

In_{0,9993}Er_{0,0007}Se MONOKRİSTALLARININ ELEKTRİK XASSƏLƏRİ

**Ə.Ə. İSMAİLOV, P.H. İSMAYİLOVA, A.Ə. İSMAYİLOV*, L.V. RÜSTƏMOVA,
M.M. ŞİRİNOV, S.S. ABDİNBƏYOV**

Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu, Bakı 1073, H.Cavid pr.131.

**Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı 1073, H.Cavid pr.25*

Otaq temperaturunda şüalanmamış, 50 krad və 100 krad dozalı γ -kvantları ilə şüalanmış In_{0,9993}Er_{0,0007}Se monokristallarının elektrik xassələri öyrənilmiş və aşağıdakı elektrik parametrləri təyin edilmişdir: şüalanmamış kristallarda sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası $P_0=6,125 \cdot 10^9 \text{ sm}^{-3}$, lokal səviyyələrin konsentrasiyası $N_t=8,82 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$, tutma faktoru $\theta=2,7 \cdot 10^{-1}$ uyğun olaraq 50 krad doza ilə şüalandırıldıqda $P_0=5,3 \cdot 10^9 \text{ sm}^{-3}$, $N_t=1,17 \cdot 10^{11} \text{ sm}^{-3}$, $\theta=2,6 \cdot 10^{-1}$ və 100 krad doza ilə şüalandırıldıqda $P_0=5,5 \cdot 10^9 \text{ sm}^{-3}$, $N_t=1,1 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$ və $\theta=2,68 \cdot 10^{-1}$.

Açar sözlər: mükəmməl kristallar, yüklənmiş defekt mərkəzi, nadir torpaq elementləri, elektrik keçiriciliyi, təmizlənmə.

DOI:10.70784/azip.2.2025229

GİRİŞ

Elektronikanın sürətli inkişafı yeni xassələrə malik mükəmməl materiallar tələb edir. Yeni yarımkeçirici materialların axtarışı bərk cisimlər fizikasının əsas problemlərindən biridir. Yeni materialların yaradılması yeni perspektivlər açır və yeni texniki məsələləri həll etməyə imkan verir. Bu məqsədlə nümunələri γ -və sürətli elektronlarla şüalandırmaqla, təzyiqin təsirinə məruz qoymaqla, onları nadir torpaq elementləri ilə aşqaralamaqla və s. üsullarla onların fiziki xassələrini dəyişmək olur.

InSe A^{III}B^{VI} laylı kristallar qrupuna daxildir. Yüksək defektə malik olmasına baxmayaraq bu kristallar sənaye elektronikasında müxtəlif cihazların hazırlanmasında, günəş elementlərinin [1, 2], optik modulyatorların [3, 4], rentgen şüalanma detektorlarının [5, 6], nüvə reaktorlarında radioaktiv ölçmə cihazlarının [7], təzyiq vericilərinin [8] hazırlanmasında istifadə olunurlar.

[9]-cu işdə günəş enerjisi çeviricilərində istifadəyə yararlı olan parametrləri müəyyən etmək məqsədi ilə In_{0,99}Sm_{0,01}Se və In_{0,99}Er_{0,01}Se kristallarının elektrik keçiriciliyi və onun şərti dəyişməsi müəyyən edilmişdir. Təcrübədən alınan nəticələrə əsasən göstərilmişdir ki, In_{0,99}Sm_{0,01}Se kristallarının fiziki xassələrini aşqarların, şüalanmanın və temperaturun təsiri ilə idarə etmək olur. [10]-cu işdə n -In_{0,999}Er_{0,001}Se və n -In_{0,997}Er_{0,003}Se monokristallarının elektrik xassələri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, təbii laylara perpendikulyar istiqamətdə, sabit elektrik sahəsində dəyişən uzunluqlu sıçrayışlı keçiricilik mövcuddur. Qadağan olunmuş zonada yerləşən lokal səviyyənin parametrləri müəyyən edilmişdir: Fermi səviyyəsi yaxınlığında hal sıxlığı $N_F=1,1 \cdot 10^{19} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{sm}^{-3}$, $N_t=5,3 \cdot 10^{20} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{sm}^{-3}$, enerji getik səpilmə $\Delta W=0,03 \text{ eV}$ və $\Delta W=0,01 \text{ eV}$ sıçrayışların orta məsafəsi $R=101,62 \text{ Å}$ və $R=46,16 \text{ Å}$, dərin tələlərin konsentrasiyası $N_t=3,0 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$, $N_t=5,0 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ və radiasiya defektlərinin konsentrasiyası $N_{rad}=2,1 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$, $N_{rad}=2,44 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$.

TƏCRÜBƏ VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

InSe-də metal atomlarının koordinasiya ədədi 4, Se atomlarının koordinasiya ədədi 3-dür. Uyğun olaraq

4 koordinasiyalı In atomu 3 koordinasiyalı Se atomu ilə tetraedrik əlaqə yaradır və 1 In atomu s^2p elektronu hesabına sp^3 hidridləşir. Yuxarıda göstərilənlər indium və samarium monoselenidləri arasındakı kimyəvi əlaqənin təbiətinin oxşar olduğu qənaətinə gəlməyə imkan verir. InSe və SmSe arasında bərk məhlulların əmələ gəlməsinə şərait yaradır [11].

Elektrik xassələrini tədqiq etmək üçün In_{0,9993}Er_{0,0007}Se bircins kristallar alınmışdır. Bunun üçün In-In 000, Se B-599,99999 və Er markalı elementlərdən istifadə edilmişdir. In, Er, Se kimyəvi elementləri stexiometriyaya uyğun olaraq çəkilmiş və havası 10^{-5} mm.c.st. qədər sorulmuş kvarts ampulaya doldurulur. In_{0,9993}Er_{0,0007}Se monokristalları şaquli Bricmen üsulu ilə yetişdirilmişdir. Ampulanın sobada hərəkət sürəti 0,3 sm/saat təşkil etmişdir. Alınan ərintilər diferensial termik analiz (DTA), rentgen faza analizi (RFA) metodları ilə tədqiq edilmiş, onların sıxlığı, mikromöhkəmliyi və elektrik xassələri ölçülmüşdür. Alınan nəticələr əsasında InSe-ErSe sisteminin hal diaqramı qurulmuşdur. Hal diaqramına əsasən ErSe-nin InSe-də əriməsi otaq temperaturunda 7,1 mol% , lakin 520°C-də isə 7,8 mol% müəyyən edilmişdir. Bu məqsədlə müasir və dəqiq (SEM firmasının Zeiss enerji dispersion analizatoru olan və 0,050 addımlı CuK α -şüası və 8-135° bucaq diapazonunda işləyən ДСК-910, ADVNCE-8D, SINTECP-21, ДРОН-4-07 qurğusundan istifadə edilmişdir).

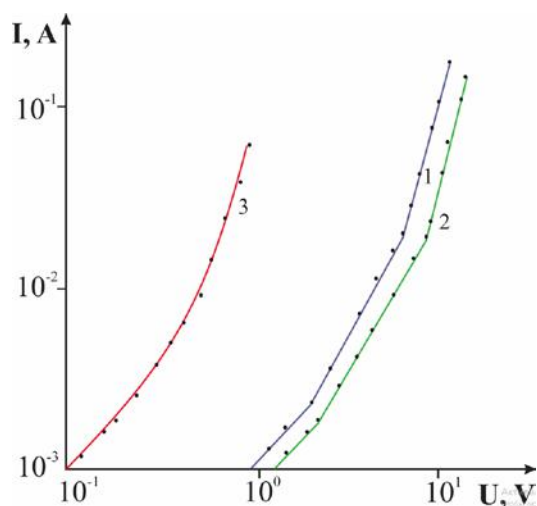
İşdə heksaqonal sinqoniyaya malik və elementar qəfəs parametrləri ($a=4,04 \text{ Å}$ və $c=16,96 \text{ Å}$) olan InSe əsasında In_{0,9993}Er_{0,0007}Se monokristallarından istifadə olunmuşdur.

DTA, RFA-i metodu, ərintilərin mikrobərkliyi və elektrofiziki xassələri tədqiq etməklə müəyyən edilmişdir ki, In_{0,9993}Er_{0,0007}Se qiymətində In-ni Er atomları ilə əvəz etdikdə InSe kristallarının strukturunda heç bir dəyişiklik baş vermir. Nümunələr enerjisi 1,25 MeV, şüalanma dozası $D_\gamma = 0; 50$ və 100) krad olan RXUND-20000 (radiasionnoye ximiçeskiye ustanovka neposredstvenno deystviye) qurğusunda şüalandırılmışdır. Radiasiya selinin sıxlığı $1,4 \cdot 10^{11} \text{ кВт/с.см}^2$ təşkil etmişdir.

Elektrik ölçüləri Bricmen metodu ilə alınmış nümunələrdə aparılmışdır.

[12]-ə görə, nadir torpaq elementləri (NTE) yarımkeçiricilərdə aşağı həllolma və təmizlənmə qabiliyyətinə malik olur ki, bu da, aşqarlarının konsentrasiyasının azalması və yükdaşıyıcıların yürüklüyünün artmasına səbəb olur. Kristallarda indium atomlarının NTE atomları ilə əvəz edildikdə donor tipli səviyyələrin yüksəlməsinə səbəb olur ki, bu da n –tip keçiriciliyin yaradır.

Elektrik xassələrini ölçmək üçün monokristal nümunənin qalınlığı 200 mkm, kontaktaltı sahəsi $2 \cdot 10^{-2} \text{sm}^2$ olan sendviç variant hazırlanmışdır. Kontakt materialı olaraq gümüş pastası götürülmüşdür. Xarici sabit elektrik sahəsi təbii laylara perpendikulyar başqa sözlə C oxu istiqamətində yönəlmişdir.



Şəkil 1. Otaq temperaturunda və şüalanma dozalarının müxtəlif qiymətlərində Ag-In_{0.9993}Er_{0.0007}Se-Ag sisteminin volt-ampere xarakteristikası: 1-ci əyri şüalanmamış, 2-ci əyri $D_\gamma=50\text{krad}$ doza ilə şüalanmış, 3-cü əyri $D_\gamma=100\text{krad}$ doza ilə şüalanmış.

Şəkil 1 (əyri 2)-dən göründüyü kimi, nümunəni 50 krad doza ilə şüalandırdıqda keçiriciliyi azalır. Bu nümunədə idarə olunmayan aşqarların kompensasiya edilməsi ilə əlaqədardır. Yəni 50 krad dozada şüalanmadan sonra cərəyan daşıyıcılarının yaranması ilkin materiala nisbətən daha aşağı enerji səviyyəsindən baş verir.

3-cü əyridən görünür ki, nümunəni 100krad doza ilə şüalandırdıqda keçiricilik artır. Yüksək şüalanma

dozalarında (100krad) keçiricilik aşağı dozada şüalanmadan sonra olan keçiriciliyə nisbətən artır. Bu onunla əlaqədardır ki, cərəyan daşıyıcılarının yaranması ilkin materiala nisbətən daha yüksək enerji səviyyəsindən baş verir.

Nəticələri izah etmək üçün Lampertin Fəza Yüklərinin Məhdud Cərəyanı (TOPZ) nəzəriyyəsindən istifadə edilmişdir.

Alınmış nəticələrə əsasən demək olar ki, In_{0.9993}Er_{0.0007}Se monokristallarını otaq temperaturunda γ -kvantları ilə şüalandırdıqda elektrik keçiriciliyinin dəyişməsi əks yüklü radiasiya defektlərinin parçalanması ilə bağlı ola bilər, nəticədə asılı olmayan p-mərkəzləri və donorlar əmələ gəlir [11].

Təcrübədən alınmış elektrik parametrləri aşağıdakı cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl
Otaq temperaturunda In_{0.9993}Er_{0.0007}Se monokristallarının bəzi elektrik parametrləri

D_γ, krad	N_i, sm^{-3}	P_0, sm^{-3}	$\theta \cdot 10^{-1}$
0	$8,82 \cdot 10^{10}$	$6,125 \cdot 10^9$	2,7
50	$1,17 \cdot 10^{11}$	$5,3 \cdot 10^9$	2,6
100	$1,1 \cdot 10^{10}$	$5,5 \cdot 10^9$	2,68

NƏTİCƏ

In_{0.9993}Er_{0.0007}Se monokristallarını otaq temperaturunda γ -kvantları ilə şüalandırdıqda elektrik keçiriciliyinin dəyişməsi əks yüklü radiasiya defektlərinin parçalanması ilə bağlıdır. NTE atomları InSe monokristallarında kompensasiya edici rol oynayır. Otaq temperaturunda şüalanmamış, 50krad və 100 krad dozalı γ -kvantları ilə şüalanmış In_{0.9993}Er_{0.0007}Se monokristallarının elektrik xassələri öyrənilmiş və aşağıdakı elektrik parametrləri təyin edilmişdir: şüalanmamış kristallarda sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası $P_0=6,125 \cdot 10^9 \text{sm}^{-3}$, lokal səviyyələrin konsentrasiyası $N_i=8,82 \cdot 10^{10} \text{sm}^{-3}$, tutma faktoru $\theta=2,7 \cdot 10^{-1}$ uyğun olaraq 50krad doza ilə şüalandırıldıqda $P_0=5,3 \cdot 10^9 \text{sm}^{-3}$, $N_i=1,17 \cdot 10^{11} \text{sm}^{-3}$, $\theta=2,6 \cdot 10^{-1}$ və 100 kradda konsentrasiyası $P_0=5,5 \cdot 10^9 \text{sm}^{-3}$, $N_i=1,1 \cdot 10^{10} \text{sm}^{-3}$ və $\theta=2,68 \cdot 10^{-1}$.

- [1] A. Segura, J.P. Geusdon, J.M. Besson, A. Chevy/ Photovoltaic effect in InSe. Application to solar energy conversion. "Rev. Phys. appl." 1979, t.14, № 1, p.253
- [2] A. Segura, J.P. Geusdon, J.M. Besson, A. Chevy. Photoconductivity and fotovoltaic effect in indium selenide. J. Appl. Phys. 1983, t.54, № 2, p.876
- [3] A.G. Кязымзаде, A.A. Агаев, В.М. Салманов. Детекторы оптического излучения на основе слоистых кристаллов GaSe и InSe. ЖТФ, 2007, т.77, с.80-85.
- [4] К.Х. Нагиев, В.М. Салманов. Оптические модуляторы на основе кристаллов GaSe и InSe. Республиканская научная конференция

- «Актуальные проблемы физики», посвященная 90-летию БГУ. Баку, 16 мая 2009, с.18.
- [5] Г.Д. Гусейнов, Г.И. Искендеров, Е.М. Керимова. Взаимодействие мягкого рентгеновского излучения с монокристаллами InSe. Препринт №3, ИФАН, Баку, 1991, 20 с.
- [6] С.Н. Мустафаева, М.М. Асадов, А.А. Исмаилов. Перенос заряда по локализованным состояниям в монокристалле InSe и InSe<Sn> Физика Низких Температур, 2010, т.36, № 4, с.394-397.
- [7] С.Н. Мустафаева, М.М. Асадов, А.А. Исмаилов. Влияние γ -облучения на параметры локализованных состояний в монокристаллах

- p-InSe и n-InSe<Sn>//Физика Низких Температур 2010, т.36, № 7, с.805-808.
- [8] *А.А. Исмаилов, Ш.Г. Гасымов, Т.С. Мамедов, К.Р. Аллахвердиев.* Влияние давления на электропроводность и эффект холла селенида индия. ФТП, 1992, т.26, в.11, с.1994-1996.
- [9] *Г.И. Исаков, А.А. Исмаилов, П.Г. Исмаилова, А.А. Исмаилов, С.С. Абдинбеков, Х.Ш. Велибеков, Т.Я. Оруджев.* Электрические свойства монокристаллов In_{0.99}Sm_{0.01}Se и In_{0.97}Er_{0.03}Se для солнечных элементов. Международный журнал, Альтернативная энергетика и экологии, 2022, № 6, с.36-43, Саров.
- [10] *Q.İ. İsaqov, A.Ə. İsmayilov, V.İ. Eminova, S.S. Abdinbəyov, Ə.Ə. İsmayilov.* In_{1-x}Er_xSe (x= 0,001; 0,003) kristallarının elektrik xassələri. Content of Naxçıvan-100 AJP Fizika C, с.17-18.
- [11] *А.З. Абасова, Р.С. Мадатов, В.И. Стафеев.* Радиационно стимулированные процессы в халькогенидных структурах Баку: Элм, 2010. - 349 с.
- [12] *Е.И. Ярембаш, А.А. Елисеев.* Халькогениды редкоземельных элементов. Синтез и кристаллохимия М.: Наука, 1975. 258 с.

А.А. Ismailov, P.H. Ismayilova, A.A. Ismayilov, L.V. Rustamova, M.M. Shirinov, S.S. Abdinbeyov

ELECTRICAL PROPERTIES OF In_{0.9993}Er_{0.0007}Se SINGLE CRYSTALS

The electrical properties of unirradiated In_{0.9993}Er_{0.0007}Se single crystals at room temperature, irradiated with γ -quanta of 50 and 100 krad doses, have been studied. The following electrical parameters were found: the concentration of free charge carriers in unirradiated crystals was $P_0=6.125 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$, the concentration of local levels $N_t=8.82 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, the capture factor $\theta=2.7 \cdot 10^{-1}$ and when irradiated with a dose of 50 krad, $P_0=5.3 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$, $N_t=1.17 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$, $\theta=2.6 \cdot 10^{-1}$ and at 100 krad $P_0=5.5 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$, $N_t=1.1 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ and $\theta=2.68 \cdot 10^{-1}$.

Qəbul olunma tarixi: 06.05.2025