nəticələr verdiyi üçün CVD (Chemical Vapor Deposition) metodu tətbiq edilmişdir. Tədqiq olunan ZnSe nümunələri sink və hidrogen selenid (H_2Se) buxarlarının istifadə olunduğu CVD prosesi ilə sintez edilmişdir. Çökmə prosesi qrafit substrat üzərində, argon daşıyıcı qazı mühitində həyata keçirilmişdir. Reaksiya zonasında sink və H_2Se buxarları qarışdırılmış, sinkin buxarlanma sürəti isə 600–800 °C temperatur intervalında və 100 torr-dan aşağı təzyiqdə tənzimlənmişdir. Reaktor kimyəvi və termiki dayanıqlı materialdan hazırlanmış, ZnSe-yə yapışmanı minimuma endirmək üçün qrafit substratlar və üzərinə nazik qrafit tozu təbəqəsi istifadə olunmuşdur.

Alınmış CVD-ZnSe nümunəsinin faza tərkibi və kristallik quruluşu Miniflex 600 rentgen difraktometri (XRD) ilə tədqiq edilmişdir. Səth morfologiyası və mikrostruktur JEOL JSM-6610LV skan edən elektron mikroskop (SEM) vasitəsilə öyrənilmiş, element tərkibinin paylanması isə rentgen mikroanalizlə müəyyən edilmişdir.

Raman səpilmə spektrləri Nanofinder 30 konfokal Raman mikrospektrometri (Tokyo Instruments, Yaponiya) ilə qeydə alınmışdır. Həyəcanlandırma mənbəyi kimi 532 nm dalğa uzunluğuna malik Nd:YAG lazer (maksimum güc 10 mW) istifadə olunmuş, spektral ayırdetmə qabiliyyəti 0.5 cm^{-1} -dən yüksək olmamışdır. Signal soyudulmuş CCD detektor (1024×128 piksel) vasitəsilə qeyd edilmişdir.

Nümunələrin elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı Keysight E4990A yüksək dəqiqlikli impedans analizatoru ilə 20 Hz–120 MHz tezlik intervalında ölçülmüşdür. Ölçmələrdən kompleks impedans $Z^* = R + jX$ hesablanmış, buradan keçiricilik və dielektrik xassələr müəyyən edilmişdir.

Nəticələr və onların müzakirəsi

ZnSe birləşməsi iki kristallik modifikasiyada mövcuddur: kubik (sphalerit, B3, F-43m) və heksaqonal (wurtzit, B4, P6₃mc). Termodinamik baxımdan stabil faza kubik sphaleritdir, wurtzit isə əsasən qazfazalı kristallaşma və ya üzvi sink birləşmələrinin parçalanması zamanı metastabil formada yaranır.

CVD üsulu ilə alınmış ZnSe nümunələrinin rentgen difraksiya (XRD) spektrində $2\theta \approx 27.2^\circ$, 45.2° və 53.6° bucaqlarında müvafiq olaraq (111), (220) və (311) refleksləri müşahidə olunur. 27.2° ətrafında güclü və dar pik (111) istiqamətində güclü tekstural yönəlməni göstərir. Nəticələr JCPDS (00-065-9603) etalon kartı ilə uyğunluq göstərərək əlavə fazaların olmadığını və yalnız kubik ZnSe strukturunun formalaşdığını təsdiqləyir. Bragg qanunu əsasında hesablanan qəfəs sabiti $a \approx 5.666\text{ Å}$ olub ədəbiyyat dəyərləri ilə uyğundur.

Şerrer düsturu ilə hesablanan kristallit ölçüləri təxminən (450–550) nm intervalındadır ki, bu da yüksək kristallik dərəcəsini və aşağı defekt sıxlığını göstərir. Dar difraksiya pikləri daxili gərginliyin az olduğunu və CVD prosesinin homogen kristal struktur formalaşdırdığını təsdiqləyir.

EDS analizi nümunələrin yüksək kimyəvi homogenliyini göstərmişdir. Zn və Se element xətləri aşkar olunmuş, kənar elementlər qeydə alınmamışdır. Atom nisbəti $Zn : Se \approx 48.78 : 51.22$ olub ideal 1:1 stexiometriyaya yaxındır. Se-nin cüzi artıqlığı CVD çökdürmə xüsusiyyətləri ilə izah olunur. Ümumi olaraq sistem yüksək kimyəvi təmizlik nümayiş etdirir.

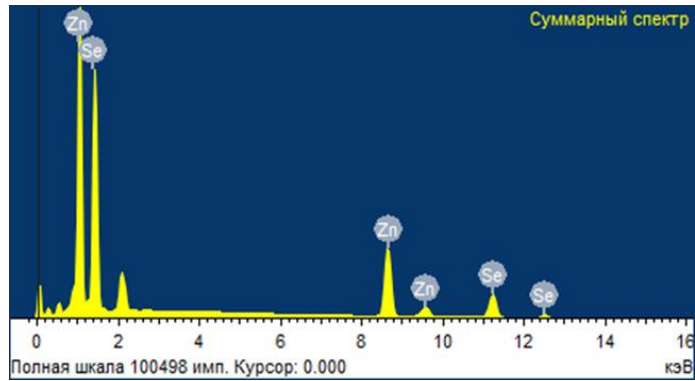
SEM/REMMA analizləri bəzi lokal sahələrdə sinkin üstünlük təşkil etdiyini göstərir ki, bu da ZnSe sisteminin ikitərəfli homogenlik oblastına malik olduğunu sübut edir. Sintez şəraitindən asılı olaraq həm n-tip (Se artıq), həm də p-tip (Zn artıq) keçiricilik əldə etmək mümkündür.

Raman spektroskopiyası nəticələri ZnSe kristal qəfəsinin vibrasiya xüsusiyyətlərini təsdiqləyir. Kubik struktur üçün xarakterik olan üç əsas zolaq ~ 160 , 195 və 246 cm^{-1} sahələrində müşahidə edilmişdir. 195 cm^{-1} pik TO (transversal optik), 246 cm^{-1} isə LO (uzununa optik) fonon moduna uyğundur və yüksək kristallik keyfiyyətini göstərir. $\sim 150\text{--}165 \text{ cm}^{-1}$ bölgəsində müşahidə olunan zəif və geniş zolaq ideal kubik ZnSe üçün fundamental birfonon keçidlərinə aid deyil və əsasən defektlər, taxıl sərhədləri və çoxfonon prosesləri ilə izah olunur. Bu, CVD üsulu ilə alınmış polikristallik strukturlarda tipik haldır. Ümumilikdə, Raman nəticələri nizamlı Zn–Se qəfəsinin mövcudluğunu, əlavə zolaqlar isə struktur qüsurlarını və çoxfonon effektlərini təsdiqləyir. Alınan nəticələr CVD üsulu ilə sintez olunmuş ZnSe nümunələrinin yüksək kristallik keyfiyyətə və yaxşı kimyəvi homogenliyə malik olduğunu göstərir.

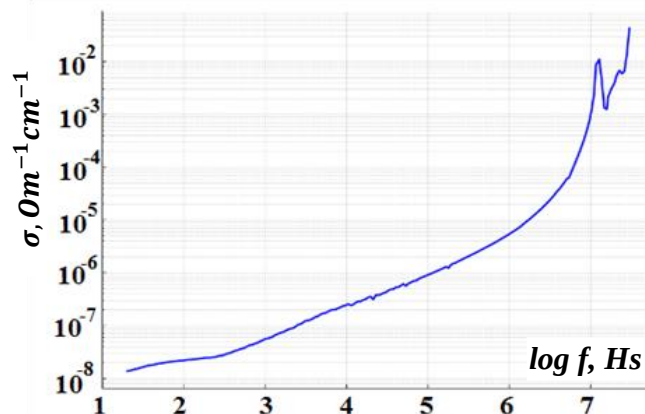
İmpedans spektroskopiyası əsasında aparılan ölçmələr zamanı CVD üsulu ilə yetişdirilmiş ZnSe kristallarının elektrik keçiriciliyinin tezlik tədqiq edilmiş və alınan nəticələr şəkil 2-də təsvir edilmişdir. Qrafikdən göründüyü kimi $\log(f) \approx 1.3\text{--}7.4$ tezlik intervalında CVD ZnSe polikristallarının xüsusi elektrik keçiriciliyinin təxminən $10^{-8}\text{--}10^{-2} \text{ S/m}$ aralığında eksponensial artdığı müşahidə olunur. Qrafiki şərti olaraq üç əsas oblasta ayırmaq olar:

1. Aşağı tezliklərdə ($\log f < 4$): σ dəyərləri çox kiçikdir və zəif artım müşahidə olunur. Bu oblastda elektrik keçiriciliyi əsasən ionların və tələyə düşmüş yükdaşıyıcıların yavaş relaksasiyası ilə məhdudlaşır.

2. Orta tezliklərdə ($4 < \log f < 6$): Keçiricilik artımı sürətlənir. Bu oblastda artıq sərbəst daşıyıcıların sıçrayışlı keçiricilik mexanizmi aktivləşir. Elektron və ionlar lokal energetik səviyyələr arasında tez-tez keçid edir.



Şəkil 2. CVD ZnSe kristallarının səthinin rentgen mikroanalizi



Şəkil 2. CVD ZnSe-nin elektrik keçiriciliyinin tezlik asılılığı

3. Yüksək tezliklərdə ($\log f > 6$): Elektrik keçiriciliyi kəskin artır və $\sim 10^{-5} - 10^{-2} \text{ S/sm}$ intervalına çatır. Bu oblastda artıq yükdaşıyıcıların hərəkəti dəyişən sahə ilə sinxronlaşır, dispersiv keçiricilik yaranır. Keçiricilik artımı Jonscher empirik qanununa tabe olur:

$$\sigma(\omega) = \sigma_{dc} + A\omega^s, \quad (0 < s < 1)$$

burada: σ_{dc} – sabit cərəyan (statik) keçiriciliyi, A – sabit, s – materialın lokalizasiyasından asılı olan tezlik göstəricisidir. Elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılılıq məlumatlarının Jonscher empirik qanunu ilə uyğunlaşdırılması nəticəsində $\sigma_{dc} = 1.55 \cdot 10^{-8} \Omega^{-1} \text{ sm}^{-1}$, $A = 4.48 \cdot 10^{-11} \Omega^{-1} \text{ sm}^{-1} \text{ Hz}^{-s}$ və $s = 0.94$ qiymətləri əldə edilmişdir.

Aşağı tezliklərdə keçiriciliyin sabit qalması σ_{dc} –yə uyğun olub, bu sahədə elektrik keçiriciliyinin əsasən sıçrayışlı mexanizmi ilə müəyyən olunduğunu göstərir. σ_{dc} –nin kiçik qiyməti materialda sərbəst yükdaşıyıcıların az olduğunu, onların əsasən lokallaşmış vəziyyətlərdə yerləşdiyini və cərəyanın bu vəziyyətlər arasında tədricən keçidlərlə baş verdiyini təsdiqləyir. Tezlik artdıqca $\sigma(f)$ qiymətinin yüksəlməsi dinamik proseslərin – dipol relaksasiyası və lokallaşmış daşıyıcıların enerjili keçidlərinin – intensivləşməsi ilə əlaqədardır. Bu artımın xarakterini müəyyən edən s –tezlik göstəricisi maddədə zəif lokalizasiya və nizamlı kristal strukturların mövcudluğu haqqında məlumat verir. Belə yüksək s dəyərləri sistemdə enerjili baryerlərin nisbətən kiçik, tələlərin isə səpələnmiş olduğunu, nəticədə daşıyıcıların tezliklə oyadılma qabiliyyətinin yüksəkliyini göstərir.

A parametrinin nisbətən kiçik olması dispersiv keçiriciliyin zəif ifadə olunduğunu, yəni materialda sabit (dc) komponentin üstünlük təşkil etdiyini göstərir. Bu tip davranış yarımkeçirici və ya nanostruktur kristal sistemlər üçün səciyyəvidir və elektronların lokal vəziyyətlər arasında enerjili keçidlər vasitəsilə daşındığını təsdiqləyir.

Nəticələr

Aparılan struktur və kimyəvi analizlər göstərir ki, CVD üsulu ilə sintez olunmuş ZnSe nümunələri yüksək kristallik keyfiyyətə malik kubik (sphalerit) fazasında formalaşmışdır. XRD nəticələri yalnız (111), (220) və (311) reflekslərinin müşahidə olunduğunu və əlavə fazaların olmadığını təsdiqləyir. Qəfəs sabiti ($a \approx 5.666 \text{ Å}$) ədəbiyyat qiymətləri ilə uyğunluq göstərir, Scherrer üsulu ilə müəyyən edilən 450–550 nm kristallit ölçüləri isə materialın yüksək struktur nizamlılığını və aşağı defekt sıxlığını göstərir. EDS analizi Zn–Se sistemində yüksək kimyəvi təmizlik və təxminən 1:1 stexiometriyaya yaxın tərkibin əldə olunduğunu təsdiqləyir. Raman spektroskopiyası isə kubik ZnSe üçün xarakterik fonon modlarını təsdiqləməklə yanaşı, zəif geniş zolaqlar vasitəsilə lokal defektlərin və çoxfonon proseslərinin mövcudluğunu göstərir.

Elektrik keçiriciliyinin tezlik asılılığı üzrə aparılan impedans analizləri ZnSe polikristallarında dispersiv keçiricilik mexanizminin mövcud olduğunu ortaya qoyur. Keçiricilik $\log(f) \approx 1.3 - 7.4$ intervalında $\sim 10^{-8} - 10^{-2} \text{ S/m}$ aralığında artaraq aşağı, orta və yüksək tezlik oblastlarında fərqli yükdaşıma mexanizmləri nümayiş etdirir. Aşağı tezliklərdə lokal tələlər və zəif relaksasiya prosesləri, orta tezliklərdə sıçrayışlı keçiricilik, yüksək tezliklərdə isə sahə ilə sinxron dispersiv davranış üstünlük təşkil edir. Jonscher qanununa uyğunlaşdırma nəticəsində alınan parametrlər ($\sigma_{dc} \approx 1.55 \times 10^{-8} \text{ S/sm}$, $s \approx 0.94$) materialda zəif lokalizasiya və nisbətən nizamlı kristal quruluşun mövcudluğunu təsdiqləyir. Ümumilikdə, nəticələr CVD üsulu ilə alınmış ZnSe kristallarının həm struktur, həm də elektrik baxımından perspektiv yarımkeçirici material olduğunu göstərir.

References

1. P.Y.Yu, M.Cardona — *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties* (textbook), Springer Science & Business Media, pp. 778, (2010);
2. J.Mao, W.Xu, S.Seo Exploring the dual phases of cadmium sulfide: synthesis, properties, and applications of hexagonal wurtzite and cubic zinc blende crystal structures // *Journal of Materials Chemistry A*, **12**, 23218-23242, (2024); DOI: <https://doi.org/10.1039/D4TA03496A>
3. J.Wang, Y.Xing, F.Wan, et al. Progress in ultraviolet photodetectors based on II–VI group compound semiconductors // *Journal of Materials Chemistry C*, **10**, 12929-12946, (2022); DOI: <https://doi.org/10.1039/D2TC02127G>
4. I. Abbasov, M. Musayev, J. Huseynov et al. Temperature behavior of X-Ray luminescence spectra of ZnSe. *International Journal of Modern Physics B*, VOL. 36, NO. 02, 2250018, (2020); <https://doi.org/10.1142/S0217979222500187>
5. A.E.Nabiyev, J.I.Huseynov, I.I.Abbasov Dielectric properties of Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO₃ ferroelectric films in an alternating electric field// *Canadian Journal of Physics*, Vol. 102, No 6, 325-331, (2024); <https://doi.org/10.1139/cjp-2023-0265>
6. M.S.Afanasiev, E.I.Goldman, G.V.Chucheva, et al. Conductivity of Metal–Dielectric–Semiconductor Structures Based on Ferroelectric Films. *Phys. Solid State* 62, 164–167 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1063783420010035>

Xülasə

CVD üsulu ilə sintez olunmuş ZnSe nümunələrinin struktur, morfoloji, vibrasiya və elektrik xassələri tədqiq edilmişdir. XRD analizləri yalnız kubik sphalerit (B3) fazasının formalaşdığını, (111) istiqamətində güclü teksturanı və ~5.666 Å qəfəs sabitini göstərmişdir. Scherrer hesablamaları yüksək kristallik keyfiyyəti və 450–550 nm kristallit ölçülərini təsdiqləmişdir. EDS nəticələri Zn və Se elementlərinin yaxın 1:1 stexiometriyasını və yüksək kimyəvi təmizliyi ortaya qoymuşdur. Raman spektrləri Zn–Se qəfəsinin xarakterik fonon modlarını və defektlərlə bağlı zəif çoxfonon zolaqlarını aşkar etmişdir. İmpedans spektroskopiyası nəticələri elektrik keçiriciliyinin tezliklə artdığını və Jonscher qanununa uyğun dispersiv davranış göstərdiyini təsdiqləmişdir. Ümumilikdə, nümunələr yüksək kristallik keyfiyyətə, yaxşı homogenliyə və zəif lokalizasiyalı yükdaşıma mexanizminə malikdir.

Резюме

Образцы ZnSe, синтезированные методом CVD, были исследованы с точки зрения структурных, морфологических, вибрационных и электрических свойств. Рентгенодифракционный анализ показал формирование исключительно кубической фазы сфалерита (B3) с выраженной текстурой по направлению (111) и параметром решётки ~5.666 Å. Расчёты по формуле Шеррера подтвердили высокую кристалличность и размеры кристаллитов 450–550 нм. EDS-анализ выявил близкое к стехиометрии соотношение Zn:Se ≈ 1:1 и высокую химическую чистоту. Раман-спектроскопия подтвердила характерные фоновые моды Zn–Se решётки и наличие слабых дефектно-обусловленных мультифононных полос. Импедансная спектроскопия показала частотно-зависимое увеличение проводимости, подчиняющееся закону Джонсера. В целом образцы характеризуются высокой кристалличностью, однородностью и слабой локализацией носителей заряда.

Abstract

ZnSe samples synthesized by the CVD method were investigated in terms of structural, morphological, vibrational, and electrical properties. XRD analysis confirmed the formation of a single cubic sphalerite (B3) phase with a strong (111) preferred orientation and a lattice parameter of ~ 5.666 Å. Scherrer calculations indicated high crystallinity with crystallite sizes in the range of 450–550 nm. EDS results revealed near-stoichiometric Zn:Se composition ($\sim 1:1$) and high chemical purity. Raman spectroscopy confirmed characteristic Zn–Se phonon modes along with weak defect-related multiphonon bands. Impedance spectroscopy demonstrated a frequency-dependent increase in electrical conductivity following Jonscher's power law. Overall, the samples exhibit high crystalline quality, good chemical homogeneity, and weak charge carrier localization with predominantly dispersive transport behavior.

ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОЕ РАССЕЯНИЕ КВАНТОВО-РАЗМЕРНОЙ ПЛЕНКИ С ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПЕЩЛЯ-ТЕЛЛЕРА

¹Гасанов Х. А., ²Гасанов О. М., ²Адгезалова Х. А.

¹Академия МЧС АР, г. Баку

²Азербайджанский государственный педагогический университет, Баку
khanlarhasanli@gmail.com

Ключевые слова: Квантовая теория рассеяния, потенциал деформации, двумерные электронные системы, гиперболический потенциал Пёшля–Теллера, матричные элементы, время релаксации.

Известно, что нахождение вероятности перехода является задачей квантовой теории рассеяния. Она решается на основе метода нестационарной теории возмущения [1]. Общий гамильтониан электрона в реальной решетке представим в виде [2,3] $\hat{H}_e = \hat{H} + \hat{H}'$. Где $\hat{H}'$ описывает взаимодействие электрона с фононами, которое считается малым возмущением; невозмущенный гамильтониан $\hat{H}$ в случае рассеяния на фононах $\hat{H}$ включает в себя также и гамильтониан идеального фононного газа, не взаимодействующего с электроном. Поскольку при длинноволновых акустических колебаниях элементарная ячейка почти не деформируется (колеблется только центр масс), то энергия взаимодействия не может быть пропорциональна самому смещению, а должна быть линейной функцией от первых производных смещения $u_{ak}(r)$ по координатам:

$$\hat{H}'_{ak} = E_1 \text{div} u_{ak}(r) \quad (2)$$

что называется потенциалом деформации, а коэффициент пропорциональности E_1 - константой потенциала деформации. Тогда в этом случае из [2,3] можем написать

$$u_{ak}(r) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_q \sum_{j=1}^3 e_i(q) [b_j(q) e^{iq a_n} + b_j^*(q) e^{-iq a_n}] \quad (3)$$

где $e_i(q)$ - единичный вектор поляризации, $b_j(q)$ - комплексные нормальные координаты, a_n - вектор решетки, N - число элементарных ячеек.

Подставляя (3) в (2), получим

$$\hat{H}'_{ak}(r) = \frac{iE_1}{\sqrt{N}} \sum_q \sum_{j=1}^3 (\vec{q} e_i(q)) [b_j(q) e^{iqr} + b_j^*(q) e^{-iqr}]$$

Волновую функцию системы представим в виде $|\beta N_{qj}\rangle$, где $\beta = (\lambda, n, \vec{k}_{2D}, \sigma)$, -набор квантовых чисел, $\vec{k}_{2D}$ -двумерный волновой вектор, σ -спиновое квантовое число N_{qj} характеризует число фононов с волновым вектором $\vec{q}$ и поляризацией j . Вычислим вероятность рассеяния [4,5] с гиперболическим потенциалом Пещля-Теллера. Известно, что

$$V(z) = \frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m} \lambda(\lambda+1) \text{th}^2 \alpha z; \quad \varepsilon = \frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m} (\lambda(\lambda+1) - (\lambda-n)^2) + \frac{\hbar^2 k_x^2}{2m} + \frac{\hbar^2 k_y^2}{2m}$$

$$\psi_{n, k_x, k_y, \lambda}(x, y, z) = e^{i(k_x x + k_y y)} \left(\frac{\alpha(\lambda-n) \Gamma(2\lambda-n+1)}{\Gamma(n+1)} \right)^{\frac{1}{2}} L_n^z(\lambda, n-\lambda, \text{th} \alpha z)$$

Здесь $n = 0, 1, 2, \dots$; $n < \lambda$; $\lambda > 0$; k_x, k_y - волновые векторы. Тогда вычисление матричного элемента на фононных функциях [2,3] дает формулу

$$\langle N'_{qj} | H'_{ak} | N_{qj} \rangle = \sqrt{\frac{\hbar \left(N_{qj} + \frac{1}{2} \mp \frac{1}{2} \right)}{2M \omega_j(q)}} \delta_{N'_{qj}, N_{qj} \mp 1}$$

А вычисление на электронных волновых функциях дает

$$\langle (\lambda', n', \vec{k}'_{2D}, \sigma') | e^{iq_z z} | (\lambda, n, \vec{k}_{2D}, \sigma) \rangle = \langle (\lambda', n') | e^{iq_z z} | (\lambda, n) \rangle \delta_{\sigma', \sigma} \delta_{\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D} \pm \vec{q}_{2D}}$$

Наконец зададим конкретные значения $\lambda = 1$, $n = 0$ и вычислим матричный элемент. Тогда получим

$$\langle (\lambda', n') | e^{iq_z z} | (\lambda, n) \rangle = \frac{\pi q_z \text{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha}$$

Вероятность рассеяния [2] получит вид

$$W = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_{N_{qj}} \frac{\hbar(N_{qj} + \frac{1}{2} \mp \frac{1}{2})}{2NM\omega_j(q)} (E_1 q)^2 \left(\frac{\pi q_z \text{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha} \right)^2 \delta_{N'_{qj}, N_{qj} \mp 1}$$

Используя формулы (11.34), (11.35) из [2], получим

$$W_{ak} = \sum_q w_1(q) (A^+ + A^-); \quad A^\pm = \left(N_q + \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \right) \delta(\varepsilon_{\vec{k}'_{2D}} - \varepsilon_{\vec{k}_{2D}} \mp \hbar\omega(q)) \delta_{\sigma', \sigma} \delta_{\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D} \pm \vec{q}_{2D}}$$

$$w_1(q) = \frac{\pi(E_1 q)^2}{2NM\omega(q)} \left(\frac{\pi q_z \text{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha} \right)^2$$

Здесь мы предположили, что электроны занимают нижнюю подзону ($\lambda = 1$, $n = 0$) спиновое вырождение неучитывается. Дальнейшее упрощение получается, если считать рассеяние упругим $k_B T > \hbar\omega(q)$, тогда

$$W = \frac{2\pi E_1^2 k_B T}{NM \hbar V_0^2} \left(\frac{\pi q_z \text{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha} \right)^2 \delta(\varepsilon_{\vec{k}'_{2D}} - \varepsilon_{\vec{k}_{2D}})$$

Если учесть обратное время релаксации и экранировку то, для вероятности рассеяния деформационно-акустических фононов конечную формулу

$$W^\pm(\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D}) = \sum_{\vec{q}, \sigma'} \frac{(\pi E_1 q)^2}{\hbar N \chi^* 2 M \omega_0 q^2} \left(N_q + \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \right) \left(\frac{\pi q_z \text{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha} \right)^2 \delta_{\sigma', \sigma} \delta_{\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D} \pm \vec{q}_{2D}} \delta(\varepsilon_{\vec{k}'_{2D}} - \varepsilon_{\vec{k}_{2D}} \mp \hbar\omega_0)$$

По аналогии для пьезоакустических фононов вероятность рассеяние

$$W^{\pm}(\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D}) = \sum_{\vec{q}, \sigma'} \frac{(\pi E_{pz} q)^2}{\hbar N \chi^* M \omega_0 q^2} \left(N_q + \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \right) \left(\frac{\pi q_z \operatorname{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha} \right)^2 \delta_{\sigma', \sigma} \delta_{\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D} \pm \vec{q}_{2D}} \delta(\varepsilon_{\vec{k}'_{2D}} - \varepsilon_{\vec{k}_{2D}} \mp \hbar \omega_0)$$

А для полярных оптических фононов

$$W^{\pm}(\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D}) = \sum_{\vec{q}, \sigma'} \frac{4\pi^2 e^2}{\hbar N \chi^* M \omega_0 q^2} \left(N_0 + \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \right) \left(\frac{\pi q_z \operatorname{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha} \right)^2 \delta_{\sigma', \sigma} \delta_{\vec{k}'_{2D}, \vec{k}_{2D} \pm \vec{q}_{2D}} \delta(\varepsilon_{\vec{k}'_{2D}} - \varepsilon_{\vec{k}_{2D}} \mp \hbar \omega_0)$$

То есть, в существующих формулах [2], добавляем множитель $\left(\frac{\pi q_z \operatorname{cosech} \left[\frac{\pi q_z}{2\sigma} \right]}{2\alpha} \right)^2$ для всех механизмов рассеяния.

В рамках квантовой теории рассеяния с использованием нестационарной теории возмущений исследованы механизмы электрон-фононного взаимодействия в кристаллической решётке. Установлено, что при учёте гиперболического потенциала Пёшля–Теллера для движения электронов в направлении квантования существенно изменяются матричные элементы взаимодействия, что приводит к модификации вероятностей рассеяния. Показано, что для акустических, пьезоакустических и полярных оптических фононов стандартные выражения дополняются множителем, отражающим пространственное распределение волновой функции в ограниченной геометрии. Полученные результаты обобщают классические модели рассеяния и могут быть использованы при описании двумерных электронных систем с учётом экранирования и квантово-размерных эффектов.

Литература

- [1] Л.Шифф *Квантовая механика*, М.;ИЛ, 1957
- [2] Б.М.Аскеров *Электронные явления переноса в полупроводниках* Л., 1985
- [3] А.И. Ансельм *Введение в теорию полупроводников*. 1978
- [4] Х.А.Гасанов, Дж.И.Гусейнов, В.В.Дадашова, и др. Диэлектрическая функция квантово-размерной тонкой пленки с модифицированным потенциалом Пешля-Теллера. X Международная конференция “Аморфные и микрокристаллические полупроводники” Санкт- Петербург, 4-7 июля 2016 года
- [5] П.П.Костробій, І.А.Рижа Вісник Національного Університету “Львівська Політехніка” “Фізико-математичні науки” Вип.№718,(2011) с.89-95

Резюме

В работе исследуется вероятность рассеяния электронов в кристаллической решётке в рамках квантовой теории рассеяния с использованием нестационарной теории возмущений. Рассмотрено электрон-фононное взаимодействие в приближении потенциала деформации для длинноволновых акустических колебаний. В качестве модельного потенциала для электронного движения вдоль координаты z используется гиперболический потенциал Пёшля–Теллера. Получены выражения для матричных элементов и вероятностей рассеяния для акустических, пьезоакустических и полярных оптических фононов с учётом двумерного характера электронного газа и эффектов экранирования. Показано, что в стандартные выражения для вероятностей рассеяния входит дополнительный множитель, связанный с пространственным распределением волновой функции в направлении квантования.

Xülasə

İşdə kvant səpilmə nəzəriyyəsi çərçivəsində kristal qəfəsində elektronların səpilmə ehtimalları araşdırılır. Uzun dalğalı akustik rəqslər üçün deformasiya potensialı yaxınlaşması istifadə olunmuşdur. Elektronların z istiqamətində hərəkəti üçün Pöşl–Teller tipli hiperbolik potensial qəbul edilmişdir. Akustik, piezoakustik və polyar optik fononlar üçün matris elementləri və səpilmə ehtimalları çıxarılmışdır. Nəticələr ikiölçülü elektron qazı və ekranlanma effektləri nəzərə alınmaqla ümumiləşdirilmişdir. Göstərilmişdir ki, mövcud ifadələrə kvantlaşdırma istiqamətində dalğa funksiyasının paylanması ilə bağlı əlavə amil daxil olur.

Abstract

This work investigates electron scattering probabilities in a crystal lattice within the framework of quantum scattering theory using time-dependent perturbation theory. Electron–phonon interaction is considered in the deformation potential approximation for long-wavelength acoustic vibrations. The electron motion along the z -direction is modeled using the hyperbolic Pöschl–Teller potential. Analytical expressions for matrix elements and scattering probabilities are derived for acoustic, piezoelectric acoustic, and polar optical phonons, taking into account the two-dimensional electron gas and screening effects. It is shown that an additional multiplicative factor associated with the spatial distribution of the wave function in the confinement direction modifies the standard scattering probability expressions.

Y_2O_3 NANO HİSSƏCİKLƏRİNİN RAMAN SPEKTROSKOPİYASI

*Hüseynov C. İ., Daşdəmirov A. O., Rzayev R. F.
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Bakı şəhəri*

Aşar sözlər: İttrium oksid, Skanedic elektron mikroskopu, Rentgen quruluş analizi, Raman spektroskopiyası, rəqs tezlikləri.

İttrium oksidi yüksək korroziyaya davamlılıq, kimyəvi və istilik dayanıqlığa, yüksək ərimə temperaturu, zəif istidən genişlənməyə, yüksək istilik keçiriciliyinə və digər xüsusiyyətlərə malik əla keramika materialıdır. Geniş spektral diapazonda şəffaflıq ($0,2\text{--}8\text{ }\mu\text{m}$), yüksək dielektrik nüfuzluğu ($\sim 14\text{--}18$), böyük sındırma əmsalı (~ 2), qadağan olunmuş zonanın geniş eni ($\sim 5,8\text{ eV}$) kimi əla elektron xüsusiyyətlərə malikdir. Y_2O_3 – ün belə mühüm xüsusiyyətləri effektiv optoelektronik cihazların yaradılması ilə məşğul olan mütəxəssislərin xüsusi diqqət mərkəzindədir [1].

Son zamanlarda funksional materiallarda ölçü effektləri geniş şəkildə tədqiq edilir. Müxtəlif morfolojiyalı nanoölçülü nadir torpaq metal oksidləri çox diqqəti cəlb etmişdir. Nanostrukturlu oksiddən istifadənin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, hissəciyin ölçüsü nanometrik səviyyədə saxlanıldıqda onun mexaniki xassələri yaxşılaşır. Nanostrukturlaşdırılmış itrium oksidi (Y_2O_3) ağır nadir torpaq metal oksidlərinin ən mühüm nanohissəciklərindən biridir, bərk cisimli lazerlər, fosforlar və sintillyatorlar üçün perspektivli material hesab olunur [2, 3].

Tədqiqat numunəsi nano kristal şəklindədir, sıxlığı $0,31\text{ q/sm}^3$, təmizlik dərəcəsi 99.995 %, kristal hissəciklərinin ölçüsü 30–45 nm, xüsusi səthin sahəsi (SSA) $25\text{--}45\text{ m}^2/\text{q}$, ərimə temperaturu $2425\text{ }^\circ\text{C}$, buxarlanma temperaturu isə $4300\text{ }^\circ\text{C}$ -ə bərabərdir.

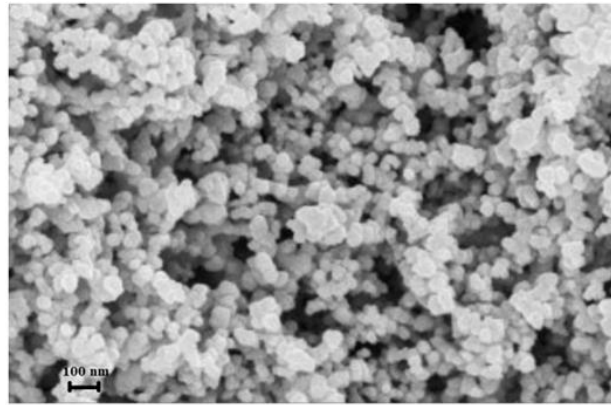
Y_2O_3 nanohissəciklərinin quruluş xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi zamanı ilk olaraq onların səth quruluşu və ölçü effekti tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar SEM, ZEISS, SIGMA VP cihazında

xarici təsirlərinin minimuma endirilmiş halında aparılmışdır. Nümunələrin quruluş xüsusiyyətləri rentgen difraksiyası metodu ilə, atom dinamikası isə Raman spektroskopiyaya metodu ilə otaq temperaturunda və normal şəraitdə tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr uyğun olaraq Ritveld metodu ilə Fullprof proqramı ilə və Qaus funksiyası ilə Origin proqramında analiz edilmişdir.

Tədqiqatlar zamanı Raman spektrometrində həyəcanlandırma mənbəyi kimi dalğa uzunluğu 532 nm , maksimal gücü isə 10 mVt olan Nd:YAG lazerindən istifadə edilmişdir. Raman spektrləri Origin 9 proqramında analiz edilərək Gauss funksiyalarına uyğun olaraq maksimumların təpə nöqtələrini təyin edərək maddələrin atom dinamikası müəyyən edilmişdir.

100 nm miqyasında Skanedici Elektron Mikroskopunda aparılan tədqiqatlar zamanı müəyyən edilmişdir ki, ovuntu halında olan nanohissəciklərin ölçüləri $d = 20 - 40\text{ nm}$ diapazonunda dəyişir. Şəkil 1-də itrium oksid nanohissəciklərinin səth morfolojiyası göstərilmişdir.

İttrium oksid nanohissəciklərinin kristal quruluşu otaq temperaturunda rentgenoqrafiya metodu ilə tədqiq edilməsi zamanı müəyyən edilmişdir ki, Y_2O_3 birləşməsinin kristal quruluşu yüksək simmetriyaya malikdir. Elementar özəyin quruluşu $1a - 3$ fəza qruplu kubik simmetriyaya uyğun gəlmişdir. Elementar özəyin parametrləri: $a = b = c = 10.5958\text{ Å}$ təyin edilmişdir. Məlumdur ki, itriumun oksidləşmə dərəcəsi 3-dür. Ritveld metodu ilə analiz edilməsi zamanı müəyyən edilmişdir ki, kristal qəfəsdə üçvalentli itrium atomları iki fərqli kristalloqrafik mövqedə dayanırlar. Birinci itrium atomu (Y_1) $x = 0.25, y = 0.25$ və $z = 0.25$ koordinatlarında, ikinci itrium atomu (Y_2) $x = -0.0165, y = 0$ və $z = 0.25$ koordinatlarında qərarlaşırlar. İkivalentli oksigen atomları isə eyni kristalloqrafik mövqedə: $x = 0.3942, y = 0.1428$ və $z = 0.3825$ koordinatlarda qərarlaşırlar. Oksigen atomları itrium atomları ilə $d_{\text{O-Y}} = 2.1628 - 2.4083\text{ Å}$ diapazonunda müxtəlif uzunluqlu kovalent rabitələr yaradırlar. Eyni element atomları arasındakı rabitələrin uzunluğu isə daha böyük qiymətə malik olurlar. Diamond 3.2. proqramında kristal quruluşun analiz edilməsi zamanı müəyyən edilmişdir ki, itrium oksidin elementar qəfəsində ən yaxın mövqedə yerləşən oksigen atomları arasında məsafələr: $d_{\text{O-O}} = 2.8207 - 3.7003\text{ Å}$, ən yaxın mövqedə yerləşən itrium atomları arasında məsafələr isə: $d_{\text{Y-Y}} = 3.6416 - 3.8922\text{ Å}$, diapazonda yerləşirlər.

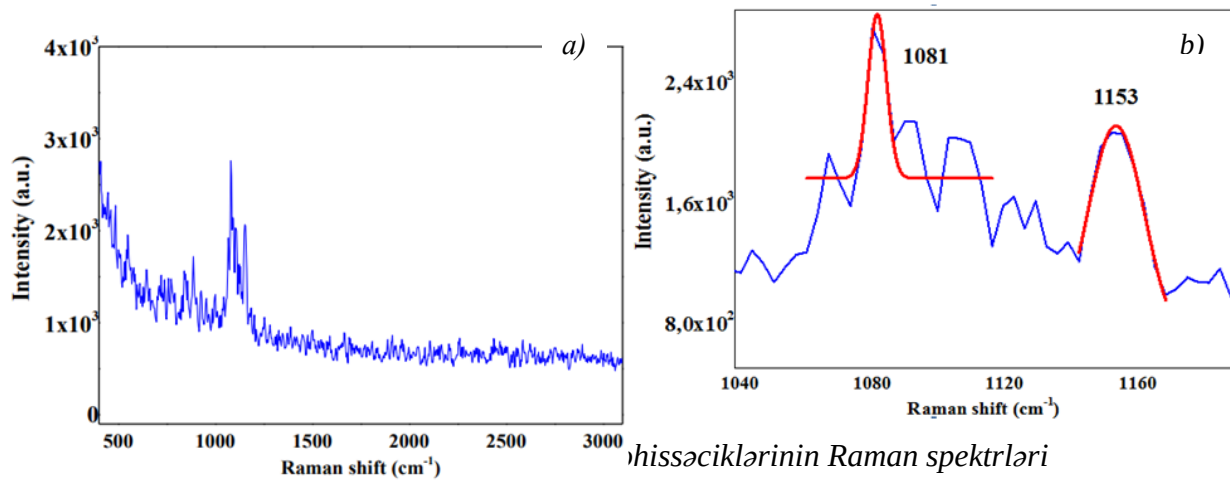


Şəkil 1. Y_2O_3 nanohissəciklərinin səth morfolojiyası

Atomlararası məsafələrin qiymətlərini müqaisə etdikdə görürük ki, atomların ion radiusları artdıqca, bir-birlərindən daha uzaq məsafələrdə yerləşirlər. Buna görə də, onların əmələ gətirdikləri rabitələrin uzunluqlarında bir qədər fərqlər meydana çıxır. Məlumdur ki, yüngül elementlər hesab edilən oksigen atomlarının ion radiusları daha kiçikdir. Daha ağır elementlər hesab edilən nadir torpaq elementlərinə aid itrium atomları oksigen atomlarından böyük ion radiuslarına malikdirlər. İtrium elementini tərk edən elektronlar kovalent əlaqə yaratdıqda oksigen atomunun xarici elektron təbəqəsini tamamlayırlar. Ona görə də ikiivalentli halda oksigen atomlarının ion radiusları daha böyük olur. Bu, oksigen-oksigen rabitələrinin oksigen-itrium rabitələrindən böyük olmasının səbəbidir.

Y_2O_3 birləşməsinin nanohissəciklərinin otaq temperaturunda alınmış Raman spektrləri şəkil 2-də verilmişdir. Məlumdur ki, Raman spektroskopiyası metodu ilə mümkün rəqs tezliklərinin hamısını müşahidə etmək mümkün deyil. Kristal quruluşunun simmetriyası yüksək olan birləşmələrdə isə daha az sayda rəqs modaları müşahidə edilir. Y_2O_3 nanohissəciklərinin kristal quruluşu 1a-3 fəza qruplu kubik simmetriyaya uyğun gəldiyinə görə də bu birləşmədə az sayda rəqs modasının müşahidə ediləcəyi gözlənilir. Raman spektroskopiyası metodunun xüsusiyyətlərindən məlumdur ki, ağır atomların əmələ gətirdikləri rabitələrin rəqs tezliklərinin qiyməti daha az olurlar. Daha böyük tezliklərdəki rəqslər əsasən O, H, C və s. atomların əmələ gətirdikləri rabitələrə uyğun gəlir. Y_2O_3 nanohissəciklərinin atom dinamikasında əsasən oksigen atomlarının əmələ gətirdikləri rabitələrin rəqslərinin müşahidə edilməsi mümkün olduğu üçün tədqiqatlar yüksək tezliklər oblastında: $500-3000\text{ sm}^{-1}$ aparılmışdır.

Nümunənin Raman spektrinin Qauss funksiyası ilə analizi zamanı müəyyən edilmişdir ki, göstərilən tezlik intervalında iki rəqs modası müşahidə edilmişdir. Bu rəqs



hissəciklərinin Raman spektrləri

modaları şəkil 3.3.2-də göstəriləndiyi kimi Qauss funksiyası ilə Origin 9 proqramında interpretasiya edilmişdir. Spektrdən göründüyü kimi ittrium oksid nanohissəciklərində müşahidə edilmiş qəfəs rəqsləri 1081 sm^{-1} və 1531 sm^{-1} tezliklərinə uyğun gəlir. Raman modalarının tezliklərinin yüksək qiymətə malik olması göstərir ki, bu tezliklər oksigen atomlarının əmələ gətirdikləri $Y - O$ rabitələrinin rəqslərinə uyğun gəlir.

Ədəbiyyat

1. Rao M., Lai A., Zan M., Gao M., Xiao Y. Synthesis of yttrium oxide nanoneedles with carbon dioxide carbonization. *Nanomater.* 2022; 12(19): 3440. doi: 10.3390/nano12193440.
2. Kruk A., Ziewiec K. Preparation, characterization and magneto-optical properties of Sm-doped Y_2O_3 polycrystalline material. *Micromachines.* 2022; 13: 2254. doi: 10.3390/mi13122254.
3. A.O.Dashdemirov, J.I.Huseynov, R.F.Rzayev, Y.I.Aliyev Thermophysical behavior in Y_2O_3 under high intensity fast neutron irradiation// *Modern Physics Letters B*, 2022, Vol. 36, No. 20, 2250092; https://doi.org/10.1142/S0217984922500920

Xülasə

Skanedici Elektron Mikroskopunda aparılan tədqiqatlar zamanı müəyyən edilmişdir ki, ovuntu halında olan Y_2O_3 nanohissəciklərin ölçüləri $d = 20-40$ nm diapazonunda dəyişir, kristal quruluşu xüsusiyyətləri tədqiq edilmiş, qəfəs parametrləri hesablanmışdır. Raman spektrində müşahidə edilən 1081 sm^{-1} və 1531 sm^{-1} tezliklərinə uyğun qəfəs oksigen atomlarının əmələ gətirdikləri Y – O rabitələrinin rəqslərinə uyğun gəldiyi göstərilmişdir.

Резюме

В ходе исследований на сканирующем электронном микроскопе установлено, что размеры наночастиц Y_2O_3 в виде порошке варьируются в диапазоне $d = 20-40$ нм, изучены свойства кристаллической структуры и рассчитаны параметры решетки. Показано, что наблюдаемые в спектре комбинационного рассеяния света частоты 1081 см^{-1} и 1531 см^{-1} соответствуют колебаниям связей Y – O, образованных атомами кислорода решетки.

Summary

During the scanning electron microscope studies, it was determined that the sizes of Y_2O_3 nanoparticles in the form of rubbing vary in the $d = 20-40$ nm range, the crystal structure properties were studied, and the lattice parameters were calculated. It has been shown that the frequencies of 1081 см^{-1} and 1531 см^{-1} observed in the Raman spectrum correspond to the oscillations of the Y – O bonds formed by lattice oxygen atoms.

PHOTOCONDUCTIVITY OF GASE-GE HETEROJUNCTION AND ITS APPLICATION AS A HIGH-EFFICIENCY PHOTODIODE

Babayeva A.F^{*a}, Ahmadova F.Sh^a

^aDepartment of Semiconductor physics, Baku State University, 23 Academic Zahid Khalilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan.

^{*}E-mail: fidanehmedova580@gmail.com.

Keywords: heterojunction, GaSe, Ge, photodiode, spectral response, interface effects

The study of photoconductivity in semiconductor heterojunctions represents a significant and rapidly developing field within modern optoelectronics, particularly in the design and fabrication of high-efficiency photodiodes. Among various material combinations, the heterojunction formed between n-type germanium (Ge) and p-type gallium selenide (GaSe) has attracted considerable scientific and technological interest due to the complementary physical properties of these semiconductors. The present work is devoted to the fabrication, experimental investigation, and theoretical interpretation of the photoconductive behavior of the n-Ge/p-GaSe heterostructure, as well as to the evaluation of its applicability as a high-performance photodiode with enhanced efficiency and broadened spectral response. The heterostructure was fabricated using a vacuum-assisted melt deposition technique, in which n-type Ge powder was thermally melted onto the surface of a p-type GaSe single crystal grown by the Bridgman–Stockbarger method. The process was carried out under high-vacuum conditions in order to minimize contamination and ensure improved interface quality. Upon gradual cooling, the molten Ge recrystallized on the GaSe substrate, forming a mechanically stable and electrically active heterojunction. This fabrication approach enables the formation of an intimate contact between

the two semiconductors, although it simultaneously introduces interfacial imperfections, defect states, and a transition (buffer) layer that significantly influence the charge transport and recombination mechanisms within the device. The photoconductivity characteristics of the obtained heterostructure were investigated using spectral photoelectric measurements over a wide photon energy range from approximately 1.3 eV to 2.9 eV, corresponding to the visible and near-infrared regions of the electromagnetic spectrum. The experimental results demonstrate that the heterojunction exhibits a broadened and enhanced spectral response compared to the individual constituent materials. A pronounced maximum in the photocurrent spectrum is observed near 2.15 eV, which corresponds closely to the fundamental bandgap energy of the GaSe layer, indicating that the dominant photogeneration of electron–hole pairs occurs within this material. In the lower photon energy region, particularly between 1.3 eV and 1.8 eV, an additional extrinsic photoconductivity band is detected, which can be attributed to impurity levels, defect states, and localized energy centers within the forbidden gap. This behavior reflects the presence of complex recombination-generation processes and highlights the contribution of non-idealities introduced during fabrication. Furthermore, the extension of the spectral sensitivity toward longer wavelengths is primarily associated with the Ge layer, which possesses a smaller bandgap and is capable of absorbing lower-energy photons. As a result, the combination of GaSe and Ge leads to a synergistic enhancement of the overall photoresponse, enabling the heterostructure to function effectively across a wider spectral range than either material alone. However, the analysis of the photocurrent behavior at higher photon energies reveals a noticeable decrease in the photoresponse, which is attributed to the presence of strong recombination processes at the heterointerface. These recombination losses are mainly caused by interface-related defects, structural imperfections, and possible interdiffusion between Ge and GaSe during the melt deposition process. The formation of a transition region at the interface modifies the local electronic structure, alters band alignment, and creates additional recombination centers that reduce the efficiency of charge carrier collection. Despite these limitations, the built-in electric field inherent to the p–n heterojunction plays a crucial role in the efficient separation of photogenerated carriers and their subsequent transport across the interface, thereby enabling measurable photoconductive and photovoltaic effects. Under illumination conditions, the n-Ge/p-GaSe heterostructure exhibits clear photodiode-like behavior, as confirmed by its current–voltage characteristics, which demonstrate the presence of an open-circuit voltage and a short-circuit current. The fill factor of the device is found to be approximately 0.54, indicating a moderate level of diode quality and carrier transport efficiency. The estimated energy conversion efficiency reaches approximately 19.5% under white-light illumination of 100 lx, although it should be noted that this value depends on the specific calibration of the light source and does not directly correspond to standardized solar illumination conditions. Nevertheless, this relatively high efficiency confirms the strong potential of the Ge/GaSe heterojunction for practical optoelectronic applications, including photodetectors, optical sensors, and energy conversion devices.

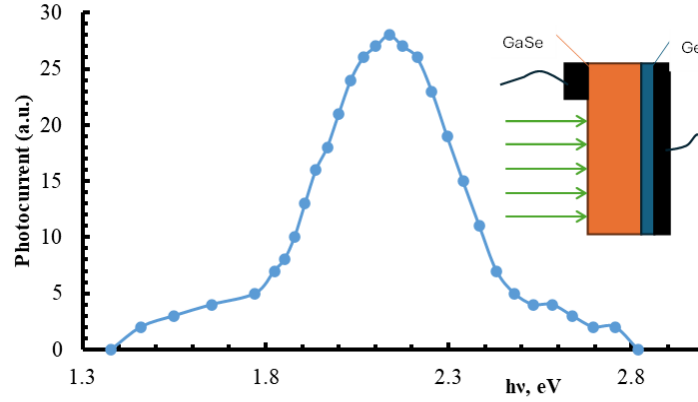


Fig.1. Spectral characteristics of n-Ge/p-GaSe heterojunction

The overall performance of the heterojunction is strongly governed by the quality and properties of the interface, which remains the most critical factor limiting device efficiency. While the employed melt deposition technique provides a relatively simple and cost-effective fabrication route, it also introduces challenges associated with defect formation, interfacial instability, and non-ideal recombination dynamics. Therefore, further improvements in device performance are expected to be achieved through advanced interface engineering, optimization of technological parameters such as temperature and cooling rate, and the implementation of surface passivation or alternative deposition methods aimed at reducing defect density and enhancing carrier lifetime. In conclusion, the n-Ge/p-GaSe heterojunction represents a promising material system for the development of high-efficiency photodiodes due to its broad spectral sensitivity, significant photoconductive response, and effective carrier separation mechanisms. The combination of the layered optical properties of GaSe with the well-established electronic characteristics of Ge results in a hybrid structure with enhanced functionality and practical applicability. Although interface-related recombination processes currently limit the maximum achievable efficiency, the obtained experimental results clearly demonstrate the feasibility and perspective of this heterostructure for next-generation optoelectronic devices, and further research focused on interface optimization and material quality improvement is expected to yield even higher performance in future implementations.

Reference

- [1] Almeida, J., Vobornik, I., Berger, H., Kiskinova, M., Kolmakov, A., Marsi, M., & Margaritondo, G. Spectromicroscopic evidence of Ge–GaSe chemical reactions: Not a Schottky system. *Physical Review B*, [55(8), p.4899].
- [2] Qasrawi, A. F., & Abdallah, M. M. Effect of Au/Ge substrate on the properties of GaSe. *Optik*, [168, p.481].
- [3] Qasrawi, A. F., & Abdallah, M. M. Performance of Ge-sandwiched GaSe layers. *Journal of Electronic Materials*, [47(8), p.4621].
- [4] Wang, H., Wu, H., Lin, W., Zhang, B., Li, X., Zhang, Y., & Lu, Y. Orientation-dependent large plasticity of single-crystalline gallium selenide. *Cell Reports Physical Science*, [3(4), p.1].
- [5] Abdullah, M. M., Bhagavannarayana, G., & Wahab, M. A. Growth and characterization of GaSe single crystal. *Journal of Crystal Growth*, [312(9), p.1534].
- [6] Balayeva, L., Akhmedova, F., Guseinov, A., Salmanov, V., & Baghirov, M. B. (2025).

Photophysical properties of Ga_{0.95}Bi_{0.05}Se crystals: Photoconductivity and photoluminescence studies. Journal of Luminescence, [277, 120992].

7. [7] Balayeva, L., & Guseinov, A. Absorption And Band Structure Modification In Boron-Substituted GaSe.

Abstract

This study investigates the photoconductivity properties of an n-type germanium (Ge) / p-type gallium selenide (GaSe) heterojunction and its application as a high-efficiency photodiode. The heterostructure was fabricated using a vacuum-assisted melt deposition technique. Spectral analysis reveals a broad photoresponse with a maximum near 2.15 eV. The device demonstrates high photosensitivity and an estimated efficiency of about 19.5%, indicating its strong potential for optoelectronic applications.

Xülasə

Bu işdə n-tip germanium (Ge) və p-tip gallium selenid (GaSe) əsasında hazırlanmış heteroqəçidin fotokeçiricilik xüsusiyyətləri və yüksək effektiv fotodiod kimi tətbiqi tədqiq edilmişdir. Heterostruktur vakuum şəraitində əridilmə üsulu ilə əldə olunmuşdur. Spektral analiz nəticəsində geniş spektral həssaslıq və 2.15 eV ətrafında maksimum fotocərəyan müşahidə edilmişdir. Quruluşun yüksək fotohəssaslığı və təxminən 19.5% effektivliyi onun optoelektron tətbiqlər üçün perspektivli olduğunu göstərir.

Аннотация

В данной работе исследованы фотопроводящие свойства гетероперехода на основе n-типа германия (Ge) и p-типа селенида галлия (GaSe), а также его применение в качестве высокоэффективного фотодиода. Гетероструктура была получена методом вакуумного плавления. Спектральный анализ показал широкий диапазон фоточувствительности с максимумом около 2.15 эВ. Устройство демонстрирует высокую чувствительность и эффективность около 19.5%, что подтверждает его перспективность для оптоэлектронных применений.

ASPE-Bi₂Te₃ KOMPOZİTLƏRİNDƏ TƏRKİBDƏN ASILI SƏTH MORFOLOGİYASININ TƏDQİQİ

Həmzəyeva A. Y., İmanova S. R.

Gəncə Dövlət Universiteti

ayselhemzeyeva15@gmail.com

Açar sözlər: aşağı sıxlıqlı polietilen (ASPE), Bi₂Te₃, polimer kompozitlər, səth morfologiyası, perkolasiya

Keywords: low-density polyethylene (LDPE), Bi₂Te₃, polymer composites, surface morphology, percolation

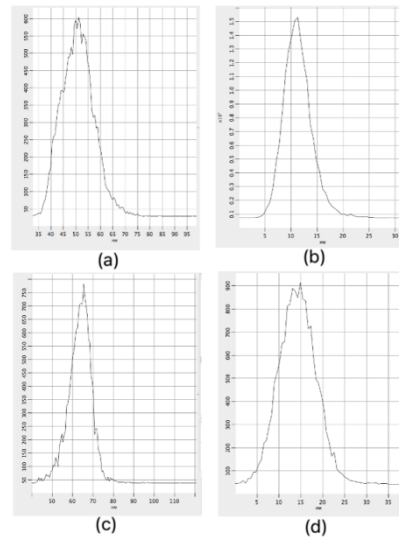
Polimer kompozitlər müasir texnologiyada mühüm rol oynayır və onların funksional xüsusiyyətləri əsasən struktur quruluşdan asılıdır. Xüsusilə yarımkeçirici doldurucuların əlavə olunması materialın elektrik və mexaniki xüsusiyyətlərini dəyişərək onu müxtəlif tətbiqlər üçün uyğun edir. Bi₂Te₃ kimi materialların ASPE matrisə daxil edilməsi interfasial qarşılıqlı təsirləri gücləndirir və səthin morfologiyasını dəyişir. Bu dəyişikliklərin düzgün qiymətləndirilməsi üçün yalnız vizual müşahidə kifayət etmir. Statistik analiz üsulları, xüsusilə histogram yanaşması, səthin daha dəqiq təsvirinə imkan verir. Kompozit nümunələr ilkin olaraq homogen qarışıq

şəklində toz halına gətirilmiş, daha sonra isə isti presləmə üsulu ilə formalaşdırılmışdır. Nümunələrin tərkibində Bi_2Te_3 doldurucusunun həcm payı müvafiq olaraq 5%, 10%, 30% və 50% olaraq seçilmişdir (şəkil 1). Səthin xüsusiyyətləri atom qüvvə mikroskopiyası vasitəsilə öyrənilmişdir. Əldə olunan məlumatlar əsasında səth hündürlüklərinin paylanması qurulmuş və aşağıdakı göstəricilər analiz edilmişdir:

- paylanmanın forması və simmetriyası
- səthin vahidliyi
- yüksək amplitudalı dəyişmələrin mövcudluğu

Bu yanaşma səth strukturunun obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan vermişdir.

Aparılan analizlər göstərir ki, doldurucu miqdarının artması kompozit materialın səth morfologiyasına tədricən və mərhələli şəkildə təsir edir və bu dəyişikliklər struktur-xassə əlaqələrinin formalaşmasında mühüm rol oynayır [1]. Aşağı konsentrasiyalarda (məsələn, 5% Bi_2Te_3) sistemdə polimer matris üstünlük təşkil edir və doldurucu hissəciklər əsasən izolyasiya olunmuş şəkildə paylanır. Bu səbəbdən səthin morfologiyası qeyri-bərabər və mikroheterogen xarakter daşıyır. Hündürlük paylanması histogramlarının asimmetrik forması səthdə lokal topoqrafik fərqlərin, yəni çökəklik və çıxıntıların qeyri-bərabər paylandığını göstərir ki, bu da zəif fazalararası qarşılıqlı təsirin nəticəsidir [2]. Doldurucu miqdarı 10%-ə çatdıqda isə sistemdə mühüm struktur dəyişiklikləri baş verir. Bi_2Te_3 hissəciklərinin daha homogen paylanması müşahidə olunur və polimer-doldurucu interfeysində qarşılıqlı təsir güclənir. Bunun nəticəsində səth daha hamar və nizamlı olur. Histogramların daralaraq simmetrik formaya yaxınlaşması səth hündürlüklərinin daha bərabər paylandığını göstərir. Bu mərhələ kompozitin optimal struktur vəziyyəti kimi qiymətləndirilə bilər, çünki həm morfoloji sabitlik, həm də potensial funksional xassələr (məsələn, elektrik və istilik keçiriciliyi) balanslı şəkildə təmin olunur. Doldurucu miqdarı daha da artırılaraq 30%-ə çatdıqda isə sistemdə yeni mərhələ-perkolasiya öncəsi vəziyyət formalaşmağa başlayır. Bu mərhələdə hissəciklər arasında məsafə azalır və onların qarşılıqlı əlaqəsi güclənir. Nəticədə səthdə daha iri strukturlar və aqreqatlar əmələ gəlir. Histogramlarda asimmetriyanın yenidən artması və yüksək hündürlüklərə doğru uzanması səthdə iri çıxıntıların yaranmasını göstərir. Bu hal perkolasiya həddinə yaxınlaşmanın əsas göstəricilərindən biridir və sistemdə davamlı keçirici yolların formalaşmağa başladığını göstərir. Nəhayət, 50% Bi_2Te_3 konsentrasiyasında kompozitdə artıq davamlı doldurucu şəbəkəsi formalaşır. Bu mərhələdə yarımkeçirici faza dominant rol oynayır və polimer matrisin təsiri nisbətən azalır. Səthin morfologiyası daha kobud, qeyri-bərabər və yüksək dərəcədə heterogen olur. Bu isə həm mexaniki, həm də elektrik xassələrə ciddi təsir göstərir. Elektrik keçiriciliyi artmasına baxmayaraq, səthin qeyri-bərabərliyi və struktur qeyri-sabitliyi bəzi tətbiqlərdə (xüsusilə yüksək dəqiqlik və sabitlik tələb edən nanoelektronik sistemlərdə) mənfi nəticələrə səbəb ola bilər [1,3].



Şəkil 1. Müxtəlif Bi_2Te_3 konsentrasiyalarında ASPE- Bi_2Te_3 kompozitlərinin səth hündürlüyü histogramları: (a) 5%, (b) 10%, (c) 30%, (d) 50%.

Tədqiqat göstərir ki, ASPE-Bi₂Te₃ kompozitlərində səth morfolojiyası doldurucu konsentrasiyasının funksiyasıdır.

- Aşağı konsentrasiyada polimer dominant rol oynayır
- Orta konsentrasiyada ən optimal struktur formalaşır
- Yüksək konsentrasiyada perkolasiya və qeyri-stabillik artır

Səth hündürlüyü histogramlarının analizi bu morfoloji dəyişikliklərin aşkar edilməsi və qiymətləndirilməsi üçün etibarlı və effektiv yanaşma hesab olunur.

Ədəbiyyat

1. Tanaka, T. Dielectric nanocomposites with insulating properties. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 12 (2005) 914–928.
2. Garcia, R., Perez, R. Dynamic atomic force microscopy methods. Surface Science Reports 47 (2002) 197–301.
3. Kirkpatrick, S. Percolation and conduction. Reviews of Modern Physics 45 (1973) 574–588.

Аннотация

Поверхностная морфология композитов НППЕ–Bi₂Te₃ исследована с помощью гистограмм распределения высот. При низких концентрациях преобладает полимерная матрица, при средних-наблюдается однородность, при высоких-эффекты перколяции.

Abstract

The surface morphology of LDPE-Bi₂Te₃ composites was studied using height distribution histograms. Results show matrix-dominated structure at low filler content, improved homogeneity at intermediate levels, and percolation effects at high concentrations.

DIELECTRIC BEHAVIOR OF GO/PVA NANOCOMPOSITES: EFFECT OF GO CONCENTRATION AND FREQUENCY–TEMPERATURE DEPENDENCE

Baghirov M. A.^{*a}, Eyvazova G. M.^a

^aNanoresearch laboratory, Baku State University, 23 Academic Zahid Khalilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan.

^{*}E-mail: bmbaghir@gmail.com

Keywords: Nanocomposites, Dielectric properties, Interfacial polarization, Frequency–temperature dependence

Among the materials that have attracted significant attention in recent years, graphene and graphene-based materials occupy a prominent position. Within this class, graphene oxide (GO), an allotropic derivative of graphene, is of particular interest. The presence of oxygen-containing functional groups in GO imparts hydrophilic properties, enabling it to be easily dispersed in aqueous media. These hydrophilic characteristics also facilitate its compatibility with various matrices, allowing the formation of composite materials [1].

One such polymer matrix is polyvinyl alcohol (PVA), which is also readily soluble in water and capable of forming flexible films. This combination enables the fabrication of high-quality nanocomposites at relatively low cost. The mutual solubility of both GO and PVA in water ensures the formation of highly homogeneous GO/PVA nanocomposites. Due to their film-forming ability, such nanocomposites can be applied in energy storage systems, gas sensors, and related fields [2,3].

In this study, GO was synthesized using a modified Hummers' method. PVA was dissolved in distilled water, after which GO was added to the PVA solution and mixed using ultrasonic treatment. The prepared mixture was cast into molds and dried at room temperature under ambient conditions. Nanocomposites with varying GO weight concentrations were fabricated by adjusting the GO content. The electrophysical properties of GO/PVA nanocomposites with different concentrations were investigated and are presented in Figure 1. The dielectric properties of the samples were studied over a frequency range of 1.2×10^2 – 10^6 Hz and a temperature range of 293–373 K.

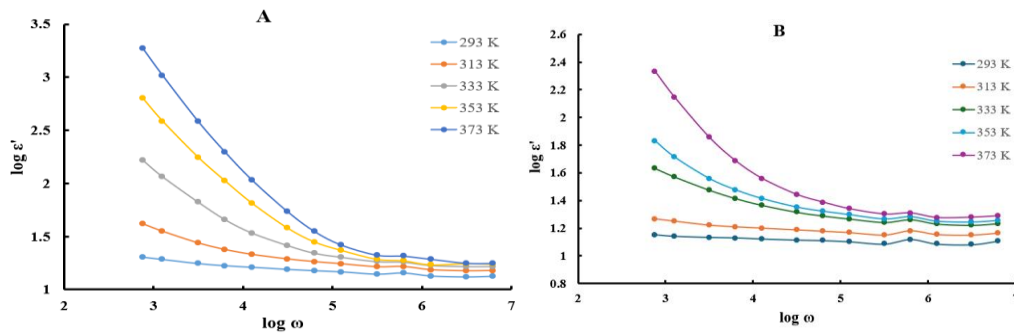
Figure 1 shows the frequency dependence of the real part of the dielectric permittivity for GO/PVA nanocomposites with different GO concentrations. Figure 1A corresponds to the pristine PVA film. As observed, the dielectric permittivity decreases with increasing frequency of the applied electric field. This behavior is attributed to the inability of polar groups to follow the rapidly alternating electric field at high frequencies, resulting in a significant reduction in permittivity. Furthermore, the temperature dependence indicates that the dielectric permittivity increases with increasing temperature, which is associated with the thermal activation of polar groups and enhanced segmental mobility of polymer chains. Consequently, the maximum dielectric permittivity is observed at 373 K.

Figure 1B presents the dielectric response of the 0.4 wt% GO/PVA nanocomposite. Compared to pristine PVA, the addition of 0.4 wt% GO results in a decrease in dielectric permittivity. This reduction can be attributed to the decrease in the effective electric field within the composite. Additionally, it is well known that GO forms hydrogen bonding interactions with the PVA matrix, which restricts the segmental mobility of polymer chains. The combined effect of these factors leads to a decrease in dielectric permittivity.

Figure 1C corresponds to the 0.8 wt% GO/PVA nanocomposite. At this concentration, a slight increase in dielectric permittivity is observed. This enhancement is attributed to the homogeneous dispersion of GO within the matrix and the contribution of interfacial polarization to the overall dielectric response.

However, as shown in Figure 1D, the dielectric permittivity decreases again for the 2 wt% GO/PVA nanocomposite. This indicates that beyond a certain threshold concentration, the dielectric permittivity decreases with increasing GO content. This behavior can be explained by the significant reduction of the effective electric field at higher filler loadings. Moreover, excessive GO content partially blocks dipolar orientation and polymer chain mobility, thereby reducing the dielectric response.

In summary, it has been established that the incorporation of GO generally leads to a reduction in dielectric permittivity, with 0.8 wt% GO identified as the optimal concentration for GO/PVA nanocomposites.



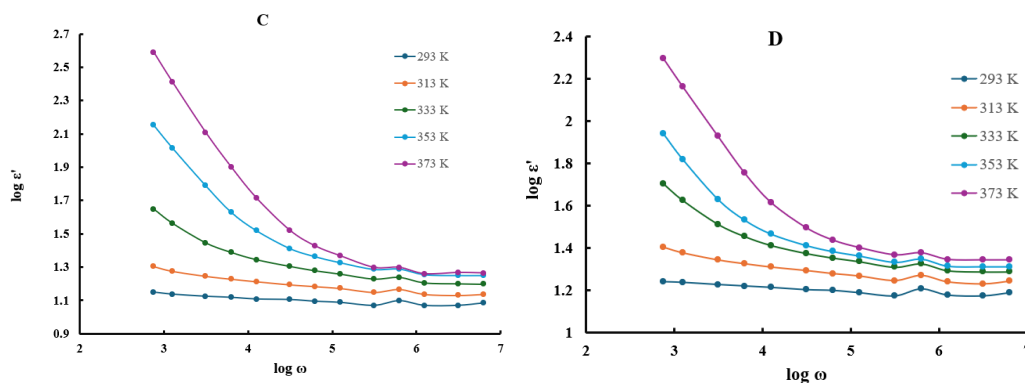


Fig 1. Frequency dependence of the real dielectric permittivity (ϵ') of GO/PVA nanocomposites at different temperatures for varying GO concentrations: (A) PVA, (B) 0.4 wt% GO, (C) 0.8 wt% GO, and (D) 2 wt% GO.

Reference

- [1]. Muradov M, Baghirov MB, Eyvazova G, Gahramanli L, Mammadyarova S, Aliyeva G, Huseynov E, Abdullayev M. Influence of gamma radiation on structure, morphology, and optical properties of GO and GO/PVA nanocomposite. *Radiation Physics and Chemistry*. 2023 Jul 1;208:110926.
- [2]. Theophile N, Jeong HK. Electrochemical properties of poly (vinyl alcohol) and graphene oxide composite for supercapacitor applications. *Chemical Physics Letters*. 2017 Feb 1;669:125-9.
- [3]. Du X, Gu S, Wang X, Zhang S, Zhang B, Yu G, Wang Z, Chen W, Li Q. The preparation of SiO₂/GO/PVA based hydrogel sensor and its application for rapid and sensitive detection of NH₃. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2025 Feb 1;424:136885.

Abstract

GO/PVA nanocomposite films were prepared using a solution casting method with graphene oxide synthesized via a modified Hummers' method. The dielectric properties were investigated in the frequency range of 1.2×10^2 – 10^6 Hz and temperature range of 293–373 K. The results show that dielectric permittivity decreases with increasing frequency due to dipolar relaxation limitations, while it increases with temperature owing to enhanced segmental mobility. The addition of GO exhibits a concentration-dependent effect, where 0.8 wt% GO provides optimal dielectric performance due to improved interfacial polarization and homogeneous dispersion.

Xülasə

GO/PVS nanokompozit təbəqələri modifikasiya olunmuş Hummers metodu ilə sintez edilmiş qrafen oksid əsasında məhlul tökmə üsulu ilə hazırlanmışdır. Nümunələrin dielektrik xassələri 1.2×10^2 – 10^6 Hz tezlik və 293–373 K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, tezliyin artması ilə dielektrik nüfuzluğu dipol relaksasiyası səbəbindən azalır, temperaturun artması ilə isə polimer zəncirlərinin hərəkətliliyinin artması nəticəsində yüksəlir. GO-nun əlavə edilməsi konsentrasiyadan asılı təsir göstərir və 0.8% GO optimal dielektrik xassələr təmin edir..

Аннотация

Наноккомпозитные плёнки GO/PVA были получены методом растворного литья с использованием оксида графена, синтезированного по модифицированному методу Хаммерса. Диэлектрические свойства образцов исследованы в диапазоне частот 1.2×10^2 – 10^6 Гц и температур 293–373 К. Установлено, что с увеличением частоты диэлектрическая проницаемость уменьшается вследствие ограничений дипольной релаксации, тогда как с ростом температуры она увеличивается за счёт повышения подвижности полимерных цепей. Добавление GO оказывает концентрационно-зависимое влияние, при этом оптимальные диэлектрические свойства наблюдаются при содержании 0.8 мас.% GO.

BORON EFFECTS ON OPTICAL PROPERTIES OF LPE-GROWN GaSe THIN FILMS

Balayeva L A^{*a}, Guseinov A. G.^a

^aDepartment of Semiconductor physics, Baku State University, 23 Academic Zahid Khalilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan.

^{*}E-mail: blamiye99@gmail.com

Keywords: GaSe thin films; Boron doping; Liquid phase epitaxy (LPE); Optical absorption; Band gap engineering; Quantum confinement effect; Optoelectronic materials.

Gallium selenide (GaSe) is a layered III–VI semiconductor that has attracted considerable attention due to its unique anisotropic structure and excellent optical properties. Owing to its direct band gap in the visible region, high photosensitivity, and fast carrier dynamics, GaSe is considered a promising material for optoelectronic devices, particularly in high-frequency and terahertz (THz) applications [1,2]. However, the performance of GaSe-based devices is often limited by structural imperfections. In bulk crystals, weak van der Waals interactions between adjacent layers lead to stacking faults and defect formation. In thin films, additional defects may arise during the growth process, significantly affecting charge transport and optical absorption characteristics [3,4]. To address these limitations, partial substitution of Ga atoms with boron has been proposed as an effective strategy. The incorporation of boron into the GaSe lattice leads to the formation of $\text{Ga}_{1-x}\text{B}_x\text{Se}$ solid solutions, which exhibit improved structural coherence and modified electronic properties due to enhanced interlayer coupling and local lattice distortion [5,6]. In this context, thin films of $\text{Ga}_{0.995}\text{B}_{0.005}\text{Se}$ were prepared using the Liquid Phase Epitaxy (LPE) method, which is known for producing high-quality films with reduced defect density and relatively low fabrication cost [7]. The present study focuses on the investigation of optical absorption and band gap properties of these thin films, along with a comparative analysis with their bulk crystal counterparts.

$\text{Ga}_{0.995}\text{B}_{0.005}\text{Se}$ compounds were synthesized using the direct melting technique. High-purity elemental gallium (Ga), boron (B), and selenium (Se) were weighed according to the desired stoichiometric ratio and sealed in evacuated quartz ampoules under a vacuum of approximately 10^{-5} Pa. The ampoules were gradually heated to temperatures in the range of 950–1100°C to ensure complete melting and homogenization of the components. The melt was maintained at this temperature for several hours to achieve uniform distribution of boron atoms within the GaSe matrix. Subsequently, single crystals were grown using the horizontal Bridgman method under controlled temperature gradients and slow cooling rates ($\sim 4^\circ\text{C/h}$), which facilitated the formation of high-quality layered crystals with strong c-axis orientation. Thin films were then

deposited on suitable substrates via the Liquid Phase Epitaxy (LPE) method. This technique allows controlled crystallization from a supersaturated solution, resulting in uniform film thickness and reduced structural defects compared to conventional deposition methods. Optical characterization was performed using UV–Vis spectroscopy in the wavelength range of 500–1000 nm. The absorption coefficient (α) was calculated from the absorbance data, and the optical band gap was determined using the Tauc relation for direct allowed transitions:

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g)$$

The optical properties of the $\text{Ga}_{0.995}\text{B}_{0.005}\text{Se}$ thin films were investigated using UV–Vis spectroscopy, and the obtained results are presented in Fig. 1(a) and Fig. 1(b).

Figure 1(a) shows the absorbance spectrum as a function of wavelength in the range of 500–1000 nm. It is observed that the absorbance is relatively high in the short-wavelength region (around 500–600 nm) and gradually decreases with increasing wavelength. This behavior is characteristic of direct band gap semiconductors, where strong absorption occurs near the fundamental absorption edge. The high absorbance in the visible region indicates that the thin film is an efficient light-absorbing material, making it suitable for optoelectronic applications such as photodetectors. To further analyze the optical transitions, the absorption coefficient (α) was calculated and used to construct the Tauc plot, as shown in Fig. 1(b). The linear region of the $(\alpha h\nu)^2$ versus photon energy ($h\nu$) plot confirms the presence of a direct allowed transition. By extrapolating the linear portion of the curve to the energy axis, the optical band gap of the thin film was determined to be 2.22 eV. A comparison with the bulk crystal reveals a noticeable increase in the band gap, as the bulk material exhibits a band gap of approximately 1.96 eV [8]. This widening of the band gap in the thin film can be attributed primarily to the quantum confinement effect, which becomes significant as the dimensionality of the material is reduced. In thin films, the spatial confinement of charge carriers leads to quantization of energy levels, resulting in an increase in the effective band gap. In addition, structural factors also contribute to this shift. The LPE-grown thin films may experience strain due to lattice mismatch with the substrate, leading to modifications in the electronic band structure. Furthermore, the incorporation of boron atoms into the GaSe lattice introduces local lattice distortions and enhances interlayer interactions, which can further influence the band dispersion and optical transitions.

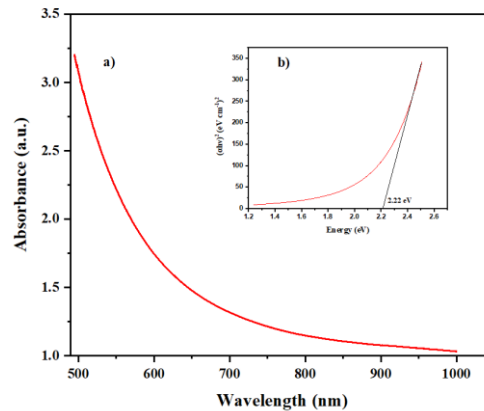


Fig.1. Optical characterization of thin film: (a) absorbance spectrum and (b) Tauc plot

Overall, the observed increase in band gap, combined with strong optical absorption and direct transition characteristics, demonstrates that thin films possess improved optical properties compared to their bulk counterparts. These features make them highly promising for applications in high-frequency optoelectronic devices and advanced photonic systems.

Reference

1. [1]. Sun, Y., Ren, Z., Zhao, Z., Zhang, F., & Xing, F. (2025). Gallium Sulfide and Gallium Selenide Nanosheets for Ultrafast Lasers and Optical Limiting. *ACS Applied Nano Materials*, 8(17), 8712-8719.
2. [2]. Liang, H., Xu, D., Chen, Y., Ma, Y., Guan, X., Zheng, Z., ... & Yang, G. (2026). Large-bandgap gallium selenide photodetectors and their application in anti-interference optoelectronic imaging and optical communications. *Journal of Materials Science & Technology*, 247, 109-118.
3. [3]. Le, P. T. T., Hieu, N. N., Bui, L. M., Phuc, H. V., Hoi, B. D., Amin, B., & Nguyen, C. V. (2018). Structural and electronic properties of a van der Waals heterostructure based on silicene and gallium selenide: effect of strain and electric field. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20(44), 27856-27864.
4. [4]. Sarkisov, S. Y., Kosobutsky, A. V., & Shandakov, S. D. (2015). Effect of van der Waals interactions on the structural and binding properties of GaSe. *Journal of Solid State Chemistry*, 232, 67-72.
5. [5]. Balayeva, L., Guseinov, A., Akhmedova, F., & Isik, M. (2026). Effect of Low-Concentration Boron Incorporation on the Structural Coherence and Phonon Modes of Layered GaSe. *Micro and Nanostructures*, 208604.
6. [6]. Balayeva, L., Akhmedova, F., Guseinov, A., Salmanov, V., & Baghirov, M. B. (2025). Photophysical properties of Ga_{0.95}B_{0.05}Se crystals: Photoconductivity and photoluminescence studies. *Journal of Luminescence*, 277, 120992.
7. [7]. Golze, S. D., Hughes, R. A., Menumov, E., Rouvimov, S., & Neretina, S. (2021). Synergistic roles of vapor-and liquid-phase epitaxy in the seed-mediated synthesis of substrate-based noble metal nanostructures. *Nanoscale*, 13(47), 20225-20233.
8. [8]. Balayeva, L., & Guseinov, A. Absorption And Band Structure Modification In Boron-Substituted GaSe.

Abstract

In this work, the optical properties of thin films obtained by the liquid phase epitaxy (LPE) method were investigated. The material was first synthesized by the direct melting method, and subsequently single crystals were grown using the Bridgman technique. Thin films were prepared and analyzed using UV–Vis spectroscopy. During the investigation of the absorption spectrum, high optical absorption was observed in the visible region. The optical band gap determined by the Tauc method was estimated to be 2.22 eV. Compared to the bulk crystal (1.96 eV), an increase in the band gap of the thin film was observed. This difference is explained by quantum confinement and size effects. The obtained results show that thin films can be considered as promising materials for optoelectronics and high-frequency photonic applications.

Xülasə

Bu işdə maye fazalı epitaksiya (MFE) üsulu ilə alınmış nazik təbəqələrinin optik xassələri tədqiq edilmişdir. Material əvvəlcə birbaşa əridilmə üsulu ilə sintez olunmuş, daha sonra Briçmen metodu ilə monokristallar yetişdirilmişdir. Nazik təbəqələr hazırlanaraq UV–Vis spektroskopiyası ilə analiz edilmişdir. Udma spektrinin tədqiqi zamanı görünən oblastda yüksək

optik udma müşahidə edilmişdir. Tauc metodu ilə təyin olunan optik qadağan olunmuş zonanın eni 2.22 eV kimi qiymətləndirilmişdir. Massiv kristalla (1.96 eV) müqayisədə nazik təbəqədəqadağan olunmuş zonanın eninin genişlənməsi müşahidə edilmişdir. Bu fərq kvant məhdudlaşması, ölçü effekti ilə izah olunur. Alınmış nəticələr göstərir ki, nazik təbəqələri optoelektronika və yüksək tezlikli fotonik tətbiqlər üçün perspektiv material hesab oluna bilər.

Аннотация

В данной работе исследованы оптические свойства тонких пленок, полученных методом жидкофазной эпитаксии (LPE). Материал сначала был синтезирован методом прямого плавления, после чего монокристаллы выращивались методом Бриджмена. Тонкие пленки были получены и исследованы с помощью UV–Vis спектроскопии. При изучении спектра поглощения в видимой области наблюдалось высокое оптическое поглощение. Оптическая ширина запрещенной зоны, определенная методом Така, составила 2.22 эВ. По сравнению с массивным кристаллом (1.96 эВ) в тонкой пленке наблюдается увеличение ширины запрещенной зоны. Данное различие объясняется эффектом квантового ограничения и размерными эффектами. Полученные результаты показывают, что тонкие пленки могут рассматриваться как перспективные материалы для оптоэлектроники и высокочастотных фотонных применений.

PHOTOVOLTAIC MATERIALS FOR SOLAR ENERGY

¹Nagi Yagubov, ¹Aytan Sultanova, ¹Gunel Ganbarova, ¹Yasin Jafarov, ¹ Kamala Aliyeva,
¹Amina Allahverdiyeva
¹Baku State University
aytansultanova@bsu.edu.az

Açar sözlər: fotovoltaik effekt, yarımkəçirici material, zolaq boşluğu, nazik film texnologiyası

Ключевые слова: фотовольтаический эффект, полупроводниковые материалы, зонная щель, тонкопленочная технология

Keywords: photovoltaic effect, semiconductor materials, bandgap, thin-film technology

Introduction: The rapid growth of energy demand and the environmental problems caused by conventional fuel sources have made the development of renewable energy technologies essential. Solar energy is one of the most promising sources in this regard. The direct conversion of solar radiation into electrical energy occurs based on the photovoltaic effect.

The practical development of modern solar cells accelerated in the mid-20th century, and semiconductor materials form the foundation of these photovoltaic systems. These materials absorb light energy, generate electron–hole pairs (excitons), and produce electric current through an internal electric field. The photovoltaic process is based on the energy band structure of semiconductors. The energy difference between the valence band and the conduction band is called the bandgap. When the energy of an incident solar photon exceeds this bandgap, an electron transitions to the conduction band, creating a free charge carrier.

The efficiency of solar cells is determined by the following parameters:

Bandgap width (optimal ~1.1–1.5 eV)

Absorption coefficient

Carrier lifetime and mobility

Recombination rate

An optimal bandgap allows absorption of the maximum portion of the solar spectrum.

Since crystalline silicon is the main photovoltaic material, approximately 90–95% of solar panels worldwide are silicon-based. Silicon solar cells are produced in two main forms: monocrystalline and polycrystalline silicon.

Monocrystalline cells are characterized by higher efficiency (20–24%) and long service life (>25 years). The main advantages of silicon include high stability, abundant raw material resources, and a well-developed industrial infrastructure.

However, due to the high energy consumption required in silicon production, the synthesis of GeSe- and SrSe-based semiconductor materials has been proposed and practically implemented. Layered (thin-film) crystals of the binary compound GeSe have been successfully obtained. Thin-film technologies aim to reduce material consumption and production costs.

To increase the energy storage capability (carrier lifetime) of the material, antimony (Sb) was introduced as a dopant into binary compounds, while bismuth (Bi) was added to enhance electrical conductivity. Due to their high absorption coefficients, these materials can operate effectively even in very thin layers. Their advantages include low material consumption, applicability on flexible substrates, and stable performance at high temperatures.

At the same time, the GeAs photovoltaic material was synthesized and demonstrated an efficiency higher than 25–28% under laboratory conditions. When doped with 0.05% Sb and 0.06% Bi, improvements in both energy storage capacity and electrical conductivity were observed. This material is mainly used in space technologies; however, its high cost limits its broader economic application.

Single crystals of these materials were obtained using the Bridgman and Czochralski methods. Thin films of GeSe were deposited by the chemical vapor deposition method.

The following directions are considered priorities in the development of photovoltaic systems:

- Creation of multi-junction structures

- Increasing light trapping through surface texturization

- Reducing recombination losses

- Integration of nanomaterials

Photovoltaic materials play a significant role in reducing carbon emissions. Solar energy does not emit greenhouse gases during operation and ensures long-term energy security. Modern research focuses on developing cheaper, more efficient, and more durable materials.

Conclusion: The conducted analysis shows that the development of photovoltaic materials plays a key role in the transformation of the energy sector. Although silicon technology currently holds a dominant position, thin-film and perovskite-based systems may increase their market share in the future. Increasing efficiency, reducing production costs, and improving material stability remain the main scientific challenges in this field. Contemporary research continues in the direction of multi-junction structures, new semiconductor compounds, and nanomaterial integration.

References

1. Goetzberger, A., Knobloch, V., Rauschenbach, B. V. L. *Solar Cell Materials: Developing Technologies*. Wiley-VCH, Vol.1, p. 25–74.
2. Park, N.G. Perovskite Solar Cells: An Emerging Photovoltaic Technology. *Materials Today*, Vol. 21, Issue 2, p. 123–134.

3.Ho-Baillie, A., & Green,M.A.Status of Crystalline Silicon Solar Cells. *Journal of Applied Physics*, Vol. 122, Issue 12, p. 123–145.

4.Al-Ezzi, A.S., Ansari.Photovoltaic Solar Cells: A Review. *Applied System Innovations*, Vol. 5, Issue 4, p. 1–20.

Резюме

В статье анализируются типы фотovoltaических материалов, используемых для преобразования солнечной энергии в электрическую, их физические принципы, методы синтеза и основные параметры, влияющие на эффективность. Кристаллический кремний, тонкопленочные полупроводники, соединения группы III–V и перовскитовые структуры рассматриваются сравнительно, а также представлены их преимущества и ограничения. Также обсуждаются современные тенденции развития и их роль в системах устойчивой энергетики.

Xülasə

Günəş enerjisini elektrik enerjisinə çevirmək üçün istifadə olunan fəotovoltaik materialların növləri, onların fiziki prinsipləri, sintez üsulları və effektivliyə təsir edən əsas parametrlər təhlil olunur. Kristal silisium, nazik film yarımkeçiricilər, III–V qrupu birləşmələri və perovskit strukturlar müqayisəli şəkildə nəzərdən keçirilir, onların üstünlükləri və məhdudiyyətləri təqdim olunur. Həmçinin müasir inkişaf tendensiyaları və onların davamlı enerji sistemlərində rolu müzakirə edilir.

РАЗЛИЧИЯ НАДБАРЬЕРНОГО И ТУНЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ НА ПРИМЕРЕ ОРИЕНТИРОВАННОГО ВОЛОКНА (ПОЛИКАПРОМИДА)

Тагиева Матанат Джамал кызы

Гянджинский Государственный Университет

matanat.taqieva@gdu.edu.az

Ключевые слова: долговечность, механическая нагрузка, туннельный переход, разрушение полимерного образца

Key words: durability, mechanical load, tunnel transition, polymer sample failure

Разрыв образца под действием приложенной механической нагрузки и пробой образца под действием электрического поля являются завершающими актами процессов, подготавливающих наступление макроскопической потери сплошности. Об этом свидетельствуют многочисленные экспериментальные данные по наблюдению так называемого «задержанного разрушения», когда после приложения некоторой постоянной нагрузки (механической или электрической) разрыв или пробой образца наступает не сразу, а по истечении некоторого времени, продолжительность которого зависит от величины нагрузки, а также от ряда других факторов (температура, структурное состояние объекта, внешняя среда, радиационное воздействие, электрические разряды и т.д.) [1,2]. Время ожидания разрыва (пробоя) принято называть долговечностью τ . Естественно заключить, что в течение этого времени в нагруженном объекте происходят изменения, развиваются процессы, приводящие к полной потере устойчивости объекта к действию

нагрузки. Таким образом, разрушение выступает не как критическое событие, а как кинетическое явление. Естественно, вызывает интерес природа и механизм элементарных актов этого процесса, что составляет важную часть разработки физики прочности или физики разрушения полимеров.

Оказалось, что использование такой простой, интегральной характеристики кинетики разрушения как долговечность дает значительную информацию об элементарных актах процесса подготовки полимерного тела к разрыву. Об этом свидетельствуют результаты широких исследований зависимости долговечности τ от температуры (T) и механической нагрузки (σ) [3,4,2].

В области умеренных и повышенных температур при сохранении стабильности структуры для многих полимеров (главным образом ориентированных) и не самых малых напряжений было получена единообразная форма зависимости τ (T, σ). Типичный пример экспериментальных данных приведен на рис.1.

Видно, что имеет место экспоненциальная зависимость τ ($1/T$) при различных σ .

$$U(\sigma) = U_0 - \gamma\sigma \quad (1)$$

U_0 имеет величину 2-3 эВ и тем самым удовлетворительно совпадает с энергией деструкции скелетных ковалентных связей в цепных полимерных молекулах [5,2].

Коэффициент γ имеет размерность объема. Его значение зависит от структурного состояния полимера и лежит в диапазоне $\sim(0.2 \div 10)$ нм³. Наиболее просто и последовательно связать величину коэффициента γ с локальными напряжениями ($\sigma_{\text{лок}}$). Действительно, уменьшение барьера действующим в этом месте напряжением ($\sigma_{\text{лок}}$) приближенно равно $V_a \cdot \sigma_{\text{лок}}$, где V_a - активационный объем. V_a близка к объему скелетного атома с боковыми привесками и составляет для простых полимеров $(2 \div 3) \cdot 10^{-2}$ нм³.

Тогда $\gamma \cdot \sigma = V_a \cdot \sigma_{\text{лок}}$, откуда $\gamma = \frac{\sigma_{\text{лок}}}{\sigma} V_a = q \cdot V_a$. q - коэффициент локальных перенапряжений. Такие перенапряжения на полимерных молекулах возникает вследствие неоднородности, дефектности структуры полимеров. Значения q лежат в диапазоне ~ 10 -500 [2].

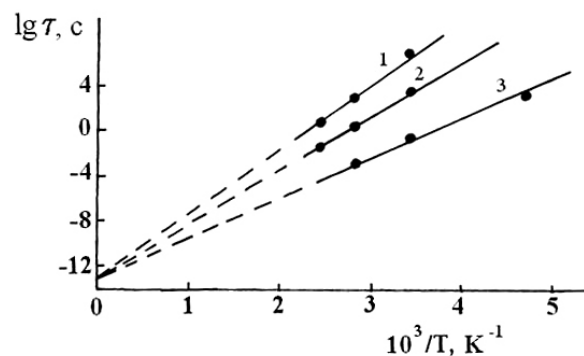


Рис.1. Температурная зависимость долговечности. Поликапроамид. Ориентированное волокно.

1- $\sigma=0.6$ МПа; 2- $\sigma=0.8$ МПа; 3- $\sigma=1.0$ МПа.

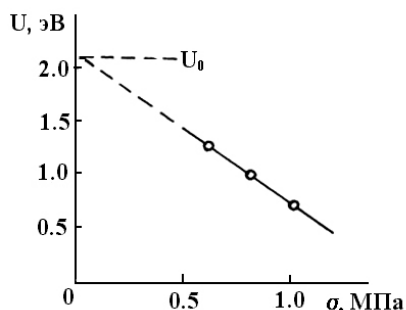


Рис.2. Силовая зависимость барьера разрушения. Полиакриамид. Ориентированное волокно.

Если представлять процесс подготовки разрыва как последовательность соответствующих элементарных актов, то долговечность τ логарифмически близка среднему времени ожидания таких актов [2]. Таким образом, полученное из экспериментов выражение (1) для долговечности макроскопических образцов может быть отнесено к элементарным актам кинетики разрушения полимеров [2].

Элементарными актами процесса подготовки нагруженного полимера к разрыву являются акты распада скелетных межатомных связей, находящихся под действием высоких локальных напряжений. Об этом свидетельствуют значения U_0 и γ .

Характерный «больцмановский» вид выражения (1) и фундаментальное значение предэкспонента $\tau_0 = 10^{-13}$ с указывает на то, что распад связей осуществляется по термофлуктуационному механизму, т.е. напряженные связи «ожидают» момента концентрации на них достаточно высокой тепловой энергии (энергии флуктуации $E_{фл}$) и при условии $E_{фл} \geq U(\sigma)$ происходит распад связей, т.е. разрывы макромолекул. О термофлуктуационном механизме разрушения свидетельствует поразительное согласование выражения с фундаментальным выражением для среднего времени $\tau_{фл}$ ожидания флуктуации тепловой энергии $E_{фл}$ на атомах в конденсированной системе:

$$\tau_{фл} = \tau_a \exp \left[\frac{E_{фл}}{kT} \right], \quad (2)$$

где $\tau_a = 10^{-13}$ с является периодом колебаний атомов.

Выражение (2) получено как при теоретическом анализе [7], так и на основе метода компьютерного моделирования атомной динамики [6].

Таким образом можно считать большой удачей в исследовании, то что при феноменологическом изучении такого макроскопического явления как разрыв полимерного тела, получают закономерности, отвечающие микроскопическим элементарным процессам. Следует отметить, что разрыв напряженных макромолекул в области повышенных и умеренных температур происходит по термофлуктуационному механизму, т.е. путем надбарьерного перехода через потенциальный барьер, разделяющий ассоциированное и диссоциированное состояние напряженной цепной молекулы. На рис. 3.3 схематически показан такой вариант перехода.

Что же будет происходить при понижении температуры?

Вероятность энергетических флуктуаций, необходимых для разрыва макромолекул (когда $E_{фл} \geq U(\sigma)$), экспоненциально падает. Поэтому должно резко возрастать

долговечность полимерного тела, уходя в астрономические значения. Т.е. термофлуктуационная, надбарьерная кинетика разрушения полимеров с понижением температуры резко затухает. Если бы преодоление барьера было возможно только путем надбарьерного перехода, то при низких температурах необходимо исключение кинетики разрушения.

Однако, как известно, возможен другой механизм перехода – подбарьерный или туннельный. И этот вариант схематически показан на рис.3. Вероятность туннелирования определяется высотой и шириной барьера, а также массой частиц. Важно подчеркнуть, что вероятность туннелирования (или среднее время ожидания туннельного перехода) практически не зависит от температуры [8].

Оказалось, что при низких температурах (90÷170 К) имеет место отступление от известной экспоненциальной зависимости механической долговечности от температуры (низкотемпературное плато). Сделано заключение о возможности

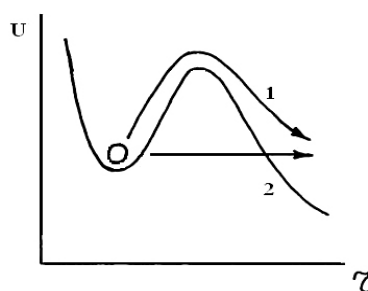


Рис.3 Схема преодоления барьера разрушения. 1-надбарьерный, термофлуктуационный переход; 2-подбарьерный, туннельный переход.

участия туннельных процессов в кинетике разрушения, а именно при низких температурах кинетика механического разрушения полимеров контролируется не термофлуктуационными (не надбарьерными), а туннельными (под-барьерными) процессами.

Поскольку выше была установлена тесная связь долговечности полимерного тела со средним временем ожидания элементарных актов подготовки тела к разрыву, то изучение долговечности при приложении электрического поля в области низких температур, в принципе, способно дать новую информацию о механизме элементарных актов и в этой области.

Литература

1. Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков. Энергия, 1968, 186 с.
2. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.К. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.:Наука, 1974, 560 с.
3. Журков С.Н., Назруллаев Б.Н. Временная зависимость прочности твердых тел. ЖТФ, 1953, т.23, №10, с.1677-1689
4. Журков С.Н., Абасов С.А. Температурная и временная зависимость прочности полимерных волокон. Высокомолек.соед., 193, т.3, №3, с.441-449
5. Журков С.Н., Абасов С.А. Связь между механической прочностью и термической деструкцией полимеров. Высокомолек.соед., 194, т.4, №11, с.1703-1708

6. Ракитский Ю.В., Щукин Е.Д., Ющенко В.С., Цукерман И.А., Сурис Ю.Б., Слущер А.И. Механизм формирования энергитических флуктуаций и методика его изучения. ДАН СССР, 1985, т.285, №4, с.941-945
7. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. Из-во АН СССР, М.:1945
8. Гольданский В.И., Трахтенберг Л.И., Флеров В.Н. Туннельные явления в химической физике. М.:Наука, 1986, 294 с.

Xülassə

Разрыв образца под действием приложенной механической нагрузки и пробой образца под действием электрического поля являются завершающими актами процессов, подготавливающих наступление макроскопической потери сплошности. вызывает интерес природа и механизм элементарных актов этого процесса, что составляет важную часть разработки физики прочности или физики разрушения полимеров. изучении такого макроскопического явления как разрыв полимерного тела, получаются закономерности, отвечающие микроскопическим элементарным процессам. Следует отметить, что разрыв напряженных макромолекул в области повышенных и умеренных температур происходит по термофлуктуационному механизму, т.е. путем надбарьерного перехода через потенциальный барьер, разделяющий ассоциированное и диссоциированное состояние напряженной цепной молекулы.

Summary

The fracture of a sample under an applied mechanical load and the fracture of a sample under an electric field are the final acts of the processes that pave the way for the macroscopic loss of continuity. The nature and mechanism of the elementary motions of this process are of interest, representing an important part of the development of force physics or the physics of polymer degradation. By studying a macroscopic phenomenon such as polymer fracture, patterns are obtained that correspond to microscopic elementary processes.

It should be noted that the rupture of strained macromolecules in the elevated and moderate temperature region occurs through the thermal fluctuation mechanism, that is, through a suprabarrier transition through a potential barrier separating the associated and dissociated states of a strained chain molecule.

ANOD YAXINLIĞINDAKI ELEKTRİK TƏBƏQƏSİNİN DİNAMİKASI

*Abdinov Ə.Ş., Hüseynov T.X., Davudov B.B., Ağayev M.N., Rəsulov E.A.,
Allahverdiyev Ş.A., Tağıyeva E.Q.*

abdinovaxmed@yandex.ru , tarlanhuseynov57@gmail.com
dbenyameddin@gmail.com, mustafaaqaev1950@gmail.com
eldarasul@gmail.com, shams_1954@mail.ru

Bakı Dövlət Universiteti

Açar sözlər. Qazlarda elektrik boşalması, müsbət sütun, qeyri-xətti elementar hadisələr, koherent quruluş, işıqlı təbəqənin özünüformalaşdırması, ikiqat təbəqə.

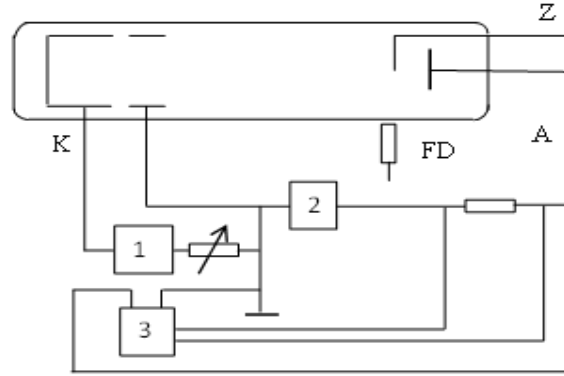
Qaz boşalması plazmasında anod yaxınlığındakı işıqlı təbəqənin voltamper xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi elementar hadisələrdən və fəza yükdaşıyıcılarının özbaşına yaranan koherent makroskopik quruluşunun dağılmasından asılıdır. Hansıki onların generasiyası fiziki olaraq özünüformalaşdırma prosesi ilə izah olunur.

Aşağıtemperaturlu qaz boşalması plazmasında anod qarşısında əmələ gələn parlaq oblastları çox zaman vizual görmək olur. Onlar adətən, ikiqat elektrik təbəqələri (İT) mövcud olan boşalmalarında anodun yaxınlığında boşalmalarında parlaq topa və yüksək tezlikli boşalmalarda plazmoidlər şəklində müşahidə edilir. Son eksperimental tədqiqatlarda [1, 4-9] sübut edilmişdir ki, onların yaxşı lokallaşdırılmış vizual görünüşünü, qaz boşalması plazmada da daha aydın şəkildə müşahidə etmək olar. Fəza və zamana görə belə makroskopik strukturların inkişafı cərəyanın zamandan asılılığını müəyyən edir ki, bu da özünüformalaşdırma prosesindən sonra yaranan qeyri-xətti sistemlərin tipik davranışına xas olan əlamətdir [2].

Eksperiment 500 mm uzunluğunda 55 mm diametrində silindrik şüşə boruda yaradılmış arqon qazının plazma sütununda aparılmışdır (şəkil 1). Xarici qida mənbəyinin köməyi ilə elektrodlar arasına 600 V potensial fərqi tətbiq edilir. Yaranan plazma anod tərəfdən yerlə birləşdirilir. Plazma vahid mənbədən qidalandırılır və zəif parıltıya malik sabit sistem kimi hesab etmək olardı. Qaz boşalmasına daxil edilən anod diametri 3 cm olan dairəvi formalı tantaldan hazırlanmışdır. Anodla müsbət sütun arasındakı məsafə 8 cm-dir. Anod katoda nisbətən müsbət yükləndiyindən, uzununa elektrik sahəsi istiqamətində katoddan çıxan elektronlar anod istiqamətinə doğru sürətləndirici sahədə hərəkət edirdilər. Qaz boşalması spektral təmiz arqon təsirsiz qazının $1 \cdot 10^{-1} \div 5 \cdot 10^{-1}$ Tor təzyiqində və boşalma cərəyanının 20 ÷ 300 mA intervalında dəyişdiyi şəraitdə yaradılmış və stratların mövcudluq oblasından kənarda ölçmələr aparmışdır. Plazmanın parametrlərini və potensial strukturlarını təyin etmək üçün Ləngmürün zondundan istifadə edilmişdir. Ölçmələr zamanı məlum olmuşdur ki, plazmada elektronların konsentrasiyası təxminən 10^9 sm^{-3} , temperaturu isə $T_e = 3 \text{ eV}$ -dur. Özüyazan potensiometrdən istifadə edərək (U) gərginliyini dəyişməklə (I) cərəyan şiddəti ölçülmüş və plazmaya daxil edilmiş zondun köməyi ilə voltamper xarakteristika çıxarılmışdır. Boşalma borusunun anod qarşısında yaranan ikiqat elektrik təbəqəsinin işıqlanma dərəcəsi ossilloqrafa birləşdirilmiş fotodiod vasitəsilə müşahidə olunmuşdur.

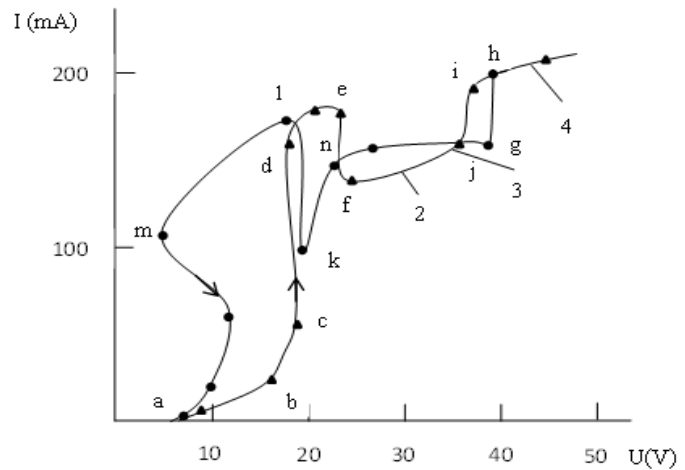
Qaz boşalmasında anod yaxınlığında baş verən işıqlanma oblastının müxtəlifliyi $I(U)$ xarakteristikasının müxtəlifliyi ilə

plazmasında anod qarşısında əmələ gələn parlaq oblastları çox zaman vizual görmək olur. Onlar adətən, ikiqat elektrik təbəqələri (İT) mövcud sferik təbəqələr şəkilində [1], aşağı gərginlikli qövs



Şəkil 1. Təcrübi qurğunun sxemi. 1- sabit mənbə, 2- dəyişən mənbə, 3- rekorder, A- anod, K- katod, Z- zond, FD- fotodiod.

və



Şəkil 2. Arqon plazmasında ikiqat təbəqədə statik voltamper xarakteristikası (P = 10-2 Tor).

əlaqələndirilir. Şəkil 2-də göründüyü kimi, gərginlik (U) sıfırdan başlayaraq tədricən artdıqca, cərəyanın qiyməti də tədricən artır (şəkil 2, a-b hissəsi). U -nun müəyyən bir qiymətindən başlayaraq, anodun qarşısında parlaq işıqlı oblast meydana gəlir. U artdıqca, işıqlanan oblastın parlaqlığı və həndəsi ölçüləri boşalma cərəyanının (I) artması ilə eyni zamanda baş verir. Gərginlik təxminən 10 V-a çatdıqda, voltamper xarakteristikasında nizamsız cərəyan pikləri müşahidə edilir (şəkil 2, b-c hissəsi). Gərginliyin həmin qiymətlərində mövcud olan qeyri-stabil fazada, anoda yaxın hissədəki işıqlanma oblastının sferik formaya və əksinə təsadüfi formaya keçidi müşahidə edilirdi.

Xarici gərginliyin qiyməti $U \approx 18$ V-a çatdıqda cərəyan kəskin artır (şəkil 2, c-d hissə). Cərəyan sıçrayışından sonra işıq saçan oblast daha intensiv və parlaq görünürdü. Gərginliyin sonrakı artımı cərəyanın tədricən artmasına gətirib çıxarırdı (şəkil 2, d-e hissə). Gərginliyin təqribən 22 V qiymətindən başlayaraq, cərəyan yenidən kəskin şəkildə artırdı (şəkil 2, e-f hissə). Həmin sıçrayışdan sonra təbəqədəki cərəyan sıxlığı və işığın intensivliyi qeyri-stabil hala keçərək, ossilloqrafda ona uyğun olaraq 20 kHz tezlikli müntəzəm dəyişən rəqslər yaranırdı. Gərginliyin daha da artması halında, təbəqə xaos rejimə keçərək, $U \approx 37$ V-da hərəkətsiz forma alırdı (şəkil 2, g-h hissə). Həmin hadisə cərəyanın artması (şəkil 2, g-h hissə) və kəskin artması hallarında da müşayiət olunurdu. Cərəyanın bu cür qeyri-stabil dəyişməsinə, şəkil 2-də göstərilən $I(U)$ xarakteristikasında f-d hissəsi uyğun gəlir. Nəhayət, gərginliyin yenidən artması halında cərəyanın qiymətində nizamsızlıq müşahidə edilirdi.

Şəkil 2-də göstəriləndiyi kimi, gərginliyin tədricən azalması halında, voltamper xarakteristikasında üç histerezis əyrisi yaranır. Həmin şəkildə birinci histerezis h-I hissəsində gərginliyin nisbətən aşağı qiymətində yaranır. Cərəyanın azalmasına uyğun olaraq (şəkil 2, i-j hissə) parlaq təbəqə qeyri-stabil vəziyyətə keçərək, yox olurdu. Bundan başqa, cərəyanın azalmasına uyğun olaraq 20 kHz tezliyə malik "rəqslər" meydana çıxırdı. Qeyd edək ki, pulsasiya edən təbəqə daha aşağı gərginlik qiymətlərində də mövcudluğunu qoruyurdu. Şəkil 2-də göründüyü kimi həmin təbəqə xarakteristikasının n-k hissəsində histerezis hissəsinə uyğun olaraq pulsasiya edir. Pulsasiya vəziyyəti yox olduqda, cərəyan k nöqtəsindən l nöqtəsinə sıçrayışla keçərək, təbəqə stabil vəziyyətə keçirdi (şəkil 2). Yükdəşıyıcıların yaranan strukturu, hətta generasiyası üçün tələb olunanlardan xeyli aşağı gərginlik qiymətlərində də öz vəziyyətini saxlayırdı. Gərginliyin qiyməti $U \approx 8$ V olduqda, işıqlı təbəqə yox olur və cərəyan azalırdı. Cərəyanın kəskin artmasından (şəkil 2, c-d-e hissə) sonra təbəqənin sabit, daha sonra isə "rəqsi" vəziyyətə keçidi baş verirdi.

Dövrəyə qoşulan xarici yük müqaviməti $I(U)$ xarakteristikasının formasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərdiyinə görə, müqavimətin qiymətini mümkün qədər kiçik götürmək lazım gəlirdi. Bizim tədqiqat işlərimizdə yük müqaviməti 10 Om götürülmüşdür və həmin müqavimət anodla müsbət sütun arasında yerləşdirilmişdir. Plazma mənbəyinə daxil edilmiş dəyişən müqavimət isə 500 Om-a bərabər idi.

Yuxarıda qeyd olunan eksperimental nəticələri nəzərə alsaq, $I(U)$ xarakteristikasının formasının mürəkkəbliyini makroskopik fəza yüklərindən asılı olaraq, işıq hadisələri ilə bağlı olduğunu görürük. Aydınır ki, həmin hadisələrdə elektrik sahəsinin əksi istiqamətində sürətlənmiş elektronlar neytral zərrəciklərlə qeyri-elastiki toqquşmalara məruz qalaraq, kvant keçidlərinin yaranmasına səbəb olur. Qeyd edək ki, gərginliyin kifayət qədər yüksək qiymətlərində anodun qarşısında lokallaşmış işıq emissiyası hadisəsi müşahidə edilirdi. Anodun qarşısında müəyyən məsafədə, həyəcanlaşma funksiyası kəskin şəkildə artır və nəticədə, həyəcanlaşma prosesləri hesabına kinetik enerjisini itirmiş elektronların toplandığı oblast, yəni mənfi fəza yüklərindən ibarət parlaq təbəqə əmələ gəlir. Həmin hissədə zərrəciklərin neytrallaşması prosesləri, sürətlənmiş elektronların enerjisinin işıq şüaları şəklində dağılması,

elektronların temperaturunun yüksəlməsi ilə yanaşı, neytral atomların əsas halda konsentrasiyasının sabit saxlanmasına kömək edir. Işıq hadisələrinin sonrakı inkişafında rekombinasiya etməyən elektronlar boşalmada əhəmiyyətli rol oynayır [1]. Elektronlar anodun qarşısında artan elektrik sahəsində əlavə sürətlənərək, toqquşmaların ən kəsiyinin kəskin şəkildə artdığı enerjilərə malik olurlar. İonlaşmaya səbəb olan elektronlar və ionlaşmadan sonra yaranan yeni elektronlar anod tərəfindən cəzb olunduğu üçün lokallaşmış mənfi fəza yükləri müsbət ionlarla zənginləşmiş plazma əmələ gətirir. Beləliklə, anod qarşısında parlaq işıqlı oblast - ikiqat təbəqə əmələ gəlir. Həmin təbəqə anoddan müəyyən məsafədə formalaşır [2]. Gərginliyin müəyyən qiymətində anodun qarşısında sferik işıqlı quruluşa malik parlaq təbəqə müşahidə olunur. Anodun səthinə yapışmış işıqlı təbəqə, gərginlik özünün böhran qiymətinə çatdıqda və ya onu keçdikdə spontan generasiya edir.

Şəkil 2, c-d hissəsinə uyğun olaraq, voltamper xarakteristikasında baş verən keçid, bir-birinə əks olan iki qonşu fəza yükləri arasında uzunmüddətli korrelyasiya kimi çıxış edən, induksiya olunmuş, elektrostatik qüvvələrin anodun təsirini həddindən artıq kompensasiya etməsi halında baş verir. Baxılan hal, elektronların ikiqat təbəqənin içərisində sürətlənməsi nəticəsində enerji qazanması və beləliklə, ionlaşma kəsiyinin kəskin şəkildə artması və nəticədə, qonşuluqda olan müsbət fəza yüklərinin konsentrasiyasının böhran qiymətə çatması zamanı yaranır. Ənənəvi qaz boşalmalarında qazın təzyiqi $10^{-1} \div 10^{-3}$ Tor intervalında dəyişdikdə, potensialın qiyməti qazın ionlaşma potensialına (U_i) bərabər olduqda (arqon üçün $U_i=15,6$ V), həmin keçid yaranır. Aşağı qaz təzyiqlərində həmin keçid, yalnız ikiqat təbəqənin potensialı qazın ionlaşma potensialından böyük olduğu halında müşahidə edilir [2]. Fəza yüklərinin koherent sferik düzlüyü kortəbii baş verir, çünki belə struktur lokal minimum enerji ilə xarakterizə olunur və ona görə də həmin keçidə əlavə enerji sərfiyyatı tələb olunmur.

Beləliklə, belə nəticəyə gələ bilərik ki, plazmadan ibarət olan işıqlı təbəqənin voltamper xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi, özünüformalaşdırma prosesinin müxtəlif fazalarından (xarakteristikada həmin fazalar müxtəlif böhran nöqtəri ilə qeyd edilmişdir), həmçinin termodinamik tarazlıq halından uzaq olan koherent fəza yüklərinin quruluşundan asılıdır. Məsələnin mürəkkəbliyi xarici məhdudlaşdırıcı rolunda iştirak edən elektronların lokal şəraitdə sürətlənməsidir. Onun nəticəsində, simmetriya, həyəcanlaşma və ionlaşma funksiyalarının kəsiyinin fəzaca paylanmasının pozulması halı baş verir. Həmin hadisə bir-birinə işarəcə əks olan qonşu fəza yükdaşıyıcılarının ayrılmasını təyin edir və onların kollelyasiyası induksiyalanmış elektrik qüvvələrini yaradır. Həmin qüvvələrin böhran qiymətlərində spontan olaraq, mürəkkəb quruluş bərpa olunur və onların mövcudluğu sferik ikiqat təbəqə ilə təmin olunur. Həmin ikiqat təbəqə ilkin müsbət elektrod rolunu oynayır, yəni onun mövcudluğu üçün vacib olan elektronların lokal sürətlənməsini təmin edir. İkiqat təbəqə, formalaşma prosesində sürətlənmiş elektronların kinetik enerjisini koherent fəza yüklərinin quruluşundan asılı olan elektrik sahəsinin enerjisinə çevirməklə, enerji toplayır. Beləliklə, ikiqat təbəqə özü enerji mənbəyi rolunu oynayır. Həmin enerji hesabına ikiqat təbəqələr plazma qurğularında zamana görə baş verən müxtəlif prosesləri stimullaşdırır.

Ədəbiyyat

- [1] G. Nicolis, in: The new physics, ed. P. Davies (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1989) p. 316.
- [2] S. Torven, in: Proc. XXI Int. Conf. On Phenomena in ionized gases, Bochum (1993) p. 346.
- [3] Tao An, R.L. Merlino and H. d'Angelo, J. Phys. D 26 (1994), p. 1906.
- [4] T. X. Hüseynov, Ə.H.Muradov, R.E.Abdullayev Plazma Sütününün iki kat Tabakasındaki Civa atomunun $6^3P_2 \rightarrow 7^1S_0$ Eçişinin Basamaksal Uyarılması / IIIrd NAT. ATOMIC and MOL. PHYS.

SYMP. Ataturk Univer, Turkey. 2000, B33, p.50.

5. [5] Гусейнов Т.Х. Процессы ускорения электронов и возбуждения атомов вблизи сужения плазменного столба в гелии // Вестник БГУ, Баку. 2001, №1, стр.52-59.

6. [6] А.Х.Мурадов, М.Мослехи-Фард, Гусейнов Т.Х. Влияние деформированного рельефа потенциала в области сужения на аксиальное распределение основных параметров плазмы разряда в гелии// Вестник БГУ, Баку. 2003, №1, стр.168-172.

7. [7] Moslehi-Fard M, Muradov A.Kh., Huseynov T.Kh. О влиянии величины прианодного падения потенциала на баланс числа электронов в анодной плазме с двойным слоем. Effect of the anode fall on the electron density balance in anode plasma with electric double layer// Письма в ЖТФ, Россия, Technical Physics Letters, USA. 2005, т.31, вып.5, V. 31, Issue 3., стр.1-5. p. 179–181.

8. [8] Гусейнов Т.Х., Агаев М.Н., Расулов Э.А.Релаксация электронов в двойном слое в плазме ртутного разряда // Межд. научн.-техн. журнал “Вимирювальна та Обчис. Техн. в Техно.Проц.”, Украина 2015, № 4 (53), стр. 75-78.

9. [9] Гусейнов Т.Х. Распределение потенциала и функции распределения электронов по энергиям в двойном слое в плазме ртутного разряда // Научный вестник НЛТУ Украины. 2015, в. 25, № 8,

Аннотация

Нелинейность вольт-амперной характеристики светящегося слоя вблизи анода в плазме газового разряда зависит от элементарных процессов и разрушения возникающей самопроизвольно когерентной макроскопической структуры объёмного заряда. Генерация светящегося слоя физически объясняется процессом самоформирования.

Abstract

The nonlinearity of the current-voltage characteristic of the luminous layer near the anode in a gas discharge plasma depends on elementary processes and the destruction of the spontaneously emerging coherent macroscopic structure of the space charge. The generation of the luminous layer is physically explained by the process of self-formation.

Cu İNTERKALASIYASININ GaSe LAYLI MONOKRİSTALLARININ SƏTH VƏ LAYLARARASI STRUKTURUNA TƏSİRİNİN SEM İLƏ TƏDQIQI

Sadıqlı L.E.

AR Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika Publik Hüquqi Şəxs, Bakı

Açar sözlər: *GaSe, SEM, interkalasiya*

GaSe yarımkeçirici monokristalları özünəməxsus kristal quruluşuna, geniş qadağan olunmuş zonaya və zəif Van-der-Vaals rabitəsi ilə birləşmiş laylı struktura malik olduğuna görə müasir optoelektronika və mikroelektronika sahəsində perspektivli materiallardan biri hesab olunur. Bu tip laylı yarımkeçiricilərdə laylararası oblastın modifikasiyası materialın fiziki və səth xassələrinin idarə olunmasında mühüm rol oynayır. Ədəbiyyat məlumatlarına görə, interkalasiya prosesi laylararası məsafənin dəyişməsinə, defekt strukturunun formalaşmasına və səth morfologiyasının yenidən təşkilinə səbəb olur ki, bu da kristalın mikrostruktur xüsusiyyətlərinə birbaşa təsir göstərir. Xüsusilə metal interkalantlarının laylararası oblastda yerləşməsi səthin relyefini, mikromorfologiyanı və laylararası qarşılıqlı təsiri dəyişdirən əsas amillərdən biri kimi qeyd olunur[1 – 5].

Tədqiqat işində GaSe laylı monokristallarında Cu interkalasiyasının səth və laylararası strukturuna təsiri Skanedic Elektron Mikroskopiyası (SEM) metodu ilə öyrənilmişdir. İlk GaSe

monokristalları Bricman-Stokbarger metodu ilə yetişdirilmiş, interkalasiya prosesi isə elektrokimyəvi metodika ilə mis kuporosu məhlulunda aparılmış və Cu atomları laylararası oblasta daxil olmuşdur. SEM analizləri GaSe kristalının səthinin müxtəlif miqyaslarda tədqiqinə və laylı quruluşun morfoloji xüsusiyyətlərinin müqayisəli şəkildə qiymətləndirilməsinə imkan vermişdir. Alınmış təsvirlərdə interkalasiyadan sonra səthin daha qeyri-bərabər quruluşa malik olduğu, layların aydın seçildiyi və laylararası sahələrdə struktur dəyişmələrinin baş verdiyi müşahidə edilmişdir.

SEM təsvirlərinin detallı analizi göstərir ki, Cu interkalasiyası nəticəsində laylararası sahədə lokal struktur dəyişmələri, mikropilləvari sahələr və defekt zonaları formalaşır. Laylar arasında Cu interkalant atomlarının yerləşməsi səthdə relyef fərqlərinin yaranmasına, layların qismən ayrılmasına və mikromorfoloji heterogenliyin artmasına səbəb olmuşdur. Bu proses kristalın daxili laylararası mühitinə modifikasiyasını və səth strukturunun yenidən təşkil olduğunu göstərir. Eyni zamanda, interkalasiya nəticəsində səthdə müşahidə olunan struktur elementləri laylararası qarşılıqlı təsirin dəyişməsi ilə izah olunur və Cu atomlarının kristal daxilində paylanması mikromorfoloji xüsusiyyətlərə birbaşa təsir etdiyini sübut edir.

Beləliklə, aparılmış SEM tədqiqatları Cu interkalasiyasının GaSe laylı monokristalların səth və laylararası strukturunu əhəmiyyətli dərəcədə modifikasiya etdiyini göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, interkalasiya prosesi səth morfolojiyasının formalaşmasına və laylararası qarşılıqlı təsirin dəyişməsinə səbəb olur. Alınmış nəticələr laylı yarımkeçirici materiallarda səth effektlərinin idarə olunması üçün Cu interkalasiyasının perspektivli yanaşma olduğunu təsdiq edir.

Ədəbiyyat

1. W.Jie, J.Hao. Two-dimensional layered gallium selenide: Preparation, properties, and applications. Advanced 2D materials (2016) <https://doi.org/10.1002/9781119242635.ch1>
2. R.B.Ardakani. Theoretical insights into band gap tuning through Cu doping and Ga vacancy in GaSe monolayer: A first-principles perspective. Journal of Electronic Materials (2024) <https://doi.org/10.1007/s11664-024-10977-2>
3. N.N. Kolesnikov, E.B. Borisenko, D.N. Borisenko, V.K. Gartman. Influence of growth conditions on microstructure and properties of GaSe crystals. Journal of Crystal Growth 300, 294–298 (2007). <https://doi.org/10.1016/J.JCRYSGRO.2007.01.001>
4. Y. Zhirko, V. Grekhov, Z. Kovalyuk, V. Netyaga. Characterization of layered GaSe crystals intercalated with RbNO₃ ferroelectric salt and their application for electric capacitors. IJOER, 3, 8, 12-19 (2017).
5. Y. Zhirko, V. Grekhov, N. Skubenko, Z. Kovalyuk, T. Feshak. Characterization and optical properties of layered InSe and GaSe crystals intercalated with hydrogen and hydrogen-containing molecules. Advanced Materials for Renewable Hydrogen Production, Storage and Utilization (2015). <https://doi.org/10.5772/61051>

FeCO₃-DƏN ALINMIŞ Fe₂O₃ MATRISLI YARIMKEÇİRİCİ KOMPOZITLƏRİN DIELEKTRİK XASSƏLƏRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

İmanova S. R., Salmanzadə A. Ə.
sevinc_imanova81@mail.ru

Açar sözlər: FeCO₃, Fe₂O₃, yarımkeçirici kompozit, dielektrik xassələr, dielektrik nüfuzluğu

Keywords: FeCO_3 , Fe_2O_3 , semiconductor composite, dielectric properties, dielectric permittivity

Giriş

Yarımkeçirici kompozit materiallar elektronika və sensor texnologiyalarında geniş tətbiq olunur [3s. 326–330]. FeCO_3 (siderit) mənbəyindən termiki çevrilmə yolu ilə Fe_2O_3 matrisi əldə etmək, sabit dielektrik xassələrə malik kompozitlərin hazırlanmasına imkan verir. Polimerlərlə (PE) birləşdirilən Fe_2O_3 , struktur homogenliyini və mexaniki möhkəmliyi təmin edərək materialın elektrik xassələrini optimallaşdırır [1 s.42-52]. İşdə Fe_2O_3 matrisli kompozitlərin faiz tərkibini dəyişdirərək tezliyin artmasının dielektrik xüsusiyyətlərinə təsiri öyrənilmişdir. Fe_2O_3 (dəmir(III) oksid) yarımkeçirici xüsusiyyətlərə malik materialdır və kompozit strukturlarda istifadə edildikdə dielektrik xassələri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişə bilər [2 s.238-239]. Siderit (FeCO_3) termiki çevrilmə yolu ilə Fe_2O_3 -ə çevrildikdə zərrəciklərin ölçüsü və paylanması idarə edilə bilər, bu isə nümunənin dielektrik xassələrinə təsir edir.

Eksperimental Hissə

Fe_2O_3 alınması: FeCO_3 (siderit) nümunələri 500–600 °C temperatur aralığında termiki çevrilmə yolu ilə oksidləşdirilmişdir. Bu proses zamanı karbonatın istilik təsiri ilə parçalanması nəticəsində Fe_2O_3 (dəmir(III) oksid) və CO_2 qazı əmələ gəlir. Termiki çevrilmə reaksiyası $\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$ şəklində baş verir və bu, yarımkeçirici materialların hazırlanmasında geniş istifadə olunur. Oksidləşmə prosesi temperaturdan, qalıqın ölçüsündən və nümunənin ilkin tərkibindən asılı olaraq dəyişə bilər.

Kompozitlərin hazırlanması: Fe_2O_3 ilə polimer tozları əvvəlcədən verilmiş ölçülü nisbətdə alınaraq homogen qarışıq şəklində birləşdirilmişdir. Bu üsul, hər iki komponentin bərabər paylanmasını təmin edir və nəticədə əldə olunan kompozit materialın strukturu və elektrik–mexaniki xassələri daha sabit olur. Qarışdırma prosesi, adətən, mexaniki qarışdırma və ya kürəkli dəyirman üsulları ilə həyata keçirilir ki, matris və polimer fazaları tam birləşsin və nümunədə boşluqlar minimal olsun.

Kompozit nümunələr hazırlanarkən 40 % və 60 % Fe_2O_3 maddəsinə 60%-40 % uyğun olaraq polimer (PE) tozu əlavə edilmişdir. Bu nisbətlər müxtəlif faza konsentrasiyasının materialın dielektrik və elektrik xassələrinə təsirini öyrənmək məqsədilə seçilmişdir. Faiz nisbətlərin artması kompozitin struktur sıxlığını və elektrik keçiriciliyini dəyişdirə bilər.

Hazırlanmış Fe_2O_3 –polimer qarışığı presləmə yolu ilə sıxlaşdırılmış və daha sonra sinterləmə prosesinə məruz qoyulmuşdur. Presləmə mərhələsi qarışığın kompakt və homogen nümunələr halında formalaşmasını təmin edir, sinterləmə isə materialın daxili strukturlarının birləşərək mexaniki möhkəmlik və davamlılıq qazanmasını təmin edir. Bu proses, xüsusilə yarımkeçirici kompozitlərin hazırlanmasında istifadə olunur və nümunənin sıxlığını idarə etməyə imkan verir.

Nəticələr və müzakirə

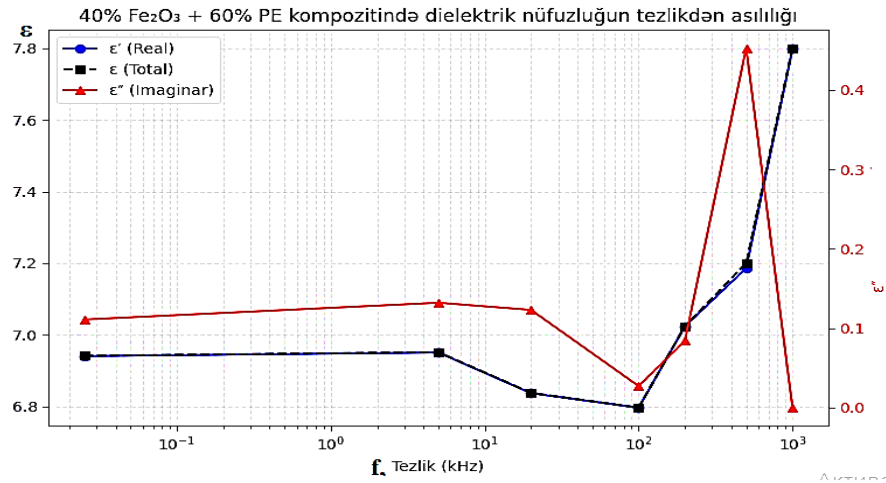
Hazırlanmış Fe_2O_3 matrisli kompozit nümunələrin dielektrik xassələri müxtəlif həcmərdə Fe_2O_3 əlavə olunmaqla öyrənilmişdir. Ölçmələr göstərmişdir ki:

1.Dielektrik nüfuzluğu (ϵ_r): Fe_2O_3 həcmnin artması ilə nümunələrin dielektrik nüfuzluğu yüksəlmişdir. 60 % Fe_2O_3 əlavə edilmiş nümunələrdə ϵ_r nisbətən aşağı olmuş, 40 % əlavə olunanda isə maksimum qiymətə çatmışdır. Bu, matrisi təşkil edən Fe_2O_3 hissəciklərinin elektrik dipol xassələrini gücləndirməsi ilə izah olunur [2 s.238-239]..

2.Faza homogenliyi: Presləmə və sinterləmə nəticəsində nümunələrdə boşluqlar minimal olmuş, Fe_2O_3 və polimer fazaları homogen şəkildə paylanmışdır. Bu, dielektrik və elektrik xassələrin sabilliyini təmin etmişdir. Nəticələr göstərir ki, Fe_2O_3 həcmnin tənzimlənməsi ilə kompozit materialın dielektrik və elektrik xüsusiyyətləri optimallaşdırıla bilər [1 s.42-52].

40% Fe₂O₃ + 60% PE kompoziti üçün

Tezlik (kHz)	Dielektrik nüfuzluq ϵ (ümumi)	ϵ' (real hissə)	ϵ'' (imaginar hissə)
0.025	6.9412	6.9403	0.1110
5	7.5156	7.9503	0.1321
20	7.9376	7.6365	0.1231
100	8.79616	8.0961	0.0272
200	9.02408	8.0236	0.0843
500	9.2002	9.1860	0.4527
1000	10.80108	10.7988	



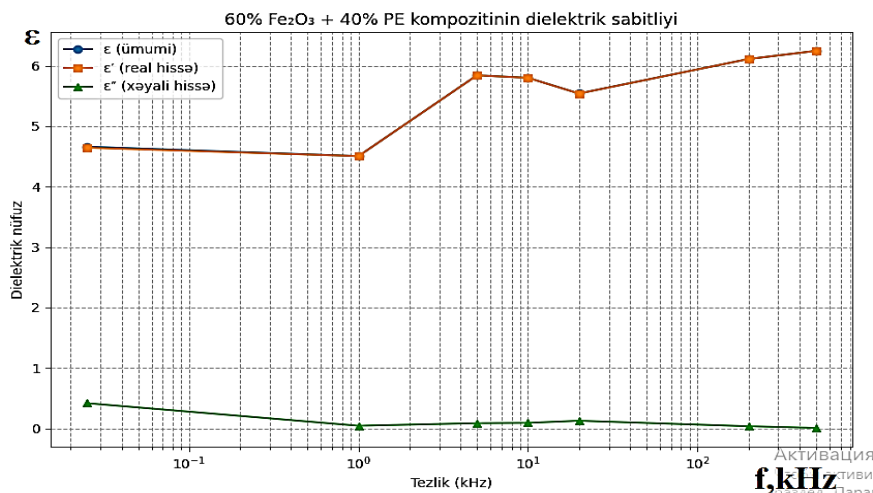
Şəkil 1. 40% Fe₂O₃ + 60% PE kompozitin dielektrik nüfuzluğunun tezlikdən asılılığı

Təhlil

Real hissə ϵ' : Tezlik artdıqca əvvəlcə sabit qalır, sonra yüksəlir və yüksək tezlikdə maksimuma çatır (ş.1). **ϵ'' (xəyali hissə):** Enerji itkilərini göstərir. 500 kHz-də kəskin artım var, bu da **dielektrik itkilərin** çoxaldığını göstərir (ş.1). **Ümumi ϵ :** Real və imaginat hissələrin birlikdə təsiri nəticəsində materialın dielektrik sabiti tezlikdən asılı olaraq dəyişir (ş.1). **Aşağı tezliklərdə** material sabitdir, **orta tezliklərdə** itkilər azdır, **yüksək tezliklərdə** isə həm saxlanma qabiliyyəti, həm də itkilər artır.

60% Fe₂O₃ + 40% Pe kompoziti üçün

Tezlik (kHz)	Dielektrik nüfuzluq ϵ	ϵ' (real hissə)	ϵ'' (xəyali hissə)
0.025	4.662	4.6432	0.4179
1	4.5066	4.5064	0.0451
5	5.8430	5.8424	0.0876
10	5.8016	5.8009	0.0928
20	5.5426	5.5411	0.1274
200	6.1124	6.1123	0.0367
500	6.2471	6.2471	0.0094



Şəkil 2. 60% Fe_2O_3 + 40% PE kompozitin dielektrik nüfuzluğunun tezlikdən asılılığı

Təhlil

Real hissə (ϵ'): Tezlik artdıqca əvvəlcə azalma müşahidə olunur (0.025 → 1 kHz), sonra orta tezliklərdə (5–200 kHz) yüksəlir və 500 kHz-də maksimuma çatır (~6.25). **Xəyali hissə (ϵ''):** Enerji itkilərini göstərir. Aşağı tezlikdə (0.025 kHz) yüksəkdir (~0.42), sonra azalır və 500 kHz-də minimuma enir (~0.009). **Ümumi ϵ :** Materialın dielektrik sabiti tezlikdən asılı olaraq dəyişir, yüksək tezliklərdə daha sabit və itkisiz davranış göstərir. Aşağı tezliklərdə: Dipol polarizasiyası aktivdir, buna görə enerji itkiləri (ϵ'') yüksəkdir. Orta tezliklərdə: Materialın sabitliyi artır, ϵ' yüksəlir. Yüksək tezliklərdə: Enerji itkiləri minimuma enir, bu da materialı izolyasiya və yüksək tezlikli tətbiqlər üçün əlverişli edir.

Nəticə

FeCO_3 -dən termiki çevrilmə yolu ilə alınmış Fe_2O_3 matrisi əsasında hazırlanan yarımkeçirici kompozitlər, həcmi dəyişdirilən Fe_2O_3 ilə polimer, dielektrik xassələr baxımından optimallaşdırıla bilər. Bu tədqiqat, Fe_2O_3 matrisli kompozitlərin elektronika və sensor texnologiyalarında istifadəsi üçün perspektivli olduğunu göstərir.

Ədəbiyyat

1. Емец Ю.П. Дисперсия диэлектрической проницаемости трех и четырехкомпонентных матричных сред. Журнал технической физики, 2003, том 73, вып. 3. с 42-52
1. 2. Куропаткина С.А., Раевский И.П., Богатин А.С.. Гигантское увеличение диэлектрической проницаемости и электропроводимости в неоднородных диэлектриках. Известия РАН. Серия физическая.- 2007.-Т.71, № 2. - С.238-239.
2. İmanova S. R. "Electrophysical characteristics of composite nonlinear resistors based on polymer and bentonite" **Journal: Surface Engineering and Applied Electrochemistry** (ABŞ, Pleiades Publishing) 18, Vol. 54, No. 3 s: 326–330

Xülasə

İşdə sideritdən (FeCO_3) termiki çevrilmə yolu ilə alınmış Fe_2O_3 matrisli yarımkeçirici kompozitlərin dielektrik xassələri tədqiq edilmişdir. Fərqli konsentrasiyalarda hazırlanmış nümunələrin dielektrik sabiti tezliyin artması dielektrik xüsusiyyətinə təsirini göstərir və bu materialların elektronika və enerji saxlama sistemlərində tətbiq imkanlarını ortaya qoyur.

Abstract

In this work, the dielectric properties of semiconductor composites with an Fe_2O_3 matrix obtained from siderite (FeCO_3) via thermal transformation were investigated. The dielectric constant of samples prepared at different concentrations demonstrates the effect of increasing frequency on dielectric behavior, revealing the potential application of these materials in electronics and energy storage systems.

$\text{TlIn}_{0,99}\text{Ge}_{0,01}\text{Se}_2$ YARIMKEÇİRİCİ BİRLƏŞMƏSİNDƏ PYEZOMODULYASIYA HADİSƏSİNİN TƏDQIQI

Rüstəmov V.C., Qasımov İ.İ., Babayeva A. E.

Gəncə Dövlət Universiteti

rustamov75@gmail.com

Açar sözlər: monokristal, heterokeçidlər, pyezofotoresistiv effekt, heterokeçid tutumu, radiasiya qüsurları.

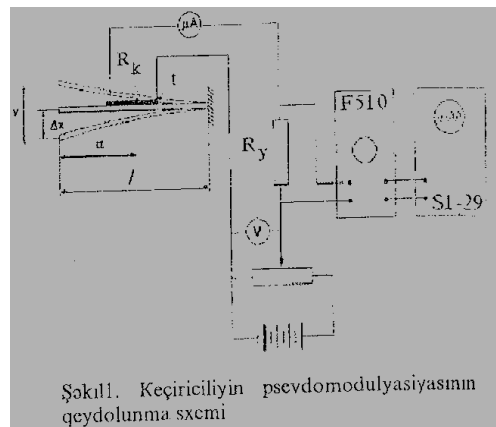
Ключевые слова: Монокристалл, гетеропереходы, пьезофоторезистивный эффект, емкость гетеропереходов, радиационные дефекты

Keywords: Single crystal, heterojunctions, piezoelectric photoresistance, heterojunction capacitance, radiation-induced defects

Məlumdur ki, zəncirvari quruluşu $\text{TlIn}_{0,99}\text{Ge}_{0,01}\text{Se}_2$ birləşməsi kifayət qədər yüksək tenzo və foto həssaslıq əmsalına malikdir [1,2]. Amma bu birləşmənin elektrik müqavimətinin çox yüksək olması səbəbindən onun geniş miqyasda tətbiq olunması mümkün olmur. Tədqiqatçıların qarşısında duran əsas məsələ müəyyən yolla bu birləşmənin elektrik müqavimətinin azalmasına nail olmaqdır. Həmin üsullardan biri bu birləşməyə aşqar vurulması və ya həmin birləşmə əsasında yeni bərk məhsulların alınması ola bilər. Mövcud ədəbiyyatda $\text{TlIn}_{0,99}\text{Ge}_{0,01}\text{Se}_2$ qəfəsində indium atomlarının daha ağır, qadolinium atomları ilə əvəz olunması ilə $\text{TlIn}_{0,99}\text{Ge}_{0,01}\text{Se}_2$ bərk məhlullarının alınması barədə məlumat verilmişdir [3]. Müəyyən edilmişdir ki, bu kristalların elektrik müqavimətləri $\text{TlIn}_{0,99}\text{Ge}_{0,01}\text{Se}_2$ -dən kifayət qədər kiçikdir, tenzohəssaslıqları isə tenzoelementlərin hazırlanması üçün əlverişlidir.

Təqdim olunan işdə $\text{TlIn}_{0,99}\text{Ge}_{0,01}\text{Se}_2$ bərk məhlullarında aşkar edilmiş pyezomodulyasiya effekti və bu effektin bəzi tətbiqləri barədə məlumat verilir. Qeyd edək ki, bu effekt mexaniki rəqs edən sistemin müəyyən detallarının mexaniki rəqs etməsinin onun xarakteristikalarına təsirini yüksək dəqiqliklə aşkar edərək ölçməyə imkan verən ötürücülər yaratmağa imkan verir. Bu tip ötürücülər müasir maşınqayırmada, təyyarələrin, raketlərin və gəmilərin hərəkətlər zamanı müəyyən hissələrində baş verən dəyişikləri dəqiq qeyd etməyə imkan verir.

Pyezomodulyasiya dəyişən kənar təsirlər nəticəsində kristalların müəyyən oxlar istiqamətində periodik olaraq uzanması və ya qısalması ilə əlaqədar olaraq keçiriciliklərin



osilyasiyasıdır. Məsələn, nazik metal üzərinə yapışdırılmış $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ kristalından hazırlanmış tenzoötürücünün bir tərəfini hərəkətsiz halda saxlayıb, digər tərəfini v - tezlikli rəqsə gətirdikdə, həmin tezlikdə keçiriciliyin modulyasiyasıya aşkar etmək olur. Bu 1 – ci şəkildə təsvir olunan qurğu ilə asanlıqla aşkar edilərək qeyd olunur. Burada l - üzərinə, t - uzunluqlu $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ kristalı yapışdırılmış polad lövhənin uzunluğu, Δx - rəqsin amplitudu, R_y - yük müqaviməti, R_k - kristalın müqavimətidir. Tenzoötürücü yapışdırılmış lövhə rəqs ümumi elektrik keçiriciliyinin dəyişən toplanması, pyezokeçiricilik

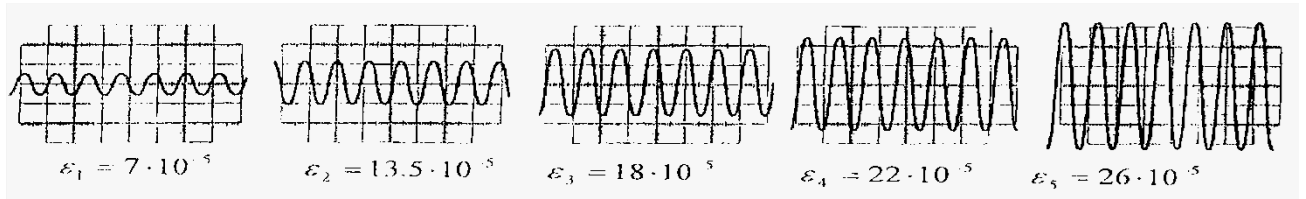
$$\Delta\sigma_p(v, t) = \sigma(v, t) - \sigma_0 \quad (1)$$

kimi istifadə olunur, σ_0 - kənar təsir olmadıqda, $\sigma(v, t)$ isə ümumi keçiriciliklərdir. Periodik uzanmaya və ya qısalmaya məruz qalan kristala ardıcıl olaraq yük müqaviməti R_y olan batareyə qoşduqda, onda həmin kristalda dəyişən $\Delta V_p(v, t)$ pyezo signalı yaranacaq. ($R_y \ll R_k$ səthində)

$$\Delta V_p(v, t) = V \cdot R_y \cdot \Delta\sigma_p(v, t) \quad (2)$$

Nəzərə alınmalıdır ki, yarımkəçirici tenzometriyada mühüm praktiki əhəmiyyət kəsb edən $\Delta V_p(v, t) = \Delta V_{op} \sin 2\pi vt$ -nin dəqiq təyin edilməsidir. Pyezosignalın amplitud qiyməti ΔV_{op} , F510 gücləndiricisi ilə qeyd edilib, S1-29 osiloqrafı ilə müşahidə edilir.

$$\Delta x_1 = 0,16 \text{ sm} \quad \Delta x_2 = 0,27 \text{ sm} \quad \Delta x_3 = 0,36 \text{ sm} \quad \Delta x_4 = 0,42 \text{ sm} \quad \Delta x_5 = 0,50 \text{ sm}$$



Şəkil 2. $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ kristalın pyezokeçiriciliyinin deformasiyanın müxtəlif qiymətlərində modulyasiyası

$TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ kristalı üçün alınmış həmin mənzərə 2 – ci şəkildə verilib. Aydındır ki, kristalın tenzohəssaslıq əmsalını təyin etmək üçün müqavimətin $\Delta R_p(v, t) / R_k$ nisbi dəyişməsi təyin edilməlidir. Bunun üçün isə $\Delta V_p(v, t)$ təyin edilməlidir. Sadə hesablamalarla müəyyən edilib ki,

$$\frac{\Delta R_p}{R_k} = \frac{\left(1 + \frac{R_y}{R_k}\right)^2}{\frac{R_y}{r_k} + \left(1 + \frac{R_y}{R_k}\right)} \cdot \frac{\Delta V_p(v, t)}{V} \quad (3)$$

tenzohəssaslıq əmsalı isə

$$k = \frac{\Delta R_p(v,t)}{R_k \varepsilon} = \frac{1 + 2 \frac{R_y}{R_k}}{\varepsilon \left[\frac{R_y}{R_k} + \frac{\Delta V_p(v,t)}{V} \right]} \cdot \frac{\Delta V_p(v,t)}{V} \quad (4)$$

kimi qeyd edilir. Burada $\varepsilon = 3 \frac{ta}{\ell^3} \Delta x$ -dir.

Aşkardır ki, istənilən, işçi vəziyyətində olan qurğunun detalları mexaniki rəqsə düşər olduğundan onların forması, birləşmələri dəyişikliklərə uğrayır. Bu xüsusiyyətləri qeyd etmək üçün $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ kristalından hazırlanmış ötürücüdən istifadə edilməsini təklif edirik. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işləri ilə müəyyən edilmişdir ki, $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ kristalından hazırlanmış vibroötürücülər aşağıdakı unikal xüsusiyyətlərə malikdir:

- Kiçik vibrasiyaları qeydetmə həssaslığının çox yüksək olması ($0,3\mu$ tərtibində);
- Tezliyin ($0 - 75khs$) işçi diapazonunda dəyişməsi halında siqnalın səviyyəsi tezlikdən asılı olmur;

- $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ əsaslı vibroötürücülərin ən əsas üstünlükləri kimi onların ölçülərinin və çəkirlərinin kiçik olmasını, ölçmələri çox kiçik təzyiqlərdə belə dəqiq aparılmasını qeyd etmək olar. Məsələn, tutum vibroötürücülərin ölçmə təzyiqləri 100 – 200 qr olduğu halda, vibroötürücülərin ölçmə təzyiqi cəmi 1 – 2 qr olur;

- $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ əsaslı vibroötürücülərin quruluşlarının sadəliyi ilə mövcud olanlardan fərqlidirlər.

Göstərilmişdir ki, $TlIn_{0,99}Ge_{0,01}Se_2$ kristalı əsasında kiçik vibrodəyişmələri aşkar edərək ölçməyə imkan verən, kiçik ölçülü, yüksək həssaslığa malik yarımkeçirici vibroötürücülər hazırlamaq olar.

Ədəbiyyat

1. Гусейнов Г.Д., Абдуллаев Г.Б. Пьезофоторезистивный эффект на монокристаллах $TlInSe_2$ ДАН СССР, серия, физика, 1973, т.208, № 5, с.1052-1054
2. Гусейнов Г.Д., Абдуллаев Г.Б., Рустамов В.Д. и др. Фоточувствительный материал. А.С.683406 СССР. 1977
3. Э.М.Керимова. Кристаллофизика низкоразмерных халькогенидов. Стр.708. Баку. «Елм» 2012

Аннотация

Статья посвящена измерению вольт-фарадных характеристик гетеропереходов, полученных термическим испарением на чистой поверхности монокристаллов $TlIn_{1-x}Au_xSe_2$. Установлено, что первоначально наблюдаемая закономерность в зависимости $C \sim f(U)$ сохраняется после облучения, однако емкость гетеропереходов уменьшается экспоненциально

Abstract

This article is devoted to measuring the capacitance-voltage characteristics of heterojunctions obtained by thermal evaporation on the clean surface of $\text{TIIn}_{1-x}\text{AuxSe}_2$ single crystals. It was found that the initially observed pattern in the $C \sim f(U)$ dependence persists after irradiation, but the capacitance of the heterojunctions decreases exponentially.

PYEZOELEKTRİK MATERIALLAR VƏ ONLARIN TƏTBİQİ SAHƏLƏRİ

Qasimov İ.İ., Babayeva A.E.
Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri
isgenderova20@mail.ru

Açar sözlər: *Pyezoelektrik effekt, polyarlaşma, birimonokristallik kvars, elektrik momenti, fotodiod, sensor*

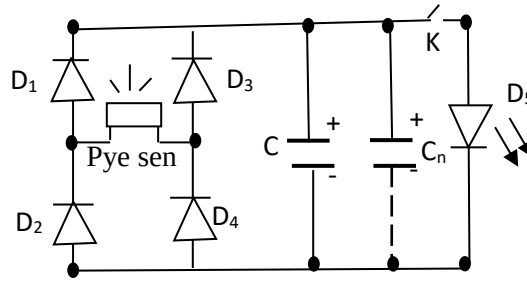
Ключевые слова: *Пьезоэлектрический эффект, поляризация, монокристаллический кварц, электрический момент, фотодиод, сенсор*

Key words: *Piezoelectric effect, polarization, monocrystalline quartz, electric torque, photodiode, sensor*

Pyezoelektrik effekt kristal sistemli materiala mexaniki qüvvə tətbiq etdikdə yaranan elektrik yükünün reaksiyası kimi müşahidə olunan fiziki bir prosesdir. Pyezoelektrik termini yunan dilindən götürülmüşdür. Basmaq və sıxmaq mənasını verir. Bu effekt 1880 – ci ildə fransız fizikləri Pierre və Lacqnes Curie tərəfindən kəşf edilmişdir. Bu effekt kristal materialların daxili quruluşu ilə əlaqələndirilir. Bu cür təsirlərə simmetriya mərkəzi olmayan kristal materiallarda rast gəlinir. Fiziki xassələrə malik olan belə bir kristal deformasiyaya uğradıqda müsbət və mənfi yüklər elektrik gərginliyi yaratmaq üçün onun səthləri üzərində ayrılma qabiliyyətinə malik olurlar. Pyezoelektrik effekt iki istiqamətli xassəyə malikdir, birbaşa və tərs. Pyezoelektrik effekt materiallarda mexaniki enerjini elektrik enerjisinə və əksinə çevirmə kimi fiziki prosesi vardır. Bu materiallar hər hansı fizik təsirə məruz qaldıqda və yaxud titrəyərkən elektrik enerjisini istehsal etmə qabiliyyətinə malik olur. Bu isə materialların kristal qəfəsi ilə bağlıdır və pyezoelektrik effekti adlanır. Düz pyezoelektrik effekti mexaniki təsir olduqda polyarlaşmanın yaranmasına deyilir. Əks pyezoeffektdə isə elektrik sahəsinin təsiri altında kristalın ölçüləri dəyişir. [1] Pyezoelektrikin istənilən zaman anında baş verməsi üçün iki mühüm əsas şərtlər ödənilməlidir.

1. Kristal təşkil edən hissəciklər arasında mütləq ion rabitəsi olmalıdır.
2. Kristal simmetriya mərkəzinə malik olmalıdır.

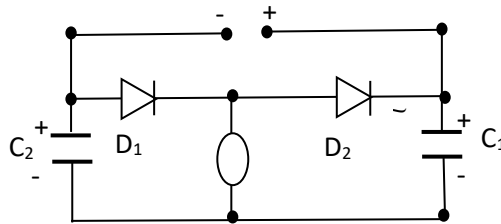
Bu isə onunla əlaqələndirilir ki, deformasiya nəticəsində müsbət və yaxud mənfi yüklər yerlərini simmetrik dəyişər və bu zaman elektrik momenti yaranar. Bu gün müasir elmə mindən artıq pyezoelektrik kristal maddələrin sayı mövcuddur. Beləki onların çox az bir hissəsi tətbiq edilir. Pyezoelektrik materiallar içərisində elektronikada çox böyük praktiki tətbiq olanlardan birimonokristallik kvarsdır. Elektron texnikasının müxtəlif sahələrində kristallik quruluşa malik olan çeviricilərdən litium sulfat $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, litium niobat LiNbO_3 , litium tamtal LiTaO_3 geniş istifadə edilir. [2] Pyezoelektrik effekt üçün tətbiq olunan aktiv element dövrəsində belə bir elektron sxem qurmaq olar. Şəkil 1.



Şəkil 1. Pyezoelektrik sensorun çevirici sxemi.

D_1 , D_2 , D_3 və D_4 diodları pyezoelektrik sensordan düz istiqamətdə öz elektrik yükünü götürürlər, mikrosaniyə müddətində D_1 və D_2 pyezoelektrik sensorun müsbət cərəyanının D_2 , D_4 isə əks cərəyanını dövrəyə ötürmə qabiliyyətinə malikdirlər. K açarı dövrəni bağladığı anda D_5 fotodiodu işıqlanır. Bu zaman sensorun yaratdığı elektrik cərəyanını verilmiş interval ərzində yüksəltmək üçün C və C_n kondensatorundan istifadə edilmişdir. Çox kiçik deformasiya vəziyyətində sxem ardıcıl işləmə qabiliyyətinə malikdir. [3]

Pyezoelektrik effektindən gərginlik hasil edən mənbə kimi də istifadə etmək mümkündür. Bu cür mənbə kimi aşağıdakı sxemi qurmaq olar.



Şəkil 2. Pyezoelektrik sensorun generator sxemi.

ZQ kvars generatoru öz deformasiya funksiyasına görə işləyən zaman D_1 diodu mənfi elektrik cərəyanını D_2 isə müsbət cərəyanını tənzimləyir C_2 kondensatoru D_1 diodunun cərəyanını tənzimləyir daha doğrusu onu yükləyir, C_2 kondensatoru isə əksinə bu funksiyaları yerinə yetirir. Pyezoelektrik materialların əsasında hazırlanmış bu cür elementlərin çox geniş sahələri vardır. Pyezoelementin ikili qabiliyyəti onu müasir texnologiyada xüsusən də sensorlar, aktuatorlar, enerji yığıcılar və akustik cihazlarda böyük bir iş potensialına çevirir.

Xülasə

Bu məqalədə pyezoelektrik effekt kristal quruluşlu bəzi materiallarda mexaniki təsirin elektrik reaksiyası ilə müşayiət olunan fiziki hadisə olduğu və bu hadisənin kristal qəfəsin daxili quruluşu ilə bağlı olduğu, həmçinin yalnız simmetriyaların mərkəzi olmayan kristallarda müşahidə olunduğu kimi məsələlər geniş izah olunur.

Məqalədə həmçinin pyezoelektrik sensorun diodlar və kondensatorlardan ibarət elektron sxem vasitəsilə işləmə prinsipi izah edilir.

Ədəbiyyat

1. B.Ş.Barxalov., Y.Y.Hüseynov. Bərk cisim elektronika cihazlarının texnologiyası. Bakı. 2006
2. Беляков В.А. Жидкое кристаллы. Москва. 1986
3. Хоровиц П., Хилл У. « Искусство схемотехники.» М.Мир.1986
4. <http://electronicsclub.info>

Резюме

В данной статье подробно объясняется тот факт, что пьезоэлектрический эффект — это физическое явление, при котором механическое воздействие сопровождается электрическим откликом в некоторых материалах с кристаллической структурой, и что это явление связано с внутренней структурой кристаллической решетки, и что оно наблюдается только в кристаллах без центра симметрии.

В статье также объясняется принцип работы пьезоэлектрического датчика посредством электронной схемы, состоящей из диодов и конденсаторов.

Summary

This article explains in detail the fact that the piezoelectric effect is a physical phenomenon in which mechanical action is accompanied by an electrical response in some materials with a crystalline structure, and that this phenomenon is related to the internal structure of the crystal lattice, and that it is observed only in crystals without a center of symmetry.

The article also explains the principle of operation of a piezoelectric sensor using an electronic circuit consisting of diodes and capacitors.

LANTANOİD ATOMLARININ TiInSe_2 BİRLƏŞMƏSİNİN TERMoeLEKTRİK VƏ FOTOKEÇİRİCİLİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ

Cəfərov M.B., Namazov Y. B., Verdiyeva N. Ə.

Gəncə Dövlət Universiteti

yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: kristallik dedektor, zəncirvari birləşmələr, seqnoelektrik yarımkeçirici, akustik fonon, monokristal.

Ключевые слова: кристаллический детектор, цепные соединения, фотоэлектрический полупроводник, акустический фонон, монокристалл.

Key words: crystal clearance, chain compounds, segno electric semiconductor, acoustic phonon, mono crystalline

Mikroelektronikanın, nüvə energetikasının və nüvə texnikasının sürətli inkişafı yarımkeçiricilər fizikasının qarşısında yeni problemlər qoyur. Həmin problemlərdən biri, və yüksək sıxlığa malik, ionlaşdırıcı şüalara həssaslığa və temperatur dözümlüynə malik bircinsli mükəmməl yarımkeçirici birləşmələrin alınmasıdır. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işləri göstərir ki, belə materialların alınma texnologiyasının yaradılması onların fiziki parametrlərinin məqsədyönlü idarə edilməsinə imkan verir və bununla da geniş praktiki tətbiq imkanları yaradır.

Lantanoid aşqarlanması (məsələn, Ce, Dy, Nd, Gd, Lu) ümumiyyətlə, səmərəli elektron tələləri kimi çıxış edərək, yükdaşıyıcılarının rekombinasiyasını azaltmaqla və spektral reaksiyanı genişləndirməklə yarımkeçiricilərin fotokeçiriciliyini, fotokatalitik aktivliyini və fotoelektrokimyəvi xüsusiyyətlərini artırır. Qismən doldurulmuş 4f orbitallarına görə, bu ionlar zolaq boşluğunda yeni dayaz enerji səviyyələri təqdim edir ki, bu da fotogenerasiya olunmuş elektronların və dəşiklərin rekombinasiyasını yavaşlatır. Yarımkeçirici birləşmələrə lantanoid ionlarının (nadir torpaq elementləri) daxil edilməsi, zolaq boşluğunda lokal elektron vəziyyətlər yaratmaqla, daşıyıcı rekombinasiya dinamikasına təsir etməklə və kristal qəfəsini dəyişdirməklə onların fotokeçiriciliyini əhəmiyyətli dərəcədə modulyasiya edir.

Dy və Eu əlavə edildikdə, otaq temperaturunda kristalın xüsusi müqaviməti adətən artır. Bu, lantanoidlərin yaradıcığı dərin tələ mərkəzlərinin sərbəst yükləri "tutması" ilə izah olunur. Tədqiqatlar göstərir ki, aşqarlanmış nümunələrdə keçiriciliyin temperatur asılılığında yeni aktivləşmə enerjiləri (məsələn, **0.2 eV** və **0.53 eV**) meydana çıxır. Aşağı temperaturalarda və yüksək tezlikli dəyişən sahədə, keçiricilik "Fermi səviyyəsi yaxınlığındakı lokal hallar üzrə sıçrayış" (hopping conductivity) mexanizmi ilə baş verir.

Eu ilə aşqarlanmış TlInSe_2 kristallarında fəotəssaslıq təmiz kristala nisbətən daha yüksək olur. Eu ionları qadağan olunmuş zonada əlavə səviyyələr yaradaraq, işıqın təsiri ilə elektronların yaşama müddətini artırır.

Hazırda tədqiqatçıların geniş tədqiqat obyektinə çevrilmiş materiallardan biri də laylı və zəncirvari quruluşa malik $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ tipli yarımkəçirici birləşmələridir. Bu birləşmələrdə kimyəvi əlaqələrin xüsusiyyətləri və elektron xassələri cüt olmayan valent elektronları sayəsində yaranır. Valent elektronları tam olmayan $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ tipli birləşmələr laylı və zəncirvari quruluşlu qəfəsdə kristallaşırlar. Bu sinfə daxil olan yarımkəçirici birləşmələr çox maraqlı fiziki xassələrə, o cümlədən seqnetoelektrik -yarımkəçirici, ölçüsüz fazalara, yaddaş və çevrilmə və s. effektlərə malikdirlər. Bu materialların defektli quruluşa malik olmasına baxmayaraq, onların ultrabənövşəyi, görünən, infraqırmızı, rentgen və γ -şüalarına qarşı özünəməxsus yüksək həssaslığa malik olması səbəbindən onların tədqiqinə maraq durmadan artır.

$A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ tip birləşmələr sinfinə daxil olan, fundamental xüsusiyyətlərə malik və praktiki cəhətdən xüsusi maraq doğuran birləşmələrdən biri də TlInSe_2 -dir. TlInSe_2 birləşmələrinin dielektrik, optik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqinə aid elmi ədəbiyyatda geniş məlumat mövcuddur. Müəyyən edilmişdir ki, TlInSe_2 birləşməsində "C" oxuna nəzərən müxtəlif istiqamətlərdə defektlərin paylanma konsentrasiyasının (10^{16} - 10^{17} sm^{-3}) müxtəlifliyi, TlInSe_2 kristallarında kimyəvi və fiziki xassələrin anizotropluğuna səbəb olur [1]. Həmin işlərdə defektlərin təbiəti və onların elektrik, optik və fotoelektrik xassələrinə təsiri tam aydınlaşdırılmamışdır. Qeyd olunan mexanizmlərin verilməsi üçün nizamlı quruluşa malik monokristalların alınması və müxtəlif xarici şəraitlərdə onların fiziki xassələrinin öyrənilməsi vacibdir.

TlInSe_2 monokristallarında həcmi yüklə məhdudlanmış cərəyan, yaddaş və çeviricilik effektləri, məxsusi fotocərəyanın termik və optik sönmə effektləri kristalların qadağan olunmuş zonasında mövcud olan müxtəlif tipli t-tutma və r- və s-rekombinasiya mərkəzlərinin mərhələli dolub-boşalması ilə bağlıdır; TlInSe_2 monokristallarının qadağan olunmuş zonasında yerləşən akseptor tipli tutma mərkəzinin mövcud olması qaranlıq cərəyanın 320-370 K temperatur intervalında termik sönməsinə şərait yaradır və termik sönmə dərinliyi şüalanma dozəsindən asılı olaraq eksponensial qanunla azalır.

TlInSe_2 :Dy kristallarında işıq kəsildikdən sonra cərəyanın dərhal yox olmaması — uzunmüddətli relaksasiya müşahidə olunur. Bu, yükdaşıyıcıların lantanoidlərin yaratdığı "potensial çalalarda" ilişib qalması ilə bağlıdır [3].

Parametrlər	TlInSe_2	$\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ $\text{TlIn}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Se}_2$
Keçiricilik tipi	p-tip (adətən)	p-tip (sabit qalır, lakin konsentrasiya dəyişir)
Xüsusi müqavimət	Nisbətən aşağı	Yüksək (kompensasiya hesabına)

Fotohəssaslıq	Orta	Yüksək (xüsusilə Eu ilə)
İstilik keçiriciliyi	Yüksək	Aşağı (fonon səpilməsi artır)

Bərk cismin fiziki xassələrinin öyrənilməsində termoelektrik hərəkət qüvvəsi (termoe.h.q.) və onun temperatur asılılığının öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Termoe.h.q. mürəkkəb kinetik parametrdir və hətta maddədəki yükdaşıyıcılar eyni tipli olduqda belə termoe.h.q. çoxlu parametrlərdən asılı olur. Amma müxtəlif köçürmə mexanizmlərində termoe.h.q.-nin yükdaşıyıcıların konsentrasiyasından asılılığı eyni xarakterlidir. Bir tip yükdaşıyıcılar halında termo e.h.q. aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur

$$\alpha = \frac{k}{e}(A - \ln n),$$

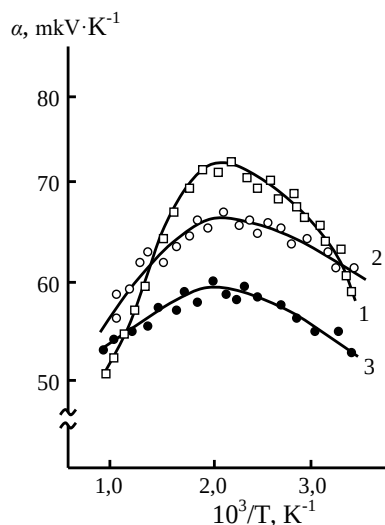
burada α -termoe.h.q., A – sabit, n – yükdaşıyıcıların konsentrasiyasıdır. Ona görə də termoe.h.q.-nin temperatur asılılığının öyrənilməsi yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının temperatur asılılığı haqqında fikir söyləməyə imkan verir.

Zona nəzəriyyəsinə görə, sabit potensiallı parabolik zona halında termoe.h.q. yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və onların səpilmə mexanizminin funksiyasıdır. Bir növ yükdaşıyıcıları olan cırlaşmamış elektron qazı üçün α -kəmiyyəti sadələşir və aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\alpha = \frac{k}{e} \left(A + \frac{\Delta \varepsilon}{2kT} \right). \quad (1)$$

Burada $\Delta \varepsilon$ -yükdaşıyıcının aktivləşmə enerjisidir. (1) ifadəsindən görünür ki, termoe.h.q.-nin temperatur asılılığının xarakteri yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının temperatur asılılığı ilə təyin olunur. Yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının eksponensial qanunla artması zamanı temperaturun yüksəlməsi ilə termoe.h.q.-si azalmalıdır. Əgər A - kəmiyyətinin zəif temperatur asılılığını nəzərə almasaq, onda α -kəmiyyətinin $1/T$ -dən asılılığının meyl bucağının tangensi yükdaşıyıcıların aktivləşmə enerjisində ($\Delta \varepsilon$) bərabər olar. Təcrübə göstərir ki, birləşmələri üçün alınan $\alpha = f(1/T)$ asılılığı xəttidir. Bu nəticələr temperaturun yüksəlməsi ilə konsentrasiyanın yüksəldiyini, başqa sözlə, tədqiq olunan maddələrin yarımkəçirici təbiətli olduğunu subut edir. $\alpha = f(1/T)$ asılılığından təyin olunan aktivləşmə enerjisi, elektrikkeçiricilikdən təyin olunan aktivləşmə enerjisindən bir qədər çoxdur. Alınan nəticələr tədqiq olunan materiallarda keçiricilikdə həm elektron, həm də deşiklərin iştirak etməsini sübut edir və bu yüklər termoe.h.q.-də öz əlavəsini verir. Elektron və deşiklər əks işarəli olduğundan onlar α -kəmiyyətinin temperatur asılılığına da kəskin təsir edir. monokristallarının termoe.h.q.-nin tədqiqi zamanı müəyyən olunmuşdur ki $\alpha(T)$ asılılıqlarının xarakteri praktiki olaraq eynidir (şəkil 1).

Xüsusi halda elektron qazının cırlaşmadığı hal üçün yuxarı temperaturalarda yürüklüyün temperatur asılılığı etibarlı nəticələr verir. Yuxarıda göstəriləndi kimi tədqiq olunan materiallarda yükdaşıyıcıların yürüklüklərinin temperatur asılılığında: $\mu \sim T^{-r}$, dərəcə üstü $r \approx 3/2$ kimi qiymət alır ki, bu da onların akustik fononlardan səpilməsinə uyğundur. Bunları nəzərə alaraq müvafiq düsturlarla kimyəvi potensial η^* və konsentrasiyasının n qiymətlərini hesablayaraq, effektiv kütləni təyin etmək olar [2].



Şəkil 1. $TlIn_{1-x}Dy_xSe_2$ monokristalı üçün termoelektrik hərəkət qüvvəsinin temperatur asılılığı

Ədəbiyyat

1. Zərbəliyev M.M. Yarımkəçiricilərin elektrofiziki parametrlərinin ölçülmə üsulları, Sumqayıt, SDU nəşriyyatı, 2004, 117 s.
2. Алексеев И.В. Гетеропереход на полупроводниках с цепочечной структурой $TlSe-TlInSe_2$ // ФТП, 1998, т.32, №6, с. 590-599
3. Мадатов, Р. С. Влияние ионизирующего излучения на механизм электропроводности монокристаллов Особенности механизма токопрохождения в кристаллах $TlInSe_2$ / Р.С.Мадатов, А.И. Наджафов., М. Р. Газанфаров // Перспективные материалы, -Баку, №3, - ст.1-5, 2012
4. Al-Orainy, R. H. Thermoelectric, transport and microstructure properties of binary chalcogenide Ga_2Te_3 Crystals / R. H. Al-Orainy, A. T. Nagat, S. A. Hussein [and o] // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), -Volume: 02 Issue 02:, - p.816-821, 02 May-2015

Summary

The width of the zone for which the temperature dependence of the conductivity is prohibited at the high temperature range is determined the width of the strip that is prohibited in accordance with the specific conductivity zone of the sample decreases with increasing atoms and the hole concentration is increasing. Dy and Eu dopants make $TlInSe_2$ crystal more suitable for high-temperature photodiodes and ionizing radiation detectors. In particular, Eu dopant is more effective for signal amplification in optoelectronic devices.

Резюме

Была определена ширина запрещенной зоны в высокотемпературном диапазоне температурной зависимости проводимости, и установлено, что с увеличением количества атомов Dy в составе ширина запрещенной зоны, соответствующей области удельной проводимости образца, уменьшается, а концентрация дырок увеличивается. Примеси Dy и Eu делают кристалл $TlInSe_2$ более подходящим для высокотемпературных фотодиодов и детекторов ионизирующего

излучения. В частности, примесь Eu более эффективна для усиления сигнала в оптоэлектронных устройствах.

Xülasə

Keçiriciliyin temperatur asılılığının yüksək temperatur intervalında qadağan olunmuş zonanın eni təyin olunmuş və müəyyən olunmuşdur ki, tərkibdə Dy atomlarının artması ilə nümunənin məxsusi keçiricilik oblastına uyğun qadağan olunmuş zolağın eni azalır və dəşiklərin konsentrasiyası artır. Dy və Eu aşqarları TlInSe₂ kristalını yüksək temperaturu fotodiodlar və ionlaşdırıcı şüalanma detektorları üçün daha yararlı hala gətirir. Xüsusilə Eu dopantı optoelektronik cihazlarda signalın gücləndirilməsi üçün daha effektivdir.

TlGaS₂ - TlInSe₂ SISTEMINDƏ FAZA TARAZLIĞININ TƏDQIQI

Rüstəmov V.C., Namazov Y.B., Zeynalov Z.M., Ələkbərov Ş. Ş.

Gəncə Dövlət Universiteti

yahyanamazov@qdu.edu.az

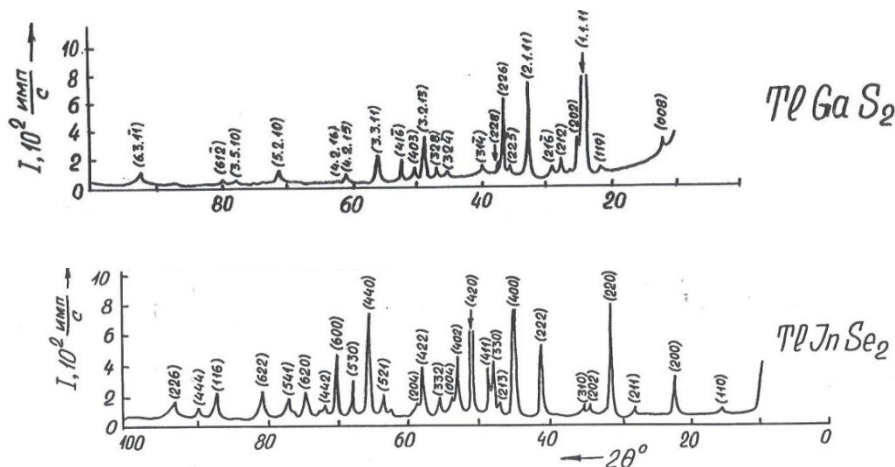
Açar sözlər: kristallar, sintez, monokristal, polikristallar, diferensial-termik, rentgenfaza, mikrostruktur

Ключевые слова: кристаллы, синтез, монокристалл, поликристаллы, дифференциальная термическая деградация, рентгенофазовое исследование, микроструктура.

Keywords: crystals, synthesis, single crystal, polycrystals, differential thermal, X-ray phase, microstructure.

TlInSe₂ - TlGaS₂ sistemində faza tarazlığını öyrənmək üçün ilkin yanaşmada TlInSe₂ və TlGaS₂ kristalları sintez olunmuşdur. Bu kristalların sintez texnologiyası ötən əsrin 70-ci illərində işlənmişdir. Lakin sintez prosesi seçilmiş termodinamik rejimdən güclü asılı olduğu üçün hər bir tədqiqatçı sintez etdiyi və sonra da əldə etdiyi polikristallardan monokristal göyərtdiyi rejimi dəqiqliyi ilə təsvir edir ki, bu da fiziki xassələrin eksperimental tədqiqi zamanı müşahidə oluna biləcək uyğunsuzluqları düzgün interpretasiya etmək üçün olduqca vacib məqamdır.

Tədqiqat obyektlərimiz olan TlGaS₂ və TlInSe₂ kristalları birbaşa birtemperaturlu metodla sintez edilmişdir. Vakuumləşdirilmiş və əridilərək ağzı yapışdırılmış ampula maili vəziyyətdə sintez sobasına qoyulur və birləşmənin ərimə temperaturundan 30-40K yuxarı temperatura qədər qızdırılır. Xalkogenin (S və Se) buxarının parsial təzyiqi yüksək olduğundan ampulanın partlaması riskini azaltmaq üçün xalkogen komponentləri ampulanın bir tərəfinə yığılır və ampulanın sobadan kənarda olan bu hissəsi buzlu su ilə soyudulur. Xalkogen komponenti az-az, kiçik hissələrlə sobanın isti hissəsindəki reaksiya zonasına diyərləndirilir.



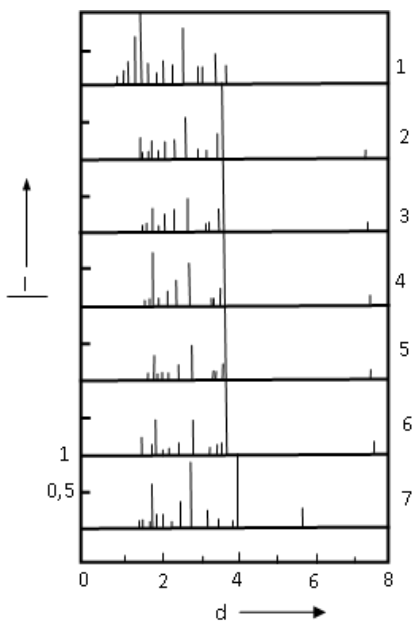
Şəkil 1. TlGaS_2 və TlInSe_2 polikristallarının difraktoqramları

Sintez edilmiş TlGaS_2 və TlInSe_2 nümunələrdən stexiometrik nisbətdə götürülmüş nümunələri anoloji qaydada kvarts ampulada birbaşa əridərək sintez etməklə $\text{Tl}(\text{GaS}_2)_{1-x}(\text{InSe}_2)_x$ bərk məhlullarının polikristalları əldə edilmişdir.

İstər faza tarazlığı diaqramını öyrənmək üçün, istərsə də, bərk məhlulların monokristallarının alınması prosedurundan əvvəl sintez olunmuş polikristalların, yəni tozvari nümunələrin rentgenfaza analizi aparılır. Tədqiqatın sonrakı mərhələlərində fiziki xassələrin tədqiqi üçün monokristallardan istifadə edildiyi üçün rentgen faza analizinin (RFA –nın) Laue, keçən şüalarda elektronogramma və s., monokristal metodlarına üstünlük verilmişdir. Əlbəttə, tozvari nümunələrdə RFA üsulları monokristal üsulları qədər fundamental olmasa da, bununla belə maksimal ümumi xarakterli təsdiq yolu olub, polikristallik halda olan maddənin texniki pasportlaşdırılması üçün çox vacibdir.

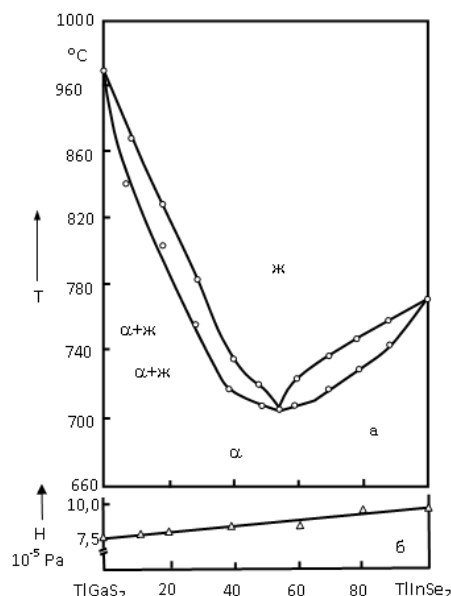
Şəkil 2-də, həm ilkin üçqat birləşmələr olan TlGaS_2 və TlInSe_2 , həm də, $\text{Tl}(\text{GaS}_2)_{1-x}(\text{InSe}_2)_x$ bərk məhlullarının ştrix-diaqramları göstərilmişdir.

Diferensial-termik (DTA), rentgenfaza (RFA) və mikrostruktur (MSA) analizlərinin nəticələrinə görə $\text{Tl}(\text{GaS}_2)_{1-x}(\text{InSe}_2)_x$ ($x=0\div0,5$) sisteminin hal diaqramı qurulmuşdur. TlInSe_2 –nin TlGaS_2 -də 55 mol.% -ə qədər həll olması təyin edilmişdir. Rentgenfaza analizinin nəticələri Şəkil 2 -də göstərilir. Şəkildən bir daha görünür ki, TlGaS_2 - TlInSe_2 sistemində geniş həllolma oblastı mövcuddur.



Şəkil 2. TlGaS_2 - TlInSe_2 sisteminin ştrix-diaqramı: 1- TlGaS_2 ; 2 -90; 3-80; 4 -60

5 -40; 6-10 mol % TlGaS₂; 7- TlInSe₂.



Şəkil 3. TlGaS₂-TlInSe₂ sisteminin hal diaqramı (a), mikrobərkliyin tərkibdən asılılığı (b).

Şəkil 3-də Tl(GaS₂)_{1-x}(InSe₂)_x kvazibinar sisteminin hal diaqramı və mikrobərkliyin tərkibdən asılılığı verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi mikrobərklik TlGaS₂-dən başlayaraq TlInSe₂-yə qədər xətti olaraq artır.

Beləliklə, TlGaS₂ və TlInSe₂, kristallarının, habelə onların bərk məhlullarının yaranması üçün fiziki-kimyəvi kriteriləri müəyyənləşdirmiş olduq. Bu kriterilərin nəzərə alınması isə, TlGaS₂-TlInSe₂ sisteminin lazımi tərkiblərinin monokristallarını almağa imkan verəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный анализ. Индексирование рентгенограмм. М.: Наука, 1981, 496с.
2. Guseinov G.D., Aliyev V.A., Bagirzade E.F. Defects in TlGaSe₂. – Materials Chemistry and Physics, 1985, v.13, N 6, pp.541-550.
3. Aliyev V.A., Guseinov G.D. Recombination processes in non-stoichiometric TlGaSe₂ crystals. - Physics and Technology of Semiconductors, 1985, v.19, N 11, pp.1940-1943.

Xülasə

Məqalədə TlGaS₂ - TlInSe₂ sistemin sintez texnologiyası aqında qısa məlumatlar verilmiş, polikristal alma üsulu izah edilmiş, diferensial-termik (DTA), rentgenfaza (RFA) və mikrostruktur (MSA) analizlərinin nəticələrinə görə Tl(GaS₂)_{1-x}(InSe₂)_x (x=0÷0,5) sisteminin hal diaqramı verilmişdir. Bərk məhlullarının yaranması üçün fiziki-kimyəvi kriteriləri müəyyənləşdirmişdir.

Резюме

В статье представлена краткая информация о технологии синтеза системы **TlGaS₂ - TlInSe₂**, описан метод получения поликристаллов и приведена фазовая диаграмма системы

Tl(GaS₂)_{1-x}(InSe₂)_x (x=0÷0,5) на основе результатов дифференциального термического анализа (ДТА), рентгенофазового анализа (РФС) и микроструктурного анализа (МСА). Определены физико-химические критерии образования твердых растворов.

Summary

The article provides brief information on the synthesis technology of the **TlGaS₂ - TlInSe₂** system, explains the method of obtaining polycrystals, and provides a phase diagram of the Tl(GaS₂)_{1-x}(InSe₂)_x (x=0÷0,5) system based on the results of differential thermal (DTA), X-ray phase (XRF) and microstructural (MSA) analyses. It determines the physicochemical criteria for the formation of solid solutions.

LAYLI QUQULUŞLU Ga-Se MONOKRİSTALININ SƏTH MORFOLOGİYASINA RADİASİYA DEFEKTLƏRİNİN TƏSİRİNİN AGM METODU İLƏ TƏDQIQI

Mədatov¹ R.S., Səfərzadə¹ Ə.Ə., Verdiyeva N.Ə., Məmmədşadə¹ Ö.İ.

¹Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı ;

²Gəncə Dövlət Universiteti-Gəncə

Açar sözlər: laylı kristal, səth morfologiyası, defekt, atom güc mikroskopu, radiasiya şüaları, vakansiya.

Ключевые слова: слоистый кристалл, морфология поверхности, дефект, атомно-силовой микроскоп, пучки излучения, вакансии.

Keywords: layered crystal, surface morphology, defect, atomic force microscope, radiation beams, vacancy.

Giriş

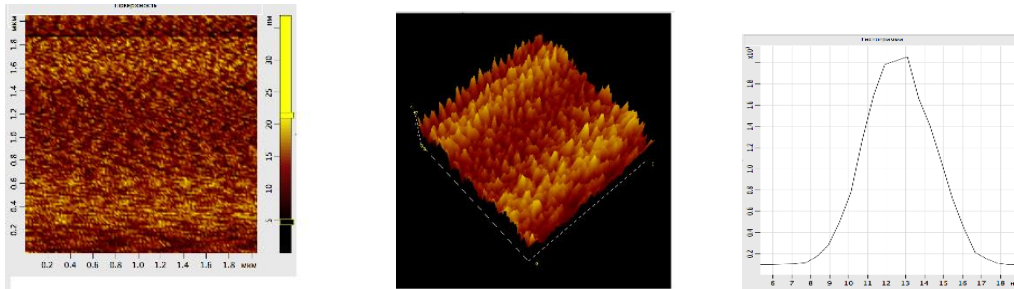
Son zamanlar fiziki xassələrin yüksək anizotropiyasına malik kristal maddələrə diqqət getdikcə artmaqdadır. Uzun illər boyu laylı kristalların xüsusiyyətləri bərk cisimlər fizikasında əsas tədqiqat sahəsini təşkil etmişdir. Son illərdə A³ B⁶ yarımkeçirici birləşmələrinin yüksək fəthəssassığa malik olması böyük maraq yarandır. Həmin birləşmələrin maraqlı nümayəndələrindən biri də laylı quruluşa malik GaSe –dir. GaSe xalsogenid dörd təbəqəli laylı bir birləşmədir və bu materiala olan maraq yalnız əsas xassələri ilə deyil, həmçinin mümkün praktik tətbiqi ilə stimullaşdırılır. Ga-Se üçün fəza diaqramının təsviri və bütün bərk fazaların struktur tədqiqatları bir çox müəlliflər tərəfindən verilmişdir [1-3]. GaSe-də aparılan araşdırmalar bu birləşmənin maraqlı yarımkeçirici xüsusiyyətlərə malik olduğunu göstərir.

Laylı quruluşa malik kristallar təbəqələr daxilindəki güclü (kovalent) rabitə və təbəqələr arasındakı zəif (ehtimal ki, Van-der-Vaals) rabitə ilə xarakterizə olunur. Hər bir (individual) təbəqənin quruluşu kristaldan kristala fərqlənir. A₃B₆ qrupunun GaS, GaSe və InSe yarımkeçiriciləri daha mürəkkəb, 4 qatlı təbəqə quruluşuna malikdirlər. GaS-in kristal quruluşu və optik xüsusiyyətləri ilə bağlı bir neçə işin aparıldığı bildirilmişdir [4,5].

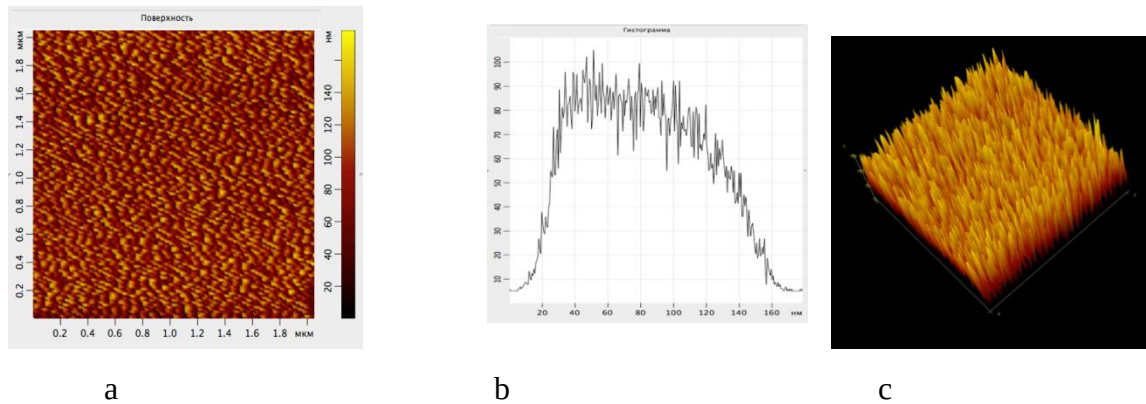
Elmi ədəbiyyatda laylı kristalların, xüsusən GaSe kristalının səth morfologiyasına radiasiya şüalarının təsiri haqqında məlumat yoxdur. Bu hadisənin öyrənilməsi səth defektlərinin paylanması idarə etməklə, spektrin ultra bənövşəyi və görünən oblastlarında fəthəssaslığın artırılmasına imkan verəkdir.

2. Təcrübə texnikası və mərhələlər

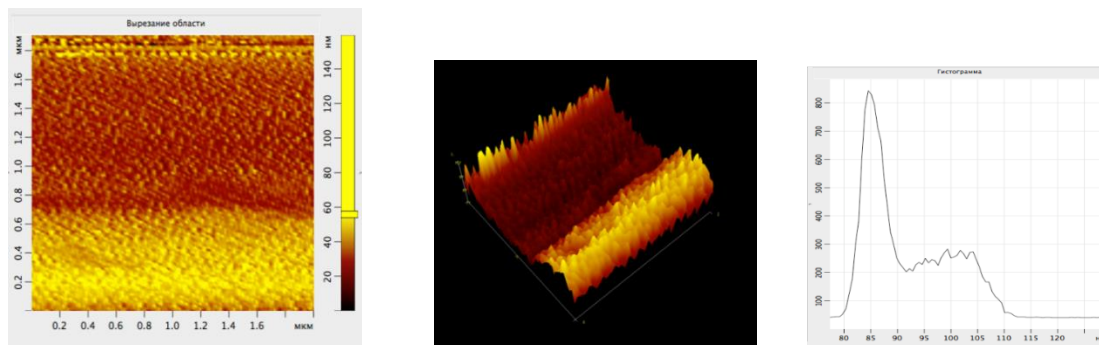
GaSe monokristalları Bricmen- Stokberqerin istiqamətlənmiş kristallaşma üsulu ilə alınmışdır. Kristallaşma zonasında temperatur qradienti 20-30 K/sm,yetişdirilmə sürəti isə 0,13 mm/saat olmuşdur. Alınmış monokristallar p-tip keçiriciliyə malik olmuş və otaq temperaturunda onların xüsusi müqaviməti (ρ) isə (10^7 - 10^9) Om·sm olmuşdur. Kristalın alınması zamanı yarana yaranan vakansiyasının konsentrasiyasını azaltmaq məqsədi ilə kükürd elementinin artıqlığı nəzərə alınmışdır. Kristall oxuna nəzərən anizotropluq dərəcəsi $\sim 10^2$ olmuşdur. . Alınmış kristalın analizi rentgen və DTA vasitəsilə həyata keçirilir və alınan kristal- parlaq sarı rəngdə - GaSe olması müəyyən edilmişdir. GaSe monokristalının səthi, horizontal görüntü imkanı 50 nm olan NanoEducator zond skanetmə mikroskopundan istifadə edərək təmas rejimində atom güc mikroskopu (AGM) ilə tədqiq edilmişdir . AGM vasitəsilə əldə edilən təsvirlər göstərir ki, bütün nümunələr üçün GaSe kristalının səthi monokristallik quruluşa malikdir.



Şəkil 1. GaSe monokristalının ilkin səth morfologiyası



Şəkil 2. GaSe monokristalında şüalanmadan sonra (50 krad) səth effektləri



a

b

c

Şəkil 3. GaSe monokristalında şüalanmadan sonra (100 krad) səth effektləri

Şəkil 1-də 2 D və 3D for formatlarında GaSe kristalının sıth morfologiyası və histoqramma verilmişdir. Şəkil 1 a-dan görünür ki, kristalın səthin qeyri hamarlıq mövcuddur və bu periodik olaraq təkrarlanır. Müşahidə olunan qabarıq və çökük hissələr Ga və Se atomlarının paylanması nəticəsində alınır. Şəkil 1b-də isə- 3D formatında qeyd olunan qeyri hamarlıq daha kəskin müşahidə olunur. Şəkil 1 c- də verilən histoqram əyrisindən səthdə müşahidə olunan qeyri hamar hissənin ölçüsünün $\sim 2.5-4$ mkm olduğu görünür.

Şəkil 2-də GaSe monokristalında şüalanmadan sonra (50 krad) səthin təsviri verilir. Şəkil 1a və b-dən görünür ki, şüalanmadan sonra kristalın səthi hamarlaşır və periodik təkrarlanan qeyri hamarlıq tədricən itir. Bu isə, kristalın səthində olan defektlərin şüalanma nəticəsində nizamlanmış olduğunu göstərir. Histoqrammadan görünür ki, daha iri defekt toplusu parçalanaraq kiçik ölçülü defektlərə çevrilir.

Şəkil 3-də isə GaSe monokristalında şüalanmada 100 krad doada şüalanmadan sonra səthin təsviri göstərilir. Şəkildən görünür ki, yüksək dozalarda defektlərin miqrasiyası nəticəsində qeyri hamarlıq artır və defektlərin uyğun mərkəzlər ətrafında toplanması müşahidə olunur. Həmin hissələrin ölçüləri histoqramdan müəyyən olunmuş və uyğun olaraq ~ 20 və ~ 40 mkm bərabərdir.

Beləliklə, GaSe monokristalında səthinin morfologiyasının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, qamma kvantların təsiri nəticəsində laylı GaSe monokristalının səthində defektlərin nizamlanma prosesi baş verir və bu nizamlanma şüalanma dozasının qiymətindən asılıdır.

Ədəbiyyat

1. 1.A.3.Абасова, Р.С.Мадатов, В.И.Стафеев. Радиационно-стимулированные процессы в халькогенидных структурах, Эльм, (2010) 352.
2. Babayeva, R.F. Photoconductivity of pure and rare-earth doped p -GaSe single crystals // International Journal of Modern Physics B, 2023, 37(14).
3. Abdinov, A.S., Babaeva, R.F. Electric-Field-Induced Impurity Effects in p-GaSe Single Crystals // Inorganic Materials, 2021, 57(11), pp. 1119–1123.
4. R. S. Madatov., S.A. Hajiyeva., M.A.Mammadov., The effect of gamma-rays on the electrical and photoelectric properties of the layered GaSe single crystals, 12th International conference «Nuclear and Radiation Physics» 24-27 June, 2019 Almaty, Republic of Kazakhstan, p.73.
5. Madatov Rahim, Najafov Arzu, Alakbarov Aydin, Tagiev Teymur, Khaliqzadeh Aydan, Features of electrical and photoelectric properties of GaS(Yb) monocrystals, A Journal of Physical Sciences, 2019, Volume 74, Issue 9, p. 1-5

Summary

As a result of studying the surface morphology of a GaSe single crystal, it was determined that, as a result of the action of gamma quanta, a process of ordering defects occurs on the surface of a layered GaSe single crystal, and this ordering depends on the value of the radiation dose.

Резюме

В результате изучения морфологии поверхности монокристалла GaSe было установлено, что под действием гамма-квантов на поверхности слоистого монокристалла GaSe происходит процесс упорядочения дефектов, причем это упорядочение зависит от величины дозы облучения.

GaSe/GeS HETEROJUNCTION VIA MELT-ASSISTED THIN FILM FABRICATION

Guliyeva S. S.^{a*}, Balayeva L. A^a, Guseinov A. G.^a

^aDepartment of Semiconductor physics, Baku State University, 23 Academic Zahid Khalilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan.

**E-mail: qsevinc52@gmail.com*

Keywords: GaSe; GeS; heterojunction; layered chalcogenide semiconductors; thin film fabrication.

Layered chalcogenide semiconductors such as GaSe and GeS have attracted significant attention due to their unique anisotropic structure, strong light–matter interaction, and tunable electronic properties. GaSe, a III–VI layered semiconductor, exhibits a quasi-direct band gap (~1.9–2.0 eV), high photosensitivity, and fast carrier dynamics, making it highly suitable for photodetector and optoelectronic applications [1,2]. On the other hand, GeS, belonging to IV–VI compounds, is characterized by a suitable band gap (~1.6–1.7 eV), high absorption coefficient, and good environmental stability. Its layered orthorhombic structure enables efficient charge transport and strong optical response in the visible range[3,4].The integration of GaSe and GeS into a heterojunction structure is particularly promising, as it enables band alignment engineering, improved charge separation, and enhanced photoresponse. Such heterostructures can significantly improve the performance of optoelectronic devices, especially in broadband photodetection and high-speed optical signal conversion. Therefore, the fabrication and investigation of GaSe/GeS heterojunctions represent an important step toward next-generation layered semiconductor devices.

The GaSe/GeS heterojunction was fabricated in a vacuum chamber at a residual pressure of 0.013 Pa by melting GeS powder onto a GaSe wafer with a thickness of approximately 200 μm. Both GaSe and GeS single crystals were grown using the Bridgman–Stockbarger method. GaSe wafers with two mutually parallel planar surfaces were mechanically prepared from bulk ingots. The wafer was placed on a horizontal metal plate, and GeS powder was uniformly distributed over a selected area on its upper surface. A thermocouple was mounted on the metal plate to enable precise monitoring and control of the temperature during the process. After achieving the required vacuum level, the temperature of the heater was gradually increased to approximately 670 °C. Using a dedicated mechanical positioning system, the metal plate was carefully moved toward the heater until the GeS powder reached its melting point and formed a molten phase. Subsequently, a controlled cooling process was initiated. By applying a sufficiently low cooling rate, the molten GeS crystallized and formed a continuous thin layer on the GaSe substrate, resulting in the formation of a GaSe/GeS heterojunction (Fig. 1a). Preliminary structural characterization using optical microscopy confirmed the formation of the heterointerface. The images reveal a distinct boundary between GaSe and GeS, indicating that GeS was successfully melted and recrystallized as a thin layer on the GaSe surface (Fig. 1b).

From an application perspective, the GaSe/GeS heterojunction is expected to exhibit enhanced charge separation and improved photoresponse due to favorable band alignment between the two materials. This makes the structure particularly promising for optoelectronic devices such as broadband photodetectors, optical sensors, and high-frequency signal converters. Future work will focus on detailed electrical and photoelectrical characterization of the

heterojunction, including current–voltage behavior, spectral responsivity, and carrier dynamics. In addition, optimization of layer thickness, interface quality, and doping levels may further improve device performance. The presented approach can also be extended to other layered semiconductor combinations, providing a versatile platform for the development of next-generation heterostructure-based optoelectronic devices.

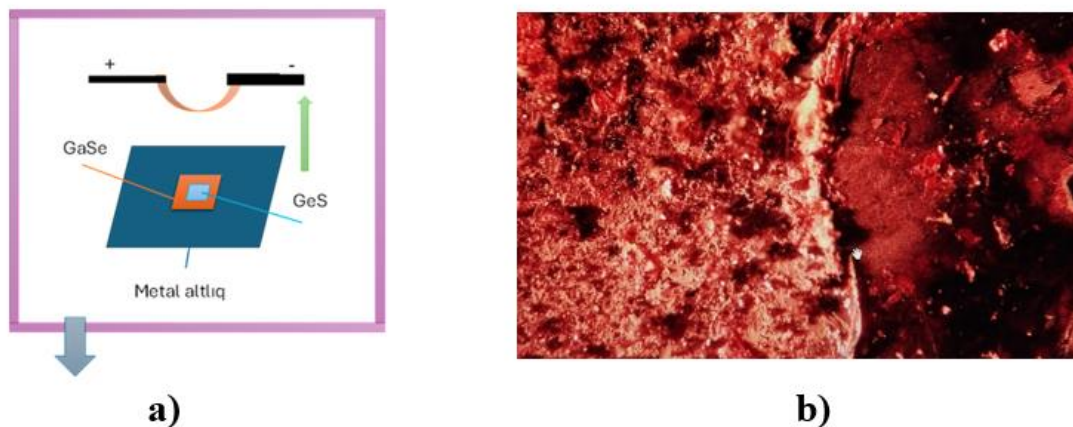


Fig.1.(a) Schematic illustration of the GaSe/GeS heterojunction formation process, showing the melting of GeS on the GaSe substrate under controlled thermal conditions. (b) Optical microscopy image of the fabricated GaSe/GeS heterojunction, highlighting the interface region between the GeS layer and GaSe substrate.

Reference

6. [1]. Sun, Y., Ren, Z., Zhao, Z., Zhang, F., & Xing, F. (2025). Gallium Sulfide and Gallium Selenide Nanosheets for Ultrafast Lasers and Optical Limiting. *ACS Applied Nano Materials*, 8(17), 8712-8719.
7. [2]. Liang, H., Xu, D., Chen, Y., Ma, Y., Guan, X., Zheng, Z., ... & Yang, G. (2026). Large-bandgap gallium selenide photodetectors and their application in anti-interference optoelectronic imaging and optical communications. *Journal of Materials Science & Technology*, 247, 109-118.
8. [3]. akamura, M., Nakamura, H., Matsushita, Y., Shimamura, K., & Ohashi, N. (2020). Growth of germanium monosulfide (GeS) single crystal by vapor transport from molten GeS source using a two-zone horizontal furnace. *Journal of Crystal Growth*, 547, 125813.
9. [4]. Zhang, Q., Matsumura, R., Tsukagoshi, K., & Fukata, N. (2024). Synthesis of submillimeter-scale laterally-grown germanium monosulfide thin films and their electro-optic applications. *Journal of Materials Chemistry C*, 12(44), 18101-18110.

Abstract

In this work, a GaSe/GeS heterojunction was fabricated under vacuum conditions by melting GeS powder onto a GaSe substrate. The process involved controlled heating and cooling, resulting in the formation of a thin GeS layer on the GaSe surface. Optical microscopy confirmed the presence of a well-defined heterointerface. The obtained heterostructure is considered promising for optoelectronic applications.

Xülasə

Bu işdə GaSe altlıq üzərində GeS tozunun əridilməsi yolu ilə GaSe/GeS heteroqeydi vakuum şəraitində hazırlanmışdır. Alınma prosesi nəzarətli qızdırma və soyutma mərhələləri

vasitəsilə həyata keçirilmiş, nəticədə GaSe səthində nazik GeS təbəqəsi formalaşdırılmışdır. Optik mikroskop nəticələri heterosərhədin aydın şəkildə yarandığını təsdiq edir. Alınmış heterostruktur optoelektron tətbiqlər üçün perspektivli hesab olunur.

Аннотация

В данной работе гетеропереход GaSe/GeS был получен в вакуумных условиях методом плавления порошка GeS на подложке GaSe. Процесс включал контролируемые этапы нагрева и охлаждения, в результате чего на поверхности GaSe сформировался тонкий слой GeS. Оптическая микроскопия подтвердила наличие четко выраженной гетерограницы. Полученная гетероструктура является перспективной для оптоэлектронных применений.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОДОВ НА ОСНОВЕ GaSe ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ НЕЙТРОНАМИ

*Абасова А.З., Гасанова Л.Г., Магомедов А.З., Джахангирова С.А.,
Бакинский Государственный Университет, AZ1148 Баку, Азербайджан
e-mail: ludmilahasanova@mail.ru*

Ключевые слова: нейтронное облучение, диодные структуры, фоточувствительность, GaSe.

Кристаллы GaSe обладают слоистой структурой и внутри каждого слоя атомы, в свою очередь, также образуют слои. При этом внешние слои образованы атомами селена, что и определяет более слабую связь в решетке. Рост числа вакансий селена при легировании, может быть связан и с распадом бивакансий $V_{Ga}V_{Se}$, поскольку введенная примесь в GaSe, занимает узлы Ga.

Всестороннее исследование GaSe, предсказало возможность образования на их основе различной полупроводниковой техники. Одной из основных проблем, является получение радиационно-устойчивых электронных приборов. По современным представлениям радиационный эффект в полупроводниках и приборах на их основе, основан на явлении ионизации атома, производимой ионизирующим излучением.

Выявлено, что радиационностойкость полупроводниковых приборов тесным образом связаны со структурным совершенством кристаллов, концентрацией и типом дефектов возникающих в процессе роста и последующей обработки.

При нейтронном облучении ($10^{12} - 10^{13}$ нейтр/см²) диодных структур из GaSe, наблюдалось увеличение фоточувствительности как и при гамма-облучении. При больших флюэнсах (10^{14} нейтр/см²), чувствительность уменьшалась ниже исходной величины на 30-40 % [1]. Спектральные характеристики диодных структур различных серий, по форме плато и красной границе чувствительности, были различные, что следует связывать с особенностями технологии изготовления и с удельными сопротивлениями исходного материала GaSe [1-4].

Изменение чувствительности ряда структур из GaSe во время облучения нейтронами при приложении прямого смещения ($U_{см}=10$ В), приведены на рисунках 1, 2 и 3. Такие структуры обладают фоточувствительностью в области спектра 0,55-1,1 мкм с основным максимумом при 0,58-0,61 мкм (S-диоды) при комнатной температуре.

У большинства фоточувствительных структур из GaSe, после облучения потоком

10^{13} нейтр/см², чувствительность возрастала на 20-40 %, во всей исследуемой области спектра. С ростом флюэнса нейтронов до 10^{14} нейтр/см² фоточувствительность в области собственного поглощения уменьшалась на 20-40 %, а в длинноволновой области (0,65-1,1 мкм) – не более чем на 15-20 % (рис. 1), у образцов с шириной спектральной характеристикой с максимумом при 0,65 мкм (рис. 2), после воздействия нейтронов (10^{13} нейтр/см²), наблюдалось уменьшение фоточувствительности во всем диапазоне спектра. Дальнейшее увеличение флюэнсов нейтронов до 10^{14} нейтр/см², приводило к монотонному уменьшению фоточувствительности.

На рисунке 3 приведены температурные зависимости фототока до и после воздействия различных флюэнсов нейтронов для фотодиодных структур на основе GaSe. Как видно, для данных образцов в области $T > 280$ К, наблюдалось температурное гашение фототока. Температурный ход зависимости фототока для образцов, облученных нейтронами, оставался без изменения. С понижением температуры до 150 К, фототок падал, что обусловлено наличием глубоких уровней прилипания в GaSe. Действительно, в этой области температур в спектре ТСП необлученных кристаллов, наблюдались уровни прилипания с глубиной залегания 0,2-0,3 эВ. При низких температурах, после облучения нейтронами флюэнсом $1,12 \cdot 10^{14}$ нейтр/см², фоточувствительность образцов практически не изменялась. С ростом температуры $T > 260$ К, чувствительность облученных образцов возрастала и при $T \approx 260-280$ К, становилась максимальной. В области $T > 280$ К зависимость фототока определяется наличием термического гашения фотопроводимости [5].

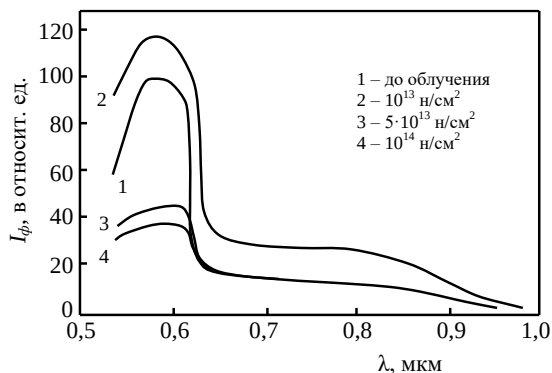


Рис. 1. Зависимость чувствительности структур GaSe после облучения нейтронами.

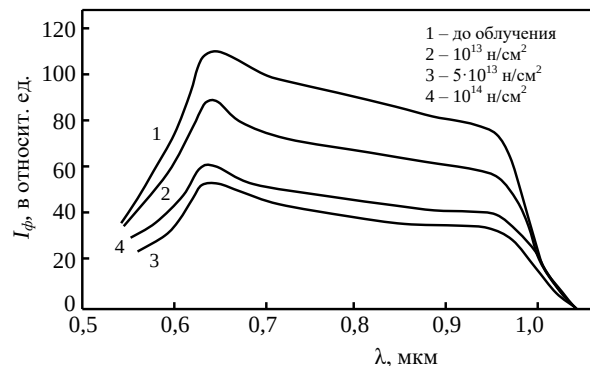


Рис. 2. Зависимость чувствительности структур GaSe после облучения нейтронами при приложении прямого смещения ($U_{cm}=10$ В).

На рисунке 4 приведены спектральные характеристики фотодиодов на основе GaSe при различных флюэнсах нейтронов и температурах. При низких температурах облучение не приводило к изменению чувствительности в области собственного поглощения GaSe.

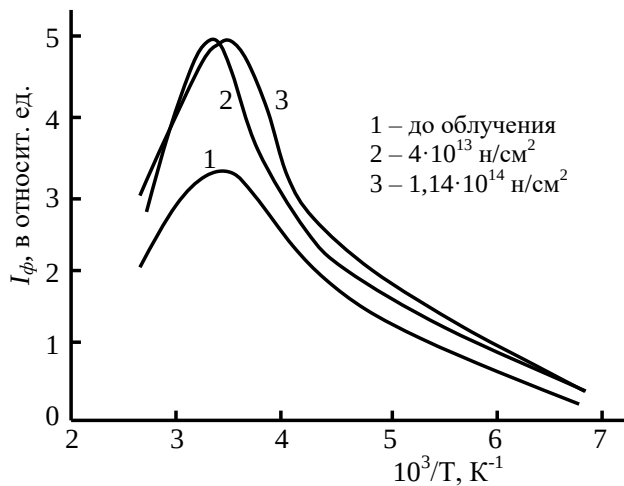


Рис. 3. Температурная зависимость фототока до и после воздействия различных флюэнсов нейтронов для фотодиодных структур GaSe.

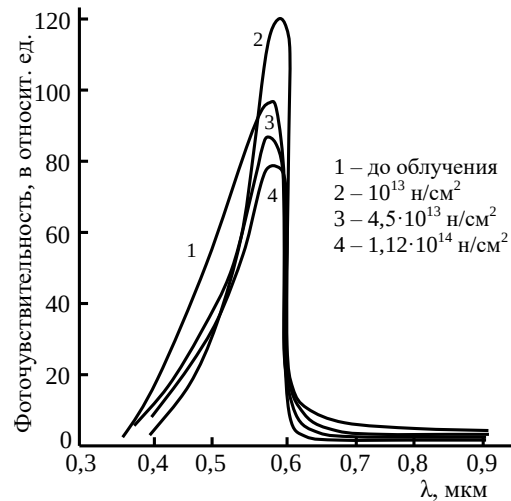


Рис. 4. Спектральные характеристики фотодиодов на основе GaSe при различных флюэнсах нейтронов и температурах: $T=295$ К (1 – до; 2 – $4,3 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²; 3 – $1,12 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²), $T=330$ К (4 – до; 5 – $4,3 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²; 6 – $1,12 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²).

При этом примесная фоточувствительность с ростом температуры до комнатной, уменьшалась до исходной величины, а дальнейший рост температуры приводил к увеличению ее во всей исследуемой области спектра вплоть до 1,1 мкм. Рост чувствительности в данных образцах обусловлен увеличением времени жизни неравновесных дырок в GaSe в результате перестройки дефектов и изменения степени дырочного заполнения очувствляющих центров. Об этом свидетельствует появление мелких уровней прилипания для дырок при облучении [5].

Литература

1. Bude R.H., Lind E.Z. Photoconductivity in gallium sulfo-selenide solid solution. Phys. Rev., 1960. v. 119. p. 1535-1540.
2. Абдуллаев Г.Б., Абасова А.З., Зайтов Ф.А., Стафеев В.И., Салаев Э.Ю. Радиационные эффекты в кристаллах $A^{III}B^{VI}$ и фоточувствительных структурах на их основе, Тез. док. Всесоюз. сем. по РЭ в полупр. и приб. Баку, 1980, 18-22 окт., с. 20-21.
3. Абдуллаев Г.Б., Абасова А.З., Горшков А.М., Зайтов Ф.А., Стафеев В.И., Салаев Э.Ю., Шаляпина Г.М. Влияние гамма-нейтронного и электронного облучения на фоточувствительные структуры из GaSe, ФТП, 1982, т. 16, с. 1136-1138.
4. Ковалюк Э.Д., Катеринчук В.Н., Поитанская О.А., Раранский Н.Д. Характеристики гетеропереходов окисел-р-InSe в условиях рентгеновского облучения, ФТП, 2006, т. 40, №2, с. 1940-1945.
5. Ковалюк Э.Д., Литовченко П.Г., Поитанская О.А., Сидор О.Н., Катеринчук В.Н., Ластовецкий В.Ф., Литовченко О.П., Дубовой В.К., Поливец Л.А. Влияние нейтронного облучения на фотоэлектрические параметры структур ИТО-GaSe, ФТП, 2007, т. 41, №5, с. 570-574.

Xülasə

Məqalədə neytron şüalanmasının GaSe monokristal əsasında diod strukturlarının fotokeçiriciliyinə və fotohəssaslığına təsiri araşdırılır. Müəyyən edilmişdir, ki fotohəssaslığın artması GaSe kristallarında qeyri-tarazlıqlı dəşiklərin yaşama müddətinin artması ilə əlaqədardır.

Аннотация

В работе исследуется действие нейтронного облучения на фотопроводимость диодных структур на основе кристаллов GaSe. Рассмотрено влияние нейтронного облучения на фоточувствительность диодных структур на основе кристаллов GaSe. Установлено, рост чувствительности обусловлен увеличением времени жизни неравновесных дырок в кристаллах GaSe.

Abstract

This paper examines the effect of neutron irradiation on the photoconductivity of GaSe crystal-based diode structures. The effect of neutron irradiation on the photosensitivity of GaSe crystal-based diode structures is examined. It is established that the increase in sensitivity is due to an increase in the lifetime of nonequilibrium holes in GaSe crystals.

İNTERKALYASIYA QURĞUSU VƏ ÖLÇMƏ ÜÇÜN NÜMUNƏNİN HAZIRLANMASI

Rustamov V.C., Namazov Y.B., Dadaşlı Ç.T.

Gəncə Dövlət Universiteti

yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: Brijmen üsulu, kristallaşdırma, interkalyasiya, tenzohəssaslıq, tenzohəssaslıq əmsalını, foto və tenzorezistorlar.

Ключевые слова: метод Бриджмена, кристаллизация, интеркаляция, деформационная чувствительность, коэффициент деформационной чувствительности, фото- и тензодатчики.

Keywords: Bridgeman method, crystallization, intercalation, strain sensitivity, strain sensitivity coefficient, photo and strain gauges.

$TlInSe_2$ monokristalının fiziki xassələrini tədqiq etmək üçün təmiz və cilalanmış kristallar lazımdır. Belə kristalları almaq üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilmişdir: sabit temperatur qradienti ilə yavaş soyutma prinsipi əsasında, Brijmen üsulu və zona kristallaşma üsulu.

Kristalları təmiz və effektiv almaq üçün zona kristallaşdırma üsulu daha əlverişli olmuşdur. Bu üsulun əlverişli olması onunla əlaqədardır ki, birləşmənin ərimə nöqtəsində (ampulanın daxilində) yaranan buxarın elastikliyi az olur və müsbət əmsallı istidən genişlənmə əmələ gəldiyi üçün birləşmə orta temperaturunda ($1051^{\circ}K$) əriyir. Kristalın göyərdilməsi ağzı bağlı kvars ampulanın içərisində təxminən $10^{-4} mm.civə\ sūt.$ təzyiq şəraitində aparılır. Ampuladakı birləşmənin ərimiş zolağı (uzunluğu 5-15 mm) peçin daxili ilə hərəkət etdirilmişdir.

Üfuqi istiqamətdə kristallaşdırmaqda (95mm/saat sürətlə) bu birləşmənin yavaş soyutma ($\sim 3^{\circ}dər/saat$) nəticəsində ($\sim 6^{\circ}dər/sm$) sabit temperatur qradientində başqa növ orientasiya müşahidə edilmişdir. Kristalloqrafin «S» oxu ampuladakı laylar istiqamətində yönəldilmiş, ancaq yuxarıda göstərilən kristallaşmanın iki müstəvisi olduğu kimi saxlanılaraq öz üfuqi vəziyyətində qalmışdır. Bununla da yuxarıda göstərilən üç kristallaşdırma variantı bu birləşmədə layların müstəvisi üzrə aşağıdakı qaydada müşahidə edilmişdir.

Kristallasdırma müstəvilərinin normalı maksimum temperatur qradientinin istiqamətində yönəlir. Göstərilən seçmə üsulunu aşağıdakı hallarla təsəvvür etmək olur. Kristallaşdırmanın başlanğıcında ilk kiçik özək yaranır ki, bunun da xüsusi çəkisi məhlulun xüsusi çəkisindən kiçik olduğuna görə asanlıqla məhlulun səthinə qalxır: kristalın sonrakı göyərması bu mərkəzdən başlayaraq maksimum temperatur istiqamətində tam kristallaşır. Əvvəlcə, üfüqi istiqamətdə götürülmüş məhlulun üzərində nazik kristallik təbəqə get-gedə qravitasiya sahəsinin təsiri ilə məhlulun içərisinə çökür. Qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda göstərilən kristallaşdırma üsulları ilə bu birləşmədən müxtəlif ölçülü kristallar almaq olur.

Bu üsullarla alınmış təmiz və cilalanmış monokristallar, foto və pyezorezistorları hazırlamaq üçün keyfiyyətli materialdır. Həndəsi formalarının oxşarlığını nəzərə almasaq bu kristaldan hazırlanan foto və tenzorezistorların hazırlanma texnoloqiyları mürəkkəbdir.

Sənayedə buraxılan yarımkeçirici foto və tenzorezistorların hazırlanma texnoloqiylası böyük əmək tələb edir və çox vaxt aparır. Ona görə ki, bu kristalların səthinin təmizlənməsi, cilalanması və nümunənin hazırlanması böyük əməklə başa gəlir.

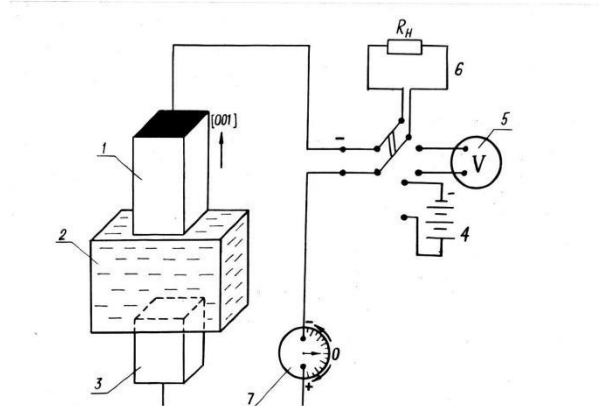
Litiumla interkalyasiya olunmuş $TlInSe_2$ monokristallarının seçilmiş məmullatlara kontakt vurulması iki üsulla həyata keçirilmişdir:

1. Təsirsiz qaz mühitində əridilmiş In -dan istifadə etməklə en kəsiyinin sahəsi 0.1 mm olan naqilindən nümunəyə kontakt yapışdırılmışdır;
2. Təsirsiz qaz mühitində seçilmiş naqilin kondensator boşalması vasitəsi ilə nümunənin səthinə lehimlənməsi.

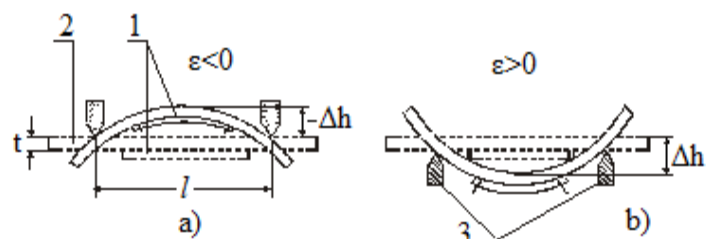
Bizim tədqiqat işimizdə əsasən effektiv və etibarlı üsul olan ikinci üsuldən istifadə edilmişdir.

Bu qaydada hazırlanmış tenzoelement 45 markalı, qalınlığı $0.5 \div 1 \text{ mm}$, uzunluğu $20 \div 60 \text{ mm}$ olan polad lövhə üzərinə yapışdırılmışdır. Altlığın səthinin işlənilməsi yüksək səviyyədə olmalıdır.

Bu altlıq onun üzərinə tenzoelementlər yapışdırılana qədər əvvəlcə səthindəki kənar çökmətlərin kənarlaşdırılması məqsədilə toluolla təmizlənilir, sonra etil spirti ilə yuyulur. Bu qaydada təmizlənmiş altlığın üstü E - 40 eboksid qətranının məhlulu olan (EP-96) eboksid krezol lakı ilə örtülür. Təbəqə $10 \div 15 \text{ mikron}$ olur və bu zaman çalışılmalıdır ki, təbəqənin qalınlığı altlığın hər yerində eyni olsun. Altlıq $1 \div 1.5 \text{ saat}$ otaq temperaturunda saxlanıldıqdan sonra, yüksək temperaturlu polimerləşmə aparılması üçün quruducu şkafa yerləşdirilir. Temperaturun tədricən 450 K -ə qədər qaldırılması və altlığın bu temperaturda $1 \div 1.5 \text{ saat}$ saxlanması polimerləşmənin tam başa çatmasını təmin edir. Altlığın hamar səthi üzərinə tenzorezistorun ölçüsündən bir neçə dəfə böyük olan ikinci lak təbəqəsi çəkilir. Kontakt vurulmuş kristallar lak təbəqəsi üzərinə qoyularaq yüngülcə səthə doğru sıxılır. Bundan sonra kristal nümunəsi lakla



Şəkil 1. İnterkalyasiya qurğusu.



Şəkil 2. Statik rejimdə nisbi deformasiyanı ölçmək üçün istifadə olunan qurğunun sxemi

tamamilə örtülür və onun əvvəlcədən altlıq üzərində verilmiş vəziyyətinin saxlanılmasını təmin etmək üçün o, eni 1.5 mm olan lentlə altlığa sarınır. Bu qaydada hazırlanmış cihazın qurudulması $290 \div 296\text{ K}$ temperatur intervalında 1 saat saxlanılmaqla və 460 K - də $1.5 \div 2\text{ saat}$ müddətində dəmləmə aparmaqla həyata keçirilir. Bu prosesdən sonra hazırlanmış ötürücülər tədqiqat üçün hazır vəziyyətdə olurlar.

Şəkil 2-də təsvir olunan sxemə əsasən [2] tenzohəssaslıq əmsalını deformasiya olmadıqda V_0 gərginlik düşgüsünü və statik deformasiya olduqda gərginlik düşgüsünü ölçməklə təyin etmək olar.

İfrat kiçik deformasiyalar ($10^{-7} - 10^{-10}$) və kiçik tenzohəssaslığa malik olan kristallar üçün
 $(\Delta V_{\varepsilon,0} \ll V_0)$ və ya $V_{\varepsilon} = V_0 \pm \Delta V_{\varepsilon,0} = V_0$
 olduğundan,

$$K = \frac{\Delta V_{\varepsilon,0}}{V_0 \cdot \varepsilon} \quad (1)$$

düstürundan istifadə etmək olar .

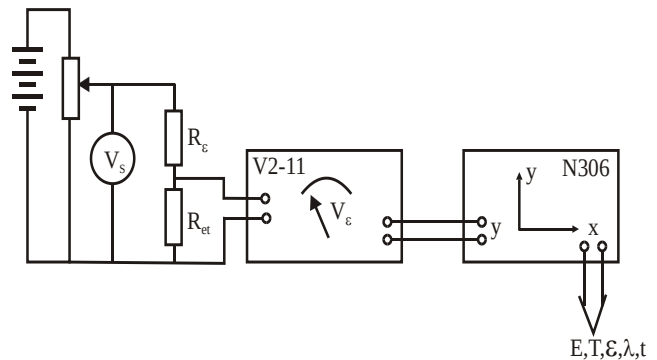
Tenzohəssaslıq əmsalının təyini zamanı xətanın qiyməti haqqında müəyyən təsəvvürə malik olmaq üçün R_H və R_{ε} - nin müxtəlif nisbətlərində bu vuruğun nəzərə alınmaması səbəbindən, həqiqətə ən yaxın qiymət kimi K - nın (1) düsturu ilə ifadə olunan münasibətini götürmək lazımdır. V2-11 tipli mikrovoltmetlə birlikdə N306 tipli qrafikçəkəndən istifadə edilməsi, ölçmələrin nəticələrinin qeyd edilməsini nəzərə çarpacaq dərəcədə asanlaşdırır (şəkil 3). Bu zaman qrafikçəkənin şaquli kanalı – Y, V_{ε} (həmçinin V_0) signalının qeyd olunmasında, üfüqi – X kanalı isə təsir edən amillərin: elektrik sahəsi (E), temperatur (T), deformasiya dərəcəsi (ε), elektromaqnit dalğalarının uzunluğu (λ), zaman və s. müəyyən edilməsində istifadə olunur. Təbiidir ki, ölçülən kəmiyyətin temperatur asılılığının deformasiya halında və yaxud deformasiya olmayan halda volt - amper xarak-teristikalarının yazılışı zamanı iki koordinatlı potensiometr-dən istifadə rejimi əlverişlidir.

Bütün digər hallarda ölçülən kəmiyyətin zaman asılılığı blok rejimi tətbiq edilməklə müəyyən edilir. $\Delta V_{\varepsilon,0}$ tenzo-signalının avtomatik yazılışı zamanı arabacığın manipulyatoru sinxron mühərrikin köməyi ilə hərəkətə gətirilir.

Yuxarıda təsvir olunan üsulla iynəyəbənzər monokristalları olan birləşmələrin tenzometrik xarakteristikaları deformasiya müddətindən və deformasiya tərtibindən asılı olaraq deformasiyanın həm müsbət, həm də mənfi qiymətlərində düz və əks istiqamətlərdə müəyyən edilmişdir. Bu ölçmələr nəticəsində müəyyən edilir ki, nümunələrin qurudulması və yapışqanın qalınlığının normal seçilməsi halında, nisbətən kiçik deformasiyada belə eyni tenzoeffekt müşahidə edilir.

Ədəbiyyat

1. И.М. Стахира, Н.К. Товстюк, В.Л. Фоменко, В.М. Цмоць, А.Н. Щупляк. Структура и



Şəkil 3. Statik rejimdə tenzohəssaslıq əmsalını təyin etmək üçün prinsipial sxem.

магнитные свойства монокристаллов InSe, интеркалированных никелем. Физика и техника полупроводников, 2011, том 45, вып. 10, стр. 1308-1313

2. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов Учебник для вузов. 2-е издание, переработанное и дополненное. Москва: Высшая школа, 1987. -239 с.

Аннотация

Изложены обработка образцов, принцип работы устройства интеркаляция и результаты исследований процессов регулирования чувствительности тензодатчиков

Abstract

The processing of samples, the principle of operation of the intercalation device and the results of research on the processes of regulation of the sensitivity of strain gauges are described.

EFFECT OF γ -RADIATION ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF p-CuTlS₂ SINGLE CRYSTAL

Madatov R S.^{1,2}, Mamishova R. M.^{1,2}, Khaligzadeh A. Sh.^{1,3}, Farajova U.F..²

¹*Institute of Physics PLE, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, H.Javid ave 131, AZ 1143, Baku, Azerbaijan*

²*National Aviation Academy, Department of Applied and General Physics, Bina, 25th km, AZ - 1045, Baku, Azerbaijan*

³*Baku State University, Z.Khalilov 23, AZ 1148, Baku, Azerbaijan*

Keywords: CuTlS₂ single crystal, gamma radiation, electrical conductivity, defect states, current transport mechanisms

Bu işdə p-tip CuTlS₂ monokristalında γ -şüalanmanın elektrik keçiriciliyinə təsiri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanma cərəyan-gərginlik xarakteristikasını dəyişir və defektlərin tipindən asılı olaraq keçiriciliyin azalması və ya artmasına səbəb olur. Aşağı dozada donor, yüksək dozada isə akseptor tipli defektlər üstünlük təşkil edir. Temperatur asılılığı termosahə ionlaşması mexanizmini göstərir. Nəticədə γ -şüalanma materialın yükdaşıma mexanizmini və elektrofiziki parametrlərini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir.

В работе исследовано влияние γ -излучения на электрическую проводимость монокристалла p-CuTlS₂. Показано, что облучение изменяет вольт-амперные характеристики и механизм переноса заряда. При малых дозах преобладают донорные дефекты и проводимость уменьшается, при больших дозах доминируют акцепторные дефекты, что приводит к росту проводимости. Температурные зависимости свидетельствуют о термо-полевой ионизации. γ -облучение существенно изменяет дефектную структуру и электрофизические свойства материала

In this work, the effect of γ -radiation on the current transport mechanism in a p-type CuTlS₂ single crystal, which is one of the narrow-bandgap semiconductor materials, has been investigated experimentally and theoretically. The studies were carried out in the temperature range of 100–300 K and in the electric field range of 10–10⁴ V/cm. The samples were grown by the Bridgman–Stockbarger method, and their electrical conductivity and current-voltage characteristics were analyzed at different radiation doses.

It was established that in unirradiated crystals the current-voltage dependence follows the law $I \sim U^n$. Ohmic behavior is observed at low voltages, quadratic dependence at intermediate fields, and a sharp increase at high fields due to trap filling. Under the influence of γ -radiation, the nature of these dependences changes, and depending on the radiation dose both the current value and transition voltages are modified.

At low radiation doses, donor-type defects dominate in the crystal, which leads to a decrease in the concentration of free charge carriers and, consequently, to a reduction in conductivity. At high irradiation doses, acceptor-type defects become dominant, resulting in an increase in conductivity. This process is explained by the formation of cation vacancies and defect clusters in the crystal lattice.

Parameters	Before radiation	In low doses (<500 krad)	High doses (>1 Mrad)
Mean free bath (λ), cm	6×10^{-6}	6.2×10^{-6}	2.3×10^{-6}
Potential barrier height, cm	2.3×10^{-6}	2.5×10^{-6}	7.3×10^{-7}

Parameters	Before radiation	In low doses (<500 krad)	High doses (>1 Mrad)
Dielektric constant (ϵ)	15	≈ 15	200
Activation energy (eV)	~ 0.025 (low T)	unchanged	~ 0.08 (high T)
Carriers concentration (cm^{-3})	7×10^{16}	2×10^{15}	Increases
Trap concentration (cm^{-3})	3.2×10^{13}	1.2×10^{15}	Increases

Temperature dependences show that at low temperatures the current changes weakly, whereas at high temperatures a sharp increase occurs due to thermo-field ionization. The activation energy was determined to be approximately 0.025 eV at low temperatures and 0.08 eV at high temperatures. Calculations made it possible to determine the dependence of parameters such as mean free path, potential barrier height, and dielectric constant on radiation dose.

The impedance spectroscopy results indicate that the dielectric function changes depending on temperature and frequency and that relaxation processes are present. Thus, the performed studies show that γ -radiation significantly modifies the defect structure and charge transport mechanisms in the CuTlS₂ single crystal, and these changes directly affect the electrophysical properties of the material.

References

1. Z.S. Aliev, Y.M. Koroteev, T. Breczewski, N.B. Babanly, I.R. Amiraslanov and others Insight on a novel layered semiconductors: CuTlS and CuTlSe. *Journal of Solid State Chemistry*, **242**, 1-7. doi.org/10.1016/j.jssc.2016.05.036 (2016)
2. Rahim Madatov, Rakshana Mamishova, Adila Abasova and Shamsaddin Alahverdiyev, Differential-thermal analysis and a microscopic study of the effect of γ -radiation on CuTlSe₂ single crystal, *International Journal of Modern Physics B* (2023) 2350265, DOI: 10.1142/S021797922350265X
3. Madatov R.S, Mamishova R.M, Baylarov G.B., Characteristics of current injection in the narrow -band p-CuTlS single crystal, *Applied Physics A* (2021) 127:364

Abstract

The effect of γ -radiation on the electrical conductivity of p-CuTlS₂ single crystals has been investigated. The current-voltage characteristics follow the $I \sim U^n$ law and change significantly after irradiation. Low radiation doses introduce donor-type defects reducing conductivity, while high doses create acceptor-type defects leading to conductivity enhancement. Temperature dependences indicate thermo-field ionization mechanisms. γ -radiation strongly modifies the defect structure and charge transport processes in CuTlS₂ single crystals.

YARIMKEÇİRİCİ İNJEKSİYA LAZERLƏRİNDƏ İSTİFADƏ OLUNAN BƏZİ OPTİK REZONATOR SİSTEMLƏRİ

Cəfərova S.Q., Xəlilova A.M.², Məmmədşadə A.M.

Gəncə Dövlət Universiteti

Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti²

Açar sözlər: rezonator, optik doldurma, lazerlər, əks rəbitəli lazer, injeksiya lazeri.

Ключевые слова: резонатор, оптическое заполнение, лазеры, лазеры с обратной связью, инжекционные лазеры.

Keywords: resonator, optical filling, lasers, lasers with feedback, injection lasers.

Rezonatorlar əksedirici, sındırıcı, fokuslayıcı dispersiya və digər optik elementlər sistemlərdən ibarət olan qurğudur. Fəzada bu elementlər arasında optik diapazonlu elektromaqnit sahəsinin, məxsusi rəqslər və ya rezonatorun modalar adlanan müəyyən növ rəqslər həyəcanlaşdırıla bilər. Bütün növ lazerlərdə geniş tətbiq olunan, ən sadə rezonator, bir-birindən l məsafədə yerləşdirilmiş iki müstəvi paralel lövhələrdən ibarət müstəvi rezonatorudur. Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, yarımkeçirici injeksiya lazerlərində göstərilən tip rezonator sistemlərindən istifadə olunur.

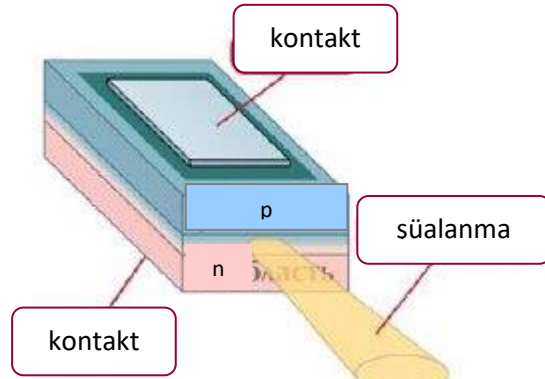
1. Fabri-Pero (FP-lazer), Fabry-Perot (FP-lazer) Lazerin bu növündə rezonatorların funksiyasını yerinə yetirən iki müstəvi güzgüdən istifadə edilir. O, iki şüalanma rejimində işəyə bilər: birmodullu və ikimodullu

Bu lazerlər verilənlərin ötürülmə sürəti 2,5Qbit/s-dən çox olmayan rabitə sistemlərində tətbiq olunur. Bu halda lazer diodlarının dinamik xassələri, şüalanma gücünün birbaşa modulyasiyası zamanı spektral xarakteristikasının ötürülmə sürətindən asılılığı sayəsində açılır. Modulyasiya körükləmə cərəyanının dəyişməsi yolu ilə baş verir. Bu növ lazerin bir modullu konstruksiyada verilənlərin ötürülmə sürətinin artması moda tərkibinin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Moda tərkibinin dəyişməsi 1-2HS tərkibli tezliklə modulyasiya zamanı spektrin 10nm-dək genişlənməsindən ibarətdir.

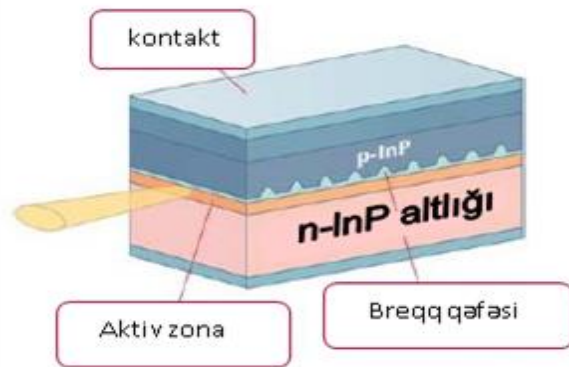
2. Paylanmış əks rabitəli lazer (PƏR-rezonator), Diskributed feedback lazer (DFB lazer) 1550 nm dalğa uzunluğu işçi hesab edilir.

CWDM standartı ilə 1310 nm-dən 1610 nm-dək dalğa uzunluğu diapazonunda 20 nm addımla işləyə bilər. Bu növ lazer, şüalanmanın yayılması şəraitində birbaşa təsir göstərən quruluş parametrlərinin dövrü fəza modulyasiyası ilə əlaqədar yaranır. Bu növ lazer verilənlərin ötürülmə sürəti 2,5Qbit/s-dən çox olan sistemlərdə tətbiq olunur.

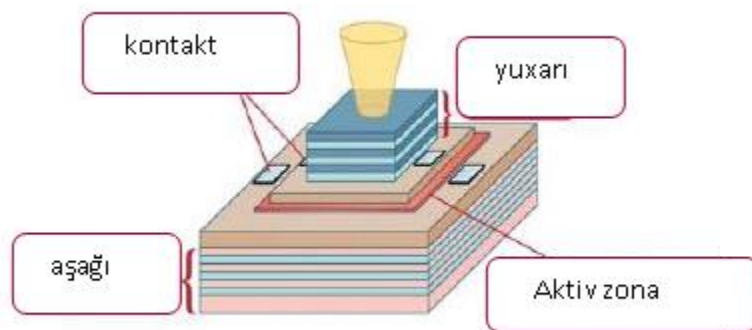
3. Şaquli həcmli rezonatorlu lazerlər (VCSEL lazer), Vertical Cavity Surface Emitting lazer (VCSEL lazer). Bu növ lazer üçün işçi dalğa uzunluğu 850 nm hesab edilir.



Şəkil 1. Fabri-Pero rezonatorlu lazer



Şəkil 2. Paylanmış əks rabitəli lazer



Şəkil 3. Şaquli həcmli rezonatorlu lazerlər.

Ədəbiyyat

1. Abidinov Ə.Ş., Mehdiyev N.M. Optoelektronika. Bakı, "Maarif", 2005
2. О.Б.Богданкевич, С.А.Дарзнец, П.Г.Гелисеев, Полупроводниковые лазеры. М., 1976
3. В.П.Грибковский – Полупроводниковые лазеры. М., 1988.
4. <https://megabook.ru/article/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%8F%20%D0%90%D1%80%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B4>
5. www.rambler.ru
6. www.google.com/search?q=vertical+cavity+surface+emitting+laser+diode&sxsrf

Аннотация

Были изучены резонаторы и их применение в полупроводниковых лазерах, Фабри-Перо (лазер FP), лазер с дискретной обратной связью (лазер DFB), лазер с вертикально-объемным резонатором (лазер VCSEL).

Abstract

Resonators and their application in semiconductor lasers were studied, Fabrn-Perot (FP-laser), Diskributed feedback laser (DFB laser), Vertical Cavity Surface Emitting laser (VCSEL laser) were studied.

GaAs ƏSASLI YARIMKEÇİRİCİ LAZERLƏRDƏ OPTİK DOLDURMANIN XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN ARAŞDIRILMASI

Namazov Y.B., Məmmədova S.O. , Məmmədzadə A.M.
Gəncə Dövlət Universiteti

Açar sözlər: optik doldurma, lazerlər, birfotonlu və ikifotonlu həyəcanlaşmalar, eninə və uzununa hasiletmə, injeksiya lazeri.

Ключевые слова: лазеры оптического заполнения, инъекционные лазеры, поперечная и продольная генерация, однофотонная и двухфотонная возбуждения.

Keywords: optical filling lasers, injection lasers, transverse and longitudinal generation, one-photon and two-photon excitation.

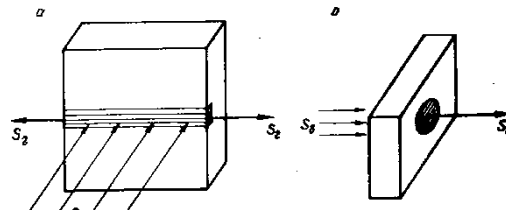
Yarımkeçirici lazerlər üçün birləşmələrin alınmasında manokristalların və nazik təbəqələrin göyərdilməsi və aşqarlanmasının yüksək təkmilləşdirilmiş texnologiyası, omik kontaktların işarələnməsi və digər mürəkkəb əməliyyatların yerinə yetirilməsi tələb olunur. Bir çox geniş zonalı p-n keçidlərində kristalların elektrik keçiriciliyinin monotip olduğuna görə yarımkeçirici lazer almaq olmur. Keyfiyyətli və davamlı heteroquruluşların göyərdilməsi üçün isə kristal qəfəsin sabit komponentlərinin uyğunluğu lazımdır ki, bu da həmişə reallaşmır.[1]

Optik doldurma zamanı xüsusi quruluşun yaradılması tələb olunmur. Güclü və ya zəif aşqarlanmış p-n tip biricins nümunələrdən və ya yarımkeçiricilərdən istifadə etmək olar. Qeyd etmək lazımdır ki, gələcəkdə inversiya məskunlaşmasının yaradılmasının universal üsulu olacaq optik doldurma heteroquruluşları və kvant ölçülü təbəqələri həyəcanlandırmağa imkan verir. Bununla eyni zamanda, əgər injeksiya lazerlərində elektrik cərəyanı enerjisinin birbaşa şüalanmaya çevrilməsi baş verirsə, onda optik doldurma halında enerjinin ikimərhələli çevrilməsi reallaşır. Əvvəlcə, xarici şüalanmanın enerjisi kristalın müxtəlif həyəcanlanmış hallarının enerjisinə çevrilir, sonra isə onun bir hissəsi yenidən spontan və ya stimullaşdırılmış şüalanmaya qaydır. Bu proseslərin effektivliyi, həm işığın xarakteristikaları (onun spektral tərkibi, polyarlaşması, intensivliyi, koherentlik dərəcəsi və yayılma istiqaməti), həm də yarımkeçiricilərin xassələri və birinci növbədə onun zona quruluşu ilə təyin edilir. Yarımkeçiricilərdə işığın udulması və buraxılması proseslərinə xarici şərait: temperatur, mexaniki təzyiq, elektrik və maqnit sahələri əhəmiyyətli, bəzən isə həlledici təsir göstərir.

Optik doldurmanın enerji kəsiyi, hələ onun kristalda udulmasından əvvəl başlayır. Yarımkeçirici, dielektrik sabitinin böyük qiyməti ilə xarakterizə olunduğundan, şüalanmanın kristalın səthinə perpendikulyar yönəlmiş xeyli hissəsi (təxminən 30%), ondan əks olunur. Əgər, əvvəlki kimi $k(v)$ – udulma əmsalı, d – nümunənin qalınlığı $k(v)d \gg 1$ şərti ödəmirsə, onda həyəcanlaşdırıcı şüalanmanın bir hissəsi kristalın arxa hissəsindən çıxır. Yekun nəticədə kristalda udulan enerji, şüalanma və istilik hasil edən fotoluminesensiyaya çevrilir.

Optik doldurma lazerlərdə hər şeydən əvvəl birfotonlu və ikifotonlu həyəcanlaşmaları fərqləndirmək lazımdır. Birfotonlu həyəcanlaşmada $k(v)$ böyük qiymətə malik olur, ($10^3 \dots 10^5 \text{ sm}^{-1}$), ona görə də inversiya məskunlaşması, qalınlığı təxminən $1/k(v_v)$ olan səthə yaxın təbəqədə yaranır. Hasil olunan şüalanma, həyəcanlaşdırıcı işığın yayılma istiqamətinə perpendikulyar yayıldığı vaxt, adətən eninə doldurma variantı reallaşır. Fəal maddənin dar zolağını almaq üçün həyəcanlaşdırıcı işıq silindrik linzalarla fokuslaşır.

Ikifotonlu həyəcanlaşma zamanı $h\nu_v > E_g / 2$, udulma əmsalının qiyməti o qədər də böyük olmur və inversiya məskunlaşması nümunənin səthindən xeyli dərinədə yarana bilər. Ona görə də



həyəcanlaşdırıcı işıq rezonatorun oxuna həm paralel, həm də perpendikulyar yönəldə bilər. (şəkil 1)

Şəkil 1. Optik həyəcanlaşma hasilətmənin eninə (a) və uzununa variantları

Yarımkeçiricilərin optik doldurma mənbəyi kimi daha tez-tez bərkisimli lazerlər tətbiq olunur. O cümlədən GaAs – qalium arsenidin birfotonlu həyəcanlaşdırılması üçün ya bilavasitə yaqut lazerinin şüalanmasının, ya da bu şüalanmanın maye azotda məcburi kombinasiyalı

səpilməsinin stoks komponentindən istifadə edilir. GaAs ikifotonlu həyəcanlaşması üçün neodim lazerinin şüalanması uyğun gəlir. Bu yolla, otaq temperaturunda fasiləsiz hasiletmə alınmışdır. [2]

Neodim lazerinin şüalanmasının ikinci qatının ikifotonlu udulması, geniş zonalı ZnS yarımkeçiricisini həyəcanlaşdırmağa və spektrin ultrabənövşəyi oblastında $\lambda_{r1}=0,33$ mkm hasiliyyət almağa imkan verdi. GdS_xSe_{1-x} qarışıq kristallarının yaqut lazerinin şüalanması ilə iki fotonlu həyəcanlaşdırılması zamanı $\lambda_r=510...555$ nm intervalında hasiliyyət alınmışdır. Az gücə malik hlium-neon qaz lazerinin fokuslaşdırılmış şüalanmasının sıxlığı, SdSe, GaAsP monokristallarında və digər yarımkeçiricilərdə hasiliyyətin həyəcanlaşdırılması üçün kifayətdir.

GaAs əsasında injeksiya lazerindən InSb, InAs və InP –də hasiletmənin həyəcanlaşdırılması üçün istifadə edilmişdi. Injeksiya lazerinin şüalanması böyük ayrılma bucağı ilə xarakterizə olunduğundan, doldurmanın sıxlığını artırmaq üçün, həyəcanlaşdırılan lövhəni lazer diodunun rezonatorunun güzgüsünə bərkidilir.

Hasiletmənin optik həyəcanlaşdırılması üçün yarımkeçiricilərdə, uzvi rəngləyicilərin və digər birləşmələrin məhlullarında şüalanma tezliyi dəyişdirilə bilən lazerlər tətbiq olunur. Bu lazerlər spektrin yaxın ultrabənövşəyi oblastından yaxın infraqırmızı oblasta qədər dalğa uzunluğunda kristalların güclü doldurulmasını həyata keçirməyə imkan verir.

Optik doldurulmalı yarımkeçirici lazerlərin fəal mühitinin həcmi və hasiletmə gücü injeksiya lazerləri ilə müqayisədə iki-üç tərtib böyükdür. Qalium-arsenidlə GaAs, birfotonlu həyəcanlaşma zamanı impuls rejimində 40 kVt-dan çox güc alınır. Doldurulma gücünün sıxlığının yuxarı həddi maddənin dağılma həddi ilə məhdudlaşır.

Zona-zona, zona-aşqar və aşqar-aşqar optik keçidlərində hasiletmə injeksiya lazerləri nəzəriyyəsində ətraflı öyrənilmişdir. Oradan alınmış nəticələri optik doldurulmalı lazerlərin öyrənilməsi üçün istifadə etmək olar. Lakin, nəzərə almaq lazımdır ki, həyəcanlaşma sürətinin injeksiya cərəyanı ilə düz mütənasib olduğu injeksiya lazerlərindən fərqli olaraq, optik doldurma zamanı fəal mühitin udulma əmsalı həyəcanlaşdırıcı işığın sıxlığının funksiyasıdır. Birfotonlu həyəcanlaşma zamanı udulmanın doyması baş verə bilər, ikifotonlu həyəcanlaşma zamanı isə udulma əmsalı düşən selin gücünə mütənasib olaraq artır.

Ona görə də optik doldurulmalı lazerlərin öyrənilməsinə həyəcanlaşdırıcı şüalanmanın udulması mexanizmlərinə baxmaqla başlamaq təbiiidir.

Ədəbiyyat

1. Abdinov Ə.Ş., Mehdiyev N.M. Optoelektronika. Bakı, “Maarif”, 2005
2. О.Б.Богданкевич, С.А.Дарзбек, П.Г.Гелисеев, Полупроводниковые лазеры. М., 1976
3. В.П.Грибковский – Полупроводниковые лазеры. М., 1988

Аннотация

Приведены результаты исследования поглощения света в лазерах с оптической зарядкой, некоторые особенности полупроводниковых лазеров на основе арсенида галлия.

Abstract

The results of studying the absorption of light in lasers with optical charging, and some features of semiconductor lasers based on gallium arsenide are presented.

BİPOLYAR VƏ UNİPOLYAR TRANZİSTORLARIN QURULUŞU, İŞ PRENSİPİ VƏ TƏTBİQİ

*Namazov Y.B., Hüseynov R. K., İmanov R.M., Həsənova N. N.,
Gəncə Dövlət Universiteti
rasim.huseynov.2021@mail.ru*

Açar sözlər : çıxış keçiriciliyi, baza cərəyanı, diod modeli, əritmə üsulu

Ключевые слова: выходная проводимость, базовый ток, модель диода, метод плавления

Key words: output conductance, base current, diode model, melting method

GİRİŞ

Tranzistorlar müasir elektronikanın əsas elementlərindən biridir. Onlar elektrik siqnallarını gücləndirmək, yaratmaq və idarə etmək üçün istifadə olunur. 1948-ci ildə U. Bratteyn, C. Bardin və V. Şokli tərəfindən ixtira edilmiş tranzistor yarımkeçirici fizikanın inkişafında mühüm dönüş nöqtəsi olmuşdur. Bu işdə tranzistorların iki əsas sinfi – bipolar (BJT) və unipolyar (FET) tranzistorlar – müqayisəli şəkildə tədqiq edilir.

Tranzistor (ing – transistor) - elektrik siqnallarını gücləndirmək, idarə etmək və generasiya etmək üçün üçelektrodlu yarımkeçirici cihazdır. Tranzistor giriş, boşaltma və mənbə hissələrindən ibarətdir: bunlar adətən emitter, kollektor və baza adlanır. Tranzistorlar BJT (bipolar junction transistor) və FET (field effect transistor) olmaqla iki növə ayrılır. 1948-ci ildə üç fizikin - Ualter Houzer Bratteyn, Con Bardin və Vilyam Şoklinin fəaliyyəti nəticəsində tranzistor kəşf olunmuşdur.

1956-cı ildə Ualter Bratteyn "Yarımkeçiricilərin tədqiqinə və tranzistor effektinin kəşfinə görə" fizika üzrə Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

ƏSAS HİSSƏ

Tranzistorlar iki növə bölünürlər: bipolar və unipolyar tranzistorlar. Bipolyar tranzistorlarda cərəyan keçirilməsində hər iki növ yükdaşıyıcı: elektronlar və deşiklər iştirak edir. Unipolyar tranzistorlarda isə yalnız bir növ yükdaşıyıcı ya elektronlar, ya da deşiklər iştirak edir.

Bipolyar tranzistorlarda çıxış keçiriciliyi onun girişindəki cərəyanla idarə olunur. Unipolyar tranzistorlarda isə idarə edilmə girişdəki siqnalın gərginliyi ilə - sahə ilə yerinə yetirilir. Ona görə də çox vaxt bu tranzistorları sahə tranzistorları adlandırırlar.

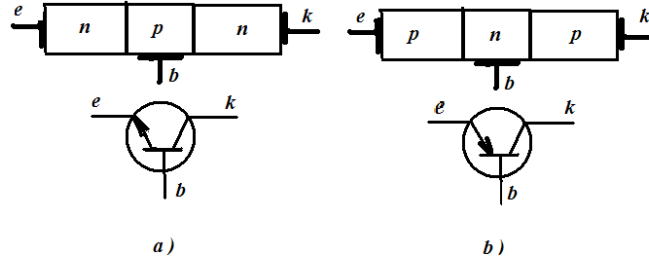
Müxtəlif təyinatlı bipolar tranzistorun iş prinsipi elektron-deşik keçidin xassələrinə əsaslanmışdır. Strukturuna görə bipolar tranzistorlar iki tip olurlar: $p-n-p$ və $n-p-n$. Əsas fərqləri ondan ibarətdir ki, $p-n-p$ tranzistorlarda keçiricilik deşiklərlə, $n-p-n$ - tip tranzistorlarda isə elektronlarla təyin olunur. İş prinsipi hər iki tip tranzistorlarda eynidir.

Bipolyar tranzistor ən universal cihaz olub, istismarının əlverişliliyinə görə daha geniş tətbiq tapmışdır. Bu tranzistorlar üç yarımkeçirici təbəqədən, iki elektron - deşik ($p-n$) keçidindən və 3 elektroddan ibarət olan cihazlardır.

$n-p-n$ - və $p-n-p$ - tipli tranzistorların sxematik, sadələşdirilmiş təsviri və qrafiki işarələri uyğun olaraq şəkl.1,a və 1,b-də verilmişdir. Tranzistorda oxun istiqaməti onun emitterindən axan cərəyanın istiqamətini göstərir. Bipolyar tranzistorun əsas xüsusiyyəti onun emitter, baza və kollektor oblastlarında əsas yük daşıyıcılarının konsentrasiyasının qeyri bərabər paylanmasıdır. Belə ki, emitterdə yüklərin konsentrasiyası maksimaldır. Kollektorda emitterdə olduğundan bir qədər azdır. Bazada isə emitterdə və kollektorda olduğundan dəfələrlə azdır.

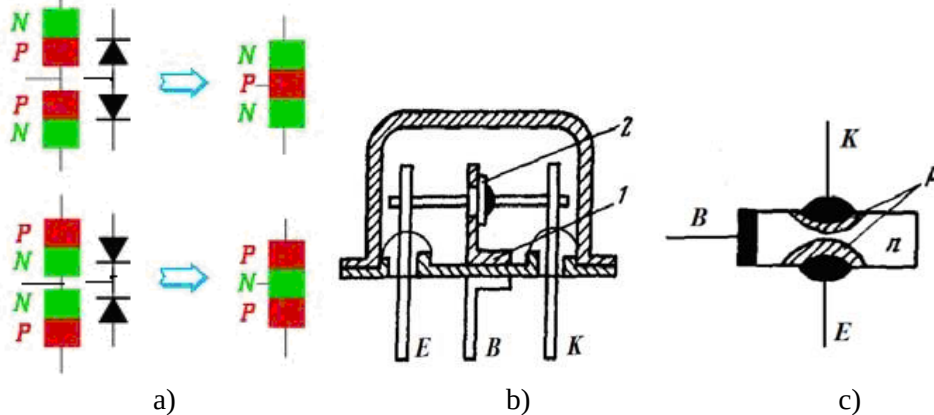
Beləliklə, aralıq oblastı deşik keçiriciliyinə, iki kənar oblastları isə elektron keçiriciliyinə malik olan tranzistora $n-p-n$ tip; aralıq oblastı elektron, iki kənar oblastları isə deşik keçiriciliyinə

malik olan tranzistora $p-n-p$ tip tranzistor deyilir. Emitterlə baza arasında əmələ gələn birinci $p-n$ keçid emitter keçidi adlanır və xarici e.h.q. mənbəyinə düz istiqamətdə qoşulur. Baza ilə kollektor arasında yaranan ikinci $p-n$ keçid isə kollektor keçidi adlanır və mənbəyə əks istiqamətdə qoşulur, $p-n-p$ tipli tranzistorlarda cərəyanın daşınmasında əsas rol oynayan dəşiklər, $n-p-n$ tranzistorunda isə elektronlardır. Bu tranzistorlarda keçiricilik hər iki növ yükdaşıyıcıların - elektron və dəşiklərin hesabına yarandığından belə tranzistorlar bipolyar tranzistorlar adlanır.



Şəkil 1. Bipolyar tranzistor. a) $n-p-n$ –tip tranzistorun strukturu və qrafiki təsviri b) $p-n-p$ –tip tranzistorun strukturu və qrafiki təsviri

Normal halda tranzistorun keçidlərindən biri düz, o biri isə əks istiqamətdə qoşulur. Düz istiqamətdə qoşulan keçid emitter keçidi, uyğun kənar hissə və ora birləşdirilən çıxış (elektrod) emitter adlanır. Əks istiqamətdə qoşulan keçid kollektor keçidi, uyğun kənar hissə və onun çıxışı kollektor adlanır.



Şəkil 2. Tranzistorların diod modeli (a), əritmə tranzistoru (b) və onun sxematik quruluşu (c); 1-kristal tutqacı, 2-yarımkeçirici lövhə

Belə ki, $n-p-n$ - tipli tranzistorda emitter və kollektor cərəyanları (I_e və I_k) elektronlar, baza cərəyanı (I_b) isə dəşiklər hesabına yaranır; $p-n-p$ - tipli tranzistorda əksinədir.

$n-p-n$ - və $p-n-p$ - tipli bipolyar tranzistorların diod modeli şəkil 2,a - da göstərilmişdir. Tranzistorlarda elektron-dəşik keçiriciliyini müxtəlif üsullarla alırlar. Aşağı və orta tezlikli tranzistorları əritmə üsulu ilə alırlar. Məsələn, n - tip keçiriciliyə malik olan nazik germanium lövhənin hər iki tərəfdən səthinə əritməklə indium (akseptor aşqar) hopdururlar. Əritmə sərhədlərində E - emitter və K - kollektor funksiyalarını yerinə yetirən iki dəşik keçiriciliyi əmələ gəlir (şək.2). Lövhə özü baza rolunu oynayır və 1 - kristal tutqacında bərkidilərək korpusda (silindrik, yaxud başqa formada) yerləşdirilir. Tranzistor çıxışları vasitəsilə sxemə qoşulur. P – n keçidinə verilən gərginliyin işarəsindən (polyarlığından) asılı olaraq tranzistorun aşağıdakı iş rejimləri mövcuddur.

Aktiv (normal) rejim - emitter keçidinə düzünə, kollektor keçidinə əksinə gərginlik verilir. Tranzistor ancaq bu rejimdə effektiv idarə oluna bilir və emitter cərəyanının böyük güclənmə əmsalını təmin edir.

Doyma rejimi (ikiqat injeksiya) - hər iki keçid açıqdır, yəni hər iki keçid düzünə gərginlik altında olur və tranzistordan böyük kollektor cərəyanı axır.

Kəsmə rejimi (bağlı rejim) - hər iki keçid bağlıdır və tranzistordan ancaq kiçik istilik cərəyanı axır.

İnvers rejim - kollektor keçidinə düzünə, emitter keçidinə isə əksinə gərginlik verilir. Bu rejim emitter cərəyanının güclənmə əmsalının çox kiçik xarakterizə olunur və bu səbəbdən təcrübədə nadir hallarda istifadə edilir.

NƏTİCƏ

Bipolyar tranzistorlar universal cihazlar olub, xüsusilə aktiv rejimdə cərəyan güclənməsini effektiv təmin edir. n-p-n tipli tranzistorlar yükdaşıyıcıların (elektronlar) yüksək hərəkətliliyi səbəbindən daha yüksək tezlik xüsusiyyətlərinə malikdir. Əritmə texnologiyası sadə və etibarlı tranzistorların istehsalına imkan verir. Tranzistorların iş rejimlərinin düzgün seçilməsi elektron sxemlərin səmərəliliyini artırır.

Ədəbiyyat

1. Тугов Н.М. Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы. М.: Энергоатомиздат. 1990, 576с.
2. Воронков Э.Н. Овечкин Ю.А. основы проектирования усилительных и импульсных схем на транзисторах. М.:Машиностроение. 1976. 238с
3. Davudov B., Daşdəmirov K. Radiofizika. Dərs vəsaiti. Bakı. "Bakı Universiteti" nəşriyyatı. 2008. 392s.

Резюме

Были исследованы структура, функции, типы и технология изготовления транзисторов. Установлено, что подвижность электронов, являющихся рабочими носителями заряда, в n-p-n транзисторе в 2-3 раза выше, чем подвижность рабочих носителей заряда в p-n-p транзисторе.

Summary

The structure, functions, types, and manufacturing technology of transistors were studied. It was found that the mobility of electrons, which are the working charge carriers, in an n-p-n transistor is 2-3 times higher than the mobility of working charge carriers in a p-n-p transistor.

CURRENT OSCILLATIONS IN SEMICONDUCTORS IN STRONG ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS

Hasanov E.R.^{1,2}, Khalilova Sh.G.^{2,1}, Mustafayeva R.K.¹

¹Baku State University Acad. Z.Khalilov, str.23, Baku, Azerbaijan Republic

²Institute of Physics, H. Javid aveş 131, Baku, Azerbaijan Republic

shahlaqanbarova@gmail.com

Keywords: semiconductor, impedance, ohmic resistance, frequency, Coulomb barrier.

Ключевые слова: полупроводник, импеданс, омическое сопротивление, частота, кулоновский барьер.

Açar sözlər: yarımqəçirici, impedans, omik müqavimət, tezlik, Kulon baryeri

Introduction

In [1–5], a theory of current oscillations in semiconductors with deep traps, and with two types of charge carriers, was constructed.

In these works constants $\beta_{\pm}^{\gamma} = 2 \frac{d \ln \gamma_{\pm}}{d \ln(E_0^2)}$, $\beta_{\pm}^{\mu} = 2 \frac{d \ln \mu_{\pm}}{d \ln(E_0^2)}$ were taken as positive constants.

However, we will show below that $\beta_{\pm}^{\mu}$ depending on the nature of scattering charge carriers can be negative value and $\beta_{\pm}^{\gamma}$ remain positive. In this theoretical work, we construct a theory of current oscillations in semiconductors with specific deep traps and with two types of charge carriers in strong electric $v_d > S$ and magnetic $\mu_{\pm} H_0 \gg C$ fields at $\beta_{\pm}^{\mu} < 0$.

$$v_d = \mu_{\pm} E_0,$$

v_d is the drift velocity of charge carriers, $\mu_{\pm}$ are the mobilities of holes and electrons, E_0 is the intensity of a constant external electric field, H_0 is the intensity of an external magnetic field, and S is sound velocity in the crystal.

For $\beta_{\pm}^{\gamma}$ we have obtained analytical expansions as a function of the electric field, magnetic field, the current frequency oscillations.

Semiconductor model and basic equations of the problem.

At availability of an electric field electronic (and also holes) receive from electric field energy of the order $eE_0 l$. (an e - positive elementary charge, l -length of free run of electron). Therefore at availability of an electric field electrons can overcome Coulomb barrier of unitary infected center and to be grasped (i.e. to recombine with this center). In addition, due to thermal junction, electrons can be generated from impurity centers (from deep traps) in the conduction band. The capture process decreases, and the transfer process increases the number of electrons in the conduction band. As for the holes, their number increases due to the capture of electrons by deep traps from the valence band and decreases due to the capture of electrons from deep traps by holes. Above the probability of generation and recombination lead to a change in carrier concentrations in the crystal. We will further mean a semiconductor with carriers of both signs, i.e. electrons and holes with concentrations n_- and n_+ respectively. In addition, in the semiconductor there are negatively charged deep traps with a concentration of N_0 .

Of these, part N is the concentration of once negatively charged traps, and N_- is the concentration of double negatively charged traps,

$$N_0 = N_+ N_- \quad (1)$$

The continuity equation for electrons in a semiconductor with higher trap types will be:

$$\frac{\partial n_-}{\partial t} + \text{div} j_- = \gamma_-(0) n_{1-} N - \gamma_- E n_- - N = \partial n - \partial t \text{rek} \quad (2)$$

Herein and further, $j_{\pm}$ is flux densities of electrons and holes, $j_{-(0)}$ is electron emission coefficient of doubly charged traps in the absence of an electric field. It can be called the thermal generation coefficient. $\gamma_-(E)$ electron capture coefficient of negatively charged traps once for the presence of an electric field. At $E=0$, $\gamma_-(E) = \gamma_-(0)$. In (2) the unknown constant n_{1-} having the dimensionality of concentration is defined as follows. In the absence of an electric field and

stationary and equilibrium conditions. i.e. at $(\frac{\partial n_-}{\partial t})_{rek} = 0$ и $\gamma_-(E) = \gamma_-(0)$ from (2) we will get:

$$n_{1-} = \frac{n_-^0 N_0}{N_-^0}$$

The electron flux density in the presence of electric and magnetic fields is determined by the expression

$$\vec{j}_- = -n\mu(E, H)\vec{E} + n\mu_{1-}(E, H)[\vec{E}\vec{h}] - n\mu_2(E, H)\vec{h}(\vec{E}\vec{h}) - D_-\vec{\nabla}n + D_{1-}[\vec{\nabla}n\vec{h}] - D_2\vec{h}(\vec{\nabla}n\vec{h}) \quad (3)$$

Here $\vec{h}$ is a unitary vector by the magnetic field, $\mu(E, H)$ is the ohmic, $\mu_{1-}(E, H)$ is Hall's, $\mu_2(E, H)$ is the focusing mobility of electrons, D_-, D_{1-}, D_{2-} ohmic, Hall, focusing diffusion coefficients of electrons, respectively. To simplify cumbersome calculations, we consider the case where the carriers have an effective temperature. Then the diffusion coefficient

$$D_{\pm} = \frac{T_{eff}}{e}\mu_{\pm}, \quad T_{eff} = \frac{T}{3}\left(\frac{CE_0}{SH_0}\right)^2 \quad [6]$$

C - is light speed in a crystal; T - is the temperature in Erg. In addition, we will consider crystals, which dimensions satisfy the ratios.

$$L_y \ll L_x, \quad L_z \ll L_x$$

The continuity equation for holes will be

$$\frac{\partial n_+}{\partial t} + div j_+ = \gamma_+(E)n_{1+}N_+ - \gamma_+(0)n_+N_- = (\frac{\partial n_-}{\partial t})_{rek} \quad (4)$$

$$\vec{j}_+ = n_+\mu_+(E, H)\vec{E} + n_+\mu_{1+}(E, H)[\vec{E}\vec{h}] - n_+\mu_2(E, H)\vec{h}(\vec{E}\vec{h}) - D_+\vec{\nabla}n_+ + D_{1+}[\vec{\nabla}n_+\vec{h}] - D_{2+}\vec{h}(\vec{\nabla}n_+\vec{h}), \text{ at } E = 0, \gamma_+ = \gamma_+(0), n_{1+} = \frac{n_+^0}{N_0}$$

Owing to a recombination and oscillation in non-stationary conditions the number twice and single-passly negatively charged traps changes (of course, at the same time there is invariable the general concentration of traps). Change of twice negatively charged traps defines over time change of single-passly negatively charged traps. The equation defining of change of traps has an appearance over time:

$$\frac{\partial N_-}{\partial t} = (\frac{\partial n_+}{\partial t})_{rek} - (\frac{\partial n_-}{\partial t})_{rek} \quad (5)$$

The external electric field is directed on an axis x, and a magnetic field on axis Z.

$$n_{\pm}(\vec{r}_1 t) = n_{\pm}^0 + \Delta n_{\pm}(\vec{r}_1 t), \quad N_{\pm}(\vec{r}_1 t) = N_{\pm}^0 + \Delta N_{\pm}(\vec{r}_1 t), \quad \vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 + \Delta \vec{E}(\vec{r}, t) \quad (6)$$

The deviation of a magnetic field from an equilibrium value is equal to zero as we considers longitudinal vibrations. We will ignore the badge (0) meaning an equilibrium value of the

corresponding values further. We linearize the equations (2,4) taking into account (6) and we enter the following characteristic frequencies

$$v_- = \gamma_-(E_0)N_0, \quad v_+ = \gamma_+(0)N_0^0, \quad v_+^E = \gamma_+(E_0)N_0, \quad v_- = \gamma_-(E_0)n + \gamma_-(v)n_{1-}$$

$v_+ = \gamma_+(0)n_+ + \gamma_+(E_0)n_{1+}$, we will designate numerical constants defined by dependences on an electric field

$$\beta_{\pm}^{\gamma} = 2 \frac{d \ln \gamma_{\pm}(E_0)}{d \ln(E_0^2)}; \quad \beta_{\pm}^{\mu} = 2 \frac{d \ln \mu_{\pm}(E_0)}{d \ln(E_0^2)} \quad (7)$$

$\beta_{\pm}^{\gamma}$ is dimensionless parameter, depending on scattering of charge carriers $\beta_{\pm}^{\gamma}$ can have the negative sign, i.e. $\beta_{\pm}^{\gamma} < 0$. In work [7] it is shown that when scattering on optical and acoustic (the mixed scattering) photons $\beta_{\pm}^{\gamma} = -0,8$. In further we will consider $\beta_{\pm}^{\gamma} < 0$ in theoretical calculations.

In the absence of a recombination and oscillation of carriers, the condition of quasi neutrality means that the number of changes of electrons is equal number of changes of holes i.e. $\Delta n = \Delta n_+$. In the presence of a recombination and oscillation of charge carriers the condition of quasi-neutrality means that the total current doesn't depend on coordinates, but depends on time.

$$\text{div } \vec{J} = e \text{div } \left(\vec{J}_+ \vec{J}_- \right) = 0 \quad (8)$$

After a mineralization of the equations (2,4,8) we will receive the equation for an electric field of the following look:

$$\vec{\Delta E} = a_1 \vec{\Delta J} + \vec{a}_2 \Delta n_- + \vec{a}_3 \Delta n_+ \quad (9)$$

Where, a_1, a_2, a_3 are the stationary values depending on an oscillation frequency, the characteristic frequencies from equilibrium values of concentration of charge carriers, electric and magnetic fields, numerical multipliers $\beta_{\pm}^{\gamma}, \beta_{\pm}^{\mu}$. Owing to bulkiness of coefficients a_1, a_2, a_3 we will be limited to the indication of the scheme of the decision

Divide functional $\Delta n_{\pm}(\vec{r}, t), \Delta N_-(\vec{r}, t), \Delta E(\vec{r}, t)$ on the parts proportional to oscillatory current ΔJ in an external circuit.

$$\Delta n_{\pm}(\vec{r}, t) = \Delta n'_{\pm} e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} + \Delta n''_{\pm} e^{-i\omega t} \quad (10)$$

We will do similar divisions for $\Delta N_-, \Delta E$. After simple algebraic calculations from (2, 4, 7, 8) and taking (9) we will receive two sets of equations

$$\begin{cases} d''_- \Delta n''_- + d''_+ \Delta n''_+ = d \Delta J \\ b''_- \Delta n''_- + b''_+ \Delta n''_+ = b \Delta J \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} d'_- \Delta n'_- + d'_+ \Delta n'_+ = 0 \\ b'_- \Delta n'_- + b'_+ \Delta n'_+ = 0 \end{cases} \quad (12)$$

From the decision (10) we define $\Delta n''_-$ и $\Delta n''_+$.

To we find wave vectors from the dispersive equation

$$d'_-b'_+ + b'_-d'_+ = 0 \quad (13)$$

Write (10) in the following form

$$\Delta n_{\pm}(\vec{r}, t) = \sum_{j=-1}^4 \lambda_{\pm}^j e^{i(k_j - r_i)} + \Delta n''_{\pm} e^{-i\omega t} \quad (14)$$

(where k_j are roots of the dispersive equation (13)).

Constants $\lambda_{\pm}^j$ are defined from the following boundary conditions.

$$\Delta n_{\pm}(0) = \delta_{\pm}^0 \Delta I, \quad \Delta n_{\pm}(L_x) = \delta_{\pm}^{L_x} \Delta I \quad (15) \quad [8]$$

Then it is possible to calculate a variable – a potential difference on the ends of a crystal and impedance

$$Z = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{1}{\Delta I} \int_0^{L_x} E(x, t) dx = ReZ + ImZ \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{ReZ}{Z_0} = & x_+^2 \left\{ 1 + \varphi \left[(\cos \alpha - 1) + \frac{v_-}{\omega \beta_+^{\mu}} \sin \alpha \right] + \varphi_+ (\cos \alpha) - \right. \\ & \left. - \frac{ev\delta x}{\theta} \beta_+^{\mu} \left(\frac{\mu_+}{\mu_-} \right) \sin \alpha - \left(1 + \frac{v_-^2}{\omega^2} \right) \left[\frac{\mu_+}{\beta_+^{\mu} \beta_-^{\mu} \mu_-} + \frac{v_+}{\beta_+^{\mu} \omega \mu} \sin \alpha \right] \varphi_+ \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\frac{ImZ}{Z_0} = \frac{x_+}{\theta} \left[B n_+ v_+^E \mu_+ \beta_+^{\gamma} \left(1 + \frac{v_-^2}{\omega^2} \right) - B n_- v_- \mu_- \beta_-^{\gamma} \left(1 + \frac{v_+^2}{\omega^2} \right) + \frac{ev\delta x_+}{2} \left(\frac{\mu_+}{\mu_-} \right)^2 \cos \alpha \right] \quad (18)$$

Here, $\delta = \delta_+^0 + \delta_-^0 + \delta_+^{L_x} + \delta_-^{L_x}$, $v = (\mu_- + \mu_+) E_0$, $Z_0 = \frac{L_x}{\sigma_0 S}$, $\sigma_0 = e(n_- \mu_- + n_+ \mu_+)$, S – transverse section of sample.

$$\theta = \frac{2L_x v_-}{n_0 k_y v^2 \left(1 + \frac{\beta_+^{\mu}}{\mu_+} \right)} \left(n_+ v_+^E \beta_+^{\gamma} + n_- v_- \frac{\beta_+^{\mu}}{\beta_-^{\mu}} \beta_-^{\gamma} \right); n_0 = n_+ + n_-, \varphi_- = \frac{2n_- v_- \omega^3}{n_0 \omega_1^4 x_+ \theta} \beta_-^{\gamma},$$

$$\varphi_- = \frac{2n_+ v_+ \omega^3}{n_0 \omega_1^4 x_+ \theta} \beta_+^{\gamma}, \omega_1^4 = \omega^2 (v_-^2 + v_+^2) + \omega^4 + v_-^2 v_+^2, x_+ = \frac{\mu_+ H}{c} \gg 1, k_y = \frac{2\pi}{L_y}$$

We used the following known expressions of mobility in the stronger magnetic field

$$\mu_{\pm}(H) = \left(\frac{c}{H} \right)^2 \cdot \frac{1}{\mu_{\pm}^0}; \mu_{1\pm} \approx \sqrt{2} \frac{c}{H}; \mu_{2\pm} \approx \mu_{\pm}^0 \quad [9]$$

When fluctuations of current in an external circuit begin, the current voltage characteristic of sample becomes non-linear. Real part of an impedance of ReZ has negative sign. The imaginary part of ImZ of an impedance can have any sign. Adding on an ohmic resistance of R from the solution of the equation

$$-\frac{ReZ}{Z_0} + R = 0 \quad (19)$$

$$\frac{ImZ}{Z_0} + \frac{R_1}{Z_0} = 0 \quad (20)$$

We find an electric field where are happened fluctuations of current in a chain. From (18) we will express β_+^γ via β_-^γ .

$$\beta_+^\gamma = \frac{n_- v_- \mu}{n_+ v_+^E \mu_1} \cdot \frac{\omega^2 + v_+^2}{\omega^2 + v_-^2} \beta_-^\gamma \quad (21)$$

$$\text{then } \frac{ImZ}{Z_0} = \frac{ev\delta\beta_-^\mu}{2} \left(\frac{\mu_+ x_+}{\mu}\right)^2 \cos\alpha \quad (22)$$

Write (17) in the following form

$$\frac{ReZ}{Z_0} = \Phi_0 + \Phi_1 \sin\alpha + \Phi_2 \cos\alpha \quad (23)$$

Define from (23) β_+^γ and β_-^γ as following form:

$\Phi_0 = 0, \Phi_1 = 0$, then we will get:

$$\beta_+^\gamma = \frac{x_+^2}{A_+ \left[1 + \frac{v_+}{\omega} \left(\frac{\omega + v_-}{v_- + \omega}\right)\right]}, \quad \beta_-^\gamma = \frac{x_+^2 \left(1 + \frac{v_-^2}{\omega^2}\right)}{A_- \left(\frac{v_- v_+}{\omega^2} + \frac{v_-^2}{\omega^2} + 1\right)} \quad (24)$$

$$A_+ = \frac{2n_0 v_+^E a x_+ \mu_+}{n_0 \omega \theta \beta_+ \mu_-}; \quad A_- = \frac{2n v_- a x_+}{n_0 \omega \theta \beta_+ \mu}; \quad a = \frac{\omega^4}{\omega^4}$$

$$\omega_1^4 = \omega^4 + \omega^2(v_-^2 + v_+^2) + v_-^2 v_+^2$$

Equating the relations $\frac{\beta_+^\gamma}{\beta_-^\gamma}$ from (21) and (24) we will get the following equations for definition of an oscillation frequency of current in chain.

$$y^3 + \frac{v_-}{v_+} y^2 - \frac{v_-^2}{v_+^2} y + \frac{\mu_-}{\mu_+} = 0, \quad y = \frac{\omega}{(v_- v_+)^{1/2}} \quad (25)$$

The analysis of the decision the equation shows roots the equation (26) ($v_- > v_+$)

$$Y_3 = -\frac{v_-}{2v_+}(\sqrt{5} + 1), Y_2 = \frac{v_-}{2v_+}(\sqrt{5} - 1), Y_1 = 1 \quad (26)$$

From equation $\frac{ImZ}{Z_0} + \frac{R_1}{Z_0} = 0$ (the R_1 is resistance of capacitive or inductive character) we will get

$$\cos\alpha = -\frac{R_1}{Z_0} \frac{2}{ev\delta} \left(\frac{\mu}{\mu_x x_+}\right)^2 \quad (27)$$

Substituting $\cos\alpha$ from (27) in the equation of $\frac{Re z}{Z_0} + \frac{R}{Z_0} = 0$ we will get expressions for an electric field in the presence of fluctuation of current in chain.

$$E_0(\omega) = E_1 = \frac{|R_1|\mu}{R|\beta_-^\mu|} \cdot \frac{1}{ev\delta}, E_2 = \frac{4|R_1|\mu}{R|\beta_-^\mu|\mu_-} \cdot \frac{1}{ev\delta} \frac{v_-}{v_+} = E_2$$

$$E_0 = E_3 = \frac{6|R_1|\mu}{R|\beta_-^\mu|\mu_+} \cdot \frac{1}{ev\delta} \frac{v_-}{v_+}$$

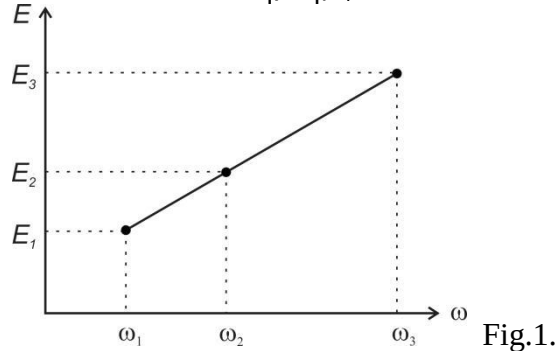


Fig.1.

Conclusion

In the above semiconductors, waves with frequencies $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$ are excited at electric fields $E_1 < E_2 < E_3$. Analytically, expressions for the oscillation frequency of the current and for the electric field show that the carrier scattering constants $\beta_\pm^\mu$ have a negative sign. With current oscillations in the circuit, resistance of a negative nature occurs.

If $R = |R_1|$, $\frac{\mu}{\mu_+} \approx 10$, $\frac{v_-}{v_+} \sim 10$, $ev\delta \sim 10^{-1}$

$$E_1 \sim 10^3 \text{ V/sm}, E_2 \sim 4 \cdot 10^3 \text{ V/sm}; E_3 \sim 6 \cdot 10^3 \text{ V/sm}$$

and these values are in complete agreement with existing experiments (10). With these estimates, the frequency of oscillation

$$\omega_1 \sim 3 \cdot 10^7, \omega_2 \sim \frac{\sqrt{5}-1}{2} \cdot 10^9 \frac{1}{\text{sec}}, \omega_3 \sim \frac{\sqrt{5}+1}{2} \cdot 10^9 \frac{1}{\text{sec}}$$

It means that microwave current oscillations occur i.e. microwave radiation energy from the above semiconductor. The magnetic field is determined from the inequality $\mu_\pm H \gg C$. To determine the range of variation of the electric field, and the frequency of oscillation with a further increase in the electric field, we must construct a nonlinear theory.

Reference

1. Hasanov, E.R. Khalilova, Sh.G. Mustafayeva, R.K. Instability In Two GaAs Valley Semiconductors In Electric And Magnetic Fields. International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, 2021, 1(14), 229-232.
2. Hasanov, E.R. Khalilova, Sh.G., Mustafayeva R.K. Transverse and longitudinal thermomagnetic waves in conducting media, Bulletin of the University of Karaganda, Physics, 2025, 3, 51–58. <https://doi.org/10.31489/2025ph3/51-58>
3. Iglitsyn, M.I. Pel, E.G. Pervova, L.Ya. & Fistul, V.I. Instability of electron-hole plasma of a semiconductor caused by nonlinearity of current-voltage characteristics. 1966, FTT, 8(12), 3606.
4. Hasanov E.R., Hasanova R.A., External and Internal Instability in the Medium Having Electron Type Conductivity , IOSR Journal of Applied Physics, 2018, Vol.10, Issue 3, p. 18-26.

5. Aliev F.F., Hasanov E.R. Nonlinear Oscillations of the charge the Carriers Concentration and Electric Field in Semiconductors with Deep Traps, IOSR Journal of Applied Physics, 2018, Vol.10, Issue 1, p.36-42.
6. Gasanov E.R., Gurevich L.E., Spontaneous current oscillations in semiconductors with deep traps in strong electric and magnetic fields, Solid State Physics Vol. 11, N12, 3544-3548.
7. Conwell E., Kinetic properties of semiconductors in strong electric fields, mir publishing house, Moscow, 1970, 339-344.

Аннотация

В полупроводниках могут возникать определенные глубокие ловушки, и оба типа носителей заряда могут проявлять признаки энергетического излучения. Возможно, на разных уровнях частоты излучения задействована энергия. В каждом случае определены конкретные значения электрического поля при магнитном поле, где значительно больше скорости c ($\mu_{\pm}H \gg c$). Определен знак константы, описывающей рассеяние носителей заряда. Определены аналитические выражения для параметров, участвующих в рекомбинации и генерации носителей заряда $\beta_{\pm}^{\gamma}$. Представление о том, как изменяется ток, построено с использованием простого приближенного метода. Оценки частоты ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$) и значения электрического поля (E_1, E_2, E_2) должны точно соответствовать текущим экспериментальным данным. Указанные полупроводники можно использовать при создании сверхвысокочастотных генераторов и усилителей.

Xülasə

Yarımkeçiricilərdə dərin tələlər yarana bilər və hər iki yük daşıyıcısı enerjili şüalanma əlamətləri göstərə bilər. Enerji müxtəlif tezlik səviyyələrində iştirak edə bilər. Hər bir halda, sürət c -dən ($\mu_{\pm}H \gg c$) xeyli böyük olan maqnit sahəsi üçün xüsusi elektrik sahəsi qiymətləri təyin edilmişdir. Yük daşıyıcısının paylanması təsvir edən sabitin təyin edilmişdir. Yük daşıyıcısının rekombinasiyası və generasiyası $\beta_{\pm}^{\gamma}$ -də iştirak edən parametrlər üçün analitik ifadələr təyin edilmişdir. Sadə təqribi metoddan istifadə edərək cərəyan dəyişikliklərinin necə qurulduğunu göstərilmişdir. Tezliyin ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$) və elektrik sahəsinin gücünün (E_1, E_2, E_2) qiymətləndirilməsi təcrübi məlumatlara dəqiq uyğun olmalıdır. Bu yarımkeçiricilərdən mikrodalğalı generatorların və gücləndiricilərin yaradılmasında istifadə etmək olar.

SYNTHESIS AND X-ray DIFFRACTION STUDY OF $\text{TlFeS}_2(\text{Se}_2)$ CHALCOGENIDE COMPOUNDS

Bakhishli S.Z.^a, Mamedova A.Ch.^a*

^aDepartment of Semiconductor physics, Baku State University, 23 Academic Zahid Khalilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan.

**E-mail: amamedova@inbox.ru*

Keywords: chalcogenide, polycrystal, X-ray diffraction scattering spectrum

Layered and chain-structured materials, characterized by strong anisotropy of physical properties along different crystallographic directions, occupy a special place among semiconductor crystals. As an example of such crystals, one can consider ternary compounds of the composition $\text{TlFeS}_2(\text{Se}_2)$, which belong to the general group of TlMeX_2 -type semiconductors

(where Me is a 3d metal and X = S, Se, Te) and exhibit magnetic properties [1,3].

These layered and chain-structured single crystals are promising for the fabrication of photoelectric converters, spectral analyzers, strain gauges, and X-ray detectors. In addition, these compounds enable the development of next-generation devices based on nanometer-scale structures.

High-purity elements Tl, Fe, and (S)Se (purity 99.9999%) were synthesized in a 1:1:2 ratio to obtain $\text{TlFeS}_2(\text{Se}_2)$ compounds. The synthesis was carried out using a cylindrical furnace rotating around an axis perpendicular to its longitudinal direction. The choice of the rotating furnace method was intended to improve the homogeneity of the obtained melt.

The constituent elements of the synthesized composition were weighed in appropriate amounts using an electronic balance and loaded into quartz ampoules with an inner diameter of 14–16 mm, evacuated to a pressure of 10^{-3} Pa. The synthesis process was carried out at a temperature of 903–913 K for 7–8 hours using the method described in [2].

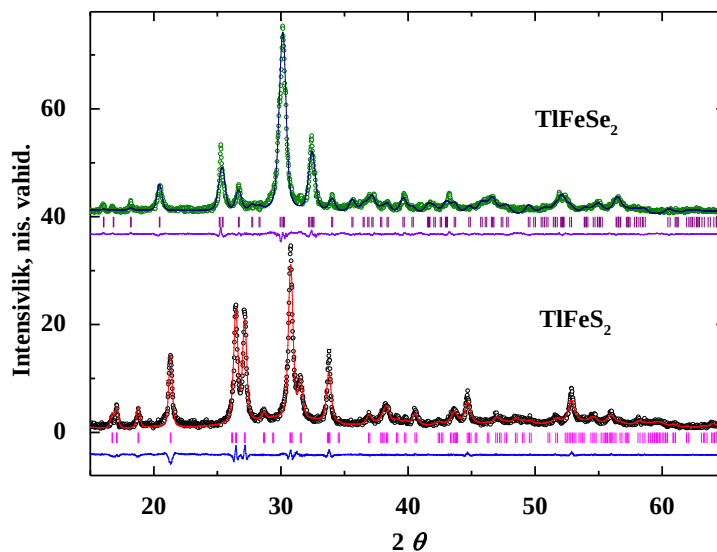


Fig.1. X-ray diffraction spectra of TlFeS_2 and TlFeSe_2 crystals at room temperature.

At the end of the synthesis, the alloy was cooled to room temperature in a switched-off furnace regime. X-ray diffraction analyses of the obtained TlFeS_2 and TlFeSe_2 samples were performed. To analyze the crystal structure of the synthesized material, the X-ray diffraction scattering spectrum was measured at room temperature (Fig. 1), and the structural parameters were determined. The X-ray diffraction experiments were conducted using a Bruker ADVANCE D8 diffractometer. The obtained structural parameters are in good agreement with previously reported data [4,5].

The analysis of the X-ray diffraction scattering curve showed that the synthesized TlFeS_2 polycrystal has lattice parameters $a = 11.646(1) \text{ \AA}$, $b = 5.308(2) \text{ \AA}$, $c = 6.831(3) \text{ \AA}$, $\beta = 116.7^\circ$, while for TlFeSe_2 the parameters are $a = 11.998(1) \text{ \AA}$, $b = 5.498(9) \text{ \AA}$, $c = 7.108(8) \text{ \AA}$. These crystals belong to the $C2/m$ space symmetry group and crystallize in the monoclinic system (Fig. 1).

References

1. Badalova Z., Cahangirli Z. Optical properties of magnetic semiconductors TlFeS_2 and TlFeSe_2 // *Physics of the Solid State*, v.67, No6, 2025, pp. 469–477
2. Isayev A.I., Mekhtiyeva S.I., Mammadova H.I., Mammadova A.Ch., Alekberov R.I., Ahmadov Q.M., Eminova N.N. Features of the optical properties of chalcogenide glassy semiconductor Ge-As-Se(Te) systems // *UNEC Journal of Engineering and Applied Sciences SECTION: Vol. 4, No.1, 2024*, pp. 55–60.
3. Мустафаева С.Н., Керимова Э.М., Джаббарлы А. И. Перенос заряда в TlFeS_2 и TlFeSe_2 // *Физика твердого тела*, 2000, том 42, вып. 12, с. 2132–2135.
4. Zhang Y., Li X., Wang L., Chen H. Structural, electronic and magnetic properties of TlFeX_2 ($X = \text{S}, \text{Se}$) compounds: a first-principles study // *Journal of Alloys and Compounds*, 2018, v.748, pp. 1032–1039. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.03.150>
5. Khan M., Ahmed R., Hussain S. Synthesis and structural characterization of TlFeSe_2 chalcogenide compound // *Materials Research Bulletin*, 2017, v.94, pp. 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.05.020>

Abstract

In this study, TlFeS_2 and TlFeSe_2 chalcogenide compounds were synthesized from high-purity elements using the direct melting method in a rotating furnace. The obtained polycrystalline samples were investigated by X-ray diffraction at room temperature. The results confirmed that both compounds crystallize in the monoclinic system with C^2/m space group. The calculated lattice parameters are in good agreement with previously reported data. The successful synthesis and structural characterization indicate the potential applicability of these materials in optoelectronic and radiation-detection devices.

Xülasə

Bu işdə TlFeS_2 və TlFeSe_2 xalkogenid birləşmələri yüksək təmizlikli elementlərdən istifadə etməklə fırlanan sobada birbaşa əridilmə üsulu ilə sintez edilmişdir. Alınmış polikristal nümunələr otaq temperaturunda rentgen difraksiyası üsulu ilə tədqiq olunmuşdur. Nəticələr göstərmişdir ki, hər iki birləşmə monoklinik sistemdə C^2/m simmetriya qrupuna malikdir. Hesablanan qəfəs parametrləri ədəbiyyat məlumatları ilə yaxşı uyğunluq təşkil edir. Uğurlu sintez və struktur analiz bu materialların optoelektronika və radiasiya detektorlarında tətbiq perspektivini göstərir.

Аннотация

В данной работе соединения TlFeS_2 и TlFeSe_2 были синтезированы из высокочистых элементов методом прямого плавления во вращающейся печи. Полученные поликристаллические образцы исследованы методом рентгеновской дифракции при комнатной температуре. Установлено, что оба соединения кристаллизуются в моноклинной системе с пространственной группой C^2/m . Рассчитанные параметры решетки хорошо согласуются с литературными данными. Полученные результаты подтверждают успешный синтез и указывают на перспективность данных материалов для применения в оптоэлектронике и радиационных детекторах.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Bi}_{0,7}\text{Sb}_{1,3}\text{Te}_{2,93}\text{Se}_{0,07}$, С ПРИМЕСЯМИ ДИСПРОЗИЯ

*Тагиев М.М.^{1,2,3}, Алиева Х.Ф.², Абдуллаева И.А.^{2,3}, Маммедзаде А.М.⁴,
Магеррамова К.И.², Гулиев М.С.^{1,2,3}.*

¹Азербайджанский Государственный Экономический Университет. Baku, Istiglaliyat street, 6

²Институт физики Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, ГПС. Баку,
проспект Г. Джавида, 131

³Азербайджанский государственный университет архитектуры и строительства, Айна Султанова, 11

⁴Институт молекулярной биологии и биотехнологии, Баку. И. Набиев. 11
e-mail: mail_tagiyev@mail.ru,

Ключевые слова: термоэлементы, экструзия, примесь, твердый раствор, термообработка

Необходимость создания низкотемпературных термоэлектрических охладителей требует разработки термоэлектрических материалов, эффективно работающих в области низких температур вплоть до $\sim 120\text{--}130\text{ K}$. Анализ литературных данных показывает, что, перспективными материалами при низких температурах являются твердые растворы $p\text{-Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ с замещением атомов ($\text{Sb} \rightarrow \text{Bi}$) и ($\text{Se} \rightarrow \text{Te}$) в обеих подрешетках. Возникающие при этом искажения кристаллической решетки приводят к увеличению рассеяния фононов и снижению теплопроводности кристаллической решетки, что является одной из причин увеличения термоэлектрической эффективности в широком интервале температур от 80 до 350 K [1, 2]. В работе [2] показано, что монокристаллы твердого раствора состава $p\text{-Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ ($x = 1,3$; $y = 0,07$) являются перспективными материалами для низкотемпературных ($< 220\text{ K}$) каскадов электронных охладителей.

Однако из-за слоистой структуры прочность указанного материала оказывается низкой. Применение метода экструзии для получения термоэлектрических материалов на основе твердых растворов теллуридов висмута и сурьмы, широко применяемых в качестве материала для n - и p - ветвей для термоэлектрических преобразователей, в частности, электронных твердотельных охладителей, предназначенных для работы в интервале температур $200\div 350\text{ K}$, позволяет существенно повысить их прочностные характеристики, сохраняя при этом термоэлектрические параметры близкими к таковым для монокристаллических образцов [3].

Как известно, получение образцов экструдированного материала связано с проведением целого ряда технологических операций, таких как синтез твердого раствора из исходных компонентов; размельчение синтезированного сплава до состояния порошка; изготовление из полученного порошка методом холодного прессования брикетов; экструзии брикетов (выдавливании брикетов, нагретых до пластического состояния, через отверстие диаметром 6 мм).

Экспериментально установлено, что на термоэлектрические характеристики материалов для термоэлектрических преобразователей энергии существенно влияют такие факторы, как давление и температура экструзии, размер частиц исходного порошка, температура и время отжига полученного термоэлектрического материала. Поэтому, оптимизацией технологических процессов с учетом физико-химических и технологических особенностей экструдированных материалов, можно увеличить эффективность экструдированных термоэлементов и повысить стабильность их параметров как в процессе изготовления термоэлементов, так и в процессе эксплуатации приборов на их основе. Одним из путей повышения термоэлектрических характеристик

термоэлектрических материалов для конкретных интервалов температур, является также легирование примесями, которые могут приводить к заметному увеличению флуктуаций термоэлектрических свойств, связанных со статистическим характером распределения примесных атомов в решетке матрицы [3].

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования интервале температур 80-300 К теплопроводности экструдированных образцов $\text{Bi}_{0,7}\text{Sb}_{1,3}\text{Te}_{2,93}\text{Se}_{0,07}$, легированных атомами редкоземельного металла диспрозия. в количестве до 0,02 ат. %.

Для получения образцов были использованы теллур марки "ТВ-Ч", висмут - "Ви-0000", сурьма - "Су-0000", селен - "СВЧ-1", гадолиний - "ГдМ-1". Реакция синтеза проводилась в откачанном объеме с остаточным давлением $\sim 10^{-2}$ Па. Компоненты твердых растворов и РЗЭ, взятые в расчетных соотношениях, сплавлялись при температуре 1300 К в откачанных кварцевых ампулах. Температура в объеме печи повышалась со скоростью 100 К/ч с промежуточными выдержками при 700 К и 900 К в течение получаса. При достижении 1300 К рост температуры прекращался и ампула выдерживалась в тепловом поле в течение 6 ч, при непрерывном перемешивании вещества в ней качанием.

Теплопроводность образцов измеряли в интервале температур 80-300 К.

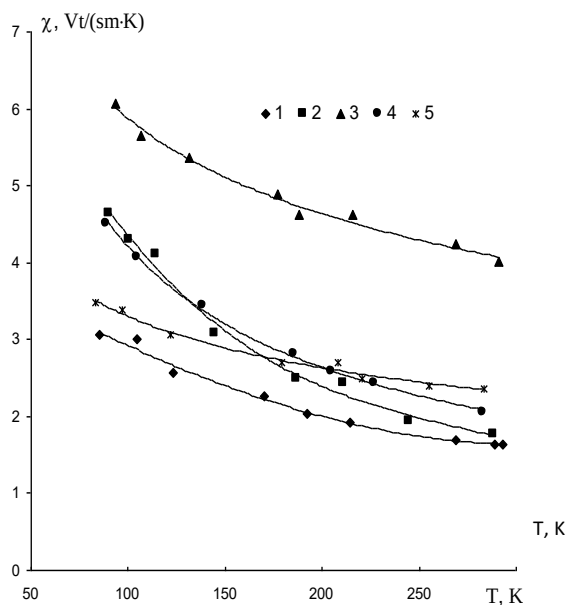


Рис.1. Зависимость коэффициента теплопроводности образцов $\text{Bi}_{0,7}\text{Sb}_{1,3}\text{Te}_{2,93}\text{Se}_{0,07}$ с различным содержанием диспрозия: 1- 0; 2 - 0,01; 3 - 0,005; 4 - 0,01; 5 - 0,02 ат.% Dy.

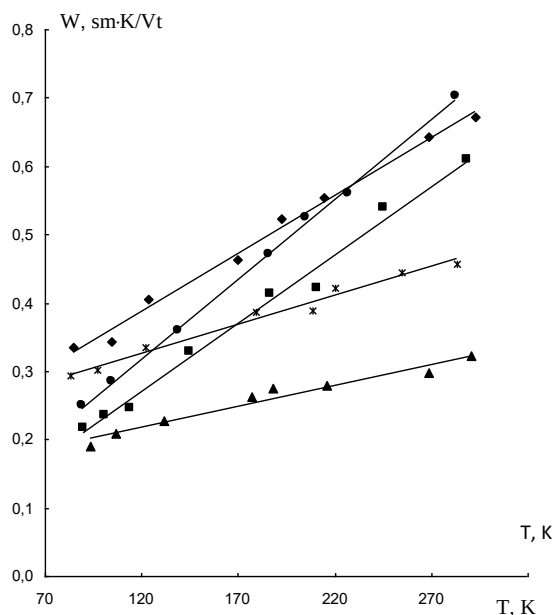


Рис.2. Зависимость решеточного теплового сопротивления образцов $\text{Bi}_{0,7}\text{Sb}_{1,3}\text{Te}_{2,93}\text{Se}_{0,07}$ с различным содержанием диспрозия. Обозначения те же, что и на рис 1.

На рис. 1 представлены температурные зависимости коэффициента теплопроводности χ для образцов $\text{Bi}_{0,7}\text{Sb}_{1,3}\text{Te}_{2,93}\text{Se}_{0,07}$, как нелегированных, так и легированных атомами диспрозия. в количестве до 0,02 ат. %. Видно, что в исследованных твердых

растворах коэффициент теплопроводности в интервале температур 80-300 К уменьшается с ростом температуры как $\chi \sim T^{-1}$ (закон Эйкена).

Для выяснения влияния на механизм теплопроводности образцов температуры и состава нами были вычислены решеточные χ_q и электронные χ_e составляющие коэффициента теплопроводности и оценены их вклады в общую теплопроводность.

При этом было использовано выражение

$$\chi_e = L \sigma T = A \left(\frac{k}{e} \right) \sigma T,$$

где σ - удельная электропроводность образца, T - абсолютная температура, L - число Лоренца, k - постоянная Больцмана, e - заряд электрона. Значение A было определено из теоретической зависимости $A=f(\alpha)$ [4, 5] с использованием экспериментальных значений коэффициента термо-эдс α и удельной электропроводности σ . Результаты вычислений показали, для всех исследованных образцов в интервале температур 80-300 К доля электронной составляющей коэффициента теплопроводности χ_e не превышает 15 %, и в исследованных твердых растворах тепло переносится, в основном, колебаниями решетки (фононами).

На рис. 2 показана температурная зависимость решеточного теплового сопротивления $W_p = 1/\chi_p$, вычисленного из выражения

$$\chi_p = \chi - \chi_e.$$

Видно, что с повышением температуры решеточное тепловое сопротивление W_p растет по закону

$$W_p = \text{const} \cdot T,$$

т.е. в исследованных составах в интервале температур 80-300 К теплопроводность определяется, в основном, трехфононными процессами.

Отрезки, отсекаемые на оси ординат при экстраполяции зависимостей $W_p \sim T$ к значению $T=0$ соответствуют дополнительному тепловому сопротивлению, возникающему за счет структурных дефектов в каждом составе.

Литература

1. Л.Н. Лукьянова, В.А. Кутасов, П.П. Константинов. *Термоэлектрики n -(Bi, Sb)₂(Te, Se, S)₃, эффективные для области температур 80 К < T < 350 К*, Материалы IX Межгосударственного семинара "Термоэлектрики и их применение", Санкт-Петербург, 2004, с. 68.
2. Л.Н. Лукьянова, В.А. Кутасов, П.П. Константинов. *Многокомпонентные твердые растворы p -типа на основе халькогенидов Bi и Sb для температур < 220 К*, Материалы IX Межгосударственного семинара "Термоэлектрики и их применение", Санкт-Петербург, 2004, с. 80.
3. Б.М. Гольцман, В.А. Кудинов, И.А. Смирнов. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi₂Te₃. М.: Наука, 1972, 320 с.
4. А.С. Охотин, А.С. Пушкарский, В.В. Горбачев. Теплофизические свойства полупроводников. М.: Атомиздат, 1972, 200 с.
5. И.А. Смирнов, В.И. Тамарченко. Электронная теплопроводность в металлах и полупроводниках. Л.: Наука, 1977, 151 с.

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ ОТЖИГА НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

Тагиев М.М.^{1,2}, Алиева Х.Ф.², Абдуллаева И.А.², Маммедзаде А.М.³, Гулиев М.С.^{1,2}.

¹Азербайджанский Государственный Экономический Университет. Baku, Istiglaliyat street, 6

²Институт физики Министерства науки и образования Азербайджанской Республики,
ГПС. Баку, проспект Г. Джавида, 131

³Азербайджанский государственный университет архитектуры и строительства, Айна Султанова, 11

⁴Институт молекулярной биологии и биотехнологии, Баку. И. Набиев. 11

e-mail: mail_taqiyev@mail.ru,

Ключевые слова: термоэлементы, экструзия, отжиг, электропроводность, твердый раствор,

Наиболее эффективным термоэлектрическим материалом среди твердых растворов $\text{Bi}_{100-x}\text{Sb}_x$ является состав $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$. Экспериментально установлено, что оптимальным режимом отжига для этих твердых растворов является отжиг, проведенный при температуре $\sim 503\text{K}$ в течении 5 часов. Поэтому представляет большой интерес исследования температурной зависимости коэффициентов термоэдс (α), электропроводности (σ) и Холла с целью установления механизма влияния отжига на термоэлектрические свойства.

Выяснено, что послеэкструзионный отжиг не изменяет ход температурной зависимости, но приводит к росту при $\sim 77\text{K}$ как коэффициентов термоэдс и Холла, так и электропроводности (рис.1-3).

На рис.1. приведена температурная зависимость $\sigma(T)$ образцов без отжига и прошедших отжиг от 5 минут до 10 часов. В течение первых 15 минут отжига электропроводность растет более чем в 2 раза, а затем этот рост несколько замедляется. Рост электропроводности продолжается в течении 2 часов отжига. Отжиг приведенный от 2 до 10 часов не приводит к заметному изменению σ .

Все кривые температурной зависимости σ имеет максимум, что наблюдается также для монокристаллических образцов систем Bi-Sb [1]. После максимума зависимость $\sigma(T)$ от полупроводниковой переходит к металлической. На температуру перехода ($T_{\text{макс}}$) существенное влияние оказывает время отжига. С ростом времени отжига температура $T_{\text{макс}}$, соответствующая максимуму на кривой зависимости $\sigma(T)$ смещается в область более низких температур.

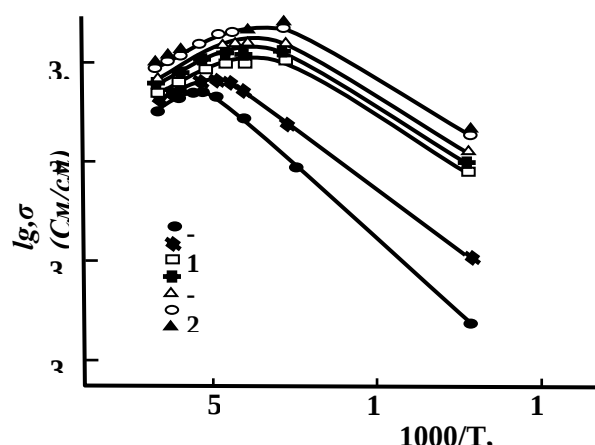


Рис.1 Температурная зависимость электропроводности образцов твёрдого раствора

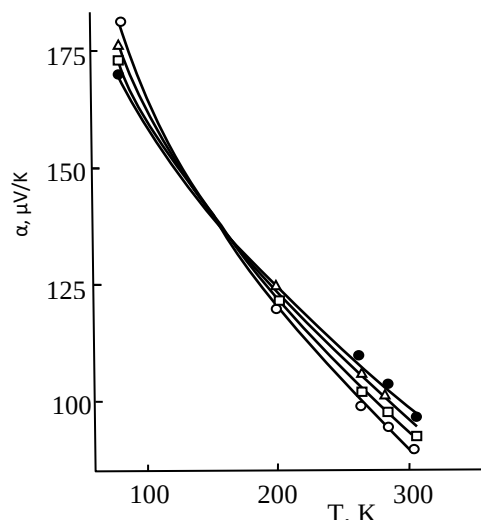


Рис. 2. Температурная зависимость термоэдс образцов твёрдого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$.

При этом угол наклона кривых $\lg \sigma$ от $(1/T)$ в области полупроводниковой зависимости, с ростом времени отжига, относительно оси абсцисс уменьшается. Подобная температурная зависимость для $\rho(T)$ обнаружена для экструдированных образцов $\text{Bi}_{0,88}\text{Sb}_{0,12}$ [2]. Данные по изменению коэффициента Холла показывают, что участок $\sigma(T)$, характеризующий низкотемпературную область, связан ростом концентрации носителей заряда с температурой. В высокотемпературной области σ определяется, в основном, температурной зависимостью подвижности носителей заряда.

Расчет энергии активации электропроводности в области полупроводниковой зависимости показывает, что она с отжигом меняется от 0,024 до 0,016 эВ соответственно, от неотожженного образца к образцу с оптимальным отжигом.

Изотермический отжиг приводит к росту подвижности носителей заряда. Это подтверждается как измерениями α и σ , также и измерениями коэффициента Холла (R_x).

На рис. 3 приведена зависимость $\lg(R_x T^{3/2})$ от $(1/T)$. На зависимости $\lg(R_x T^{3/2})$ от $(1/T)$ как неотожженных, так и отожженных образцов наблюдаются два участка. Энергия активации низкотемпературных участков для всех образцов одинакова и равна 0,015 эВ. После изгиба энергия активации растет. Кроме того, при отжиге значения R_x во всем интервале температур растут (примерно в $\sim 1,5$ раза). Можно предположить, что отжиг приводит к некоторому уменьшению концентрации носителей заряда в образцах. Следовательно, сильный рост электропроводности образцов со временем отжига обусловлен ростом подвижности носителей заряда.

Степень зависимости $\mu_x \sim T^{-n}$ изменяется при переходе от неотожженного образца к образцу с оптимальным отжигом от - 2,5 до -3,0. То есть, с ростом температуры подвижность отожженных образцов меняется сильнее, чем у образцов без отжига [3]. С другой стороны, подвижность у отожженных образцов больше чем у образцов без отжига.

На основе вышеперечисленных данных можно предположить следующий механизм проводимости в этих образцах. Предполагается, что в экструдированных образцах существуют напряженные области (деформационные дефекты), являющиеся потенциальными барьерами при

движении носителей заряда, а также создающиеся локальные уровни в запрещенной зоне. Электронам переброшенным за счет тепловой энергии из валентной зоны или из локальных уровней в зону

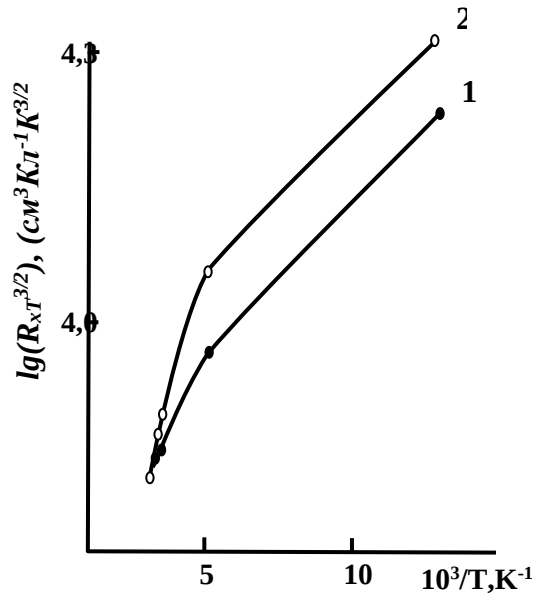


Рис.3. Температурная зависимость коэффициента Холла образцов твёрдого раствора $Bi_{85}Sb_{15}$. 1 - без отжига, 2 – при отжиге 2 часа.

проводимости, чтобы участвовать в проводимости, необходимо преодолевать эти потенциальные барьеры. Поэтому энергия активации неотожженного образца имеет наибольшее значение, и больше чем как от ширины запрещённой зоны данного состава (~ 20 мэВ), так и энергии активации вычисленного из зависимости $lg(R_x T^{3/2})$ от $(1/T)$. По мере увеличения времени отжига, напряжённые области постепенно снижаются, высота межзеренных потенциальных барьеров уменьшается, вследствие чего энергия активации электропроводности уменьшается. Устранение напряженных областей сопровождается также уменьшением концентрации примесных носителей тока, что приводит к некоторому росту α и R_x образцов с отжигом.

Кроме того, наблюдение двух линейных участков на зависимостях $lg(R_x T^{3/2})$ и от $(1/T)$ и значения энергии активации вычисленные из этих участков, дают основания предполагать что в области низких температур, электроны возбуждаются из глубоколежащих донорных уровней, а в области высоких температур – из валентной зоны в зону проводимости.

Предполагается также, что разница между значениями энергий активации σ и R_x в неотожженных образцах, которая составляет $\sim 0,009$ эВ соответствует высоте потенциального барьера, создаваемого деформационными дефектами. Таким, образом, изотермический отжиг приводит к заметному исчезновению структурных дефектов, образовавшихся при пластической деформации, который приводит к росту подвижности носителей заряда.

Литература

1. Земсков В.С., Бородин П.Г., Белая А.Д., Рослов С.А. Транспортные явления в твердых растворах висмута и висмута-сурьмы // ВИНТИ. Москва. Институт металлургии им. А.А. Байкова Академии наук СССР. 1978. 52 с.

2. Тагиев М.М., Абдинова Г.Д., Бархалов Б.Ш. Экструдированный материал на основе $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ для термоэлектрических преобразователей // Известия ВУЗ-ов, «Физика», Томск. 2022. Т. 64. С. 1592–1598. <https://doi.org/10.1007/s11182-022-02496-6>
3. Tagiyev M.M. Effect of grain size and lead impurity on thermoelectric properties of extruded samples of $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ solid solution // Inorganic Materials. 2021. Vol.57. No.2. P.119–124. <https://doi.org/10.1134/S0020168524701024>

TERMoeLEKTRİK SƏMƏRƏLİLİK VƏ ONUN ARTIRILMASI YOLLARI

*Cavadov E.M., Məmmədov E.M., Seyidova İ.A.
Gəncə Dövlət Universiteti*

Açar sözlər: termoelektrik materiallar, termoelektrik səmərəlilik, elektrik keçiriciliyi, istilik keçiriciliyi,

Ключевые слова: термоэлектрические материалы, термоэлектрическая эффективность, электрическая проводимость, теплопроводность,

Key words: Thermoelectric materials, thermoelectric efficiency, electrical conductivity, thermal conductivity,

Enerjinin əldə edilməsi və çevrilməsi müasir sivilizasiyanın fəaliyyətinin ən mühüm istiqamətlərindən biridir və onun mövcudluğunun əsasını təşkil edir. Praktiki tətbiqlər üçün ən əlverişli və universal enerji forması elektrik enerjisi olduğundan, onun əldə edilməsinin ən səmərəli üsullarının işlənilib hazırlanması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir və bu istiqamətdə axtarışlar heç vaxt dayanmamışdır. İstilik enerjisinin elektrik enerjisinə çevrilməsinin səmərəliliyinin artırılması məsələsi xüsusilə kəskin xarakter almışdır. Bu, hazırda faydalı qazıntı mənbəli yanacaq növlərinin çatışmazlığının hiss olunması, həmçinin istilik elektrik stansiyaları tərəfindən atmosfərə buraxılan və istixana effektivinə, eləcə də global iqlim dəyişikliklərinə səbəb olan böyük həcmdə qaz emissiyaları ilə bağlıdır [1].

Bu baxımdan bərk cisimli termoelektrik çeviricilərə böyük diqqət yetirilmişdir. Sonuncular ənənəvi elektrik generatorları ilə müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir: konstruksiyanın sadəliyi, hərəkətli hissələrin olmaması, səssiz işləmə, yüksək etibarlılıq, həmçinin səmərəliliyin itirilmədən miniaturlaşdırılma imkanı. Onlar həmçinin ekoloji cəhətdən təmiz soyuducu qurğularda istifadə olunur, çünki bu cihazlar vasitəsilə enerjinin çevrilməsi hər iki istiqamətdə mümkündür. Lakin hazırda termoelektrik qurğuların təmin etdiyi çevrilmə səmərəliliyi ənənəvi quruluşlu elektrik generatorları və ya soyuducularla müqayisədə daha aşağıdır və buna görə də sənayedə geniş yayılmamışdır. Eyni zamanda, onların üstünlüklərinin çatışmazlıqları üstələdiyi bir sıra tətbiq sahələri mövcuddur. Onlar kosmik aparatlarda və qol saatlarında elektrik enerjisi mənbəyi kimi istifadə olunur, məişətdə portativ soyuducu qurğularda, elektron, tibbi və elmi avadanlıqlarda tətbiq edilir. Xüsusilə, infraqırmızı qəbuledicilərin və optoelektron qurğuların soyudulmasında, eləcə də yüksək sinif avtomobillərdə oturmaq üçün kondisionerləşdirilməsində istifadə olunur. Lakin termoelektrik enerji çeviricilərinin həqiqətən geniş sənaye tətbiqi üçün onların səmərəliliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artırılması zəruridir [2].

Termoelektrik materialın əsas xarakteristikası, onun əsasında hazırlanmış enerji çeviricilərinin funksional yararlılığını və səmərəliliyini müəyyən edən göstərici onun dobrotluğu (termoelektrik səmərəlilik), hansı ki, temperaturun tərs ölçüsünə malikdir və yalnız çevirici materialın fiziki xassələrindən asılıdır:

$$T = \alpha 2\sigma / \alpha$$

Burada: α – termoelektrik hərəkət qüvvəsi; σ – elektrik keçiriciliyi; α – istilik keçiriciliyi.

Termoelektrik səmərəlilik artdıqca cihazların enerji göstəriciləri yaxşılaşır. α , σ və ρ parametrləri öz növbəsində maddənin əsas fiziki parametrlərindən—qəfəs istilik keçiriciliyindən, daşıyıcıların hərəkətiliyindən və yük daşıyıcılarının effektiv kütlədən asılıdır.

Termoelektrik materialların optimallaşdırılmasının əsas prinsipləri bunlardır:

- Materialın elektrik keçiriciliyinin artırılması (yük daşıyıcılarının hərəkətiliyinin artırılması);
- Materialda Zeebek əmsalının artırılması (Fermi səviyyəsinə yaxın halların sıxlığının artırılması);
- Materialın istilik keçiriciliyinin azalması, zərrəciklərin sərhədlərində fononların səpələnməsi hesabına.

Termoelektrik effektivliyin maksimum qiyməti müəyyən yük daşıyıcıların konsentrasiyasına uyğun gəlir ki, bu da aşqarların daxil edilməsi və ya materialın tərkibinin stexiometrik nisbətdən kənara çıxması yolu ilə əldə edilə bilər. Beləliklə, Bi_2Te_3 əsaslı yüksək effektiv termoelektrik materialların hazırlanması onların fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi, əlavə olunmuş qarışıqların legirləmə təsirinin müəyyən edilməsi, daşıma proseslərinin və enerji zonalarının strukturlarının tədqiqi, həmçinin texnoloji şərtlərin struktur və xassələrə təsirinin öyrənilməsi ilə bağlıdır. (1) düsturuna əsasən, yüksək keyfiyyətli termoelektrik material eyni zamanda yüksək elektrik keçiriciliyinə, böyük termoelektrik gərginliyə və aşağı istilik keçiriciliyinə malik olmalıdır. Termoelektrik gərginlik və elektrik keçiriciliyi yalnız materialın elektron xüsusiyyətləri ilə müəyyən olunur, halbuki istilik keçiriciliyi elektron qatqı ilə yanaşı kristal qəfəsin istilik keçiriciliyinin cəmini təşkil edir. Elektron qazının istilik keçiriciliyi əksinə əgər kristal qəfəslə qarşılıqlı təsir yoxdursa, elektron qazı nə qədər enerji alırsa, o qədər də ötürür. Çox güclü qarşılıqlı təsir zamanı isə elektron enerjini alır, lakin faktiki olaraq onu ötürmür. Videmann–Frans qanununa görə, elektrik keçiricilik birbaşa elektron istilik keçiriciliyi ilə mütənasibdir. Keçiriciliyin artması yalnız elektron istilik keçiriciliyinin artımı ilə deyil, eyni zamanda termoelektrik gərginliyin azalması ilə müşayiət olunur, buna görə də ZT -nin optimallaşdırılması asan deyil. Təbiətdə eyni zamanda həm yüksək termoelektrik gərginliyə həm də aşağı istilik müqavimətinə malik olan materiallar yoxdur. Ziddiyyət ondadır ki, yüksək elektrik keçiriciliyi elektronlar tərəfindən kristal qəfəs ilə zəif qarşılıqlı təsir nəticəsində təmin olunur, lakin eyni zamanda elektronlar tərəfindən daşınan istilik payı da çox əhəmiyyətlidir. Buna görə də yüksək termoelektrik effektivliyə malik materialın yaradılması məsələsi aktuallıq kəsb edir, yəni termoelektrik gərginliyə, istilik keçiriciliyi və elektrik keçiriciliyi üzrə optimal parametrlərə malik materialların hazırlanması tələb olunur [3].

Son onilliklərdə, kristal qəfəsin anizotropiyasından istifadə edilməklə vertikal zona əritmə metodu ilə əldə edilmiş materiallarda yüksək termoelektrik effektivlik qiymətinə, yəni

$Z = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ nail olunmuşdur (p-tipli σ elektrik keçiriciliyi üçün $2 \div 3$, n-tipli σ elektrik keçiriciliyi üçün $4 \div 6$). Qeyd etmək lazımdır ki, n-tipli materialın termoelektrik parametrləri ümumilikdə həmişə p-tipli materialın göstəricilərindən aşağıdır. Lakin zonlu ərimə metodu ilə əldə edilmiş materialın kristallarının lehim müstəviləri boyunca yarılməsi səbəbindən mexaniki xassələri çox aşağıdır; bu müstəvilər arasında Van-der-Vaals qüvvələri üstünlük təşkil edir ki, bu da mexaniki emal zamanı material itkilərinə səbəb olur. Buna görə də, çox cəlbədicə və perspektivli yanaşma olaraq isti ekstruziya metodu qalır. Bu metod vasitəsilə istənilən konfigurasiyada termoelektrik material çubuqları əldə etmək mümkündür və n-tipli keçiricilik üçün $Z \geq 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, p-tipli keçiricilik üçün isə $Z \geq (3,0-3,2) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ dəyərlərinə nail olmaq olar. Mexaniki xassələr baxımından ekstrud edilmiş material zonlu ərimə metodundan sonra əldə olunan materialdan 2–3 dəfə güclüdür.

Hazırda həcmi nanostrukturlaşdırılmış termoelektrik materialların istehsalı və öyrənilməsi geniş vüsət almışdır. Nanostrukturlaşdırılmış termoelektriklərdə termoelektrik effektivliyin artması əsasən kristal qəfəsin istilik keçiriciliyinin azalması ilə bağlıdır ki, bu da nanohissəciklərin sərhədlərində və hissəciklər daxilindəki struktur qüsurlarında fononların səpələnməsinin artması nəticəsində baş verir [4].

Ədəbiyyat

1. Мельников М.Я., Трахтенберг Л.И. Синтез, строение и свойства металл/полупроводник содержащих наноструктурированных композитов, Москва: Техносфера, 2016.-614 с.
2. Bulat L., Pshenai-Severin D., Karatayev V., Osvenskii V., Parkhomenko Y., Lavrentev M., Sorokin A., Blank V., Pivovarov G., Bublik V., Tabachkova N. BulknanocrystallinethermoelectricsbasedonBi-Sb-Tesolidsolution. In: Hashim A.A. (ed.) The Delivery of Nanoparticles. InTech, 2012. P. 486.
3. Бублик В.Т., Драбкин И.А., Каратаев В.В., Лаврентьев М.Г., Освенский В.Б., Булат Л.П., Пивоваров Г.И., Сорокин А.И., Табачкова Н.Ю. Объемный наноструктурированный термоэлектрический материал на основе $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$, полученный методом искрового плазменного спекания (SPS) / Труды межгосударственного семинара «Термоэлектрики и их применения». Санкт-Петербург, 2013.
4. Yousuf, Saleem; Gupta, D. C.Unravelling the magnetism, high spin polarization and thermoelectric efficiency of ZrFeSi half-HeuslerPHYSICA B-CONDENSED MATTERTom: 534, APR 1 2018

Xülasə

Məqalədə termoelektrik enerji çeviricilərin səmərəliliyi, əsas fiziki parametrləri və optimallaşdırma yolları araşdırılır. Elektrik keçiriciliyinin artırılması, Zeebeck əmsalının yüksəldilməsi və istilik keçiriciliyinin azaldılması üsulları izah edilir. Bi_2Te_3 əsaslı materiallar, zonlu ərimə və isti ekstruziya metodları, həmçinin nanostrukturlaşdırma vasitəsilə yüksək termoelektrik effektivlik əldə etmək mümkündür.

Аннотация

В статье исследуется эффективность термоэлектрических преобразователей энергии, их основные физические параметры и пути оптимизации. Рассматриваются методы повышения электрической проводимости, увеличения коэффициента Зеебека и снижения теплопроводности. Показано, что на основе материалов Bi_2Te_3 , с использованием зонного плавления, метода горячей экструзии, а также наноструктурирования, можно достигать высокой термоэлектрической эффективности.

Abstract

The article investigates the efficiency of thermoelectric energy converters, their fundamental physical parameters, and optimization strategies. Methods for enhancing electrical conductivity, increasing the Seebeck coefficient, and reducing thermal conductivity are discussed. It is demonstrated that high thermoelectric performance can be achieved using Bi_2Te_3 -based materials through zone melting, hot extrusion techniques, and nanostructuring.

TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe HETEROKEÇİDLƏRİNİN FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİNƏ QAMMA KVANTLARIN TƏSİRİ

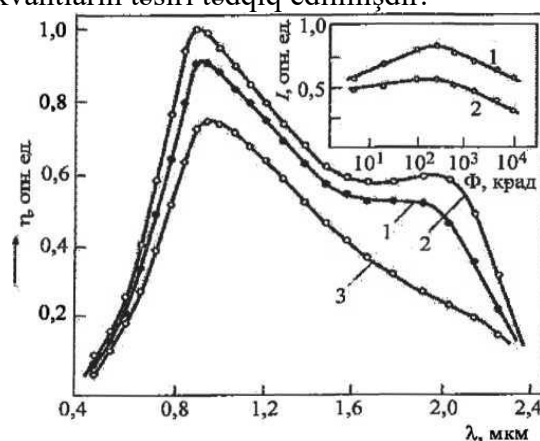
Rüstəmov V.C., Namazov Y.B., Əsədova H.X., Əmiraslanov İ. F,
Gəncə Dövlət Universiteti
yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: hetero keçid, radiasiya effektləri, termik sönmə, fətohəssaslıq.

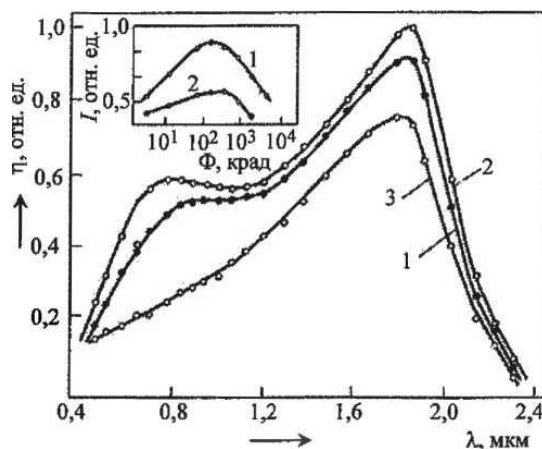
Ключевые слова: гетеропереход, радиационные эффекты, термическое гашение, фоточувствительность.

Keywords: heterostructure, radiation effects, thermal quenching, photosensitivity

TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe əsasında alınmış heterostrukturlarda baş verən radiasiya effektlərinin kristalın və TlSe təbəqəsinin fərdi xüsusiyyətlərindən asılılığını müəyyən etmək məqsədi ilə fotoelektrik xassələrinə γ - kvantların təsiri tədqiq edilmişdir.



Şəkil 1. Müxtəlif şüalanma dozalarında TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe hetero keçidlərində kvant effektivliyinin nisbi spektral xarakteristikası (p- TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe - tərəfdən işıqlanma zamanı):1. $\Phi = 0$; 2. $\Phi = 10^5$; 3. $\Phi = 1 \cdot 10^7$ rad. Şəkil üstü:1. $\lambda_1 = 0,80$ mkm və 2. $\lambda_2 = 1,70$ mkm uyğun fotocərəyanın şüalanma dozasından asılılığı.



Şəkil 2. Müxtəlif şüalanma dozalarında TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe hetero keçidlərində kvant effektivliyinin nisbi spektral xarakteristikası (TlSe - tərəfdən işıqlanma zamanı):1. $\Phi = 0$; 2. $\Phi =$

10^5 ; 3. $\Phi = 1 \cdot 10^7$ rad.

Şəkil üstü: $\lambda_1 = 0,80$ mkm və 2. $\lambda_2 = 1,70$ mkm uyğun fotocərəyanın şüalanma dozasından asılılığı.

Alınmış təcrübi nəticələrin təhlili göstərir ki, şüalanma dozasından asılı olaraq rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyasının dəyişməsi termik sönmə hadisəsinin zəifləməsinə səbəb olur. Bu isə elmi ədəbiyyatda binar sistemlər üçün alınmış nəticələrlə uzlaşır və mövcud nəzəriyyələrlə izah olunur.

TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe heteroqecidlərinin spektral xarakteristikalarının tədqiqi şüalanmadan və sonra aparılmışdır. Şəkil 1-də müxtəlif şüalanma dozalarında TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe heteroqecidlərində kvant effektivliyinin nisbi spektral xarakteristikası verilmişdir. Bu zaman nümunənin işıqlandırılması TlSe səthi tərəfdən aparılmışdır. Şəkil 1-dən görünür ki, spektrin $\lambda_1 = 0,80$ mkm və 2. $\lambda_2 = 1,70$ mkm hissələrində maksimumlar müşahidə olunur. $\lambda_1 = 0,95$ mkm TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe monokristalının, $\lambda_2 = 1,70$ mkm isə TlSe təbəqəsinin udulma oblastına uyğun gəlir. Maksimumların qiyməti nəzərə almaqla optik keçidlərin enerji müəyyən edilmişdir. Hesablama nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, keçidlərə uyğun enerji çəp keçidlərə uyğundur və enerjilərin qiyməti materialların qadağan olunmuş zonasına uyğun gəlir və ədəbiyyatda olan məlumatlara uyğundur.

Şəkil 2-də müxtəlif şüalanma dozalarında TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe heteroqecidlərində kvant effektivliyinin nisbi spektral xarakteristikası verilmişdir, işıqlanma TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe səthi tərəfdən aparılmışdır. Alınmış spektrdən görünür ki, spektral xarakteristika iki maksimumdan ibarətdir və dalğa uzunluğunun $\lambda_1 = 0,80$ mkm və 2. $\lambda_2 = 1,70$ mkm qiymətlərində fotocərəyanın maksimal qiymətləri müşahidə olunur. Şəkil 1 və 2 -nin müqayisəsi göstərir ki, TlSe səthini işıqlandırdıqda $\lambda_2 = 1,70$ mkm maksimumunun amplitud qiyməti, $\lambda_1 = 0,80$ mkm müşahidə olunan maksimuma nəzərən daha yüksək olur. Müşahidə etdiyimiz fakt göstərir ki, enli qadağan olunmuş zonaya malik komponent tərəfdən işıqlandırdıqda fotohəssaslığın spektrində iki maksimumun müşahidə edilməsi heteroqecidlərin xarakterik xüsusiyyəti ilə bağlıdır. Dar zolaqlı səth işıqlandırıldıqda fotohəssaslığın kəskin dəyişməsi isə, materialın udma qabiliyyətinin kəskin dəyişməsini göstərir.

Ədəbiyyat

1. G.D.Guseinov, G.G.Guseinov, E.M.Kerimova, M.Z.Ismailov, V.D.Rustamov and L.A.Rzajeva. "Structure and growth peculiarities of TlSe - TlInSe₂". Mat. Res. Bull. Vol.13, pp. 975-982, 1978.
2. Patent AZE İ2020 0048 "Spektral analizator" Ə.V. Əliyev, E.M. Kərimova, Y.Ə. Yusibov və V.C.Rüstəmov
3. Patent AZE İ2020 0049 "Yarımkeçirici fotorezistor" Ə.V. Əliyev, E.M. Kərimova, Y.Ə. Yusibov və V.C.Rüstəmov
4. А.С. № 683406 СССР Фоточувствительный материал, Г.Д.Гусейнов, Г.В.Абдуллаев, В.Дж. Рустамов и др., 1979
5. А.С. № 698457 СССР Фоточувствительный материал, Г.Д.Гусейнов, Г.В.Абдуллаев, А.М.Пашаев, В.Дж. Рустамов и др., 1979

Аннотация

Исследовано влияние γ -квантов на фотоэлектрические свойства гетероструктур на основе TlIn_{1-x}Au_xSe₂ -TlSe. Исследование спектральных характеристик проводилось до и после облучения. В результате расчета установлено, что энергия, соответствующая переходам, соответствует наклонным переходам, а значение энергий соответствует запрещенной зоне материалов.

Summary

The effect of γ -quanta on the photoelectric properties of heterostructures based on $\text{TlIn}_{1-x}\text{Au}_x\text{Se}_2$ -TlSe was studied. The study of spectral characteristics was carried out before and after irradiation. As a result of the calculation, it was determined that the energy corresponding to the transitions corresponds to the oblique transitions and the value of the energies corresponds to the forbidden band of the materials.

$\text{TlIn}_{1-x}\text{Au}_x\text{Se}_2$ -TLSE HETEROKEÇİDLƏRİNİN MÜXTƏLİF ŞÜALANMA DOZALARINDA VOLT-FARAD (VFX) XARAKTERİSTİKALARI

Rüstəmov V.C., Namazov Y.B., Əmiraslanov İ.F., Əsədova H.X.

Gəncə Dövlət Universiteti

yahya.namazov@gdu.edu.az

Keywords: Single crystal, heterojunctions, microprobe X-ray spectroscopy, capacitance of heterojunctions, radiation defects

Ключевые слова: Монокристалл, гетеропереходы, микрозондовая рентгеновская спектроскопия, емкость гетеропереходов, радиационные дефекты

TlInSe_2 monokristallarının rentgenstruktur[1,2,3], elektrik [5,6,7,8], fotoelektrik [4] və optik xassələrinin tədqiqi əsasında hesablanmış parametrlərin təhlili sayəsində akseptor və donor tipli aşqarların konsentrasiyası, kristal qəfəsin parametrləri və onların temperatur asılılıqları müəyyən edilmişdir. Yarımkəçirici materiallar əsasında heterokeçidlərin hazırlanma texnologiyasına uyğun olaraq [3], $\text{TlIn}_{1-x}\text{Au}_x\text{Se}_2$ monokristalları kristal qəfəsinə uyğun material kimi, eyni struktur quruluşuna malik və kristallik parametrləri çox yaxın olan TlSe kristalı seçilmişdir. TlSe kristalının tərkibi mikrozondu rentgen spektroskopiyaya üsulu ilə təyin edilmiş və alınan nəticələrə görə təbəqə atomların paylanması TlSe birləşmənin kimyəvi formulasına uyğun olmuş və təbəqənin səthi boyunca təkrarlanmışdır. Əldə olunmuş nəticələr qeyd olunan materiallar əsasında heterokeçidlərin yaradılması üçün bizə imkan vermişdir. Bu məqsədlə $\text{TlIn}_{1-x}\text{Au}_x\text{Se}_2$ monokristallarının təmiz səthi üzərinə termik buxarlandırma üsulu ilə qalınlığı $5 \div 10$ mkm olan təbəqə çökdürülür və 200°C temperaturunda 30-50 dəqiqə müddətində dəmlənir. Alınmış struktura indiumun və ya gümüş pastasının köməyi ilə omik kontakt qoyulmuşdur.

Alınmış heterokeçidlərdə aşqar atomlarının həcmi yüklər oblastında paylanma qanunauyğunluğu və parametrləri təyin edilmişdir. Hazırlanmış heterokeçidlərin volt-farad xarakteristikaları E7-8 cihazı əsasında hazırlanmış qurğunun köməyi ilə ölçülmüşdür. $C^{-2} \sim f(U)$ asılılığının ölçülməsi zamanı körpü sxemindən istifadə edilmiş və faza detektorunun köməyi ilə kompensasiya edilmişdir. Körpünün qidalandırılması $\Gamma 3 - 49\text{A}$ -tipli generator ilə aparılmışdır və alınmış signalın amplitudu 250 mV olmuşdur.

Heterokeçidin çəpər tutumu $C = \varepsilon\varepsilon_0 S/d$ ifadəsini və tutum üçün Puasson tənliyini nəzərə almaqla tutumun formulasını belə ifadə etmək olar:

$$C = \varepsilon\varepsilon_0 S [qa/4\varepsilon\varepsilon_0 (U + U_k)]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Bu tənlikdə müəyyən çevrilmələr aparsaq, alınan ifadə kontakt potensiallar fərqi hesablamağa imkan verir:

$$(C_0/C)^n - 1 = U/U_k \quad (2)$$

burada: C_0 - gərginlik olmadan p-n keçidin tutumudur.

Aşqar atomlarının paylanma funksiyasını aşağıdakı kimi məlumdur:

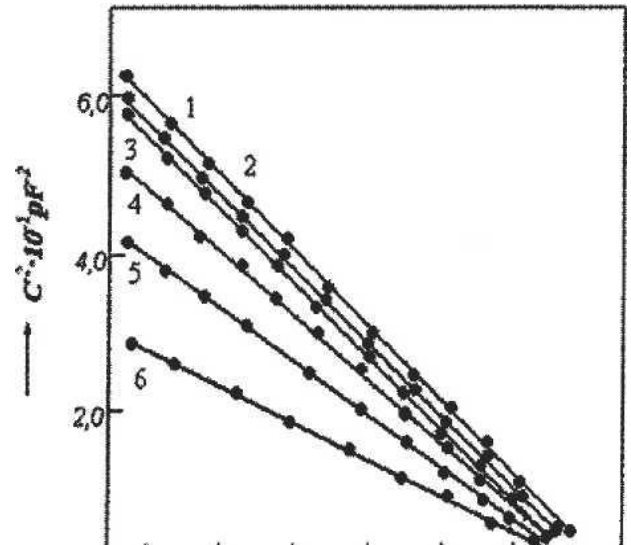
$$N(x) = -C^2 / q \cdot \varepsilon_0 S^2 (\Delta V / \Delta C) \quad (3)$$

Alınmış ifadə həcmi yüklər oblastında şüalanmadan əvvəl aşqarların paylanma qanunauyğunluğunu göstərir. $n=3$ olması isə paylanmanın xətti qanuna tabe olmasını sübut edir. Təcrübi nəticələr göstərir ki, şüalanmadan sonra aşqar atomlarının həcmi yüklər oblastında paylanma qanunu dəyişə bildiyindən tutum aşağıda göstərilən ifadə ilə hesablanı bilər:

$$C = Sq n_i \mu \sqrt{D} / \sqrt{K} \tau \quad (4)$$

burada: S - həcmi yüklər oblastının sahəsi, q - elementar yük, n_i - məxsusi konsentrasiya, μ -yükdaşıyıcıların yürüklüyü, D - diffuziya əmsalı, τ - yükdaşıyıcının yaşama müddəti, K - şüalanma zamanı p-n keçidin zədələmə əmsalıdır.

Şəkil 1-dən görünür ki, $C^2 \sim f(U)$ asılılığında, şüalanmadan sonra ilkin müşahidə olunan qanunauyğunluq saxlanılır, ancaq heteroqəçidlərin tutumu eksponensial qanunla azılır. Alınmış ayrılmanın gərginlik oxuna nəzərən ekstropolyarizasiyasından təyin olunan tutumun kəsişmə gərginliyinin azalması müşahidə olunur. U_0 –gərginliyinin kiçik gərginliklərə tərəf sürüşməsi həcmi yüklər oblastının şüalanmanın təsiri nəticəsində genişlənməsi ola bilər. Həcmi yüklər oblastının tutumu K - zədələnmə əmsalının kvadrat kökü ilə tərs mütənəsbdir. Şəkil 1-dən görünür ki, şüalanma dozasının artması ilə tutum xətti azalır. Buna səbəb isə şüalanma zamanı strukturanın baza oblastında yaranan radiasiya defektləri hesabına p-n keçidin eninin genişlənməsidir.



Şəkil 1. $\text{TIIn}_{1-x}\text{Au}_x\text{Se}_2$ - TlSe heteroqəçidlərinin müxtəlif şüalanma dozalarında volt-farad xarakteristikaları göstərilmişdir ($T = 300 \text{ K}$): 1-50; 2-100; 3-150; 4-200; 5-250; 6-500 krad

Ədəbiyyat

6. Алексеев И.В. Полупроводниковый детектор нейтронного излучения на основе TIInSe_2 . //Приборы и техника эксперимента, 2008, №3, с.9-13
7. G.D.Guseinov, A.G.Abdullayev, M.Z.Ismailov, and V.D.Rustamov. "The piezoresistive effect in the p - TlInSe_2 singlecrystals". Mat. Res. Bull. Vol.12, pp. 115-118, 1977.
8. G.D.Guseinov, G.G.Guseinov, E.M.Kerimova, M.Z.Ismailov, V.D.Rustamov and L.A.Rzajeva. "Structure and growth peculiarities of $\text{TlSy} - \text{TlInSe}_2$ ". Mat. Res. Bull. Vol.13, pp. 975-982, 1978.
9. Sah C.T., Noyce R.N., Shockley W. Carrier generation in p-n junctions and p-n junction characteristics. Proc.IRE, 1957, v.45,N8,p. 1228-1243
10. А.С. № 683406 СССР Фоточувствительный материал, Г.Д.Гусейнов, Г.В.Абдуллаев,В.Дж. Рустамов и др.,1979
11. А.С. № 698457 СССР Фоточувствительный материал, Г.Д.Гусейнов, Г.В.Абдуллаев,А.М.Пашаев, В.Дж. Рустамов и др., 1979
12. Patent AZE İ2020 0048 "Спектрал анализатор" Ə.V. Əliyev, E.M. Kərimova, Y.Ə. Yusibov və V.C.Rüstəmov
13. Patent AZE İ2020 0049 "Yarımkeçirici fotorezistor" Ə.V. Əliyev, E.M. Kərimova, Y.Ə. Yusibov və V.C.Rüstəmov

Аннотация

Статья посвящена измерению вольт-фарадных характеристик гетеропереходов, полученных термическим испарением на чистой поверхности монокристаллов $TlIn_{1-x}Au_xSe_2$. Установлено, что первоначально наблюдаемая закономерность в зависимости $C \sim f(U)$ сохраняется после облучения, однако емкость гетеропереходов уменьшается экспоненциально.

Abstract

The article is devoted to the measurement of the volt-farad characteristics of heterojunctions obtained by thermal evaporation on the clean surface of $TlIn_{1-x}Au_xSe_2$ single crystals. It was found that the initially observed regularity in the dependence of $C \sim f(U)$ after irradiation is preserved, but the capacitance of the heterojunctions decreases exponentially.

СИНТЕЗ, ВЫРАЩИВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$

Рустамов В. Д., Гулиев М. С., Мовсумова И. М., Амирасланов И. Ф.

Гянджинский Государственный Университет

vaqifrustemov75@gmail.com

Açar sözlər: yenidən kristallaşma, həllolma, monokristal, birləşməli, fotohəssaslıq, fotosensor, detektor.

Ключевые слова: перекристаллизация, растворимость, монокристалл, однофазный, фоточувствительность, фотодатчик, детектор.

Key words: recrystallization, solubility, single crystal, single-phase, photosensitivity, photosensor, detector.

Известно, что для регистрации видимого и ближнего ИК излучений используются фоточувствительные материалы на основе кремния, германия и другие.

Промышленный фоторезистор ФС-К2 характеризуются следующими параметрами: $E_g = 2,4 \text{ эВ}$, рабочее напряжение 110-120В, рабочая площадь $4 \times 7 \text{ мм}^2$ (остальные параметры приведены в табл.1. Рабочие площади фотодатчиков на основе кристаллов $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ ($0 \leq x \leq 0,025$) изменялись в пределах $2 \times 5 \div 3 \times 7 \text{ мм}^2$, а рабочее напряжение составляло $\sim 10 \text{ В}$.

Учет особенностей спектрального распределения фоточувствительности слоистых материалов $TlInSe_2$ и твердых растворов на его основе и сравнение их со светочувствительностью фоторезистора ФС-Л» показывают, что твердые растворы катионного замещения $Tl \leftrightarrow Cu$ на основе $TlInSe_2$ являются перспективными материалами для создания фоторезисторов.

Монокристаллы $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ выращивали методом Бриджмена-Стокбаргера. Температура зоны плавления составляла 1060К, температура отжига 960К, в зоне кристаллизации был создан температурный градиент 30К/см. Полученные кристаллы обладают р- типом проводимости.

Полученные таким образом слитки, согласно РФА, оказались однофазными. Рентгенограммы монокристаллов $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ соответствуют полученным в [1, 2].

При синтезе твердых растворов с целью равномерного распределения атомов высокотемпературную выдержку и процесс охлаждения осуществляли под действием электровибраций.

Полученные слитки оказались совершенно однородными. Однородность образцов по длине подтверждаются данными рентгенограмм различных частей кристалла.

Монокристаллы $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ выращивали методом зонной перекристаллизации ее эффективность обеспечивалась тем, что эти кристаллы, термически достаточно стойкие обладают малой упругостью паров в точке плавления, содержат хорошо растворимые примеси в жидкой фазе, имеют положительный коэффициент теплового расширения и плавятся при средних температурах. Кристаллы больших размеров выращивали как при горизонтальном, так при вертикальном перемещении расплавленной зоны без затравки. Расплавленные зоны (длиной от 5 до 15 мм) перемещали со скоростью 6-20 мм/ч. Число проходов зоны варивовали от 4 до 30.

Полученные таким способом кристаллы раскалывали по двум взаимно перпендикулярным зеркальным плоскостям, в результате чего они приобретали формы прямоугольных параллелепипедов. Однако дальнейший анализ показал, что плоскости внешней огранки указанных прямоугольных параллелепипедов не соответствуют основным боковым плоскостям элементарных ячеек тетрагональных решеток данного соединения. Оказалось, что кристаллы при этом скалываются по диагональным плоскостям тетрагональных элементарных ячеек. Следовательно, параллельно расположенные к тетрагональной оси «С» естественные сколы соответствовали [110] и являлись плоскостями роста, а ориентация самой оси «С» в слитке зависела от конкретных условий роста: при аксиальной симметрии теплового потока ось «С» принимало направление параллельного перемещения зоны при горизонтальной зонной перекристаллизации и перпендикулярного при вертикальной.

Однако в случае горизонтально направленной кристаллизации (со скоростью 5 мм/ч) соединения $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ методом медленного охлаждения ($\sim 3\text{K/ч}$) при постоянном градиенте температур ($\sim 6\text{K/см}$) наблюдалась несколько иная ориентация. Кристаллографическая ось «С» была направлена по диаметру слитка, а одна из указанных выше двух плоскостей скалывания сохраняла свое неизменное горизонтальное положение в данном случае. Таким образом, во всех трех вариантах кристаллизации данных фаз была замечена следующая тенденция в ориентациях плоскостей скола: нормаль к одной из плоскостей скалывания оказалась направленной параллельно силе тяжести, а нормаль другой плоскости – в направлении максимального градиента температуры.

К указанной ориентации может привести следующая ситуация. Видимо, на начальной стадии кристаллизации образующийся первоначальный зародыш в расплаве вследствие сравнительно меньшей удельной массы легче расплава и поднимается на его поверхность; дальнейший рост происходит от этого центра кристаллизации главным образом в направлении максимального градиента температур. В результате сначала образуется тонкая кристаллическая пластинка, плавающая на поверхности расплава в горизонтальном положении, которая постепенно «углубляется» в него по гравитационному полю. Следует отметить, что использованного метода позволило управлять направлением роста. Таким образом, в последствии удалось вырастить монокристаллы с железными геометрическими конфигурациями заданного размера. Современные тонкие пластинки этих кристаллов оказались достаточно гибкими [3, 4].

С помощью изложенной методики удалось вырастить монокристаллы $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ ($0 \leq x \leq 0,025$) которые использовали для исследования параметров светодатчиков.

С целью исследования параметров светодатчиков на основе твердых растворов $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ для создания омических контактов использовали индий, впаянный в потоке водорода при температуре 500K.

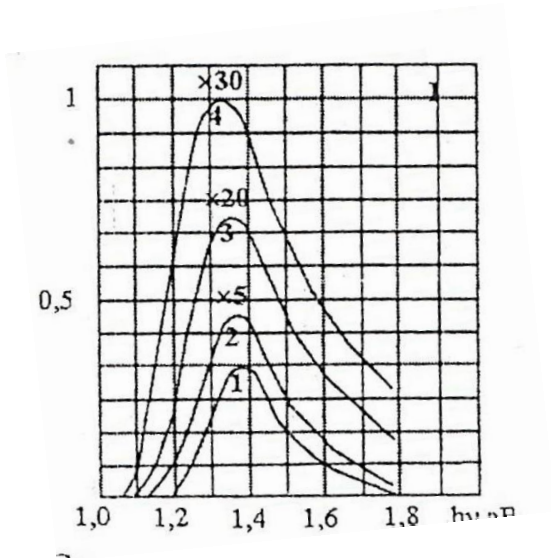
Фотоэлектрические свойства $TlInSe_2$ проанализированы в работах многих авторов; показано. Что фоторезисторы, изготовленные на основе монокристаллов $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ обладают новыми функциональными возможностями, пригодными для решения различных прикладных задач.

Таблица 1. Параметры светодатчиков на основе $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$

Материал	300 К			
	Область светочувствительности, мкм	Максимум спектральной чувствительности, мкм	Темновое сопротивление, ρ_t Ом	$\rho_t/\rho_{см}$ при 200К
$TlInSe_2$	0,7-1,12	0,90	$2,5 \cdot 10^8$	60
$Tl_{0,99}Cu_{0,01}InSe_2$	0,7-1,13	0,91	$2,0 \cdot 10^8$	240
$Tl_{0,98}Cu_{0,02}InSe_2$	0,7-1,15	0,92	$1,5 \cdot 10^8$	900
$Tl_{0,975}Cu_{0,025}InSe_2$	0,7-1,16	0,923	$1,25 \cdot 10^8$	1400
ФС-К2	0,42-0,75	0,52	$3,3 \cdot 10^8$	20

Монокристаллы твердых растворов, полученных на основе $TlInSe_2$, имеют более высокие значения интегральной чувствительности по сравнению со стехиометричным $TlInSe_2$, причем с ростом x в кристаллах твердых растворов $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ фоточувствительность возрастает более чем в 20 раз, а спектральная фоточувствительность находится в интервале $\sim 0,62 \div 1,15$ мкм (рис 1.)

Рис.1. Спектры фотопроводимости монокристаллов $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ при $T=293K$: 1- $x=0$; 2- $x=0,01$; 3- $x=0,02$; 4- $x=0,025$



Литература

1. Ю.В.Вайткус, Э.М.Керимова, Л.А.Исмаилзаде, В.Д.Рустамов. – Влияние примесей на электрические и фотоэлектрические св-ва монокристаллов $TlInSe_2$ и $TlInS_2$. Тез.док.V Всесоюзной конф. По химии и физике и техн. применению халькоген, Баку, «Элм», 1979.
2. Г.В.Гусейнов, Г.Б.Абдуллаев, В.Д.Рустамов, М.З.Исмаилов, Э.М.Керимова, Г.А.Мурадова. – ФС.683406, СССР, Фоточувствительный мат. Заяв.20.04.77 г. ДСП, 1977
3. Э.М.Годжаев, Г.С.Джафарова. – Диаграмма состояния и свойства фаз. системы $TlInSe_2$ - TlP_rSe_2 //неорган.материалы 2003 Т.39 №1, стр. 10-13.
4. Structure and growth pecurities of TlS_2 - $TlInSe_2$. G.D.Gugeinov, G.G.Gugeinov, E.M.Kerimova, M.Z.Ismailov, V.D.Rustamov and L.A.Rzaeva. Mat.Res.Bull Vol:13, PP.975-982, 1978. Perqamom Press, Jnc, Printed in the United States.
5. Р.С.Мадатов, И.М.Мовсумова, В.Д.Рустамов, Э.Г.Мовсумов, Ф.Р.Намазов – Рентенопроводимость монокристалла $TlInSe_2$. Azerbaijan National Academy of sciences Canja Branch “Scientific news” №4 (66), Ganja 2016.

Xülasə

$Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ bərk məhlulunun mükəmməl monokristallarının sintezi və yetişdirilməsi üsulu işlənilib hazırlanmışdır. Fırlanan ampulün qismən soyudulmasından istifadə edərək daha səmərəli üsul müəyyən edilmişdir. Bundan əlavə, $TlInSe_2$ əsasında $Tl \leftrightarrow Cu$ -nün kationik əvəzlənməsinin bərk məhlulları fotorezistorların yaradılması üçün perspektivli materiallardır.

Аннотация

Разработана методика синтеза и выращивания совершенных монокристаллов твердого раствора $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$. Установлено, что более эффективным методом является синтез с частичным охлаждением наклонно вращающейся ампулы и выявили что твердые растворы катионного замещения $Tl \leftrightarrow Cu$ на основе $TlInSe_2$ являются перспективным материалами для создания фоторезисторов.

Summary

A technique for the synthesis and cultivation of perfect single crystals of the solid solution $Tl_{1-x}Cu_xInSe_2$ has been developed. It was found that a more effective method is the synthesis with partial cooling of an obliquely rotating ampoule and found that solid solutions of cationic substitution $Tl \leftrightarrow Cu$ on the basis of $TlInSe_2$ are promising materials for the creation of photoresistors.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСАЖДЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК CdS

Гасымлы С.Т. магистрант, Салманов В.М. д.ф.-м.н., Мамедов Р.М. д.ф.н., Мустафаева Д.Ш. магистрант

Бакинский Государственный Университет, AZ1148 Баку, Азербайджан

e-mail: vagif_salmanov@yahoo.com

Ключевые слова: лазерная абляция, фотопроводимость, фоточувствительность, CdS.

Кристаллы сульфида кадмия (CdS) – это неорганическое соединение, представляющее собой желто-оранжевые кристаллы, существующие в формах гексагонального вюрцита (гриноцит) и кубического сфалерита (хоулит). Это важный полупроводник прямого типа с широкой запрещенной зоной ~2,42 эВ, применяемый в солнечных панелях, фоторезисторах, светодиодах и лазерах. Тонкие пленки CdS, изготовленные различными методами, могут существенно различаться по своей кристаллической структуре, количеству структурных дефектов, степени ориентации, размеру зерен, содержанию различных примесей и другим параметрам. Соответственно, электрические, фотоэлектрические, люминесцентные и другие свойства тонких пленок CdS в значительной степени зависят от методов их изготовления. В данной работе экспериментально исследуется влияние облучения во время процесса роста на фотоэлектрические, люминесцентные, оптические и структурные свойства пленок CdS, полученный методом химического распылительного пиролиза.

Пленки сульфида кадмия (CdS) были изготовлены методом распылительного пиролиза, который заключается в мелкодисперсном распылении водного раствора CdCl_2 (0,025M) и тиомочевинны $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ (0,025M) на нагретую подложку (400 °C), находящуюся в инертной атмосфере. Омические контакты к образцам наносились методом вакуумного испарения индия. В качестве источника облучения использовались различные непрерывные лазеры с длинами волн $\lambda=630$ нм, $\lambda=480$ нм и $\lambda=337$ нм. Фотопроводимость и спектры пропускания образцов измеряли стандартными методами с использованием монохроматора SPM-2 и компьютеризированного оптического комплекса KSVU-2 при комнатной температуре. Фотолюминесценцию образцов, возбуждаемую лазером на азоте ($\lambda=337$ нм), измеряли с помощью спектрометра ДФС-24, а сигнал регистрировался синхронизированной системой детектирования при 77 К. Рентгеновские дифракционные спектры тонких пленок CdS снимались с использованием линии Ka источника рентгеновского излучения на основе меди[1].

Экспериментальные результаты показывают, что облучения поверхности подложки лазерным излучением во время процесса осаждения приводит к значительным изменениям фотоэлектрических, люминесцентных, оптических и структурных свойств пленок. Эти изменения зависят от интенсивности и длины волны падающего света. На рисунке 1 приведены спектры фотопроводимости различных пленок CdS, полученных без облучения (кривая 1), с облучением красным светом ($\lambda=630$ нм, кривая 2), синим светом ($\lambda=480$ нм, кривая 3) и ультрафиолетовым светом ($\lambda=337$ нм, кривая 4). Видно, что с увеличением энергии падающих фотонов фотопроводимость в области собственной абсорбции ($\lambda < 520$ нм) возрастает. Фотоотклик в максимуме спектра фотопроводимости пленок CdS, облученных ультрафиолетовым светом с выходной мощностью 20 мВт/см², в пять раз выше, чем у пленок без облучения, а их интегральная фоточувствительность на два порядка выше по сравнению с последними. Такая же зависимость наблюдается в спектрах

фотолюминесценции пленок CdS (рис. 1,б), где интенсивность экситонной люминесценции пленок, облученных ультрафиолетовым светом, в два раза выше, чем у пленок без облучения. Спектр катодолюминесценции пленок без облучения содержит несколько характерных линий люминесценции. Резкая линия с максимумом при $\lambda = 490$ нм обусловлена аннигиляцией экситонов. Широкая линия в диапазоне 550–800 нм является наложением оранжевой ($\lambda=600$ нм) и красной ($\lambda= 720$ нм) линий люминесценции, вызванных структурными дефектами в пленках CdS, которые представляют собой комплексы типа $[V_s^+ + Cd^+]^+$ и $[V_s^+ + V_s^{2+}]^-$, соответственно.

Спектры пропускания и рентгеновской дифракции пленок CdS, осажденных в темноте и с облучением красным, синим и ультрафиолетовым светом, показывает, что облучение пленок в процессе осаждения приводит к значительному увеличению их прозрачности в области оптического пропускания, а также к предпочтительной ориентации зерен вдоль оси [1011].

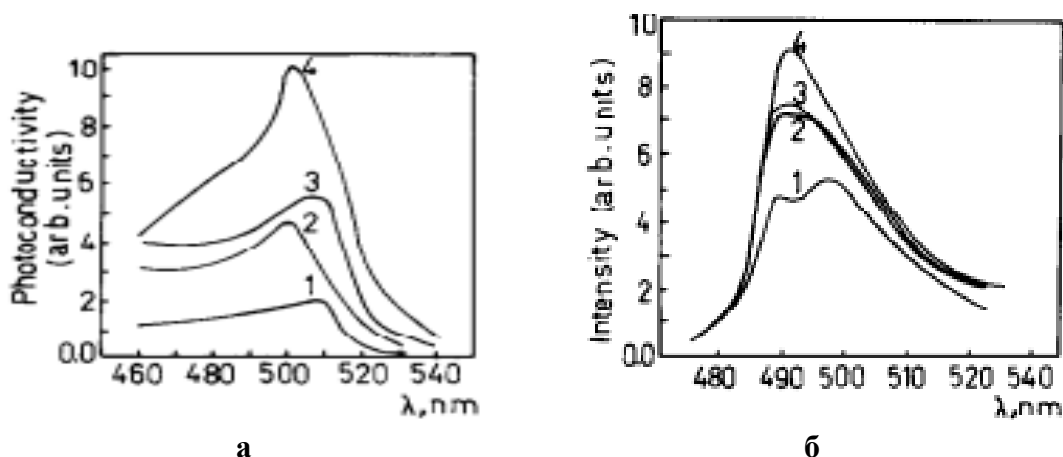


Рис.1. а-Спектры фотопроводимости пленок CdS, изготовленных методом химического распыления в темноте (кривая 1) и под облучением красным ($\lambda = 630$ нм, кривая 2), синим ($\lambda = 480$ нм, кривая 3) и ультрафиолетовым ($\lambda = 337$ нм, кривая 4) светом, $T = 300$ К, б - Спектры фотолюминесценции пленок CdS, изготовленных методом химического распыления при $T = 77$ К.

Изучение образцов, облученных синим лазером при двух плотностях мощности (около 100 мВт/см² и 200 мВт/см²), показало, что увеличение интенсивности облучения также приводит к вышеупомянутым эффектам, хотя они значительно менее выражены, чем энергия излучения. Падающее излучение увеличивает миграцию атомов на поверхности, имея активационную энергию около $1,0$ эВ. Облучение, проведенный аргоновым лазером ($\lambda \sim 0,46\text{--}0,52$ мкм) в процессе осаждения пленок TiN методом магнетронного распыления показало, что лазерное облучение в процессе осаждения стимулирует формирование пленок e-TiN, что связано с повышением подвижности атомов Ti и N на поверхности под действием излучения. Энергии лазерного излучения, использованные в наших экспериментах ($E \sim 2,0\text{--}3,7$ эВ), вполне достаточно для активации подвижности поверхности и ионизации атомов кадмия и серы. Результаты, представленные выше, относительно воздействия облучения в процессе осаждения на свойства пленок CdS, могут быть объяснены предположением о дополнительном фотолитическом (нетермическом) разложении исходных компонентов раствора, когда капли раствора достигают подложки, нагретой до 400 °C [2].

Процесс фотодиссоциации исходных компонентов может сопровождаться дальнейшей фотоионизацией и увеличением подвижности атомов кадмия и серы на поверхности под воздействием падающих фотонов. В результате этих процессов пленки CdS, приготовленные при облучении, обладают более высокой структурной совершенностью, чем пленки, подготовленные без облучения. Таким образом, изменения фотоэлектрических, люминесцентных и оптических свойств пленок CdS, осажденных при облучении, объясняются улучшением структурной совершенства пленок. Повышение интенсивности экситонной люминесценции в облученных пленках может быть связано с уменьшением концентрации комплексов $[V_a + Cd:]^0$ и $[V_a + V_s]^0$. Будучи нейтральными центрами акцептора с высокой эффективностью захвата дырок ($S = 10^{-15} \text{ см}^2$), они играют конкурентную роль в радиационной рекомбинации. Увеличение фоточувствительности в области основной абсорбции может быть связано с ростом подвижности носителей (электронов), когда концентрация центров рассеяния (вакансий, интерстициальных атомов и их комплексов) уменьшается. Увеличение прозрачности в области оптического пропускания пленок CdS может быть связано как с уменьшением концентрации центров дефектной абсорбции, так и с повышением предпочтительной ориентации зерен вдоль оси [1011].

Литература

1. S. Khajuria, S. Sanotra, J. Ladol, H. Sheikh, J. Mater. Sci. Mater. Electron. 2015. v. 26, pp. 7073-7079.
2. A.V. Bulqakov, A.B. Yevtushenko, Yu.Q. Shukhov, I. Ozerov, V. Marin. «Quantum electronics», 2010, v.40, № 11, pp. 1021-1033.

Xülasə

Nazik təbəqələrin alınması prosesi zamanı lazer şüalanmasının kimyəvi püskürtmə pirolizi yolu ilə əldə edilən CdS nazik təbəqələrinin fotoelektrik, optik və struktur xüsusiyyətlərinə təsiri eksperimental olaraq öyrənilmişdir. Radiasiya mənbələri kimi $\lambda = 630 \text{ nm}$, $\lambda = 480 \text{ nm}$ və $\lambda = 337 \text{ nm}$ dalğa uzunluqlarına malik müxtəlif kəsilməz dalğa rejimdə işləyən müxtəlif lazer şüalarından istifadə edilmişdir. Göstərilmişdir ki, çökmə prosesi zamanı substrat səthinin lazer şüalanmasının təsirinə məruz qalması nazik təbəqələrin fotoelektrik, lüminessensiya, optik və struktur xüsusiyyətlərində əhəmiyyətli dəyişikliklərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu dəyişikliklər düşən işığın intensivliyindən və dalğa uzunluğundan asılıdır.

Аннотация

Экспериментально исследованы влияние лазерного облучения во время процесса роста на фотоэлектрические, оптические и структурные свойства пленок CdS, полученных методом химического распылительного пиролиза. В качестве источника облучения использовались различные непрерывные лазеры с длинами волн $\lambda = 630 \text{ nm}$, $\lambda = 480 \text{ nm}$ и $\lambda = 337 \text{ nm}$. Показано, что облучения поверхности подложки лазерным излучением во время процесса осаждения приводит к значительным изменениям фотоэлектрических, люминесцентных, оптических и структурных свойств пленок. Эти изменения зависят от интенсивности и длины волны падающего света.

Abstract

The effect of laser irradiation during the growth process on the photoelectric, optical, and structural properties of CdS films obtained by chemical sputter pyrolysis was experimentally studied. Various continuous-wave lasers with wavelengths of $\lambda = 630 \text{ nm}$, $\lambda = 480 \text{ nm}$, and $\lambda = 337 \text{ nm}$ were used. It is shown that laser irradiation of the substrate surface during the deposition process leads to significant changes in photoelectric, luminescent, optical, and structural properties of the films. These changes depend on the intensity and wavelength of the incident light.

337 nm were used as radiation sources. It was shown that irradiation of the substrate surface with laser radiation during the deposition process leads to significant changes in the photoelectric, luminescent, optical, and structural properties of the films. These changes depend on the intensity and wavelength of the incident light.

НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРЫ InSe/GaS, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИЕЙ

***Салманов В.М., Мамедов Р.М., Магомедов А.З., Мамедзаде И.Я., Бакмирзоев Р.Р.
Бакинский Государственный Университет, AZ1148 Баку, Азербайджан
e-mail: vagif_salmanov@yahoo.com***

Ключевые слова: лазерная абляция, коллоидный раствор, ядро/оболочка, наногетероструктуры.

Современный этап развития физики твердого тела характеризуется тем, что основными объектами исследования все в большей степени становятся не массивные полупроводниковые кристаллы, а наночастицы малого размера. Уникальные физические свойства наноструктур по сравнению с объемными материалами, чрезвычайно высокое отношение поверхности к объему, наличие зависимости оптических свойств от размера наночастиц и обнаружения квантово размерных эффектов открывает большие возможности для создания на их основе новых поколений солнечных батарей, лазеров, светодиодов, люминесцентных меток, фотокатализаторов и т.д. Для получения наноструктурных материалов, применяются различные методы – газодинамические, химические, плазменные, лучевые. Одним из наиболее перспективных методов синтеза полупроводниковых наночастиц является импульсная лазерная абляция в жидкости [1]. Лазерная абляция наночастиц в жидкости вызывает большой интерес из-за ее простоты, отсутствия необходимости в поверхностно-активных веществах и хорошего контроля размера и формы синтезируемых наночастиц. В этом методе основные факторы, влияющие на получаемые наночастицы, являются параметры лазера (мощность, длина волны, длительность и частота импульса), материал и геометрические характеристики мишени и состояние окружающей среды (жидкость, газовая среда, вакуум).

Слоистые полупроводники A^3B^6 (InSe, GaS,...) играют важную роль в нанотехнологии. Наночастицы селенида индия (InSe) - это перспективный слоистый полупроводниковый материал, обладающий узкой прямой запрещенной зоной, высокой подвижностью носителей заряда ($\sim 9000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$) и уникальными оптическими и фотоэлектрическими свойствами. Наночастицы InSe применяются в наноэлектронике, фотовольтаике (солнечные элементы) и сенсорах благодаря своей способности эффективно поглощать свет. InSe является аналогом графена с запрещенной зоной, что критически важно для создания транзисторов и компонентов оптоэлектроники. Эффективная люминесценция и высокое поглощение света делает их пригодными для создания высокочувствительных фотодетекторов и светоизлучающих диодов. Наночастицы сульфида галлия (GaS) представляют собой слоистый полупроводниковый материал, проявляющий уникальные оптические и электронные свойства из-за эффектов квантового ограничения. Они обладают уникальными фотоэлектрическими свойствами, широкой запрещенной зоной ($\sim 3.0 \text{ эВ}$), высокой фоточувствительностью и способностью к эффективному излучению света, что делает их идеальными для использования в

фотодетекторах, светодиодах и компонентах фотовольтаики.

Ранее нами методом лазерной абляции твердой мишени в жидкости были синтезированы наночастицы слоистых полупроводников InSe и GaS. При помощи дифракционного анализа рентгеновских лучей, сканирующего электронного микроскопа, атомного силового микроскопа и спектроскопии дисперсной энергии рентгеновских лучей были проведены исследования внутреннего строения и структуры полученных наночастиц. Показано, что наночастицы InSe и GaS сохраняют кристаллическую структуру исходного материала и имеют размеры (4–20) нм. Ширина запрещенной зоны наночастиц InSe и GaS, определенных из спектров поглощения оказались равными $E_g=2,15$ эВ и $E_g=4,0$ эВ, соответственно. Эти величины на $\sim 0,9$ эВ больше ширины запрещенной зоны указанных кристаллов. Представляет большой интерес создание наногетероструктур на основе наночастиц InSe и GaS. В этом случае наночастица состоит из двух разнородных полупроводниковых частей, как правило, эпитаксиально соединенных по определенным кристаллографическим плоскостям. Примером могут служить широко известные полупроводниковые наночастицы, построенные по типу ядро/оболочка, в которых ядро из узкозонного полупроводника, покрыто оболочкой из более широкозонного полупроводника. При таком строении увеличивается эффективность люминесценции за счет пассивации поверхностных дефектов. Данная работа посвящена получению наногетереперехода InSe/GaS методом лазерной абляции и исследования их спектров поглощения и люминесценции.

Процесс абляции проводили Nd:YAG - лазером с длиной волны 1064 нм, длительностью 10 нс, энергией в импульсе 135 мДж и частотой повторения 10 Гц. В качестве исходного материала были использованы слоистые кристаллы InSe и GaS, выращенные методом Бриджмена. Для формирования наногетероструктуры InSe/GaS в начале были синтезированы наночастицы InSe, далее в коллоидном растворе InSe при интенсивном перемешивании магнитной мешалкой, были синтезированы наночастицы GaS (рис.1,а).

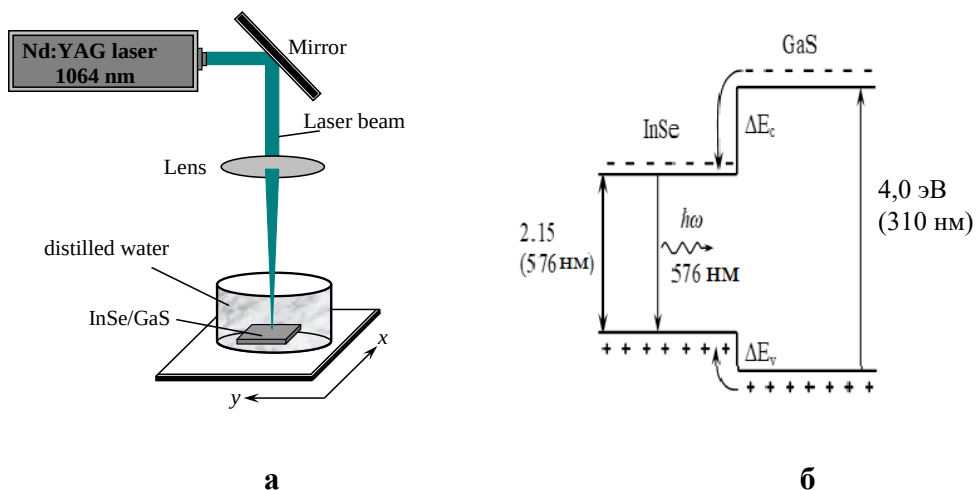


Рис.1. а- Схема экспериментальной установки для абляции наночастиц InSe/GaS; **б-** Зонная диаграмма наногетероструктуры InSe/GaS.

Спектры люминесценции наногетероструктур InSe/GaS, возбуждаемой 2-ой гармоникой ($\hbar\omega = 2,341$ эВ) Nd:YAG-лазера имеет максимум на длине волны 576 нм. По нашему мнению, в коллоидном растворе наночастиц InSe/GaS, полученной лазерной абляцией, образуется гибридная наноструктура типа ядро/оболочка [2]. При этом кристаллическая решетка наночастиц GaS без нарушения периодичности переходит в решетку наночастиц InSe. Основным доказательством получения наногетероструктуры ядро/оболочка, является сильное увеличение интенсивности люминесценции на длине волны 576 нм и отсутствие пика люминесценции наночастиц GaS в области (300-400) нм. Фотогенерированные под действием лазерного излучения электрон – дырочные пары в GaS подвергается частичному разделению носителей заряда на электроны и дырки. Электроны, изначально находящиеся в зоне проводимости GaS при релаксации, переходят в зону проводимости InSe, а дырки находящиеся в валентной зоне GaS переходят в валентную зону InSe. В результате излучательной рекомбинации электрон-дырочных пар, в InSe наблюдается люминесценция с максимумом 576 нм.

Литература

1. N.G. Semaltianos. Solid State and Material Science 2010, т. 35, с. 105-124.
2. Р. Б.Васильев, Д.Н. Дирин, А.М. Гаськов. Успехи Химии 2011, т.80 (12), с.1190-1210.

Xülasə.

Mayedə lazer ablasiya üsulu ilə sintez edilmiş InSe/GaS nanoterostrukturunun udma və lüminesans spektrləri eksperimental olaraq öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, hibrid nüvə/örtük nanoterostrukturuları, nüvəsi dar zolaqlı InSe nanohissəciyi, örtüyü isə geniş zolaqlı GaS nanohissəciyi olduğu InSe/GaS nanohissəciklərinin kolloid məhlulunda əmələ gəlir. Nd:YAG lazerinin üçüncü harmonikfı ($\hbar\omega = 3.51$ eV) ilə həyəcanlanan InSe/GaS nanoterostrukturalarının lüminesans spektri 576 nm dalğa uzunluğunda effektiv lüminessensiyaya malikdir.

Аннотация

Экспериментально исследовались спектры поглощение и люминесценции наногетероструктуры InSe/GaS, синтезированной лазерной абляцией в жидкости. Показано, что в коллоидном растворе наночастиц InSe/GaS образуется гибридные наногетероструктуры типа ядро/оболочка, где в качестве ядра участвует узкозонная наночастица InSe, а оболочкой является широкозонная наночастица GaS. Спектр люминесценции наногетероструктур InSe/GaS, возбуждаемой 3-ей гармоникой ($\hbar\omega = 3,51$ эВ) Nd:YAG-лазера показывает эффективную люминесценцию на длине волны 576 нм.

Abstract

The absorption and luminescence spectra of an InSe/GaS nanoheterostructure synthesized by laser ablation in liquid were experimentally studied. It was shown that hybrid core/shell nanoheterostructures are formed in a colloidal solution of InSe/GaS nanoparticles, where the core is a narrow-bandgap InSe nanoparticle and the shell is a wide-bandgap GaS nanoparticle. The luminescence spectrum of InSe/GaS nanoheterostructures excited by the third harmonic of an Nd:YAG laser has an effective luminescence wavelength of 576 nm.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ n-GaAs/p-GaAs, ВЫРАЩЕННОЙ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ

¹Мамедов Т.С., ¹Агалиева С.Т., ²Салманов В.М., ²Мамедов Р.М.

¹Институт Физики, Минесткрства Науки и Образования, Az1073 Баку, Азербайджан

²Бакинский Государственный Университет, AZ1148 Баку, Азербайджан
e-mail: vagif_salmanov@yahoo.com

Ключевые слова: молекулярно-лучевая эпитаксия, гетероструктура, n-GaAs/p-GaAs.

Гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs были изготовлены с использованием метода молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) в условиях сверхвысокого вакуума (СВВ). Электрические и оптоэлектронные свойства изготовленных гетероструктур n-GaAs/p-GaAs исследовались с помощью комбинации измерений вольт-амперных характеристик (ВАХ), анализа спектрального отклика и фотолиминесцентной спектроскопии (ФЛ). Электронные свойства гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs можно понять на основе зонной структуры GaAs, которая характеризуется прямой запрещенной зоной приблизительно 1,42 эВ при комнатной температуре [1]. Вольт-амперные характеристики (I–V) гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs демонстрируют выраженное выпрямляющее поведение, подтверждающее образование функционального р–п-перехода. Коэффициент выпрямления при приложенном напряжении 1 В составляет приблизительно 1,75, что указывает на неидеальное поведение диода. При освещении структура демонстрирует фотоэлектрический отклик с током короткого замыкания приблизительно $I_{sc} \approx 180$ мкА и напряжением холостого хода $V_{oc} \approx 15$ мВ, а также коэффициентом заполнения $ff \approx 51\%$. Общая эффективность преобразования энергии оценивается в $\eta \approx 5,44\%$, что является умеренным показателем для гетероструктур на основе GaAs и указывает на наличие механизмов потерь внутри устройства. Несмотря на присущие GaAs преимущества, такие как высокая подвижность электронов (~ 8500 см²/В·с) и относительно высокая подвижность дырок (~ 400 см²/В·с), а также оптимальная ширина запрещенной зоны ($\sim 1,42$ эВ) для оптоэлектронных применений, наблюдаемые электрические характеристики указывают на то, что устройство работает в условиях, ограниченных рекомбинацией. Форма вольт-амперных характеристик как в прямом, так и в обратном направлении смещения предполагает, что доминирующий механизм переноса тока связан с сильной рекомбинацией в области пространственного заряда. Такое поведение подразумевает, что рекомбинация носителей заряда в объеме материала, а не идеальная диффузия, определяет процесс переноса заряда. Спектральная зависимость фототока для гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs представлена как функция энергии фотона ($h\nu$), как показано на рис. 1,а. По мере увеличения энергии фотона примерно с 1,1 эВ фототок остается пренебрежимо малым до тех пор, пока не наблюдается отчетливый пик вблизи $h\nu \approx 1,4$ –1,45 эВ, что близко соответствует фундаментальной ширине запрещенной зоны GaAs. Это подтверждает, что генерация фототока в основном определяется межзонными электронными переходами из валентной зоны в зону проводимости. При дальнейшем увеличении энергии фотона фототок резко возрастает и достигает максимума примерно при $h\nu \approx 1,7$ –1,8 эВ. Этот пик можно отнести к усиленному оптическому поглощению и эффективной генерации электронно-дырочных пар в этом энергетическом диапазоне. Увеличение фототока за пределами энергии запрещенной зоны указывает на то, что фотоны с более высокой энергией более эффективно способствуют возбуждению и переносу носителей заряда [2]. В дополнение к основному краю поглощения, наличие выраженного пика выше запрещенной зоны предполагает участие дополнительных электронных переходов. К ним могут относиться переходы с участием состояний с более высокой энергией в зоне проводимости, а также вклад от дефектных или локализованных

состояний в зонной структуре. При более высоких энергиях фотонов ($h\nu > 2,0$ эВ) фототок постепенно уменьшается. Такое поведение можно объяснить увеличением рекомбинации носителей заряда и возможными потерями, связанными с поверхностью или интерфейсом. Высокоэнергетические носители, генерируемые при этих энергиях фотонов, могут испытывать быструю релаксацию и рекомбинацию, прежде чем внести свой вклад в измеримый фототок. В целом, спектральный отклик демонстрирует сильную корреляцию с собственной зонной структурой GaAs и предоставляет четкие доказательства того, что механизм генерации фототока определяется межзонными переходами с дополнительным вкладом от состояний с более высокой энергией и дефектных состояний.

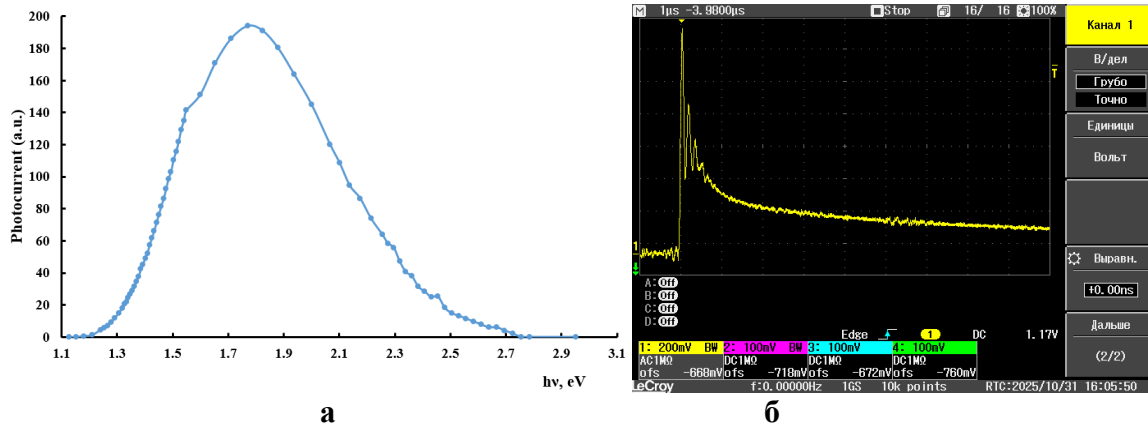


Рис.1. **а** - Спектральная зависимость фототока для гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs. **б**- Релаксация фототока, возникающий при возбуждение гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs второй гармоникой ($\hbar\omega = 2,34$ эВ)Nd:YAG лазера.

Кривая релаксации фототока состоит из двух компонентов, быстрый с временем релаксации $\tau \sim 4 \cdot 10^{-7}$ сек и медленный $\tau \sim 2 \cdot 10^{-6}$ сек. По нашему мнению быстрый канал рекомбинации обусловлен межзонной рекомбинацией, а медленный канал рекомбинации связан с примесными уровнями или дефектами, расположенные внутри запрещенной зоны.

Спектр фотолюминесценции гетероструктуры n-GaAs/p-GaAs демонстрируют несколько отчетливых особенностей излучения в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Наиболее заметная полоса излучения наблюдается вблизи $\lambda \approx 870\text{--}880$ нм, что соответствует энергии приблизительно 1,42 эВ, что находится в отличном согласии с фундаментальной шириной запрещенной зоны GaAs. Это излучение объясняется прямой межзонной радиационной рекомбинацией электронов и дырок в Г-точке. В дополнение к излучению на краю зоны наблюдается более широкая полоса излучения в диапазоне $\lambda \approx 650\text{--}680$ нм (1,8–1,9 эВ). Это излучение с более высокой энергией может быть связано с переходами, включающими возбужденные состояния или особенности, связанные со структурой зоны, а также с возможным вкладом локализованных состояний, подверженных влиянию структурного беспорядка. Кроме того, наблюдается дополнительная полоса излучения в области $\lambda \approx 520\text{--}550$ нм (2,3–2,4 эВ). Это излучение, скорее всего, связано с глубокими дефектами или примесными состояниями внутри запрещенной зоны. Такие дефектные переходы обычно наблюдаются в GaAs и указывают на неидеальное качество кристалла или дефекты, связанные с интерфейсом. Сосуществование межзонного и дефектного излучения указывает на то, что в структуре активны как радиационные, так и нерадиационные процессы рекомбинации. В частности, наличие глубоких состояний подтверждает интерпретацию рекомбинационно-

доминирующего транспорта, полученную из вольт-амперных характеристик. Более того, корреляция между пиками фотолюминесцентного излучения и спектральным откликом фототока предполагает, что те же электронные состояния, которые отвечают за оптическое излучение, также влияют на фотогенерацию и рекомбинацию носителей заряда. Это подтверждает, что оптоэлектронное поведение гетероструктуры определяется взаимодействием между собственными зонными переходами и дефектными процессами.

Литература

1. Zhang S. J. et al. Opening the band gap of graphene through silicon doping for the improved performance of graphene/GaAs heterojunction solar cells. *Nanoscale*, 2016, 8.1: 226-232.
2. Giyasova F. A., Yuldoshev V, M. A. Investigation of temporal characteristics of photosensitive heterostructures based on gallium arsenide and silicon. *Chalcogenide Letters*, 2025, 22.2: 123-129.

Xülasə

Molekulyar şüa epitaksiyası üsulu ilə yetişdirilən n-GaAs/p-GaAs heterostrukturalarının optoelektronik xüsusiyyətləri elektrik, spektral və fotolüminessensiya analizinin kombinasiyasından istifadə edilərək araşdırılmışdır. Strukturлар p-n keçidinin əmələ gəlməsini təsdiqləyən düzəldici cərəyan-gərginlik xüsusiyyətləri nümayiş etdirmişdir. Fotocəryanın spektral asılılığından qadağan olunmuş zolağın eninin 1,42 eV-a bərabər olduğu müəyyən edilmişdir və yükdaşıyıcıların generasiyasının zona-zona keçidləri ilə əlaqədar olduğu göstərilmişdir. Fotolüminesans spektrlərində (870–880nm) dalğa uzunluğu diapazonunda effektiv şüalanma aşkar edilmişdir. Göstərilmişdir ki, spektrin görünən oblastında (520–680 nm) müşahidə olunan şüalanma zolaqları struktur defektləri ilə əlaqədardır.

Аннотация

Оптоэлектронные свойства гетероструктур n-GaAs/p-GaAs, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии были исследованы с помощью комбинированного электрического, спектрального и фотолюминесцентного анализа. Структуры демонстрировали выпрямляющие вольт-амперные характеристики, подтверждающие образование p–n-перехода. Спектральный фототок выявил четкий край поглощения около 1,42 эВ, соответствующий прямой ширине запрещенной зоны GaAs, подтверждая, что генерация носителей заряда определяется межзонными переходами. Спектры фотолюминесценции показали сильный пик излучения в диапазоне ~870–880 нм (~1,42 эВ), а также дополнительные полосы в видимой области (520–680 нм), которые приписываются состояниям, связанным с дефектами.

Abstract

The optoelectronic properties of n-GaAs/p-GaAs heterostructures grown by molecular beam epitaxy were investigated using combined electrical, spectral, and photoluminescence analysis. The structures exhibited rectifying current-voltage characteristics, confirming the formation of a p–n junction. The spectral photocurrent revealed a distinct absorption edge at ~1.42 eV, corresponding to the direct band gap of GaAs, confirming that charge carrier generation is determined by interband transitions. The photoluminescence spectra revealed a strong emission peak in the range of ~870–880 nm (~1.42 eV), as well as additional bands in the visible region (520–680 nm), which are attributed to defect-related states.

II BÖLMƏ

FİZİKANIN TƏDRİSİ VƏ TƏTBİQİ

FİZİKA TƏDRİSİNDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİNİN TƏLİMİN FƏRDİLƏŞDİLƏŞDİRİLMƏSİ VASİTƏSİ KİMİ

Quliyev M.S., Namazov Y.B., Avazova F.R. , Arzumanova A.A.

Gəncə Dövlət Universiteti

yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: süni intellekt, fizika tədrisi, fərdiləşdirilmiş təlim, bacarıqlar, rəqəmsal təhsil

Ключевые слова: искусственный интеллект, преподавание физики, персонализированное обучение, навыки, цифровое образование

Keywords: artificial intelligence, physics teaching, personalized learning, skills, digital education

Rəqəmsal təhlükəsizlik və texnoloji inkişaf sahəsində həyata keçirilən ardıcıl siyasətin tərkib hissəsi kimi Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyevin 19 mart 2025-ci il tarixli Sərəncamı ilə “Azərbaycan Respublikasının 2025–2028-ci illər üçün Süni İntellektin İnkişafına dair Strategiya” təsdiq edilib. Bu strateji sənəddə süni intellekt texnologiyalarının dövlət idarəçiliyindən tutmuş iqtisadiyyata, sosial həyata və xüsusən də təhsilə kimi həyatın bütün sahələrinə geniş təsir imkanları vurğulanır. Strategiyanın əsas istiqamətlərindən biri də təhsil sistemində innovasiyaların və rəqəmsal transformasiyanın genişləndirilməsi ilə bağlıdır. Bu kontekstdə müəllimlərin peşəkar inkişafı və süni intellekt texnologiyalarına adaptasiyası xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Müasir təhsil mühiti artıq müəllimlərin yalnız bilik ötürücüsü kimi deyil, həm də rəqəmsal tədris mühitinin formalaşdırıcısı və texnoloji lideri kimi çıxış etməsini tələb edir. [1]

Süni intellekt (Sİ) — insanın intellektual qabiliyyətlərini tələb edən tapşırıqları yerinə yetirməyə qadir proqramlar və sistemlər yaratmaqla məşğul olan kompüter elmləri sahəsidir. Bu tapşırıqlara öyrənmə, məlumatların təhlili, problemlərin həlli, nümunələrin tanınması, təbii dilin emalı və qərar qəbul etmə aiddir. Sİ iş prinsipi maşın öyrənməsi alqoritmlərinə, neyron şəbəkələrə və məlumatların emalı üsullarına əsaslanır. Bu gün o, tibb, elm, iqtisadiyyat, sənaye və digər sahələrdə fəal tətbiq edilir.

Fizikanın tədrisində süni intellektdən (Sİ) istifadə tədris prosesinin təkmilləşdirilməsi, tələbələrin cəlb olunmasının artırılması və təlimin fərdiləşdirilməsi üçün yeni imkanlar açır. Aşağıda Sİ-nin təhsil prosesinə inteqrasiyası yollarının tam icmalı verilmişdir.

Fərdiləşdirilmiş təlim

Sİ tələbələrin hazırlıq səviyyəsini təhlil edə və onların biliklərindən asılı olaraq fərdi tapşırıqlar təklif edə bilər.

- Adaptiv təlim sistemləri (məsələn, Smart Sparrow, Squirrel AI) tapşırıqların çətinliyini tələbənin səviyyəsinə uyğunlaşdırır. Hər bir tələbənin bilik səviyyəsinə uyğunlaşan Sİ platformalarından istifadə olunur. Məsələn, Knewton və ya Smart Sparrow kimi sistemlər tələbənin gedişatından asılı olaraq fərdi tapşırıqlar və materiallar təklif edə bilər.
- Chat-botlar və virtual köməkçilər tələbələrin suallarına 7/24 rejimində cavab verə bilər.

- Sİ-analitikası bilik boşluqlarını aşkar etməyə və onların aradan qaldırılması üçün tövsiyələr verməyə kömək edir. [2]

- Virtual eksperimentlər: Tələbələrin parametrləri dəyişə və nəticələri real vaxt rejimində müşahidə edə biləcəyi virtual eksperimentlər aparmaq üçün Sİ-simulyasiyalarından istifadə

olunur. Məsələn, PhET Interactive Simulations platformaları fiziki prosesləri modelləşdirməyə imkan verir.

- Tövsiyə sistemləri: Sİ tələbələrin uğurlarını təhlil edə və mövzunu dərinlən başa düşmək üçün məqalələr, videolar və ya tapşırıqlar kimi əlavə materiallar tövsiyə edə bilər. Sİ tələbələrə laboratoriya işləri zamanı əldə edilmiş məlumatları təhlil etməkdə və nəticə çıxarmaqda kömək edə bilər.

İnteraktiv köməkçilər və chat-botlar. Chat-botlar: Fizika kursu üzrə tələbələrin suallarına cavab verə, mürəkkəb anlayışları izah edə və ya məsələlərin həllində kömək edə bilən chat-botların tətbiqi. Məsələn, GPT əsaslı botlar nəzəriyyəni izah etmək üçün faydalı ola bilər. [3,4]

- Tapşırıqların və laboratoriya işlərinin yoxlanılması: Sİ, xüsusilə cavabların ədədi və ya analitik ifadə oluna biləcəyi hallarda, məsələlərin həllini avtomatik yoxlaya bilər. Məsələn, Gradescore kimi sistemlər tələbə işlərini qiymətləndirmək üçün Sİ-dən istifadə edir.

- Əks əlaqə: Sİ tələbələrə ani əks əlaqə təqdim edə, səhvləri göstərə və onların düzəldilməsi yollarını təklif edə bilər.

- Akademik göstəricilərin təhlili: Sİ tələbələrin akademik göstəriciləri haqqında məlumatları təhlil edə və kimin çətinliklə üzləşə biləcəyini proqnozlaşdırmağa bilər. Bu, müəllimlərə vaxtında müdaxilə etməyə və əlavə yardım təklif etməyə imkan verəcək.

- Erkən xəbərdarlıq: Sİ əsaslı sistemlər geridə qalan tələbələrə bildirişlər göndərə və onların anlayışını yaxşılaşdırmaq üçün əlavə resurslar təklif edə bilər.

- Tapşırıqların avtomatik yaradılması: Sİ tələbələrin hazırlıq səviyyəsini və kursun cari mövzularını nəzərə alaraq onlar üçün tapşırıqlar və nümunələr yarada bilər.

- Konspektlərin və təqdimatların hazırlanması: Sİ müəllimlərə mühazirə konspektləri, təqdimatlar və digər materialları hazırlamaqda, məlumatı avtomatik strukturlaşdırmaqda kömək edə bilər.

- Tədqiqatlarda məlumatların təhlili: Tələbələr öz elmi layihələrində, məsələn, təcrübə nəticələrinin emalı və ya fiziki proseslərin modelləşdirilməsi zamanı böyük həcmli məlumatları təhlil etmək üçün Sİ-dən istifadə edə bilərlər.

- Eksperimentlərin optimallaşdırılması: Sİ ən yaxşı nəticələrə nail olmaq üçün optimal parametrlər təklif edərək təcrübələrin planlaşdırılmasında kömək edə bilər.

- Oyunlar vasitəsilə təlim: Tələbələrin virtual dünyalarda fizika qanunlarını tətbiq edə biləcəyi oyun ssenariləri yaratmaq üçün Sİ-dən istifadə olunur. Bu, təlimi daha maraqlı və həvəsləndirici edir.

Nəticələr

Süni intellekt texnologiyalarının fizika tədrisinə inteqrasiyası müasir təhsil sisteminin qarşısında duran ən aktual və perspektivli istiqamətlərdən biridir. Tədqiqat göstərir ki, Sİ təkcə tədris prosesinin avtomatlaşdırılması vasitəsi deyil, həm də təlimin fərdiləşdirilməsi, tələbələrin idrak fəallığının artırılması və müstəqil tədqiqat bacarıqlarının formalaşdırılması baxımından mühüm rol oynayır.

Xüsusilə adaptiv təlim sistemləri, virtual eksperimentlər, chat-botlar və Sİ əsaslı analitika alətləri fizikanın tədrisində bilik boşluqlarının vaxtında aşkar edilməsinə, hər bir tələbəyə fərdi yanaşmanın təmin edilməsinə və tədris resurslarının optimallaşdırılmasına imkan yaradır. Bununla yanaşı, Sİ müəllimlərin peşəkar fəaliyyətini dəstəkləyərək onların yaradıcılıq və analitik potensialını artırır.

Azərbaycan Respublikasının 2025–2028-ci illər üçün Süni İntellekt Strategiyasında təhsilin rəqəmsal transformasiyasının prioritet istiqamət kimi müəyyən edilməsi ölkəmizdə bu sahədə aparılan elmi-pedaqoji tədqiqatların əhəmiyyətini daha da artırır. Bununla belə, Sİ-nin tədrisə tam inteqrasiyası üçün müəllimlərin rəqəmsal kompetensiyalarının inkişafı, etik və təhlükəsizlik

məsələlərinin tənzimlənməsi, habelə yerli dildə Sİ əsaslı tədris platformalarının yaradılması zəruridir. [2]

Gələcək tədqiqatlarda Sİ-nin fizika tədrisində uzunmüddətli təsirinin empirik tədqiqi, müxtəlif təhsil səviyyələrində (ümumtəhsil məktəbi, ali məktəb) pilot layihələrin həyata keçirilməsi və beynəlxalq təcrübənin Azərbaycan reallığına adaptasiyası məqsəduyğundur.

Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Rəsmi internet səhifəsi. (2025, 19 mart). Azərbaycan Respublikasının 2025– 2028-ci illər üçün Süni İntellekt Strategiyası haqqında Sərəncam (530 nömrəli). <https://president.az>
2. 2.Orucov, V., Azərbaycanın süni intellekt strategiyası kontekstində fizika müəllimlərinin XXI əsr bacarıqlarının inkişafı, JOURNAL OF BAKU ENGINEERING UNIVERSITY- PHILOLOGY AND PEDAGOGY, 2025. Volume 9, Number 1
3. Стюарт Рассел, Питер Норвиг. Искусственный интеллект. Современный подход. Том 1-4. Решение проблем. Знания и рассуждения. Вильямс, 2021-2024.
4. Ян Дж. Гудфеллоу, Йошуа Бенджио и Аарон Курвиль, Глубокое обучение. Deep Learning , MIT Press, 2016 г.
5. Орельен Жерон. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и Tensor Flow. Концепции, инструменты. Диалектика, 2020

Annotasiya

Bu məqalədə süni intellekt texnologiyalarının fizika tədrisinə təsiri nəzərdən keçirilir. Təhsil prosesində süni intellektin tətbiqinə müasir yanaşmalar, o cümlədən adaptiv təlim sistemləri, intellektual köməkçilər və fiziki proseslərin modelləşdirilməsi təhlil edilir. Təlimin fərdiləşdirilməsi, tədrisin səmərəliliyinin artırılması və tələbələrdə müstəqil tədqiqat bacarıqlarının inkişafı üçün süni intellektdən istifadə perspektivləri müzakirə olunur

Аннотация

В данной статье рассматривается влияние технологий искусственного интеллекта на преподавание физики. Анализируются современные подходы к применению искусственного интеллекта в образовательном процессе, включая адаптивные системы обучения, интеллектуальных помощников и моделирование физических процессов. Обсуждаются перспективы использования искусственного интеллекта для персонализации обучения, повышения эффективности преподавания и развития исследовательских навыков студентов.

Abstract

This article examines the impact of artificial intelligence technologies on physics teaching. Modern approaches to the application of artificial intelligence in the educational process are analyzed, including adaptive learning systems, intelligent assistants, and modeling of physical processes. The prospects for using artificial intelligence to personalize learning, increase teaching effectiveness, and develop students' research skills are discussed.

МЕЖПРЕДМЕТНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В КУРСЕ ФИЗИКИ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОБУЧЕНИЯ И ПРЕПОДАВАНИЯ

Джалилова С.Х.

Азербайджанского Государственного Педагогического университета

E-mail: sevinjalilova@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-4753-2835>

Ключевые слова: методология; комплексный подход; профессиональная подготовка; междисциплинарная интеграция; физика.

Açar sözlər: metodologiya; integrasiya olunmuş yanaşma; peşə hazırlığı; fənlərarası integrasiya; fizika.

Keywords: methodology; integrated approach; professional training; interdisciplinary integration; physics.

ВВЕДЕНИЕ.

Интегрированное обучение (в самом широком поле рассмотрения) является самостоятельной образовательной системой, где в единое взаимодополняемое целое объединены консолидированные материалы учебных предметов или учебных дисциплин на основе принципов междисциплинарности, междисциплинарности. Если говорить непосредственно о подходах к рассмотрению интегрированного обучения, необходимо справедливо отметить, что оно основывается на категории интеграции, поэтому множество научных, методологических и научно-методических работ посвящено разбору и анализу интегрированного обучения через это понятие. Интеграция априори предполагает наличие синтеза многообразия, что позволяет достичь максимально целостного восприятия и переосмысления обучающимися явлений и процессов окружающей действительности.

В современное время толчком к внедрению интегрированного обучения послужил частичный переход на дистанционные форматы в связи с пандемией COVID-19 и ее последствиями. Особенно интенсивно это происходило за рубежом: так, М. В. Николаевой систематизирован опыт вузов во внедрении разнообразных форм интегрированного обучения формах в Германии, США, Великобритании, Индии [14, с. 153].

Цель настоящего исследования заключалась в теоретическом обосновании, основанном на результатах исследований, осуществленных в контексте темы настоящей работы, анализ, обобщение, систематизация и интерпретация накопленного в научной сфере материала для консолидации имеющихся представлений и выявления тенденций в совершенствовании педагогической практики.

Практическая значимость исследования заключается в создании теоретического фундамента совершенствования профессионального образования, способной служить методологической основой образовательной практике профессиональной подготовки студентов – будущих учителей по физике.

Подведенные результаты эмпирического исследования, которое было реализовано в Великобритании, в Манчестерском и Ноттингемском университетах, подтверждают следующее. Межпредметная (междисциплинарная) интеграция в полной мере содействует повышению мотивации обучающихся к изучению как основных, так и смежных дисциплин, если она адекватно учтена в проектных задачах. В этом случае также снимается целый ряд вопросов относительно знания парадигм образовательной области, напрямую не касающейся будущей профессиональной деятельности студентов.

Интегрированное обучение не ограничено рамками отдельно взятых методик или положений дидактики и имеет общепедагогическое значение. Рассматривая интеграцию в

системе «вуз-школа» в качестве сложного многофакторного процесса, требующего методологической основы, В. А. Малинин в научной публикации описывает педагогическую интеграцию в трех ипостасях – в качестве принципа развития педагогической науки и практики, в качестве процесса реализации междисциплинарных связей и формирования новой системы преподавания, а также как результат взаимосвязи двух и более образовательных элементов [12, с. 73].

Говоря об интеграции в обучении, закономерно встает вопрос междисциплинарности, межпредметных связей как эквивалента взаимодействия между разными науками и образовательными областями. Междисциплинарные (межпредметные) связи дают возможность обучающимся рассмотреть изучаемые темы или проблемы с разных сторон, это дидактический инструмент интеграции. Интеграция предполагает реализацию взаимосвязей дисциплин на высоком уровне, причем уровень взаимосвязи дисциплин / предметов определяется поставленными педагогом дидактическими задачами. Цель преподавателя в этой связи – обеспечить переход от внутрипредметных / внутридисциплинарных связей к межпредметным / междисциплинарным.

Л. Л. Багова фокусирует внимание на межпредметных связях: методологической, образовательной, развивающей, воспитывающей, конструктивной [1, с. 58]. Важность освоения междисциплинарных / межпредметных связей обусловлена потребностью в формировании у современных специалистов целостного восприятия картины мира, качеств ответственной и самостоятельной личности, способной принимать взвешенные решения и творчески подходить к решению возникающих проблем.

Разумеется, обучающиеся не всегда могут выделить наличие взаимосвязи между разными образовательными областями, что затрудняет процесс познания и освоения профессиональных компетенций. Л. А. Хамула отмечает, что интеграция позволяет сформировать у обучающихся интерактивный способ мышления, способность к рассмотрению многоаспектных объектов, являющихся предметом изучения разных дисциплин, развить умение анализа и синтеза получаемых знаний, их переноса из одной образовательной области в другую [18, с. 42].

Формами реализации может служить как специально созданный курс с принципиально новым содержанием, внедренный курс с несколько обновленным содержанием, интегрированный курс с объединением материала нескольких учебных предметов или дисциплин, интегрированное занятие.

Интеграция затрагивает самые разные аспекты – взаимопроникновение, взаимодополнение, взаимосочетание, взаимозависимость, взаимозаменяемость. И. Т. Хайруллин и О. В. Илюшин описывают три признака интеграции. Так, в ходе интеграции наблюдается взаимная интеграция синтезируемых частей, происходит ассимиляция подобных частей целым – учебным курсом, появляются качественно новые приращения в учебном материале, который объединяется и ставится целостным в процессе интеграции [17, с. 193]. Интеграция предстает в двух значениях: как цель (направленность на формирование у обучающихся целостного представления об окружающем мире) и как средство (становление базы, платформы для оптимального воссоединения научных знаний о предмете).

Интеграция в обучении может происходить, как управляемо, так и стихийно. Если первый случай иллюстрирует в качестве примера предмет рассмотрения данного исследования, когда преподаватель использует интеграцию в качестве дидактического инструмента и ставит во главу угла междисциплинарные, межпредметные связи, то при стихийной интеграции обучающийся самостоятельно, в рамках разрешения проблемы,

учебной ситуации пробует применять знания, умения, навыки, которые были сформированы или формируются при изучении другого учебного предмета или дисциплины, без управляющего воздействия педагога.

Ю. В. Чичко делает вывод о том, что стихийная интеграция фактически сопровождает процесс освоения обучающимся любой учебной дисциплины [19, с. 127]. При этом управляемая интеграция может быть реализована в двух направлениях. Первое, традиционное, предполагает, что педагог рассматривает в определенные периоды обучения, возникающие взаимосвязи двух и более предметов или дисциплин, вытекающие из содержательной составляющей учебного материала. Во втором случае в качестве основы интеграции выбирается комплекс информации, знаний, которые не укладываются в рамки одного учебного предмета или учебной дисциплины.

Стоит упомянуть, что элемент стихийности сохраняется и в управляемой интеграции, поскольку обучающийся учится переносить способы действия с одного предмета на другой. Это формирует матрицу для приращения принципиально нового знания, развивает представление о целостности мира и облегчает процесс обучения в целом благодаря перерастанию в устойчивую учебно-познавательную, творческую деятельность.

Понятно, что интеграция – обратное явление дифференциации предметов и дисциплин. Несмотря на то что, интеграция и дифференциация в обучении выступают противоположными сторонами, интегрированное обучение позволяет достичь определенной степени их диалектического единства, позволяя дать целостное представление об изучаемом предмете и постичь его характерные особенности, закономерности, нюансы. Интегрированные подходы в обучении не исключают имеющейся дифференциации, напротив, дифференциация и интеграция выступают одновременно взаимозависимыми и противоположными процессами. Интеграция также не отрицает значимости сложившейся предметной системы, интегрированные подходы в обучении – лишь путь ее совершенствования, улучшения, нивелирования недостатков, углубления межпредметных и междисциплинарных взаимосвязей.

В связи с вышесказанным, нужно указать на синкретизм компонентов интеграции, а не формальное соединение частей, объединение чего-либо в процессе интеграции. Межпредметные (междисциплинарные) связи в рассматриваемом контексте являются своеобразным генератором интеграции. При этом последняя выступает высшим уровнем реализации межпредметных (междисциплинарных) связей.

Единая, относительно общепризнанная теоретико-методологическая основа интегрированного обучения отсутствует. Как правило, в научно-методических публикациях раскрываются методы, технологии, форматы интеграции, делается ставка на методические и прикладные нюансы. В рамках компаративного анализа педагогами оценивается опыт организации интегрированного обучения в разных вариациях, в образовательных программах на различных уровнях обучения – от школы до вуза, включая систему дополнительного образования.

Говоря о методических аспектах, предлагаются алгоритмы и рекомендации построения интегрированного обучения. Например, Ю. С. Заграйская описывает такой алгоритм действий преподавателя в рассматриваемом контексте: определение общих для разных дисциплин понятий, сравнение программ и учебных материалов для трансляции обучающимися одних и тех же понятий сквозь призму интегрированных областей знания, создание интегрированного обучения на базе общих составляющих [7, с. 46].

Стоит также указать, что зачастую под интегрированным обучением понимается принципиально иное явление – подход к организации обучения лиц с различными

нарушениями жизнедеятельности, ограниченными возможностями и инвалидностью. К примеру, в научной работе Н. А. Вернер рассматривает отечественные и зарубежные подходы к интегрированному и инклюзивному обучению в образовательных организациях [4], И. Н. Ерохина, А. А. Торгашова описывают опыт, проблемы и перспективы организации образовательной деятельности для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья [6]. Обогащение социального опыта в рамках интегрированного обучения детей с особыми потребностями и без ограничений развития рассматривается и другими авторами. Также в публикациях можно встретить понятие «интегративное обучение», которое фактически идентично по значению интегрированному обучению.

О. В. Борщева описывает структуру интегративного подхода, которую составляют содержательный, организационно-деятельностный и методический компоненты [2, с. 7]. Содержательный компонент означает отбор учебного материала согласно заданным требованиям интеграции, содействующий достижению сформулированных целей. Организационно-деятельностный компонент предполагает наличие в арсенале у преподавателя самых разных форм учебной и внеучебной деятельности для максимально широкого использования самостоятельной подготовки, потенциала творческих заданий. Методический компонент заключается в грамотном заимствовании материалов других учебных предметов / дисциплин, изменении методов и технологий обучения с целью обеспечения соответствия задачам.

В системе среднего профессионального образования и высшего образования, несмотря на накопленный опыт реализации интегрированного образования с целью повышения качества подготовки специалистов, его внедрение требует решения ряда важных вопросов. В их число входят особенности в части организации учебного процесса, подготовка и обучение преподавателей, формирование требуемой инфраструктуры.

О. В. Ощепкова и Ю. В. Благоев [15, с. 165] описывают четыре варианта реализации подходов к интегрированному обучению. В первом случае, это оптимальная консолидация относительно автономных и самостоятельно функционирующих учебных дисциплин в интегративные курсы. Во втором случае, это организация обучения посредством «интеграции по методу» – в творчески развивающей парадигме. В третьем случае предполагается «интеграция по технологии», что означает всемерную опору на использование в образовательном процессе компьютеров. В четвертом случае обучение взаимосвязано с грамотным построением процесса коммуникации, на основе законов герменевтики.

Использование в ходе лекций и практических занятиях методов активного и практического обучения, где особый статус имеют имитационное моделирование, кейсы, проектное обучение, дает студентам реальную возможность примерки на себя функциональных ролей инженера в различных профессиональных ситуациях, как правило – возрастающей сложности. Интегрированное обучение позитивным образом сказывается на удовлетворенности студентов от образовательного процесса, дисциплинарные знания подкрепляются профессиональной инженерной практикой, личные достижения обучающихся содействуют консолидации их веры в свои силы

А. А. Ятайкина [20, с. 487] предлагает подход к структурированию интегрированного обучения по уровням (ступеням) интеграции, выделяя тематическую интеграцию, проблемную интеграцию, концептуальную интеграцию и теоретическую интеграцию. Тематическая интеграция имеет место в том случае, когда несколько учебных предметов раскрывают одну общую тему. Проблемная интеграция наблюдается тогда, когда одна какая-либо проблема разрешается посредством применения ресурсов различных

предметов. Концептуальная интеграция означает, что рассматриваемая концепция преломляется сквозь призму различных учебных предметов, в том числе, и благодаря совокупности использования всех возможных средств, методов, приемов. Теоретическая интеграция, когда присутствует взаимопроникновение различных теорий на философском уровне, имеет место в случае синтеза конкурирующих теоретических концепций, при распространенном применении компонент понятийно-категориального аппарата других областей знания.

Т. Ю. Павельева отмечает, что интеграция допустима и возможна как из одной образовательной области, так и из разных, при наличии единого основания к их объединению [16, с. 87]. Интеграция осуществляется за счет применения самых разных способов деятельности, среди которых Е. С. Медведкова отмечает анализ, синтез, алгоритмизацию, систематизацию, конкретизацию, абстрагирование, моделирование, обобщение, что позволяет обеспечить дискурсивность, концентрированность, уплотнение учебного материала вкупе с оптимальным способом подачи информации [13, с. 124].

Выделим три подхода к рассмотрению интегрированного обучения: внутридисциплинарный / внутрипредметный, междисциплинарный / межпредметный, трансдисциплинарный / транспредметный. Безусловно, такое деление весьма условно, но это понимание интегрированного обучения позволит нам далее детально раскрыть возможности интеграции физики и информатики в повышении качества профессионального обучения студентов педагогического направления.

Общим у каждого из представленных подходов к интегрированному обучению является то, что за счет использования интеграции происходит активизация учебно-познавательной деятельности обучающихся. В любом из подходов образовательный процесс становится цельным и взаимосвязанным с содержательных и процессуальных позиций, предполагается усиление междисциплинарных (межпредметных) связей, наблюдается повышение теоретического уровня осваиваемых предметов и дисциплин и достижение целостности педагогического воздействия, происходит расширение получаемой в ходе обучения информации, развитие у обучающихся системного и критического мышления, повышение мотивации, интенсификация, оптимизация и систематизация деятельности обучающихся.

Понятно, что эти положительные стороны раскрываются только при грамотной организации интеграции, в этом случае интегрированное обучение располагает большими технологическими возможностями, хотя и априори означает повышение когнитивной нагрузки на учеников или студентов. При этом интегрированное обучение является инструментом преодоления когнитивных издержек.

Обеспечение дидактического синтеза на уровне методов, приемов, средств, форм и технологий обучения происходит через реализацию внутридисциплинарного (внутрипредметного) подхода. Другими словами, происходит интеграция информации, понятий, знаний, умений и навыков внутри отдельно взятых учебных предметов или дисциплин. Такая интеграция возможна за счет включения в предмет или дисциплину нового содержательного материала из другого предмета / дисциплины, который изначально не входит в содержание курса.

Внутрипредметная (внутридисциплинарная) интеграция содействует укреплению понимания отдельных тем и разделов в рамках учебного предмета или дисциплины, что позволяет ускорить, оптимизировать освоение материала и сделать процесс обучения более интересным и результативным. Как правило, здесь речь идет преимущественно об интегрированных занятиях.

Интегрированные занятия отличаются от «традиционных» предельной четкостью и компактностью изучаемого материала, взаимосвязанностью и информативной емкостью материала, логической взаимообусловленностью. На интегрированных занятиях изучается материал, тематика которого находится на пересечении или периферии двух и более учебных предметов или дисциплин. По мнению В. С. Вакуленко с соавторами, в современной школе в контексте внутридисциплинарных и междисциплинарных взаимодействий, в школе интегрированным может быть урок практически любого типа, причем он будет обладать определенными преимуществами – более тщательной проработкой темы, прочным усвоением школьниками изучаемого материала [3, с. 145].

Заключение.

Междисциплинарный (межпредметный) подход к интегрированному обучению подразумевает под собой объединение научного аппарата, методологии, концепций двух и более дисциплин или синтез преподавания самостоятельных (в привычных условиях традиционного обучения) учебных предметов / дисциплин. Становление у обучающихся профессионально-значимых знаний, умений, навыков, применение полученных в рамках учебных предметов и дисциплин информации выступают результатами реализации данного подхода.

Междисциплинарная (межпредметная) интеграция предполагает расширение возможностей обучения за счет стройной комбинации знаний, материала, информации, блоков и элементов самых разных учебных предметов и дисциплин. При этом содержание курсов далеко не всегда кажется близким при первом приближении. В этом случае требуется определенный «интегратор», системообразующий элемент [5, с. 9].

Междисциплинарная (межпредметная) интеграция возможна только при соблюдении ряда условий и требований. О. В. Ощепкова и Ю. В. Благов в их число относят следующее: 1) объекты изучения разных предметов / дисциплин должны быть максимально близки и совпадать полностью или частично; 2) в интегрированных учебных предметах и дисциплинах следует применять одинаковые или близкие друг другу методы, 3) интегрируемые учебные предметы и дисциплины должны базироваться на общих теоретических концепциях и закономерностях [15, с. 169].

Литература

1. Багова Л. Л. Межпредметная интеграция в образовательном процессе и ее проблемы на этапах становления педагогической науки / Л. Л. Багова // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2022. – № 1. – С. 57-61.
2. Борщева О. В. Структура интегративного подхода к обучению иностранному языку / О. В. Борщева // Вестник Московского государственного гуманитарного университета имени М.А. Шолохова. Сер. Педагогика и психология. – 2021. – № 1. – С. 5-8.
3. Вакуленко В. С. Идеи, методы и принципы интегрированного обучения / В. С. Вакуленко, С. Ф. Пономарева, З. М. Суюнчалиева // Актуальные проблемы современного образования. – 2020. – № 7 (27). – С. 144-148.
4. Вернер Н. А. Исследование отечественных и зарубежных подходов к интегрированному и инклюзивному обучению в образовательных организациях / Н. А. Вернер // Санкт-Петербургский образовательный вестник. – 2021. – № 11-12 (15-16). – С. 55-62.
5. Гавенко Н. В. Основные формы и методы реализации интегративного подхода на уроках иностранного языка / Н. В. Гавенко // Конструктивные педагогические заметки. – 2024. – № 12-1 (21). – С. 5-12.

6. Ерохина И. Н. Интегрированное обучение: опыт, проблемы, перспективы / И. Н. Ерохина, А. А. Торгашова // Педагогический поиск. – 2018. – № 1. – С. 36-39.
7. Заграйская Ю. С. Сущность и дидактический потенциал интегрированного обучения / Ю. С. Заграйская // Современные тенденции в преподавании иностранных языков в неязыковом вузе. – 2023. – № 7. – С. 44-46.
8. Касторнова О. Н. Интегрированный подход в обучении иностранному языку / О. Н. Касторнова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2006. – № 2. – С. 276-278.
9. Кудряшова Э. Е. Интегрированный подход к организации контента обучения в соответствии с требованиями болонского процесса / Э. Е. Кудряшова // Фундаментальные исследования. – 2021. – № 5. – С. 70.
10. Курмангалиева С. С. Cays-study в интегрированном обучении студентов / С. С. Курмангалиева, Г. А. Смагулова, Л. Н. Власова, М. С. Макашова, О. М. Алиев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 1-1. – С. 147-150.
11. Лизунков В. Г. Формирование необходимых навыков у студентов с использованием интегрированного обучения / В. Г. Лизунков, В. И. Марчук, Е. Ю. Малушко // Современные проблемы науки и образования. – 2022. – № 6. – С. 481.
12. Малинин В. А. Интеграция школы и вуза в условиях инновационного развития системы образования: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.08 / В. А. Малинин. – Нижний Новгород, 2015. – 306 с.
13. Медведкова Е. С. Интегрированное обучение критическому мышлению в рамках внутридисциплинарного подхода / Е. С. Медведкова // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2020. – № 6. – С. 123-126.
14. Николаева М. В. Интегрированный подход к обучению в условиях дистанционного образования / М. В. Николаева, Е. Э. Сусленникова // Вестник педагогических наук. – 2022. – № 2. – С. 151-155.
15. Ощепкова О. В. Теоретические основы реализации интегративного подхода в образовательном процессе / О. В. Ощепкова, Ю. В. Благоев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Психолого-педагогические науки. – 2024. – № 3 (23). – С. 164-169.
16. Павельева Т. Ю. Проблемы содержания интегрированного обучения / Т. Ю. Павельева // International Journal of Advanced Studies in Education and Sociology. – 2022. – № 1. – С. 84-90.
17. Хайруллин И. Т. Интегрированный подход к профильному обучению / И. Т. Хайруллин, О. В. Илюшин // Образование и саморазвитие. – 2023. – № 4 (38). – С. 192-196.
18. Хамула Л. А. Реализация элементов интегрированного подхода CLIL (Content and language integrated learning) при обучении иностранному языку в военном вузе / Л. А. Хамула // Современные проблемы науки и образования. – 2022. – № 2. – С. 42.
19. Чичко Ю. В. Интегрированное занятие как активный метод обучения в образовательном процессе / Ю. В. Чичко // Историческая и социально-образовательная мысль. – 2021. – № 5. – С. 124-128.
20. Ятайкина А. А. Об интегрированном подходе в обучении / А. А. Ятайкина // Педагогический университетский вестник Алтая. – 2022. – № 2. – С. 483-490.

Xülasə

Məqalədə pedaqoji praktikada bu günə qədər interpretasiyası və tətbiqi baxımından aktual olaraq qalan fənlərarası integrasiya məsələləri araşdırılır. Tədqiqatın məqsədi mövzu üzrə aparılmış araşdırmaların nəticələrinə əsaslanaraq nəzəri əsaslandırma vermək, elmi sahədə toplanmış materialları təhlil etmək, ümumiləşdirmək, sistemləşdirmək və interpretasiya edərək mövcud yanaşmaları konsolidasiya etmək və pedaqoji praktikanın təkmilləşdirilməsi istiqamətlərini müəyyən etməkdən ibarətdir.

Abstract

The article discusses current issues of interdisciplinary integration, which remain problematic for interpretation and implementation in the framework of pedagogical practice to the present. **The purpose** of the work was to provide a theoretical justification based on the results of research carried out in the context of the topic of this work, to analyze, summarize, systematize and interpret the material accumulated in the scientific field in order to consolidate existing ideas and identify trends in improving pedagogical practice

ORTA MƏKTƏBDƏ FİZİKANIN TƏDRİSİNDƏ VİRTUAL LABORATORİYALARDAN İSTİFADƏ TEXNOLOGİYASI

Hacıyev T. M.

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti. Bakı

haciyev.tofiq.62@gmail.com

Açar sözlər: fizika, təhsil, texnologiya, interaktiv təhsil, virtual laboratoriya, nümayiş, təcrübə, simulyasiya, rəqəmsal öyrənmə, şagird fəallığı.

Ключевые слова: физика, образование, технологии, интерактивное образование, виртуальная лаборатория, демонстрация, эксперимент, моделирование, цифровое обучение, деятельность учащихся.

Keywords: physics, education, technology, interactive learning, virtual laboratory, demonstration, experiment, simulation, digital learning, student engagement.

Giriş

Müasir dövrdə təhsil sistemində rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi sürətlə genişlənir. Xüsusilə, virtual laboratoriyalardan fizika fənninin mövzularının tədrisində və praktik işlərinin icrasında istifadə şagirdlərin mövzunu daha dərinlən anlaması üçün mühüm rol oynayır. Lakin ənənəvi laboratoriyaların qurulması, avadanlıqların təmin edilməsi və təhlükəsizlik məsələləri bəzən çətinlik yaradır. Bu baxımdan virtual laboratoriyalar fizika dərslərində effektiv, alternativ və ya tamamlayıcı vasitə kimi çıxış edir [1; 2].

Fizika dərslərində virtual laboratoriyaların üstünlükləri

İnformasiya–kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) inkişafı təhsil sistemində köklü dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Xüsusilə, fizika kimi eksperimental fənlərin tədrisində virtual laboratoriyalar yeni imkanlar açır. Bu baxımdan virtual laboratoriyalar fizika dərslərinin keyfiyyətini artıran innovativ vasitələrdən biri kimi geniş istifadə olunur [3].

Ənənəvi laboratoriyalar maddi–texniki baza tələb etdiyi halda, virtual laboratoriyalarda isə bu məhdudiyyətlər aradan qaldırılır.

Virtual laboratoriyaların mahiyyəti və tətbiqi

Virtual laboratoriyalar – real laboratoriya şəraitini kompüter proqramları və ya onlayn platformalar vasitəsilə modelləşdirir. Onlar şagirdlərə müxtəlif fiziki prosesləri təhlükəsiz, interaktiv və əyani şəkildə öyrənmək imkanı yaradır.

Tədris prosesində şagirdlər müxtəlif fiziki hadisələri müşahidə edir, təcrübələr aparır, parametrləri dəyişirir və nəticələri analiz edə bilirlər. Yəni, real laboratoriyada olduğu kimi cihazları “idarə edir”, ölçmələr aparır və nəticələri təhlil edirlər.

Bu texnologiya vasitəsilə mexanika, dinamika, optika, elektrik, maqnetizm və s. kimi fizikanın müxtəlif bölmələrinə aid təcrübələri təhlükəsiz və rahat şəkildə həyata keçirmək mümkündür [4].

Məsələn, “Mexanika” bölməsində cisimlərin hərəkəti, “Elektrik” bölməsində dövrlərin qurulması, “Optika” bölməsində işığın sınması və əks olunması kimi mövzular virtual şəkildə modelləşdirilə bilər.

Fizika dərslərində virtual laboratoriyaların tətbiqi

Fizika dərslərində virtual laboratoriyalar müxtəlif formalarda tətbiq oluna bilər:

1. Yeni mövzunun izahı zamanı – müəllim mövzunu izah edərkən virtual nümayişlərdən istifadə edərək, fiziki anlayışları vizuallaşdırır.

2. Praktiki məşğələlərdə – şagirdlər fərdi və ya qrup şəklində virtual təcrübələrdən istifadə edərək, tapşırıqları yerinə yetirirlər.

3. Möhkəmləndirmə mərhələsində – şagirdlər fərdi və ya qrup şəklində virtual nümayiş və təcrübələr həyata keçirirlər.

4. Qiymətləndirmə mərhələsində – virtual testlər və laboratoriya tapşırıqları vasitəsilə biliklər yoxlanılır.

5. Evdə müstəqil öyrənmə zamanı – şagirdlər dərstdən kənar vaxtda da virtual təcrübələri təkrar etmək imkanı əldə edirlər.

Fizikanın tədrisində virtual nümayiş və təcrübələrdən istifadə, dərsin interaktivliyini artırır və şagirdlərin fəallığını yüksəldir [4-5].

Virtual laboratoriyaların üstünlükləri

1. Təhlükəsizlik:

Real fizika laboratoriyalarında bəzi təcrübələrin aparılması təhlükəli olduğundan (məsələn, yüksək gərginlik, kimyəvi reaksiyalar, nüvə reaksiyaları və s.) mexaniki risklər mövcud olur. Virtual mühitdə isə bu risklər aradan qalxır. Şagirdlər təhlükəsiz şəraitdə təcrübə aparır, hadisələri təhlil edərək öyrənirlər.

2. Maddi resurslara qənaət:

Ənənəvi laboratoriya avadanlıqları bahalı ola bilər. Bu avadanlıqların alınması və onların saxlanması əlavə xərc tələb edir. Virtual laboratoriyalar isə bu xərcləri minimuma endirir. Eyni zamanda cihazların sıradan çıxması problemi aradan qalxır. Virtual laboratoriyalar bir dəfəlik proqram təminatı ilə çoxsaylı təcrübələri həyata keçirməyə imkan verir.

3. Təcrübələrin təkrar olunması imkanı:

Real laboratoriyada bəzi təcrübələri təkrar etmək çətin və ya vaxt aparan olur. Virtual laboratoriyada isə şagirdlər istədiyi qədər təcrübəni təkrar edə, müxtəlif parametrləri dəyişərək nəticələri müqayisə edə bilər. Bu, onların mövzunu daha yaxşı mənimsəməsinə kömək edir.

4. Vizual və interaktiv öyrənmə:

Virtual laboratoriyalar animasiya və qrafiklər vasitəsilə mürəkkəb fiziki prosesləri daha aydın göstərir. Xüsusilə, abstrakt anlayışların (məsələn, elektrik sahəsi, elektrik cərəyanı, maqnit

sahəsi, dalğa prosesləri, nüvə reaksiyaları və s.) öyrənilməsində böyük üstünlükləri görmək olur. Qrafiklər və animasiyalar mövzunun öyrənməni asanlaşdırır.

5. Fərdiləşdirilmiş təhsil imkanı:

Hər bir şagird öz öyrənmə sürətinə uyğun şəkildə çalışa bilər. Virtual mühitdə fərdi yanaşma daha asan tətbiq olunur. Dərs daha effektiv keçirilir. Bu da zəif şagirdlərin də mövzunu yaxşı mənimsəməsinə kömək edir.

6. Zaman və məkan məhdudiyyətlərinin aradan qalxması:

Real laboratoriyada qurğu hazırlığına və təmizliyə çox vaxt sərf olunur. Virtual laboratoriyadan istifadə zamanı qurğu hazırlığına və təmizliyə vaxt sərf olunmur. Virtual laboratoriyalar internet vasitəsilə istənilən yerdən istifadə oluna bilər. Bu isə məsafədən təhsil zamanı xüsusilə əhəmiyyətlidir.

7. İnteraktivlik və motivasiya:

Şagirdlər dərstdə daha aktiv iştirak edirlər. Dərs prosesində interaktiv təlim üsullarından istifadə şagirdlərdə marağı daha da artırır.

8. Analitik düşüncənin inkişafı:

Şagirdlər müxtəlif parametrləri dəyişərək nəticələri müqayisə edir və səbəb-nəticə əlaqələrini daha yaxşı anlayırlar. Bu isə onların tənqidi və analitik düşünmə bacarıqlarını inkişaf etdirir.

9. Çətinliklər və məhdudiyyətlər:

Virtual laboratoriyaların bir sıra üstünlükləri olsa da, bəzi məhdudiyyətlər də mövcuddur:

- Real avadanlıqla işləmə bacarıqlarının zəif inkişafı;\
- Texniki vasitələrə (kompüter, internet, proqram təminatı və s.) ehtiyac;
- Bəzi hallarda proqram təminatının mürəkkəbliyi, yəni təcrübələrin tam real təsirini əks etdirməməsi.

Bu səbəbdən virtual laboratoriyalar ənənəvi laboratoriyaları tam əvəz etməməli, onları tamamlayan vasitə kimi istifadə olunmalıdır.

Tədrisdə tövsiyyə olunan virtual laboratoriyalar

1. PhET interaktiv simulyasiyalar – PhET interactive Simulations

• *PhET interaktiv simulyasiyalar* – tədrisdə ən çox istifadə olunan platformalardan biridir və ödənişsizdir.

• Mexanika, molekulyar kinetik nəzəriyyə, termodinamika, sadə mexanizmlər, elektrik, optika və digər bölmələrin mövzularına aid çoxlu simulyasiyalar var.

• Azərbaycan dili də olduğundan istifadəsi çox sadədir.

2. Algodoo fizika simulyatoru – Algodoo physics simulation

• *Algodoo fizika simulyatoru* – platformasında lisenziya və ödəniş yoxdur. Məktəblər üçün daha çox faydalıdır.

• 2D mühitdə fizika qanunlarını interaktiv şəkildə modelləşdirmək mümkündür.

• Kompüterdə işləyir, lakin telefonda işləmir.

• Xüsusilə mexanika bölməsinin mövzuları üçün idealdır.

3. Crocodile Fizika laboratoriyası – Crocodile Physics virtual laboratory

• *Crocodile Fizika laboratoriyası* – fizika dərsləri üçün nəzərdə tutulmuş proqramdır.

• Kompüter və uyğun proqram təminatı tələb edir.

• Fiziki prosesləri – hərəkət, qüvvə, elektrik və elektronika təcrübələri üçün çox uyğundur.

• Sadə interfeysə malikdir. Vizual sxemlər qurmaq mümkündür.

4. Labster virtual laboratoriya platforması – Labster virtual lab platform

- *Labster virtual laboratoriya platforması* – müasir tədris aləti olub, daha çox biologiya və kimya üçün məşhur olsa da, fizika modulları da mövcuddur.

- Real laboratoriya 3D mühitində işləyir və ödənişlidir. Tam istifadə üçün abunə tələb olunur.

- Çətin mövzuların izahını asanlaşdırır (məsələn, molekulun quruluşu və s.). Vizual şəkildə göstərildiyi üçün mövzu daha yaxşı başa düşülür.

- Şagirdlərin və tələbələrin nəticələri izlənilə bilər.

- Bu daha çox məktəblər və universitetlər üçün çox faydalıdır.

5. Falstad elektron dövrə simulyatoru – Falstad Circuit simulyator

- *Falstad elektron dövrə simulyatoru* – elektrik dövrləri üçün çox uyğun sadə vasitədir.

- Brauzer üzərindən işləyir. Kompüter, planşet və telefonda açılır.

- Parametrləri dəyişəndə nəticə həmin anda dəyişir.

- Bu, xüsusilə tələbələr üçün çox rahatdır.

6. GeoGebra riyaziyyat proqramı – GeoGebra mathematics software

- *GeoGebra riyaziyyat proqramı* – ödənişsizdir və həm kompüterdə, həm planşetdə, həm də telefonda işləyir.

- Riyaziyyat və fizika qrafiklərinin qurulması üçün nəzərdə tutulmuşdur.

- Müəllimlər dərsləri daha maraqlı və effektiv təşkil edə bilirlər–təqdimatlar, animasiyalar və tapşırıqlar yaratmaqla, mövzunu daha maraqlı izah edə bilər.

7. Yenka fizika laboratoriyası – Yenka Physics laboratory

- *Yenka fizika laboratoriyası* – fizika təcrübələrini kompüterdə simulyasiya etməyə imkan verən proqramdır.

- Tam versiya üçün ödəniş tələb olunur.

- Fiziki proseslər (qüvvə, enerji, hərəkət və s.) animasiyalar vasitəsilə daha aydın başa düşülür.

- Eyni təcrübəni istənilən qədər təkrar etmək və parametrləri dəyişmək olur.

- Evdə və ya məktəbdən kənarda da istifadə edilə bilər.

- Bəzi mürəkkəb fiziki proseslər tam dəqiqliklə modelləşdirilməyə bilər.

8. Physlet Physics interaktiv fizika simulyasiyaları – Physlet Physics interactive simulations

- *Physlet Physics interaktiv proqramı* – brauzer üzərindən işlədiyi üçün əlavə proqrama ehtiyac olmur.

- Müəllimlər dərs zamanı nümayiş və tapşırıqlar üçün rahat istifadə edə bilər.

- Mexanika, optika, elektrik və s. bölmələri əhatə edir.

- Çətin mövzular (məsələn, dalğalar, elektrik sahəsi və s.) daha aydın görünür.

- Şagirdlər fiziki hadisələri müşahidə edib, dəyişdirə bilər.

- Azərbaycan dil seçimi yoxdur, əsasən ingilis dilindədir.

- Planşet və telefonda istifadə etmək olmur.

Nəticə

Fizika dərslərində virtual laboratoriyaların tətbiqi tədrisin keyfiyyətini artıran müasir və effektiv, maraqlı və əlçatan edir. Bu yeni texnologiya şagirdlərin mövzunu daha yaxşı mənimsəməsinə, təcrübə bacarıqlarını inkişaf etdirməsinə və elmə marağının artmasına şərait yaradır. Müasir təhsil sistemində virtual laboratoriyaların rolu getdikcə artır və düzgün istifadəsi təhsilin keyfiyyətinə müsbət təsir göstərir. Gələcəkdə rəqəmsal texnologiyaların daha da inkişafı ilə virtual laboratoriyaların təhsil sistemində rolu daha da genişlənəcəkdir.

Beləliklə, tədrisdə optimal nəticə əldə etmək üçün ənənəvi və virtual laboratoriyaların birgə istifadəsi ən düzgün yanaşma hesab olunur.

Ədəbiyyat

1. Məmmədov R. Ə. Fizikanın tədrisi metodikası. – Bakı: Elm, 2018. – 352 s.
2. Əliyev A. İ. Orta məktəbdə fizikanın tədrisi problemləri. – Bakı: Təhsil, 2016. –280 s.
3. Hüseynov F. M. İKT-nin fizikanın tədrisində tətbiqi. – Bakı: ADPU nəşriyyatı, 2020.–198 s.
4. Kazımov N.M. Müasir təlim texnologiyaları. – Bakı. Çəşioğlu, 2019. – 240 s.
5. Kozlovskiy E.O., Kravtsov H. M. Multimedia virtual laboratory for physics in the distance learning // Jurnal of information Technologies in Education. – 2015. – №18. – s. 80 – 89 (9.)

Xülasə

Məqalədə orta məktəbdə fizika dərslərində virtual laboratoriyaların tətbiqinin əhəmiyyəti və effektivliyi araşdırılmışdır. Müasir informasiya texnologiyalarının təhsil sahəsinə inteqrasiyası nəticəsində virtual laboratoriyalar şagirdlərə mürəkkəb fiziki prosesləri təhlükəsiz və vizual şəkildə öyrənmək imkanı yaradır. Bu yanaşma real laboratoriya avadanlıqlarının çatışmazlığı problemini aradan qaldırır, həm də təcrübələrin təkrar-təkrar aparılmasına şərait yaradır.

Tədqiqatlardan məlum oldu ki, orta məktəbdə fizikanın tədrisində virtual laboratoriyalardan istifadə, şagirdlərin dərslə marağını artırır, onların analitik və tənqidi düşünmə bacarıqlarını inkişaf etdirir. Eyni zamanda müəllimlər üçün dərslə daha interaktiv və səmərəli təşkili baxımından geniş imkanlar açır. Nəticə olaraq, virtual laboratoriyaların fizika fənninin tədrisində tətbiqi təhsilin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə mühüm tövhə verir.

Аннотация

В статье исследуется важность и эффективность использования виртуальных лабораторий на уроках физики в средних школах. В результате интеграции современных информационных технологий в сферу образования виртуальные лаборатории предоставляют учащимся возможность безопасно и наглядно изучать сложные физические процессы. Такой подход устраняет проблему отсутствия реального лабораторного оборудования, а также создает условия для повторения экспериментов.

Исследование показало, что использование виртуальных лабораторий в преподавании физики в средних школах повышает интерес учащихся к уроку, развивает их аналитическое и критическое мышление. Одновременно это открывает широкие возможности для учителей в плане более интерактивной и эффективной организации урока. В результате применение виртуальных лабораторий в преподавании физики вносит существенный вклад в повышение качества образования.

Abstract

This article investigates the significance and effectiveness of implementing virtual laboratories in physics lessons at the secondary school level. As a result of the integration of modern information technologies into the field of education, virtual laboratories provide students with the opportunity to study complex physical processes in a safe and visually engaging manner. This approach not only addresses the problem of insufficient real laboratory equipment but also enables experiments to be conducted repeatedly.

The findings indicate that the use of virtual laboratories in teaching physics at secondary schools increases students' interest in the subject and enhances their analytical and critical thinking skills. At the same time, it offers teachers broader opportunities to organize lessons in a more interactive and efficient way. In conclusion, the application of virtual laboratories in physics education makes a significant contribution to improving the quality of education

NƏSİRƏDDİN TUSİNİN ƏSƏRLƏRİNDƏ FİZİKİ VƏ ASTRONOMİK BAXIŞLARIN MÜASİR TƏDRİSDƏ İSTİFADƏSİ

Musayeva G. Ə.

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

gulsen.musayeva75@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7605-465X>

Açar sözlər: Nəsirəddin Tusi, Marağa rəsədxanası, Tusi lemması, fizika tədrisi, astronomiya, kinematika, STEAM.

Keywords: Nasiraddin Tusi, Maragha Observatory, Tusi lemma, physics education, astronomy, kinematics, STEAM.

Giriş:

Bu mövzu həm milli elmi irsimizin qorunması, həm də müasir fizika və astronomiya dərslərinin şagirdlər üçün daha maraqlı və doğma olması baxımından olduqca əhəmiyyətlidir. Müasir fizika və astronomiya kurikulumlarında elmi inkişafın xronoloji ardıcılıqla və milli kontekstlə verilməsi şagirdlərdə elmi dünyagörüşün formalaşması üçün həlledici rol oynayır [1]. XIII əsr Azərbaycan elminin zirvəsi olan Nəsirəddin Tusi, yalnız astronomiya deyil, həm də mexanika, optika və riyazi fizika sahələrində fundamental töhfələr vermişdir. Onun "Zic-Elxani", "Təhrir əl-Məcisti" və "Təzkirə fi-ilm əl-heyya" kimi əsərləri müasir STEAM təhsili üçün zəngin bir mənbədir.

1. Kinematik modellərə "Tusi Lemması" və "Nisbi hərəkət" aiddir. Tusinin mexanika sahəsindəki ən geniş xidməti "Tusi Lemması" adlanan həndəsi-fiziki modeldir. Bu model iki çevrənin daxili hərəkəti vasitəsilə dairəvi hərəkətin düzxətli rəqsi hərəkətə çevrilməsini izah edir.

Fiziki mahiyyəti ondan ibarətdir ki, radiusu R olan böyük çevrənin daxilində radiusu $r = \frac{R}{2}$ olan kiçik çevrə sürüşmədən fırlanırsa, kiçik çevrə üzərindəki hər hansı bir nöqtə böyük çevrənin diametri boyunca harmonik rəqsi hərəkət edir [2].

Tədrisdə tətbiqi isə, bu model 9-cu sinif "Mexaniki hərəkət" və 11-ci sinif "Rəqsi hərəkət" mövzularında nisbi hərəkətin izahı üçün mükəmməldir. Şagirdlərə bu model vasitəsilə mürəkkəb trayektoriyaların sadə hərəkətlərin cəmi kimi göstərilməsi (superpozisiya prinsipi) aşılır.

2. Tusi tərəfindən yaradılan Marağa rəsədxanası: Marağa rəsədxanası (1259) sadəcə ulduzları izləmək üçün deyil, həm də ölçü cihazlarının layihələndirilməsi üçün bir laboratoriya rolunu oynamışdır [4].

Ölçmə metodları: Tusi və komandası tərəfindən təkmilləşdirilmiş "Süds" (altılıq) və "Rübu" (dördlük) kimi alətlər bucaq ölçmələrində dəqiqliyi saniyələrə qədər artırmışdı.

Laboratoriya işi olaraq isə, fizika dərslərində "Ölçmə xətalrı və cihazın dəqiqliyi" mövzusunda Marağa rəsədxanasının cihazlarının iş prinsipi ilə müasir teodolit və sekstantların müqayisəli təhlili verilə bilər. Şagirdlərə tapşırıq olaraq sadə bir "astrolab" hazırlatdırıb yerli meridianın təyini tapşırıla bilər.

3. Tusinin optika sahəsində işıq hadisələrinin analizi ilə əlaqəli önəmli fikirləri olmuşdur. Optika sahəsində İbn əl-Heysəmin əənələrini davam etdirərək işığın təbiəti haqqında önəmli fikirlər söyləmişdir. O, görmə prosesini gözün şüa buraxması ilə deyil, obyektlərdən gələn işığın gözdə yaratdığı təsir kimi izah etmişdir. Işığın sınması və qayıtması ilə bağlı fikirləri əks olunmuşdur. Tusi sferik aynalarda təsvirin qurulması və işığın mühitlərin sərhədində sınması mövzusunda riyazi hesablamalar aparmışdır [8].

Tədrisdə tətbiqinə gəlincə isə, 8-ci sinif "Işıq hadisələri" bölməsində sferik aynalarda fokus məsafəsinin hesablanması zamanı Tusinin həndəsi optika metodlarından misallar gətirmək dərsin elmi dərinliyini artırır.

Tusi irsi fizikanı digər fənlərlə bağlamaq üçün unikal imkan yaradır:

1. Fizika + Riyaziyyat: Sferik trigonometriya vasitəsilə göy cisimlərinin koordinatlarının tapılması.

2. Fizika + Tarix: Orta əsrlərdə Şərq elminin renessansı və Avropa elminə (məsələn, Kopernikə) təsiri.

3. Fizika + Mühəndislik: Rəsədxanada istifadə olunan mexanizmlərin (dişli çarxlar və linglər) modelləşdirilməsi.

Nəticə:

Nəsirəddin Tusinin elmi irsini müasir tədrisə daxil etmək, şagirdlərdə fizikanın "cansız düsturlar toplusu" deyil, minilliklər boyu inkişaf edən canlı bir mədəniyyət olduğu təsəvvürünü yaradır. Bu yanaşma həm də Azərbaycanın dünya elminə verdiyi töhfələrin dərk edilməsi vasitəsilə milli kimliyin dərkini gücləndirir.

Ədəbiyyat

1. Nəsirəddin Tusi. *Təzkirə fi-ilm əl-heyyə (Astronomiya elmi haqqında xatirələr)*. Bakı: Azər nəşr, 2002.
2. Məmmədbəyli, H. C. *Məhəmməd Nəsirəddin Tusi*. Bakı: Gənclik, 1980.
3. Quliyev, Ə. S. *Fizika və astronomiyanın tarixi və metodologiyası*. Bakı: Elm və Təhsil, 2015.
4. Arazov, T. M. Marağa rəsədxanasının dünya elminin inkişafında rolu. *AMEA-nın Xəbərləri*, 4(2), 2018.
5. Səfərova, R. *Milli-mənəvi dəyərlərin təhsilin məzmununa integrasiyası metodikası*. Bakı: Mütərcim, 2014.
6. Saliba, G. *A History of Arabic Astronomy: Planetary Theories During the Golden Age of Islam*. New York University Press, 1994.
7. Veselovsky, I. N. Copernicus and Nasir al-Din al-Tusi. *Journal for the History of Astronomy*, 4(2), 1973.
8. Əlizadə, Ə. Fizika dərslərində STEAM texnologiyalarının tətbiqi və fənlərarası əlaqə. *Pedaqoji Tədqiqatlar Jurnalı*, 12(1), 2017.

Xülasə

Tədqiqatın əsas məqsədi dahi Azərbaycan alimi Nəsirəddin Tusinin XIII əsrdə irəli sürdüüyü elmi nəzəriyyələrin müasir fizika və astronomiya kurikulumuna integrasiya imkanlarını araşdırmaqdır. Xüsusilə "Tusi lemması" modeli, sferik trigonometriya və optik baxışların orta məktəb dərslərindəki müvafiq mövzularla əlaqələndirilməsi hədəflənir. Tədqiqat zamanı tarixi-müqayisəli təhlil və fənlərarası (STEAM) integrasiya metodlarından istifadə olunmuşdur. Tusinin "Zic-İlxani" və "Təzkirə" əsərlərindəki kinematik modellər müasir mexanika qanunları ilə müqayisə edilmiş, onların laboratoriya işləri və layihə əsaslı öyrənmə (PBL) çərçivəsində tətbiqi yolları işlənmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Tusinin elmi irsinin tədrisə daxil edilməsi şagirdlərdə

müərrəd fiziki anlayışların (nisbi hərəkət, trayektoriya, işığın sınması) dərk olunmasını asanlaşdırır. Eyni zamanda, bu yanaşma gənc nəsildə milli elmi irsə hörmət və elmi tədqiqata maraq oyadır.

Abstract

The main goal of the research is to explore the possibilities of integrating the scientific theories put forward by the great Azerbaijani scholar Nasiraddin Tusi in the 13th century into the modern physics and astronomy curriculum. It specifically targets linking the "Tusi Lemma" model, spherical trigonometry, and optical views with relevant topics in secondary school textbooks.

Historical-comparative analysis and interdisciplinary (STEAM) integration methods were used during the research. The kinematic models in Tusi's works, such as "Zij-i Ilkhani" and "Tadhkira" were compared with modern laws of mechanics, and ways of their application within laboratory work and project-based learning (PBL) were developed. It was determined that the inclusion of Tusi's scientific heritage in teaching facilitates students' understanding of abstract physical concepts (relative motion, trajectory, refraction of light). At the same time, this approach inspires the younger generation to respect the national scientific heritage and awakens an interest in scientific research.

FİZİKANIN TƏDRİSİNDƏ ANALOGİYALAR VƏ MODELLƏRDƏN İSTİFADƏ METODİKASI

İmanov R.M., Məmmədova S.O., Hacıyeva L.R., Avazova F.R., Arzumanova A.A.
Gəncə Dövlət Universiteti
rizvan.imanov@qdu.edu.az

Açar sözlər: model, analogiya, maddə, sahə, kristallaşma, qaynama, fiziki obyekt

Ключевые слова: модель, аналогия, материя, поле, кристаллизация, кипение, физический объект

Key words: model, analogy, substance, field, crystallization, boiling, physical object

Fizikada modellərdən və analogiyalardan geniş istifadə olunması, onlardan orta və ali məktəblərdə tədris prosesində istifadə etməyə imkan verir. Məsələn, fizikanın tədrisi prosesində, maddə, sahə, onun struktur elementləri (molekullar, atomlar, elektronlar, fotonlar və s.) anlayışları ilə qarşılaşır və onları öyrənirik. Fiziki obyektlərin bəzi xarakteristikalarının onlarla birbaşa təmasda olmaqla, adi gözlə müşahidə edərək öyrənmək olur. Maddələrin əriməsi, kristallaşması, qaynaması, buxarlanması, kondensasiyası buna misal ola bilər.[1] Fiziki obyektlərin belə öyrənilməsi təbii (naturadan) öyrənmə adlanır. Bu üsulun üstünlükləri aşağıdakılardır:

1. Tələbədə (şagirddə) həqiqəti özündə birbaşa əks etdirən hissiyyat surətləri yaranır ki, bu da onların öyrənməsinin zəruri şərtidir.

2. Naturadan öyrənmə zamanı əldə edilən bilik ən etibarlı hesab olunur, çünki bu halda tələbə (şagird) öyrəndiyi obyektlə birbaşa təmasda olur.

Tədris modeli dedikdə, quruluşu və funksiyası ilə orijinalın bütün element və strukturlarını özündə əks etdirən model başa düşülməlidir. Modelin müxtəlif xarakteristikaları orijinala nəzərən invariant olur. Bu halda tələbə (şagird) qurulmuş modellə işləməli olur. Belə öyrənmə model öyrənmə adlanır.[2]

Müəllimin rəhbərliyi ilə tələbə (şagird) modellə əlaqəli şəkildə öyrənilən obyekt barədə biliyə yiyələnir. Bu üsulu fərqləndirən xüsusiyyət tələbənin aldığı biliyin model vasitəsilə birbaşa obyektin özü ilə tutuşdurulmasıdır.

Fiziki obyektlərin tədris modelləri bir sıra müsbət didaktik xassəyə malikdir və onların tədris metodikasında istifadəsi aşağıdakılara imkan verir:

- öyrənilən predmetin əsas elementlərinin seçilməsi;
- tələbələrə qapalı və görünməyən dünyələrin təqdim olunması;
- proseslərin kinematikasının yavaşdırılmış və ya sürətləndirilmiş hallarda müşahidə edilməsi və onların lazım olan qədər nümayiş etdirilməsi;
- məktəb şəraitində göstərilməsi mümkün olmayan hadisənin öyrədilmə obyektini kimi seçilməsi;
- modellərin laboratoriya işlərində paylanılan didaktik material kimi, mühazirələrdə isə nümayiş qüzgüsü kimi istifadə edilməsi və s.

Modellərin xüsusiyyətindən yerində istifadə edilməsi və tədris metodikasında onlara istinad edilməsi tədris materialının daha yaxşı qavranılmasına, tələbələrin bilik və bacarıqlarının sürətlə formalaşmasına şərait yaradır. Tədrisin müxtəlif mərhələlərində istifadə olunan modellər həm səviyyəsinə, həm də mənimsənilmə dərəcəsinə görə fərqli olmalıdır. Məsələn, bəzi hallarda istifadə edilən model, prosesin yalnız müəyyən mərhələ və ya elementlərini xarakterizə edib, onun daxili mahiyyətini dərk etməyə imkan vermir. Obyektə müqayisədə modelin özünəməxsus xüsusiyyətləri tədris prosesində onun reallaşması metodikasına məlum tələblər qoyur. Hər şeydən əvvəl model qurularkən onun hansı fiziki prosesi və onun hansı tərəflərini əhatə etdiyi müəyyənləşdirilməlidir. Sonra orijinala modelin müqayisəsindən özünəməxsus xüsusiyyətləri aydınlaşdırmaq lazımdır. Yalnız bundan sonra hadisənin model vasitəsilə tədqiqinə qərar verilir. Hadisənin sonrakı öyrənilmə prosesi modeldə çatışmayan elementlərin və rabitələrin əvəz edilməsi ilə davam etdirilir.[3]

Metodik baxımdan yalnız bir didaktik məsələni həll edə bilən modellər qurulur. Belə modelə əsaslanaraq, yalnız bir strukturu (daxili yanma mühərrikinin kəşiyini, kristal qəfəsin modelini və s.) və yalnız funksiyasını (elektrik dövrəsinin hidrodinamik modeli, elektronların ətalət üzrə metal daxilində hərəkətmələrini) öyrənmək olur. Belə modellər analoq modellər adlanır. Onlar orijinala nə həndəsi, nə də fiziki oxşarlığa malik deyillər. Məsələn, qapalı elektrik dövrəsində yüklərin hərəkət prosesinin mahiyyətini nümayiş etdirmək üçün yivəbənzər maili müstəvidə kürəciyin ağırlıq qüvvəsinin təsiri ilə hərəkətindən istifadə edilir. Didaktik təyinatına görə fiziki obyektlər və proseslərin rəsm və fotoqrafik modelləri mahiyyətcə eynidir. Onlar orijinala həndəsi oxşarlığa malik olub, real obyektləri sərbəst ifadə edir. Lakin bunun üçün istifadə olunan şəkillər çoxsaylı olmalıdır.[4]

Fiziki nəzəriyyənin əsasını izah edərkən modellərin və ya analoqların rolu xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Qazların nəzəriyyəsini izah edərkən, real qazların əsas xassələrini (yüksək axıcılıq, sıxılma və s.) qaz hissəcikləri arasında çox cüzi qarşılıqlı təsirin mövcud olmasını xüsusi qeyd etmək lazımdır. Qaz molekullarının müxtəlif konfigurasiyaya və ölçüyə malik olması xüsusi qeyd edilməlidir. Qazların kəmiyyətcə nəzəriyyəsini yaratmaq üçün qaz molekullarını elastiki kürəcik kimi təsəvvür edib, ona Nyuton mexanikasının aparatlarını tətbiq etmək lazımdır. Kürəciklərin ölçüləri çox kiçik molekullar tərtibində qəbul edilməlidir.[5]

Məsələn, metalların klassik elektron nəzəriyyəsinin yaradılmasında qazın mənfəi yüklü hissəciklərdən ibarət olması fərziyəsindən istifadə edilməsi həlledici rol oynayıb. Bu nəzəriyyənin sonrakı təkmilləşməsindən müasir zona nəzəriyyəsi yaradılmışdır. Adətən, ideallaşdırılmış modellərdən və analogiyalardan, öyrənilməsi və ya qavranılması çətin olan

hadisələrin izah edilməsində istifadə edilir. Mücərrəd nəzəriyyənin elementləri yalnız bu elementlərə konkret analoq hadisələr tapıldıqda başa düşülür. İdeallaşdırılmış model hadisənin bir modelini başqasının üzərində qurmağa, bir şərh digəri ilə əvəz etməyə imkan verir.

Simvolik (işarə) modellər öyrənilən obyektin quruluşunun və funksiyalarının şərti işarələrlə (nöqtə, xətt, rəqəm, hərf, və s.) göstərilməsidir. Bu modellərin özünəməxsusluğu ondadır ki, burada elementlərin və onların rabitələrinin işarələri şərtidir. Elmdə və tədrisdə simvolik modellərə böyük tələbat təbiidir.

Simvolik modelin növlərindən biri təsvir modelləridir. Tutaq ki. müəllim şifahi danışıda fiziki prosesin xarakterik əlamətlərini və qanunauyğunluqlarını təsvir edir. Tələbə bu təsvirdən aldığı informasiyanı çevirərək özünün analoji modelini yaradır.

Həm elmi, həm də tədris baxımından bir model digər modellərin formalaşmasına kömək edə bilər. Onlar öyrənilən hadisənin ümumiləşdirilməsi, onun mücərrədləşmə dərəcəsinin artırılması və dinləyicilərin düşünmə məntiqini inkişaf etdirmək üçün bir vasitədir. Fiziki, düstur və tənliklərin öyrədici xarakterini tədris prosesində fiziki hadisənin qanunları və xassələri haqqında yeni məlumatlar almaq metodu kimi istifadə edirlər. Axtarılan kəmiyyətlər və konkret kəmiyyətlər, məsələn, məsələnin şərtini yazarkən formalaşdırılır. Ümumi həll prosesində vacib informasiya daşıyan model qurulur.

Ədəbiyyat

1. İmanov S.Ş., Şirinova S.A. Şagirdlərin fizikadan idrak fəaliyyətinin formalaşdırılması. Bakı: ADPI, 1998, 43 s.
2. İsmayilov İ.N. Orta məktəb fizika kursunda «Optika» bölməsinin tədrisinin bəzi məsələləri / II Respublika Elmi Konfransının tezisi, Bakı, 1997, s. 55-56.
3. Məsimov E.Ə., Mürsəlov T.M. Atom fizikası: Ali məktəblər üçün dərslik. Bakı: Çarşıoğlu, 2002, 912 s.
4. Mikayılov R.İ. Elementar fizika. Bakı: Maarif, 1981, 360 s.
5. Fizika fənn kurikulumu üzrə layihə. (VI-XI siniflər üçün)

Xülasə

Həm elmi, həm də tədris baxımından bir model digər modellərin formalaşmasına kömək edə bilər. Onlar öyrənilən hadisənin ümumiləşdirilməsi, onun mücərrədləşmə dərəcəsinin artırılması və dinləyicilərin düşünmə məntiqini inkişaf etdirmək üçün bir vasitədir. Fiziki, düstur və tənliklərin öyrədici xarakterini tədris prosesində fiziki hadisənin qanunları və xassələri haqqında yeni məlumatlar almaq metodu kimi istifadə edirlər. Axtarılan kəmiyyətlər və konkret kəmiyyətlər, məsələn, məsələnin şərtini yazarkən formalaşdırılır. Ümumi həll prosesində vacib informasiya daşıyan model qurulur.

Резюме

Одна модель, как научная, так и образовательная, может помочь сформировать другие модели. Они являются инструментом обобщения изучаемого события, повышения степени его абстракции и развития логики мышления аудитории. Учебный характер физики, формул и уравнений используется в учебном процессе как метод получения новых сведений о законах и свойствах физических явлений. Искомые величины и конкретные величины формируются, например, при написании условия задачи. Модель с важной информацией строится в общем процессе решения

Summary

One model, both scientific and educational, can help shape other models. They are a tool for summarizing the studied event, increasing its degree of abstraction and developing the audience's thinking logic. The educational nature of physics, formulas and equations is used in the teaching process as a method of obtaining new information about the laws and properties of physical phenomena. The quantities sought and the specific quantities are formed, for example, when writing the condition of the problem. A model with important information is built in the overall solution process.

MƏKTƏB FİZİKA DƏRSLƏRİNDƏ PROBLEMLİ SİTUASIYALARIN YARADILMASI

Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Məmmədov Ş.M., Məmmədova E.A.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

quliyevniyazi524@gmail.com

Açar sözlər: problemli situasiya, gözlənilməzlik, münaqişə, təkzib, uyğunsuzluq, qeyri – müəyyənlik

Ключевые слова: проблемная ситуация, неожиданность, конфликт, опровержение, несоответствие, неопределенность

Key words: problematic situation, surprise, conflict, refutation, inconsistency, uncertainty

Müasir təhsilin fərqli xüsusiyyətlərindən biri odur ki, müəllimin çiyinlərində şagirdlərə əsas biliklərin verilməsindən başqa, şagirdləri müasir həyatın tez dəyişən realıqlarıqlarına hazırlamaq vəzifəsi də düşür. Təkcə materialı bilmək, biliklərini praktikada tətbiq etmək azdır, həm də lazım olduğu təqdirdə yeni alternativ həll üsulları tapmağı bacarmaq müstəqil qərar qəbul etmək, çatışmayan bilikləri əldə etmək lazımdır.

Məktəbin müasir savadlı, inkişaf etmiş şəxsiyyət buraxması üçün müəllim təkcə fizika dərslərində deyil, hər yerdə şagirdlərin təfəkkürünün, yaradıcılıq qabiliyyətlərinin, məntiqi düşüncələrinin inkişafına təkan verməlidir. Çarlz Darvinin dediyi kimi : “Ən güclü və ağıllı deyil, baş verən dəyişikliklərə daha yaxşı uyğunlaşan sağ qalır” [1]. Biz belə hesab edirik ki, bu halda ən yaxşı nəticə verən üsullardan biri problemli təlim metodudur. Burada fizika da sadəcə sonsuz imkanlara malikdir. Müəllimin problemli situasiya yaratması vasitəsilə şagird (və ya şagirdlər qrupu) fəaliyyət istiqaməti olaraq öz potensialını aktivləşdirir, çatışmayan bilikləri əldə edir, nəticə alır və onun ehtimalını qiymətləndirir. Bu halda təlim daha effektiv baş verəcək, bu yolla əldə olunan bilik isə, fərdi və ya qrup halında iş zamanı müstəqil əldə edildiyindən daha dərin və əsaslı olacaqdır. Müəllim isə şagirdləri müstəqil işə motivasiya edərək təkcə situasiya yaratmır, həm də mərhələli nəzarət edir, lazım olduqda kömək edir.

Problemli situasiyanın yaradılmasında mərkəzi an o situasiyadır ki, onun əsasında problem yaranmasına gətirib çıxaran ziddiyyət dursun. Bu situasiya elə məsələ şəklində formalaşdırılmışdır ki, onun həlli üçün olan bilik kifayət deyildir, hazır vasitə yoxdur və bu da yeni biliklər və onları yerinə yetirmə üsullarını mənimsəmə zərurəti yaradır. Bu zaman bilinmənlə, bilinməyən arasında ziddiyyət yaranır ki, bu da problemin meydana çıxmasının mərkəzi anıdır. Şagirdin belə məsələnin həllinə qoşulması üçün bu məsələ yaxın inkişaf zonasında olmalıdır. Problemin həllinə başladıqdan və onu dəqiq formalaşdırdıqdan sonra (məlum olan naməlum olandan ayrılır), problemli situasiya problemli məsələyə çevrilir. Məhz onun həllində çatışmayan biliklər və fəaliyyət üsullarının əldə olunması baş verir.

Problemli situasiyanın yaradılması – standart həlli olmayan axtarış məsələsidir. O, problemli təlimin bir hissəsidir və öz növbəsində problemli məsələlər sistemini təsvir edir. Problemli məsələ kimi həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət məsələləri, nümayiş və laboratoriya təcrübələri, eksperimental və praktiki tapşırıqlar ola bilər ki, onların da yerinə yetirilməsi üçün şagirdlər müstəqil olaraq yeni biliklər və fəaliyyət üsulları əldə etməlidirlər.

Fizika dərslərində problemli situasiyalar yaratmaq üçün üç növ ziddiyyətlərdən istifadə etmək olar :

- Elmi biliklərlə şagirdlərin həyat təcrübələri arasında;
- Əvvəl mənimsənilmiş və yeni biliklər arasında. Onlar ona görə meydana çıxır ki, təlimin hər bir mərhələsində fiziki hadisələr və proseslərə müəyyən səviyyədə baxılır və hər bir yeni mərhələdə yeni və əvvəl mənimsənilmiş biliklər arasında uyğunsuzluq yaranır.
- Real aləmin, obyektiv gerçəkliyin orta məktəb fizika kursunda əks olunan ziddiyyətləri

Məsələn belə bir sual : “Nəyə görə suya atılmış mismar suda batır, lakin ağır gəmi suda üzür?” problemli sual olacaq, “Nəyə görə cisimlər üzür” sualı isə məlumat xarakterli olacaqdır. Belə ki, bu sual cavab üçün yalnız bilik tələb edir. Beləliklə, biz belə hesab edirik ki, dərslərdə problemli situasiyaların yaradılması dərsi daha əhəmiyyətli edir [2].

Problemli situasiyaların yaradılmasının başqa üsulları da mövcuddur : eyni bir situasiya və ya problemə müxtəlif nöqtəyi – nəzərlərin müzakirəsi ; tədqiqat və quraşdırma xarakterli tapşırıqlardan və onların müxtəlif həll üsullarından istifadə ; artıq və çatışmayan verilənlərə malik məsələlərin həlli ; və s. Yenə qeyd etmək istərdik ki, problemli situasiyanın yaradılması üçün elə sual və tapşırıqlardan istifadə etmək lazımdır ki, onların əsasında problemli situasiya yaratmaq mümkün olsun. Bununla əlaqədar olaraq tapşırığın formalaşdırılması böyük əhəmiyyətə malikdir. Ona görə ki, məhz o şagirdlərin aktiv əqli fəaliyyətə qoşulmalarına imkan verir [3].

Problemli situasiyanın yaradılması üsulları sisteminə baxaq

1. Gözlənilməzlik situasiyası şagirdləri təəccüb yaranan qeyri – adi ziddiyyətli görünən faktlarla, təcrübələrlə, nəticələrlə tanış edərkən yaranır.

2. Münaqişə situasiyası əsasən fiziki nəzəriyyələrin və fundamental təcrübələrin öyrənilməsi zamanı istifadə edilir. Belə situasiyalar fizikanın inkişafı tarixində tez – tez yaranmışdır. Məsələn dalğaların interferensiyası öyrənilməsinə müəllim dalğaların suda nümayişindən başlayır. Şagirdlər nöqtəvi vibratordan, sonra isə iki nöqtəvi koherent vibratordan dalğa cəbhəsini müşahidə edirlər. Bu zaman münaqişə yaranır – şagirdlər simmetrik zolaqlar şəklində donmuş dalğa cəbhəsini müşahidə edirlər. Nəyə görə dinamik mənzərə statik mənzərəyə keçdi və şəklini dəyişdi. Bu münaqişəyə baxaraq şagirdlər dalğaların interferensiyasının mahiyyətini başa düşürlər.

3. Öncədən görmə situasiyası ondan ibarətdir ki, müəllim müəyyən qanunauyğunluğun və ya hadisənin mövcudluğunun mümkünlüyü barədə hipotez irəli sürür və şagirdləri tədqiqat axtarışına cəlb edir. Məsələn müəllim belə bir proqnoz verir : “Məlumdur ki, elektrik cərəyanı ətrafında maqnit sahəsi yaranır, bəs bunun əksi də ola bilərmi?” Şagirdlər müzakirə nəticəsində M.Faradeyin elektromaqnit induksiya hadisəsinin kəşfinə səbəb olan təcrübələrini öyrənməyə gəlib çıxırlar.

4. Tərkib situasiyası o vaxt yaranır ki, şagirdlərə hər hansı bir ideyanın, layihənin, antielmi nəticənin mövcud olmasını sübut etmək təklif olunur.

5. Uyğunsuzluq situasiyası ondan ibarətdir ki, şagirdlərin həyat təcrübəsi, onlarda yaranan anlayış və təsəvvürlər elmi nəticələrlə ziddiyyət təşkil edir. Məsələn : arximed qüvvəsinin öyrənilməsi zamanı belə sual qoyulur : ağzına qədər su ilə doldurulmuş iki eyni qab vardır. Onların birində taxta parçası üzür. Qablardan hansı daha ağır olar? Onlar çəkilir və çəkilişinin

eyni olduğu məlum olur. Niyə? Bu problemin həlli cisimlərin üzməsi qanununun müəyyən edilməsinə gətirib çıxarır.

6.Qeyri – müəyyənlik situasiyası o vaxt yaranır ki, problem tapşırıq təklif olunur, lakin, birmənalı cavab almaq üçün verilənlər kifayət etmir. Məsələn, məlumdur ki, metal keçiricilərin müqaviməti temperatur artdıqca artır. Sonra sual verilir : bəs qızdırılma zamanı yarımkeçiricilərin (elektrolitlərin) müqaviməti necə dəyişəcək? Problem məsələnin həlli zamanı yarımkeçiricilərin müqavimətinin temperaturdan asılılığı anlayışı formalaşır.

Problemli situasiyanın yaradılması müəllimdən dərəcə xüsusi hazırlıq tələb edir. O fərz edir ki, mövzunun elmi – metodik analizi aparılmalıdır. Bu zaman tədris materialının xarakterinə və xüsusiyyətinə onda məzmunun olmasına xüsusi diqqət yetirilməlidir. Çünki, məhz bu şagirdlər üçün problem ola bilər və fikirləşmək lazımdır ki, problemli situasiyanı necə yaratmaq olar? Bu zaman təkcə ziddiyyəti üzə çıxarmaq lazım deyildir, həm də şagirdləri öyrənilən materialla mövcud biliklər sistemi arasındakı uyğunsuzluğu aşkar etməyə gətirmək lazımdır. Bu müstəqil olaraq problem formalaşdırma, onları analiz etmə və həlli üsullarını tapma bacarığının formalaşmasına kömək edir. Beləliklə problemli təlim, tədris materiallarının məzmununun problemli situasiyaların zənciri şəklində təsvir olunmasını nəzərdə tutur.

Ədəbiyyat

1. Малафеев Р.И. Проблемные обучение физике в средней школе. М: Просвещение, 1980
2. Махтиев. Организация проблемного обучения в школе. М.: Просвещение. 1993
3. Арапов К.А. Проблемное обучение как средство развития интеллектуальной сферы школьников. Молодой ученый. 2012. №8

Xülasə

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, fizika dərslərində problemli situasiyanın yaradılması müəllimdən dərəcə xüsusi hazırlıq tələb edir. O, fərz edir ki, mövzunun elmi – metodik analizi aparılmalı və bu zaman tədris materialının xarakterinə və xüsusiyyətinə, məzmununun olmasına xüsusi diqqət yetirilməlidir. Çünki şagirdlər üçün məhz bu problem ola bilər və fikirləşmək lazımdır ki, problemli situasiyanı necə yaratmaq olar? Bu zaman təkcə ziddiyyəti üzə çıxarmaq lazım deyildir, həm də şagirdlər, öyrənilən materialla mövcud biliklər sistemi arasındakı uyğunsuzluğu şkar etməyə gətirmək lazımdır. Beləliklə, problemli təlim, tədris materialının məzmununun, problemli situasiyaların zənciri şəklində təsvir olunmasını nəzərdə tutur.

Резюме

В результате проведенных исследований установлено что, для организации проблемного обучения требуется специальная подготовка учителя к уроку. Она предполагает проведение научно – методического анализа темы, при котором надо обратить особое внимание на характер и особенности учебного материала, наличие в нем содержания, которое может быть проблемой для учащихся, и на то каким образом можно создавать проблемную ситуацию. При этом необходимо не только выявить противоречие, но и определит каким образом подвести учащихся к тому, чтобы они обнаружили соответствие изучаемого материала с имеющиеся системе знаний.

Summary

The research found that problem-based learning requires specialized teacher preparation. This requires a scientific and methodological analysis of the topic, focusing on the nature and specifics of the learning material, the presence of content that may pose a challenge for students, and how to create problematic situations. This requires not only identifying the discrepancy but also determining how to guide students toward discovering the correspondence between the material being studied and their existing knowledge.

EKOLOJİ TƏMİZ HİDROGENİNİN İSTEHSALI ÜÇÜN BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNDƏN İSTİFADƏ

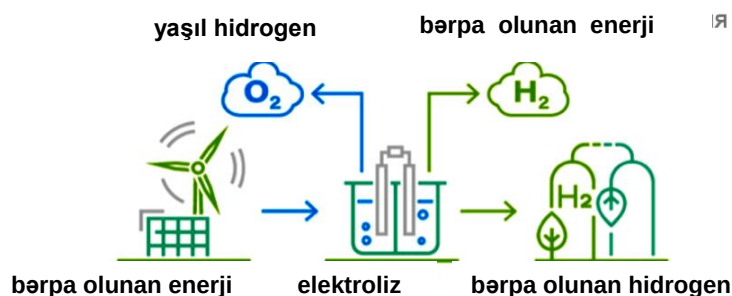
*Quliyev M.S., Namazov Y.B., Quliyev N.İ.,
Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri
quliyevniyazi524@gmail.com*

Açar sözlər: yaşıl hidrogen istehsalı, suyun elektrolizi, bərpa olunan enerji

Ключевые слова: производство зеленого водорода, электролиз воды, возобновляемая энергия

Key words: Green Hydrogen Production, water electrolysis, Renewable energy

“Yaşıl” və ya ekoloji təmiz hidrogen dedikdə, bərpa olunan enerji mənbələrindən alınan hidrogen başa düşülür. Hidrogen alınmasının ən geniş yayılmış üsulu elektrolizdir. Bu üsulda hidrogen və oksigen sudan elektrik cərəyanının köməyi ilə ayrılır [1].



Şəkil

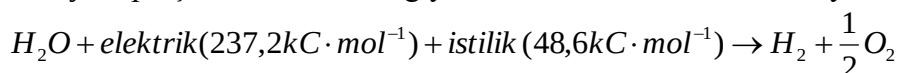
Yaşıl hidrogen CO₂ tullantısını azaltmağa və enerjinin saxlanması üzrə yanacaq, istilik, energetik sistemləri təmin edərək, müxtəlif sahələrdə karbon yanacağından imtina etməyə imkan verir. Onun bir sıra sahələrdə sənaye tətbiqləri aşağıdakılardır: 1)uzunməsafəli, dəniz və aviasiya daşımaları; 2)çuqun və polad istehsalı kimi yüksək temperatur tələb edən sənaye prosesləri; 3)neft kimyası; 4)gübrə; 5)sənaye xammalı; 6)elektrik enerjisi istehsalı; 7)enerjinin uzun müddət saxlanması. Enerji mənbəyi kimi hidrogen, akkumulyatorlarla (0,15-0,25 kVt·saat/kq – litium batareyaları üçün) müqayisədə yüksək enerji sıxlığına (39,6kVt·saat/kq) malikdir. Hidrogen, bütün əənəvi yanacaq növlərindən kütləyə görə ən yüksək enerji sıxlığına malikdir:

Cədvəl 1.

Hidrogen, odun, kömür, benzin və dizel yanacağının xüsusi çəkisi

Yanacaq	H ₂ daha yüksək istilikyaratma qabiliyyəti	H ₂ daha aşağı istilik - yaratma qabiliyyəti	1 kq benzin	1 kq dizel yanacağı	1kq kömür	1 kq odun
Enerji sıxlığı kVt·S/kq	39,4	33,3	13,1	12,6	6,6	4,5

Suyun elektrolizi – ekoloji təmiz hidrogen almaq üçün elektrikin köməyi ilə suyun elektrokimyəvi parçalanması texnologiyasıdır. Elektrolizin əsas reaksiyası aşağıdakı kimidir:



Su molekulunun parçalanması nəticəsində oksigenlə müqayisədə iki dəfə çox hidrogen alınır. Elektrolizin effektivliyi ondan ibarətdir ki, 500 ml sudan, 4 kVt/saat elektrikenerjisi sərf etməklə təxminən hər iki qazdan bir kubmetr miqdarda qaz alınır [2].

Yuxarıda göstərilən reaksiya tənliyində otaq temperaturunda suyun hidrogen və oksigenə parçalanması üçün oyuqda nəzəri olaraq 1,23 V termodinamik gərginlik tələb olunur. Lakin, təcrübəyə uyğun olaraq, suyun effektiv parçalanması üçün oyuqda lazım olan gərginlik 1,48V təşkil etməlidir.

Elektrolitlərin növündən və istismar şəraitindən asılı olaraq suyun elektrokimyəvi elektrolizini üç əsas növə bölmək olar:

1)qələvili suyun elektrolizi (QSE) – maye qələvi elektrodlihdə işləyən iki elektrodan ibarətdir. Bu elektrodlar, qazabənzər məhsulları ayıran və bir elektrodan digərinə hidroksil – ionların (OH^-) daşıyan diaframa ilə ayrılır. O, adətən 30°C-90°C temperatur intervalında işləyir.

2)Bərk oksid elektrolizer – bu, bərk oksid və ya saxsı elektrolitdən istifadə etməklə qazabənzər hidrogen və oksigen almaq üçün suyun elektrolizini həyata keçirmək üçün bərpa rejimində işləyən elektrolizerdir. Bərk oksid elektrolizer yüksək temperaturlu elektrolizi həyata keçirməyə imkan verən temperaturlarda - adətən 500°C-dən 850°C-dək temperatur oblastında işləyir.

3)Protonmübadilə membranı (PMM) – bu adətən ionometrlərdən hazırlanmış və protonları buraxmaq üçün nəzərdə tutulan yarımkeçirici membrandır (YKM). YKM daha kiçik temperaturlarda və təzyiqlərdə işləyə bilər (50°C və 100°C). YKM ilə suyun elektrolizi texnologiyası General Electric kompaniyası tərəfindən işlənmişdir və artıq 60 ildir ki, mövcuddur.

Sənaye kompaniyaları arasında Siemens Energy, Elyzer P-300 kimi məşhur olan məhsullar ailəsini – ekoloji təmiz hidrogenin effektiv istehsalını həyata keçirməyə imkan verən innovativ texnologiya təklif edir. YKM metodu ilə elektrolizerdə suyun elektrolizi zamanı, ekoloji təmiz hidrogen almaq üçün külək və günəş enerjisindən istifadə edilir. YKM metodu ilə işləyən elektrolizerlər yüksək keyfiyyətli qaz məhsulların alınmasını təmin edir.

Air Products və AES korporasiyası elan etmişlər ki, ekoloji təmiz hidrogen istehsalı zavodunun tikintisinə və istismarına ABŞ-nin Texas ştatında 4 milyard sərmayə qoymuşlar. Bərpa olunan mənbələrdən enerjinin hidrogenə çevrilməsi üzrə bu layihəyə, külək və günəşin təxminən 1,4 QVt enerjisinin istehsalı və eləcə də gündəlik 200 ton ekoloji hidrogenin istehsal gücü daxildir [3].

Kommersiya istismarı 2027-ci ilə planlaşdırılan bu zavod, nəqliyyat vasitələri bazarı, eləcə də digər sənaye bazarları üçün sıfır karbon tutumlu yanacağa artan tələbatı ödəyəcəkdir. Gözlənilir ki, layihənin reallaşdırılması müddəti ərzində atmosfərə 50 milyon ton CO₂ tullantısının qarşısı alınacaqdır ki, bu da 19 milyard ton dizel yanacağı tullantılarının atmosfərə atılmasının qarşısının alınmasına ekvivalentdir.

Ədəbiyyat

1. Turner J.A. Realizable Renewable Energy. Tuture/ Science journal//1999
2. Ursua A., Gandia L.M., Sanchis P., Hydrogen production from vater Elektrolysis:
3. Cirrent status and fature trends: Procec dinas of the IEEE.//2012
4. Dincer İ., Acar C.: Revview and evalution of hydrogen production methods for better sustainability//2015

Xülasə

Yaşıl hidrogen CO₂ tullantısını azaltmağa və enerjinin saxlanması üzrə yanacaq, istilik və energetik sistemləri təmin edərək, müxtəlif sahələrdə karbon yanacağından imtina etməyə imkan

verir. Hazırda Air Products və AES korporasiyası 4 milyard dəyərinə hidrogen istehsalı zavodu inşa etdirirlər. Gözlənilir ki, zavod istismara verildikdən sonra atmosfərə 50 milyon ton, CO₂ tullantısının qarşısı alınacaqdır ki, bu da 19 milyard ton dizel yanacağı tullantılarının atmosfərə atılmasının qarşısının alınmasına ekvivalentdir.

Резюме

Зеленый водород может сократить выбросы CO₂ и обеспечить хранение энергии, системы отопления и электроснабжения, что позволит полностью исключить выбросы углерода в различных отраслях промышленности. Компании Air Products и AES Corporation в настоящее время строят завод по производству водорода стоимостью 4 миллиарда долларов. Ожидается, что после ввода завода в эксплуатацию будет предотвращено попадание в атмосферу 50 миллионов тонн CO₂, что эквивалентно предотвращению выброса 19 миллиардов тонн дизельного топлива.

Summary

Green hydrogen can reduce CO₂ emissions and provide energy storage, heating, and power systems, enabling carbon neutralization across various industries. Air Products and AES Corporation are currently constructing a \$4 billion hydrogen production plant. Once operational, the plant is expected to prevent 50 million tons of CO₂ from entering the atmosphere, equivalent to avoiding the emission of 19 billion tons of diesel fuel.

HİDROGEN İSTEHSALINDA SÜNİ FOTOSİNTEZDƏN İSTİFADƏNİN YENİ TEKNOLOGİYALARI

Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Tahirova T.T.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

quliyevniyazi524@gmail.com

Açar sözlər: fotosintez, günəş enerjisi, biohidrogen, hidrogen istehsalı

Ключевые слова: фотосинтез, солнечная энергия, биоводород, производства водорода

Key words: photosynthesis, solar energy, biohydrogen, hydrogen production

Hazırda nanotexnologiyalardan və nanokompozitlərdən istifadə etməklə günəş enerjisində hidrogen istehsalının yeni texnologiyası uğurla hazırlanmışdır [1]. Bu iş, təbii fotosintezin üstünlüklərini günəş enerjisinin emalının süni sistemi (süni fotosintez) ilə birləşdirilməsini nəzərdə tutan üzvi biohidrogen istehsalının dayanıqlı sisteminin işlənməsinə yönəlmişdir.

Tədqiqatlarda floresent rəngləyicilərin öz – özünə yayılmasının və optik xassələrinin, həmçinin elektron ötürülməsi mexanizmlərinin idarə olunması üçün metal – polimer əsaslı nanosəthli tanin (aşılavıcı) turşusunun adsorbsiya xassələrindən istifadə olunmuşdur. (Aşınma turşusu – kofe, çay kimi tullantılardan asanlıqla alınə bilən və fotokatalitik proseslərdə və çirkənləmələrin kənarlaşdırılmasında geniş tətbiq olunan ekoloji təmiz materialdır). Bu nəticələr, tərkibində hidrogenaz fermenti olan bakteriyaların iştirakı ilə biohidrogen istehsalının günəş sistemini işləməyə imkan verdi [2].

Günəş enerjisinin xlorofil tərəfindən udulması və onun kimyəvi enerjiyə çevrilməsi ilə baş verən təbii fotosintez süni fotosintezin işlənməsinin əsasını təşkil edir. Bu proses, təbii fotosintetik aktivliyi təqlid edir (bənzəyir) və günəş enerjisindən istifadə edərək hidrogen kimi

qiymətli enerji mənbəyini sintez etməyə imkan verir. Xlorofil kimi, elektronların ötürülməsinin təbii mexanizmini təqlid edən submolekulyar fotokatalizator yaradılmışdır. (Fotohəyəcanlaşma: maddədə elektronların işıq enerjisinin təsiri altında (fotonların) daha yüksək enerji səviyyəsində həyəcanlaşması prosesidir). Tədqiqatçılar fluoresent rəngləyici maddə olan rodamini təkmilləşdirərək ona amfofil xassə (həm hidrofil, həm də hidrofob) verərək, onun stabilliyini və uzunömürlülüyünü yaxşılaşdırmışlar. Nəticədə, tədqiqatçılar hidrogen istehsalının məhsuldarlığını spektrin görünən hissəsində bir qram katalizatora təxminən 18,4 mmol/saata çatdırı bilmişlər. Bu isə, lyuminoforla aparılan əvvəlki tədqiqatların göstəricilərindən 5,6 dəfə çoxdur.

Sonrakı tədqiqatlar çərçivəsində yaradılmış submolekulyar rəngi Shewomell oneidensis bakteriyaları ilə birləşdirmişlər [3]. Bu bakteriyalar, günəş şüalarının vasitəsilə askorbin turşusundan (C vitamini) hidrogen istehsal edən biokompozit sistem yaratmaq üçün elektronları daşımağa qadirdirlər. Bu sistem kifayət qədər uzun müddət ərzində stabil işləmiş və fasiləsiz hidrogen istehsalını həyata keçirməyə qadir olduğunu göstərmişdir. (Shewomella oneidensis MR-1: təbiətdə metalları və mineraları parçalanma qabiliyyəti ilə məşhur olan bakteriyadır, hidrogen istehsalı kimi ekoloji təmiz enerji tədqiqatlarında istifadə olunur). Bu tədqiqatlar üzvi rəngləyicilər və süni fotosintezin iş mexanizminin başa düşülməsində mühüm addımdır. Sonrakı tədqiqatlarda funksional mikroorqanizmlərlə yeni materialları inteqrasiya edərək submolekulyar kimya əsasında yeni sistemləri yaradılması nəzərdə tutulur.

Ədəbiyyat

1. Park H.,Choi W.,Hoffman M.R. Effect s of the preparation westhod of the ternary CdS/TiO₂/Pt hybrid photocatalysts on visible light-induced hydrogen production/ Journal of Materials Chemistry. 2008. 18(20), 2379–2385
2. Kim Y.K.,Park H.,Zight-harvesting multi-walled carbon nanotubes and CdS hybrids:application to photocatalytic hydrogen from water. Energy. Environmental Science.2011. 4(3), 685-694.
3. Mishra A., Park H., El-Mellonhi F., Hau D.S. Seawater electrolysis for hydrogen production: Technological advancements and future perspektives.Tuel.2024. 361, 130636

Xülasə

Aparılmış tədqiqatlar təbii fotosintezin üstünlüklərini günəş enerjisi emalının süni sistem (süni fotosintez) ilə birləşdirilməsini nəzərdə tutan üzvi biohidrogen istehsalının dayanıqlı sisteminin işlənməsinə həsr olunmuşdur. Tədqiqatlarda fluoresent rəngləyicilərin öz – özünə yığılmasının və optik xassələrinin, həmçinin elektron ötürülməsi mexanizmlərinin idarə olunması üçün metal – polimer əsaslı nanosəthli aşıləyıcı tanin turşusunun adsorbsiya xassələrindən istifadə olunmuşdur.

Резюме

Проведенные исследования посвящена на разработку устойчивую систему производства органического биоводорода, которая сочетает преимущества естественных процессов фотосинтеза с искусственной системой переработки солнечной энергии. В исследованиях использована адсорбционные свойства наноповерхностной дубильной кислоты на основе металлополимеров для контроля самосборки и оптических свойств флуоресцентных красителей, а также механизмов переноса электронов.

Summary

The research focuses on developing a sustainable organic biohydrogen production system that combines the benefits of natural photosynthesis with an artificial solar energy harvesting

system. The study utilized the adsorption properties of nanoscale tannic acid based on metallopolymer to control the self-assembly and optical properties of fluorescent dyes, as well as electron transfer mechanisms.

FİZİKA DƏRSLƏRİNDƏ PROBLEMLİ SİTUASIYANIN YARADILMASI PROBLEMLİ TƏLİMİN MÜHÜM MƏRHƏLƏSİ KİMİ

Quliyev M.S., Quliyev N.İ., İmanov R.M., Məmmədov Ş.M.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

quliyevniyazi524@gmail.com

Açar sözlər: problemli təlim, problemli situasiya, problemli eksperiment, problemli məsələ

Ключевые слова: проблемное обучение, проблемная ситуация, проблемный эксперимент, проблемная задача

Key words: problem-based learning, problem-based situation, problem-based experiment, problem-based task

Bu günkü pedaqogika, fənn müəllimindən təkcə fizikanı yüksək səviyyədə bilməyi yox, həm də yüksək səviyyədə metodiki hazırlıq tələb edir. Bu tələblərin reallaşdırılması ayrılmaz, vahid şəkildə həyata keçirilməlidir. Məqsədə necə çatmağı, bu və ya digər problemlərin həlli üçün lazım olan məlumatı axtarmağı və tapmağı bacaran məzun, həyatını yaxşı və asan quracaq, ona əmək bazarında həmişə tələbat olacaqdır [1].

Bunun əsasında dərsə tələbat artır. Əvvəllər olduğu kimi, dərs şagirdlərin elmi – nəzəri hazırlığının ciddi problemlərinin həllinə yönəldilməlidir. Ona görə də müəllim işinin əsas vəzifəsi, biliklərin şagirdlər tərəfindən yaxşı mənimsənilməsinə, yaxşı əqli inkişafa təkan verən ən effektiv metodlarından istifadə hesab olunur. Alman pedaqoqu, 18 əsrin liberal siyasətçisi Adolf Disterverq demişdir. “Pis müəllim həqiqət barədə məlumat verir, yaxşı müəllim onu tapmağı öyrədir”. Yaxşı müəllim olmaq üçün, zehni fəaliyyətin aktivləşdirilməsi metodlarından biri kimi fizika dərslərində problemli situasiyanın yaradılmasını tətbiq etmək lazımdır. Problemli təlim ideyası yeni deyildir. O, şagirdlərin idrak fəaliyyətinin inkişafı və müstəqilliyi ilə sıx əlaqədardır və həyatda bir neçə dəfə irəli sürülmüşdür [2].

Problemli situasiyanın yaradılması problemli təlimin mühüm və məsuliyyətli mərhələsidir [3].

Aydındır ki, problemli təlimin nəzəri müddəalarını reallaşdıran təcrübəli müəllim üçün, təlimin bu metodlarından istifadə planında işi kifayət qədər çox olur. Praktikada problem – axtarış təlim metodunu reallaşdırmaq üçün aşağıdakı istiqamətlərdə fəaliyyət göstərmək lazımdır [4].

1. Fənlərarası məzmunlu suallar da daxil olmaqla problemli suallar;
2. Fənlərarası məzmunlu məsələlər də daxil olmaqla problemli suallar;
3. Problemli eksperiment

Problemli sualların həlli zamanı (hesablamalarsız), bu və ya digər fiziki hadisəni izah etmək və ya müəyyən şəraitlərdə onun necə baş verə biləcəyini əvvəlcədən söyləmək tələb olunur.

Bir qayda olaraq, belə məsələlərdə ədədi verilənlər olmur. Hesablamaların olmaması, şagirdlərin diqqətini hadisənin fiziki mahiyyətinə yönəltməyə imkan verir. Problemli sualların həlli şagirdlərdə diqqətliliyin, müşahidəçiliyin tərbiyə olunmasına və qrafik savadın inkişafına

təkan verir. Problemin uğurlu qoyuluşu üçün, onda dərkətmək çətinliyi, məlum və naməlumun görünən sərhədləri olmalı, əldə olunan yeni məlumatla naməlumun müqayisəsi təəccüb və mövcud bilik, bacarıq və vərdislərdən məmuniyyətsizlik hissləri yaratmalıdır. Problemlə sualda informasiya zidiyyəti olmalı, nəticələri müqayisə, mülahizə, analiz etmək, onları ümumiləşdirmək, yəni qanunauyğunluq axtarmaq istəyi yaratmalıdır. Belə ki, məsələn “niyə mismar suda batır, ağır gəmi isə suda üzür” sualı problemlə olacaq, “niyə cisimlər üzür?” sualı isə cavab üçün yalnız bilik tələb etdiyindən informasiyalı olacaqdır. Əgər “Birləşmiş qablar” mövzusu üzrə “Nəyə görə qaynar çayniki qızdırıcının üstündən ehtiyatla götürmək lazımdır” problemlə sual verilərsə və ya “Elektromaqnit dalğaları” mövzusunun öyrənilməsi zamanı soruşularsa ki, “Nəyə görə yatan zaman telefonu balıncın altına qoymaq olmaz”, onda uşaqların düşüncələri, müəllimin planlaşdırdığı mövzuya yaxınlaşmağa kömək edə biləcək fizika qanun və anlayışlarından tamamilə uzaq olacaqdır. Problemlə təlimin, tədris probleminin qoyuluşundan başlandığını hesab etmək düzgün deyil. Bu texnologiyanın nəzəri əsası ondan ibarətdir ki, təlim tədris probleminin formalaşdırılmasından deyil, problemlə situasiyanın yaradılmasından başlamalıdır.

“Molekulların hərəkəti. Diffuziya”

Problemlə suallar:

1. Nəyə görə relslər arasında aralıq qoyurlar?
Əsaslandırmağa ehtiyacı olan həyatı dəlil.
2. Dərmanın təsirini sürətləndirmək üçün, onu isti, yoxsa soyuq su ilə içmək yaxşıdır? Niyə?
İsti su ilə içmək yaxşıdır. Ona görə ki, onun molekulları sürətlə hərəkət edirlər və diffuziya sürətlənir.
3. Terapiyada mazların, yodun və digər xarici dərman formalarının tətbiqi hansı fiziki hadisəyə əsaslanmışdır?
(dəri vasitəsilə diffuziya hadisəsinə). Bu suallar isə tibblə bağlıdır.

“Cisimlərin qarşılıqlı təsiri. Ətalət.”

Problemlə sual:

1. Atlantik və Hind okeanlarının tropik zonalarında tez – tez dəniz yırtıcılarından xilas olaraq 5-7 metr hündürlükdə 200-300m məsafəyə uçan balıqlar müşahidə olunur. Bunu balıq necə edir? Balıq quyruq üzgəclərinin sürətli və güclü rəqsləri hesabına havaya qalxır. O əvvəlcə suyun səthi boyunca hərəkət edir, sonra quyruğunun güclü zərbəsi ilə havaya qalxır, döş üzgəclərinin hesabına havada qalır. (Balıq ətalət üzrə hərəkət edir).

Belə misallar, şagirdlərə öyrəndikləri materialın vacibliyini, eləcə də bəzən fizika qanunlarının tamamilə gözlənilməz situasiyalarda təsirini və əvvəlcə müəmmalı görünən hadisəni izah etmək üçün öz biliklərini müstəqil tətbiq etməyə hazır olmalarının vacibliyini göstərir.

Problemlə əyləncəli məsələ Kütləsi 60 kq və boyu 160 sm, bədən səthinin sahəsi 1,6 m² olan insanın bədənində, atmosfer təzyiqi ilə şərtlənən 160000 N qüvvə təsir edir. Orqanizm belə böyük yüklənməyə necə tab gətirir?

Problemlə eksperiment.

1. Sabunu kəsək və kəsik tərəfini suya salaraq çalxalayaraq, sonra isə kiçik saxsı boşqabın dibinə güclü sıxaq. Sabundan tutaraq boşqabı masanın üzərindən qaldıraq. Boşqab niyə düşmür? (sabunla boşqabın səthi arasında cazibə qüvvəsi – molekullararası cazibə qüvvəsi yaranır).
2. Köpük süngəcin üzərinə ağır çəki daşı qoyulur. Daş əvvəl süngəri sıxır. Sonra sıxılma dayanır və kəsilir. (Böyük sıxılma və ya molekulların yaxınlaşması zamanı, onlar bir – birini itələyir.).

Problemli sual – məsələHələ qədim zamanlardan su, təbiətin bəxş edilən ən böyük neməti hesab edilirdi. Bizim əcdadlarımız bol sulu çayların, göllərin sahillərində məskunlaşaraq su baxımından, çətinlik çəkməmişlər. Şəhərlər böyüdükcə, istehsal inkişaf etdikcə suyun əldə olunması və təmizlənməsi böyük problemə çevrilmişdir. Sual yaranır: Su ehtiyatını tükənməz hesab etmək olarmı? Müxtəlif cavablara qulaq asdıqdan sonra, müəllim xəbər verir ki, ölkəmizdə içməli su ehtiyatı olsa da, onun sərfiyyatı da, xüsusilə kənd təsərrüfatında çoxdur. Müəllim şagirdlərə içməli suya qənaət olunması barədə misallar əsasında fikirlərini söyləməyi təklif edir. Məsələn, əgər nasaz su borusundan su yalnız damcılayırsa, onda bir gündə su itkisi təxminən 60 litr təşkil edəcəkdir.

Problemli məsələ təklif olunur: Saniyəölçən və stəkandan (həcmi -0,25l) istifadə etməklə, əgər krandan su kibrit qalınlığında şırnaqla axarsa, onda bir sutka ərzində su sızmasını təyin edin. (məsələnin həlli nəticəsində alırıq: təxminən 40 saniyə ərzində bir sutkada su itkisi 540 litr təşkil edəcək).

Beləliklə, tədris fəaliyyətinin bütün növlərində problemli təlim elementlərinin sistemətik tətbiqi və istifadəsi, şagirdlərin tədris motivasiyasını yüksəltməyə imkan verir. Digər istənilən başqa tədris metodu kimi, problemli təlim universal deyildir, lakin fizikanın öyrənilməsinin müxtəlif mərhələlərində, onun başqa metodlarla optimal uzlaşdırılması yaxşı nəticələr almağa və deməli pedaqoji fəaliyyətdən məmnun olmağa imkan verir.

Ədəbiyyat

1. Матюшкин А.М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. – М.:Педагогика. 1972
2. Малофеев Р.И. Проблемное обучение физике в средней школе. – М.: Провешение. 1980
3. Кирюкова В.И. Проблемное обучение как метод активизации познавательной деятельности учащихся//. Физика. №-20. – 2006
4. Михалева Н.А. Приемы создания проблемных ситуаций для формирования универсальных учебных действий на уроках физики//Актуальные вопросы современной педагогики: материалы VI Международн. научн. конф. Уфа, 2015

Xülasə

Beləliklə, tədris fəaliyyətinin bütün növlərində problemli təlim elementlərinin sistemətik və istifadəsi şagirdlərin tədris motivasiyasını yüksəltməyə imkan verir. Digər istənilən başqa tədris metodu kimi problemli təlim universal deyildir, lakin fizikanın öyrənilməsinin müxtəlif mərhələlərində onun başqa metodlarla uzlaşdırılması yaxşı nəticələr almağa və deməli pedaqoji fəaliyyətdən məmnun olmağa imkan verir.

Резюме

Таким, образом систематическое применение и использование элементов проблемного обучения во всех видах учебной деятельности позволяет повышать уровень учебной мотивации обучающихся.

Проблемное обучение, как и любой другой метод преподавания не является универсальным, но оптимальное сочетание его с другими методами на различных этапах изучения физики позволяет получить хороший результат, а значит и удовлетворение от педагогической деятельности.

Summary

Thus, the systematic application and use of problem-based learning elements in all types of learning activities helps increase students' motivation. Problem-based learning, like any other teaching method, is not universal, but its optimal combination with other methods at various stages of physics learning allows for good results, and therefore, satisfaction with teaching.

FİZİKA MƏŞĞƏLƏLƏRİNDƏ İNTERAKTİV TƏLİM METODLARI

Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Məmmədova E.A., İsmayilov E.X.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

quliyevniyazi524@gmail.com

Açar sözlər: fizika, interaktiv təlim, interaktiv metod, interaktiv təlim üsulları, fizika məşğələsi

Ключевые слова: физика, интерактивное обучение, интерактивные методы, интерактивные приемы обучения, занятия по физике

Key words: physics, interactive learning, interactive methods, interactive teaching techniques, physics lessons

Müasir fiziki ali təhsilin məqsədi, hər şeydən əvvəl onun hər bir tələbənin formalaşması və inkişafı prosesinə göstərdiyi təsirdə müəyyən edilir. Ona görə də ali məktəb didaktikası gələcək müəllimlərinə tətbiqi bacarıqların: şəxsiyyət – yaradıcı, kommunikativlik, sosiallaşdırma, intellektual – informasiya bacarıqlarının yaradılmasına yönəldilməlidir. Məqsədin bu şəkildə izahı ali tədris müəssisəsində prosesinin texnoloji tərəfini gücləndirir.

Elmi tədqiqatların [1] analizi göstərir ki, ali məktəbdə təhsil cədvəlinin dəyişməsi, tədris prosesinin hər bir iştirakçısının şəxsiyyətinin inkişafına və öz – özünə inkişaf yönəldilmiş yeni təlim texnologiyalarına keçiddən ibarətdir.

Bu gün təlim prosesi tələbədən gərgin əqli iş və onun özünün bu prosesdə fəal iştirakını tələb edir. Məhz bu məqsəd təlimin innovasiya növünü – interaktiv təlimi təqib edir [2].

Belə hesab edilir ki, interaktiv o təlim metodudur ki, bu metod tələbələrin aktiv qarşılıqlı təsiri ilə həyata keçirilir [3]. Bu metod, məşğələnin gedişində hər bir iştirakçını yeni biliklər olmasına və kollektiv fəaliyyəti təşkil etməyə imkan verir.

İnteraktiv metoddan istifadə edərkən, aşağıdakı şərtləri nəzərə almaq lazımdır: konkret tədris məşğələsində interaktiv üsullardan istifadənin məqsədəuyğunluğunu müəyyən etmək; bir məşğələdə ikidən çox interaktiv təlimdən istifadə etməmək, interaktiv qarşılıqlı təsir üçün tədris materialını diqqətlə seçmək; qrupların işinin effektivliyini qiymətləndirməyin meyarını işləmək; mümkün ola bilən cavab variantlarını işləmək.

Termodinamikanın birinci qanununun izoproseslərə tətbiqi mövzusu üzrə bir parçaya baxaq. Sualın nəzəri hissəsinə baxaraq müəllim materialı adiabatik proses misalında fiziki təcrübələrlə izah edir.

Tıxacla bağlanmış şüşə qaba hava vurulur. Təzyiqin müəyyən qiymətində tıxac qabın ağzından kənara atılır. Tıxac kənara atıldıqdan sonra qabın içərisində duman əmələ gəlir. Tələbələrə, dumanın niyə əmələ gəldiyini izah etmək təklif olunur. Daha bir misal: əgər qalın divarlı qaba kibrit çöpünün başlığını ovxalayıb tıxsək və porşenlə həcmi kəskin azaltsaq, onda qabın içərisində partlayış baş verər. Tələbələrə müşahidə olunan hadisəni izah etmək təklif olunur.

Biz bu üsuldən demək olar ki, hər bir məşğələdə istifadə etmişik. Təəssüflər olsun ki, verilən sualların müzakirəsində iştirak edən tələbələrin sayı, mühazirədə iştirak edənlərin ümumi sayının 7 -10% iştirak etmişdir.

Ümumi fizika (Mexanika. Termodinamika və molekulyar fizika) kursu üzrə praktiki məşğələlərin keçirilməsi zamanı, interaktiv metodların tətbiqinin effektivliyinin analizi üzrə pedaqoji eksperiment paralel qruplarda aparılmışdır.

Tələbələrin işinin nəticəsi, praktiki məşğələlərin yerinə eytirilməsi üçün nəzəri biliklərin əldə olunmasıdır. Elmi ədəbiyyatla işləmək, elmi tədqiqat aparmaq, elmi materialı işləmək və

sustemləşdirmək vərdişlərinə yiyələnilir. Digər nəticə, tələbələrin elmi – praktiki tədqiqat aparmaq, elmi texniki məsələlərin həllinin əsas üsul və metodlarına yiyələnmək və təcrübənin nəticələrini işləmək vərdişlərini əldə etməkdən ibarətdir. Bu tədqiqatlarda təcrübə və nəzarət qruplarının müqayisəsi aşağıdakı parametrlər üzrə aparılmışdır. Birincisi: verilmiş mövzu üzrə təklif olunan tədris ədəbiyyatının, mühazirə materialının, eləcə də əlavə ədəbiyyatın öyrənilməsi, yəni materialın, eləcə də əlavə ədəbiyyatın öyrənilməsi, yəni materialın mənimsənilməsi qiymətləndirilmişdir. İkincisi: Van – Der-Vaalsın riyazi modelinə əsasən real qazlar üçün böhran parametrlərinin cədvəl qiymətləri ilə müqayisəsinin nəticələri qiymətləndirilmişdir. Təcrübə yekunlaşdıqdan sonra, bu tədris fəaliyyəti növündə ən yüksək nəticə təcrübə qrupunda müşahidə olunmuşdur. Nəzarət qrupu ilə müqayisədə təcrübə qrupunda öyrənilən material daha tez, dərin və başa düşülərək mənimsənilir.

Təcrübənin reallaşdırılmasının gedişində, təcrübə və nəzarət qruplarında interaktiv metodların tətbiqinin effektivliyini qiymətləndirmək üçün praktiki məşğələ, yekun yoxlama işləri kimi nəzarət formaları aparılmışdır.

Nəzarət qrupundan fərqli olaraq, təcrübə qrupu üzvlərinin 95%-i işdə müsbət emosiya hiss etmişlər və qrupla işləmək onların xoşuna gəlmişdir. Onlar hər hansı bir müstəqil iş yerinə yetirərkən mənfi emosiya hiss etməmişlər.

Beləliklə, təcrübə və nəzarət qruplarının müqayisəsi göstərdi ki, interaktiv təlim metodlarından istifadə tədris materialının mənimsənilməsi planına yalnız tələbələrin yüksək motivasiyası zamanı müsbət əhəmiyyətə malik olur.

İnteraktiv texnologiyanın mühüm elementləri aşağıdakı interaktiv təlim vasitələridir: interaktiv modellər, interaktiv laboratoriya işləri, interaktiv sorğular və testlər, interaktiv modelləşdirmə mühiti. Onlar müəllim və tələbələrə, fiziki situasiyanı modelləşdirməyə və qarşıya qoyulan məsələləri həll etməyə kömək edirlər. Fizikadan məşğələlərdə “Virtual laboratoriya işləri”(Fizika), “Virtual laboratoriya” (“Algodoo”), “İnteraktiv Physics” (“Canlı fizika”) mühiti kimi interaktiv proqramlardan istifadə tələbələrin biliklərini dərinləşdirir və təlimin müvəffəqiyyətinə təkan verir.

Bütövlükdə, fizika məşğələlərində interaktiv təlim metodlarından istifadə yalnız motivasiya olunmuş tələbələrdə koqnitiv (dərkətmə) proseslərinə təkan verir, onların yaradıcılıq qabiliyyətlərini, real şəraitə yaxın şəraitlərdə peşə - istiqamətlənmə bacarıqlarını inkişaf etdirir. İnteraktiv təlim metodlarının tətbiqi ilə fizika məşğələlərindəki tədris işi, təlimin subyektləri kimi tələbə və müəllim arasında yaradıcılıq qarşılıqlı təsirinin və əməkdaşlığın inkişafına təkan verir. Onlardan hər biri dəyərli əməkdaşlıq kollektiv müvəffəqiyyət təcrübəsi qazanırlar ki, bu da məlumatın intensiv daxil olması və sürətlə yenilənməsi şəraitlərində çox lazımdır.

Ədəbiyyat

1. Панина Т.С., Вавилова Л.Н. Современные способы активизации обучения. М.:Академия. 2008. 176с.
2. Панфилова А.П. Инновационные педагогические технологии: Активное обучение: учебное пособие. –М.: Академия. 2009. 192с.
3. Шевченко Н.Ю., Гусева Н.В., Лебедева Ю.В. Формирование конкурентоспособной личности в условиях рыночной экономики//современные проблемы науки и образования. 2009. №-5. ст.214-217
4. Иванова О.М., Соловьев К.С., Логинов В.А. Интерактивные занятия по физике// Теоретические и практические аспекты психологии и педагогики: коллективная монография. – Уфа. 2016. ст. 66 – 84
5. <https://www.elec.ru/publications/alternativnaja-energetika/9243/>

Xülasə

Məqalədə interaktiv metodlara və ali məktəbdə onların tətbiqi təcrübəsinə, metodlardan istifadə problemlərinə və onlara qoyulan tələblərə baxılmışdır. Aparılmış təcrübə tədqiqatları əsasında interaktiv təlim metodlarından istifadənin effektivliyinin birmənalı olmadığı göstərilmişdir. Belə bir nəticə çıxarılmışdır ki, interaktiv təlim sistemlərinin ənənəvi sistemlərlə integrasiyası və onların harmonik uzlaşması təlim prosesinin quruluşunu yaxşılaşdırır və tələbələrin müvəffəqiyyət göstəricilərini dəyişdirə bilər.

Резюме

В статье рассмотрены интерактивные методы и опыт их применения в высшей школе, проблемы использования методов и предъявляемые к ним требования. На основании проведенного экспериментального исследования показана неоднозначная эффективность использования интерактивных методов обучения, сделан вывод о том, что интеграция интерактивных систем обучения с уже традиционными и их гармоничное сочетание улучшают структуру процесса обучения.

Summary

This article examines interactive methods and their application in higher education, as well as the challenges associated with their use and the requirements placed on them. Based on an experimental study, the effectiveness of interactive teaching methods is shown to be mixed. It is concluded that integrating interactive teaching systems with traditional ones and harmoniously combining them improves the structure of the learning process.

YER BİOSFERİNİN ÖYRƏNİLMƏSİNDƏ VƏ QORUNMASINDA FİZİKANIN ROLU

Isgəndərova S.P., Rüstəmov V.C.

Gəncə Dövlət Universiteti

Açar sözlər: *biosfer, iqlim dəyişiklikləri, ekosistemekoloji monitoring, spektroskopiya, radiometriya, uzaqdan zondlama, peyk texnologiyaları, alternativ enerji, çirklənmə, davamlı inkişaf, nanotexnologiya*

Ключевые слова: биосфера, изменение климата, экосистема, экологический мониторинг, спектроскопия, радиометрия, дистанционное зондирование, спутниковые технологии, альтернативная энергия, загрязнение, устойчивое развитие, нано технологии

Keywords: biosphere, climate change, ecosystem, environmental monitoring, spectroscopy, radiometry, remote sensing, satellite technologies, alternative energy, pollution, sustainable development, nanotechnology.

Fizika Yer biosferinin öyrənilməsi və qorunmasında mühüm rol oynayır, çünki o, təbii mühitdə baş verən fiziki proseslərin və onların bioloji sistemlərə təsirinin dərk olunması üçün əsas alət və metodları təmin edir. Bu məqalədə fizikanın Yer biosferinin tədqiqinə və mühafizəsinə təsiri nəzərdən keçirilir.

Fizikanın mühüm tətbiq sahələrindən biri iqlim dəyişikliklərinin və biosferdə rolunun ən mühüm istiqamətlərinin öyrənilməsi onların nəticələrinin anlaşılmasıdır. Fiziki qanunlar və analiz metodları alimlərə iqlim dəyişikliklərini modelləşdirməyə və proqnozlaşdırmağa, istixana

qazlarının emissiyası kimi antropogen amillərin iqlimə təsirini araşdırmağa, həmçinin bu dəyişikliklərə uyğunlaşma strategiyalarını hazırlamağa imkan verir. Fizika ətraf mühitin öyrənilməsi və monitorinqində də əsas rol oynayır. Spektroskopiya və radiometriya kimi fiziki metodların tətbiqi atmosferin, su ehtiyatlarının və torpağın tərkibinin təhlilinə imkan yaradır. Bu isə çirklənmənin nəzarətdə saxlanılması və ekoloji vəziyyətin qiymətləndirilməsi üçün zəruridir.. Fiziki modelləşdirmə və analitik metodlar vasitəsilə alimlər temperaturun artması, dəniz səviyyəsinin yüksəlməsi, atmosfer proseslərində dəyişikliklər və digər iqlim amillərinin canlı orqanizmlərin müxtəlifliyinə, növlərin yayılmasına və ekosistemlərin sabitliyinə təsirini qiymətləndirirlər. Bu yanaşmalar qlobal iqlim dəyişikliklərinin nəticələrinin proqnozlaşdırılmasına və uyğunlaşma strategiyalarının hazırlanmasına elmi əsas yaradır.

Başqa bir mühüm aspekt fizikanın ekoloji cəhətdən təmiz texnologiya və metodların hazırlanmasında istifadəsidir. Fiziki prinsiplər su və havanın təmizlənməsi üçün qurğuların yaradılmasında, eləcə də tullantıların emalı və utilizasiyası metodlarının işlənilib hazırlanmasında geniş tətbiq olunur. Bu texnologiyalar insan fəaliyyətinin təbiətə mənfi təsirini minimuma endirməyə xidmət edir və ətraf mühitin davamlı qorunmasına imkan yaradır. Bundan əlavə, fizika bioloji müxtəlifliyin qorunmasında da mühüm rol oynayır. Coğrafi informasiya sistemləri (CİS) və peyk texnologiyaları kimi fiziki metod və vasitələrin tətbiqi ilə alimlər ekosistemlərdə baş verən dəyişiklikləri operativ şəkildə izləyə, təhlil edə və təbii resursların daha səmərəli idarə olunmasını təmin edə bilirlər. Bu yanaşma ekosistemlərin dinamikasının daha dəqiq qiymətləndirilməsinə və biomüxtəlifliyin qorunması strategiyalarının hazırlanmasına şərait yaradır.

Beləliklə, fizika Yer biosferinin öyrənilməsi və mühafizəsində ayrılmaz elmi baza kimi çıxış edir. Onun metod və alətləri təbii proseslərin mahiyyətini daha dərindən anlamağa, ekoloji cəhətdən təhlükəsiz texnologiyalar hazırlamağa və ətraf mühitin gələcək nəsillər üçün qorunmasına yönəlmiş tədbirlərin həyata keçirilməsinə imkan verir.

Qeyd etmək olar ki, müasir fizika sahələri – məsələn, nanofizika, kvant texnologiyaları və enerji fizikasının nailiyyətləri – alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafına, enerji səmərəliliyinin artırılmasına və karbon emissiyalarının azaldılmasına mühüm töhfə verir. Eyni zamanda, fiziki sensor sistemləri və monitorinq texnologiyaları ətraf mühitin real vaxt rejimində izlənməsinə imkan yaradaraq ekoloji təhlükələrin qarşısının vaxtında alınmasına şərait yaradır.

Fizika həmçinin biosferin mühafizəsi və bərpası üçün yeni metod və texnologiyaların işlənilib hazırlanmasına mühüm töhfə verir. Məsələn, lazer texnologiyaları və peyk naviqasiyası kimi fiziki metodların tətbiqi məskunlaşmış ərazilərin, o cümlədən milli parkların və qoruqların daha dəqiq monitorinqinə və nəzarətinə imkan yaradır. Bu isə həmin ərazilərin ekoloji baxımdan qorunmasına və davamlı idarə olunmasına xidmət edir.

Bundan əlavə, fizika dəniz və okean ekosistemlərində bioloji müxtəlifliyin öyrənilməsi və qorunmasında da mühüm rol oynayır. Hidroakustika və okeanoqrafiya kimi fiziki metodlar vasitəsilə alimlər dəniz canlılarını tədqiq edə, balıqçılıq fəaliyyətinə nəzarət edə və okean mühitində baş verən dəyişikliklərin dəniz həyatına təsirini qiymətləndirə bilirlər. Bu yanaşma dəniz resurslarının davamlı istifadəsinə və biomüxtəlifliyin qorunmasına elmi əsas yaradır.

Nəhayət, fizika biosferin bərpası və mühafizəsi üçün müxtəlif vasitə və texnologiyaların yaradılmasında da mühüm rol oynayır. Buna nümunə olaraq lazerlərin və xüsusi optik sistemlərin ətraf mühitin çirklənməsi ilə mübarizədə, suyun təmizlənməsində və torpağın dezinfeksiyasında tətbiqini göstərmək olar. Bu texnologiyalar çirklənmənin aradan qaldırılması və ekosistemlərin bərpası proseslərinin daha effektiv həyata keçirilməsinə imkan verir.

Beləliklə, müasir fizika nailiyyətləri əsasında yaradılan uzaqdan zondlama sistemləri, sensor şəbəkələri və avtomatlaşdırılmış monitorinq texnologiyaları biosferin vəziyyətinin real

vaxt rejimində izlənməsini təmin edir. Eyni zamanda, fotonika və nanostrukturlu materiallar sahəsində əldə olunan yeniliklər suyun və havanın yüksək dəqiqliklə təmizlənməsi üçün yeni imkanlar açır. Bu isə ekoloji problemlərin həllində fizikanın rolunu daha da artırır və davamlı inkişaf strategiyalarının formalaşdırılmasına mühüm elmi baza yaradır. Fizikanın bu istiqamətdə tətbiqi biosferin qorunması və bərpası sahəsində effektiv qərarların qəbulunu təmin edir, eyni zamanda ətraf mühitin idarə olunmasında elmi yanaşmanın formalaşmasına şərait yaradır. Bu baxımdan fizika yalnız fundamental elm kimi deyil, həm də tətbiqi xarakter daşıyan, ekoloji problemlərin həllində mühüm rol oynayan əsas elmi sahələrdən biri kimi çıxış edir.

Fizikanın inkişafı ilə paralel olaraq formalaşan yeni texnologiyalar – xüsusilə modelləşdirmə sistemləri, süni intellektə əsaslanan analiz üsulları və yüksək dəqiqlikli ölçmə cihazları – biosferdə baş verən proseslərin daha operativ və dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Bu isə qlobal ekoloji problemlərin həllinə, davamlı inkişaf prinsiplərinin həyata keçirilməsinə və təbii mühitin gələcək nəsillər üçün qorunmasına mühüm töhfə verir.

Beləliklə, fizika biosferin öyrənilməsi və mühafizəsində fundamental və əvəzolunmaz elmi baza olmaqla, insan cəmiyyətinin təbiətlə harmonik və davamlı qarşılıqlı əlaqəsinin təmin olunmasında əsas rol oynayır.

Ədəbiyyat

1. Saydaliyeva, Ş. S., Mahmudov, M. H. Fizikanın biologiyada rolu (2024).
2. Vernadski, V. İ. Biosfer – Yer kürəsinin qlobal ekosistemi. *UNEC nəşriyyatı. (2019)*
3. Bohn, F. J. və başqaları. (2025). 2024–2025-ci illər üzrə biosfer tədqiqatlarına dair cari perspektivlər. *Biogeosciences, Avropa Geosiyasət Birliyi.*

Резюме

В статье комплексно рассматривается роль физики в изучении и охране биосферы Земли. Показано, что физика представляет собой фундаментальную научную основу для понимания природных процессов, а также для моделирования и прогнозирования климатических изменений. Кроме того, такие методы, как спектроскопия, радиометрия, дистанционное зондирование и спутниковые технологии, позволяют эффективно осуществлять экологический мониторинг и оценку уровня загрязнения окружающей среды.

Физика также вносит значительный вклад в разработку экологически чистых технологий, включая очистку воды и воздуха, утилизацию отходов и восстановление биосферы. Помимо этого, сохранение биологического разнообразия, изучение морских и океанических экосистем, а также эффективное управление природными ресурсами становятся более результативными благодаря применению физических методов.

Summary

This article provides a comprehensive analysis of the role of physics in the study and protection of the Earth's biosphere. It is demonstrated that physics constitutes a fundamental scientific basis for understanding natural processes, as well as for modeling and predicting climate change. Moreover, methods such as spectroscopy, radiometry, remote sensing, and satellite technologies enable effective environmental monitoring and the assessment of pollution levels.

Physics also makes a significant contribution to the development of environmentally friendly technologies, including water and air purification, waste management, and biosphere restoration. Furthermore, the conservation of biodiversity, the study of marine and ocean ecosystems, and the efficient management of natural resources are enhanced through the application of physical methods.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ

*Гасанова Л.К.,
Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан, AZ1148,
ул. 3. Халилова 23
leyla.hasanmath@gmail.com*

Ключевые слова: математические методы, преподавание физики, моделирование.

Современная физика неразрывно связана с математикой, которая выступает не только как язык описания природных явлений, но и как инструмент их исследования. Так, невозможно изучать физику без понимания учащимися происхождения и значения понятий математики и ее роли в системе наук. Математика предлагает весьма общие методы и достаточно четкие логические модели для изучения окружающей действительности. Математические модели верно отражают суть исследуемых явлений, позволяют находить не обнаруженные ранее закономерности, давать анализ условий, а математические методы позволяют решать теоретические или практические задачи. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос эффективного использования математических методов при преподавании физики.

Преподавание физики в вузах непрерывно связано с использованием математических методов, которые служат языком для описания физических явлений, построения моделей и анализа экспериментальных данных. Обучение математическим методам происходит в рамках преподавания математических дисциплин. Студенты, получающие образование в Бакинском Государственном Университете по специальностям “Учитель физики” и “Физика”, проходят ряд математических дисциплин на начальных курсах обучения. В курсе “Математический анализ” они знакомятся с пределами, производными и интегралами, которые используются для описания движения, полей, термодинамических процессов. Математические методы из курса “Дифференциальные уравнения” применяются для моделирования динамических систем (уравнения Ньютона, уравнения Максвелла, уравнения квантовой механики). Методы аналитической геометрии и тензорного исчисления необходимы для работы с векторными величинами, при изучении механики сплошных сред, электродинамики и теории относительности. Существенную роль играет линейная алгебра и статистика, умение правильно обработать информацию, сделать достоверный вывод или прогноз на основании имеющегося материала.

Эти математические методы преподаются не изолированно, а как инструмент, обеспечивающий качественное освоение физических дисциплин. Задача преподавателя математики – развить математическое мышление и умения применять хорошо разработанные математические приемы для объяснения законов окружающей среды и для решения различных типов задач физики. Крайне важно для будущего физика уметь применять математический аппарат как инструмент в решении практических задач.

Решение задач по физике с применением математических методов имеет свою структуру. Ее условно можно разделить на три этапа:

Первый этап – этап формализации – осуществляется переход от практической задачи, которую предстоит решить, к построению ее математической модели.

Второй этап – решение задачи внутри модели, сформулированной на первом этапе.

Третий этап – этап интерпретации – полученное решение математической задачи переводится на язык исходной физической задачи.

На первом этапе студенты должны выделить основные взаимосвязи между

компонентами исследуемой проблемы, анализировать полноту имеющихся в условии задачи данных, выразить математическими символами те физические положения и их взаимосвязи, которые даны в условии задачи. В результате этой работы должна появиться математическая модель (уравнение, система уравнений), адекватно отражающая данную реальную ситуацию.

На втором этапе задача решается “внутри математической модели”. На этом этапе студенты должны научиться выбирать наиболее подходящий метод для решения поставленной математической задачи: выбирать приемы решения, разбивать сложные задачи на подзадачи и т.п.

На третьем этапе – интерпретации, студенты должны научиться переходить к исходной ситуации, выявлять соответствие полученных результатов рассматриваемой физической ситуации, выявлять соответствие полученных результатов рассматриваемой физической ситуации.

Лабораторный практикум по физике также занимает важное место в общей системе подготовки учителей физики и физиков. Использование математических методов на лабораторном практикуме позволяет исследовать свойства объекта и предсказать его поведение в различных условиях.

Таким образом, эффективное использование математических методов при преподавании физики в высших учебных заведениях является необходимым условием подготовки квалифицированных специалистов. Оно обеспечивает глубокое понимание физических процессов, развитие аналитических процессов и готовность к решению сложных научных задач. Важным направлением дальнейшего совершенствования образовательного процесса является интеграция традиционных методов обучения с современными цифровыми технологиями.

Литература

- 1.Данилкова Е.Р. Межпредметные связи физики и математики в системе обучения высшего профессионального образования// Международный журнал гуманитарных и естественных наук 2023. N1-4 (76)
- 2.Даниловских М.Г., Антохина А.А. Роль математики в изучении физики// Теория и практика современной науки. 2023 . N.10 (100)

Аннотация

В статье рассматриваются особенности использования математических методов при преподавании физики в высших учебных заведениях. Показано, что эффективное применение математического аппарата способствует формированию у студентов глубокого понимания физических явлений, развитию аналитического мышления и навыков моделирования.

Abstract

The article examines the features of using mathematical methods in teaching physics in higher educational institutions. It is shown that the effective application of the mathematical apparatus contributes to the development of student's deep understanding of physical phenomena, analytical thinking, and modeling skills.

Xülasə

Məqalədə ali təhsil müəssisələrində fizikanın tədrisində riyazi metodlardan istifadənin xüsusiyyətləri nəzərdən keçirir. Göstərilir ki, riyazi aparatın səmərəli tətbiqi tələbələrdə fiziki hadisələrin dərin anlaşılmasının formalaşmasına, analitik düşüncənin və bacarıqların inkişafına kömək edir.

VAHİD MƏSƏLƏLƏRİN HƏLLİNDƏ FİZİKA VƏ EKOLOGİYANIN QARŞILIQLI ƏLAQƏSİ

Məmmədova S.O.
Gəncə Dövlət Universiteti

Açar söz: ekoloji tərbiyə, ekoloji problem, ekoloji bilik, ekoloji məna, ekoloji məsələ, yaşıl enerji

Ключевые слова: экологическое воспитание, экологическая проблема, экологические знания, экологический смысл, экологическая задача, зелёная энергия

Key words: environmental education, environmental problem, ecological knowledge, ecological meaning, ecological issue, green energy.

Fizika təbiətdə baş verən fundamental prosesləri və qanunauyğunluqları öyrəndiyi halda, ekologiya bu proseslərin canlı orqanizmlərə və ətraf mühitə təsirini araşdırır. Bu baxımdan, vahid məsələlərin həlli zamanı fiziki qanunların ekoloji problemlərin izahında və həllində tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Ətraf mühit problemlərinin əksəriyyəti fiziki proseslərlə birbaşa əlaqəlidir. Məsələn, atmosferin çirklənməsi diffuziya, konveksiya və radiasiya kimi fiziki hadisələr vasitəsilə izah olunur. Sənaye tullantılarının havada yayılması diffuziya qanunlarına uyğun baş verir, külək axınları isə konveksiya prosesləri vasitəsilə çirkləndiricilərin geniş ərazilərə daşınmasına səbəb olur. Günəş radiasiyası isə həm iqlim dəyişikliklərinə, həm də buzlaqların əriməsinə təsir edən əsas amillərdən biridir.

Eyni zamanda, fiziki yanaşma ekoloji problemlərin kəmiyyətə qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Məsələn, enerji balansının hesablanması, istilik ötürülməsi proseslərinin təhlili, səs dalğalarının yayılması (akustik çirklənmə) və elektromaqnit şüalanmanın təsiri kimi məsələlər fizikanın metodları ilə öyrənilir. Bu yanaşma ətraf mühitin mühafizəsi üçün effektiv texnologiyaların hazırlanmasına şərait yaradır.

Vahid məsələlərin həlli zamanı fizika və ekologiyanın inteqrasiyası xüsusilə tədris prosesində mühüm rol oynayır. Fizika dərslərində ekoloji məzmunlu məsələlərin tətbiqi şagirdlərdə həm elmi təfəkkürün, həm də ekoloji məsuliyyətin formalaşmasına kömək edir. Belə məsələlər vasitəsilə şagirdlər yalnız fiziki qanunları mənimsəmir, həm də onların real həyatda tətbiqini və ətraf mühitə təsirini dərk edirlər.

Nəticə etibarilə, fizika və ekologiyanın qarşılıqlı əlaqəsi vahid məsələlərin həllində kompleks yanaşmanın formalaşmasına xidmət edir. [1]

Bəşəriyyət fizikanın inkişafı sayəsində açıq kosmosa çıxmış, ətrafındakı digər planetləri öyrənmiş və gələcəkdə yeni ağıllı həyat formalarının aşkar olunması ehtimalını yaratmışdır. Lakin ən mühüm məqam ondan ibarətdir ki, insan məhz bu elm sayəsində mövcud ola bilər. Sürtünmə qüvvəsi insana yeriməyə, avtomobillə hərəkət etməyə, təyyarə ilə uçmağa, hətta oturub dincəlməyə imkan verir. İnsan öz planetinin imkanlarından geniş şəkildə istifadə edə bilər, lakin eyni zamanda ona qarşı məsuliyyətini də dərk etməlidir. Avtomobilin yanacaq çənini doldurarkən, istifadə olunmamış kağız vərəqlərini tullayarkən və ya meşələrdə, şəhərətrafi ərazilərdə nəzarətsiz tullantı sahələri yaradarkən, əslində Yer kürəsinin ehtiyatlarını tükətdiyimizi və ona ciddi ziyan vurduğumuzu çox vaxt nəzərə almırıq.

Alimlərin hesablamalarına görə, bir plastik butulkanın təbii şəraitdə parçalanması təxminən 100 il çəkir. Hər saniyə istehsal olunan və utilizasiya olunmadan ətrafa atılan bu cür tullantıların miqdarını nəzərə alsaq, onların torpağa, dənizlərə və okeanlara düşməsi halında yaranacaq ekoloji fəsadların miqyası aydın olur.

Əgər tüstü, karbon qazı və digər zərərli maddələrin atmosfərə atılması azaldılmazsa, havanın tərkibində arzuolunmaz dəyişikliklərin baş verməsi qaçılmaz olacaqdır.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, insanda öz evi — Yer planeti ilə bağlı sevgi və məsuliyyət hissinin formalaşdırılması vacibdir. Ona izah olunmalıdır ki, planetin resursları sonsuz deyil və onların qorunması hər bir fərdin borcudur.

İnsanlar yaşadıkları dünyanın qorunmağa ehtiyacı olduğunu dərk etdikdən sonra konkret tədbirlər görməyə başlamışlar. Belə ki, tullantı sularını təmizləyərək içməyə və məişətdə istifadəyə yararlı hala gətirən təmizləyici qurğular inşa edilmiş, məişət tullantılarının emalını həyata keçirən zavodlar yaradılmış, həmçinin ekoloji cəhətdən daha təhlükəsiz yanacaq növlərinin tətbiqinə başlanılmışdır.

Müasir dövrdə uşaqlara ümumbəşəri dəyərlərin aşılınması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu proses nə qədər erkən başlanarsa, onun nəticələri bir o qədər effektiv və dayanıqlı olar.

Fizika dərslərində ekoloji tərbiyənin təşkili şagirdlərə ətraf mühitin qorunmasının vacibliyini daha dərinlən anlamağa imkan verir. Bu yanaşma vasitəsilə onlar ətraf mühitin müxtəlif çirklənmə növləri və onlarla mübarizə üsulları haqqında sistemli biliklər əldə edirlər. Nəticədə təbiətin qorunması gələcək nəsillərin etibarlı əllərində olur və onun təbii gözəlliyi uzun illər ərzində saxlanılır. [2]

Fizika dərslərində şagirdlərin ekoloji problemlərin həllində fəal iştirakını təmin etmək üçün müxtəlif pedaqoji üsul və metodlardan istifadə edilə bilər. Dərs vaxtının məhdudluğu nəzərə alınmaqla, ilk növbədə məktəbdaxili ekoloji aksiyalarda iştirak təşviq olunmalıdır. Bu çərçivədə divar qəzetlərinin hazırlanması, viktorinalar, müsabiqələr və digər interaktiv fəaliyyətlər təşkil edilə bilər. Eyni zamanda dərs prosesində, öyrənilən mövzuya uyğun olaraq və ya təkrar zamanı ekoloji məzmunlu 1–2 məsələnin həlli şagirdlərin diqqətini bu problemlərə yönəltmək baxımından effektiv vasitə hesab olunur.

✓ Meşədə şüşə butulka yanğına səbəb olub. Əgər 10 dəqiqəyə 9 ağac yanarsa, 2 saatdan sonra neçə ağac məhv olacaq?

Cavab: 108 ağac.

✓ Atmosferin sənaye tullantıları ilə çirklənməsi dağ buzlaqlarının azalmasına niyə səbəb olur? Bunun mümkün nəticələri hansılardır?

Cavab:Sənaye mənşəli toz və aerosol hissəcikləri buzlaqların səthinə çökərək onların albedosunu (əşya səthinin Günəş şüalarını əks etdirmə qabiliyyətini) azaldır. Nəticədə buzlaq səthi daha çox Günəş enerjisini udur və ərimə prosesi sürətlənir. Buzlaqların azalması aşağıdakı nəticələrə səbəb ola bilər: global və regional iqlim dəyişiklikləri, dəniz səviyyəsinin yüksəlməsi, şirin su ehtiyatlarının azalması, ekosistemlərin pozulması və biomüxtəlifliyin azalması.

✓ Avtomobil 30 litr benzin sərf edərsə, sutka ərzində havaya nə qədər işlənmiş qaz buraxar?

Cavab:Təxmini hesablamalara görə, 30 litr benzin sərf edən avtomobil sutka ərzində təxminən 24 kq işlənmiş qaz (əsasən karbon qazı və digər yanma məhsulları) atmosfərə buraxır.

Beləliklə, fizika dərslərində mövzular üzrə məsələlərin həlli zamanı onların şərtinə ekoloji məzmunun daxil edilməsi şagirdlərin diqqətini ətraf mühit problemlərinə yönəltmək baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşma insanlarda təbii sərvətlərə qarşı şüurlu və qənaətlı münasibətin formalaşmasına xidmət edir, onların məhdud olduğunu dərk etməyə və qeyri-rasional istifadənin ciddi mənfi nəticələrə gətirib çıxara biləcəyini anlamağa şərait yaradır.

Ekoloji cəhətdən savadlı formalaşan gənc nəsil insan və təbiət arasındakı qarşılıqlı münasibətlərdə öz məsuliyyətini daha dərinlən dərk edir. Onlar əlverişsiz ekoloji vəziyyətin yaranma səbəblərini obyektiv şəkildə qiymətləndirməyi, ekoloji səhvlərin aradan qaldırılması

üçün zəruri tədbirlər görməyi və bərpaedici fəaliyyətlərin həyata keçirilməsində fəal iştirak etməyi bacarırlar. Bu isə uzunmüddətli perspektivdə planetimizin qorunmasına, ekoloji tarazlığın saxlanmasına və antropogen mənşəli fəlakətlərin qarşısının alınmasına mühüm töhfə verir. [3]

Ədəbiyyat

1. P.Paşayev. Təbiət elmlərinin əlaqəli öyrənilməsi Maarif nəşriyyatı 1977
2. Qərib Məmmədov , M. Xəlilov – Ekologiya, ətraf mühit və insan, 2006
3. Захлебный А.Н.Экологическое образование школьников 2019

Резюме

Данная статья посвящена описанию взаимосвязи между физикой и экологией, а также значению их интеграции при решении комплексных задач. Физика изучает фундаментальные законы природы, тогда как экология исследует влияние этих законов на живые организмы и окружающую среду.

В статье рассматривается взаимодействие физики и экологии. Законы физики позволяют объяснять и оценивать процессы, происходящие в окружающей среде, такие как загрязнение, изменение климата, таяние ледников и другие явления.

Одновременно использование экологически ориентированных задач на уроках физики способствует формированию у учащихся не только предметных знаний, но и экологической ответственности. В результате на первый план выходит формирование более осознанного и рационального отношения человека к природе.

Abstract

This article is devoted to the description of the interrelationship between physics and ecology, as well as the significance of their integration in solving complex problems. Physics studies the fundamental laws of nature, whereas ecology investigates the impact of these laws on living organisms and the environment.

The article examines the interaction between physics and ecology. The laws of physics make it possible to explain and evaluate processes occurring in the environment, such as pollution, climate change, glacier melting, and other related phenomena.

At the same time, the use of environmentally oriented tasks in physics lessons contributes to the formation of not only subject-specific knowledge among students but also environmental responsibility. As a result, the development of a more conscious and rational attitude towards nature becomes a priority.

FİZİKADAN MƏSƏLƏ HƏLLİ TƏDRİSİN SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI VASİTƏSİ KİMİ (ORTA MƏKTƏK NÜMUNƏSİNDƏ)

Namazov Y.B., Rüstəмова S.K., Xəlilova A.M.² Quliyeva A.A.

Gəncə Dövlət Universiteti¹

Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti²

yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: fizika məsələləri, təsnifat, həll üsulları, tədris, səmərəlilik

Ключевые слова: физические задачи, классификация, методы решения, преподавание, эффективность.

Keywords: physics problems, classification, solution methods, teaching, efficiency

Giriş

Fiziki məsələlər tədris prosesinin ayrılmaz halqasıdır. Məsələlərin həlli iradəni tərbiyə edir, məntiqi təfəkkürü, hazırcavablığı inkişaf etdirir. Məsələlər fizika ilə texnika arasında bir çox əlaqələri dərk etməyə kömək edir. Məsələnin həlli digər fənlərlə birlikdə şagirdlərin zehni fəaliyyətinin inkişafına əhəmiyyətli töhfə verir.

Fizika kursunun öyrənilməsində məsələlərin həllinin müstəsna dərəcədə böyük əhəmiyyəti var. Məsələnin həlli və təhlili fizikanın əsas qanunlarını və düsturlarını anlamağa və yadda saxlamağa, onların xarakterik xüsusiyyətləri və tətbiq sərhədləri haqqında təsəvvür yaratmağa imkan verir. Məsələlər maddi dünyanın ümumi qanunlarından praktik və idraki əhəmiyyətə malik konkret məsələlərin həlli üçün istifadə etmək bacarığını inkişaf etdirir. Məsələ həll etmək bacarığı proqram materialının dərinliyinin və onun mənimsənilmə dərəcəsinin qiymətləndirilməsi üçün ən yaxşı meyardır.

Fizika üzrə məktəb məsələlərinin xüsusiyyətləri.

Tədris praktikasında fiziki məsələ adətən məntiqi nəticə çıxarma, riyazi əməliyyatlar və fizikanın qanunları və metodları əsasında eksperiment vasitəsilə həll olunan kiçik bir problem adlanır. Əslində, fizika dərslərində tədris materialının öyrənilməsi ilə əlaqədar yaranan hər bir sual şagirdlər üçün məsələdir. Aktiv, məqsədyönlü təfəkkür həmişə bu sözün geniş mənasında məsələlərin həllidir. Fiziki məsələlərin həlli şagirdlərin zehni yaradıcılıq qabiliyyətlərinin inkişaf etdirilməsinin ən vacib vasitələrindən biridir. Çox vaxt dərslərdə problemli situasiyalar məsələlərin köməyi ilə yaradılır və bununla da şagirdlərin zehni fəaliyyəti aktivləşdirilir. Məsələlərin dəyəri, ilk növbədə, onların tərkibindəki fiziki informasiya ilə müəyyən edilir. Buna görə də müasir fizikanın əsasını qoyan klassik fundamental təcrübələri və kəşfləri təsvir edən məsələlər, həmçinin fizikaya xas olan tədqiqat metodlarını göstərən məsələlər xüsusi diqqətə layiqdir. Təbiət hadisələrinin tədqiqinin əsas fiziki metodu – ölçmələr və fiziki kəmiyyətlər arasında funksional asılılığın riyazi tədqiqi əsasında eksperiment haqqında müəyyən təsəvvürü eksperimental məsələlərin köməyi ilə vermək məqsəduyğundur. Məsələ, yeddinci sinifdə artıq aşağıdakı məsələlər həll edilə bilər: "Yayı dərəcələndirin və onun uzanmasının tətbiq olunan qüvvədən asılılığını düsturla ifadə edin". Tarixi məzmunlu məsələlər ideyaların mübarizəsini, alimlərin qarşısında yaranan çətinlikləri və onların aradan qaldırılması yollarını göstərməyə imkan verir. Nümunə olaraq işığın sürətinin təyin edilməsi, atomun quruluşunun öyrənilməsi və s. təcrübələrə dair məsələləri göstərmək olar.

Yerli istehsal bazasında politexnik məzmunlu fiziki məsələlərin tərtib edilməsi çox faydalıdır: Beynəlxalq televiziya rabitəsi layihələrindən biri bu məqsədlə Yerini süni peykindən istifadəni nəzərdə tutur. Peyk şərqi istiqamətində Yerdən hərəkətsiz görünməsi üçün ekvator üzərində hansı hündürlüyə buraxılmalıdır? Ekvatorun istənilən nöqtəsi ən azı bir peyk tərəfindən "görünsün" deyə, bu cür peyklərdən minimum neçə ədəd buraxmaq lazımdır? Fizikanı canlı təbiətlə əlaqələndirmək üçün biofiziki məzmunlu məsələlər əhəmiyyətli maraq doğurur. İstehsal və təbiətşünaslıq məzmunlu məsələlərlə yanaşı, məişətdəki fiziki hadisələrə dair məsələlər də təlimin həyatla əlaqələndirilməsi üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Onlar "ətrafımızdakı" fizikanı görməyə kömək edir, şagirdlərdə müşahidəçiliyi tərbiyə edir.

Məsələ: elektrik sobasının, soyuducunun və ya ütünün 2 saat işləməsi zamanı sərf etdiyi elektrik enerjisinin dəyərini hesablayın. Politexnik təlim məqsədləri üçün məsələlər bir sıra praktiki bacarıq və vərdislərin formalaşdırılması vasitəsi kimi də vacibdir.

Məsələlərin həlli prosesində şagirdlər təbiətdə, texnikada və məişətdə müxtəlif fiziki hadisələri təhlil etmək üçün öz biliklərini tətbiq etmək; çertyojlar, rəsmlər, qrafiklər yerinə yetirmək; hesablamalar aparmaq; istinad ədəbiyyatından istifadə etmək; eksperimental

məsələlərin həllində cihazları və alətləri işlətmək bacarıq və vərdişlərinə yiyələnirlər. Məsələlərin köməyi ilə şagirdləri yeni müxtəlif ideyaların yaranması ilə tanış etmək, elm və texnikanın nailiyyətlərinə diqqət yetirmək olar.

Məsələlərin növləri və onların xüsusiyyətləri.

Fizika üzrə məsələlər məzmununa və didaktik məqsədlərinə görə çox müxtəlifdir. Onları bir çox əlamətlərə görə təsnif etmək olar:

- ✓ həll üsuluna görə;
- ✓ məzmununa görə;
- ✓ çətinlik dərəcəsinə görə (sadə, mürəkkəb);
- ✓ məqsədli təyinatına görə (təlim, nəzarət).

Təsnifatın əsasına həll üsulunu qoyaraq, aşağıdakı məsələ növlərini ayırmaq olar: kəmiyyət, keyfiyyət və ya sual-məsələlər, eksperimental və qrafik məsələlər.

Sual-məsələlər – bunlar elə məsələlərdir ki, onların həlli zamanı bu və ya digər fiziki hadisəni izah etmək və ya verilmiş şəraitdə onun necə gedəcəyini qabaqcadan söyləmək tələb olunur; bu məsələlərin məzmununda ədədi verilənlər yoxdur.

Məsələn: Niyə elektrik lampasının teli qızmar-ağ rəngdə parlayır, halbuki eyni cərəyan keçməsinə baxmayaraq, naqillər soyuq qalır? (8-ci sinif). Bu cür məsələlər şifahi həll edilir; verilən suallara cavablandırmanın əsaslandırılması zərurəti şagirdləri mülahizə yürütməyə öyrədir, fiziki qanunların mahiyyətini daha dərinləndirərək dərk etməyə kömək edir.

Kəmiyyət məsələləri – bunlar elə məsələlərdir ki, verilən suala cavabı hesablamalar aparmadan əldə etmək mümkün deyil. Kəmiyyət məsələlərinin həllində keyfiyyət təhlili də zəruridir, lakin o, prosesin bu və ya digər kəmiyyət xarakteristikalarının hesablanması ilə kəmiyyət təhlili ilə də tamamlanır. Kəmiyyət məsələləri sadə (təlim) və mürəkkəb məsələlərə bölünür. Təlim məsələləri dedikdə, sadə təhlil və sadə hesablama tələb edən məsələlər nəzərdə tutulur. Bu cür məsələlərin (az miqdarda) həlli yalnız öyrədilmiş qanunauyğunluğu konkretləşdirmək üçün zəruridir. Onların ən yüngülləri şifahi həll edilir. Kəmiyyət məsələsinə nümunə: Uzunluğu 100 m, en kəsik sahəsi 0,25 mm² olan nixrom məftilin müqavimətini təyin edin.

Eksperimental məsələlər – bunlar elə məsələlərdir ki, onların həlli zamanı bu və ya digər məqsədlə eksperimentdən istifadə olunur. Məsələn: Su ilə dolu menzurkanın köməyi ilə taxta bərkini çəkisini təyin edin.

Qrafik məsələlər – bunlar elə məsələlərdir ki, onların həlli prosesində qrafiklərdən istifadə olunur. Qrafiklərin məsələlərin həllindəki roluna görə onları iki növə bölmək olar:

- ✓ sualın cavabının qrafikin qurulması nəticəsində tapıla biləcəyi məsələlər;
- ✓ sualın cavabının qrafikin təhlili vasitəsilə tapıla biləcəyi məsələlər.

Qrafik məsələlərin həlli fiziki kəmiyyətlər arasında funksional asılılığı anlamağa, qrafiklərlə işləmək vərdişlərinin aşılmasına, miqyaslarla işləmək bacarığının inkişafına kömək edir. Eksperimental məsələlərin həlli (yuxarıya bax) müşahidəçiliyin inkişafına, həmçinin cihazlarla işləmək vərdişlərinin təkmilləşməsinə kömək edir.

Məsələlərin təsnifatının əsasına onların məzmununu qoyaraq, fizika üzrə aşağıdakı məsələ növlərini ayırmaq olar:

- ✓ konkret fiziki məzmunlu məsələlər;
- ✓ abstrakt məzmunlu məsələlər;
- ✓ texniki məzmunlu məsələlər;
- ✓ tarixi məzmunlu məsələlər;
- ✓ əyləncəli məsələlər.

Texniki məzmunlu məsələlər – fizikanın texnika və ya istehsalla əlaqəsini əks etdirən məsələlərdir. Məsələn: Niyə yüksəksürətli reaktiv təyyarələrin tikintisi üçün xüsusi istiliyədavamlı ərintilərdən istifadə edirlər? Müəllim belə məsələləri özü də tərtib edə bilər, bunun üçün qəzet, jurnal, radio və televiziya məlumatlarından istifadə edir. Bu cür məsələlərin həlli zamanı şagirdlərin bütün diqqəti yeni terminlərin mənasını açmağa yönəldilir.

Tarixi məzmunlu məsələlər – şərtlərində fizika qanunlarının kəşfi və ya hər hansı ixtiralar haqqında tarixi faktlardan istifadə edilən məsələlərdir. Onlar böyük idraki və tərbiyəvi əhəmiyyətə malikdirlər. Məsələn, Arximed qanununu qazlar üçün öyrənərkən, aşağıdakı məsələni həll etmək olar: Eramızdan əvvəl IV əsrdə yaşamış alim Aristotel hava ilə doldurulmuş dəri torbasının və havasız, basılmış eyni torbasının eyni çəkiyə malik olduğunu aşkar etdi. Bu təcrübəyə əsaslanaraq o, havanın çəkisi olmadığı kimi səhv nəticəyə gəldi. Aristotel hansı səhvə yol verdi?

Əyləncəli məsələlər – məzmunu əyləncəli formada verilən məsələlərdir. Onlar keyfiyyət, eksperimental və ya kəmiyyət ola bilər. Bu cür məsələlərdə sualın qeyri-adi qoyuluşu və sonradan nəticələrin müzakirəsi adətən şagirdlərdə dərin maraq doğurur. Təəssüf ki, fizika üzrə məsələ məcmuələrində əyləncəli xarakterli məsələlər azdır. Ona görə də müəllim onları digər mənbələrdən seçməlidir. Məsələn: Y.İ. Perelman "Əyləncəli fizika". Əyləncəli məsələ nümunəsi: Niyə bədəni irəli əymədən stuldan qalxmaq mümkün deyil? Bunu təcrübədə yoxlamaq və s.

Fizika məktəb kursunda məsələlərin həlli metodikasının yuxarıda nəzərdən keçirilmiş məsələləri şagirdin yaşından, onların hazırlığından və öyrənilən materialın spesifikasiyasından asılı olaraq öz xüsusiyyətlərinə malikdir. 7-8-ci siniflərdə məsələlərin həllinə 9-cu siniflə müqayisədə daha az vaxt ayrılır. Bu, vaxt büdcəsinin azlığı, müəyyən dərəcədə təsviri xarakter daşıyan kursun spesifikasiyası ilə izah olunur. Fizikanın tədrisinin birinci pilləsində məktəblilər ilkin praktiki bacarıqlara yiyələnirlər. Bu siniflərdə bir sıra məsələlərin həlli onların riyaziyyatdan hazırlığının qeyri-kafi olması səbəbindən məhdudlaşır.

Buna görə də bu siniflərdə keyfiyyət və eksperimental məsələlərə daha çox diqqət yetirmək lazımdır ki, onların bir sırası əyləncəli formada təqdim edilə bilər. Lakin 9-cu sinifdə hesablama məsələlərini qiymətləndirməmək səhv olardı. Ona görə də ilk vaxtlar məsələlərin həll üsullarını birləşdirmək, suallar vasitəsilə hər bir hərəkətin mənasını dəqiq müəyyən etmək faydalıdır.

Ədəbiyyat

1. Mirzəyev B., Cəlilova S. Məktəb fizika kursundan məsələlərin həlli metodikası. Bakı. "Nurlan", 2008 -131 səh.
2. Xasmmədov T. Orta məktəbdə Fizikanın tədrisi metodikası. Maarif nəşriyyatı. Bakı 1973-219 səh..
3. М.В.Чикурова. «Некоторые приемы, развивающие интерес к решению задач» из журнала «Физика в школе», 2000г.4.
4. Perelman Y.İ. Əyləncəli məsələlər və təcrübələr. Bakı, Maarif 1979. 230 səh

Xülasə

Bu məqalədə məktəb fizika məsələlərinin xüsusiyyətləri, məsələlərin təsnifatı, məktəb fizika kursunun nümunəsində məsələlərin həllinin tədrisinin effektivliyinin artırılması yolları izah edilir.

Резюме

В данной статье на примере школьного курса физики рассматриваются характеристики школьных задач по физике, их классификация и способы повышения эффективности обучения решению задач.

Summary

This article explains the characteristics of school physics problems, the classification of problems, and ways to increase the effectiveness of teaching problem solving on the example of a school physics course.

ÜMUMTƏHSİL MƏKTƏBLƏRİNİN TAM ORTA MƏKTƏB PİLLƏSİNDƏ FİZİKA FƏNNİNİN TƏLİMİNDƏ ŞAĞIRDLƏRDƏ ELMİ SAVADLILIĞIN FORMALAŞDIRILMASININ ƏSASLARI

¹Namazov Y. B., ¹Rüstəmov S. K., ¹Rüstəmov L. V., ²Zərbəliyeva V. S.

¹Gəncə Dövlət Universiteti, ²Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti

yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: elmi savadlılıq, kompetansiya, bacarıq, fizika, texnologiya

Ключевые слова: научная грамотность, компетентность, навыки, физика, технологии.

Keywords: scientific literacy, competence, skill, physics, technology

“Savadlılıq” termini çox şaxəli olduğundan, elm və texnologiyanın daim inkişaf etməsi yeni tendensiyalar, çağırışlar və gözləntilərin ortaya çıxmasına səbəb olur. “Elmi savadlılıq” termini özündə bir çox zəruri olan kompetansiyaları ehtiva edir. Bu termin 1950-ci illərin sonunda ilk dəfə Paul De Hart tərəfindən işlədilmişdir: *“Təhsillə bağlı çox ciddi problemlərdən biri elmi nailiyyətlərin zənginliyi ilə elmi savadlılıq arasındakı boşluqları doldurmaqdır. Elmi savadlılıq elm və texnologiya üçün məsuliyyəti özündə əks etdirən qərar qəbul etmək və idrak fəaliyyəti üçün intellektual bilik və bacarıqlara sahib olmaqdır”*.

Elmi savadlılığa yiyələnmiş hər bir təhsilalan elm və texnologiyalarla bağlı informasiyaları öz beyinlərində süzgəcdən keçirib doğru, yalan, qərəzli və ya təxribat xarakterli olmalarına görə ayırd edə bilirlər. Hər hansı elm sahəsindəki savadlılıq alim, mühəndis və başqa mütəxəssislərin gələcək nəslini yetişdirmək, praktiki tətbiq üçün xüsusi elmi və ya texniki biliklərin əldə edilməsinə diqqət yetirir. Bir sözlə elm sahəsinə dair savadlılıq xüsusi ixtisaslaşma tələb edir. Bu ixtisaslaşmış qrup əhalinin kiçik bir hissəsini təşkil edir. Qeyd edilənlərdən fərqli olaraq, elmi savadlılıq praktiki daha geniş əhalini hədəfləyir. O, elmi metod və düşüncə tərzini öyrətməklə, insanları qarşılaşa biləcəkləri mümkün problemlərə analitik və tənqidi nöqteyi-nəzərdən yanaşmaq bacarığını aşılayır. Eyni zamanda bu, yuxarı siniflərdə təbiət fənlərinin ayrılıqda hər birinin kurikulumunun təbiət fənni kurikulumunun davamı və inkişafı şəklində təkmilləşdirilməsini zəruri edən əsas amillərdəndir.

Müasir dövr informasiya və texnologiya dövrü olduğundan savadlılıq anlayışı da çox genişlənərək müxtəlif tərkib hissələrə ayrılmışdır. Bunlara riyazi, maliyyə, texnoloji, informasiya, elmi, media savadlılığını nümunə göstərmək olar. Təbiət elmləri real həyatla bağlı məsələlərlə birbaşa əlaqəli olduğundan şagirdlərin bu fənlərin, xüsusilə aparıcı təbiət fənni olan fizikanın tədrisi zamanı qazandıqları bilik və bacarıqlar real həyatı, qeyri elmi situasiyalarda qərar vermə və problemləri həlletmədə fundamental baza formalaşdırır. Təbiət fənnində bütün mövzuların, o cümlədən fizika bölmələrinə aid mövzuların məzmunu tədqiqat əsaslı öyrənməni dəstəkləyən təlim modelinə əsaslandığından onun tədrisinin düzgün qurulması və elmi savadlılığın formalaşdırılmasını dəstəkləyən alətlərin tətbiqi son dərəcə önəmlidir. Təbiət fənninin elmi savadlılığın formalaşdırılmasındakı roluna dair kiçik nümunə vermək olar.

Ümumiyyətlə təbiət fənninin elmi savadlılıq səriştəsinin formalaşdırılmasındakı ən böyük rollarından biri geniş yayılan və doğru zənn edilən yanlışları aradan qaldırmaq, yanlış təsəvvür və bilikləri düzəltməkdir. Məsələn, çox geniş istifadə olunan, lakin əlaqəli işlənməyən “çəki” və “kütlə” anlayışlarını götürək. Gündəlik həyatda işlədilən “... çəkisi nə qədərdir?”, “Sənin çəkin nə qədərdir?” kimi sualların cavabına kq olaraq qarşılıq verilməsi, insanların VII sinif səviyyəsində bir anlayışdan məlumatsız olmaları anlamına gəlir. Belə ki, kq vahidi ilə ifadə edilən anlayışın çəki yox, kütlə olması haqqında təməl biliklərin zəif olması, əhəmiyyətsiz kimi görünə də bu əslində elmin fundamental dəyərlərinə qarşı münasibəti göstərir. Çəki vektorial kəmiyyət olub qüvvənin bir növüdür və onun ölçü vahidi nyutondur (N). Kütlə isə skalyar kəmiyyətdir və Beynəlxalq vahidlər sistemində kiloqramla (kq) ölçülür. Qeyd etdiyimiz bu kəmiyyətlərin yanlış istifadəsi, sadə elmi biliklərin möhkəmlənmədiyinə göstəricisidir. Bu iki kəmiyyət və onların mənalı VII sinif təbiət fənninin qüvvə bölməsində öz əksini tapmışdır.

Beləliklə “Elmi savadlılıq səriştəsi müasir elmə və texnologiyaya inkişafda əsaslanan cəmiyyətlərdə təhsilin zəruri elementlərindən hesab edilir və təkcə elmlə davamlı məşğul olan və ya erkən iş həyatına atılanlar üçün deyil, elmin fundamental sayılan əsas anlayış və faktlarının bütün vətəndaşlara öyrədilməsi günümüzün əsas vəzifəsidir”.

Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikası ümumi təhsil məktəbləri üçün Fizika fənni üzrə təhsil proqramı (kurikulum) (VI-XI siniflər): [Elektron resurs] / tərt. ed. A.Əliyev və b.; ARTPI – Bakı 2013.[URL:http://www.arti.edu.az/nodupload/editor/files/4_%20Fizika-kurikulum.pdf](http://www.arti.edu.az/nodupload/editor/files/4_%20Fizika-kurikulum.pdf)
2. Abdurazaqov, R.R., Əhmədova, X.C. VII sinif şagirdlərinin fizikadan elmi savadlılıq səviyyəsinə təsir edən amillərin müəyyənəşdirilməsi// Fizika, riyaziyyat və informatikanın tədrisi, – Bakı, – 2019. №1, – s. 12-15.
3. Fizika 7. Dərslik / M. Murquzov, R. Abdurazaqov, R. Əliyev [və b.] – Bakı; Bakınəşr – 2012. – 144 s

Xülasə

Elmi savadlılıq səriştəsi müasir elmə və texnologiyaya əsaslanan cəmiyyətlərdə təhsilin zəruri elementlərindən hesab edilir və təkcə elmlə davamlı məşğul olan və ya erkən iş həyatına atılanlar üçün deyil, elmin fundamental sayılan əsas anlayış və faktlarının bütün vətəndaşlara öyrədilməsi yolları araşdırılmışdır

Аннотация

Научная грамотность считается необходимым элементом образования в обществах, основанных на современной науке и технологическом развитии, и были исследованы способы обучения основным понятиям и фактам науки, которые считаются фундаментальными, всех граждан, а не только тех, кто постоянно занимается наукой или находится в начале своей карьеры.

Abstract

Scientific literacy is considered a necessary element of education in societies based on modern science and technological developments, and ways to teach the basic concepts and facts of science, which are considered fundamental, to all citizens, have been investigated, not only for those who are constantly engaged in science or who are early in their careers.

ŞƏXSİYYƏTYÖNÜMLÜLÜK PRİNSİPLƏRİNİ REALLAŞDIRAN FİZİKA MƏSƏLƏLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ METODİKASI

*Rüstəmovə S.K., Abdullayev S.M., Xəlilova A.M². Quliyeva A.A.,
Gəncə Dövlət Universiteti¹, Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti²
yahyanamzov@gdu.edu.az*

Açar sözlər: şagird, yaradıcılıq, fizika məsələləri, praktik bacarıq

Keywords: student, creativity, physics problems, practical skills

Ключевые слова: студент, креативность, физические задачи, практические навыки

Yaradıcılıq prosesini adətən yeni nəticənin alınması ilə əlaqələndirirlər. Əgər şagird əvvəllər tanış olmadığı yeni cihaz quraşdırmışdırsa və ya maddə sintez etmişdirsə, deməli o yaradıcılıqla məşğul olmuşdur. Lakin, yeni cihazı dəqiq eskiz üzrə hazırlamaq, yeni maddəni isə dəqiq metodika üzrə almaq olar. Belə çıxır ki, yeni nəticə reproduktiv yolla alınmışdır. Bununla əlaqədar olaraq, yeni nəticəni xarakterizə etmək üçün aydındır ki, yaradıcılıq kifayət deyildir. Yaradıcılığın proses kimi bir sıra xarakteristikalarını nəzərə almaq lazımdır.

Fizikanın tədrisi zamanı diqqəti yaradıcılıq qabiliyyətinin hər hansı bir ayrıca götürülmüş toplananının inkişafına deyil, şagirdlərdə bütövlükdə yaradıcılıq fəaliyyəti təcrübəsinə, problemlərin üzə çıxarılması qabiliyyətini formalaşdırmağa yönəltmək məqsədə uyğundur.

Yaradıcılıq fəaliyyəti üç toplanana bölünür :

- yaradıcı düşünmə qabiliyyəti;
- əməkdaşlıq qabiliyyəti və yaradıcılığın əsaslandırılması;
- problemlərin həlli üçün, məktəbdə öyrənilən fənlərin müxtəlif bölmələri üzrə biliklərdən istifadə təcrübəsi

Yaradıcılıq məsələləri üç növ olur;

1. Tədqiqat xarakterli məsələlər; bu məsələlərdə hipotezlər irəli sürülür, nəticələr proqnozlaşdırılır, şərtlər tamamlanır;

2. İxtira xarakterli məsələlər; bu məsələlərdə ideyaların, layihələrin proqnozlaşdırılması fərz olunur

3. Müəyyən ideya əsasında nəyinsə düzəldilməsi, qurulması üzrə məsələlər

Bütün yaradıcılıq məsələləri aşağıdakı suallara cavab verir: Nə?, Harada?, Necə?, Niyə?

Yaradıcı xarakterli məsələlər aşağıdakı tələblərə cavab verməlidir:

1) Şərtlərin yetərli olması;

2) Sualın dəqiqliyi;

3) Ziddiyyətin olması;

Yaradıcı məsələ belə bir nadir xassəyə malikdir

– onu birmənalı olaraq yaradıcı kimi müəyyən etmək olmaz. Eyni bir məsələ bir qrup şagirdlər üçün yaradıcı olduğu halda, digərləri üçün yaradıcı olmaya bilər.

Yaradıcı xarakterli məsələlər haradan alınır?

Yaradıcı məsələni istənilən maraqlı faktdan düzəltmək olar.

Yaradıcı məsələlərin tərtib olunması zamanı aşağıdakılardan istifadə etmək lazımdır:

maraqlı faktdan, elm tarixindən, gündəlik həyatdan, ətraf mühitdən, elmdə səhv nəticələrdən və axtarışlardan, ədəbiyyatdan, xalq yaradıcılığından;

Yaradıcı xarakterli məsələnin tərtib olunmasına aid nümunələr:

Məsələ 1. Sinifdə “Qaynama” mövzunu keçdikdən sonra belə bir sual meydana çıxır “Mayenin qaynama temperaturu nədən asılıdır?”

Bu sual reproduktiv xarakterlidir, maraq kəsb etmir. Əgər sualı – “Mən suyu otaq temperaturunda qaynamağa məcbur edə bilərəm” şəklində dəyişsək onda bu şagirdlərdə maraq yaradacaq. Suala belə bir təcrübə əlavə edək: otaq temperaturuna malik suyun $\frac{1}{8}$ qədəri doldurulmuş şprisin deşiyini bağlayaraq, porşeni son kənar vəziyyətdə kəskin hərəkət etdirsək onda soyuq su qaynar. Belə bir sual qoysaq ki, su niyə qaynadı? – bu sual şagirdlər üçün yaradıcı məsələ olacaqdır.

Hazır yaradıcı xarakterli məsələlərə nümunələr.

Quşlara kömək elə. Hamı bilir ki, elektrik naqilinə toxunmaq insan üçün çox təhlükəlidir. Quşların elektrik naqilinin üzərində rahat və heç bir mənfi təsir olmadan oturduları faktını nə ilə izah etmək olar?

Naqilin üzərində oturan quşun bədənini sanki şaxələnmiş elektrik dövrəsinin bir qoludur, bu qolun (bədənini) müqaviməti digər qolun (quşun ayaqları arasındakı qısa hissə) müqaviməti ilə müqayisədə çox böyükdür. Ona görə də bu qoldakı (quşun bədənini) cərəyan şiddəti zərərsizdir. Lakin, əgər quş naqilin üzərində oturaraq qanadı, quyruğu ilə elektrik dirəyinə toxunsa və ya ümumiyyətlə hər hansı bir şəkildə yerlə birləşsə onu cərəyan anı olaraq öldürər, bu halda ziddiyyət yaranır: quş naqilin üzərində otura bilər, lakin, qanadı ilə toxuna bilməz. Bir çox ölkələrdə quşları ölümdən qoruyan xüsusi qoruyucu vasitələr tətbiq olunur.

2. Boruda deşiyi necə açmalı?

Rezin boruda səliqəli şəkildə dairəvi deşik açmaq lazımdır. Əgər deşiyi burğu ilə açsaq, rezin boru yastılanacaq və deşik dairəvi alınmayacaq. Əgər deşiyi borunu yandırmaqla açsaq, onda deşiyin kənarları müntəzəm alınmayacaqdır. Necə etməli?

3. Misir piramidalarının əsası. Misir piramidalarının əsası çox ciddi üfüqi səthə malikdirlər. Müasir texnikaya malik olmayan misirlilər belə üfüqi səthə necə malik olmuşlar?”

4. Batmış gəmilər. Batmış gəmilərin okeanın və dənizlərin dibindən qaldırılmasının məlum üsulu vardır. Bu üsula görə gəminin anbarlarına hava vurmaq lazımdır. Lakin, bunun üçün bütün hava çıxıb bilən deşiklər tutulmalıdır. Bunu isə suyun altında etmək çox çətindir və çox da əziyyət tələb edir. Kip bağlama olmadan bu üsuldən batmış gəmiləri qaldırmaq üçün necə istifadə etmək olar?

Beləliklə onu qeyd edə bilərik ki, belə məsələlərin fizika dərslərində yerinə yetirilməsi şagirdlərin yaradıcılıq qabiliyyəti inkişaf edir və fənnə maraqları artır, məsələlər sayəsində şagirdlər aldıkları biliklərin dərk edilməsini öyrənirlər, yəni tədris prosesi aktivləşdirilir. Onlar sinifdə, şagirdlər arasında düzgün psixoloji vəziyyət yaranmasına kömək edir. Şagirdlər yeni mövzuları olduğu kimi öyrənib müəllim soruşduqda cavab vermək kimi deyil, bu mövzuları praktikada necə tətbiq edəcəkləri kimi qəbul edib başa düşürlər: məsələn, cihaz quraşdırmaq, fiziki hadisəni izah etmək. Belə yanaşma nəticəsində şagirdlərdə fizika fənninə düzgün münasibət – həqiqi real məşğələlərlə maraq yaranır.

Şagirdlər öz söylərinin nəticələrini izləyirlər, öz nailiyyətlərini qiymətləndirirlər, öz qüvvə və biliklərinə inam hiss edirlər. Bu isə onları təlimdə daha yüksək nəticələr əldə etməyə ruhlandırır.

Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikasının Təhsil konsepsiyası (milli kurikulumu) Bakı. 2007, №2. S.7-11
2. Разумовский В.Г. Методика обучения физике. М.Владос. 2004. 175с
3. Разумовский В.Г. Творческие задачи по Физике в средней школе – М.: Росвещение, 1966, - 154с.

Xülasə

Bu məqalədə fizika məsələlətinin təlim prosesində əhəmiyyəti araşdırılmış, şagirdlərdə fənnə marağın artırılması prosesində əldə olunan nəzəri biliklərin praktikaya tətbiqi müasir proqramın tələbi kimi irəli sürülmüşdür. Bacarıq və vərdislər şagirdlərdə şəxsiyyətyönümlü təlimin reallaşmasında əsas vasitə olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

Резюме

В данной статье рассматривается значение физики в процессе обучения и предлагается применение теоретических знаний, полученных в процессе повышения интереса учащихся к предмету, на практике как требование современной программы. Установлено, что навыки и привычки являются основными средствами реализации личностно-ориентированного обучения у учащихся.

Summary

This article examines the importance of physics in the learning process, and proposes the application of theoretical knowledge gained in the process of increasing students' interest in the subject to practice as a requirement of the modern program. It is determined that skills and habits are the main means of realizing personality-oriented learning in students.

FİZIKANIN TƏDRİSİ METODİKASI: MÜASİR YANAŞMALAR VƏ EFFEKTİVLİK

¹Kazımova N.K., ²Əzizova K.K., ¹Nuriyeva S.R.

¹Azərbaycan Texnologiya Universiteti, ²Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu

nurlanavahid@gmail.com, kama-azizova2025@rambler.ru

s.nuriyeva@atu.edu.az

Açar sözlər: fizikanın tədrisi, metodika, interaktiv təlim, eksperiment, innovasiya

Keywords: physics teaching, methodology, interactive learning, experiment, innovation

Giriş

Fizika təbiət elmləri arasında aparıcı mövqeyə malik olub, texnoloji inkişafın əsasını təşkil edir. Bu səbəbdən fizikanın tədrisi yalnız nəzəri biliklərin verilməsi ilə məhdudlaşmamalı, həm də şagirdlərdə elmi dünyagörüşü və düşünmə bacarıqları formalaşdırmalıdır [1, s. 47]. Müasir dövrdə təhsil sistemində baş verən dəyişikliklər fizikanın tədrisi metodikasının yenilənməsini zəruri edir.

Fizikanın tədrisi metodikasının nəzəri əsasları

Fizikanın tədrisi metodikası pedaqogika və psixologiya elmlərinə əsaslanır. Təlim prosesinin düzgün təşkili üçün aşağıdakı komponentlər vacibdir:

- məqsəd və vəzifələrin müəyyənləşdirilməsi
- məzmunun seçilməsi
- metod və vasitələrin tətbiqi
- nəticələrin qiymətləndirilməsi

Bu yanaşma şagirdlərin bilikləri aktiv şəkildə mənimsəməsinə imkan yaradır [3, s. 125].

Müasir tədris metodları

İnteraktiv metodlar

İnteraktiv metodlar şagirdlərin dərslər prosesində fəallığını artırır. Qrup işi, debat və layihə üsulu kimi metodlar onların əməkdaşlıq və ünsiyyət bacarıqlarını inkişaf etdirir [8, s. 60].

Problem əsaslı təlim

Problem əsaslı təlimdə şagirdlər real problemlərlə qarşılaşır və onların həlli yollarını axtarırlar. Bu proses analitik düşünmə və qərarvermə bacarıqlarını inkişaf etdirir [5, s. 40].

Eksperiment və laboratoriya işləri

Eksperiment fizikanın əsas öyrənmə vasitəsidir. Təcrübələr vasitəsilə şagirdlər nəzəri bilikləri praktikada yoxlayır və müşahidə bacarıqları qazanır [6, s. 30].

Rəqəmsal texnologiyalar

Müasir dövrdə fizikanın tədrisində rəqəmsal vasitələr mühüm rol oynayır. Virtual laboratoriyalar və simulyasiyalar mürəkkəb fiziki proseslərin daha aydın başa düşülməsinə kömək edir [7, s. 95].

Müəllimin rolu

Müasir təlimdə müəllim yalnız məlumat verən deyil, həm də:

- yönləndirici
- təşkilatçı
- motivator rolunu yerinə yetirir

Müəllim şagirdlərdə müstəqil düşünmə və tədqiqat aparmaq bacarıqlarını inkişaf etdirməlidir [2, s. 82].

Qiymətləndirmə metodları

Fizikanın tədrisində qiymətləndirmə aşağıdakı formalarda aparılır:

- formativ qiymətləndirmə
- summativ qiymətləndirmə
- layihə və praktik tapşırıqlar

Bu yanaşma şagirdlərin bilik və bacarıqlarının obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan verir [9, s. 20].

Problemlər və həll yolları

Fizikanın tədrisində qarşıya çıxan əsas çətinliklər:

- abstrakt anlayışların çətin qavranılması
- praktiki imkanların məhdudluğu
- motivasiya problemləri

Bu problemlərin həlli üçün innovativ metodların tətbiqi və vizual vasitələrin artırılması vacibdir [4, s. 65].

Nəticə

Fizikanın tədrisi metodikasının müasirləşdirilməsi təhsilin keyfiyyətinin artırılmasında mühüm rol oynayır. İnteraktiv və innovativ metodların tətbiqi şagirdlərin fənnə marağını artırır və onların elmi dünyagörüşünü inkişaf etdirir. Effektiv nəticə üçün ənənəvi və müasir metodların vəhdəti vacibdir.

Ədəbiyyat

1. Əlizadə Ə.Ə. Təlim prosesinin psixoloji əsasları. Bakı: Təhsil, 2018, s. 45–52.
2. Veysoy B.B. Fizikanın tədrisi metodikası. Bakı: Maarif, 2016, s. 78–95.
3. Kazımov N.M. Pedagogika. Bakı: Elm və təhsil, 2019, s. 120–135.
4. Hüseynov F.A. Orta məktəbdə fizikanın tədrisi metodları. Bakı: ADPU, 2017, s. 60–74.
5. Abbasov A.N. Müasir təlim texnologiyaları. Bakı: Müəllim, 2020, s. 33–48.
6. Məmmədov R.Ş. Fizika dərslərində eksperimentin təşkili. Bakı: Təhsil, 2015, s. 25–39.
7. Əliyev İ.H. Təhsildə innovativ yanaşmalar. Bakı: Elm, 2021, s. 90–104.
8. Quliyev S.T. Fizikanın tədrisində interaktiv metodlar. Bakı: Universitet nəşriyyatı, 2018, s. 55–68.

9. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi. Ümumi təhsil kurikulumu (fizika). Bakı, 2020, s. 14–27.
10. Nuriyev R.K. Təlimin nəzəriyyəsi və metodikası. Bakı: Elm və təhsil, 2019, s. 101–118.

Abstract

This article examines the theoretical and practical foundations of physics teaching methodology. It analyzes modern approaches, interactive methods, and the role of digital technologies in education. Special emphasis is placed on developing students' analytical and critical thinking skills. The study concludes that student-centered and active learning approaches significantly enhance physics education.

FİZİKA TƏDRİSİNDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİ FİZİKİ PROSESLƏRİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VASİTƏSİ KİMİ

Quliyev M.S., Namazov Y.B., Quliyev A.İ., İmanov R.M.,
Gəncə Dövlət Universiteti
yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: süni intellekt, fizika tədrisi, modelləşdirmə, bacarıqlar, rəqəmsal təhsil

Ключевые слова: искусственный интеллект, преподавание физики, моделирование, навыки, цифровое образование

Keywords: artificial intelligence, physics teaching, modeling, skills, digital education

Rəqəmsal təhlükəsizlik və texnoloji inkişaf sahəsində həyata keçirilən ardıcıl siyasətin tərkib hissəsi kimi Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyevin 19 mart 2025-ci il tarixli Sərəncamı ilə “Azərbaycan Respublikasının 2025–2028-ci illər üçün Süni İntellektin İnkişafına dair Strategiya” təsdiq edilib. Bu strateji sənəddə süni intellekt texnologiyalarının dövlət idarəçiliyindən tutmuş iqtisadiyyata, sosial həyata və xüsusən də təhsilə kimi həyatın bütün sahələrinə geniş təsir imkanları vurğulanır.

Strategiyanın əsas istiqamətlərindən biri təhsil sistemində innovasiya və rəqəmsal transformasiyanın genişləndirilməsidir. Bu kontekstdə müəllimlərin peşəkar inkişafı və onların süni intellekt texnologiyalarına uyğunlaşması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Müasir təhsil mühiti hazırda müəllimlərdən yalnız bilik sahibləri kimi deyil, həm də rəqəmsal təhsil mühitinin formalaşdırıcıları və texnoloji liderləri kimi çıxış etmələrini tələb edir. [1]

Süni intellekt (Sİ) — insanın intellektual qabiliyyətlərini tələb edən tapşırıqları yerinə yetirməyə qadir proqramlar və sistemlər yaratmaqla məşğul olan kompüter elmləri sahəsidir. Bu tapşırıqlara öyrənmə, məlumatların təhlili, problemlərin həlli, nümunələrin tanınması, təbii dilin emalı və qərar qəbul etmə aiddir. Sİ iş prinsipi maşın öyrənməsi alqoritmlərinə, neyron şəbəkələrə və məlumatların emalı üsullarına əsaslanır. Bu gün o, tibb, elm, iqtisadiyyat, sənaye və digər sahələrdə fəal tətbiq edilir.

Fizikanın tədrisində süni intellektdən (Sİ) istifadə tədris prosesinin təkmilləşdirilməsi, tələbələrin cəlb olunmasının artırılması və təlimin fərdiləşdirilməsi üçün yeni imkanlar açır. Aşağıda Sİ-nin təhsil prosesinə inteqrasiyası, fiziki proseslərin modelləşdirilməsi və virtual laboratoriyalarda tətbiqi yollarının tam icmalı verilmişdir.

Sİ mürəkkəb fiziki hadisələrin interaktiv simulyasiyalarını yaratmağa imkan verir.

- PhET Interactive Simulations (Kolorado Universiteti) – fiziki proseslərin interaktiv modelləri.

- Algodo – mexanikanın vizual modelləşdirilməsi üçün proqram təminatı.
- Təcrübələrin təhlili üçün Dərin Öyrənmə (Deep Learning) – Sİ avtomatik təhlil edə bilər.

Fiziki proseslərin modelləşdirilməsi təbiət hadisələrinin tədqiqi və proqnozlaşdırılması üçün vacib alətdir. O, fiziki prosesləri təsvir edən riyazi və kompüter modellərinin yaradılmasını əhatə edir. Bu istiqamətin əsas aspektlərini nəzərdən keçirək.

Fiziki proseslərin modelləşdirilməsinin növləri

Əsas ədədi modelləşdirmə üsulları:

- Analitik modelləşdirmə: Hadisələri təsvir etmək üçün riyazi tənliklərdən (məsələn, Nyuton qanunları, Maksvell tənlikləri) istifadə edir. Sistem dəqiq analitik həllə imkan verdikdə tətbiq edilir.

- Ədədi modelləşdirmə: Tənliklərin təqribi həlli üçün alqoritmlərdən istifadə edir. Analitik həlli mümkün olmayan mürəkkəb sistemlər üçün tətbiq edilir (məsələn, turbuləntlik, plazmanın modelləşdirilməsi).

- İmitasiya modelləşdirməsi: Real fiziki sistemin davranışını təqlid edən kompüter modelinin qurulması (məsələn, nüvə reaksiyalarının və ya iqlim proseslərinin modelləşdirilməsi).

- Sonlu fərqlər metodu (Finite Difference Method, FDM): Diferensial tənliklərin diskretləşdirilməsi və onların şəbəkədə həlli. İstilikkeçirmədə, elektrodinamikada istifadə olunur.

- Sonlu elementlər metodu (Finite Element Method, FEM): Sistemin kiçik elementlərə bölünməsi, onların daxilində tənliklərin lokal həlli. Mürəkkəb həndəsələr və elastik deformasiyalar üçün tətbiq edilir.

- Monte-Karlo metodu: Təsadüfi proseslərdən və statistik üsullardan istifadə edir. Tez-tez kvant mexanikasında, yüksək enerji fizikasında və hissəciklərin yayılmasının modelləşdirilməsində tətbiq edilir.

- Molekulyar dinamika: Hissəciklərin klassik mexanika qanunlarına əsasən hərəkətinin ədədi modelləşdirilməsi. Bərk cisim fizikasında, biofizikada və materialşünaslıqda istifadə olunur.

- Sıxlıq funksionalı nəzəriyyəsi metodu (DFT): Elektron quruluşunu öyrənmək üçün kvant-mexaniki üsul. Kondensləşmiş maddə fizikasında tətbiq edilir.

Modelləşdirmə mərhələləri:

1. Məsələnin qoyuluşu: Fiziki qanunların və başlanğıc şərtlərin formalaşdırılması.
2. Modelin yaradılması: Sistemin sadələşdirilməsi (məsələn, fasiləsiz mühitin şəbəkə ilə əvəz edilməsi).

3. Ədədi hesablama: Tənliklərin həlli üçün alqoritmlərdən istifadə.

4. Təhlil və vizuallaşdırma: Nəticələrin şərh, adekvatlığın yoxlanılması.

Fizikadan nümunələr:

- İstilik ötürülməsi: İstilikkeçirmə və konveksiya proseslərinin modelləşdirilməsi.
- Elektromaqnetizm: Mürəkkəb həndəsələrdə sahələrin paylanması hesablanması.
- Hidrodinamika: Maye və qaz axınlarının ədədi modelləri (CFD).
- Kvant mexanikası: Materialların modelləşdirilməsi üçün sıxlıq funksionalı nəzəriyyəsi (DFT) metodu.

Müasir yanaşmalar:

- Maşın öyrənməsi üsulları: Məlumatlar əsasında mürəkkəb fiziki proseslərin proqnozlaşdırılması üçün.

- Multifiziki modelləşdirmə: Bir-biri ilə əlaqəli bir neçə prosesin eyni vaxtda modelləşdirilməsi (məsələn, termomexanika).

Tapşırıq və tətbiq nümunələri:

- Plazma fizikası: Yüklü hissəciklərin maqnit və elektrik sahələrində davranışının modelləşdirilməsi.
- Astrofizika: Qalaktikaların formalaşması, ulduzların və qara dəliklərin təkamülünün simulyasiyaları.
- Kvant mexanikası: Atom və molekulyar sistemlərin modelləşdirilməsi.
- Bərk cisim fizikası: Materialların xassələrinin, faza keçidlərinin və nanostrukturaların öyrənilməsi.
- İqlim modelləri: İqlim dəyişikliklərinin və onların nəticələrinin proqnozlaşdırılması.

İstifadə olunan vasitələrə nümunələr:

- Wolfram Alpha: Mürəkkəb fiziki məsələlərin həlli və məlumatların vizuallaşdırılması üçün.
- Google AI Platform: Məlumatların təhlili və modellərin yaradılması üçün.
- IBM Watson: İntellektual köməkçilərin yaradılması və mətnlərin təhlili üçün.

Fizikanın tədrisində Sİ-dən istifadə təkcə tədris prosesini asanlaşdırmır, həm də onu daha səmərəli edir, tələbələrə mürəkkəb anlayışları daha yaxşı başa düşməyə və onları praktikada tətbiq etməyə imkan verir.

Nəticə

Fizika tədrisində süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi, xüsusilə fiziki proseslərin modelləşdirilməsi kontekstində, təhsilin keyfiyyətinin yüksəldilməsi və tələbələrin elmi dünyagörüşünün formalaşdırılması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Tədqiqat göstərir ki, Sİ əsaslı modelləşdirmə vasitələri — analitik, ədədi, imitasiya, Monte-Karlo, molekulyar dinamika və DFT kimi müxtəlif üsullar vasitəsilə — mürəkkəb fiziki hadisələrin daha dərin və interaktiv şəkildə başa düşülməsinə imkan yaradır.

Müasir təhsil mühitində PhET, Algodoo, Wolfram Alpha kimi platformalar, həmçinin dərin öyrənmə və maşın öyrənməsi alqoritmləri tələbələrə yalnız nəzəri bilikləri mənimsəməyə deyil, həm də real fiziki sistemlərin davranışını modelləşdirməklə tədqiqatçılıq bacarıqlarını inkişaf etdirməyə şərait yaradır. Sİ-nin təklif etdiyi adaptiv təlim sistemləri, intellektual köməkçilər və virtual laboratoriyalar tədris prosesini fərdiləşdirir, tələbələrin bilik boşluqlarını aradan qaldırmağa kömək edir və müəllimlərin peşəkar fəaliyyətini dəstəkləyir.

Azərbaycan Respublikasının 2025–2028-ci illər üçün Süni İntellekt Strategiyasında təhsilin rəqəmsal transformasiyasının prioritet istiqamət kimi müəyyən edilməsi, ölkəmizdə Sİ-nin fizika tədrisinə inteqrasiyası sahəsində aparılan elmi-pedaqoji işlərin aktuallığını təsdiqləyir. Bununla belə, bu sahədə qarşıda duran bir sıra vəzifələr vardır:

- **Müəllimlərin rəqəmsal kompetensiyalarının inkişafı** — Sİ texnologiyalarından səmərəli istifadə üçün pedaqoji kadrların hazırlığı;
- **Yerli tədris platformalarının yaradılması** — Azərbaycan dilində Sİ əsaslı modelləşdirmə vasitələrinin işlənib hazırlanması;
- **Etik və təhlükəsizlik məsələlərinin tənzimlənməsi** — təhsil prosesində Sİ-nin şəffaf və təhlükəsiz tətbiqinin təmin edilməsi;
- **Empirik tədqiqatların aparılması** — Sİ-nin fizika tədrisinə uzunmüddətli təsirinin müxtəlif təhsil səviyyələrində (orta məktəb, ali təhsil) yoxlanılması.

Gələcək tədqiqatlarda fiziki proseslərin modelləşdirilməsi üçün süni intellektin müxtəlif üsullarının (fundamental öyrənmə, fiziki modelləşdirmə) müqayisəli təhlili, həmçinin beynəlxalq təcrübənin Azərbaycan təhsil sistemində uyğunlaşdırılması tövsiyə olunur.

Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Rəsmi internet sahifəsi. (2025, 19 mart). Azərbaycan Respublikasının 2025– 2028-ci illər üçün Süni İntellekt Strategiyası haqqında Sərəncam (530 nömrəli). <https://president.az>
2. Orucov, V., Azərbaycanın süni intellekt strategiyası kontekstində fizika müəllimlərinin XXI əsr bacarıqlarının inkişafı
3. Стюарт Рассел, Питер Норвиг. Искусственный интеллект. Современный подход. Том 1-4. Решение проблем. Знания и рассуждения. Вильямс, 2021-2024.
4. Ян Дж. Гудфеллоу, Йошуа Бенджио и Аарон Курвиль, Глубокое обучение. Deep Learning , MIT Press, 2016 г.
5. Орельен Жерон. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и Tensor Flow. Концепции, инструменты. Диалектика, 2020.
6. В.С. Смолин. Перспективы человека в эпоху технологической сингулярности. Эпистемология и философия науки, 2020. Том 57, №2 с 192-207. 5. Being Human. Быть человеком в эпоху искусственного интеллекта. 2019 г.

Annotasiya

Bu məqalədə süni intellekt texnologiyalarının fizika tədrisinə təsiri nəzərdən keçirilir. Təhsil prosesində süni intellektin tətbiqinə müasir yanaşmalar, o cümlədən adaptiv təlim sistemləri, intellektual köməkçilər və fiziki proseslərin modelləşdirilməsi təhlil edilir. Təlimin fərdiləşdirilməsi, tədrisin səmərəliliyinin artırılması və tələbələrdə müstəqil tədqiqat bacarıqlarının inkişafı üçün süni intellektdən istifadə perspektivləri müzakirə olunur

Аннотация

В данной статье рассматривается влияние технологий искусственного интеллекта на преподавание физики. Анализируются современные подходы к применению искусственного интеллекта в образовательном процессе, включая адаптивные системы обучения, интеллектуальных помощников и моделирование физических процессов. Обсуждаются перспективы использования искусственного интеллекта для персонализации обучения, повышения эффективности преподавания и развития исследовательских навыков студентов.

Abstract

This article examines the impact of artificial intelligence technologies on physics teaching. Modern approaches to the application of artificial intelligence in the educational process are analyzed, including adaptive learning systems, intelligent assistants, and modeling of physical processes. The prospects for using artificial intelligence to personalize learning, increase teaching effectiveness, and develop students' research skills are discussed.

FİZİKANIN TƏDRİSİNDƏ KEYFİYYƏT XARAKTERLİ MƏSƏLƏLƏRİN HƏLLİ AKTİV TƏLİM METODU KİMİ

Namazov Y.B., Avazova F. R., Arzumanova A. A., Rzayeva G.Ə.

Gəncə Dövlət Universiteti

yahya.namazov@gdu.edu.az

Açar sözlər: *təlim metodları, fizika, keyfiyyət məsələsi, tədris prosesi.*

Ключевые слова: *методы обучения, физика, вопросы качества, учебный процесс*

Keywords: *teaching methods, physics, quality issue, teaching process*

Müasir cəmiyyətdə yaxşı təhsil yalnız məzunun anlayışlar və nəticələr sistemini yaxşı mənimsəməsindən deyil, həm də elmi axtarış metodologiyasına yiyələnməsindən, yaradıcılıq fəaliyyətinə və öz işinə görə məsuliyyət daşımağa qadir olmasından ibarətdir. Şagird ətrafda baş verənləri düzgün qiymətləndirməyi, səriştəli qərarlar qəbul etməyi bacarmalıdır, bunun üçün isə o, proseslərin gedişinə təsir edən amillərin bütün kompleksini təhlil etməyi, fərziyyələr irəli sürməyi və sübut etməyi, öz hərəkətlərinin real və mümkün nəticələrini dərk etməyi öyrənməlidir.

Fizika məktəb fənləri arasında xüsusi yer tutur. Tədris fənni kimi o, şagirdlərdə elmi dünya görüşünün formalaşmasına yönəldilmişdir. Fizika şagirdlərin yaradıcılıq qabiliyyətlərini, dünyagörüşü və inanclarını formalaşdırır, yüksək əxlaqlı şəxsiyyətin tərbiyəsinə kömək edir. Bu əsas təlim məqsədinə yalnız təlim prosesində bilikə maraq formalaşdıqda nail olmaq mümkündür.

Fizikaya marağı artırmaq üçün effektiv vasitə və metodlardan biri keyfiyyət məsələlərinin həllidir. Keyfiyyət məsələlərinin əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onlarda diqqət fiziki hadisələrin keyfiyyət tərəfinə, cisimlərin, maddənin, proseslərin xassələrinə yönəldilir. Bu cür məsələlərin həlli hadisənin fiziki mahiyyətinin təhlilini, fərziyyələrin qurulmasını və əsaslandırılmasını tələb edir və müvafiq olaraq məntiqi və obrazlı təfəkkürün inkişafına kömək edir.

Keyfiyyət məsələlərinin həlli materialın daha dərinə mənimsənilməsinə kömək edir, hazırcavablığı, təfəkkürü inkişaf etdirir, fizikaya maraq oyadır. Keyfiyyət məsələləri, əgər onlarda məktəblilərin həyatda rastlaşdıqları təbiət hadisələrinin və ya faktların izahını vermək təklif olunursa, daha böyük maraq doğurur. [1]

Keyfiyyət məsələlərinin həlli prosesində yalnız fizika kabinetlərində deyil, təbiətdə, məişətdə, texnikada fiziki hadisələri müşahidə etmək və onları fərqləndirmək bacarığı aşılanır. Hazırcavablıq, fərasət, yaradıcı təxəyyül inkişaf edir. Keyfiyyət məsələlərinin həlli metodlarına yiyələnmək şagirdlərə onları müxtəlif məsələlərin həllində yaradıcılıqla tətbiq etməyə və öz bilik sahəsini müstəqil şəkildə genişləndirməyə imkan verəcəkdir. Məhz bu amil şagirdlərin intellektual təşəbbüskarlığının və yaradıcılıq fəallığının inkişafına kömək edir. Keyfiyyət məsələlərindən istifadə xüsusilə əsas məktəbdə vacibdir, çünki burada materialın böyük hissəsi keyfiyyət səviyyəsində nəzərdən keçirilir. Bundan başqa, keyfiyyət məsələləri həm əsas, həm də orta məktəb planlarına daxil edilmişdir.

Pedaqoqlar və metodistlər fizika üzrə bütün məsələləri kəmiyyət və keyfiyyət məsələlərinə bölürlər. Hansı məsələlər keyfiyyət məsələlərinə aiddir? Keyfiyyət məsələlərinin ilk təriflərindən birini M. E. Tulçinski vermişdir: "Nəzərdən keçirilən fiziki hadisənin keyfiyyət tərəfi ilə bağlı problemlərdən birinin həll edilməsi üçün qoyulduğu, fizika qanunlarına əsaslanan məntiqi nəticələr, rəsm çəkmək və ya təcrübə aparmaq yolu ilə həll olunan, lakin riyazi hesablamalar tətbiq edilmədən həll olunan məsələyə keyfiyyət məsələsi deyilir".[3]. Keyfiyyət məsələsi üçün zəruri və kafi şərt həll prosesində ədədlərlə və ya hərflərlə aparılmasından asılı olmayaraq,

ümumiyyətlə hesablamaların olmaması tələbidir"[1] Eyni zamanda o qeyd edir ki, keyfiyyət məsələlərinin həlli prosesində bəzən hesablamalar aparmaq, bəzi məsələlərdə isə kiçik düstür çıxarırları etmək tələb olunur. Buna görə də biz keyfiyyət məsələsi ilə məsələ adlandıracağıq ki, onun həlli məntiqi mülahizə zənciri qurmaqla həyata keçirilir və məcburi riyazi çıxarırlar və hesablamalar tələb etmir, istifadə olunan hesablamalar isə ciddi və tam məntiqi formal nəticələr sistemi təşkil etmir. Bütün düstür çevrilmələrindən yalnız keyfiyyət təhlili üçün istifadə olunur, hesablamalar isə kəmiyyət qiymətləndirməsi üçün aparılır.

Təcrübə göstərir ki, keyfiyyət məsələlərinin həlli çox vaxt böyük çətinliklər yaradır. Çünki keyfiyyət məsələlərində nadir hallarda hər hansı fiziki kəmiyyətlərin qiymətləri verilir, sual həmişə axtarış mövzusunə birbaşa göstərişlər vermir: "Nə etməli ki...?", "Hansı şəraitdə...?" və s. Üstəlik, keyfiyyət məsələləri çox vaxt yalnız bir sualdan ibarət olur, müddəalar isə gizli formada çıxış edir. Buna görə də verilənləri və tələbi ayırd etmək üçün adətən məsələ mətninin yenidən formalaşdırılması tələb olunur.

Fizikadan keyfiyyət məsələlərinin həllində analitik-sintetik metod tətbiq olunur. Bu metodun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, induksiya (bir çox xüsusi nümunələr əsasında: sinifdə təcrübələr, şagirdlərin həyat təcrübəsindən əyani nümunələrin təhlili, laboratoriya işləri və bu kimi - verilmiş hadisələr üçün ümumi qanunauyğunluq müəyyən edilir, qanun formalaşdırılır) və deduksiya (ümumi fizika qanunları konkret hala tətbiq edilir) istifadə edilməklə fizika qanunlarına əsaslanan məntiqi nəticələr qurulur. Bu həll metodunda keyfiyyət məsələsinin məzmununun təhlili yolu ilə ilk növbədə şagirdlərə bu mövzu üzrə məlum olan ümumi qanunauyğunluqlardan istifadə olunur. Bundan sonra məsələdə təsvir olunan hadisənin konkret necə izah edilməli olduğu aydınlaşdırılır. Məsələnin cavabı təhlilin tamamlanmasından nəticə kimi alınır. Keyfiyyət məsələlərində şərtlərin təhlili tələb olunan, əsaslandırılmış cavabın alınması ilə sıx bağlıdır.[2]

Keyfiyyət məsələlərinin həlli metodikasını təhlil edərək, onları iki qrupa ayıraq. a) Sadə keyfiyyət məsələləri (bunları sual-məsələlər adlandırırlar) ki, onların həlli adətən bir fiziki qanuna əsaslanır. b) Bir neçə sadə məsələnin məcmusu və ya kombinasiyası kimi təqdim olunan mürəkkəb keyfiyyət məsələləri. Onları həll edərkən daha mürəkkəb mülahizə zəncirləri qurmaq, bir neçə fiziki qanunauyğunluğu təhlil etmək lazım gəlir. [2]

Sadə keyfiyyət məsələsinin həlli beş mərhələdə həyata keçirilir.

1. Məsələnin şərti ilə tanışlıq. Məsələ mətninin diqqətlə oxunması, bilinməyən terminlərin, konstruksiya detallarının adlarının, rəsm detallarının və s. aydınlaşdırılması. Həlli bu məsələnin həllinin məqsədi olan əsas sualın dərk edilməsi (nə məlumdur? nəyi müəyyən etmək tələb olunur? məsələdə hansı sual əsasdır? məsələnin həllinin son məqsədini necə ayırd etmək olar?).

2. Məsələnin şərtinin dərk edilməsi. Məsələ şərtinin təhlili (məsələnin şərti nədən ibarətdir? nə verilmişdir? nə məlumdur?). Məsələdə təsvir olunan fiziki hadisələrin təhlili (məsələdə hansı hadisələr, faktlar, cisimlərin xassələri, sistemin vəziyyəti və s. təsvir edilmişdir? onlar arasında hansı əlaqə var?). Məsələdə verilmiş və ya onun həlli prosesində qurulmuş qrafikin, rəsmi, şəklin, sxemin və s. ətraflı nəzərdən keçirilməsi. Birmənalı cavab almaq üçün əlavə dəqiqləşdirici şərtlərin daxil edilməsi.

3. Məsələnin həlli planının tərtib edilməsi. Məsələnin sualından başlayaraq ya onun şərtinin verilənləri, ya da aparılmış təcrübənin nəticəsi, ya da cədvəl məlumatları, ya da qanunların və fiziki kəmiyyətlərin təriflərinin ifadələri ilə bitən analitik mülahizə zəncirinin qurulması.

4. Məsələnin həlli planının həyata keçirilməsi. Müvafiq qanunların, fiziki kəmiyyətlərin təriflərinin ifadəsi ilə, cismin xassələrinin, keyfiyyətlərinin, vəziyyətlərinin təsviri ilə başlayan və məsələnin sualına cavabla bitən sintetik mülahizə zəncirinin qurulması.

5. Cavabın yoxlanılması.

Mürəkkəb keyfiyyət məsələsinin həlli də beş mərhələdə həyata keçirilir, lakin məsələnin şərti ilə tanışlıq zamanı onun əsas sualına, həllinin son məqsədinə diqqət yetirilir. Məsələnin həlli planının tərtib edilməsində müvafiq qanunların ifadəsi ilə başlayan və verilmiş məsələnin sualına cavabla bitən analitik mülahizə zənciri qurulur. Cavabı onu fizikanın ümumi prinsipləri (enerjinin, kütlənin, yükün saxlanması qanunları və s.) ilə müqayisə edərək yoxlamaq olar.

Məsələ: Kerosinə üzən taxta bloka təsir edən qaldırıcı qüvvəsi dəyişəcəkmi (və dəyişəcəksə necə), əgər blok kerosindən suya köçürülsə?

1. Məsələnin şərti ilə tanışlıq (məsələnin mətni oxunur).
2. Məsələnin şərtinin dərk edilməsi. Bu məsələ situasiyası hansı fiziki hadisəni nəzərdən keçirir? (Arximed qüvvəsinin mayeyə batırılmış cismə təsiri, cisimlərin üzməsi). Verilmiş situasiyanı təsvir edirik. Kerosinə üzən taxta blok kerosindən suya köçürülür.
3. Məsələnin həlli planının tərtib edilməsi. Fizikanın hansı bölməsinə aid biliklər bu məsələni həll etməyə imkan verir? Arximed qüvvəsi, cisimlərin mayədə üzmə şərtləri. Cisimlərin mayədə üzmə şərtləri aydınlaşdırılır.
4. Məsələnin həlli planının həyata keçirilməsi. Mayədə üzən cismə təsir edən qaldırma qüvvəsi ağırlıq qüvvəsini tarazlayır. Kerosinə üzən taxta blok, suyun sıxlığı kerosinin sıxlığından böyük olduğu üçün suda daha da batmaz. Su və kerosində qaldırma qüvvələri eyni ağırlıq qüvvəsini tarazlayır, lakin bu zaman blokun batırılmış hissəsinin həcmi dəyişir.
5. Cavabın yoxlanılması. Qaldırma qüvvəsi dəyişməyəcək. $F_A = \rho_k g V_k$ - kerosinə batırılmış bloka təsir edən Arximed qüvvəsi. $F_A = \rho_s g V_s$ - suya batırılmış bloka təsir edən Arximed qüvvəsi. $F = mg$ - ağırlıq qüvvəsi, $F_A = F$ - cisimlərin üzmə şərti.

Keyfiyyət məsələlərindən yeni materialın izahı prosesində, biliklərin təkrarı və ümumiləşdirilməsi zamanı, bilikləri praktikada tətbiq etmək bacarıq və vərdislərinin inkişaf etdirilməsində, habelə şagirdlərin biliklərinin yoxlanılması zamanı istifadə oluna bilər. Keyfiyyət məsələləri fizika üzrə müstəqil və yoxlama işlərinə, həmçinin şagirdlərin ev tapşırıqlarına daxil edilir.

Ədəbiyyat

1. Mirzəyev B., Cəlilova S. Məktəb fizika kursundan məsələlərin həlli metodikası. Bakı. "Nurlan", 2008 -131 səh.
1. 2 .Xasməmmədov T. Orta məktəbdə Fizikanın tədrisi metodikası. Maarif nəşriyyatı. Bakı 1973-219 səh.
2. Качественные задачи по физике в средней школе. Тульчинский М.Е. Пособие для учителей. М.:Просвещение, 1972. 240 с.
3. Perelman Y.İ. Əyləncəli məsələlər və təcrübələr. Bakı, Maarif 1979. 230 səh

Xülasə

Fizikanın məqsədi şagirdlərdə elmi dünyagörüşünü formalaşdırmaqdır. Bu, onların yaradıcılığına, dünyagörüşünə, əqidəsinə təkan verir, yüksək əxlaqi prinsiplərin formalaşmasına şərait yaradır. Təhsil əsas məqsədinə yalnız biliyə öyrənməyə marağı artırıqla nail olmaq mümkündür. Fizikaya marağı artırmaq üçün effektiv vasitə və üsullardan biri keyfiyyət xarakterli məsələlərin həllidir. Problemin belə həlli materialı cəlbedici və başadüşülən edir.

Summary

Physics is aimed at the formation of a scientific worldview in students. It forms the creative abilities, worldview and beliefs of students, contributes to the upbringing of a highly moral personality. This main educational goal can be achieved only when interest in knowledge is formed in the learning process. One of the effective means and methods for increasing interest in physics is the solution of qualitative problems. Thanks to them, the material becomes interesting, and therefore understandable.

III BÖLMƏ
MATERIALŞÜNASLIQ VƏ ONUN TƏTBİQİ
FƏRQLİ BİŞİRMƏ ÜSULLARI İLƏ ALINMIŞ OVUNTU ALÜMINIUM
KOMPOZISIYALARIN STRUKTUR XÜSUSİYYƏTLƏRİ VƏ XASSƏLƏRİ

Yaqubov E. K., Hüseynov E. C.

Gəncə Dövlət Universiteti

Açar sözlər: metal ovuntusu, bişirmə, sıxlaşdırma, matrisa, qızdırılma rejimi

Ключевые слова: алюминий, металлический порошок, спекание, уплотнение, матрица, режим нагрева.

Keywords: aluminum, metal powder, sintering, compaction, matrix, heating mode.

GİRİŞ

Müasir dövrün texniki və texnoloji tələblərinə uyğun olan yüksək keyfiyyətli konstruksiya materialları arasında alüminium əsaslı kompozitlər xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [1]. Alüminium əsaslı ərintilərdən məmulat hazırlanmasında onların sonrakı emal və istismar proseslərinə əngəl törədə biləcək bir çox qüsurların meydana gəlməsini qabaqlamaq, eləcə də kütləvi istehsal şəraitində mürəkkəb komponentli, yekcins mikrostruktura malik ərintilər almaq məqsədilə ovuntu metallurgiyası geniş tətbiq edilir [2,3]. Məmulatların alüminium ovuntularından hazırlanması onların daha dəqiq forma və ölçülərini təmin etməklə yanaşı, həm də bir sıra xassələrinin keyfiyyətə yüksəlməsinə imkan yaradır ki, bu səbəbdən də ovuntu texnologiyası tədricən təzyiq altında tökməni əvəzləyir [4]. Bu cür məmulatlar istər iqtisadi, istərsə də texniki göstəricilər baxımından ənənəvi üsullarla alınan analoqlarını qabaqlayır.

Alüminium əsaslı kompozisiya materiallarının bişirilməsində "aktivləşdirilmiş" bişirmə üsulu geniş tətbiq tapmışdır. Bu cür bişirmə prosesində şıxtəyə xüsusi olaraq əlavə edilmiş elementlər hesabına kontakt sahələrində yaranan maye faza prespəstahın sıxlaşdırılmasına kömək edir. Alüminium ovuntularına ikinci faza kimi çətin əriyən metal hissəciklərinin əlavə edilməsi onların plastiklik xassələrini saxlamaqla yanaşı, möhkəmlik, bərklik, istiyə və yeyilməyə davamlılıq kimi göstəriciləri yüksəltməyə, sürtünmə və xətti genişlənmə əmsallarını isə aşağı salmağa imkan verir. Yüksək özlülüyü ilə seçilən alüminiumun tərkibinə mis əlavə etdikdə özlülüyün bir qədər azalması fonunda bərkliyin artması müşahidə olunur. Misin miqdarının artması ilə bərkliklə yanaşı dartılmaya möhkəmlik də artır [5]. Müəyyən edilmişdir ki, alüminium əsaslı ovuntu kompozisiyalarda misin miqdarının artması onların korroziya göstəricilərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmir. Al-Cu sistemi ərintiləri termiki emal edilərək yüksək möhkəmlik ($\sigma_B \approx 500-550$ MPa) və özlülük vəziyyətinə çatdırılır ki, bu da onların aviasiya texnikasında və digər növ nəqliyyat vasitələrinin istehsalında tətbiqini daha səmərəli edir [6]. Alüminium əsaslı funksional materialların yaradılmasında perspektiv istiqamətlərdən biri də möhkəmləndirici faza kimi alüminidlər — alüminiumla keçid metalların intermetallik birləşmələrindən istifadə olunmasıdır. Al-Cu ərintiləri ilə yanaşı Al-Mn ərintiləri də texniki maraq kəsb edir. Onların başlıca cəhətləri yüksək plastiklik, korroziyaya davamlılıq, istilikkeçirmə əmsalının böyüklüyüdür [7]. Manqanın mövcudluğu strukturda Al_6Mn dispers hissəciklərinin əmələ gəlməsinə səbəb olur, nəticədə dislokasiyaların hərəkəti çətinləşir, bu da möhkəmliyin artmasına gətirir.

Məqalədə yüksək möhkəmlik və plastikliyə, eləcə də dövrü yorğunluğa qarşı davamlılığa malik olan kompozisiyanın alınması məqsədilə Al-Cu-Mn tərkibli ərintilər üzərində tədqiqat

işinin nəticələri verilmişdir. Qığılıcı-plazma bişirməsinin maqneziumla legirlənmiş alüminiumun xassələrinə təsiri ətraflı şəkildə şərh olunmuşdur [8].

TƏDQİQATIN METODİKASI

96% texniki təmizliyə malik olan və hissəciklərinin orta ölçüsü <40 mkm təşkil edən Al, Mn və Cu ovuntularını proporsional miqdarda 1 saat müddətində qarışdırmaqla $Al_{65}Cu_{20}Mn_{15}$ nominal tərkibi alınmışdır. Qarışıq tərkibli kompozisiyanı təşkil edən silindrik qranullar hidravlik presdə 400 MPa təzyiq altında sıxlaşdırılmışdır. Alınmış prespəstahların ilkin sıxlığı nəzəri göstəricinin 72%-ni təşkil etmişdir. Prespəstahın molibden disilisid ($MoSi_2$) tərkibli qızdırıcı elementi olan yüksək temperaturlu kamera sobasında bişirilməsi zamanı qızdırılma sürəti $5^{\circ}C/dəq$ təşkil etmişdir. Bişirmə prosesi $525^{\circ}C$ temperaturda bir saat müddətində davam etmiş, nümunənin sıxlığı hidrostatik üsulla təyin edilmişdir.

Digər halda prespəstahın bişirilməsi üçün elektrik cərəyanının gücü 6 kVt, tezliyi 2,45 GHz olan mikrodalğalı sobadan istifadə olunmuşdur. Bişirilən nümunənin bütün hissələrində yüksək temperaturun bərabər paylanması üçün o, çoxqatlı izoləedici materialdan hazırlanmış paketə yerləşdirilmişdir. Nümunələrin mikrodalğalı sobada qızdırılma sürəti $40^{\circ}C/dəq$ olmuş və onlar 10 dəqiqə müddətində bişirmə temperaturunda saxlanılmışlar.

Prespəstahı bişirmək üçün qığılıcı-plazma sobasından istifadə olunaraq nümunələr $100^{\circ}C/dəq$ sürəti ilə qızdırılmış və bişirmə temperaturunda 5 dəqiqə müddətində saxlanıldıqdan sonra soba ilə birlikdə soyumağa buraxılmışdır. Bişirmə ilə eyni zamanda nümunənin 50 MPa təzyiq altında biroxluxem üzrə preslənməsi yerinə yetirilmişdir. Mikrobərklik Vikkers cihazında 0,2 N yükün 10 saniyə müddətində tətbiqi ilə təyin edilmişdir:

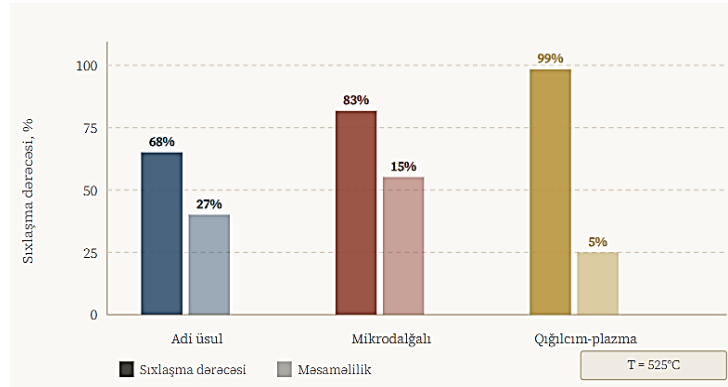
$$HV = 1,854 \cdot P / l^2$$

Burada, HV–vikkers şkalası üzrə mikrobərklik; P–indentora təsir edən sınaq yükü (N); l–diaqonalların orta uzunluğudur (mm).

Mexaniki xassələri təyin etmək üçün uzunluğu 26 mm olan silindrik nümunələr dartıcı sınaq maşınında 20 kN yükün tətbiqi ilə $3,3 \times 10^{-4} \text{ san}^{-1}$ sürətlə deformasiyaya uğradılmışdır. Elektrokimyəvi korroziyaya müqaviməti təyin etmək üçün nümunələr cilalanmış və elektrokimyəvi özək vasitəsilə elektrod potensialı ölçülmüşdür. Müqayisə üçün kalomel elektrodan, köməkçi elektrod kimi qrafit çubuqdan, elektrolit olaraq 0,1 mol/l qatılıqlı HCl məhlulundan istifadə olunmuşdur. Ştern üsulu ilə [9] korroziya parametrləri aşağıdakı empirik asılılıqla təyin edilmişdir:

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏSİ

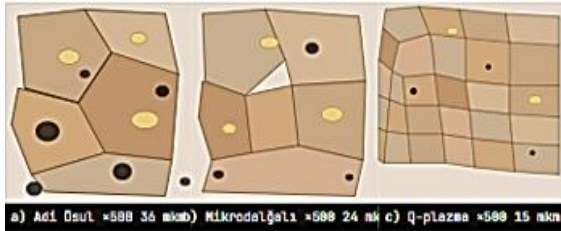
Sıxlıq. Adi, mikrodalğalı və plazma sobalarında bişirilmiş Al-Cu-Mn kompozisiyalı ərintilərin sıxlaşma prosesinin bişirmə üsulundan və tərkibdən asılılığı 1-ci şəkildə təsvir edilmişdir. Bişirmə üsulundan asılı olmayaraq sıxlaşma $525^{\circ}C$ -də baş verir. Plazma sobasında bişirilən prespəstahların analoqları ilə müqayisədə daha yüksək sıxlaşma dərəcəsi ($\approx 99\%$) müşahidə olunur. Bu göstəricini təzyiqin və yüksək qızdırılma sürətinin birgə təsiri ilə izah etmək olar.



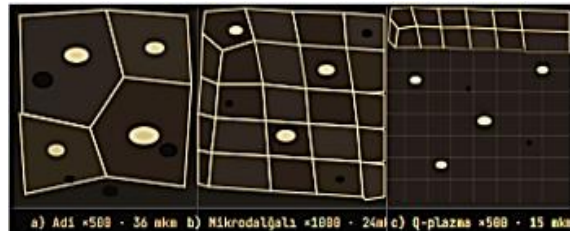
Şəkil 1. Müxtəlif üsullarla bişirmədə ovuntu kompozisiyaların sıxlaşma dərəcələrinin müqayisəsi

Mikrostruktur. 2 və 3-cü şəkillərdə müxtəlif üsullarla bişirilmiş kompozisiyalarındaxili strukturunun optik və elektron mikroskop vasitəsilə alınmış görüntüləri əks olunmuşdur. Strukturda nəzərə çarpan az miqdarda boşluqlar (27%) adi üsulla bişirilmiş nümunələrdə müşahidə olunmuşdur. Lakin qızdırılma sürətinin dəyişməsi ilə onların əksəriyyəti tədricən aradan qalxmışdır. Nəticədə qığılıcım-plazma üsulu ilə 525°C temperaturda bişirilmiş Al əsaslı kompozisiyanın sıxlaşma dərəcəsi 99% təşkil etmişdir.

Mikrostruktura nəzər saldıqda mis və manqanın alüminium matrisada yayıldığı görünür. Qığılıcım-plazma prosesi nəticəsində alınan mikrostruktur adi üsuldakına nisbətən daha narın olur, çünki bu halda qızdırılma sürəti yüksək olduğundan dənənin böyüməsini qabaqlayır [10]. Müşahidə olunan intermetalliklər əsasən Al₂Cu və AlCu-dur.

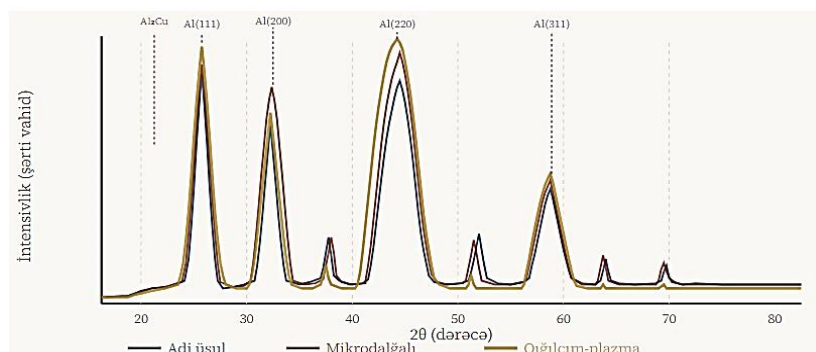


Şəkil 2. Al₆₅Cu₂₀Mn₁₅ kompozisiyasının aşılانmış səthinin optik mikroqrafı, ×500: a) adi üsulla bişirmə; b) mikrodalğalı bişirmə; c) qığılıcım-plazma bişirməsi



Şəkil 3. Al₆₅Cu₂₀Mn₁₅ kompozisiyasının aşılانmış səthinin elektron mikroqrafı: a) adi üsulla bişirmə, ×500; b) mikrodalğalı bişirmə, ×1000; c) qığılıcım-plazma bişirməsi, ×500.

4-cü şəkildə hər üç üsulla bişirilmiş Al₆₅Cu₂₀Mn₁₅ nümunələrinin rentgen difraktoqramı göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi adi və mikrodalğalı sobada bişirilmə zamanı alınan nümunənin tərkibindəki intermetallik fazaların miqdarı qığılıcım-plazma sobalarındakına nisbətən xeyli çoxdur.



Səkil 4. Al₆₅Cu₂₀Mn₁₅ kompozisiyasından adi, mikrodalğalı və qığılıcıml-plazma

Mikrobərklik. 1-ci cədvəldə bişirilmiş nümunələrin mikrobərkliyi və dənələrinin ölçüsü haqqında məlumatlar verilib. Adi və mikrodalğalı üsullarla bişirilmiş nümunələrin mikrobərkliyində ciddi fərq olmayıb.

Cədvəl 1.

Bişirilmiş nümunələrin mikrobərkliyi və dənələrinin ölçüləri

Kompozisiya Al ₆₅ Cu ₂₀ Mn ₁₅	Adi üsulla bişirilən, HV _{0.02}	Mikrodalğalı üsulla bişirilən, HV _{0.02}	qığılıcıml-plazma üsulu ilə bişirilən, HV _{0.02}
Mikrobərklik	57.3±1.2	63.06±0.8	116.04±0.45
Dənənin ölçüsü	36 mkm	24 mkm	15 mkm

Dartılmaya sınaq. Bişirilmiş Al₆₅Cu₂₀Mn₁₅ kompozisiyaların möhkəmlik və plastiklik göstəriciləri 2-ci cədvəldə ümumiləşdirilmiş formada verilib. Dartılmada möhkəmlik, axıcılıq həddi və plastiklikliyin dəyişməsi mikrobərklikdə müşahidə olunan tendensiya ilə oxşar xarakterə malikdir.

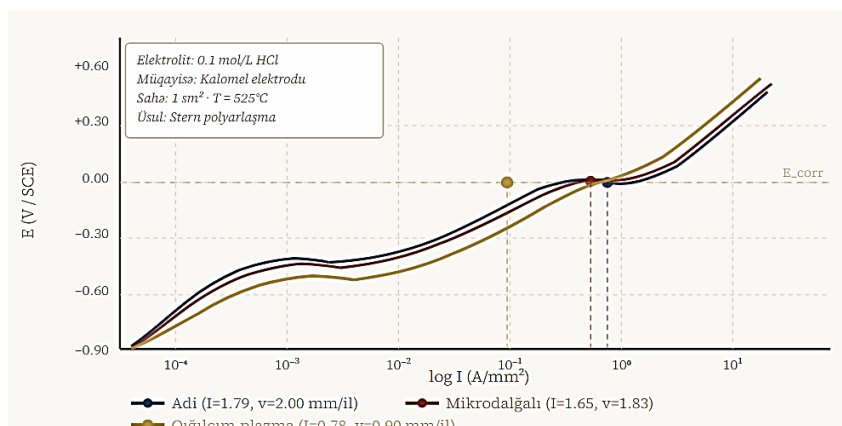
Cədvəl 2.

Al₆₅Cu₂₀Mn₁₅ kompozisiyalarının dartılmaya möhkəmliyi, axıcılıq həddi və nisbi uzanma dərəcəsi

Bişirilmə üsulu	Möhkəmlik həddi, MPa	Axıcılıq həddi, MPa	Nisbi uzanma, %
Ənənəvi	45±3,5	32±1,2	5±0,5
Mikrodalğalı	63±2,1	51±1,7	12±0,3
Qığılıcıml-plazma	89±1	67±0,2	23±0,1

Xassələrin öyrənilməsi zamanı Al əsaslı ovuntuların qığılıcımlar-plazma üsulu ilə bişirilməsi digər üsullar qarşısında bir sıra üstünlükləri ilə seçilir. Həmin nümunələrin daxili quruluşu xırda dənəli olduğu üçün onların möhkəmliyi ilə yanaşı plastikliyi də kifayət qədər yüksəkdir.

Korroziyaya davamlılıq. 5-ci şəkildə 525°C-də bişirilmiş nümunələrin potensiodinamiki polyarlaşma əyriləri təsvir olunub. Göründüyü kimi, qığılıcımlar-plazma üsulu ilə bişirilmiş



Şəkil 5. 525°C-də Al65Cu20Mn15 kompozisiyasından bişirilmiş nümunələrin polyarlaşma əyriləri

nümunələrin korroziya cərəyanı digərləri ilə müqayisədə daha yüksək sıxlığa malikdir.

3-cü cədvəldə bişirilmiş nümunələrin potensiodinamiki polyarlaşma göstəriciləri verilmişdir. Göründüyü kimi adi üsulla bişirilən nümunələr digərləri ilə müqayisədə aşağı potensial fərqi ilə yanaşı, daha yüksək cərəyan sıxlığına və korroziya sürətinə malikdirlər.

Cədvəl 3.

Al65Cu20Mn15 kompozisiyalarının potensiodinamik polyarizasiya göstəriciləri.

Bişirilmə üsulu	$I_{kor.}$ (A/mm ²)	$E_{kor.}$ (V)	Korroziya sürəti (mm/il)
Ənənəvi	1,7918	-0,002	2,003
Mikrodalğalı	1,6466	0,007	1,826
Qığılıcımlar-plazma	0,7752	0,001	0,903

NƏTİCƏ

Al65Cu20Mn15 kompozisiyasından ovuntu metallurgiyasının müxtəlif bişirilmə metodları ilə standart nümunələr hazırlanmış və onların mühüm fiziki-mexaniki göstəriciləri təyin olunmuşdur. Bərklik, möhkəmlik, plastiklik və sıxlığın təyin edilməsi nəticəsində ən yüksək göstəricilərin qığılıcımlar-plazma üsulu ilə bişirilən nümunələrə aid olduğu müəyyən edilmişdir.

Mikroskopik və rentgenstruktur tədqiqatlarının nəticələri göstərir ki, mikrodalğalı və qığılıcımlar-plazma sobalarında bişirilən nümunələr adi üsulla bişirilənlərə nisbətən daha xırda dənəli struktura və kiçik ölçülü məsələlərə malikdir.

Potensiodinamik tədqiqatlar nəticəsində qığılıcımlar-plazma üsulu ilə bişirilmiş nümunələrin korroziyaya davamlılığının digər anoloqlara nisbətən daha yüksək olduğu müəyyən edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. В.Г.Гопиенко, М.Е.Смагоринский, А.А.Григорьев. Спеченные материалы из алюминиевых порошков, Москва, Металлургия, (1993) 317.
2. FV Beaumont. Aluminium P/M: Past, Present and Future. *International Journal of Powder Metallurgy*, 36(6) (2000) 41-43.
3. П.А.Витязь, В.М.Капцевич, А.Г.Косторнов, В.К.Шелег, В.П.Георгиев и др. Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов, Москва, Металлургия, (1993) 240.
4. И.М.Федорченко. Развитие работ в области высокопористых материалов из 103 металлических порошков и волокон, Порошковая металлургия, № 9 (1979) 25-35.
5. GB Schaffer, TB Sercombe, RN Lumley. Liquid phase sintering of aluminium alloys, *Materials Chemistry and Physics*, 67(1-3), (2001) 85-91.
6. A.Udomphol. Aluminium and its alloys, Nakhon Ratchasima, Suranaree University of Technology, (2007)..Available from: http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/05_Titanium%20and%20titanium%20alloys.pdf Access in: 17/02/2018.
7. AG Whittaker, DM Mingos. Microwave-assisted solid-state reactions involving metal powders. *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*. 12 (1995) 2073-2079.
8. G.Xie, O.Ohashi, T.Sato, N.Yamaguchi, M.Song, K.Mitsuishi, et al. Effect of Mg on the Sintering of Al-Mg Alloy Powders by Pulse Electric-Current Sintering Process, *Materials Transactions*, 45(3), (2004) 904-909.
9. E.Bardal. G. Xie, O. Ohashi, M.Song, K.Furuya, T.Noda. Behavior of oxide film at the interface between particles in sintered Al powders by pulse electric-current sintering Corrosion and Protection, London, Springer Science, *Metallurgical and Materials Transactions A*. 34(3), (2003) 699-703.
10. GA Sweet, M. Brochu, RL Jr. Hexemer, IW Donaldson, DP Bishop. Microstructure and mechanical properties of air atomized aluminum powder consolidated via spark plasma sintering, *Materials Science and Engineering, A*. 608, (2014) 273-282.

Summary

In the presented research work, the influence of the parameters of the heating mode on the structure and mechanical properties of the material during sintering of samples from powder materials based on Al containing 20% Cu and 15% Mn is considered. The samples were sintered at 525 ° C by conventional, microwave and spark plasma methods. Based on the results obtained, we noted that the samples prepared by the spark plasma method have higher mechanical characteristics than the samples prepared by the other two methods. On the basis of microstructural studies performed using optical microscopy, it was concluded that due to the properties of high-speed heating of the spark plasma device, the microstructure of the sample obtained here is of a higher quality than others.

Резюме

Рассмотрено влияние параметров режима нагрева на структуру и механические свойства материала при спекании образцов из порошковых материалов на основе Al, содержащих 20% Cu и 15% Mn. Образцы спечены при 525°С обычным, микроволновым и искровым плазменным методами. На основании полученных результатов отмечено, что образцы, приготовленные искровым плазменным методом, обладают более высокими

механическими характеристиками, На основании микроструктурных исследований, выполненных методом оптической микроскопии, определено, что микроструктура образцов полученных искровым плазменным спеканием более мелкозерниста и однородна.

KORROZIYA PROSESLƏRİNİN ELEKTROKİMYƏVİ MEXANİZMLƏRİNİN MATERIALLARIN DAVAMLILIĞINA TƏSİRİ

Cavadov E. M.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

Açar sözlər: korroziya, elektrokimyəvi mexanizmlər, passivləşmə, mikrostruktur, nanomateriallar, katodik qoruma, qoruyucu örtüklər, materialların davamlılığı

Ключевые слова: коррозия, электрохимические механизмы, пассивация, микроструктура, наноматериалы, катодная защита, защитные покрытия, долговечность материалов

Keywords: corrosion, electrochemical mechanisms, passivation, microstructure, nanomaterials, cathodic protection, protective coatings, material durability

Korroziya, metalların və onların müxtəlif ərintilərinin kimyəvi və elektrokimyəvi təsir altında zamanla struktur dəyişikliklərinə uğraması və parçalanması prosesidir. Bu fenomen yalnız materialların mexaniki dayanıqlığını zəiflətdiyi üçün önəmli deyil, eyni zamanda onların uzunmüddətli istifadə potensialına və təhlükəsizliyinə də ciddi şəkildə təsir edir. Korroziya nəticəsində metal səthlərində çatlar, çuxurlar və lokal zəifləmələr əmələ gəlir, bu isə nəticədə konstruktor elementlərinin bütövlüyünü pozur. Müasir sənayedə korroziya yalnız mexaniki performans üçün deyil, həm də iqtisadi səmərəlilik, enerji təhlükəsizliyi və konstruksiyaların etibarlılığı baxımından strateji əhəmiyyətə malikdir. Xüsusilə enerji istehsalı, neft-kimya sənayesi, aerokosmik texnologiyalar və nəqliyyat sahələrində korroziya hadisələrinin idarə olunması kritik rola malikdir, çünki bu proseslərin idarə edilməməsi həm maddi zərərlərə, həm də təhlükəsizlik risklərinə səbəb ola bilər [1].

Elektrokimyəvi mexanizmlər korroziyanın əsas aparıcı qüvvəsini təşkil edir. Metal səthində anod və katod sahələri yaranır. Anod sahəsində metal atomları elektron verərək ionlaşır və məhlula keçir, bu isə metalların itirilməsinə gətirib çıxarır. Katod sahəsində isə reduksiya reaksiyaları baş verir: oksigen və ya su molekulaları elektron qəbul edir və bunun nəticəsində katod reaksiyaları tamamlanır. Bu proseslər metalların səthi ilə məhlul arasında elektron axını və ion mübadiləsini təmin edir, nəticədə korroziya prosesi davamlı olur. Temperatur artımı isə ionların diffuziyasını və səth reaksiyalarının sürətini artıraraq korroziya sürətinin eksponensial artmasına səbəb olur [2].

Korroziya yalnız sadə kimyəvi reaksiyalarla məhdudlaşmır. Onun intensivliyi həm termodinamik, həm də kinetik amillərdən asılıdır. Məhlulun pH səviyyəsi, ion tərkibi, oksigen konsentrasiyası, hətta məhlulun viskozluğu korroziya sürətini birbaşa təsir edə bilər. Turş mühitdə, məsələn, Fe ionlarının disosiasiyası sürətlənir və oksidləşmə prosesi daha intensiv şəkildə gedir. Oksigenin mövcudluğu katod reaksiyalarını tamamlayaraq korroziyanın daha da sürətlənməsinə imkan yaradır. Eyni zamanda, yüksək temperatur və mexaniki gərginlik kimi əlavə amillər bu reaksiyaların kinetikasını dəyişərək lokal zədələnmələr yaradır [2].

Materialın mikrostruktur xüsusiyyətləri də korroziya davranışına əhəmiyyətli təsir göstərir. Dənə sərhədləri, daxilolmalar, ayrı-seçkiliklər və digər mikroanomaliyalar lokal elektrokimyəvi potensial fərqlərinin yaranmasına səbəb olur. Bu fərqlər lokal korroziya mərkəzlərinin

yarınmasına səbəb olur və xüsusilə çuxur korroziyası və interkristall korroziya hallarında nəzərə çarpır. Lokal anomaliyalar səthdə görünməyən zəif nöqtələr yaradır və zamanla çatlara çevrilir. Bundan əlavə, korroziya məhsullarının yığılması daxili stresslərə səbəb olur və bu, materialın yorulma davranışını dəyişdirir, nəticədə mexaniki dayanıqlıq daha da azalır [3].

Passivləşmə, metalların aqressiv mühitlərdən qorunmasında mühüm rol oynayan bir mexanizmdir. Passiv təbəqə, metal səthində nazik, kimyəvi sabit oksid filmi əmələ gətirir və bunun nəticəsində ion və elektron axını azalır. Bu isə oksidləşmə prosesini ləngidir. Alüminium, xrom və titan kimi metallar yüksək passivlik qabiliyyətinə malik olduğundan onlar korroziyaya qarşı daha davamlıdır. Lakin mexaniki təsir, örtük zədələnməsi və ya aqressiv mühit passiv təbəqəni poza bilər, bu isə korroziyanın yenidən aktivləşməsinə səbəb olur [1].

Korroziyanın qarşısını almaq üçün bir sıra metodlar tətbiq olunur. Katodik qoruma metodu metali daha mənfəəti potensiala malik xarici mənbəyə qoşaraq anod reaksiyalarını zəiflədir və oksidləşmə sürətini azaldır. Bu üsul xüsusilə boru xətləri, dəniz konstruksiyaları və sualtı obyektlər üçün səmərəlidir. Qoruyucu örtüklər — boyalar, polimerlər və kompozit örtüklər — metal səthi ilə ətraf mühit arasında həm kimyəvi, həm də fiziki bəyər funksiyasını yerinə yetirir. Son zamanlar nanostruktur örtüklər və aktiv inhibitorların istifadəsi korroziyanın daha effektiv şəkildə qarşısını almağa imkan verir. Bu cür örtüklər həm mexaniki, həm də kimyəvi təsirlərə qarşı dayanıqlıdır və metalın ömrünü əhəmiyyətli dərəcədə artırır [4].

Nanometrik dənə strukturları və fazalararası sərhədlər də korroziya davranışına təsir edir. Nanostruktur materiallarda sərhəd sahələrinin artması elektrokimyəvi potensial fərqlərini gücləndirir, nəticədə lokal korroziya sürəti yüksəlir. Koherent və qeyri-koherent sərhədlər dislokasiya hərəkətinə və gərginlik paylanmasına təsir edir, bu da mikroyaralanmalarla müşayiət olunur. Bu xüsusiyyətlər nanokompozit və yüksək möhkəmlikli ərintilərin hazırlanmasında nəzərə alınmalıdır [3].

Korroziya yalnız kimyəvi və elektrokimyəvi proseslərdən ibarət deyil; o, həm də termodinamik və kinetik komponentləri özündə birləşdirən kompleks bir sistemdir. Termodinamik yanaşma sərbəst enerjinin azalmasına yönəlmiş reaksiyaları izah edir, kinetik bəyər isə real reaksiyanın sürətini müəyyənləşdirir. Bu yanaşma korroziyanın modelləşdirilməsi, proqnozlaşdırılması və qoruyucu tədbirlərin effektiv hazırlanması üçün vacibdir [4].

Müasir materialşünaslıq, korroziya problemlərinin həllində nanostruktur mühəndisliyi, passiv təbəqələrin optimallaşdırılması, qabaqcıl qoruyucu örtüklərin tətbiqi və real mühitdə eksperimental testlərin istifadəsini ön plana çıxarır. Bu yanaşmalar materialların həm mexaniki, həm də kimyəvi dayanıqlığını artırır və sənaye obyektlərində uzunömürlü, etibarlı sistemlərin qurulmasına imkan verir. Korroziya tədqiqatları həm fundamental materialşünaslıq, həm də praktiki mühəndis problemlərinin həlli üçün kritik əhəmiyyət kəsb edir, çünki onlar metalların ömrünü uzadır və texnoloji proseslərin etibarlılığını təmin edir [1].

Ədəbiyyat

1. Бахвалов Г.Т. Коррозия и защита металлов, Москва, Гос. научно-техн. изд-во, 2017.
2. В.Н.Вернигорова, Е.В.Королев, А.И.Еремкин, Ю.А.Соколова, Коррозия строительных материалов, Москва, Изд-во МГСУ, 2007.
3. О.Н.Новгородцева, Н.А.Рогожников, Коррозия металлов и методы защиты от коррозии, Москва, ЛитРес, 2019.
4. Branko N.P, Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems, Amsterdam, Elsevier, 2024.

Xülasə

Korroziya metalların və ərintilərin kimyəvi və elektrokimyəvi mühit təsiri altında zədələnməsi və parçalanması prosesidir. Bu proses materialların mexaniki dayanıqlığını azaldır, struktur bütövlüyünü pozur və istifadəsini məhdudlaşdırır. Məqalədə korroziya proseslərinin elektrokimyəvi mexanizmləri, anod və katod sahələrinin formalaşması, temperatur və pH-nın təsiri, həmçinin materialın mikrostrukturunu və passivləşmə rolu araşdırılır. Katodik qoruma və qoruyucu örtüklərin tətbiqi kimi qabaqcıl metodlar təqdim olunur. Nanostruktur materialların xüsusiyyətləri və fazalararası sərhədlərin korroziyaya təsiri izah edilir. Termodinamik və kinetik amillər, modelləşdirmə və proqnozlaşdırma üsulları ətraflı təsvir olunur. Müasir materialşünaslıq metodları ilə korroziya qarşısının alınması və materialların uzunömürlülüyünün təmin edilməsi vurğulanır. Bu tədqiqat sənaye tətbiqləri üçün praktik və fundamental əhəmiyyətə malikdir.

Резюме

Коррозия - это процесс разрушения и повреждения металлов и сплавов под воздействием химической и электрохимической среды. Этот процесс снижает механическую прочность материалов, нарушает их структурную целостность и ограничивает срок службы. В статье рассматриваются электрохимические механизмы коррозии, формирование анодных и катодных зон, влияние температуры и pH, а также роль микроструктуры и пассивации материала. Предлагаются современные методы защиты, включая катодную защиту и защитные покрытия. Описывается влияние наноструктурированных материалов и межфазных границ на коррозионное поведение. Подробно рассматриваются термодинамические и кинетические факторы, моделирование и прогнозирование. Современные подходы материаловедения позволяют предотвращать коррозию и обеспечивать долговечность материалов. Исследование имеет практическое и фундаментальное значение для промышленности.

Abstract

Corrosion is the process of degradation and damage of metals and alloys under chemical and electrochemical environmental effects. It reduces mechanical strength, compromises structural integrity, and limits service life. This paper analyzes electrochemical mechanisms of corrosion, formation of anodic and cathodic regions, effects of temperature and pH, and the role of material microstructure and passivation. Advanced protection methods, including cathodic protection and protective coatings, are presented. The influence of nanostructured materials and interphase boundaries on corrosion behavior is explained. Thermodynamic and kinetic factors, modeling, and prediction approaches are detailed. Modern materials science methods enable corrosion prevention and enhance material longevity. This research holds both practical and fundamental significance for industrial applications.

BƏRK CİSMLƏRİN MEXANİKİ XASSƏLƏRİ VƏ PRAKTİKİ TƏDBİQ İMKANLARI

Hüseynov V. İ.

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

Açar sözlər: deformasiya, dartılma, sıxılma, elastiki, plastiki, möhkəmlik, Huk qanunu, parabolik yanaşma, anharmonik yanaşma, praktik məqsədlər, mexaniki gərginlik, Yunq modlu.

Xarici qüvvənin təsiri altında baş verən deformasiya və bu deformasiya zamanı meydana çıxan xassələr, ümumikdə, mexaniki xassələr adlanır [1, səh. 140-141]. Bu xassələr materialın

daxili quruluşundan, quruluş elementləri arasındakı rabtə növündən, elementar özəyin quruluşundan, cismin yerləşdiyi fiziki şəraitdən və s asılı olaraq meydana çıxır. Mexaniki xassələr dedikdə əsasən aşağıdakılar başa düşülür:

1) Elastiklik- deformasiya edici mexaniki qüvvənin təsiri kəsildikdə cismin öz əvvəlki formasını tamamı ilə bərpa etməsi xassəsidir;

2) Plastiklik- qüvvənin təsiri kəsildikdən sonra qalığ deformasiyanın (əvvəlki vəziyyətin qismən bərpa olunması) müşahidə olunması xassəsidir;

3) Möhkəmlik- xarici qüvvənin böyük qiymətə malik olmasına baxmayaraq cismin sınımdan (dağılmadan) öz daxili strukturunu saxlaması xassəsidir;

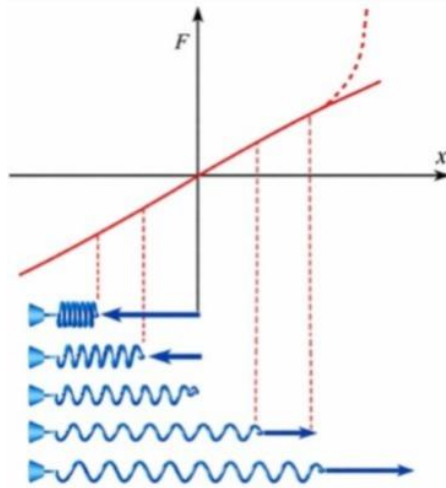
4) Kövrəklik- təsir edən qüvvənin qiymətinin kiçik olmasına baxmayaraq cismin dağılması, parçalanması xassəsidir;

5) Sərtlilik- aşqar cisimlərin tərkibə daxil oldasına və ya səthin mexaniki zədələr almasına qarşı göstərilən müqaviməti ifadə edir ;

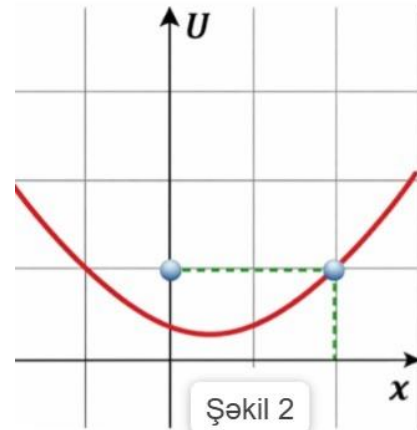
6) Plastik axıcılıq (yumuşaqlıq)- materialın xarici qüvvənin təsiri altında öz formasını asanlıqla dəyişdirmə xassəsidir.

Elastiki deformasiyanın: dartılma; sıxılma; burulma; əyilmə və sürüşmə növləri vardır. Biz dartılma və sıxılma növünü bir qədər ətraflı araşdıraraq. Elastiki deformasiyanın digər növləri kimi sıxılma və dartılma deformasiyasının da elastikiliyi – zərrəciklər arasındakı qarşılıqlı təsirin parabolik yanaşmaya uyğun gəlməsi ilə bağlıdır[1, səh. 141-144]. Bu yanaşmaya görə deformasiyaedici qüvvənin təsiri altında zərrəciklər arasında meydana çıxan qüvvələr, kvazielastiki xarakter daşıyır; yəni atomun tarazlıq vəziyyəti ətrafında baş verən elementar yerdəyişməsi zamanı meydana çıxan qüvvə, yerdəyişmə ilə düz mütənəsbib olub onun əksinə yönəlir(şəkil 1). Harmonik rəqsləri xatırladan bu xüsusiyyətinə görə parabolik yanaşmaya, bəzən harmonik yanaşmada deyilir; çünki harmonik rəqslərin yaranması, adətən kvazielastiki qüvvənin təsiri altında mümkün ola bilər. Düyünlərdə yerləşən quruluş elementlərinin arasında yaranan qarşılıqlı təsir enerjisi $U(x)$, tarazlıq vəziyyətindən olan (x) yerdəyişməsindən kvadratik (parabolik asılılıq) asılıdır (Şəkil 2). Mikrozzərrəciklər arasında meydana çıxan qüvvənin kvazielastiki olması, yaxud enerji-yerdəyişmə asılılığının parabolik olması, nəticə etibarilə, bütün makroskopik həcmdə deformasiyanın elastikliyi təmin edir.

Anharmonik yanaşmada, deformasiya zamanı zərrəciklər arasında yaranan qarşılıqlı təsir qüvvəsinin zərrəciyin elementar yerdəyişməsindən asılılığı, qeyri- xətti xarakter daşıyır. Həmçinin, zərrəciklər arasındakı qarşılıqlı təsir enerjisinin elementar yerdəyişmədən asılılığı, assimetrik parabola şəklində olur. Anharmonik yanaşmada qeyd etdiyimiz qeyri xəttilik və assimetrik parabola malik asılılıq, yekunda, baş verən deformasiyanın – plastiki deformasiya olmasına(yaxud qalığ deformasiyanın baş verməsi ilə nəticələnir) səbəb olur.



Şəkil 1



Şəkil 2

Elastiki deformasiyanı araşdırarkən Huk qanunundan istifadə edilir[2, səh.137-142]. Qanunun riyazi forması (1) düsturu şəklindədir:

$$F = -k\Delta L \quad (1)$$

Burada: ΔL - deformasiya məsafəsidir; F - deformasiya zamanı meydana çıxan elastiki qüvvədir; k - deformasiyaya uğrayan cismin sərtlilik əmsalıdır. Sərtlilik əmsalı vahid deformasiya zamanı meydana çıxan elastiki qüvvəni göstərir. Düsturdakı mənfi işarəsi elastiki qüvvənin deformasiyanın əksinə yönəldiyini ifadə edir. Sərtlilik əmsalı materialın növündən və cismin həndəsi ölçüsündən asılıdır. Bu asılılıq riyazi olaraq (2) düsturu şəklində ifadə olunur:

$$K = \frac{SE}{L_0} \quad (2)$$

Burada: S - materialın en kəsiyinin sahəsidir; L_0 - başlanğıc uzunluğudur; E - cismin hazırlandığı materialın Yunq modludur.

Cisim F qüvvəsinin təsiri altında sıxılma, yaxud dartılma deformasiyasına məruz qaldıqda baş verən mexaniki gərginlik (3) düstrundan istifadə etməklə hesablanır.

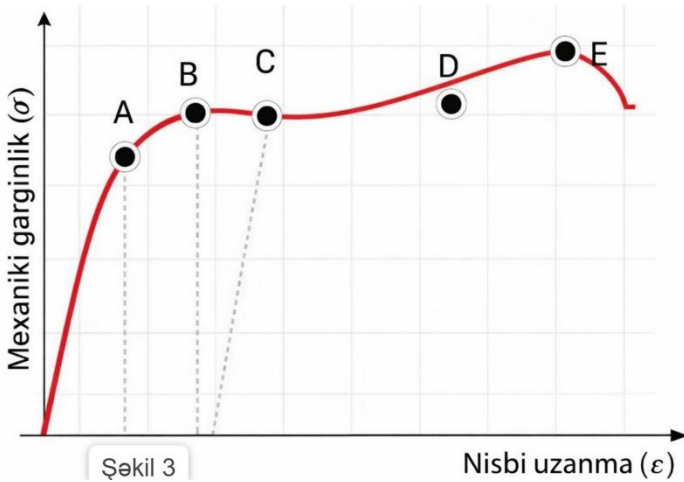
$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (3)$$

(1) , (2) və (3) düsturlarını birgə həll etməklə Huk qanununun (4) düsturu ilə ifadə olunan formasını alırıq:

$$\sigma = |\epsilon|E \quad (4)$$

Huk qanunun riyazi ifadəsindən Yunq modlunun ($E = \frac{\sigma}{|\epsilon|}$) fiziki mənasını müəyyən edə bilərik: Yunq modulu- cismin özü qədər uzanması zamanı meydana çıxan mexaniki gərginliyi göstərir. Fiziki mənasından aydın olur ki, bərk cisimlər üçün Yunq modlunun qiyməti çox böyükdür (bəzi metallar üçün $10^{11} \sim 10^{12}$ Pa tərtibindədir).

Mexaniki gərginliyin nisbi uzanmadan asılılıq qrafikinə gərilmə diaqramı deyilir. Verilmiş hər hansı cismin gərilmə diaqramından istifadə edərək onun mexaniki xassələri haqqında müəyyən təsəvvürlər əldə edə bilərik. Gərilmə diaqramının sxematik təsviri şəkil 3-də verilmişdir[3].



Diagramın OA hissəsi mütənasiblik oblastı olub Huk qanununun ödəndiyi intervalı əhatə edir. AB- hissəsi qalıq deformasiyanın cüzi müşahidə olunduğu aralıqdır. BC- aralığı plastiki axıcılıq oblastı adlanır. D nöqtəsində material ən böyük gərginliyə davam gətirir. Bu səbəbdən D nöqtəsinə uyğun gərilmə möhkəmlik həddü adlanır. E nöqtəsində materialın kövrəklik xassəsi özünü göstərir- material dağılır.

Müasir dövrümüzdə sənayenin əksər sahələrində bu və ya digər mexaniki xassələrini nəzərə almaqla, bərk cisimlərdən geniş istifadə olunur. Mühəndis istehkam qurğularının, mülki və sənaye obyektlərinin, körpü və texniki qurğuların və s. tikilməsində istifadə edilən cisimlərin mexaniki möhkəmliyi və müəyyən qədər elastiki xassəyə malik olması ilkin tələblərdən hesab olunur. Ağır yüklərin təsirinə məruz qalan metal konstruksiya, tunellərin, müxtəlif tikintilərin inşasında möhkəmliyi kifayət qədər böyük olan materiallardan istifadə olunması diqqət mərkəzində duran vacib məsələlərdən hesab olunur [4, səh. 60-65]. Aviasiyada və kosmik sənayedə, hərbi təyinatlı raketlərin və uçuş aparatlarının hazırlanmasında mexaniki möhkəmliyi yüksək və həm də çəkisi yüngül olan materiallara ehtiyac duyulur. Bu məqsədlə alüminum və titan materialından və müxtəlif kompozit materiallardan geniş istifadə edilir. Bəzən elastiki xassəyə malik materiallara ehtiyac duyulur. Məsələn mexaniki sistemlərdə xarici təsirləri yumşaltmaq, avtomobil yollarında vibrasiyanı azaltmaq, zəlzələ, külək və s. xarici təsirlərin fəsadlarını azaltmaq üçün, elastiki xassəyə malik cisimlərdən, yay və amortizatorlardan istifadə, dövrün zəruri tələbinə çevrilmişdir; bu baxımdan metal və polad konstruksiyalardan, dəmir-beton komponentlərindən istifadəyə böyük önəm verilir. Metallurgiya və avtomobil sənayesində, döymə, ştamplama, presləmə, müəyyən formaya salma kimi texnoloji prosesləri yerinə yetirərkən istifadə edilən materialların müəyyən mexaniki möhkəmliyə və elastikliyə malik olması ilə yanaşı plastiki xüsusiyyət daşımasına da ehtiyac duyulur. Heykəltaraşlıqda, zərgərlik məmulatlarının hazırlanmasında və s. sahələrdə istifadə olunan materialların plastik xassəyə malik olması daha çox önəm daşıyır. Maşın və mexanizimlərin hazırlanmasında, energetikada, mikroelektronikada, mühəndis layihələrinin işlənməsində, sənaye və kənd təsərrüfatı sahələrində istifadə ediləcək cisimlərin mexaniki xüsusiyyətlərinin düzgün seçilməsi-təhlükəsizlik, uzunömürlülük, rahatlıq, iqtisadi səmərəlilik və s. baxımlardan vacib məsələ hesab olunur. Hazırda praktik məqsədlər üçün arzuolunan mexaniki xassələrə malik kompozit materialların istehsalı günün zəruri məsələlərindən hesab olunur.

Ədəbiyyat

1. Eyvazov E.Ə. Bərk cisimlər fizikası, Bakı-2003.
2. E.Ə. Eyvazov. “Fizikadan məlumat kitabı”, Bakı, 2012.
- F.A. Əhmədov. Mexanika və molekulyar fizika, Bakı, 2007. 393s.
4. A.Mehrabov., V.Qocayev., T.Məhərrəmov Fizika kursu BAKI- 1982

Xülasə

Məqalədə bərk cisimlərin mexaniki xassələri araşdırılmış və bu xassələrdən praktiki məqsədlər üçün istifadə imkanlarından bəhs edilmişdir. Elastiklik, plastiklik, möhkəmlik, kövrəklik, sərtlilik və plastik axıcılıq xassələrinin fiziki mahiyyətləri açıqlanmışdır. Elastiki və plastiki deformasiyaların baş vermə mexanizmləri, harmonik (parabolik) və anharmonik yanaşmalar əsasında izah edilmişdir və gərilmə diaqramı qurulmuşdur. Praktiki istifadə zamanı – təhlükəsizlik, davamlılıq rahatlıq, iqtisadi səmərəlilik və s. baxımlardan materialların mexaniki xassələrinin düzgün seçilməsinin vacibliyi vurğulanmışdır.

Annotasiya

В статье исследованы механические свойства твёрдых тел и рассмотрены возможности их практического применения. Раскрыта физическая сущность таких свойств, как упругость, пластичность, прочность, хрупкость, твёрдость и пластическая текучесть. Механизмы возникновения упругих и пластических деформации объяснены на основе гармонического (параболического) и ангармонического подходов, а также построена диаграмма напряжения. Подчёркнута важность правильного выбора механических свойств материалов с точки зрения безопасности, надёжности, комфорта и экономической эффективности при их практическом использовании.

Abstract

The article investigates the mechanical properties of solid materials and discusses the possibilities of their application for practical purposes. The physical nature of such properties as elasticity, plasticity, strength, brittleness, hardness, and plastic flow is elucidated. The mechanisms of elastic and plastic deformation are explained within the frameworks of harmonic (parabolic) and anharmonic approaches, and a stress-strain diagram is constructed. The importance of the proper selection of mechanical properties of materials is emphasized from the perspectives of safety, durability, comfort, and economic efficiency in practical applications.

BƏZİ METALLURJİ PROSESLƏRİN MODELLEŞDİRİLMƏSİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Həsənli¹ R., İsmayilov² N.

Azərbaycan Texniki Universiteti¹ Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası²

ramiz.hesenli@aztu.edu.az nizism@mail.ru

Açar sözlər: çuqun pəstahlar, metallurji proseslər, kompüter modelləşdirməsi, simulyasiya, keyfiyyətin idarə olunması

Keywords: cast iron castings, metallurgical processes, computer modeling, simulation, quality management

Ключевые слова: судостроение, чугунное литье, металлургические процессы, компьютерное моделирование, имитация, управление качеством

Giriş.

Çuqun pəstahlar istehsalı texnoloji proseslərinin optimallaşdırılması və pəstahların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi üçün modelləşdirmə mühüm elmi metodlardan biri hesab olunur. Çuqun pəstahların istehsalı zamanı baş verən fiziki və kimyəvi proseslər – istilik ötürülməsi, diffuziya, faza çevrilmələri və kristallaşma – mürəkkəb və çoxfaktorlu xarakter daşıyır [5, s. 210-225]. Bu proseslərin yalnız eksperimental üsullarla tədqiqi çox vaxt çətin və iqtisadi baxımdan səmərəsiz olur. Buna görə də metallurji proseslərin modellərlə təsviri müasir metallurgiyanın əsas istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir.

Metallurji sistemlərin modelləri əsasən aşağıdakı istiqamətlərdə qurulur [3, s. 150-163]: istilik ötürülməsi modelləri; kristallaşma kinetikasi modelləri; diffuziya və kütlə ötürülməsi modelləri; statistik və empirik modellər. Bu modellərin kompleks tətbiqi metallurji proseslərin sistemli şəkildə tədqiqinə imkan yaradır.

Çuqun pəstahların kristallaşma prosesinin istilik modeli. Çuqunun soyuma prosesi qeyri-stasionar istilik keçiriciliyi tənliyi ilə təsvir olunur [5, s.181-189]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right).$$

Burada T - temperatur; t - zaman; α – istilik diffuziya əmsalıdır. Kristallaşma zamanı faza keçidi baş verir və gizli istilik ayrılır. Bu amili nəzərə almaq üçün istilik balans tənliyi aşağıdakı şəkildə yazılır [7, s. 47-59]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \rho L \frac{\partial f_s}{\partial t}.$$

Burada ρ - sıxlıq; c - xüsusi istilik tutumu; λ - istilik keçiriciliyi; L - kristallaşmanın gizli istiliyi; f_s - bərk fazanın payıdır. Bu model tökmə prosesində temperatur sahəsinin dəyişməsinə və kristallaşma ardıcılığını müəyyən etməyə imkan verir.

Çuqunun kimyəvi tərkibinin struktur və mexaniki xassələrə təsirinin modelləşdirilməsi. Mexaniki xassələrin kimyəvi tərkibdən asılılığı aşağıdakı ümumi funksiya ilə ifadə olunur [4, s. 310-317]:

$$\sigma = f(C, Si, Mn, P, S).$$

Burada σ – mexaniki xassə; C, Si, Mn, P, S – kimyəvi tərkibdəki elementlərin miqdarıdır. Praktiki hesablamalar üçün bu asılılıq çoxfaktorlu reqressiya modeli ilə ifadə edilir [4, s. 320-325]:

$$\sigma = a_0 + a_1 C + a_2 Si + a_3 Mn + a_4 P + a_5 S.$$

Burada a_i - reqressiya əmsallarıdır və eksperimental məlumatların statistik emalı nəticəsində müəyyən edilir; C - karbonun miqdarı; Si - silisiumun miqdarı; Mn - manqanın miqdarı; P - fosforun miqdarı; S - kükürdün miqdarıdır. Bu model çuqunun kimyəvi tərkibinin mexaniki möhkəmliyə təsirini qiymətləndirməyə və optimal tərkibin seçilməsinə imkan verir.

Soyuma sürətinin mikrostrukturun formalaşmasına təsir modeli. Soyuma sürəti temperaturun zamana görə dəyişməsi ilə müəyyən edilir [9, s. 200-205]:

$$V_c = - \frac{dT}{dt}.$$

Burada V_c - soyuma sürəti; T - temperatur; t - vaxtdır. Soyuma sürəti ilə qrafit rüşeymlərinin yaranma intensivliyi arasında aşağıdakı empirik asılılıq mövcuddur [9, s. 210-215]:

$$N_g = kV_c^{-n}.$$

Burada N_g - qrafit rüşeymlərinin sayı; V_c - soyuma sürəti; k və n - empirik sabitlərdir və eksperimental məlumatlar əsasında müəyyən edilir. Bu model göstərir ki, soyuma sürətinin dəyişməsi qrafit rüşeymlərinin sayına təsir edir və nəticədə çuqunun mikrostrukturunun formalaşmasına əhəmiyyətli təsir göstərir.

Metallurji emalın texnoloji parametrlərinin çoxfaktorlu statistik modeli. Metallurji proseslərin optimallaşdırılması üçün texnoloji parametrlərin çoxfaktorlu reqressiya analizi tətbiq olunur. Keyfiyyət göstəricisi aşağıdakı parametrlərin funksiyası kimi qəbul edilir [3, s. 187-195]: T - ərimə temperaturu; t - saxlama müddəti; M - modifikasiyaedici əlavələrin miqdarı; V - soyuma sürətidir.

Statistik model aşağıdakı kimi yazılır [4, s. 330-339]:

$$Q = b_0 + b_1T + b_2t + b_3M + b_4V + b_{12}Tt + b_{34}MV.$$

Burada Q - çuqun pəstahın keyfiyyət göstəricisi; b_0 - sərbəst hədd; b_1, b_2, b_3, b_4 - əsas faktorların reqressiya əmsalları; b_{12}, b_{34} - faktorlararası qarşılıqlı təsiri xarakterizə edən əmsallar; T, t, M, V - texnoloji prosesin parametrləridir. Bu model metallurji proses parametrlərinin optimal qiymətlərinin müəyyən edilməsinə imkan verir.

Temperatur sahəsinin kompüter modelləşdirilməsi. Çuquntökmə prosesində temperatur paylanması analizi üçün rəqəmsal modelləşdirmə metodlarından istifadə

olunur. Bu modellər sonlu fərqlər və ya sonlu elementlər metoduna əsaslanır. Diskret istilik keçiriciliyi tənliyi aşağıdakı kimi yazılır [9, s. 40-55]:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} (T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n).$$

Burada T_i^n - i -ci nöqtədə n - ci zaman addımında temperatur; T_i^{n+1} - növbəti zaman addımında temperatur; α - istilik diffuziya əmsalı; Δt - zaman addımı; Δx - məkan addımıdır. Bu tənliyin iterativ həlli nəticəsində tökmə prosesində temperatur sahəsinin paylanması və kristallaşma müddəti müəyyən edilir [6, s.121-129].

MATLAB mühitində metallurji proseslərin simulyasiyası. Metallurji proseslərin rəqəmsal modelləşdirilməsi üçün MATLAB proqram mühiti geniş istifadə olunur. MATLAB diferensial tənliklərin həlli və temperatur sahəsinin hesablanması üçün güclü alqoritmlər təqdim edir [8, s. 300-315].

Simulyasiya aşağıdakı mərhələlərdən ibarət olur: ilkin temperatur şərtlərinin verilməsi; istilik keçiriciliyi parametrlərinin daxil edilməsi; diskret riyazi modelin qurulması; iterativ hesablamaların aparılması. Simulyasiya nəticəsində temperatur sahəsi və kristallaşma vaxtı müəyyən edilir [5, s. 65-71, 6, s.150-157].

ANSYS proqramında termiki analiz. ANSYS proqramı proseslərin üçölçülü modelləşdirilməsinə imkan verir və aşağıdakı mərhələləri əhatə edir [1, s.400-417]: tökmə və qəlibin 3D modelinin yaradılması; material parametrlərinin daxil edilməsi; sərhəd şərtlərinin müəyyən edilməsi; sonlu element şəbəkəsinin qurulması; istilik analizinin aparılması. Bu analiz nəticəsində temperatur sahəsi, kristallaşma ardıcılığı və oturma qüsurlarının yaranma ehtimalı müəyyən edilə bilər [6, s. 203-215].

Çuqun pəstahların keyfiyyət göstəricilərinin proqnozlaşdırılması. Məhsulun keyfiyyətinin əvvəlcədən proqnozlaşdırılması məqsədilə kompüter modelləri tətbiq olunur. Keyfiyyət göstəricilərinin texnoloji parametrlərdən asılılığının proqnoz modeli ümumi şəkildə aşağıdakı funksiya ilə ifadə edilir [2, s. 215-225]:

$$Q = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n).$$

Burada Q - məhsulun və ya pəstahın keyfiyyət göstəricisi; X_i - texnoloji prosesin parametrləridir ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Belə modellərin tətbiqi metallurji proseslərin idarə olunmasını və məhsul keyfiyyətinin stabil saxlanmasını təmin edir. Proqnoz modelinin davamı kimi çoxfaktorlu standart regressiya tənliyi adətən aşağıdakı ümumi formada yazılır [4, s. 335-347]:

$$Q = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2.$$

Burada Q - məhsulun və ya pəstahın keyfiyyət göstəricisi; X_i - texnoloji prosesin parametrləri; b_0 - sərbəst hədd; b_i - faktorların xətti təsir əmsalları; b_{ij} - faktorlararası qarşılıqlı təsiri göstərən əmsallar; b_{ii} - kvadratik təsiri xarakterizə edən əmsallardır. Məsələn, 4 parametr üçün regressiya tənliyi belə ifadə oluna bilər [4, s.351-362]:

$$Q = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{44} X_4^2.$$

Bu tənlik texnoloji parametrlərin xətti, sinergetik, həm də qeyri-xətti təsirlərini nəzərə alaraq keyfiyyət göstəricisinin modelləşdirilməsinə imkan verir.

Beləliklə, çuqun pəstahların keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün metallurji proseslərin modelləşdirilməsi bir sıra mühüm üstünlüklər vəd edir.

Nəticə. Beləliklə, çuqun pəstahların keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün metallurji proseslərin modelləşdirilməsi imkanları qiymətləndirilmişdir. Təsdiq olunmuşdur ki, mürəkkəb texniki sistem olaraq metallurji proseslərin modelləri əsasən istilik və kütləötürmə, kristallaşma və diffuziya kinetika proseslərini ehtiva edən statistik və empirik modellər üzərində qurulur.

Kristallaşma prosesinin istilik modeli qeyri-stasionar istilik keçiriciliyi tənliyi ilə təsvir olunmuşdur. Bu model tökmə prosesində temperatur sahəsinin dəyişməsinə və kristallaşma ardıcılığını müəyyən etməyə imkan verir. Çuqunun kimyəvi tərkibinin struktur və mexaniki xassələrə təsiri çoxfaktorlu regressiya modelilə ifadə edilmişdir. Bu model çuqunun kimyəvi tərkibinin mexaniki möhkəmliyə təsirini qiymətləndirməyə və optimal tərkibi seçməyə imkan verir.

Çuqunun soyuma sürətinin mikrostrukturun formalaşmasına təsir modeli tökmə prosesinin optimallaşdırılması və tələb olunan mexaniki xassələrin əldə edilməsinə imkan yaradır. Metallurji emalın texnoloji parametrlərinin çoxfaktorlu statistik modeli müxtəlif metallurji proseslərin texnoloji parametrlərinin optimal qiymətlərini təyin etməyə imkan verir.

Kompüter modelləşdirilməsi nəticəsində çuquntökmə prosesində temperatur cəbhəsini paylanması və kristallaşmanın optimal müddətinin rəqəmsal idarə edilməsinə nail olunur. MATLAB mühitində simulyasiya və ANSYS proqramında termiki analiz vasitəsilə temperatur sahəsi, kristallaşma ardıcılığı və qüsurların yaranma ehtimalı müəyyən edilir. Çuqun pəstahların keyfiyyət göstəricilərinin proqnozlaşdırılmasına imkan verən regressiya modelləri metallurji proseslərin sistemli idarə olunması və məhsulun keyfiyyətinin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

Ədəbiyyat

1. ANSYS, Inc. ANSYS Mechanical User's Guide. – Canonsburg, PA: ANSYS, Inc., 2023. – 1200 p.
2. Campbell J. Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design. – 2nd ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. – 742 p.
3. Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes. Vol. 11 / ed. by S. L. Cockcroft. – Hoboken: John Wiley and Sons, 2017. – 744 p.

4. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. – New York: Wiley, 2017. – 748 p.
5. Poirier D. R., Geiger G. H. Transport Phenomena in Materials Processing. – Cham: Springer, 2016. – 660 p.
6. Reddy J. N. An Introduction to the Finite Element Method. – New York: McGraw-Hill, 2016. – 684 p.
7. Stefanescu D. M. Science and Engineering of Casting Solidification. – 3rd ed. – Cham: Springer, 2015. – 546 p. – DOI: 10.1007/978-3-319-15675-3
8. The MathWorks, Inc. MATLAB User's Guide. – Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2023. – 1200 p.
9. Versteeg H. K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. – Harlow: Pearson Education Limited, 2017. – 503 p.

Abstract

The possibilities of modeling metallurgical processes for improving the quality of cast iron castings were assessed. It was confirmed that models of metallurgical processes as a complex technical system can be built on statistical and empirical mathematical models. The thermal model of the crystallization process was described by the non-stationary thermal conductivity equation. The effect of the chemical composition of cast iron on the structural and mechanical properties was expressed by a multifactor regression model.

The temperature field, crystallization sequence and the probability of defects are determined by simulation in the MATLAB environment and thermal analysis in the ANSYS program. Regression models that allow predicting the quality indicators of cast iron castings create conditions for systematic control of metallurgical processes.

Аннотация

Оценены возможности моделирования металлургических процессов для повышения качества чугунных отливок. Подтверждено, что модели металлургических процессов как сложных технических систем основаны на статистических и эмпирических моделях. Тепловая модель процесса кристаллизации описывается нестационарным уравнением теплопроводности. Влияние химического состава чугуна на структурные и механические свойства выражается многофакторной регрессионной моделью.

Температурное поле, последовательность кристаллизации и вероятность дефектов определяются посредством моделирования в среде MATLAB и теплового анализа в программе ANSYS. Регрессионные модели создают условия для систематического контроля металлургических процессов и повышения качества продукции

SUYUN PARÇALANMASI ZAMANI HİDROGEN ALINMASI ÜÇÜN FOTOKATALİZİN TERMODİNAMİKASI VƏ KİNETİKASI

Quliyev M.S., Namazov Y.B., Quliyev N.İ.
Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri
[***quliyevniyazi524@gmail.com***](mailto:quliyevniyazi524@gmail.com)

Açar sözlər: su, hidrogen, enerji, yarımkeçirici, fotokataliz, termodinmaika, kinetika

Ключевые слова: вода, водород, энергия, полупроводник, фотокатализ, термодинамика, кинетика

Key words: water, hydrogen, energy, semiconductor, photocatalysis, thermodynamics, kinetics

Qabaqcıl texnologiyaların meydana çıxması və inkişafı, iqtisadiyyatın sürətli inkişafı ilə yanaşı enerjiyə tələbatın kəskin artmasına gətirib çıxarır. Bu isə öz növbəsində texnologiyaların inkişafına, həyat səviyyəsinin yüksəlməsinə təkan verir.

Bu gün istifadə olunan enerjinin çox hissəsi yeraltı yanacaq növlərinin payına düşür. Belə yanacaq növlərindən istifadə bir neçə səbəbdən əlverişli deyildir. Birincisi, daş kömür və neft kimi yanacaq növlərinin yandırılması, iqlim dəyişikliyinə səbəb olan parnik qazlarından biri olan karbon iki oksidin (CO) yaranmasına gətirib çıxarır [1]; ikincisi, Yer kürəsində yeraltı yanacaq növlərinin miqdarı məhduddur, üçüncüsü yeraltı yanacaq növlərinin çıxarılmasına bəzi ölkələr nəzarət edir.

Nəticədə bu yanacaq növlərinin paylanmasına xeyli vəsait və zaman sərf olunur. Ona görə də dayanıqlı, ekoloji cəhətdən təmiz, aşağı qiymətlə istehsal oluna bilən enerji mənbəyi tapmaq lazımdır [2]. Yeraltı yanacaq növlərini əvəz etmək və ya azaltmaq üçün bir neçə alternativ enerji mənbələri işlənmişdir, müqayisədə ətraf mühitə az karbon buraxır [3]. Bu enerji mənbələrinə külək, hidroenergetik, günəş, geotermal enerjilər və s. daxildir.

Alternativ enerji mənbələrinin müasir enerji mənbələri ilə müqayisədə rəqabət qabiliyyətli olması üçün, onlar effektiv, ucuz, ekoloji təmiz və dayanıqlı olmalıdırlar. Bərpa olunan enerji mənbələri yaratmaq üçün tətbiq olunan texnologiyalar arasında, gələcəkdə enerjiyə olan tələbatın ödənilməsi üçün fotoqalvanik enerji ən perspektivlisi hesab olunur. Enerjiyə olan tələbatın sürətlə artması sayəsində günəş enerjisi perspektivli enerji mənbəyinə çevrilmişdir. Hazırda günəş enerjisi bir çox hallarda, günəş elementlərinin köməyi ilə işığın birbaşa elektrik enerjisinə çevrilməsi üçün istifadə edilir. Bu halda, günəş elementlərindən istifadə, günəş işığından elektrik enerjisi istehsalının çox vəd verən metodu olur.

Hidrogen alınmasının ən perspektivli və ekoloji təmiz metodlarından biri yarımkəçirici materialların köməyi ilə günəş işığının təsiri altında suyun fotokatalitik parçalanmasıdır. Bir sıra mütəxəssislərin fikrincə XXI əsrin energetikasının ən perspektivli sintetik yanacaq növlərindən birinin molekulyar hidrogen olmasının bir neçə səbəbi vardır: birincisi, bu element təbiətdə ən çox yayılmış elementdir və o həm suda, həm də biokütlədə vardır; ikincisi o, benzin kimi (40 kC/q) digər yanacaq növləri ilə müqayisədə yüksək enerji çıxışına (122 kC/q) malikdir; üçüncüsü hidrogendən yanacaq kimi istifadə olunması ətraf mühitin ekoloji çirklənməsinə gətirib çıxarmır. Nəhayət, az əhəmiyyətli olmayan sonuncu: hidrogen qaz, maye və ya metal formada saxlanıla və uzaq məsafələrə daşına bilər.

Hidrogenin dayanıqlı, istehsalı təmiz və əlçatan enerji təchizatını təmin edən gələcək alternativ enerji sistemlərinin işlənməsi üçün əsas məsələ hesab edilir. Hazırda kommersiya hidrogeninin 95%-ni bərpa olunmayan mənbələrdən alırlar. Hidrogenin bərpaolunan istehsalı baha başa gəldiyindən hələlik məşhurlaşmamışdır [4].

Fotokataliz prosesində suyun parçalanması

Suyun fotokatalitik parçalanmasına süni fotosintez kimi baxılır. Belə ki, o günəş işığının təsiri altında yaşıl bitkilərin fotosintez prosesinə oxşardır. Axar sülardakı üzvi maddələrdən və ya sudan hidrogen istehsalına günəş şüalanmasından istifadə edərək fotokatalitik proseslərin prinsipi əsasında nail olmaq olar. Bu proses zamanı işıq enerjisi kimyəvi enerjiyə çevrilir, suyun parçalanması reaksiyası isə ΔG sərbəst Gibb enerjisinin toplanmasına kömək edir.

Hidrogeni iki üsulla almaq olar: suyun fotokatalitik parçalanması və üzvi maddələrin (məsələn, metan, metanol, biokütlə və s.) fotokatalitik riforminqi (kaqbohidrogenlərin quruluşunun dəyişdirilməsi proses). Birinci metodda su, elektronlarla/dəşiklərlə oksidləşmə -

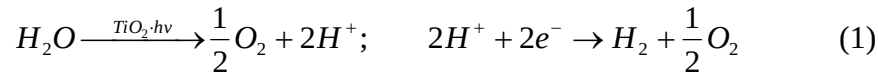
bərpa reaksiyasına məruz qalır. Lakin, ikinci mərhələdə üzvi maddələr elektronu verir və proton ionlarının yaranması ilə oksidləşirlər. Yekun nəticədə protonların ionları, elektronların fotokatalizatorla qarşılıqlı təsiri yolu ilə H₂-yə çevrilirlər.

Bütövlükdə, hidrogen almaq üçün fotokatalitik sistem reagent, fotokatalizator və işıq mənbəyi tələb edir. Hidrogenin effektiv istehsalı üçün reagent, katalizator və işıq effektiv qarşılıqlı təsirdə olmalıdırlar.

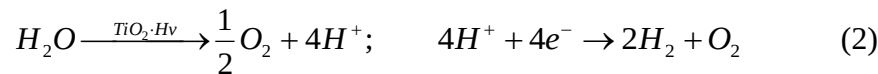
Suyun parçalanmasının fotokatalizinin termodinamikası

Suyun parçalanması reaksiyası endotermik reaksiyadır [4]. Suyun O₂ və H₂-yə parçalanması üçün, H₂-nin yaranması zamanı valent elektronlarının daşınması üçün lazım olan sərbəst Gibbs enerjisinin dəyişməsi ($\Delta H_0 = 238 \text{ kC/mol}$) tələb olunur. Aşağıdakı (1) və (2) tənliklərində suyun dissosiasiyasının və parçalanmasının ümumi mexanizmi göstərilmişdir. Bir H₂ molekulunun yaranması üçün adi sudan istifadə zamanı 2,45 eV enerji tələb olunur. Bu isə, 1,229V potensiallar fərqiində iki elektronun yerdəyişməsi üçün görülən işi göstərir [5].

Suyun dissosiasiyasının ümumi tənliyi:



Suyun parçalanmasının tam tənliyi:



Bir su molekulunun parçalanması zamanı 2 H₂ molekulunun yaranması üçün 4,915 eV enerjili 4 elektron tələb olunur (2 tənliyi). Bu məqsəd üçün dalğa uzunluğu 252,3 nm-dən az olan ultrabənövşəyi şüalanmadan və ya dalğa uzunluğu 504,5 nm-dən qısa olan görünən işığın iki fotonu istifadə oluna bilər.

Yarımkeçirici enerjisi enerji boşluğundan (E_g) çox olan işığın təsirinə məruz qaldıqda, o keçirici zonada (Z) elektronlara təkan verir və valent zonada (VZ) dəşiklər qoyur. Fotoinduksiya olunmuş elektronlar və dəşiklər yarımkeçiricidə sərbəst hərəkət edə və məhdudlaşa bilərlər.

e⁻ və h⁺ sistemlərinin kimyəvi potensialları elektron və dəşiklərin kvazifermi səviyyələrindən ibarətdir (3 və 4 tənlikləri)

$$F_n = E_v + K_B T \ln \frac{n}{N_v} \quad (3)$$

$$F_p = E_v + K_B T \ln \frac{n}{N_v} \quad (4)$$

burada E_k və E_v – KZ –nin minimal qiyməti və VZ –nin maksimum enerji səviyyələri, K_B – Bolsman sabiti, T – mütləq temperaturu, N_K, N_V- KZ və VZ-da halların effektiv sıxlıqları, n və p – müvafiq olaraq elektron və dəşiklərin daşıyıcıların konsentrasiyalarıdır.

Enerjisi, E_g enerjisindən çox olan işıqla şüalanma zamanı, fotokatalotik reaksiya yaradan elektron və dəşiklərin maksimum termodinamik hərəkətverici qüvvəsi (5) tənliyi ilə izah olunur. Lakin, yarımkeçirici istilik tarazlığında olduqda ($\Delta H = 0$), ΔG sıfıra bərabər olur ki, bu da fotokatalitik reaksiya yaradan sıfır yekun qüvvəyə gətirib çıxarır. Bu onu göstərir ki, istilik elektron – dəşik cütliyünün yaranması üçün hərəkətverici qüvvə deyildir. Beləliklə, fotokataliz üçün reaksiya enerjisi sərbəst Gibbs enerjisidir (ΔG)

$$\Delta G = -|F_n - F_p| = -E_g K_B T \ln \frac{np}{N_K N_V} \quad (5)$$

burada E_g enerji boşluğu

Fotokatalizin göstərilən termodinamik təsviri düzgündür. Belə ki, bütün dünyada tədqiqatçılar tərəfindən geniş qəbul olunur. Lakin, o fotokatalizin termodinamik hərəkətverici qüvvəsini təyin etmir və işıqla istiliyi fərqləndirə bilmir

Beləliklə, biz məqalədə qısa olaraq fotokatalizin əsaslarına, onun termodinamikasına və kinetikasına baxdıq. Fotokataliz prosesi, işığın enerjisi qadağan zonasının eninə bərabər və ondan çox olan yarımkeçirici əsasında fotokatalizatora təsiri ilə əlaqədardır. Işıqla həyəcanlaşdırıldıqdan sonra yarımkeçiricilərdə elektron – dəşik sisteminin Gibbs enerjisinin dəyişməsi fotokatalizin termodinamik hərəkətverici qüvvəsini formalaşdırır. Bunun da nəticəsində fotohasil olunan elektronlar bərpa prosesində, dəşiklər isə oksidləşmə prosesində iştirak edirlər. İstiliyin təsiri altında yarımkeçiricilərdə Gibbs enerjisi dəyişmir (ΔG) ona görə də o, fotokatalitik effektdə gətirib çıxara bilməz.

Ədəbiyyat

1. Fujishima A., Honda K. Elektrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode//Nature-1972.-V.238-P.37-38
2. Zuo F., Wangh., Feng P.Y. self – doped $Ti^{3+}@TiO_2$ visible light photocatalyst: influence of synthetic parametres on the H_2 production activity // int.y.Hydrog. Energy – 2014-V.39.-P.711-717
3. Reddy P.A.K., Srinivas B., Kumari V.D. $CaFe_2O_4$ sensitized hierarchical TiO_2 photo composito for hydrogen production under solar light irradiation// chem.Eng.Y.-2014-V.247.-P.152-160
4. O'Regan B. and Gratzel M. A.low-cost, high-efficiency solar cell based on dye –sensitized colladal TiO_2 films//Nature-1991.-V.353.№6346,-P.737-740

Xülasə

Hazırkı məqalədə fotokataliz zamanı suyun parçalanması prosesinin mexanizmi təsvir edilir. Hidrogen istehsalı üçün yüksək effektiv katalizatorların alınmasının işlənməsi yaşıl energetika sahəsində mühüm istiqamətlərdən biridir. Təqdim olunan icmal məqalədə hidrogen alınması üçün suyun parçalanmasının fotokatalizinin mexanizm və əsas qanunauyğunluqlarına baxılır. Yarımkeçiricilərin qadağan zonasının eninin, onun fotokatalitik xassələrinə təsiri müzakirə olunur.

Резюме

В настоящей статье описывается механизм процесса расщепления воды во время фотокатализа. Показано, что получения высоко эффективных фотокатализаторов для производства водорода является очень важным направлением в области зеленой энергетики. Рассматривается в обзорной виде механизм и основные закономерности фотокатализа расщепления воды для получения водорода. Обсуждается влияния ширины запрещенной зоны полупроводников на их фотокаталитические свойства.

Summary

This article describes the mechanism of water splitting during photocatalysis. It is shown that the development of highly efficient photocatalysts for hydrogen production is a very important area in the field of green energy. The mechanism and fundamental principles of photocatalysis for splitting water to produce hydrogen are reviewed. The influence of the band gap of semiconductors on their photocatalytic properties is discussed.

GÜNƏŞ ENERJİSİNİ YANACAĞA ÇEVİRMƏYİN YENİ ÜSULU

Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Cavadov E.M.
Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri
quliyevniyazi524@gmail.com

Açar sözlər: süni fotosintez, yeni molekul, ekoloji – təmiz yanacaq, hidrogen, elektron nəqli

Ключевые слова: искусственный фотосинтез, новая молекула, экологически, чистое топливо, водород, электронный транспорт

Key words: artificial photosynthesis, new molecule, environmentally friendly, clean fuel, hydrogen, e-transport

Süni fotosintezin inkişafı zəncirində mühüm həlqə ola biləcək yeni molekul işlənilib hazırlanmışdır. Özünün nadir xassələri sayəsində bu molekul, günəş enerjisinin ekoloji təmiz, neytral – karbon yanacağına çevrilməsini təmin edəcəkdir. Təbii fotosintezdə olduğu kimi, yeni molekul müvəqqəti olaraq iki müsbət, iki mənfi yük saxlayır [1]

Bazel Universitetinin alimləri bitkilərin fotosintezini təqlid edən nadir molekul hazırlamışlar. Işığın təsiri altında bu molekul iki müsbət və iki mənfi elektrik yüklərini toplama qabiliyyətinə malikdir. Bu molekulun hazırlanmasının əsas məqsədi günəş enerjisini ekoloji təmiz neytral - karbon yanacağına çevirməkdir[2].

Funksional baxımdan bu xlorofill olmasa da hər halda günəş enerjisinin karbon – neytral yanacağına çevrilməsi texnologiyasının işlənməsində mühüm addım atmışdır.

Bitkilərdə baş verən fotosintez prosesi Yer planetində əksəriyyət canlı orqanizmlərin mövcudluğunun əsasını təşkil edir. Fotosintez prosesinin mühüm şərti – çoxsaylı yüklərin daşınmasıdır ki, bu da günəş enerjisinin kimyəvi enerjiyə çevrilməsinə xidmət edir. Bitkilər günəş şüalarını udur və karbon qazını yüksək enerjili qlükoza emal edir, yekunda isə canlılar və insanlar bu qlükozanı istifadə edirlər. Karbohidratların yanmasının məhsulu yenə də karbon qazı olur – o yenidən atmosfərə qaydır və maddələrin təbii dövriyyəsinə qapayır[3].

Təbii prosesin süni oxşarı bərpa olunan yanacaq istehsalına yol açır. Alimlər, hazırda günəş enerjisindən hidrogen, metanol və hətta sintetik benzin sintez etmək üçün istifadə edərək effektiv şəkildə fotosintezi təkrar edən maddə yaratmağa cəhd edirlər. Belə yanacaq növü, neytral enerji mənbəyi olacaqdır. Belə ki, yanma zamanı bu yanacaq növü, onun hazırlanması zamanı istifadə olunan qədər karbon qazı ayırır[4].

Yeni quruluşun xüsusi tərz (qəribəliyi) ondan ibarətdir ki, iki ardıcıl işıq impulsunun təsiri sayəsində o eyni zamanda dörd yük saxlaya bilir. Molekul ardıcıl birləşmiş beş funksional hissədən ibarətdir: molekulun bir tərəfində iki cüt hissədən hər biri elektronu itirir və müsbət yüklənir, digər tərəfindəki iki hissə elektronu qəbul edir və mənfi yüklənir. Mərkəzi hissə elektronların daşınmasını təqlid edən fotokatalizator rolunu oynayır.

İki pilləli yanaşmadan istifadə, mütəxəssislərə hətta günəş şüalanmasının təbii şəraitinə yaxın aşağı şüalanma zamanı effektiv reaksiyaya nail olmağa imkan verdi. Bu, əvvəllər intensiv lazer şüalanmasını tələb edən texnologiyanın praktiki tətbiqini xeyli sadələşdirir. Birinci işıq partlayışı molekulun üzərinə düşür və müsbət və mənfi yüklərin yaranması reaksiyasını işə salır. Bu yüklər molekulun əks tərəflərinə doğru yerlərini dəyişirlər. İkinci işıq partlayışı zamanı eyni reaksiya baş verir və nəticədə molekul iki müsbət və iki mənfi yükə malik olur. Belə pilləli həyəcanlaşma daha zəif, tutqun işıqdan istifadə etməyə imkan verir. Nəticədə günəş işığının intensivliyinə yaxınlaşmaq olur. Bundan əvvəlki təcrübələrdə istifadə olunan güclü lazer işığı

süni fotosintezi demək olar ki, qeyri – praktik etmişdir. Bundan başqa, molekuldakı yüklər kifayət qədər uzun müddətə sabit qalırlar və sonrakı kimyəvi reaksiyalarda istifadə edirlər.

Müvəffəqiyyətə baxmayaraq yaradılmış ilk nümunə süni fotosintezin tam işçi sistemini təsvir etmir. Lakin, buna baxmayaraq əldə edilən irəliləyiş, gələcək dayanıqlı enerji mənbələrinin yaradılmasında həlledici rol oynayan elektron nəqlinin mexanizmini daha dərinədən başa düşməyə kömək edəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Tashibana Y., Vayssieres L., Durrant Y. Artificial photosynthesis for solar water-splitting//Nature Photonics//2012, №6,511-518
2. Levvis N.S.,Nocera D.G. Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization//Proceedings of the National Academy of Sciences//2006,103(43),15729-15735
3. Тихонов А.Ю., Соколов В.И. Современные методы получения водорода с использованием солнечной энергии//Альтернативная энергетика и экология, 2019, №3. 45-58
4. Allakhverdiyev S.I. Alternative Energy and Artificial Photosynthesis//Herald of the Russian Academy of sciences,2023,93(9),895-904

Xülasə

Süni fotosintez sahəsində yeni molekul işlənib hazırlanmışdır. İşığın təsiri altında bu molekul iki müsbət və iki mənfi elektrik yüklərini toplama qabiliyyətinə malikdir. Bu molekulun hazırlanmasının əsas məqsədi günəş enerjisini ekoloji təmiz neytral – karbon yanacağına çevirməkdir. Bu molekul süni fotosintezin işçi sistemini tam təsvir etməsə də, əldə edilən irəliləyiş gələcək dayanıqlı enerji mənbələrinin yaradılmasında həlledici rol oynayan elektron nəqlinin mexanizmini daha dərinədən başa düşməyə kömək edəcəkdir.

Резюме

В области искусственного фотосинтеза разработана новая молекула. Под воздействием света эта молекула способна накапливать два положительных и два отрицательных электрических заряда. Главная цель получения этой молекулы – преобразование солнечной энергии в экологически чистое, нейтральное по углероду топливо. Хотя эта молекула не полностью описывает систему работы искусственного фотосинтеза, достигнутый прогресс поможет лучше понять механизм переноса электронов, который играет решающую роль в создании будущих устойчивых источников энергии.

Summary

A new molecule has been developed in the field of artificial photosynthesis. When exposed to light, this molecule can accumulate two positive and two negative electrical charges. The primary goal of this molecule is to convert solar energy into clean, carbon-neutral fuel. Although this molecule does not fully describe the workings of artificial photosynthesis, the progress achieved will help better understand the electron transfer mechanism, which plays a crucial role in the development of future sustainable energy sources.

ELEKTRİK VƏ İMPULS SİQNALLARIN VERİLMƏSİNDƏ TEZLİYİN ÇEVİRİLMƏSİ

Qasımov İ.İ., İsgəndərova S.P.
Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri
tunzalehuseyinova70@gmail.com

Açar sözlər: Elektron qurğuları, elektrik siqnalları, tezlik oblasti, kvarts generatorları, impuls siqnalları, modullaşmış siqnal

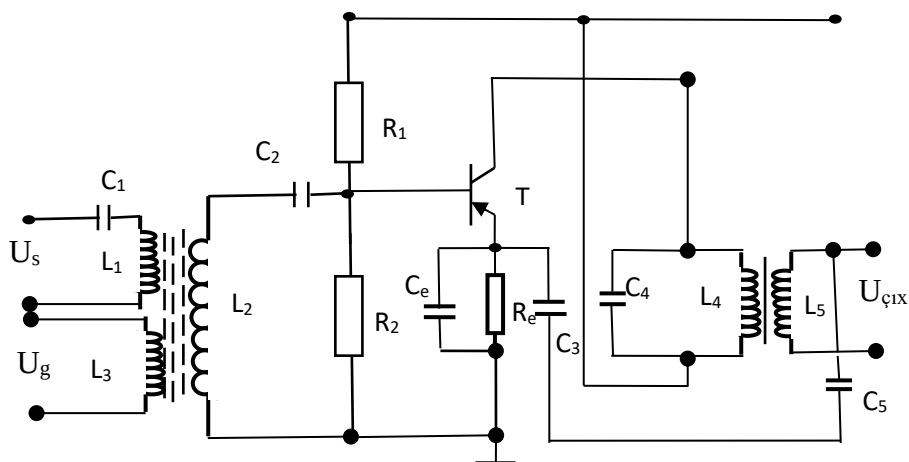
Ключевые слова: электронные устройства, электрические сигналы, частотная область, кварцевые генераторы, импульсные сигналы, модулированный сигнал.

Key words: electronic devices, electrical signals, frequency domain, quartz oscillators, pulse signals, modulated signal.

Elektron qurğularında impuls, elektrik siqnallarının tezliyinin çevrilməsinin çox böyük əhəmiyyəti vardır. Bu baxımdan hər iki siqnalın spektrinin alçaq tezlik oblastından yüksək tezlik oblastına, yaxud əksinə yüksək tezlik oblastından alçaq tezlik oblastına keçirmək lazım gəlir. Bu zaman bunu yerinə yetirən və siqnalların tezliyinin dəyişməsində xüsusi sistemli tezlik çeviriciləri tətbiq olunurlar. Aydındır ki, tezliyin çevrilməsi qeyri – xətti prosesdir. Hər iki siqnal hasil edilən zaman qeyri - xətti-elementdə köməkçi generatordan istifadə edilməlidir. Bu generator elementləri hal – hazırda iki cür olurlar. Aktiv element sistemli generatorlar və stabil ZQ kvarts generatorları. Elektrik və impuls siqnalının verilməsində tezliyin dəyişdirilməsi zamanı bu ən əsaslı fiziki məsələlərdən biridir. Buna görə də belə funksiyanı həyata keçirən elementlər köməkçi generatordan götürülən ω tezkikli rəqslərlə qarışdırılır. Bu proses yerinə yetirilən zaman siqnalın tərkibindəki komponentlər onların bir – birinə nəzərən qarşılıqlı yerləşməsi və amplitudları arasındakı fiziki əlaqələr pozulmadan tezliyin qiymətindən asılı olaraq bu və ya digər tərəfə sürüşür. [1] Tezlik çeviricisinin çıxışındakı siqnalı $S_{gir}\omega$ olarsa onda onun sıx tezlik qiymətini aşağıdakı kimi əlaqələndirmək olar.

$$S_{cu}(\omega) = KS_{gir}(\omega_s \pm \omega_g) \quad (1)$$

Elektrik və impuls siqnallarının çevrilməsində tezliyin çevirilməsi bir pilləli, iki pilləli, çox pilləli ola bilər. Bu elektron qurğusunun hasil etdiyi və istifadə olunduğu sistemdən asılıdır.



Şəkil 1. Tezliyin çevirilməsi sxemi.

Tərtib olunmuş sxemdə tezliyin dəyişdirilməsi zamanı girişinə $u_s(t)$ signalı verildisə bu signalın

$$u_s(t) = u_{AM} \cos(\omega_s + \varphi_s) \quad (2)$$

amplituda görə modullaşmış signal adlanır. L_3 induktivliyindən u_{gir} getoroidin paylanması görə isə

$$u_g(t) = u_{gm} \cos(\omega_g + \varphi_g) \quad (3)$$

harmonik rəqs verildisə onda çeviricinin ümumi çıxışında alınan elektrik və yaxud impuls signalının spektrində cərəyanın qiyməti aşağıdakı kimi olur:

$$i = J_0 + i_{\omega_s} + i_{\omega_g} + i_{2\omega_s} + i_{2\omega_g} + i_{\omega_g} + i_{\omega_g \pm \omega_s} \quad (4)$$

Tranzistorun tezliyi eyni sistemdə verməsi L_4 və L_5 tərəfindən çıxışa ötürülür. Bu zaman ən əsası odur ki, c_3 və c_5 kondensatorları ardıcıl olaraq çıxışın tezliyini inzamlaya bilirlər. R_1 və R_2 müqavimətləri elektrik və impuls signallarında tezliyin çevrilməsində sürüşmə rolunu yerinə yetirirlər. Çeviricinin signal filtrini $\omega_g + \omega_s$ və ya $\omega_g - \omega_s$ itənilən tezliklərə kökləyərək aralıq tezlikləri $\omega_g + \omega_s$ cəmini eləcə də $\omega_g - \omega_s$ tezliklər fərqiə ayırmaq olar. [2]

Müasir elektron qurğularında tezliyin çevirilməsi onun əsas bazasını təşkil edir. Bildiyimiz kimi hər iki signal təhrif olunmadan verilməlidir. Bu gün praktikada faza tezlik çeviriciləri xüsusi iş funksiyalarını yerinə yetirərək kHs tezlikdən tutulmuş çox yüksək meqahrs tezliklərə kimi hazırlamırlar. Getorodin və signal mənbələrindən verilən gərginliklər giriş konturtları vasitəsilə nizamlana bilirlər. Bu cür tezlik çeviriciləri elektrik və impuls signallarının hasil olunmasında yüksək stabilliklərə işləmə qabiliyyətinə malikdirlər. [3]

Ədəbiyyat

1. 1.Ə. Məmmədov Elektrik və impuls signallarında tezlik çevrilməsi prosesinin tədqiqi və tətbiqi Bakı 2026,156 səh
2. Р.М.Терещук., К.М.Терещук., С.А.Седов. «Полупроводниковые приемно – усилительные устройства» Киев. «Наукова -ДУМКА» 1982
3. Харченко В.М. Основы электроники. Москва. Энергия. 1982
4. <http://electronicsclub.info>
5. <http://www.electronics.org>

Xülasə

Bu məqalədə elektron qurğularında elektrik və impuls signallarının tezlik çevrilməsi prosesinin nəzəri və praktik əsasları araşdırılır. Göstərilir ki, signalların alçaq tezlik oblastından yüksək tezlik oblastına və ya əks istiqamətdə çevrilməsi müasir radioelektron sistemlərin funksionallığı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Məqalədə tezlik çeviricilərinin birpilləli, ikipilləli və çoxpilləli strukturları təhlil edilir və onların tətbiq sahələrinin istifadə olunan sistemdən asılı olduğu vurğulanır. Signalın amplituda üzrə modullaşması, spektr komponentlərinin qarşılıqlı yerləşməsinin qorunması və tezlik sürüşməsi hadisələri fiziki baxımdan izah olunur.

Резюме

В данной статье рассматриваются теоретические и практические основы процесса преобразования частоты электрических и импульсных сигналов в электронных устройствах. Показано, что перенос спектра сигналов из области низких частот в область высоких частот и наоборот имеет важное значение для функционирования современных радиоэлектронных систем.

В работе анализируются одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые структуры преобразователей частоты, а также отмечается зависимость их применения от типа используемой системы. Рассматриваются процессы амплитудной модуляции сигнала, сохранения взаимного расположения спектральных компонентов и явления частотного сдвига с физической точки зрения.

Summary

This article examines the theoretical and practical foundations of frequency conversion of electrical and pulse signals in electronic devices. It is shown that shifting the signal spectrum from the low-frequency domain to the high-frequency domain and vice versa is of great importance for the operation of modern radio-electronic systems

The study analyzes single-stage, two-stage, and multi-stage frequency converter structures and emphasizes that their application depends on the specific system in which they are employed. The processes of amplitude modulation, preservation of the relative arrangement of spectral components, and frequency shifting are explained from a physical perspective.

GƏLƏCƏYİN HİDROGEN ENERGETİKASININ İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

Quliyev M.S., Quliyev N.İ., Cavadov E.M.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

quliyevniyazi524@gmail.com

Açar sözlər: fotokataliz, hidrogen, günəş şüalanması, fotokatalizator, katalitik material

Ключевые слова: фотокатализ, водород, солнечная излучения, фотокатализатор, каталитический материал

Key words: photocatalysis, hydroelectric power, solar radiation, photocatalyst, catalytic material

Azərbaycan Respublikası hazırda dünyada kifayət qədər neft və təbii qaz ehtuyatlarına malik ölkələrdən biridir və bu isə uzunmüddətli perspektivdə enerji təhlükəsizliyi təmin edir. Lakin, üfəqdə bir neçə nəsil irəliyə baxmaq zərurəti mövcuddur ki, bu da gələcəyin energetikasının bünövrəsini artıq indidən qoymağı nəzərdə tutur.

Hidrogen alınmasında fotokataliz hadisəsi

Suyun fotokatalitik parçalanması ekoloji təmiz hidrogen alınması üçün, ən çox ümidverici texnologiyadır. Belə ki, həm günəş işığı və həm də su bizim planetdə ən geniş yayılmış təbii ehtiyatlarındandır. Bundan başqa, toplanan enerjinin yüksək sıxlığı və yanma zamanı çirkləndirici maddələrin olmaması sayəsində hidrogen yanacağına keçid böyük məqsədə - karbon tullantılarının sıfır balansına çatmağa təkan verir. Suyun fotokatalitik parçalanmasının üstünlüyü ondan ibarətdir ki, o, həm şirin sudan, həm də dəniz suyundan istifadə etməyə imkan verir və bu yanaşmanın tətbiqi elektrokimyəvi üsuldan fərqli olaraq xüsusi elektrolitlərdən istifadə olunmasını tələb etmir. Bu isə, prosesin özünün həyata keçirilməsinə sərf olunan maya dəyərini və zamanı xeyli azaldır [1].

Günəş bizim planetə daxil olan sabit enerji mənbəyidir. Yer səthinə düşən günəş şüalanmasının gücü bir ildə 12000 TVt (teravatt) təşkil edir. Bununla eyni zamanda bir sıra hesablamalara görə insanların 2050-ci ilə enerji tələbatı ildə 30 TVt-dan çox olmayacaqdır. Ona

görə də “günəş” hidrogen yanacağıının sintezi böyük maraq kəsb edir. Belə ki, bu yanacaq növü enerjiyə artan tələbatı ödəmək, istixana qazlarının böyük miqyasda tullantısını azaltmaq və dayanıqlı enerji təchizatı ilə bağlı problemlərin həlli üçün potensiala malikdir. Bundan başqa həm günəş işığı, həm də su həddən artıq boldur və praktiki olaraq tükənməzdir. Deməli, günəş şüalanmasının təsiri altında suyun fotokatalitik parçalanmasının köməyi ilə günəş batareyalarında böyük miqyasda hidrogen sintezinə nail olmaq imkanları mövcuddur. Bununla əlaqədar olaraq, suyun parçalanması üçün sintetik materialların axtarışı aktual problemlərdən hesab olunur. Bunun üçün, perspektivli tədqiqat metodu kompyuter modelləşdirməsi hesab edilir. Bu metod artıq, yeni materialların quruluşu və gələcək effektivliyi barədə məlumat almağa imkan verir.

1972 – ci ildə suyun fotokatalitik parçalanması hadisəsinin kəşf olunmasından sonra, aparılan aktiv tədqiqatlara baxmayaraq, titan, sink və volfram oksidləri kimi geniş öyrənilmiş fotokatalizatorlardan istifadə etməklə hidrogen alınması prosesinin sürəti və effektivliyi çox aşağıdır. Belə ki, bu materiallar yalnız ultrabənövşəyi şüalanmada effektiv işləyə bilirlər. Ultrabənövşəyi şüaların payına isə bütün günəş enerjisinin 5%-dən az hissəsi düşür ki, bu da günəş enerjisinin hidrogen enerjisinə çevrilməsinin effektivlik parametrinin ifrat aşağı qiymətinə gətirib çıxarır [2].

Aparılmış tədqiqatların, $ZnIn_2S_4$, g- C_3N_4 , qara fosfor və molibden disulfid kimi yeni nanomaterialların görünən işıq diapazonunda şüalanma zamanı fotokatalizator kimi istifadə oluna bilmələrini göstərməsinə baxmayaraq, onların effektivliyi hələ də yüksək deyildir. Aktual tədqiqat işlərinin birində xəbər verilmişdir ki, nitrid indium – galium əsasında fotokatalizatorlardan istifadə zamanı, günəş enerjisinin hidrogenə çevrilməsinin 9,2 % göstəricisinə nail olunmuşdur. Lakin, bu göstərici ondan istifadə texnologiyasının hər yerdə tətbiqi və sənaye miqyasında istehsal üçün kifayət deyildir. Bundan başqa, əvvəllər təklif olunan nəzəri ekzotik nanomaterialların təcrübi tədqiqi bir qədər çətinləşmişdir. Bu lazım olan sintez şəraitinin proqnozlaşdırılmasındakı çətinliklə əlaqəli olmuşdur [3].

Perspektivli yanaşma kompozit materiallardan istifadədən ibarətdir. Ayrı – ayrı nanomaterialların tətbiqi əvəzinə onların kombinasiyasından iki yarımkeçiricidən ibarət heteroqecidlərdən istifadə etmək olar. Bu isə Z və ya S- sxemlər adlanan görünən və yaxın infraqırmızı diapazonlardakı fotonlardan daha effektiv istifadəyə gətirib çıxarır. Bu sxemlər, yüklərin fotoinduksiya olunmuş daşıyıcılarının köçürülməsindəki üstünlüyünə və onların həm kinetik, həm də termodinamik nöqteyi – nəzərindən daha effektiv bölünməsinə görə aktiv inkişaf etmişlər.

Fotokatalizdə Z və S sxemləri elektronların hərəkətini və enerjini idarə etmək üçün istifadə olunan ən vacib mexanizmlərdir. Hər ikisinin məqsədi elektron – dəşik cütlərinin birləşməsinin (rekombinasiyasının) qarşısını almaq və katalizatorun səmərəliliyini artırmaqdır. Hər iki sxem “zəif” yükləri bir – birinə qurban verib, işi görmək üçün “ən güclü” elektron və deşikləri qoruyub saxlamaq üçündür.

Fotokatalitik sistemlərin işlənməsindəki böyük irəliləyişlərə baxmayaraq, bu gün hələ də yüksək hidrogen yanacağı çıxışını təmin edərək, günəş şüalanmasının təsiri altında suyun tam parçalanmasını həyata keçirə biləcək universal katalitik material mövcud deyildir. Bu, fotokatalizin Z və S – sxemlərinin reallaşdırılması üçün yeni effektiv hibrid materialların işlənməsi sahəsində materialşünaslıq mövzularının inkişafının aktuallığını göstərir.

Hidrogen energetikasında yeni materialların axtarışı və işlənməsində kompyuter modelləşdirilməsi güslü vasitədir. Bu yanaşma tədqiqatçılara, böyük miqdarda potensial materialları effektiv analiz etməyə, onların xassələrini proqnozlaşdırmağa və fiziki təcrübələr başlayana qədər onların quruluşunu optimallaşdırmağa imkan verir. Kompyuter

modelləşdirilməsi hidrogenin istehsalı, saxlanması və istifadəsi proseslərini optimallaşdırmağa kömək edir ki, bu da “yaşıl” energetikaya keçidi sürətləndirir. Müxtəlif modelləşdirmə metodlarından və maşın təlimi texnologiyalarından birgə istifadə gələcəyin materiallarının yaradılması üçün yeni üfqlər açır.

Ədəbiyyat

1. Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Энергосбережение и энергоэффективность: Монография. Москва. Руксайд. 2022. 334с
2. Халбаткеев А. Водород: в борьбе за звание топлива будущего. Нефтегазовая промышленность. 2022; 1(1): 8-15. <https://nprom.online/trends/vodorod-toplivo-budushhego/>
3. Мастепанов А.М. Водородная энергетика России: состояние и перспективы. Энергетическая политика. 2022;12:54-65 https://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_12154_54

Xülasə

Fotosintetik sistemlərin işlənməsindəki irəliləyişlərə baxmayaraq, bu gün hələ də yüksək hidrogen yanacağı çıxışını təmin edərək, günəş şüalanmasının təsiri altında suyun tam parçalanmasını həyata keçirə biləcək universal katalitik material mövcud deyildir. Bu, fotokatalizin z və s - sxemlərinin reallaşdırılması üçün yeni effektiv hibrid materialların işlənməsi sahəsində materialşünaslıq mövzularının aktuallığını göstərir. Hidrogen energetikasında yeni materialların axtarışı və işlənməsində kompüter modelləşdirilməsi güclü vasitə ola bilər.

Резюме

Несмотря на большой прогресс в разработке фотокаталитических систем, на сегодняшний день все еще не существует универсального каталитического материала, способного осуществлять полное расщепление воды под действием солнечного излучения, обеспечивая высокий выход водородного топлива. Это указывает на актуальность развития темы материаловедения в области разработки новых эффективных гибридных материалов для реализации z – и s- схем фотокатализа.

Summary

Despite significant progress in the development of photocatalytic systems, there is still no universal catalytic material capable of completely splitting water under the influence of solar radiation, ensuring high hydrogen fuel yields. This highlights the relevance of materials science research in developing new, efficient hybrid materials for implementing z- and s-photocatalytic schemes.

İMPULS ANALOQ SİQNALLARINI ÖTÜRƏN AKTİV ELEMENT SİSTEMLİ AÇARLAR

Qasimov İ.İ., İsgəndərova S.P.
Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri
isgenderova20@mail.ru

Açar sözlər: elektrik sxemi, elektron açarı volt – amper xarakteristikaları İmpuls açarları və analoq açarları diodlar, tranzistorlar.

Ключевые слова: электрическая схема, электронный ключ, вольт-амперные характеристики, импульсные ключи, аналоговые ключи, диоды, транзисторы.

Key words: Electrical circuit, electronic switch, *volt-ampere characteristics, pulse switches, analog switches, diodes, transistors.*

Bu gün elmi – texniki tərəqqinin, iqtisadiyyatın və mədəniyyətin yüksək inkişafı üçün elektronikanın həlledici rolu təkzibedilməzdir. Bu baxımdan müxtəlif təyinatlı elektron qurğularının öyrənilməsi zamanı elektron qurğularında baş verən fiziki proseslər üçün xarakterik olan aşağıdakı məlumatlara diqqət yetirilməsi vacibdir.

Qurğunun strukturunu və funksiyalarını aşkarlayan təriflər, qurğunun struktur və prinsipial elektrik sxemi, qurğunun sxeminə daxil olan elementlərin təyinatı, qurğunun sxeminin qurulma prinsipi və siqnalların qurğu vasitəsilə çevirilmə qaydaları, qurğunun sxeminin xarakterik xüsusiyyətləri, qurğunun müsbət və mənfi cəhətləri və s. istənilən elektron açarı qeyri – xətti qurğudur. Onların volt – amper xarakteristikaları da qeyri- xətti funksiya formasında olur. Bu baxımdan bu elektron sxemlərində gedən proseslər müxtəlif qeyri – xətti tənliliklərlə ifadə olunurlar. Elektronikanın və mikroelektronikanın sürətli inkişafı dövründə, bu açarların xüsusi funksiyaları vardır. İmpuls açarları və analoq açarları ayrı – ayrı və yaxud birlikdə işləmə qabiliyyətinə malikdirlər. [1]

İmpuls və analoq siqnallarını ötürən açarlar diodlardan, tranzistorlardan, tristorlar və optronlardan yığıla bilirlər. Bu açarların əsas fiziki funksiyası onların hansı tezlikdə işləmələridir. Ona görə də açarlar işləyən zaman elektron qurğusunun daxilində onların cərəyan gərginlik müqavimət funksiyaları nəzərə alınmalıdır. Diod sistemli açarlar üçün

$$u_{cix} = iR = R \frac{u_{gir}}{R_{düz} + R} \quad (1)$$

olur. Beləki dioda düz gərginlik verildikdə. əgər diodun elektron açarda əks gərginliyinə görə müqavimətini nəzərə alsaq, onda

$$u_{cix} = R \frac{u_{gir}}{R_{eks} + R} \quad (2) \quad \text{olar.}$$

$R_{eks} \gg R$ oldu]undan diodun qoşulma polyarlığı ötürmədən asılı olaraq tezlik intervalında dəyişir. Bipolyar tranzistorda isə tranzistorun qoşulmasından asılı olaraq « $\bar{u}_e$; $\bar{u}_k$; $\bar{u}_b$ »; o daha mürəkkəb funksiya malikdir. Üç dövrəsində qoşulma üçün

$$R_b = \beta_{\min} \frac{E_{\bar{u}}}{E_k} R_k \quad (3)$$

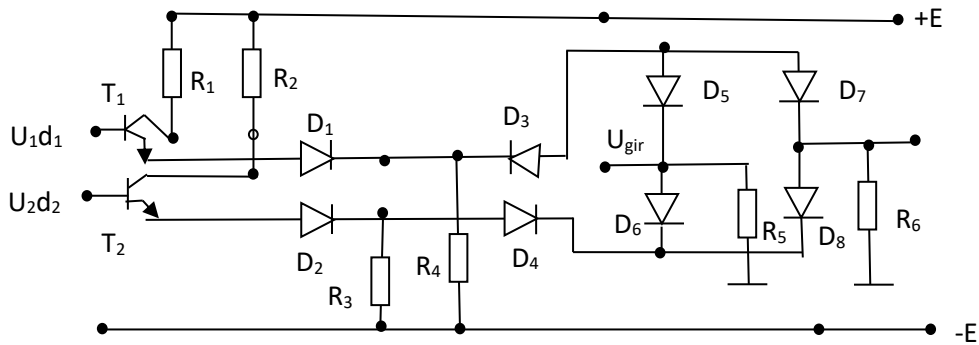
$\bar{u}_k$ dövrəsində qoşulma üçün

$$R_e = \beta_{\min} \frac{E_{\bar{u}}}{E_k} R_b \quad (4)$$

$\bar{u}_b$ dövrəsində qoşulma üçün

$$R_k = \beta_{\min} \frac{E_{\bar{u}}}{E_e} R_e \quad (5)$$

kimi olacaqdır. Doyma şərti $\beta_{\min}$ əmsalının istənilən qiymətlərində ödənilməlidir. [2]



Şəkil 1. Siqnalların ötürülməsində elektron açarların sxemi.

Bu cür sxemlərin işləməsində əsas üstünlük odur ki, onlar giriş siqnalının tezliyi 15Mhs olduğu halda yük müqavimətinin 200 om-dan 300 om olan diapozonunda təhrifsiz öz iş funksiyalarını yerinə yetirə bilirlər. Burada $u_{\text{çix}}$ diodu üçün və tranzistorun qoşulma qiymətindən asılı olaraq impuls və analoq siqnalları aşağıda verilən bərabərlikdən asılı olaraq parametrik paylanırlar. Bu cür sxemlər gərginlik, cərəyan açarları kimi istifadə olunurlar. İnvers rejimində açıq tranzistorun hər birində qalıq gərginlik olur və gərginlik $0,1 \div 5,5 \text{ mV}$ arasında müqaviməti isə $50 \text{ m} \div 250 \text{ m}$ olduğundan analoq və impuls sistemli açarların kifayət qədər böyük gərginlik və cərəyanları ötürmək üçün istifadə etmək mümkündür. Bu cür sxemlərin açılıb qoşulma tezlikləri 0,1 mikrosaniyə həddində olur. [3]

Ədəbiyyat

1. Abdinov Ə.Ş., Səfərov V.H. Elektron texnikasının materialları və nanotexnologiyanın əsasları. Bakı. "Təhsil" 2019
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.Мир. 1986
3. А.М.Паşayev., А.Р.Нəсəнов., İ.Ə.İsgəндəров., F.А.Əbdürəhimov. Elektron qurğularının əsasları. "Mülki Aviasiya". 10.09.2014
4. <http://mikroelektronika.info>
5. <http://www.optoelectronics.org>

Xülasə

Elektronika müasir dövrdə elmi-texniki tərəqqinin, iqtisadiyyatın və mədəni inkişafın əsas aparıcı sahələrindən biridir. Elektron qurğuların öyrənilməsi zamanı onların strukturu, işləmə prinsipi, sxem quruluşu və siqnalların çevrilmə mexanizmi kimi əsas xüsusiyyətlər xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Elektron açarlar qeyri-xətti qurğular olub, onların volt-ampere xarakteristikaları da qeyri-xətti funksiyalarla ifadə olunur. Bu səbəbdən belə qurğularda baş verən proseslər qeyri-xətti tənliklərlə təsvir edilir.

Bu məqalədə Müasir mikroelektronikada impuls və analoq açarlar geniş tətbiq olunur və həm ayrı-ayrılıqda, həm də birlikdə işləmə prinsipləri və impuls analoq siqnallarını ötürən aktiv element sistemli açarların iş prinsipləri geniş izah olunur

Резюме

Электроника является одной из главных областей научно-технического прогресса, экономического и культурного развития в современную эпоху. При изучении электронных устройств особое значение имеют их основные характеристики, такие как структура, принцип работы, структура схем и механизм преобразования сигнала.

В данной статье описывается широкое использование импульсных и аналоговых переключателей в современной микроэлектронике, принципы их работы как по

отдельности, так и совместно, а также принципы работы активных элементов системы переключателей, передающих импульсно-аналоговые сигналы.

Summary

Electronics is one of the main areas of scientific and technical progress, economic and cultural development in the modern era. When studying electronic devices, their main characteristics are of special importance, such as the structure, principle of operation, structure of the circuit and mechanism of signal transformation.

This article describes the wide use of pulse and analog switches in modern microelectronics, the principles of their operation both separately and together, as well as the principles of operation of the active elements of the switch system that transmit pulse-analog signals.

GƏRGİNLİYİN DƏYİŞMƏSİNDƏN ASILI OLARAQ FIRLANMA İSTİQAMƏTİ ÇEVİRİLƏN MÜHƏRRİKLƏRİN FUNKSİYALARI

*Qasimov İ.İ., İsgəndərova S.P.,
Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri
isgenderova20@mail.ru*

Açar sözlər: cərəyan şiddəti, transformator üsulu, elektronika, idarəedici çevirici tezliyi, idarəedici mühərrik, “revers”, stabil gərginlik

Ключевые слова: Сила тока, трансформаторный метод, электроника, регулируемая частота преобразователя, управляемый двигатель, «реверс», стабильное напряжение
Key words: Current strength, transformer method, electronics, adjustable frequency converter, controllable engine, “reverse”, stable voltage

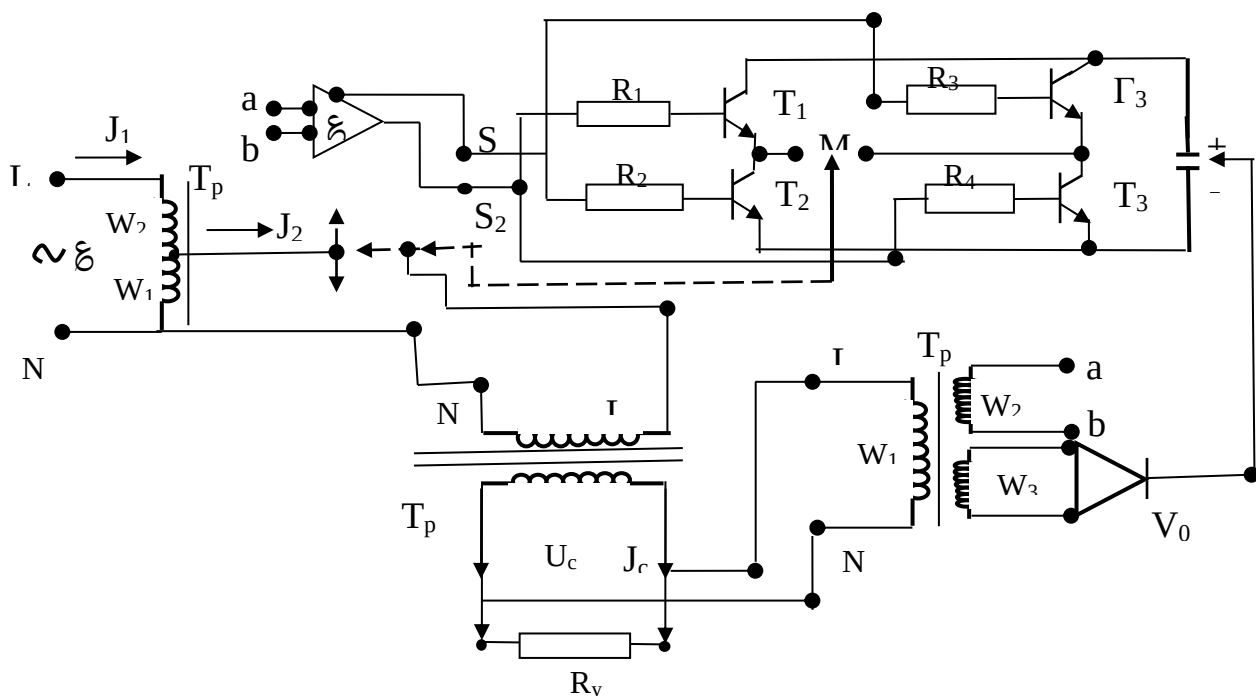
Elektron texnikasının qarşısında duran əsas texniki problemlərdən biri idarəedici sistemin bazasında onun gərginliyinin sabit olmasıdır. Bu baxımdan yüksək cərəyan şiddəti gərginliyi tələb olunan texniki qurğularında mütləq bu yüksək dəqiqliklə yerinə yetirilməlidir. Bu proses iki formada yerinə yetirilə bilər. Bunlardan birincisi transformator üsulu ilə idarə olunma, ikincisi isə impuls aktiv element üsulu ilə. İkinci üsul müasir elektronikanın inkişafı ilə əlqədar olaraq yüksək gərginlik və cərəyan şiddətinin tələb olunduğu fiziki parametrlərə cavab verə bilmir. Transformator üsulu isə bu fiziki parametrlərə dayanıqlı cavab verə bilər. Bu zaman R_y müqavimətindən asılı olaraq elə qurulmalıdır ki, gərginlik istənilən anda dəyişməz qalsın. Bu halda mühərrikin idarəedici çevirici tezliyi nəzərə alınmalıdır.

$$n = \frac{E}{c_e \Phi} \quad (1)$$

Elektrik hərəkət qüvvəsinin qiymətini nəzərə alsaq onda

$$n = (u - J_y \sum r_y) / c_e \Phi \quad (2)$$

olar. Bu idarəedici mühərrikin çevirici tezliyinin əsası şərtidir. Gərginliyin idarə olunmasında yüksək tələb olunan amper qiymətində güc transformatoru və avtotransformatordan ardıcıl olaraq istifadə olunur.



Şəkil 1. Gərginlik mühərrik çeviricinin sxemi.

Bu sistem ardıcılıığı aşağıdakı kimi, sxem üzrə yığılan zaman daha məqsədə uyğun olur. Fiziki parametrlər nəzərə alındıqdan sonra mühərrik çevirilməsi artır elementin dövrəsi yığılmalıdır, bu əsasən əməliyyat gücləndiriciləri və aktiv və yaxud integral mikrosxemlərlə yığılmalıdır.

T_{p2} avtotransformatorun giriş gərginliyini qəbul edir. Bu zaman şəbəkədə giriş gərginliyi 100volt -dan $\div$ 250volta kimi dəyişə bilər. T_{p2} güc transformatoru ona verilən gərginliyi tənzimləyə bilməz. Onların hər ikisinin maqnit induksiyası bir – birindən fərqlənir bu zaman çıxışda aşağı gərginlik və cərəyan şiddəti alınır. Sistemin bu funksiyasını idarə etmək üçün T_{p3} transformatoru dövrənin çıxışına qoşulur və R_y müqavimətinə uyğun olaraq özünün çıxış gərginlik və cərəyanın tərtib olunmuş sxemə verir. Bu zaman T_{p3} W_3 çıxışı hərəkət edən motorun qidasını tənzimləyir. W_2 çıxışı isə əməliyyat gücləndiriciyə verilir. Əməliyyat gücləndiricisinin əsas funksional xarakteristikası ondan ibarətdir ki, avtotransformatorun artıb – azalan gərginliyini tezlikdən asılı olan hiss etmə qabiliyyətinə malikdir. Onun çıxışında həmişə verilmiş zaman intervalında hissetmə çox yüksəkdir. Bu zaman gərginlik şəbəkədən azalanda əməliyyat gücləndiricisi öz impuls signalını vT verir və “revers” sistemli motor sola hərəkət edir, bu proses əksinə baş verir.

Beləliklə avtotransformatorun gərginlik idarəedici funksiyasına çevirici motor nəzarət edir. Bu zaman çıxışda T_{p1} -də həmişə girişdən asılı olmayaraq stabil gərginlik alınır.

Ədəbiyyat

1. А.Б.Грумбина. «Электрические машины и источники питания радиоэлектронных устройств» М.Мир.1990
2. В. М. Иванов Пьезоэлектрические материалы и их применение” 2007, 256 стр.
3. Ahmad Safari, E. Koray Akdoğan Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications” : 2008, 482 pages
4. <http://electrotechnica.info>

5. <http://www.microelectronics.org>

Xülasə

Elektrik texnikasında əsas problemlərdən biri idarəedici sistemlərdə gərginliyin yüksək dəqiqliklə sabit saxlanmasıdır. Bu məqsədlə transformator üsulu impuls üsuluna nisbətən daha etibarlı və dayanıqlı hesab olunur. Təklif olunan sistemdə avtotransformator giriş gərginliyindəki dəyişmələri qəbul edir, güc transformatoru isə bu gərginliyi uyğun səviyyəyə gətirir. Əlavə transformator (Тр₃) çıxış gərginliyi və cərəyanını tənzimləyərək mühərrikin qidalanmasını təmin edir.

Əməliyyat gücləndiricisi gərginlikdə baş verən dəyişmələri yüksək həssaslıqla izləyir və uyğun impuls siqnalları yaradaraq reversli mühərriki idarə edir. Bu əks əlaqə mexanizmi sayəsində sistem girişdəki dəyişmələri kompensasiya edir və nəticədə çıxışda stabil gərginlik əldə olunur.

Резюме

Одной из основных проблем электротехники является обеспечение высокой точности стабилизации напряжения в системах управления. В этом контексте трансформаторный метод считается более надежным и устойчивым по сравнению с импульсным методом. В предложенной системе автотрансформатор воспринимает изменения входного напряжения, а силовой трансформатор приводит его к необходимому уровню. Дополнительный трансформатор (Тр₃) регулирует выходное напряжение и силу тока, обеспечивая питание двигателя.

Операционный усилитель с высокой чувствительностью отслеживает изменения напряжения и формирует соответствующие импульсные сигналы для управления реверсивным двигателем. Благодаря механизму обратной связи система компенсирует входные возмущения, в результате чего на выходе достигается стабильное напряжение.

Summary

One of the main challenges in electrical engineering is to ensure high-precision voltage stabilization in control systems. In this regard, the transformer-based method is considered more reliable and stable compared to the pulse-based approach. In the proposed system, the autotransformer detects variations in the input voltage, while the power transformer adjusts it to the required level. An additional transformer (Тр₃) regulates the output voltage and current, ensuring proper motor supply.

The operational amplifier, with high sensitivity, monitors voltage variations and generates appropriate pulse signals to control the reversible motor. Through this feedback mechanism, the system compensates for input fluctuations, resulting in a stable output voltage.

Sb-Se BİNAR XALKOGENİD ŞÜŞƏLƏRİNDƏ ŞÜŞƏLƏŞMƏ VƏ KRİSTALLAŞMA

Mehdiyeva S.İ., Ələkbərov R.İ., Abasova, A.Z. Sadıxlı R.F., Məmmədov S.M.

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu PHŞ,

smmammedov@mail.ru

Açar sözlər: xalkogen, şüşələşmə, kristallaşma

Ключевые слова: халькоген, стеклование, кристаллизация

Keywords: chalcogen, vitrification, crystallization

Bu işdə $\text{Se}_{80}\text{Sb}_{20}$ tərkibli ikili xalkogenid şüşədə şüşələşmə və struktur relaksasiya proseslərinin fiziki mexanizmləri qızdırılma sürətinin təsiri altında sistemli şəkildə tədqiq edilmişdir. Nümunələr söndürülmüş soba rejimi ilə hazırlanmış, onların amorf quruluşu Rentgen difraksiya analizi ilə təsdiqlənmişdir. Differensial skanedici kalorimetriya (DSC) ölçmələri qızdırılma sürətinin artması ilə şüşələşmə temperaturunun (T_g) zəif artdığını və kövrəklik indeksinin (m) cüzi azaldığını göstərir. Müxtəlif modellər tətbiq edilərək struktur vahidlərin orta rabitə enerjisində kiçik artım və şüşəmələgətirmə qabiliyyətində qismən yaxşılaşma müəyyən edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, qızdırılma sürəti əsasən orta nizama təsir edir və şüşələşmə mexanizmlərinin izahında mühüm rol oynayır.

1. GİRİŞ

Xalkogenid şüşələr son illərdə optoelektronika, yaddaş qurğuları və fotonik tətbiqlər baxımından geniş maraq doğurur [1,2]. Bu materiallarda şüşələşmə keçidi və struktur relaksasiya proseslərinin başa düşülməsi onların funksional xüsusiyyətlərinin optimallaşdırılması üçün əsasdır [3,4].

Şüşələşmənin əsas parametrlərindən biri kövrəklik indeksi (m) olub, temperaturdan asılı olaraq özlülüyün dəyişmə sürətini xarakterizə edir [5,6]. Ədəbiyyatda göstərilir ki, şüşələrin “güclü” və “kövrək” kimi təsnifatı onların Arrhenius qanunundan kənaraçıxma dərəcəsi ilə bağlıdır [5,7,8]. Lakin qızdırılma sürətinin bu parametrlərə təsiri hələ də tam izah olunmamışdır. Mövcud modellər əsasən yaxın nizamı (SRO) nəzərə alır, halbuki eksperimental nəticələr göstərir ki, qızdırılma sürəti əsasən orta nizama (MRO) təsir göstərir [9,10].

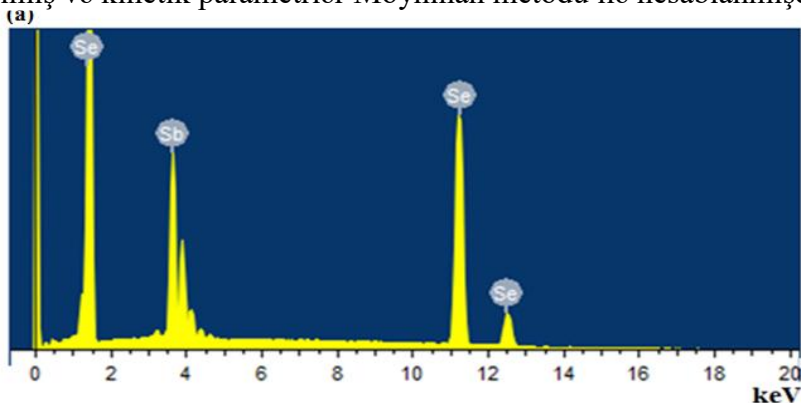
Bu işin məqsədi Se–Sb sistemində qızdırılma sürətinin şüşələşmə prosesinə təsir mexanizmlərini rabitə qüvvəsi (möhkəmliyi)-koordinasiya ədədinin fluktuasiyası modeli, “miqyaslı özlülük” yavaşması və termodinamik analiz əsasında izah etməkdir [1, 4,11,12].

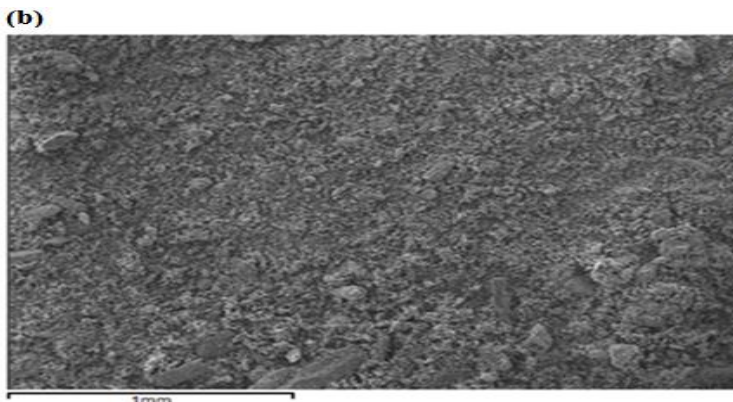
2. TƏCRÜBƏNİN METODİKASI VƏ NÜMUNƏLƏRİN ALINMASI

$\text{Se}_{80}\text{Sb}_{20}$ tərkibli şüşə nümunələri yüksək təmizlikli elementlərdən əridib-söndürmə üsulu ilə hazırlanmışdır. Elementlər vakuumda kvars ampulalarda ($\sim 10^{-4}$ Torr) 1100 K temperaturda 10 saat homogenləşdirilmiş və sonra soyudulmuşdur [13].

Nümunələrin morfologiyası və tərkibi SEM və EDS vasitəsilə analiz edilmişdir. EDS nəticələri nominal tərkiblə yaxşı uyğunluq göstərmişdir. XRD analizləri amorf quruluşu təsdiqləmişdir (Şəkil 1).

Termal xassələrin öyrənilməsi DSC cihazında 2.5–45 K/dəq intervalında müxtəlif qızdırılma sürətlərində aparılmışdır. Şüşələşmə, kristallaşma və ərimə temperaturları müəyyən edilmiş və kinetik parametrlər Moynihan metodu ilə hesablanmışdır [14].

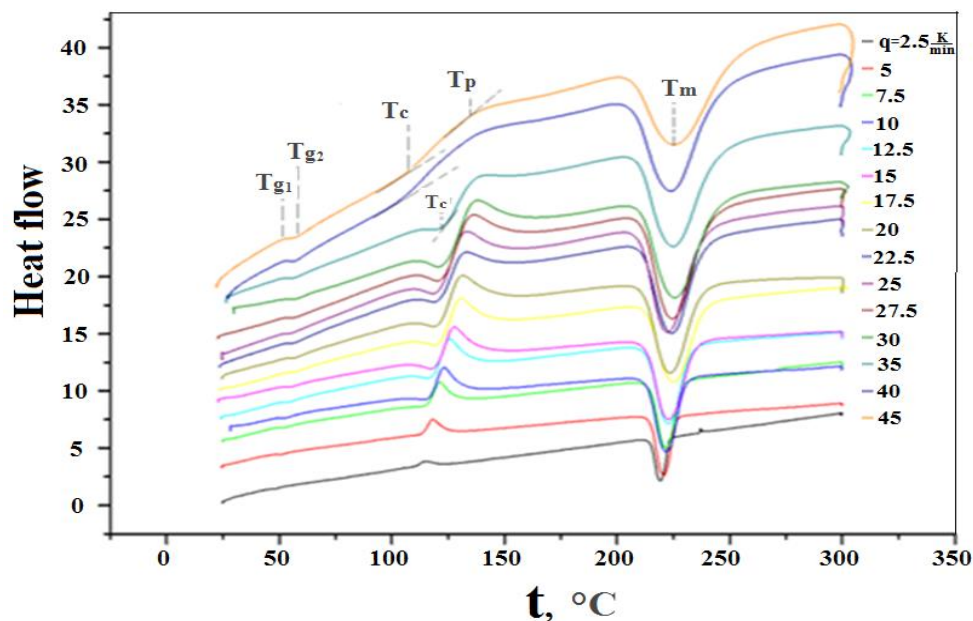




Şəkil 1. $\text{Se}_{80}\text{Sb}_{20}$ tərkibinin a) EDS analizi və b) SEM şəkli.

3. NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

DSC nəticələri göstərir ki, qızdırılma sürətinin artması ilə T_g təxminən 8–9 K artır. Bu artım zəif xarakter daşıyır və göstərir ki, qızdırılma sürəti şüşə strukturunun əsas (SRO) xüsusiyyətlərini dəyişmir (Şəkil 2) [15,16].



Şəkil 2. $\text{Se}_{80}\text{Sb}_{20}$ binar xalkogenid sistemlərində DSC əyriləri.

Kövrəklik indeksi $m \approx 36\text{--}37$ intervalında dəyişir və qızdırılma sürəti artdıqca cüzi azalır. Bu isə sistemin nisbi olaraq “orta kövrək” xarakterə malik olduğunu göstərir [5, 6]. “miqyaslı özlülük” modeli əsasında m -in aşağı sərhədi $m_{\min} \approx 16.39$ kimi müəyyən edilmişdir [11, 12]. Hesablamalar göstərir ki, qızdırılma sürəti artdıqca şüşəmələgətirmə qabiliyyəti (H_r) və termal sabillik parametrləri (S , H') artır. Bu isə struktur vahidlər arasında qarşılıqlı təsirlərin qismən gücləndiyini göstərir [1, 3, 9]. Rabitə qüvvəsi (məhkəmliyi)-koordinasiya ədədinin fluktuasiyası

modeli çərçivəsində aparılan analizə görə, struktur vahidlərin orta rabitə enerjisi $E_0Z_0 \approx 0.456\text{--}0.481$ eV intervalında dəyişir və qızdırılma sürəti ilə zəif artır. Fluktuasiyalar isə demək olar sabit qalır. Bu nəticə göstərir ki, dəyişikliklər əsasən orta məsafəli nizamda baş verir [1,3,17].

Beləliklə, Tg-nin qızdırılma sürətindən asılılığı yalnız kovalent rabitə yanaşması ilə izah edilə bilməz. Əsas rol zəif molekullararası qarşılıqlı təsirlərə və struktur vahidlərin qarşılıqlı yerləşməsinə məxsusdur.

Ədəbiyyat

1. K. Tanaka, K. Shimakawa Amorphous Chalcogenide Semiconductors and Related Materials (Springer Nature, Switzerland) (2021)
2. E. Donth The Glass Transition Relaxation Dynamics in Liquids and Disordered Materials (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany) (2001)
P.G. Debenedetti, F.H. Stillinger Nature. 410 259 (2001)
- K. Tanaka Phys. Stat. Sol. B 257 2000206 (2020)
3. C. A. Angell Science. 267 1924 (1995)
4. C.A. Angell J. Non. Cryst. Solids. 73 1 (1985)
W. Kauzmann Chem. Rev. 43 219 (1948)
5. H. Tanaka Phys. Rev. Lett. 90 055701 (2003)
6. D.L. Sidebottom J. Non-Cryst. Solids 524 119641 (2019)
7. R. Richert, C.A. Angell J. Chem. Phys. 108 9016 (1998)
8. M. Paluch, S.J. Rzoska, P. Habdas, J. Ziolo J. Phys. Condens. Matter 10 4131 (1998)
9. S. Capaccioli, G. Ruocco, F. Zamponi J. Phys. Chem. B. 112 10652 (2008)
10. D. Dimitrov, D. Tzocheva, D. Kovacheva Thin Solid Films. 323 79 (1998)
11. C.T. Moynihan, A.J. Wilder, J. Tucker J. Phys. Chem. 78 2673 (1974)
12. M. Ikeda, M. Aniya J. Non-Cryst. Solids. 371 53 (2013)
13. M. Ikeda, M. Aniya Materials 3 5246 (2010)
14. M. Wilson, P.S. Salmon Phys. Rev. Lett. 103 157801 (2009)

Xülasə

Bu işdə $\text{Se}_{80}\text{Sb}_{20}$ xalkogenid şüşədə şüşələşmə və relaksasiya proseslərinin qızdırılma sürətindən asılılığı kompleks şəkildə öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qızdırılma sürəti Tg-yə zəif təsir göstərir, kövrəklik indeksi sabit qalır və sistem orta kövrəklik nümayiş etdirir, şüşəmələgətirmə qabiliyyəti və termal sabillik qismən artır, struktur dəyişikliklər əsasən orta nizamda baş verir.

Alınan nəticələr xalkogenid şüşələrdə şüşələşmə mexanizmlərinin daha dərinəndən anlaşılmasına və bu materialların tətbiq imkanlarının genişləndirilməsinə töhfə verir.

Summary

In this work, the physical mechanisms of glass transition and structural relaxation processes in $\text{Se}_{80}\text{Sb}_{20}$ binary chalcogenide glass were systematically investigated under the influence of heating rate. The samples were prepared using the furnace-cooled regime, and their amorphous structure was confirmed by X-ray diffraction analysis. Differential scanning calorimetry (DSC) measurements showed that with increasing heating rate, the glass transition temperature (Tg) slightly increases, while the fragility index (m) slightly decreases. By applying various models, a slight increase in the average bond energy of structural units and a partial improvement in the glass-forming ability were determined. The results indicate that the heating rate mainly affects the medium-range order and plays an important role in explaining the mechanisms of glass transition.

KOMPOZİT MATERİALLARIN TƏSNİFATI VƏ MÜASİR MAŞINQAYIRMADA ONLARIN ROLU

Sadixova M. Ş., Əhmədov Ş. B.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

sadixovametamet@mail.ru, hmdovsair8@gmail.com

Açar sözlər: kompozit materiallar, kompozit materialların matrisası, laminatlı kompozit materiallar, dispers möhkəmləndirilmiş kompozit materiallar.

Ключевые слова: композитные материалы, матрица композитных материалов, слоистые композитные материалы, композитные материалы, армированные дисперсионными элементами.

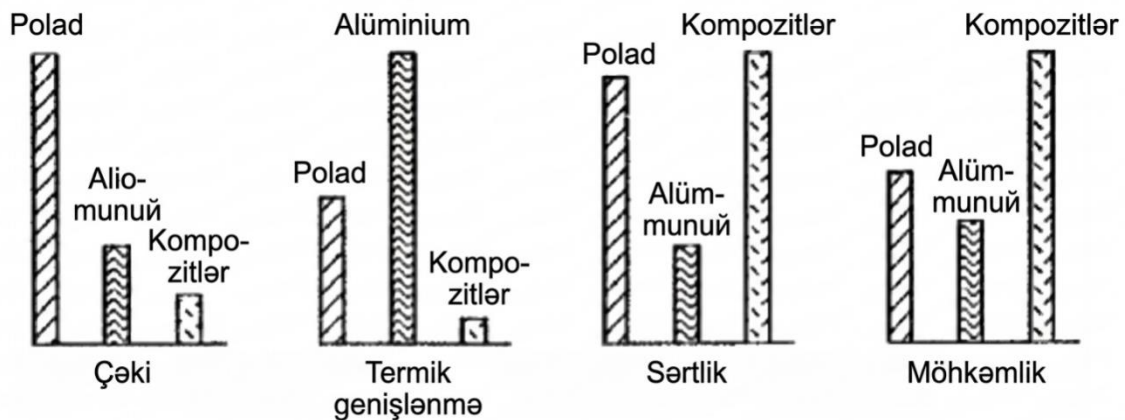
Key words: composite materials, composite material matrix, layered composite materials, composite materials reinforced with dispersion elements.

Giriş. Müasir dünyada maşınqayırma, cihazqayırma, aviasiya və kosmik sənayenin sürətli inkişafı konstruksiya materialları qarşısında yeni və daha sərt tələblər qoyur. Polad, çuqun, bürünc və alüminium kimi ənənəvi materiallar bir çox hallarda müasir mühəndisliyin ehtiyaclarını tam ödəyə bilmir. Xüsusilə də yüksək mexaniki yüklər, kəskin temperatur dəyişiklikləri və ağır kütlə ilə bağlı yaranan məhdudiyyətlər yeni nəsil materialların yaradılmasını zəruri edir.

Bu problemin həlli kimi ifrat bərkliyə, möhkəmliyə və yüksək temperaturlara dözümlülüyə malik olan, lakin nisbətən kiçik xüsusi çəkisi ilə fərqlənən kompozit materiallar çıxış edir. Kompozit materiallar iki və ya daha çox komponentin (matrisa və möhkəmləndirici faza) ümumi bir sistemdə birləşməsindən alınır və konkret layihənin tələblərinə uyğunlaşdırıla bilən çevik konstruksiya üstünlüyünə malikdir. Matrisalar və möhkəmləndirici elementlərin növündən (lifli, laylı, dispers-möhkəmləndirilmiş) asılı olaraq kompozitlər istənilən istismar şərtinə uyğunlaşdırıla bilər.

Aşağıda müasir sənayedə ənənəvi materialların tətbiqi zamanı yaranan əsas problemlər və kompozit materialların bu problemləri necə həll etməsi əsaslandırılmışdır.

Kompozit materiallar konkret layihənin tələblərinə uyğunlaşdırıla bilən çevik konstruksiya üstünlüyünə malikdir. Şəkil 1-də kompozit materialların polad və alüminiumla müqayisədə üstünlükləri göstərilmişdir.



Şəkil 1. Konstruksiya materiallarının polad və alüminium ilə müqayisəsi

Kompozit materiallar — iki və ya daha çox komponentin ümumi bir sistemdə birləşməsindən alınan və hər bir komponentin öz xüsusiyyətlərini fərdi şəkildə saxladığı materiallardır. Kompozitlərə həm makro, həm də mikro miqyasda baxıla bilər və bununla əlaqədar olaraq onları müvafiq olaraq bircinsli və ya müxtəlifcinsli kimi təsəvvür etmək olar.

Kompozitlərin matrisaları metallar və onların ərintiləri, həmçinin üzvi və qeyri-üzvi polimerlər, keramika, karbon və digər materiallar əsasında hazırlana bilər. Onların qiyməti mexaniki xüsusiyyətlərindən asılıdır: mexaniki xüsusiyyətlər nə qədər yaxşıdırsa, matrisa bir o qədər bahadır. Matrisanın xüsusiyyətləri kompozitin alınma prosesinin texnoloji parametrlərini və onun istismar xarakteristikalarını müəyyən edir: Sıxlıq; Xüsusi möhkəmlilik; İşçi temperaturu; Yorgunluqdan parçalanmaya qarşı müqavimət; Aqressiv mühitlərin təsirinə qarşı davamlılıq

Dolğular və ya möhkəmləndirici elementlər kompozitin möhkəmləndirilməsi üçün istifadə olunur və yüksək möhkəmlikli poladdan, molibden, volfram və digər metallardan və onların ərintilərindən, bor, karbon, şüşə liflərindən, alüminium və silisiumun oksid və nitridlərinin monokristallarından və digər birləşmələrdən hazırlana bilər.

Kompozit materiallar bir neçə əsas xüsusiyyətə görə bölünə bilər: — matrisa materialına və möhkəmləndirici komponentlərə görə; — struktura — komponentlərin (struktur tərkib hissələrinin) həndəsəsinə (morfologiyasına) və yerləşməsinə görə; — alınma üsuluna görə; — tətbiq sahəsinə görə [6].

Müasir maşınqayırmada ənənəvi materialların (polad, alüminium) məhdudiyyətləri yeni nəsil kompozitlərin yaradılmasını zəruri etmişdir. Əsas problemlərdən biri materialın eyni zamanda həm yüksək möhkəmliyə, həm də kiçik xüsusi çəkiyə malik olması tələbidir. Polad yüksək möhkəmlilik təmin etsə də, onun çəkisi aviasiya və kosmik sahələrdə ciddi problem yaradır. Bu problemin həlli kimi, matrisadakı lif və ya hissəciklərin ölçüsünün kiçildilməsi texnologiyasından istifadə olunur; çünki lif və ya hissəcik nə qədər nazik olarsa, materialın mexaniki xüsusiyyətləri bir o qədər yüksək olur.

Xüsusi tətbiq sahələrində, məsələn, təyyarələrin quşlarla toqquşması və ya qəlpə zərbələrinə məruz qalması kimi mexaniki zərbə problemləri mövcuddur. Bu tip yüksək riskli problemlərin həlli üçün orqanoplastiklərdən hazırlanmış qoruyucu ekranlar və halqalar tətbiq edilir. Məsələn, "Ruslan" təyyarələrində tətbiq olunan 45 mm qalınlıqlı qoruyucu halqalar 300 m/san sürətlə gələn qəlpələrə dözmək qabiliyyətinə malikdir.

Alüminium ərintilərinin aşağı korroziya davamlılığı və çatlamaya meyilliliyi də mühüm bir problemdir. Bu problemin həlli üçün "alor" adlanan yeni nəsil hibrid materiallar (metalloorqanoplastiklər) yaradılmışdır. Alorlar növbələşən alüminium və orqanoplastik təbəqələrindən ibarət olmaqla, həm metalın yükünü azaldır, həm də konstruksiyanın çatlamaya qarşı davamlılığını artırır. [6].

Müasir maşınqayırmada ənənəvi konstruksiya materiallarının (polad, çuqun və s.) yüksək çəkisi və məhdud möhkəmliyi əsas texniki maneə kimi çıxış edir. Bu problemin həlli üçün iki və ya daha çox komponentin birləşməsindən yaradılan, hər bir hissənin öz fərdi xüsusiyyətini qoruduğu kompozit sistemlər təklif olunur. Konstruksiyalarda qarşıya çıxan əsas çətinliklərdən biri lif və ya hissəciklərin ölçüsü ilə mexaniki xüsusiyyətlər arasındakı asılılıqdır; bu, möhkəmləndirici elementlərin mikroskopik ölçüyə qədər nazildilməsi ilə həll edilir. Aviasiya və kosmik sənayedə ən böyük problem çəki qənaətidir, çünki orbitə çıxarılan hər 1 kq kütlənin dəyəri 30 min dollara qədər yüksələ bilər. Bu iqtisadi və texniki problem borplastik və boralüminium kimi materialların tətbiqi ilə aradan qaldırılır ki, bu da "Şattl" tipli gəmilərdə kütləni 1400 kq-dan çox azaltmağa imkan vermişdir.

Konstruksiyanın monolitliyinin təmin olunması və gərginliklərin paylanması matrisanın düzgün seçilməsini tələb edən mürəkkəb bir məsələdir. Matrisa yükü bütün həcm boyu

paylayaraq bir lif dağıldıqda yükün digərlərinə ötürülməsini təmin edir və beləliklə sistemin etibarlılığını qoruyur. Materialın daxili təbəqələrindəki adheziya (yapışma) zəifliyi istismar müddətini qısaldan amil olduğu üçün komponentlər arasındakı ayrılma sərhədinin sabitliyi xüsusi texnoloji parametrlərlə təmin olunur. Mexaniki zərbələr və quşlarla toqquşma kimi təhlükələr təyyarə mühərrikləri üçün ciddi risk yaradır. Bu problemin həlli üçün orqanoplastiklərdən hazırlanan qoruyucu ekranlar tətbiq olunur ki, onlar 300 m/san sürətlə hərəkət edən qəlpələrin zərbəsinə dözmək qabiliyyətinə malikdir. Beləliklə, kompozitlərin çoxlaylı və müxtəlif istiqamətli armaturlanması konkret məmulatın texnoloji tələblərinə uyğun olaraq möhkəmlik və sərtlik problemini kökündən həll edir.

Müasir maşınqayırma əhəmiyyətli materialların məhdudiyyətləri yeni nəsil kompozitlərin yaradılmasını zəruri etmişdir. Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, kompozit materialların (lifli, laylı və dispers-möhkəmləndirilmiş) tətbiqi konstruksiyaların həm yüksək möhkəmliyini, həm də kiçik xüsusi çəkisini təmin edərək əhəmiyyətli polad və alüminium ərintilərinin qüsurlarını aradan qaldırır.

Ədəbiyyat

1. Bob Matthews // Engineering Specialist Structural Analysis. General Dynamics Convair Division.
2. Шибakov В.Г., Калашников В.И., Соколова Ю.А. и др. Производство композиционных материалов в машиностроении: Учеб. пособие. — М.: КНОРУС, 2008.
3. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 2007.
4. Robert M. Jones. Mechanics of Composite Materials 2nd Edition Printed by Taylor and Francis Inc. 1999.
5. Васильев В.В. Композиционные материалы: Справочник — М.: Машиностроение, 1990.
6. Карабасов Ю.С. Новые материалы. — М.: Изд-во МИСИС, 2002.
7. Рогов В.А. Конструкционные и функциональные материалы современного машиностроения. — М.: Масштаб, 2006.

Xülasə

Təqdim olunan məqalədə kompozit materialların təsnifatı və onların müasir maşınqayırma, aviasiya, kosmik və avtomobil sənayesindəki rolu təhlil edilmişdir. Əhəmiyyətli materialların ağır kütlə, korroziya və mexaniki zədələnmə kimi problemləri kompozitlərin (orqanoplastik, borplastik, alor və s.) tətbiqi ilə effektiv şəkildə həll olunur. Kompozit materialların strukturu və matrisa seçimi təkcə məmulatların mexaniki etibarlılığını artırmır, həm də enerjiyə və xərclərə qənaət etməklə yüksək iqtisadi səmərəlilik yaradır.

Резюме

В представленной статье анализируется классификация композитных материалов и их роль в современном машиностроении, авиации, космической и автомобильной промышленности. Проблемы традиционных материалов, такие как большой вес, коррозия и механические повреждения, эффективно решаются применением композитов (органопластики, боропластики, алор и др.). Структура композитных материалов и выбор матрицы не только повышают механическую надежность изделий, но и обеспечивают высокую экономическую эффективность за счет экономии энергии и затрат.

Summary

The presented article analyzes the classification of composite materials and their role in modern mechanical engineering, aviation, aerospace, and the automotive industry. The problems of traditional materials, such as heavy weight, corrosion, and mechanical damage, are effectively solved by the application of composites (organoplastics, boron plastics, alor, etc.). The structure of composite materials and the selection of the matrix not only increase the mechanical reliability of the products but also generate high economic efficiency by saving energy and operational costs.

ELEKTROTEKNIKADA MÜASİR İNKİŞAF İSTİQAMƏTLƏRİNİN VƏ TEXNOLOJİ YENİLİKLƏRİN ROLU

***Musayev S.X., Abbasov R.A.
Gəncə Dövlət Universiteti***

Keywords : electrical engineering, innovation, energy systems, artificial intelligence, IoT, smart grid, renewable energy

Ключевые слова : электротехника, инновации, энергетические системы, искусственный интеллект, IoT, умные сети, возобновляемая энергия

Açar sözlər : elektrotexnika, innovasiya, enerji sistemləri, süni intellekt, IoT, smart grid, bərpa olunan enerji

Elektrotexnika müasir sənayenin və texnologiyanın əsas sütunlarından biridir. Elektrik enerjisinin istehsalı, ötürülməsi və idarə olunması ilə yanaşı, bu sahə elektronika, rabitə, avtomatlaşdırma və informasiya texnologiyaları ilə sıx inteqrasiya olunmuşdur.

Son illərdə texnoloji inqilab və rəqəmsallaşma elektrotexnikada yeni istiqamətlərin formalaşmasına səbəb olmuşdur. Bu dəyişikliklər həm sənaye istehsalında, həm də gündəlik həyatımızda geniş tətbiq tapır.

Elektrotexnikada əsas inkişaf istiqamətlərindən biri sənaye proseslərinin avtomatlaşdırılmasıdır. Proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlər (PLC), SCADA sistemləri və robot texnologiyaları istehsalın optimallaşdırılmasına imkan verir. Bu sistemlər insan əməyini minimuma endirərək məhsuldarlığı artırır.

Süni intellekt elektrotexnika sahəsində əsas inkişaf istiqamətlərindən biri olub qərarvermə proseslərini təkmilləşdirir. Enerji sistemlərinin idarə olunması, nasazlıqların proqnozlaşdırılması və ağıllı şəbəkələrin (smart grid) yaradılması bu texnologiyanın əsas tətbiq sahələrindəndir.

Əşyaların interneti (IoT) texnologiyası müxtəlif cihazların bir-biri ilə əlaqə qurmasını təmin edir. Bu yanaşma enerji səmərəliliyini artırır və real vaxt rejimində monitorinq imkanları yaradır. Tədqiqatlar göstərir ki, enerji baxımından dayanıqlı IoT sistemləri gələcək texnologiyaların əsasını təşkil edəcək.

Elektrotexnikada digər əsas inkişaf istiqamətlərindən biridə bərpa olunan enerji mənbələrinin roludur. Beləki günəş, külək və hidroenerji kimi bərpa olunan enerji mənbələri elektrotexnikanın ən sürətlə inkişaf edən istiqamətlərindəndir. Bu sahədə yeni texnologiyalar enerji istehsalını daha ekoloji və iqtisadi cəhətdən sərfəli edir.

Elektrotexnikada texnoloji yeniliklər dedikdə ilk növbədə ağıllı enerji şəbəkələrinin (Smart Grid) yaradılmasıdır. Smart Grid sistemləri enerji istehsalı və istehlakını optimallaşdırır. Bu texnologiya enerji itkisini azaldır və istehlakçıların enerji istifadəsini daha effektiv idarə etməsinə imkan verir.

Elektrik avtomobilləri və digər nəqliyyat vasitələri elektrotexnikanın tətbiq sahəsini genişləndirir. Bu texnologiya karbon emissiyalarının azalmasına və ekoloji tarazlığın qorunmasına kömək edir.

Batareya texnologiyalarında (məsələn, litium-ion batareyalar) əldə edilən yeniliklər enerji saxlama imkanlarını artırmışdır. Bu isə bərpa olunan enerji sistemlərinin daha effektiv istifadəsini təmin edir.

Mikroçiplərin və yarımkeçirici texnologiyaların inkişafı cihazların daha kiçik, daha sürətli və daha enerjiyə qənaətlı olmasına imkan verir.

Göstərilən inkişaf istiqamətləri və texnoloji yeniliklər sayəsində Elektrotexnikanın tətbiq sahələri dahada genişləndirilmişdir. Beləki sənaye və istehsalat , energetika və elektrik şəbəkələri ,telekommunikasiya sistemləri , nəqliyyat və logistika , tibb və biotexnologiya sahələrində elektrotexnikanın rolu davamlı olaraq artır və yeni innovativ həllər tətbiq olunur.

Nəticə olaraq onu deyə bilərik ki, elektrotexnika sahəsi müasir dövrdə sürətlə inkişaf edərək texnologiyanın digər sahələri ilə integrasiya olunur. Süni intellekt, IoT, bərpa olunan enerji və avtomatlaşdırma kimi istiqamətlər bu sahənin gələcəyini müəyyən edir. Bu yeniliklər elektrotexnikanın daha effektiv, təhlükəsiz və ekoloji baxımdan davamlı inkişafına şərait yaradır.

Ədəbiyyat

1. Əlizadə R. *Elektrotexnikanın əsasları*. Bakı, 2020
2. Məmmədov A. *Enerji sistemləri*. Bakı, 2021
3. Hüseynov E. *Elektrik şəbəkələri və sistemləri*. Bakı, 2019
4. Kundur P. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, 1994
5. Glover J., Sarma M. *Power System Analysis and Design*. Cengage Learning, 2012
6. IEA. *World Energy Outlook*, 2023
7. IEEE. *Smart Grid Research Papers*, 2022–2024
8. Bollen M. *Integration of Distributed Generation*. Wiley, 2011

Abstract

This scientific article examines modern development trends and technological innovations in electrical engineering. It focuses on artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), smart grids, renewable energy sources, and energy storage technologies. The study shows that these technologies improve energy efficiency, support environmental sustainability, and optimize industrial processes.

Аннотация

В данной научной статье рассматриваются современные направления развития электротехники и технологические инновации. Особое внимание уделяется искусственному интеллекту, интернету вещей, интеллектуальным энергосетям и возобновляемым источникам энергии. Установлено, что данные технологии способствуют повышению энергоэффективности и обеспечению экологической устойчивости.

Xülasə

Bu elmi məqalədə elektrotexnika sahəsində müasir inkişaf istiqamətləri və texnoloji yeniliklər geniş şəkildə təhlil olunur. Məqalədə süni intellekt, əşyaların interneti (IoT), ağıllı enerji şəbəkələri (Smart Grid), bərpa olunan enerji mənbələri və enerji saxlama texnologiyalarının elektrotexnika sahəsinə təsiri araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, bu texnologiyalar enerji səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, ekoloji davamlılığı təmin edir və sənaye proseslərinin optimallaşdırılmasına şərait yaradır.

YARIMKEÇİRİCİ ƏSASLI KOMPOZİTLƏRİN MÜASİR ALINMA ÜSULLARI VƏ SƏTHLƏRİNİN MİKRORELYEFLƏRİNİN TƏDQIQI.

*Musayev S.X., Abbasov R.A.
Gəncə Dövlət Universiteti*

Keywords: semiconductor, composite materials, microrelief, nanostructures, CVD, PVD

Ключевые слова: полупроводники, композитные материалы, микрорельеф, наноструктуры, CVD, PVD

Açar sözlər: yarımkeçirici, kompozit materiallar, mikrorelyef, nanostrukturlar, CVD, PVD

Yarımkeçirici əsaslı kompozit materiallar müasir materialşünaslığın və nanotexnologiyanın ən sürətlə inkişaf edən sahələrindən biridir. Bu materiallar müxtəlif fazaların birləşməsindən ibarət olub, yüksək funksional xüsusiyyətlərə malikdir. Onların tətbiq sahələri mikroelektronika, fotovoltayika, sensor sistemləri və optoelektron cihazları əhatə edir.

Kompozitlərin səth xüsusiyyətləri, xüsusilə mikrorelyef strukturu onların istismar parametrlərini müəyyən edən əsas amillərdəndir. Səthin nanomiqyasda quruluşu yükdaşıyıcıların dinamikasına və səth reaksiyalarına təsir edir.

Yarımkeçirici kompozitlərin müasir alınma üsulları içərisində ən geniş yayılan kimyəvi üsullardır. Bu üsullardan biri -kimyəvi buxar fazasında çökdürmə (CVD) üsulu qaz fazasında kimyəvi reaksiyalar nəticəsində nazik təbəqələrin formalaşdırılmasına əsaslanır. Üstünlükləri yüksək təmizlik, yaxşı yapışma qabiliyyəti, homogen struktur qabiliyyətinə malikdir.

Sol-gel texnologiyasında öndə olan metodlardan sayılır və bu metod maye fazadan bərk fazaya keçid prosesinə əsaslanır. Əsasən nanohissəciklərin sintezi üçün geniş istifadə olunur.

Yarımkeçirici kompozitlərin alınması üçün fiziki üsullarda geniş tətbiq olunur ki bunlardan biri də fiziki buxarlandırma (PVD) üsuludur. Bu üsul materialın buxarlanaraq substrat üzərinə çökdürülməsi ilə həyata keçirilir. Əsas üstünlükləri nazik təbəqələrin dəqiq qalınlıq nəzarətinə və yüksək təkrarlanma qabiliyyətinə malik olmasıdır.

Digər fiziki üsul olaraq molekulyar şüa epitaksiyasında (MBE) göstərmək olar. Atom səviyyəsində kristal strukturların böyüdülməsi üçün istifadə olunur və yüksək dəqiqlik təmin edir.

Öz-özünə təşkil olunan strukturlar, nanolitografiya üsulları, elektrokimyəvi çökmə üsulları da səthin mikro və nano səviyyədə idarə olunmasına imkan verir.

Səth mikrorelyefinin tədqiqi metodlarından Atom-qüvvə mikroskopiyası (AQM) səthin üçölçülü topoqrafiyasını nanometr dəqiqliyi ilə təyin etməyə imkan verir. Bu metod səthin kobudluq parametrlərini (R_a , R_q) ölçmək üçün geniş istifadə olunur.

Skanedici elektron mikroskopiya (SEM) səthin morfoloji xüsusiyyətlərini yüksək ayırdetmə qabiliyyəti ilə göstərir. Bu üsul heterogen strukturların analizində effektivdir.

Səth mikrorelyefinin tədqiqi üçün profilometriya və digər üsullarda vardır ki bunlardan, optik profilometriya, tunel mikroskopiyası (STM) və rentgen difraksiyasını (XRD) da göstərə bilərik.

Aparılan analizlər göstərir ki, CVD ilə alınmış kompozitlərdə səth daha hamar və homogen olur. Sol-gel üsulu daha poroz və kobud səth yaradır. PVD orta səviyyəli mikrorelyef formalaşdırır.

Mikrorelyef aşağıdakı xüsusiyyətlərə təsir edir: Elektrik keçiriciliyinə, optik udma və səpilməyə, səth enerjisi və adsorbsiyaya.

Nəticə olaraq onu demək olar ki, yarımkeçirici əsaslı kompozitlərin müasir alınma üsulları onların struktur və səth xüsusiyyətlərini formalaşdırmaq üçün geniş imkanlar yaradır. Mikrorelyefin idarə olunması materialların funksional xüsusiyyətlərinin optimallaşdırılmasında

əsas rol oynayır. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar yeni nəsil nanoelektron və optoelektron cihazların yaradılmasına zəmin yaradır.

Ədəbiyyat

1. Həsənov A. *Yarımkəçiricilər fizikası*, Bakı, 2015
2. Məmmədov R. *Nanotexnologiya və tətbiqləri*, Bakı, 2018
3. Əliyev V. *Bərk cisimlər fizikası*, Bakı, 2012
4. Quliyev T. *Materialşünaslıq*, Bakı, 2016
5. Abbasov N. *Nazik təbəqələr texnologiyası*, Bakı, 2019
6. Ohring M. *Materials Science of Thin Films*, Academic Press, 2002
7. Smith J. *Semiconductor Materials*, Springer, 2020
8. Zhao X. *Surface Characterization Techniques*, Wiley, 2021
9. Callister W. *Materials Science and Engineering*, Wiley, 2018
10. Madou M. *Fundamentals of Microfabrication*, CRC Press, 2011

Abstract

This paper systematically investigates modern fabrication methods of semiconductor-based composites and techniques for analyzing their surface microrelief. Chemical and physical deposition technologies, as well as nanostructuring approaches, are comparatively analyzed. Surface morphology is examined using Atomic Force Microscopy (AFM) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The results indicate that microrelief parameters significantly affect the electrical, optical, and mechanical properties of the materials.

Аннотация

В статье систематически рассмотрены современные методы получения полупроводниковых композитов и методы исследования микрорельефа их поверхности. Проведен сравнительный анализ химических и физических технологий осаждения, а также методов формирования наноструктур. Морфология поверхности изучена с использованием атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии. Показано, что параметры микрорельефа существенно влияют на электрические, оптические и механические свойства материалов.

Xülasə

Məqalədə yarımkəçirici əsaslı kompozit materialların müasir sintez üsulları və onların səth mikroyeqlərinin tədqiqi metodları sistemli şəkildə araşdırılmışdır. Kimyəvi və fiziki çökdürmə texnologiyaları, həmçinin nanostruktur formalaşdırma metodları müqayisəli təhlil edilmişdir. Səthin morfologiyası atom-qüvvə mikroskopiyası və skanedic elektron mikroskopiyası vasitəsilə öyrənilmişdir. Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, mikroyeqlə parametrləri materialların elektrik, optik və mexaniki xüsusiyyətlərinə ciddi təsir göstərir.

ELEKTROTEKNİKİ QURĞULAR ÜÇÜN KARBON KOMPONENTLİ POLİMER KOMPOZİSİYA MATERIALLARININ İSTİLİK-FİZİKİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Cavadov E. M., İsmayilov E. X., Məmmədov E.M.

Gəncə Dövlət Universiteti, Gəncə şəhəri

elcin.cavadov@qdu.edu.az

Açar sözlər: karbon komponentləri, elastomerlər, istilik-fizik xassələr, polimer kompozit materiallar, elektrotekniki qurğular

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы с углеродными компонентами, эластомеры, теплофизические свойства, электротехнические устройства

Keywords: polymer composites with carbon components, elastomers, thermophysical properties, electrotechnical applications

Elastomer əsaslı polimer kompozit materiallar müasir sənayedə, həmçinin yüksək gərginlikli elektrotexniki qurğularda mühüm rol oynayır. Bu materiallar xammalının əlçatanlığı, istehsal texnologiyasının sadəliyi, struktur xüsusiyyətlərinin geniş diapazonda tənzimlənməsi və çoxistiqamətli funksionallığı səbəbindən müxtəlif tətbiq sahələrində səmərəli istifadə olunur. Elastomer kompozitlərin xüsusiyyətləri onların içərisindəki polimer matrisin növündən, doldurucu miqdarı və paylanma xüsusiyyətlərindən asılı olaraq dəyişir. Bu xüsusiyyətlər materialın mexaniki elastikliyi, sərtliyi, istilik və elektrokeçiricilik davranışlarını birbaşa müəyyən edir. Xüsusilə texniki karbonla doldurulmuş elastomerlər, doldurucu konsentrasiyası artdıqca həm izolyasiya, həm də elektrokeçirici xassələr göstərir, bu isə onları elektrotexniki komponentlərdə, yüksək gərginlikli kondensatorlarda, rezistorlarda, sensorlarda və digər kritik komponentlərdə geniş tətbiq üçün ideal edir [2].

Karbon komponentli elastomerlər neft-qaz sənayesində konveyer lentləri, şlanqlar, möhürləyici elementlər, həmçinin elektrik şəbəkələrində qısa qapanmalar zamanı enerji paylanması üçün istifadə olunur. Onlar elektromaqnit maneələrdən qorunma, şaxta kabellərin istilik tənzimlənməsi, borukəmərlərin katod mühafizəsi, eləcə də yüksək temperatur və aşınma şəraitində uzunmüddətli davamlılıq kimi mühüm funksiyaları yerinə yetirir. Qısa qapanma hallarında karbonla doldurulmuş elastomerlər gərginliyi effektiv şəkildə yayaraq elektrik mühərrikləri, nasos və kompressorların etibarlı işləməsini təmin edir. Bu xüsusiyyətlər xüsusilə neft-qaz və ağır sənaye sahələrində kritik əhəmiyyət daşıyır, çünki cihazların fasiləsiz və təhlükəsiz işləməsi üçün istilik və elektrokeçiricilik balansı vacibdir [1].

Texniki karbonla doldurulmuş elastomerlərin istilik-fizik xassələrinin dərinədən öyrənilməsi onların tətbiq potensialını daha da artırır. Materialların struktur və mexaniki xüsusiyyətləri istilik və elektro-fizik davranışlarla sıx bağlıdır [2]. Doldurucu hissəciklərin ölçüsü, səthi modifikasiyası və polimerlə qarşılıqlı təsiri istilik keçiricilik və temperatur paylanmasına birbaşa təsir göstərir. Məsələn, daha homogen paylanmış və nanoölçülü karbon hissəcikləri istilik keçirmə xüsusiyyətlərini artırarkən, iri və qeyri-homogen hissəciklər lokal istilik yığılmalarına səbəb ola bilər. Bu səbəbdən istilik tutumu, istilik keçiricilik və temperatur keçirmə göstəriciləri sənaye və elektrotexniki tətbiqlər üçün kritik əhəmiyyət daşıyır, xüsusilə qısa müddətli yüksək gərginlik və istilik şoklarına məruz qalan sistemlərdə.

İstilik enerjisinin paylanması və uzaqlaşdırılması mürəkkəb istilik sahələrinin idarə olunmasını tələb edir. Çoxkomponentli materiallar üçün bu xüsusiyyətlərin dəqiq başa düşülməsi vacibdir, çünki son xassələrin formalaşması bir neçə faktordan asılıdır: polimerin növü, karbon doldurucunun markası və konsentrasiyası, bağlayıcı və doldurucu hissəciklər arasındakı qarşılıqlı təsir [3]. Struktur fərqlilikləri materialın termal davranışını dəyişir, belə ki, kristallik faza yüksək istilik keçiricilik təmin edərkən, amorf faza istilik tutumunu artırır. Bundan əlavə, polimerin molekulyar çəkisi, kəsişmə dərəcəsi və makromolekulyar zəncir elastikliyi istilik və mexaniki xassələrə təsir edir.

Tədqiqatın məqsədi polimer növündən asılı olaraq istilik səpələnməsi imkanlarını araşdırmaqdır. Bunun üçün aşağıdakı vəzifələr müəyyən edilmişdir:

Seçilmiş nümunələrin istilik-fizik xassələrini ölçmək;

Bu xassələri bağlayıcı komponentlərin fiziki xüsusiyyətləri ilə müqayisə etmək;

İstilik-fiziki göstəriciləri materialın struktur xüsusiyyətləri ilə əlaqələndirmək;

Doldurucu miqdarının və paylanması istilik davranışına təsirini analiz etmək;

Polimer kompozitlərin praktiki tətbiq üçün optimal struktur parametrlərini müəyyənləşdirmək.

Tədqiqat obyektini texniki karbonla doldurulmuş elastomerlər təşkil edir. Onların istilik-fizik xassələri — istilik tutumu, istilik keçirmə və temperatur keçirmə — yüksək və təkrar temperatur dəyişmələri şəraitində ölçülmüşdür [4].

İstilik axını material daxilində istilik keçiricilik əmsalından asılı olaraq dəyişir. İstilik tutumu materialın qızma sürətini, temperatur keçirmə isə istilik enerjisinin material daxilində yayılma sürətini göstərir və qeyri-stasionar rejimdə işləyən konstruksiyalar üçün kritik əhəmiyyət kəsb edir.

Bağlayıcı əsası təsirini qiymətləndirmək üçün kristallik quruluşlu butilkauçuk (IIR) və amorf quruluşlu stiren-butadien kauçuku (SBR) ilə eyni texnologiya və doldurucu ilə hazırlanmış nümunələr müqayisə edilmişdir. Elektrokeçirici doldurucu kimi texniki karbon P-234 istifadə olunmuşdur. İstilik-fizik ölçmələr lazer impulsu (laser flash) metodu ilə DLF-1200 qurğusunda aparılmışdır.

Bu metod yüksək dəqiqlik və təkrar olunma qabiliyyəti ilə seçilir. Nümunənin ön səthi lazer impulsu ilə təsirləndikdən sonra temperatur dəyişməsi qeydə alınmışdır. Nümunələrin səthi qrafit təbəqə ilə örtülmüşdür ki, impuls düzgün yayılsın. Ölçmələr 30–70 °C temperatur intervalında aparılmışdır, lakin əlavə analizlər 80–120 °C aralığında genişlənərək yüksək istilik şəraitində davranış modellərini göstərmişdir.

Əldə olunmuş nəticələr göstərir ki:

Seçilmiş temperatur aralığında istilik-fiziki parametrlərdə dəyişiklik əhəmiyyətli deyil;

İstilik keçiricilik əmsalı nəzərdən keçirilən temperatur diapazonunda praktik olaraq sabit qalır;

Materialların istilik keçiricilik və temperatur keçirmə əmsalları arasında düz mütənasib əlaqə mövcuddur, lakin dəyişmə diapazonu fərqlidir;

Xüsusi istilik sıgımı, istilik tutumu və temperatur keçirmə əmsalları bağlayıcı əsası növündən asılıdır;

Polimer növü temperatur keçirmə və istilik keçiriciliyə istilik sıgımı ilə müqayisədə daha çox təsir göstərir;

Karbon komponentləri olan polimer kompozit materiallar kristallik quruluşlu bağlayıcı ilə amorf bağlayıcıya nisbətən yüksək istilik-fiziki xassələrə malikdir [5].

Analiz göstərir ki, istilik-fiziki xassələrin formalaşması polimerin struktur dəyişiklikləri, makromolekulyar zəncirlərin orientasiyası və karbon komponent hissəcikləri ilə qarşılıqlı təsir nəticəsində baş verir. Kristallik faza tərkibi artdıqca istilik-fiziki xassələrin kəmiyyət dəyərləri yüksəlir, bu da materialın istilik yayılmasını sürətləndirir. Bu nəticələr göstərir ki, karbon komponentli polimer kompozitlərin seçimi konstruksiyanın istilik rejiminə əsasən aparılmalıdır. Qeyri-bərabər istilik rejimində işləyən konstruksiyalar üçün kristallik kauçuk, istilik artım sürətinin artırılması tələb olunan qurğular üçün isə amorf faza üstünlük təşkil edir.

Əlavə olaraq, nəticələr göstərir ki, nanoölçülü karbon doldurucuların tətbiqi istilik və elektrokeçiricilik xüsusiyyətlərini daha da optimallaşdırma bilər, eyni zamanda materialın mexaniki davamlılığını artırır. Bu isə elastomer əsaslı kompozitlərin elektrik mühəndisliyində, avtomobil sənayesində, neft-qaz infrastrukturunda və yüksək performanslı sənaye avadanlıqlarında geniş istifadəsini şərtləndirir.

Ədəbiyyat

1. Минакова, Н.Н., & Ушаков, В.Я. (2018). Полимеры с углеродными наполнителями для мощных резисторов. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 329(2), 74–80.
2. Gao, Q., Liu, J., & Liu, X. (2021). Electrical conductivity and rheological properties of carbon black based conductive polymer composites prior to and after annealing. Polymers and Polymer Composites, 29(9), S288–S295.
3. Volkov, D.P., Egorov, A.G., & Mironenko, M.E. (2017). Thermophysical properties of polymer composite materials. Scientific-Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics, 17(2), 287–293.
4. Kreit, O., & Bleck, U. (1983). Fundamentals of heat transfer. Moscow: Mir.
5. Isachenko, V.P., Osipova, V.A., & Sukomel, A.S. (1981). Heat transfer. Moscow: Energiya.

Xülasə

Bu işdə karbon komponentli elastomer əsaslı polimer kompozitlərin elektrotexniki qurğularda istifadə üçün istilik-fiziki xassələri araşdırılmışdır. Materiallar ucuz xammal və sadə istehsal texnologiyası sayəsində geniş tətbiq olunur. Texniki karbonla doldurulmuş elastomerlər, doldurucu miqdarı ilə müəyyən olunaraq, həm izolyasiya, həm də elektrokeçirici xüsusiyyətlərə malikdir. Bu xüsusiyyətlər yüksək güclü rezistorlardan sensorlara qədər müxtəlif sahələrdə istifadə imkanları verir.

Резюме

В данной работе исследуются теплофизические свойства полимерных композитов на основе эластомеров с углеродным наполнителем для их применения в электротехнических устройствах. Материалы имеют доступное сырьё и простую технологию производства, что обеспечивает широкое применение. Наполненные техническим углеродом эластомеры проявляют как изоляционные, так и проводящие свойства в зависимости от содержания наполнителя, что позволяет использовать их от мощных резисторов до сенсоров.

Abstract

This study examines the thermal-physical properties of carbon-filled elastomer-based polymer composites for electrotechnical applications. The composites are low-cost and easy to manufacture, enabling wide industrial use. Depending on the filler content, carbon-filled elastomers can exhibit either insulating or conductive properties, which allows applications ranging from high-power resistors to sensors.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЛУЧЕНИЕ ГАММА-КВАНТАМИ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛОВ $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Абдинов А.Ш.¹, Бабаева Р.Ф.^{2*}, Амирова С.И.¹, Рагимова Н.А.¹, Расулов Э.А.¹

¹БГУ, Бакинский Государственный Университет, г.Баку, Ул. З.Халилова, 23

²UNEC Азербайджанский Государственный Экономический Университет, г.Баку, ул. Истиглалийат, 6

[*babayeva.rena@unec.edu.az](mailto:babayeva.rena@unec.edu.az)

Ключевые слова: электропроводность, коэффициент Холла, холловская подвижности, температура, двухбарьерная энергетическая модель, пространственно-неоднородный полупроводник.

С целью выявления особенностей зависимости процессов дефектообразования в кристаллах полупроводниковых твердых растворов от внутрикристаллических условий экспериментально исследованы влияние высокотемпературного ($T=343$ К) облучения гамма-квантами с $\varepsilon_\gamma=1.25$ МэВ, $D_\gamma=10^5\text{--}4\cdot 10^8$ Р на температурную зависимость электропроводности (σ), коэффициента Холла (R_X) и холловской подвижности (μ_X) в монокристаллах $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с $0.50\leq x\leq 0.95$.

Чтобы оценить изменения, обусловленные только воздействием радиации сначала снимались кривые температурной зависимости σ , R_X и μ_X в изучаемых образцах до облучения. Установлено, что в необлученных кристаллах $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с $0.50\leq x\leq 0.95$ электропроводность в области относительно низких температур почти не зависит от температуры (T), а с дальнейшим ростом его до 400 К – несколько уменьшается. В кристаллах с $x>0.70$, во-первых, область спада на кривых зависимости $\sigma(T)$ исчезает; во-вторых, отчетливо проявляется резко-возрастающий высокотемпературный участок.

Что касается температурной зависимости R_X в исследуемых кристаллах, то следует отметить следующее. В $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ образцах $R_X<0$ и при относительно низких температурах $|R_X|$ почти постоянна, а в области более высоких температур с ростом T – резко уменьшается.

Установлено, что в необлученных кристаллах $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ изучаемых составов с ростом температуры μ_X сначала (в области относительно низких T) увеличивается по закону $\mu_X\sim T^{3/2}$, а далее (при более высоких температурах) зависимость μ_X от T подчиняется закону $\mu_X\sim T^{-3/2}$. При прочих одинаковых условиях с ростом x от 0.50 до ~ 0.95 величина μ_X резко (почти на три порядка) уменьшается.

Установлено, что после γ -облучения сначала (при малых D_γ) ход кривых зависимости $\sigma(T)$ заметно отличается относительно исходного – при $D_\gamma\leq 10^6$ Р в области относительно низких T на кривых $\sigma(T)$ появляется область роста проводимости с температурой. С ростом D_γ сначала яркость этой области увеличивается, а далее (при $D_\gamma>5\cdot 10^6$ Р) с ростом D_γ расхождение между ходами кривых $\sigma(T)$ для облученных γ -квантами и необлученных образцов постепенно уменьшается. При $D_\gamma\approx 4\cdot 10^8$ Р ход кривых зависимости $\sigma(T)$ почти не отличается от исходного. Для исследуемых образцов с ростом D_γ сначала σ уменьшается, а далее (при более высоких D_γ) увеличивается.

В облученных γ -квантами образцах $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ход кривых зависимости $|R_X|$ от T почти сохраняется, однако численное значение $|R_X|$ и наклон кривых зависимости $|R_X|$ от T в области относительно высоких температур уменьшается, что свидетельствует об увеличении концентрации свободных носителей заряда и уменьшении ширины запрещенной зоны соответственно.

Установлено, что облучение γ -квантами сильно влияет на ход температурной зависимости и численное значение μ_X . В частности, в исследуемых кристаллах после γ -облучения μ_X уменьшается относительно исходного. Причем в области $D_\gamma\leq 10^6$ Р и низких температур это уменьшение составляет несколько порядков и с ростом D_γ от 10^5 Р до 10^6 Р отношение μ_{X0}/μ_X , где μ_{X0} и μ_X – значения подвижности носителей заряда в исходном (необлученном) и облученном γ -квантами кристаллах соответственно, резко увеличивается. При дальнейшем росте дозы облучения μ_{X0}/μ_X уменьшается. В облученных γ -квантами кристаллах температурный диапазон, где μ_X увеличивается с ростом T , расширяется и в этом диапазоне зависимость $\mu_X(T)$ подчиняется более резкому степенному закону, чем $\mu_X\sim T^{3/2}$. Установлено, что с ростом D_γ сначала показатель степени $\mu_X\sim T^k$

увеличивается, а далее (при $D_\gamma > 5 \cdot 10^6$ Р) постепенно уменьшается и приближается к значению $3/2$. В области относительно высоких температур ход кривых зависимости $\mu_x(T)$ почти не отличается от исходного.

Оказалось, что во всех изучаемых образцах влияние γ -облучения на электрофизические параметры и характеристики более значительно в области относительно низких температур. При более высоких температурах, где доминирует собственная проводимость, кривые зависимостей $R_x(T)$, $\sigma(T)$ и $\mu_x(T)$, соответствующие одному и тому же образцу до и после γ -облучения с различной D_γ , почти сливаются.

Сравнительный анализ полученных нами экспериментальных результатов позволяют предложить следующее. В необлученных кристаллах $Cd_xHg_{1-x}Te$ существуют собственные и неконтролируемые технологические дефекты разного типа, непосредственно обусловленные вакансией и междоузельными атомами основных компонентов, а также инородными атомами, элементарный состав, которых достаточно широк. Как установлено, при высокотемпературном γ -облучении в монокристаллах $Cd_xHg_{1-x}Te$ преобладает возникновение радиационных дефектов акцепторного типа, обусловленных вакансией ртути. Однако в n-типа кристаллах как до, так и после γ -облучения токопроводимость определяется электронами, т.к. их концентрация и подвижность на несколько порядков превышает концентрацию и подвижность дырок. Поэтому при всех рассмотренных нами случаях в этих кристаллах $R_x < 0$. Независимость $|R_x|$ и σ от температуры в изучаемых нами необлученных образцах в области относительно низких температур может объясняться доминированием насыщенной примесной проводимости. После γ -облучения значительно увеличивается концентрация акцепторных центров и соответственно растет ширина примесной полосы. В результате этого постепенно уменьшается энергетическая щель между примесной акцепторной полосой и потолком валентной зоны. Наконец, из-за сливания акцепторной примесной полосы и валентной зоны ширина запрещенной зоны уменьшается. Поэтому после γ -облучения $|R_x|$ в образцах уменьшается (концентрация свободных носителей заряда увеличивается). В пользу этого предположения свидетельствует также уменьшение наклона высокотемпературной ветви кривых зависимости $|R_x|$ от T . При росте концентрации радиационных дефектов подвижность носителей заряда уменьшается. Поскольку в изучаемых кристаллах $Cd_xHg_{1-x}Te$ это уменьшение более сильное, чем рост концентрации свободных носителей заряда, то σ уменьшается.

Проведенные экспериментальные исследования позволяет прийти к выводу, что механизм влияния высокотемпературного облучения γ -квантами на электрофизические параметры монокристаллов $n-Cd_xHg_{1-x}Te$ с $0.50 \leq x \leq 0.95$ зависит от дозы облучения: при относительно малых дозах первичные радиационные дефекты скапливаются в виде кластеров и электронные свойства материала удовлетворительно объясняются на основе двухбарьерной энергетической модели пространственно-неоднородного полупроводника; при больших дозах облучения из-за равномерного распределения радиационных дефектов в объеме образца и расширения акцепторной примесной полосы – становится применима модель пространственно-однородного полупроводника с непрерывно распределенными уровнями за краем разрешенных зон.

Çapa verildiyi tarix 14.05.2026
Kağızın növü: A3, snequroçka
Çap vərəqi: 14 ç.v. Tiraj : 300 ədəd
Gəncə Dövlət Universitetinin nəşriyyatı
Ünvan: Gəncə şəhəri, Heydər Əliyev prospekti, 429