

InSe LAYLI KRİSTALLARINDA YARANAN DEFEKTLƏR

Q.İ. İSAQOV, A.Ə. İSMAYILOV,* Ə.Ə. İSMAYILOV

AMEA Fizika İnstitutu, Bakı, AZ-1143, H.Cavid prospekti, 131,

*Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, AZ-1143, H.Cavid prospekti 25

gudrat.isakov@gmail.com

InSe kristallarında defektlərin yaratdığı lokal mərkəzlərin yerləşmə dərinlikləri, konsentrasiyaları və qeyri əsas yükdaşıyıcıların zəbt olunma əmsalları hesablanmışdır $E_{\alpha 1}=E_c-0,05\text{eV}$; $E_{\alpha 2}=E_c-0,34\text{eV}$; $E_{\beta}=E_c-0,56\text{eV}$; $E_c=E_c-0,40\text{eV}$; $E_r=E_v+0,50\text{eV}$. Otaq temperaturunda həmin mərkəzlərin konsentrasiyası $N_{\alpha 1}=9.7\cdot 10^{18}\text{sm}^{-3}$; $N_{\alpha}=2.4\cdot 10^{14}\text{sm}^{-3}$; $N_r=6\cdot 10^{15}\text{sm}^{-3}$, maye azot temperaturunda r və S mərkəzləri üçün əsas və qeyri əsas yükdaşıyıcıların zəbt olunma əmsalları isə uyğun olaraq $\gamma_{nS}=10^{-18}\text{sm}^2$, $\gamma_{Ar}=3\cdot 10^{-19}\text{sm}^2$, $\gamma_{pS}=10^{-17}\text{sm}^2$, $\gamma_{pr}=3\cdot 10^{-16}\text{sm}^2$ və $\gamma_{pr}\gg\gamma_{nS}\gg\gamma_{nr}$ olmuşdur.

Açar sözlər: defekt, yapışma səviyyələri, rekombinasiya mərkəzi, kriteriya, hal diaqramı.

PACS:71.20.Nr; 72.20.Ee; 72.20.Fr; 72.20.Ht

GİRİŞ

A^3B^6 laylı kristallarında yaranan defektlər aşağıdakı qruplara bölünürlər: məxsusi (struktur) defektləri, idarə olunmayan aşqar defektləri, xüsusi daxili aşqar defektləri, radiasiya defektləri, termiki defektlər [1,2]. Bu defektlər kristalların araşdırılması zamanı mühüm əhəmiyyət kəsb edir. A^3B^6 laylı kristalların və onların əsasında üçqat analoqların alınma üsulundan asılı olaraq elektrofiziki xassələrinə temperaturun, elektromaqnit dalğalarının, tezliyin, verilən elektrik sahəsinin gərginliyinin, şüalanmanın və s. təsiri intensiv surətdə araşdırılır. Bunlardan bəzilərinin qısa məzmununa baxaq: Yüksək müqavimətli laylı InSe, GaSe və GaS monokristallarının C oxu istiqamətində 77-450K intervalında, VAX-ın temperatur asılılığı öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, bu yarımkeçiricilərdə cərəyan keçiriciliyinin mexanizmi temperaturdan kəskin asılır. Nisbətən yüksək temperaturlarda $T>200\text{K}$ -də nümunələrin VAX-ı FYMC(Fəza yüklərinin məhdudlanmış cərəyan) nəzəriyyəsinə və makroqeyribircins yarımkeçiricilər üçün işlənmiş iki çəpərli modelə tabe olur [3].

Defektlər kristalların fiziki xssələrinin öyrənilməsidə mühüm əhəmiyyət kəsb edir. InSe laylı düzləndiricilərinin elektrik və fotoelektrik xssələrinə qamma-neutron şüalanmasının (effektiv enerjisi $E_{ef}=6\text{MeV}$ olan və dozası $10^{12}-10^{13}$ el/sm² təsiri öyrənilmişdir. Dozanın maksimal qiymətində VAX yaxşılaşır, qısa qapanma cərəyanı hiss olunmayacaq dərəcədə azaldıqda sərbəst gedşin gərginliyi artır. Konturda foto cavabın spektrinin dəyişməsi ümumilikdə müəyyən olunmayıb. Hətta şüalanmanın başlangıç anında InSe əsaslı günəş elementləri güclü deqradasiyaya uğrayır. Alınan nəticələrə əsasən bu fotodiodlardan müxtəlif növ radiasiyaya davamlı fotodetektorların hazırlanmasında istifadə oluna bilər [4].

Ədəbiyyatlardan məlumdur ki, InSe kristallarının qadağan olunmuş zonalarında dayaz α və dərin β -yapışma səviyyələri, yavaş r - və tez S rekombinasiya mərkəzləri var [6,7]. Yapışma mərkəzlərinin parametrlərini təyin etmək üçün aşağıdakı kriteriyadan istifadə olunur [8].

Yavaş mərkəzlər üçün

$$\delta = \frac{T_2 - T_m}{T_2 - T_1} \leq e^{-1} \left(1 + \frac{2kT_m}{E_t} \right),$$

Tez mərkəzlər üçün

$$\delta = \frac{T_2 - T_m}{T_2 - T_1} \geq e^{-1} \left(1 + \frac{2kT_m}{E_t} \right),$$

şərtləri ödənilməlidir.

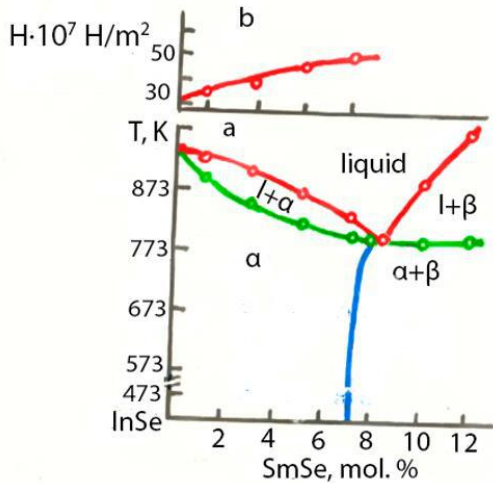
Burada T_1 – TSC-nin (Termo stimullaşmış cərəyan) artma istiqamətinin yarım hündürlüyünə uyğun olan temperatur, T_2 - TSC-nin azalma istiqamətinin yarım hündürlüyünə uyğun olan temperatur, T_m - TSC-da alınmış pikə uyğun olan temperatur, E_t -lokal mərkəzlərin yerləşmə dərinliyidir.

EKSPERİMENT VƏ MÜZAKİRƏ

TSC metodunun çatışmazlıqlarından biri odur ki, eyni zamanda həm lokal səviyyələrin konsentrasiyasını və en kəsinin sahəsini təyin etmək mümkün deyil. Ona görə də, InSe kristallarında mərkəzlərin enerji dərinlikləri, konsentrasiyaları və yükdaşıyıcıların zəbt olunma əmsalları Lampert nəzəriyyəsinə görə hesablanmışdır: $E_{\alpha 1}=E_c-0,05\text{eV}$; $E_{\alpha 2}=E_c-0,34\text{eV}$; $E_{\beta}=E_c-0,56\text{eV}$; $E_S=E_o-0,40\text{eV}$; $E_r=E_v+0,50\text{eV}$ otaq temperaturunda həmin mərkəzlərin konsentrasiyası $N_{\alpha 1}=9.7\cdot 10^{18}\text{sm}^{-3}$; $N_{\alpha}=2.4\cdot 10^{14}\text{sm}^{-3}$; $N_r=6\cdot 10^{15}\text{sm}^{-3}$ olur. Maye azot temperaturunda r və S mərkəzləri tərəfindən əsas və qeyri əsas yükdaşıyıcıların zəbt olunma əmsalları üçün isə uyğun olaraq $\gamma_{nS}=10^{-18}\text{sm}^2$, $\gamma_{nr}=3\cdot 10^{-19}\text{sm}^2$, $\gamma_{pS}=10^{-17}\text{sm}^2$, $\gamma_{pr}=3\cdot 10^{-16}\text{sm}^2$ və $\gamma_{pr}\gg\gamma_{nS}\gg\gamma_{nr}$ olmuşdur[4]. InSe monokristallarının nadir torpaq elementləri (NTE) olan Sm və Er ilə aşqarlıqda texnoloji və fiziki xssələrdə baş verən dəyişikliklər [9,10] işlərdə göstərilmişdir. Ədəbiyyatda [2,5] InSe monokristallarının fiziki-kimyəvi və elektron xssələrinə Dy, Ho nadir torpaq elementlərinin təsirinə nəticəsində həmin atomların kristala daxil olmasının aşağıdakı mexanizmi təklif olunur. Bu işlərdə [2, 5] atomların nisbətən aşağı miqdarlarında aşqar ionları kristala daxil olaraq qəfəsdə düyünlər arasında nöqtəvi

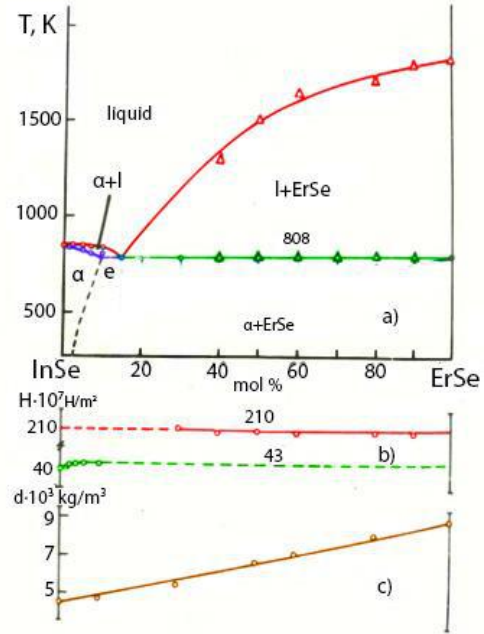
defektlər (daxil olma) şəklində ionlaşır və sonradan temperatur dəyişməsi ilə bu defektlər kristal daxilində öz yerlərini dəyişirlər. Nəticədə, bir tərəfdən həm kristalın strukturunun defektliyi çoxalır, digər tərəfdən isə makroskopik qeyri-bircinsliyin ölçüləri artır. Təbii ki, bu mexanizm, öz növbəsində uyğun araşdırmada fəza qeyri-bircins kristallarda müşahidə olunan struktur defektlərinin güclənməsinə səbəb olur. Aşqar atomlarının sonrakı artımı zamanı onlar kristaldakı III qrup elementi olan In-un vakant yerləri tərəfindən tutulur. Nəticədə kristalda laylararası nizamlılıq tədricən bərpə olunur, sonra birləşmənin A-ionunun NTE ionu ilə əvəz olunması hesabına laylararası əlaqə güclənir, bu isə öz növbəsində kristalın defektlik dərəcəsinin, həmçinin onun fəza qeyri-bircinsliyinin azalmasına səbəb olur. Çox güman ki, belə aşqarlamada, yəni kristala nisbətən böyük konsentrasiyalı NTE olan aşqarlar daxil edildikdə yaranan elektron xassələri, qadağan olunmuş zonada uyğun lokal səviyyələr fəza qeyri-bircins kristalların elektron xassələrinə oxşayır. Deyilən bu mülahizələr kristala daxil edilən uyğun aşqarların A-ion və kovalent radiuslarının ədəbiyyatla müqayisəsi bir daha təsdiq olunur [1, 2]. Qeyd olunan parametrlərin qiyməti aşağıdakı kimidir:

1. Aşqarların ion radiusu $R_{Sm} = (+3e) 9,64 \text{ \AA}$, $R_{Er} = (+3e) 8,81 \text{ \AA}$.
2. Aşqarların kovalent radiusu $R_{Sm} = 16,2 \text{ \AA}$, $R_{Er} = 15,7 \text{ \AA}$.
3. Atomlararası məsafə $\sim 3,16 \text{ \AA}$
4. Laylararası məsafə $\sim 8,16 \text{ \AA}$.
5. A- komponentinin ion radiusu $In^{+3} = 0,92 \text{ \AA}$.
6. A-komponentinin kovalent radiusu: $R_{In} = 1,46 \text{ \AA}$



Şəkil 1. InSe tərəfdən InSe- SmSe ərintisinin hal diaqramı

diaqramı a) və mikromöhkəmlik b)



Şəkil 2. InSe tərəfdən InSe-ErSe ərintisinin hal diaqramı a) və mikromöhkəmlik b)

Şəkil 1 və şəkil 2-də uyğun olaraq InSe-SmSe və InSe-ErSe sistemlərinin hal diaqramları göstərilmişdir.

NƏTİCƏLƏR

Aşqarlanma kristalın nöqtəvi defekt strukturunu bir növ qaydaya salır və müxtəlif tip lokal səviyyələrin konsentrasiyasını idarə edir. Yəni aşqarlanmış nümunələr üçün fotocərəyannın temperatur asılılığının formasının dəyişməsi faktı kristalın qadağan olunmuş zonasında r -rekonbinasiya və α -tutma mərkəzlərinin konsentrasiyasının dəyişməsi ilə bağlıdır.

InSe kristallarında defektlərin yaratdığı lokal mərkəzlərin yerləşmə dərinlikləri, konsentrasiyaları və qeyri-əsas yükdaşıyıcıların zəbt olunma əmsalları hesablanmışdır: $E_{\alpha 1} = E_c - 0,05 \text{ eV}$; $E_{\alpha 2} = E_c - 0,34 \text{ eV}$; $E_{\beta} = E_c - 0,56 \text{ eV}$; $E_s = E_0 - 0,40 \text{ eV}$; $E_r = E_v + 0,50 \text{ eV}$. Otaq temperaturunda həmin mərkəzlərin konsentrasiyaları $N_{\alpha 1} = 9,7 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$; $N_{\alpha 2} = 2,4 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$; $N_r = 6 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ olur.

Maye azot temperaturunda r və S mərkəzləri üçün əsas və qeyri əsas yükdaşıyıcıların zəbt olunma əmsalları isə $\gamma_{nS} = 10^{-18} \text{ sm}^2$, $\gamma_{Ar} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ sm}^2$, $\gamma_{pS} = 10^{-17} \text{ sm}^2$, $\gamma_{pr} = 3 \cdot 10^{-16} \text{ sm}^2$ və $\gamma_{pr} \gg \gamma_{nS} \gg \gamma_{nr}$ olmuşdur.

[1] A.Ш. Абдинов, З.Ф. Бабаева. Неорганические материалы, 1994, т.30, N7, с.883-886.
 [2] A.Ш. Абдинов, Р.Ф. Бабаева. Неорганические материалы, 1995, т.31, N7, с.896-898.
 [3] О.Н. Сидор, О.А. Сидор, З.Д. Ковалюк. ФТП, 2014, т. 48, в. 2, 254-258.
 [4] М. Ламперт, П. Марк. Инжекционные токи в твердых телах. Москва: Мир-1973, с.416.

[5] Z.D.Kovalyuk, O.A.Politanska, V.A.Tkachenko Journal of Nuclear Materials, 2009. v. 385, p.489-494.
 [6] A.Ш. Абдинов, Р.Ф. Бабаева. Неорганические материалы, 1995, т.31, N8, с.1020-1022.
 [7] G. Micocci, A. Rizzo, A. Tepore, F. Zuanni. Isothermal currents in InSe, GaSe and GaS single crystals. Phys. Stat. Sol. (a), - 1983. v. 80, p. 263-267.

- [8] *C.Г. Pзаев, А.А. Исмаилов, Т.С. Мамедов.* Термостимулированные токи и эффекта Френкеля-Пула в монокристаллах ТInS₂, СГУ, 2005, т.5, N3, с.15-21.
- [9] *E.M. Kerimova, Gasanov N.Z., Ismailov A.A.* Electrical and photoelectric properties of solid solutions In_{1-x}Er_xSe. GESJ: Physics, 2019, N1(21), p.53-59.
- [10] *Н.З. Гасанов, А.А. Исмаилов, А.А. Исмаилов.* Электрические свойства в монокристаллах гамма облученных In_{1-x}Sm_xSe. Республиканская научная конференция «Актуальные проблемы физики», посвященная 90-летию БГУ. Баку, 16 мая 2009 г., стр.18.

Г.И. Исаков, А.А. Исмаилов,* А.А. Исмаилов

ДЕФЕКТЫ В СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛАХ InSe

Рассчитаны глубины, концентрации и коэффициенты захвата неосновных носителей заряда в локальных уровнях, созданных дефектами в кристаллах InSe $E_{a1} = E_c - 0,05 \text{ эВ}$; $E_{a2} = E_c - 0,34 \text{ эВ}$; $E_\beta = E_c - 0,56 \text{ эВ}$; $E_S = E_o - 0,40 \text{ эВ}$; $E_r = E_v + 0,50 \text{ эВ}$. Концентрация этих центров при комнатной температуре $N_{a1} = 9,7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; $N_a = 2,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$; $N_r = 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, коэффициенты захвата основных и неосновных носителей для центров r и S при температуре жидкого азота составляют $\gamma_{nS} = 10^{-18} \text{ см}^2$, $\gamma_{Ar} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$, $\gamma_{pS} = 10^{-17} \text{ см}^2$ соответственно $\gamma_{pr} \gg \gamma_{nS} \gg \gamma_{nr}$.

Q.İ. Isakov, A.A. Ismayilov,* A.A. Ismayilov

DEFECTS IN InSe LAYERED CRYSTALS

Depths, concentrations and ratios of non-basic charge carriers capture in the local centers created by defects in the levels of InSe $E_{a1} = E_c - 0,05 \text{ eV}$; $E_{a2} = E_c - 0,34 \text{ eV}$; $E_\beta = E_c - 0,56 \text{ eV}$; $E_S = E_o - 0,40 \text{ eV}$; $E_r = E_v + 0,50 \text{ eV}$ crystals were calculated. Concentration of these centers at room temperature are $N_{a1} = 9,7 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$; $N_a = 2,4 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$; $N_r = 6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, the ratios of the basic and non-basic carriers capture for the r and S centers at the temperature of liquid nitrogen are $\gamma_{nS} = 10^{-18} \text{ cm}^2$, $\gamma_{Ar} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\gamma_{pS} = 10^{-17} \text{ cm}^2$, hence $\gamma_{pr} \gg \gamma_{nS} \gg \gamma_{nr}$.