

In_{1-x}Er_xSe (x=0,0001; 0,0003) KRİSTALLARININ ELEKTRİK XASSƏLƏRİ**Q.İ. İSAQOV, A.Ə. İSMAYILOV*, V.İ. EMİNOVA, S.S. ABDİNBOYOV,
Ə.Ə. İSMAYILOV***Azərbaycan ETN Fizika İnstitutu, Bakı-1143, H.Cavid pr. 131***Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı-1143, H.Cavid pr. 25*

Müəyyən edilmişdir ki, $T < 200\text{K}$ temperaturda $p\text{-InSe}$, $n\text{-In}_{0,9999}\text{Er}_{0,0001}\text{Se}$ və $n\text{-In}_{0,9997}\text{Er}_{0,0003}\text{Se}$ sabit elektrik sahəsində və təbii laylara perpendikulyar istiqamətdə dəyişən uzunluqlu sıçrayışlı keçiricilik mövcuddur. Fermi səviyyəsi yaxınlığında hal sıxlığı ($N_F = 1,1 \cdot 10^{19} - 5,3 \cdot 10^{20} \text{ əB}^{-1} \cdot \text{cm}^{-3}$), energetik səpələnmə ($\Delta E = 0,01 - 0,03 \text{ əB}$), sıçrayışların orta məsafəsi ($R_{or} = 46,16 - 101,62 \text{ Å}$) və ləvəşənin konsentrasiyası ($3,0 \cdot 10^{17} - 5,0 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) hesablanmışdır.

Açar sözlər: mükəmməl kristal, nadir torpaq elementləri, elektrikkeçiriciliyi, yarımkəçirici birləşmələrin təmizlənməsi.

PACS: 71.20.Nr Yarımkəçirici birləşmələr; 72.20.Fr Zəif sahələrdə daşınma və yürüklük.

GİRİŞ

InSe A^3B^6 qrupuna daxil olan laylı kristallar ailəsinə aiddir. InSe kristalının əsas xüsusiyyəti onun elektrikkeçiriciliyinin güclü anizotropiyaya malik olmasıdır ki, $T < 100\text{K}$ olduqda 10^4 -ə bərabər olur [1].

[2;3;4;5]-ci işlərdə göstərildiyi kimi nadir torpaq elementləri yarımkəçiricilərdə aşağı miqdarda həll olma qabiliyyətinə malikdir. Nadir torpaq elementləri yarımkəçiricilərdə təmizləyir ki, bununla da defektlərin konsentrasiyaları azalır və nəticədə yükdaşıyıcıların yürüklüyü artır. In_{1-x}Er_xSe ($x=0,0001; 0,0003$) kristallarında In atomlarını nadir torpaq elementləri ilə əvəz etdikdə $p\text{-InSe}$ $n\text{-InSe}$ çevrilir. Aşağı temperaturalarda köçürmə hadisələrini öyrənmək qadağan olunmuş zondada yerləşən lokal səviyyələr haqqında qiymətli məlumatlar verə bilər ki, bu temperaturalarda tələlər əsas rol oynayır.

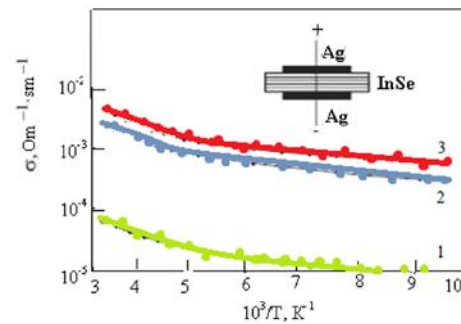
Elektrik ölçüləri Bricmen metodu ilə alınmış qəfəs parametrləri heksaqonal sinqoniyaya malik olan ($a=4,04\text{Å}$ və $c=16,96\text{Å}$) nümunələrdə $77\text{-}300\text{K}$ temperatur intervalında aparılmışdır. InSe göstərilən temperatur intervalında p -tip keçiriciliyə malik olmuşdur [6]. 300K temperaturda $p\text{-InSe}$ monokristalı üçün tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası $p_0=1,84 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3}$, yürüklüyü $\mu_0=85 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ oldu. InSe-dən fərqli olaraq, In_{1-x}Er_xSe-də $x=0,0001; 0,0003$ tərkiblərində qaranlıqdakı xüsusi müqavimətləri uyğun olaraq $7 \cdot 10^2 \text{ Om} \cdot \text{sm}$., $\rho_T \approx 2 \cdot 10^3 \text{ Om} \cdot \text{sm}$.; tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası $n_0 \approx 10^{14} \text{ sm}^{-3}$, $n_0 \approx 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ və yükdaşıyıcıların yürüklüyü $\mu_0 \approx 500 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{san}$., $\mu_0 \approx 800 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{san}$ qiymətlər aldı.

Nümunələrin həndəsi forması şəkil 1-in çərçivəsində verilib. Sabit elektrik sahəsi nümunələrin layları istiqamətində yönəlib. Kontakt materialı olaraq gümüş pastasından istifadə olunub. Kristalın eni 300 mkm , kontakt altı sahə isə $2 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$ -dir.

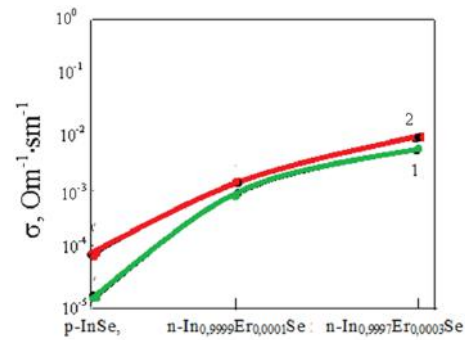
Nəticələrin müzakirəsi

Şəkil 1-də $p\text{-InSe}$, $n\text{-In}_{0,9999}\text{Er}_{0,0001}\text{Se}$ və $n\text{-In}_{0,9997}\text{Er}_{0,0003}\text{Se}$ monokristallarının omik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları, şəkil 2-də isə $p\text{-InSe}$,

$n\text{-In}_{0,9999}\text{Er}_{0,0001}\text{Se}$ və $n\text{-In}_{0,9997}\text{Er}_{0,0003}\text{Se}$ monokristallarının elektrikkeçiriciliyinin tərkibdən asılılıqları göstərilmişdir.



Şəkil 1. $p\text{-InSe}$ (1), $n\text{-In}_{0,9999}\text{Er}_{0,0001}\text{Se}$ (2) və $n\text{-In}_{0,9997}\text{Er}_{0,0003}\text{Se}$ (3) monokristallarının elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılığı. Çərçivədə elektrik xassələrini ölçmək üçün nümunənin həndəsi forması.



Şəkil 2. $p\text{-InSe}$, $n\text{-In}_{0,9999}\text{Er}_{0,0001}\text{Se}$ və $n\text{-In}_{0,9997}\text{Er}_{0,0003}\text{Se}$ monokristallarında müxtəlif temperaturalarda elektrikkeçiriciliyi $T, \text{K}: 200(1), 294(2)$.

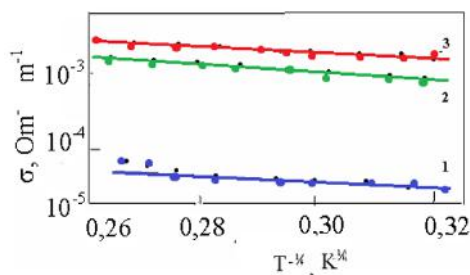
Şəkil 1-də əyri 1-3-dən görünür ki, yarımləqərfmik miqyasda $\lg \sigma = f(1/T)$ asılılığında sabit meyylə xarakterizə edilən və temperatur azaldıqca elektrikkeçiriciliyi monoton olaraq azalır. Bu təcrübə faktı göstərir ki, $p\text{-InSe}$, $n\text{-In}_{0,9999}\text{Er}_{0,0001}\text{Se}$ və $n\text{-In}_{0,9997}\text{Er}_{0,0003}\text{Se}$ kristallarında aşağı temperaturalarda ($T < 200\text{K}$) Fermi səviyyəsi yaxınlığında dar enerji zolağında ΔE dəyişən uzunluqlu sıçrayışlı keçiricilik mövcuddur. Bu tip keçiricilik üçün $\lg \sigma = f(T^{-1/4})$ asılılığı T_0 mailliliyi ilə düz xətt verməlidir [7]:

$$\sigma \sim \exp[-(T_0/T)^{1/4}] \quad (1)$$

$$T_0 = \frac{16}{N_F \kappa a^3}, \quad (2)$$

N_F – Fermi səviyyəsi ətrafında hal sıxlığı, κ – Bolsman sabiti, a – lokallaşma radiusu.

Şəkil 3-də p-InSe, n-In_{0,9999}Er_{0,0001}Se və n-In_{0,9997}Er_{0,0003}Se monokristalları üçün $\lg \sigma = f(T^{-1/4})$ asılılığı verilmişdir. Hər üç monokristal üçün təcrübi olaraq T_0 -ın qiyməti tapılıb və cədvəldə göstərilmişdir.



Şəkil 3. p-InSe (1), n-In_{0,9999}Er_{0,0001}Se (2) və n-In_{0,9997}Er_{0,0003}Se (3) monokristallarında aşağı temperatur keçiriciliyi.

Cədvəl

Aşağı temperaturu elektrik ölçülərindən sabit elektrik sahəsində p-InSe, n-In_{0,9999}Er_{0,0001}Se və n-In_{0,9997}Er_{0,0003}Se monokristalları üçün lokal halların parametrləri

Kristal	T_0, K	$N_F, eV^{-1} \cdot cm^{-3}$	$R_{or}, \text{Å}$	$\Delta E, eV$	N_t, cm^{-3}
p-InSe	$5,56 \cdot 10^4$	$1,72 \cdot 10^{19}$	99,5	0,028	$4,82 \cdot 10^{17}$
n-In _{0,9999} Er _{0,0001} Se	$8,35 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^{19}$	101,62	0,03	$3,0 \cdot 10^{17}$
n-In _{0,9997} Er _{0,0003} Se	$1,785 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^{20}$	46,16	0,01	$5,0 \cdot 10^{18}$

Beləliklə müəyyən edilmişdir ki, $T < 200 K$ temperaturda p-InSe, n-In_{0,9999}Er_{0,0001}Se və n-In_{0,9997}Er_{0,0003}Se sabit elektrik sahəsində və təbii laylara perpendikulyar istiqamətdə dəyişən uzunluqlu sıçrayışlı keçiricilik mövcuddur. Fermi səviyyəsi yaxınlığında

hal sıxlığı ($N_F = 1,1 \cdot 10^{19} - 5,3 \cdot 10^{20} eV^{-1} \cdot cm^{-3}$), energetik səpələnmə ($\Delta E = 0,01 - 0,03 eV$), sıçrayışların orta məsafəsi ($R_{or} = 46,16 - 101,62 \text{ Å}$) və tələlərinin konsentrasiyası ($3,0 \cdot 10^{17} - 5,0 \cdot 10^{18} cm^{-3}$) hesablanmışdır.

- [1] A.A. Исмаилов, Ш.Г. Гасымов, К.Р. Аллахвердиев. Влияние давления на электропроводность и эффект Холла в монокристаллах селенида индия Санкт-Петербург: ФТП, - 1992. т.26, №11.
- [2] В.Ф. Мастеров, Л.Ф. Захаренков. Редкоземельного элементы A^3B^5 . ФТП, 1990, т. 24 (4).
- [3] Б.М. Гольцман, В.А. Кудинов, И.А. Смирнов. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 (М., Наука, 1972).
- [4] Г.И. Исаков, А.А. Исмаилов, А.А. Исмаилов, П.Г. Исмаилов, С.С. Абдинбеков, Х.Ш. Велибеков, Т.Я. Оруджев. Электрические свойства монокристаллов $In_{0,99}Sm_{0,01}Se$ и $In_{0,99}Er_{0,01}Se$ для солнечных элементов Международной журнал Альтернативная энергетика и

- экологии. Нижний новгород, Саров т.44, №6, 2022, с.36-43.
- [5] G.I. Isakov, A.A. Ismailov, N.Z. Gasanov, P.G. Ismailova, A.A. Ismailov. Electrophysical properties of $In_{1-x}Sm_xSe$ crystals at different doses of γ -irradiation Polish journal of science 2024, №71, p.43-49.
- [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, №7.
- [7] Н. Мотт, Э. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах. Мир, Москва 1974.

G.I. Isakov, A.A. Ismailov, V.I. Eminova, S.S. Abdinbekov, A.A. Ismailov

ELECTRICAL PROPERTIES IN MONOCRYSTALS $In_{1-x}Er_xSe$ ($x=0,0001; 0,0003$)

It has been established that at temperatures $T < 200 K$ in monocrystals of p-InSe, and n-In_{0.9999}Er_{0.0001}Se and n-In_{0.9997}Er_{0.0003}Se, a hopping conductivity with a variable jump length exists across their natural layers in a constant electric field. The density of states near the Fermi level ($N_F = 1.1 \cdot 10^{19} - 5.3 \cdot 10^{20} eV^{-1} \cdot cm^{-3}$), their energy spread ($\Delta E = 0,01 - 0,03 eV$), average jump distances ($R_{cr} = 46.16 - 101.62 \text{ Å}$) and trap concentrations ($3.0 \cdot 10^{17} - 5.0 \cdot 10^{18} cm^{-3}$) have been estimated.

Г.И. Исаков, А.А. Исмаилов, В.И. Еминова, С.С. Абдинбеков, А.А. Исмаилов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $In_{1-x}Er_xSe$ ($x=0,0001; 0,0003$)

Установлено, что при температурах $T < 200 K$ в монокристаллах p-InSe, и n-In_{0,9999}Er_{0,0001}Se и n-In_{0,9997}Er_{0,0003}Se поперек их естественных слоев в постоянном электрическом поле существует прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка. Оценены плотность состояний вблизи уровня Ферми ($N_F = 1,1 \cdot 10^{19} - 5,3 \cdot 10^{20} eV^{-1} \cdot cm^{-3}$), их энергетических разброс ($\Delta E = 0,01 - 0,03 eV$), средние расстояния прыжков ($R_{cp} = 46,16 - 101,62 \text{ Å}$) и концентрации ловушек ($3,0 \cdot 10^{17} - 5,0 \cdot 10^{18} cm^{-3}$).