

Original Research Paper

$(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ bərk məhlul ərintilərinin elektrofiziki xassələrinin öyrənilməsi

Səadət Məmmədova^{ID}, Kazım Əliyev^{ID}, Aytən Sultanova^{ID}, Yeganə Cəfərova^{ID}

Mamedova-2014-mail.r@mail.ru

Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

Article history

Received: 08.06.2026

Revised: 15.06.2026

Accepted: 21.06.2026

*Corresponding Author: Səadət Məmmədova, Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan;
Email: Mamedova-2014-mail.r@mail.ru

Xülasə

Bu işdə II–VI qrup yarımkəçirici materiallarına aid olan $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ bərk məhlul sisteminin elektrik və elektrofiziki xassələri tədqiq edilmişdir. ZnSe əsaslı yarımkəçiricilər geniş qadağan olunmuş enerji zonasına, yüksək optik şəffaflığa və əlverişli elektrik parametrlərinə malik olduqlarına görə müasir optoelektronika və fotonika sahələrində geniş tətbiq olunur. Bu materialların nadir torpaq elementləri ilə legirlənməsi onların funksional xüsusiyyətlərinin məqsədyönlü şəkildə idarə edilməsinə imkan verir. Tədqiqat zamanı müxtəlif tərkibli $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ nümunələri yüksək təmizlikli ilkin komponentlər əsasında vakuumlaşdırılmış kvarts ampullarda bərkfazlı sintez üsulu ilə hazırlanmışdır. Nümunələrin elektrik keçiriciliyi 300–600 K temperatur intervalında öyrənilmiş, temperatur asılılıqları əsasında aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, Nd_2Se_3 əlavələrinin miqdarı artdıqca elektrik keçiriciliyi yüksəlir, aktivləşmə enerjisi isə azalır. Bu hal neodim ionlarının kristal qəfəsdə donor xarakterli enerji səviyyələrini yaratması və sərbəst elektronların konsentrasiyasını artırması ilə izah olunur. Tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, sistem əsasən n-tip keçiriciliyə malikdir və keçiricilik prosesində əsas yükdaşıyıcıları elektronlardır. Aşağı temperatur oblastında keçiriciliyin defekt səviyyələri arasında doping mexanizmi ilə, yüksək temperatur sahəsində isə zonalı mexanizmlə baş verdiyi müəyyən edilmişdir. Nd ionlarının kristal qəfəsdə yaratdığı lokal deformasiya və struktur qüsurlarının elektrik xassələrinin formalaşmasında mühüm rol oynadığı aşkar edilmişdir. Alınmış nəticələr göstərir ki, $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ sistemi elektrofiziki parametrləri idarə oluna bilən perspektivli yarımkəçirici materialdır və optoelektron cihazlarda, infraqırmızı texnikada, fəthəssas elementlərdə və digər funksional elektron qurğularda tətbiq oluna bilər.

Açar sözlər: ZnSe; Nd_2Se_3 ; bərk məhlul; elektrik keçiriciliyi; aktivləşmə enerjisi; nadir torpaq elementləri; elektrofiziki xassələr

Giriş

Müasir materialşünaslıq və yarımkəçirici fizikası sahəsində II–VI qrup birləşmələri xüsusi maraq doğuran materiallar sırasına daxildir. Bu birləşmələr arasında sink selenid (ZnSe) geniş qadağan olunmuş enerji zonasına, yüksək optik şəffaflığa, yaxşı termiki sabitliyə və əlverişli elektrofiziki parametrlərə malik olması ilə seçilir. ZnSe əsaslı materiallar işıq diodları, yarımkəçirici lazerlər, fotodetektorlar, elektrolüminessent elementlər və digər optoelektron qurğuların hazırlanmasında geniş istifadə olunur [1–3].

ZnSe kubik sfalerit quruluşuna malik birbaşa keçidli yarımkəçirici olub, qadağan olunmuş enerji zonasının eni təxminən 2,7 eV təşkil edir. Bu xüsusiyyət materialın görünən və yaxın infraqırmızı spektr

oblastlarında effektiv işləməsinə imkan yaradır. Yüksək kimyəvi dayanıqlıq və mexaniki möhkəmlik ZnSe-ni müasir elektronika və fotonika üçün perspektivli materiallardan birinə çevirmişdir [4,5].

Son illərdə yarımkeçiricilərin fiziki xassələrinin idarə olunması məqsədilə müxtəlif legirləyici əlavələrdən geniş istifadə olunur. Xüsusilə nadir torpaq elementləri ilə legirlənmə yarımkeçirici sistemlərin enerji quruluşunun dəyişdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Nadir torpaq elementlərinin xarakterik xüsusiyyəti onların qismən doldurulmuş 4f-elektron səviyyələrinə malik olmalarıdır. Bu səviyyələr kristal qəfəsdə əlavə enerji halları yaradır və nəticədə materialın elektrik, optik və maqnit xüsusiyyətlərinə təsir göstərir [6–8].

Nadir torpaq elementləri arasında neodim xüsusi maraq doğurur. Nd ionlarının yarımkeçirici kristallara daxil edilməsi yeni donor səviyyələrinin yaranmasına, yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasının dəyişməsinə və enerji spektrinin modifikasiyasına səbəb olur. Bu dəyişikliklər öz növbəsində elektrik keçiriciliyinin, aktivləşmə enerjisinin və fotoelektrik xüsusiyyətlərin dəyişməsi ilə nəticələnir. Neodimlə legirlənmiş yarımkeçirici materiallar yüksək həssaslıqlı fotodetektorların, lazer sistemlərinin və infraqırmızı optik elementlərin hazırlanması baxımından böyük perspektivə malikdir [9,10].

$(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ sistemi heterovalent əvəzlənmə ilə xarakterizə olunur. Nd^{3+} ionlarının Zn^{2+} ionlarını əvəz etməsi nəticəsində kristal qəfəsdə əlavə donor mərkəzləri və struktur qüsurları yaranır. Bu qüsurlar yükdaşıyıcılarının hərəkətliliyinə, rekombinasiya proseslərinə və elektrik keçiriciliyinə əhəmiyyətli təsir göstərir [11,12]. Bununla yanaşı, Nd ionlarının ion radiusunun Zn ionlarından böyük olması kristal qəfəsdə lokal deformasiyaların və daxili gərginliklərin yaranmasına səbəb olur.

Yarımkeçiricilərdə elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı onların enerji quruluşu haqqında mühüm məlumat verir. Aşağı temperatur oblastında keçiricilik əsasən lokal enerji səviyyələri arasında hopping tipli keçidlər hesabına formalaşır. Temperatur artdıqca elektronların keçiricilik zonasına keçməsi intensivləşir və zonalı keçiricilik üstünlük təşkil etməyə başlayır. Bu səbəbdən elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığının öyrənilməsi yarımkeçiricilərdə yükdaşıyıcılarının davranışının və aktivləşmə mexanizmlərinin müəyyən edilməsində mühüm rol oynayır [13].

Ədəbiyyat məlumatlarının təhlili göstərir ki, ZnSe əsaslı materialların müxtəlif nadir torpaq elementləri ilə legirlənməsi üzrə çoxsaylı tədqiqatlar aparılmışdır. Bununla belə, $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ bərk məhlul sistemində elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı, aktivləşmə enerjisinin dəyişməsi və keçiricilik mexanizmləri hələ də tam şəkildə öyrənilməmişdir [14–16]. Bu baxımdan sözügedən sistemin elektrofiziki xüsusiyyətlərinin araşdırılması həm fundamental, həm də tətbiqi baxımdan aktual elmi problem hesab olunur.

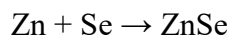


Təqdim olunan işin məqsədi $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ bərk məhlul sistemində elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığını öyrənmək, aktivləşmə enerjisinin dəyişmə qanunauyğunluqlarını müəyyən etmək və Nd_2Se_3 əlavələrinin materialın elektrofiziki xüsusiyyətlərinə təsirini araşdırmaqdan ibarətdir.

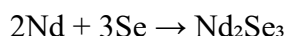
Eksperimental hissə

Tədqiqat obyekti kimi II–VI qrup yarımkəçirici birləşmələrinə aid olan $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ bərk məhlul sistemi seçilmişdir. Nümunələrin sintezi üçün yüksək təmizlik dərəcəsinə malik ilkin komponentlərdən istifadə olunmuşdur. Sink selenid (ZnSe) və neodim selenid (Nd_2Se_3) birləşmələrinin hazırlanmasında xüsusi təmiz sink, selen və neodim elementləri tətbiq edilmişdir. İlkin maddələrin yüksək təmizliyi sintez edilmiş nümunələrin struktur və elektrofiziki xassələrinin etibarlı şəkildə öyrənilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb etmişdir.

İşin ilk mərhələsində başlanğıc binar birləşmələr sintez edilmişdir. ZnSe birləşməsi aşağıdakı reaksiya əsasında alınmışdır:



Nd_2Se_3 birləşməsi isə aşağıdakı reaksiyaya uyğun sintez edilmişdir:



Sonrakı mərhələdə müxtəlif tərkibli $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ bərk məhlul nümunələri hazırlanmışdır. Komponentlərin miqdarları stexiometrik hesablamalar əsasında müəyyən edilmiş və yüksək dəqiqlikli analitik tərəzilərdə çəkilmişdir. Homogen qarışıq əldə etmək məqsədilə nümunələr agat həvəngində uzun müddət mexaniki üyüdülmüşdür.

Hazırlanmış qarışıqlar daxili diametri 1,0–1,2 sm və uzunluğu 10–12 sm olan kvars ampullara yerləşdirilmişdir. Oksidləşmənin və əlavə kimyəvi reaksiyaların qarşısını almaq məqsədilə ampullar 10^{-2} – 10^{-3} Pa təzyiqə qədər vakuumlaşdırılmış və hermetik şəkildə bağlanmışdır.

Sintez prosesi çoxmərhələli istilik emalı şəraitində həyata keçirilmişdir. İlkin mərhələdə temperatur tədricən 450–550 K intervalına qədər artırılmış və nümunələr bu şəraitdə 8–10 saat saxlanılmışdır. Bu mərhələdə komponentlər arasında intensiv diffuziya prosesləri baş vermiş və ilkin qarşılıqlı təsirlər formalaşmışdır.

Daha sonra temperatur 1100–1250 K intervalına qədər yüksəldilmiş və nümunələr 10–15 saat müddətində izotermik şəraitdə saxlanılmışdır. Bu mərhələdə əsas fazaəmələgəlmə prosesləri tamamlanmış və bərk məhlulun formalaşması təmin edilmişdir.

Kristal quruluşun homogenliyini artırmaq məqsədilə sintez olunmuş nümunələr əlavə termiki emala məruz qoyulmuşdur. Bunun üçün nümunələr yenidən üyüdülmüş, preslənərək tablet formasına salınmış və 700–850 K temperatur intervalında 100–150 saat müddətində tavllanmışdır. Tavllandıqdan sonra



nümunələrin soba daxilində yavaş soyudulması daxili gərginliklərin azalmasına, kristallik dərəcəsinin yüksəlməsinə və struktur homogenliyin yaxşılaşmasına şərait yaratmışdır.

Sintez edilmiş nümunələrin faza tərkibi və kristal quruluşu rentgenfaza analizi üsulu ilə öyrənilmişdir. Rentgen difraksiya ölçmələri $\text{CuK}\alpha$ şüalanması əsasında işləyən difraktometrə aparılmışdır. Difraktogramlar $2\theta = 10 - 80^\circ$ bucaq intervalında qeydə alınmışdır. Alınmış nəticələr beynəlxalq PDF məlumat bazası ilə müqayisə edilərək fazaların identifikasiyası həyata keçirilmişdir [17].

Nümunələrin mikrostruktur xüsusiyyətləri optik mikroskop vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Analizdən əvvəl nümunələrin səthi mexaniki cilalanmış və xüsusi aşındırıcı məhlullar vasitəsilə işlənmişdir. Mikrostruktur tədqiqatları zamanı taxıl ölçüləri, fazaların paylanması, məsaməlilik dərəcəsi və struktur homogenliyi qiymətləndirilmişdir.

Elektrik xassələrinin öyrənilməsi məqsədilə xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı 300–600 K temperatur intervalında iki kontakt üsulu ilə ölçülmüşdür. Elektrik kontaktlarının sabitliyini təmin etmək üçün nümunələrin səthinə yüksək keçiriciliyə malik gümüş pasta çəkilmişdir. Temperaturun dəyişməsi zamanı elektrik müqaviməti ölçülmüş və bu göstəricilər əsasında xüsusi elektrik keçiriciliyi hesablanmışdır.

Elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı Arrhenius modeli əsasında təhlil edilmişdir :

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$$

burada σ – xüsusi elektrik keçiriciliyi, σ_0 – sabit əmsal, E_a – aktivləşmə enerjisi, k – Bolsman sabiti, T isə mütləq temperaturdur.

Aktivləşmə enerjisinin qiymətləri $\ln\sigma - 1/T$ koordinatlarında qurulmuş qrafiklərin xətti hissələrinin meyl bucaqlarından hesablanmışdır. Bu üsul yarımkəçiricidə yükdaşıyıcılarının termiki aktivləşmə mexanizmlərinin və enerji səviyyələrinin xarakterinin müəyyən edilməsinə imkan vermişdir [18].

Alınmış eksperimental nəticələr əsasında Nd_2Se_3 əlavələrinin elektrik keçiriciliyinə, aktivləşmə enerjisinin dəyişməsinə və keçiricilik mexanizmlərinə təsiri sistemli şəkildə təhlil edilmişdir .

Nəticələr və müzakirə

Rentgenfaza analizinin nəticələri

Aparılmış rentgenfaza analizinin nəticələri göstərmişdir ki, $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ sisteminə aid nümunələrdə əsasən ZnSe əsaslı bərk məhlul fazası formalaşmışdır. Difraktogramların təhlili zamanı ZnSe fazasına məxsus xarakterik difraksiya maksimumları müşahidə edilmişdir. Nd_2Se_3 əlavələrinin miqdarının artması ilə bəzi difraksiya xətlərinin kiçik bucaq sahələrinə doğru sürüşməsi qeydə alınmışdır ki, bu da kristal qəfəs parametrlərində baş verən dəyişikliklərlə əlaqədardır [11,12].



Müşahidə olunan dəyişikliklər Nd^{3+} ionlarının Zn^{2+} ionlarını qismən əvəz etməsi nəticəsində kristal qəfəsdə yaranan lokal deformasiya ilə izah olunur. İon radiuslarının fərqli olması kristal quruluşda daxili gərginliklərin və struktur qüsurlarının əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu qüsurlar sonradan materialın elektrik və elektrofiziki xüsusiyyətlərinin formalaşmasında mühüm rol oynayır.

Mikrostruktur xüsusiyyətlərin təhlili

Mikrostruktur tədqiqatlar göstərmişdir ki, sintez və sonrakı tavlama prosesləri nəticəsində nümunələr kifayət qədər homogen quruluşa malik olmuşdur. Uzunmüddətli termiki emal taxıl sərhədlərində qeyri-bərabərliklərin azalmasına və kristal quruluşun sabitləşməsinə şərait yaratmışdır.

Müəyyən edilmişdir ki, taxılların ölçüləri əsasən 5–15 mkm intervalında dəyişir. Nd_2Se_3 miqdarının artması ilə bəzi nümunələrdə ikinci fazaya aid kiçik daxilolmalar müşahidə edilmişdir. Bu daxilolmaların yaranması kristallaşma zamanı komponentlərin qeyri-bərabər paylanması ilə əlaqədardır. Bununla belə, onların miqdarı sistemin ümumi quruluşuna ciddi təsir göstərmir.

Elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı

Elektrik keçiriciliyinin ölçülməsi göstərmişdir ki, bütün nümunələr yarımkeçiricilərə xas davranış nümayiş etdirir. Temperaturun artması ilə xüsusi elektrik keçiriciliyinin yüksəlməsi müşahidə olunmuşdur ki, bu da yükdaşıyıcılarının termiki aktivləşməsi ilə əlaqədardır [13,18].

Keçiriciliyin temperatur asılılığının təhlili göstərmişdir ki, aşağı temperatur sahəsində keçiricilik nisbətən zəif dəyişir, yüksək temperatur oblastında isə artım daha intensiv xarakter daşıyır. Bu hal müxtəlif temperatur intervallarında fərqli keçiricilik mexanizmlərinin üstünlük təşkil etməsi ilə izah olunur.

Əldə edilmiş nəticələr yarımkeçiricilərdə yükdaşıyıcılarının keçiricilik zonasına termiki keçidinin elektrik keçiriciliyinin əsas formalaşdırıcı amillərindən biri olduğunu təsdiq edir.

Aktivləşmə enerjisinin dəyişməsi

Elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı əsasında aktivləşmə enerjisinin qiymətləri hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, Nd_2Se_3 konsentrasiyasının artması aktivləşmə enerjisinin azalmasına səbəb olur. Hesablanmış qiymətlər 0,12–0,28 eV intervalında dəyişmişdir.

Aktivləşmə enerjisinin azalması kristal qəfəsdə donor xarakterli enerji səviyyələrinin yaranması ilə bağlıdır. Bu səviyyələr keçiricilik zonasına yaxın yerləşdiyindən elektronların termiki həyəcanlanması üçün tələb olunan enerji azalır. Nəticədə sərbəst yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası artır və elektrik keçiriciliyi yüksəlir [9,14].

Bu qanunauyğunluq Nd əlavələrinin materialın elektron quruluşuna əhəmiyyətli təsir göstərdiyini və elektrofiziki parametrlərin məqsədyönlü şəkildə idarə olunmasına imkan verdiyini göstərir.



Keçiricilik mexanizmlərinin müzakirəsi

Alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki, $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ sistemində keçiricilik prosesi temperaturdan asılı olaraq müxtəlif mexanizmlərlə həyata keçirilir. Aşağı temperatur oblastında keçiricilik əsasən lokal enerji səviyyələri və struktur qüsurları arasında elektron keçidləri hesabına baş verir. Bu mexanizm ədəbiyyatda hopping keçiriciliyi kimi xarakterizə olunur [15].

Temperaturun yüksəlməsi ilə elektronların keçiricilik zonasına keçmə ehtimalı artır və zonalı keçiricilik üstünlük təşkil etməyə başlayır [18]. Bu zaman keçiriciliyin temperaturdan asılılığı daha kəskin xarakter alır.

Nd^{3+} ionlarının kristal qəfəsdə donör mərkəzləri yaratması sərbəst elektronların sayını artırır. Digər tərəfdən, həmin ionların yaratdığı lokal deformasiya və struktur qüsurları yükdaşıyıcılarının səpilməsini gücləndirir. Buna görə də sistemdə elektrik keçiriciliyi həm yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası, həm də onların hərəkətliliyi ilə müəyyən olunur.

Ədəbiyyat məlumatları ilə müqayisə

Əldə olunmuş nəticələr ZnSe əsaslı və nadir torpaq elementləri ilə legirlənmiş digər yarımkeçirici sistemlər üzrə mövcud ədəbiyyat məlumatları ilə uyğunluq təşkil edir. Müxtəlif müəlliflər tərəfindən aparılmış tədqiqatlarda nadir torpaq elementlərinin yarımkeçirici materiallarda donör səviyyələrinin formalaşmasına, aktivləşmə enerjisinin azalmasına və elektrik keçiriciliyinin yüksəlməsinə səbəb olduğu göstərilmişdir [6–10,14–16].

ZnSe , ZnSe , ZnSe və ZnSe sistemləri üzrə aparılmış tədqiqatlar da göstərir ki, nadir torpaq ionlarının kristal quruluşa daxil olması materialın enerji spektrinin modifikasiyasına və elektrofiziki parametrlərin dəyişməsinə gətirib çıxarır [7,8,10]. Bu baxımdan $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ sistemi üçün əldə olunmuş nəticələr ümumi qanunauyğunluqlarla uyğunluq təşkil edir və Nd əlavələrinin ZnSe əsaslı yarımkeçiricilərin funksional xüsusiyyətlərinin idarə edilməsində mühüm rol oynadığını təsdiq edir.

Beləliklə, aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, Nd_2Se_3 əlavələri ZnSe əsaslı bərk məhlulların struktur və elektrik xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli təsir göstərir və onların tətbiq imkanlarını genişləndirir.

ƏDƏBİYYATLAR

1. Singh N. B., Su C. H., Sood R. (2020), Effect of doping on the electrical characteristics of ZnSe , Crystals, 10(7) 1-11, DOI: 10.3390/cryst10070551
2. Sureshkumar S., Jothamani B., Sridhar T et al. (2016), Synthesis and characterization of gadolinium-doped ZnSe quantum dots for fluorescence imaging of cancer cells RSC Advances, 6(19) 16081-16086 DOI: 10.1039/c5ra18773g



3. Liu S., Zhang Q., Zhang L. et al. (2016) Electrochemiluminescence Tuned by Electron-Hole Recombination from Symmetry-Breaking in Wurtzite ZnSe. *Journal of the American Chemical Society*, 138(4), 1154–1157. DOI: 10.1021/jacs.5b12727.
4. Zhou J., Li Y., Wu X., Qin W. Modulating the Electronic and Optical Properties of Tetragonal ZnSe Monolayers by Chalcogen Dopants. *ChemPhysChem*, 2016, 17(13), 1993–1998. DOI: 10.1002/cphc.201600089.
5. Dafinei I., Nagorny S., Pirro S. et al. Production of ⁸²Se Enriched Zinc Selenide Crystals for the Study of Neutrinoless Double Beta Decay. *Journal of Crystal Growth*, 2017. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2017.02.058.
6. Makhniy V.P., Kinzerska O.V., Senko I.M., Slyotov O.M. High Temperature Luminescence of ZnSe Crystals. *Technology and Design in Electronic Equipment*, 2016. DOI: 10.15222/TKEA2016.2-3.37.
7. Emerging Blue Emitting Cerium(III) Ions Doped Zinc Selenide Thin Films with High Color Purity for LED Applications. *Physica B: Condensed Matter*, 2026. DOI: 10.1016/j.physb.2025.418154.
8. Synthesis, Structure and Spectroscopic Properties of Dy³⁺-Doped ZnSe Quantum Dots. *Ceramics International*, 2026. DOI: 10.1016/j.ceramint.2026.05.236.
9. Fu S, Xiao Q, Tang H et al. First Principles Study on Electronic Structure and Optical Properties of Lu Doped GaN at Different Doping Concentration, *Guangxue Xuebao/Acta Optica Sinica* (2024) 44(9) DOI: 10.3788/AOS231938
10. Hessien S., Tokgöz S. C., Mestre X., Secrecy Analysis of Generalized Space-Shift Keying Aided Visible Light Communication, *EEE Access* (2019) 7(2) 1-10, ISSN: 2169-3536 VO - 7
11. Shi H., Zhang P., Li S.S., Xia J.B. Magnetic Coupling Properties of Rare-Earth Metals Doped Semiconductors: First-Principles Calculations. *Journal of Applied Physics*, 2010.
12. Sabat K, Physics and chemistry of solid state direct reduction of iron ore by hydrogen plasma, *Physics and Chemistry of Solid State* (2021) 22(2) 292-300, DOI: 10.15330/PCSS.22.2.292-300
13. West A.R. *Solid State Chemistry and Its Applications*. 2nd ed. Wiley, 2019.
14. Kasap S.O. *Principles of Electronic Materials and Devices*. McGraw-Hill, 2018.
15. Russak M, Reichman J., Photoelectrochemical Performance of ZnSe / CdSe Thin Film Electrodes in Aqueous Polysulfide Electrolyte, *Journal of The Electrochemical Society* (2012) 129(3) 542-545, DOI: 10.1149/1.2123896



16. Mott N.F., Davis E.A. Electronic Processes in Non-Crystalline Materials. Oxford University Press, 2017.
17. Wang N, Meng F, Zhang L, Liu Z, Liu W, Light soaking of hydrogenated amorphous silicon: a short review, Carbon Neutrality, DOI: 10.1007/s43979-024-00093-9
18. Kreher K, Fundamentals of Semiconductors – Physics and Materials Properties, Zeitschrift für Physikalische Chemie (1997) 198(1-2) 275-275, DOI: 10.1524/zpch.1997.198.part_1_2.275

ABSTRACT

STUDY OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ SOLID SOLUTION ALLOYS

Saadat Mammadova, Kazim Aliyev, Ayten Sultanova, Yegana Jafarova
Baku State University, Baku, Azerbaijan

In this work, the electrical and electrophysical properties of the $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ solid solution system belonging to II–VI group semiconductor materials were investigated. ZnSe-based semiconductors are widely used in modern optoelectronics and photonics due to their wide band gap, high optical transparency, and favorable electrical characteristics. Doping these materials with rare-earth elements makes it possible to purposefully control and improve their functional properties. Samples of the $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ system with different compositions were synthesized by the solid-state reaction method using high-purity starting components sealed in evacuated quartz ampoules. The electrical conductivity of the samples was studied in the temperature range of 300–600 K, and the activation energies were calculated from the temperature dependences. It was found that the electrical conductivity increases with increasing Nd_2Se_3 content, whereas the activation energy decreases. This behavior can be explained by the formation of donor-type energy levels by neodymium ions in the crystal lattice, which leads to an increase in the concentration of free electrons. The obtained results showed that the system exhibits predominantly n-type conductivity, with electrons serving as the main charge carriers. It was established that at low temperatures the conductivity is governed by hopping mechanisms between defect levels, while at higher temperatures it is determined by band conduction mechanisms. The local lattice distortions and structural defects introduced by Nd ions were found to play a significant role in the formation of the electrical properties of the material. The results indicate that the $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Nd}_2\text{Se}_3)_x$ system is a promising semiconductor material with controllable electrophysical parameters and potential applications in optoelectronic devices, infrared technology, photosensitive elements, and other functional electronic systems.

Keywords: *ZnSe; Nd_2Se_3 ; solid solution; electrical conductivity; activation energy; rare-earth elements; electrophysical properties*

