

УДК 621.315.592

**РЕНТГЕНОПРОВОДИМОСТЬ И РЕНТГЕНОДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОВ $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$**

Э.М. КЕРИМОВА, С.Н. МУСТАФАЕВА, Л.А. ИСМАИЛЗАДЕ, А.К. ЗАМАНОВА

*Институт Физики НАН Азербайджана
370143, Баку, пр. Г.Джавида, 33*

Изучена рентгенопроводимость и рентгенодозиметрические характеристики кристаллов $AgInSe_2$ и твердых растворов на их основе, соответствующих частичному замещению ионов серебра таллием. Вследствие указанного замещения имеет место заметное повышение коэффициента рентгеночувствительности кристаллов. Выявлено, что кристаллы $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ могут найти практическое применение в качестве кристаллических рентгендетекторов.

Соединения $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ и $A^I B^{III}C_2^{VI}$ являются изоэлектронными аналогами полупроводников группы $A^{III}B^{VI}$ и $A^{II}B^{VI}$. Среди кристаллических фаз этих групп веществ большой интерес представляют $TlInSe_2$ и $AgInSe_2$. Они отличаются высокой фоточувствительностью [1-3], что делает эти объекты интересными с научной практической точки зрения. Особый интерес представляет исследование монокристаллов системы $TlInSe_2-AgInSe_2$.

В [3] были изучены особенности стационарной фотопроводимости и определены параметры центров рекомбинации в монокристаллах системы $TlInSe_2-AgInSe_2$. Показано, что катионное замещение $Tl \leftrightarrow Ag$ приводит к появлению примесной фотопроводимости в области, примыкающей к краю фундаментального поглощения. Были изучены фотоэлектрические свойства монокристаллов $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ [2]. Установлено, что процессы рекомбинации и прилипания в этих кристаллах обусловлены наличием очувствляющих центров глубиной залегания 0,56 и 0,92 эВ и уровней прилипания для электронов 0,40 и 0,15 эВ. Рентгенодозиметрические характеристики исходных кристаллов $TlInSe_2$ и $AgInSe_2$ были изучены нами в [4-6]. В [6] приведены также предварительные результаты по изучению рентгенопроводимости в монокристаллах $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$.

Целью настоящей работы явилось детальное изучение рентгенодозиметрических свойств кристаллов $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ ($x=0; 0,015$).

Исходными материалами для получения объектов исследований служили элементы следующих марок: таллий-000; серебро-ОСЧ-11-4; индий-000; селен-ОСЧ-17-4. Тройные соединения получали прямым сплавлением элементов согласно стехиометрии в вакуумированных до $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па кварцевых ампулах методом двухтемпературного синтеза с использованием вибрационного перемешивания при температуре на $50-70^{\circ}$ выше температуры плавления в течение 3-4 часов. Для гомогенизации полученные лигатуры отжигали при температурах, равных $2/3$ их температур плавления в течение 200-400 часов. Однофазность полученных сплавов контролировали методом дифференциально-термического (ДТА) и рентгенофазового (РФА) анализов. Для определения взаимной растворимости соединений $AgInSe_2-TlInSe_2$ образцы сплавов $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ готовили сплавлением исходных лигатур по режиму, описанному для синтеза. Диаграмма состояния системы $TlInSe_2-AgInSe_2$ приведена в [7]. На основании результатов ДТА, РФА и микроструктурного анализов установлено, что указанная система представляет собой квазибинарный разрез с ограниченной взаимной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Растворимость $TlInSe_2$ в $AgInSe_2$ составляет 2 моль.% при комнатной температуре.

С учетом физико-химических особенностей выбран оптимальный режим технологии и выращены крупные однородные монокристаллы $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$. При изготов-

лении образцов для измерений на кристаллы были вплавлены индиевые контакты.

Источником рентгеновского излучения являлась установка УРС-55а. Падающие на кристаллы дозы рентгеновского излучения (E) измерены кристаллическим рентгендозиметром ДРГЗ-02.

Соответствующие изменения проводимости исследуемых кристаллов под действием рентгеновского излучения регистрировались в режиме малого нагрузочного сопротивления ($R_K \gg R_H$). Величина коэффициента рентгенопроводимости K_σ , характеризующая рентгеночувствительность кристаллов по изменению проводимости, определялась как:

$$k_\sigma = \frac{\Delta\sigma_{E,0}}{E \cdot \sigma_0} = \frac{\sigma_E - \sigma_0}{\sigma_0} = \frac{J_E - J_T}{J_T \cdot E},$$

где $\sigma_E(J_E)$ – проводимость (ток через кристалл) под действием рентгеновского излучения интенсивностью E ; $\sigma_0(J_T)$ – проводимость (темновой ток) в отсутствии излучения. На практике часто в качестве меры измеряемой дозы регистрируется изменение сопротивления кристалла детектора по мостовой схеме. При этом в качестве параметра чувствительности кристалла берут относительное изменение его сопротивления с расчета на единицу дозы рентгеновского излучения, т.е. показатель чувствительности кристалла детектора:

$$k_R = \frac{R_E - R_0}{R_0 \cdot E} = \frac{\Delta R_{E,0}}{R_0 \cdot E},$$

где R_E – сопротивление под действием излучения интенсивностью E ; R_0 – в отсутствии излучения.

Оба показателя чувствительности (k_σ и k_R) исследуемых кристаллов $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ ($x=0$ и $0,015$) для соответствующих величин «эффективной жесткости» и дозы рентгеновского излучения приведены на Рис.1 и Рис.2. Качественно характер изменения указанных коэффициентов рентгеночувствительности по мере возрастания «эффективной жесткости» (V_y) и дозы (E) излучения – уменьшение их по абсолютной величине такой же, как и для кристаллов соединения $TlInSe_2$ [4].

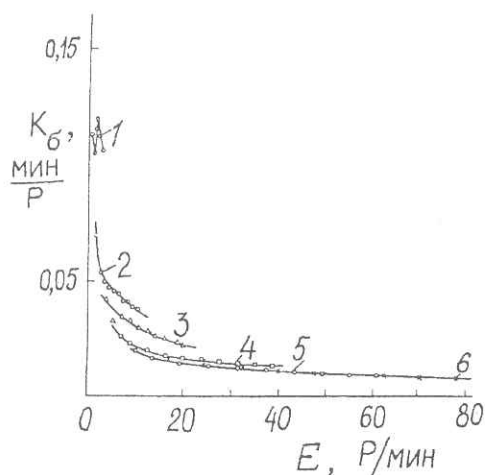


Рис.1.

Зависимость коэффициента рентгенопроводимости от мощности и «эффективной жесткости» излучения для кристаллов $AgInSe_2$: 1-25; 2-30; 3-35; 4-40; 5-45; 6-50кэв.

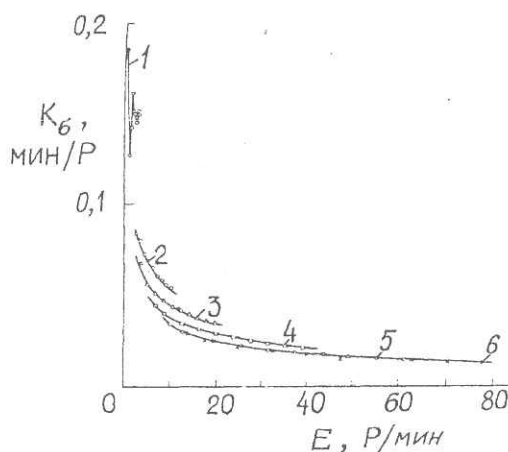


Рис.2.

Зависимость коэффициента рентгенопроводимости от E и V_y для кристаллов $Ag_{0.985}Tl_{0.015}InSe_2$: 1-25; 2-30; 3-35; 4-40; 5-45; 6-50кэв.

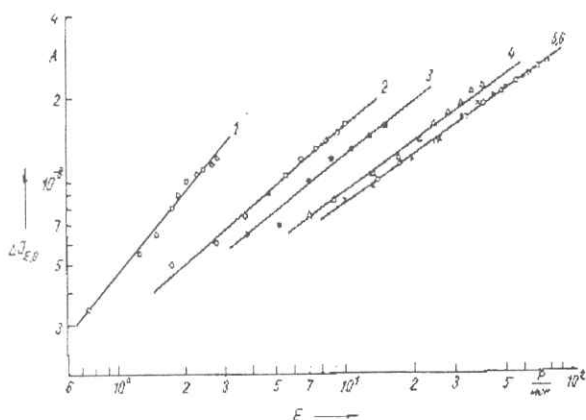


Рис.3.

Рентгеноамперные характеристики для кристаллов AgInSe_2 при различных «эффективных жесткостях» излучения: 1-25; 2-30; 3-35; 4-40; 5-45; 6-50кэВ.

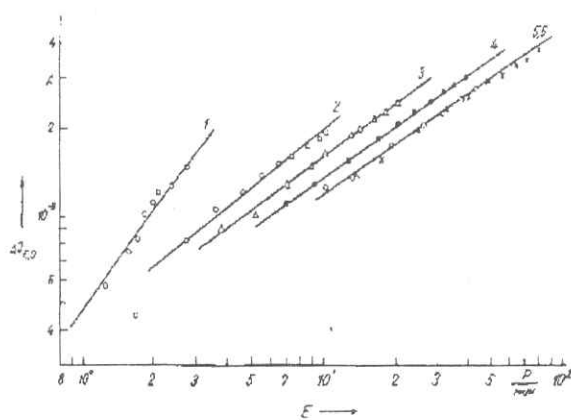


Рис.4.

Зависимости рентгенотока от мощности дозы для кристаллов $\text{Ag}_{0.985}\text{Tl}_{0.015}\text{InSe}_2$ при различных «эффективных жесткостях» излучения: 1-25; 2-30; 3-35; 4-40; 5-45; 6-50 кэВ.

Рис.3 и Рис.4 содержат данные относительно зависимости рентгенотока от «эффективной жесткости» и интенсивности дозы $\Delta J_{E,0}(V_y, E)$. Из этих графиков следует, что зависимости рентгенотока от интенсивности дозы «E» носят степенной характер ($\Delta J_{E,0} \sim E^\alpha$), а усредненные величины показателей степени, определяемые как тангенс угла наклона указанных зависимостей ($\alpha = \frac{\Delta \lg \Delta J_{E,0}}{\Delta \lg E}$), закономерно уменьшаются по мере

возрастания «эффективной жесткости» излучения. Причиной наблюдаемых в экспериментах зависимостей основных рентгенодозиметрических параметров $k_\sigma(V_y, E)$; $k_R(V_y, E)$ и $\alpha(V_y, E)$ может являться постепенное изменение характера рекомбинации генерированных рентгеноносителей и изменение соотношения долей поглощенного и проходящего сквозь толщины кристаллов излучения по мере возрастания их «эффективной жесткости» и интенсивности дозы.

Таблица 1.

Рентгенодозиметрические характеристики кристаллов $\text{Ag}_{1-x}\text{Tl}_x\text{InSe}_2$ ($x=0; 0,015$) при 300К

состав кристаллов	$E, \text{P/мин}$	$k_\sigma, \text{мин/П}$	$k_R(V_y, E), \text{мин/П}$	α	$V_y, \text{кэВ}$
I AgInSe_2	0,75÷2,73	0,114÷0,107	-0,105÷0,08	1,0	25
	1,75÷10,22	0,070÷0,038	-0,062÷0,027	0,68	30
	3,75÷19,74	0,052÷0,023	-0,036÷0,016	0,65	35
	7,0÷38,9	0,026÷0,0138	-0,022÷0,009	0,61	40
	10÷61,2	0,021÷0,0096	-0,017÷0,006	0,59	45
	13,5÷78	0,018÷0,0088	-0,0145÷0,005	0,58	50
II $\text{Ag}_{0,985}\text{Tl}_{0,015}\text{InSe}_2$	0,75÷2,73	0,185÷0,150	-0,163÷0,107	1,11	25
	1,75÷10,22	0,071÷0,053	-0,064÷0,034	0,69	30
	3,75÷19,74	0,067÷0,035	-0,053÷0,021	0,63	35
	7,0÷38,9	0,044÷0,022	-0,033÷0,012	0,59	40
	10÷61,2	0,035÷0,015	-0,026÷0,008	0,58	45
	13,5÷78	0,029÷0,014	-0,021÷0,007	0,57	50

Примечание : I - $V_{\text{П}}=10\text{В}$; $J_{\text{T}}=41 \cdot 10^{-10}\text{А}$; II - $V_{\text{П}}=10\text{В}$; $J_{\text{T}}=36 \cdot 10^{-10}\text{А}$.

Как следует из сопоставления рентгенодозиметрических параметров изученных кристаллов $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ (Таблица1), вследствие частичного замещения в них ионов серебра на таллий, имеет место заметное повышение коэффициентов рентгеночувствительности. Одним из достоинств данных материалов для применения их в качестве чувствительных элементов кристаллических рентгендетекторов соответствующих дозиметров может являться линейность ($\alpha \approx 1$) их рентгеноамперных характеристик в области сравнительно «мягкого» излучения.

1. Э.М.Керимова, С.Н.Мустафаева, А.Б.Магеррамов, *Неорган. Материалы*, **33** (1997) 1325.
2. Г.Д.Гусейнов, А.У.Мальсагов, Л.М.Чапанова, В.А.Алиев, *Докл. АН Азерб. ССР*, **41** (1985) 20.
3. G.D.Guseinov, V.F.Aliev, A.U.Malsagov, I.M.Chapanova, *Materials Chemistry and Physics*, **12** №3 (1985) 297.
4. S.N.Mustafaeva, M.M.Asadov, V.A.Ramazanade, *Materials of the 11-th international conference on ternary and multinary compounds*, Salford, UK, 8-12 sept., (1997) P1.71.
5. E.M.Kerimova, S.N.Mustafaeva, E.F.Bagirzade, D.A.Huseinova, *Materials of third international conference on physical problems in material science of semiconductors*, Chernivtsi, Ukraine, 7-11 sept., (1999) 279.
6. E.M.Kerimova, S.N.Mustafaeva, A.Z.Abasova, *Materials of 12-th international conference on ternary and multinary compounds*, HsinChu, Taiwan, 27 sept.-1 oct., (1999) P2-79.
7. E.M.Kerimova, G.D.Guseinov, F. Mamedov, *Tr. J. of Physics*, **21** №2 (1997) 225.

$Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ KRİSTALLARIN RENTGENKEÇİRMƏ VƏ RENTGENODOZİMETRİK XASSƏLƏRİ

E.M.KƏRİMOVA, S.N.MUSTAFAYEVA, L.A.İSMAILZADE, A.K.ZAMANOVA

$Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ kristallarının və onların gümüş atomlarının qismən tallium atomları ilə əvəz olunması nəticəsində alınmış bərk məhlullarının rentgenkeçiriciliyi və rentgenodozimetrik xarakteristikaları öyrənilmişdir.

Göstərilən əvəz etmə nəticəsində alınmış kristalların rentgen həssaslığı nəzərə cərpacaq dərəcədə artdığı göstərilir.

Müəyyən olunmuşdur ki, $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ kristalları praktiki olaraq rentgendetektorların hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

ROENTGENOCONDUCTIVITY and ROENTGENODOSIMETRIC CHARACTERISTICS of $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ CRYSTALS

E.M. KERIMOVA, S.N. MUSTAFAEVA, L.A.ISMAILZADE, A.K.ZAMANOVA

Roentgenoconductivity and roentgenodosimetric characteristics of $AgInSe_2$ crystals and ($Ag \leftrightarrow Tl$) solid solution on their base have been investigated. By investigation of $Ag \rightarrow Tl$ substitution in $AgInSe_2$ crystals it is established that coefficient of roentgenosensitivity is increased. On the base of obtained results it was shown that $Ag_{1-x}Tl_xInSe_2$ crystal can be used as roentgenodetector.

Редактор: С.Мехтиева