

О.Г. ТРУБАЄВА,¹ М.А. ЧАЙКА,² О.В. ЗЕЛЕНСЬКА¹¹ Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України
(Просп. Науки, 60, Харків; e-mail: trubaeva.olya@gmail.com)² Інститут фізики ПАН
(Ал. Льотніков, 32/46, Варшава, Польща)

ЗМІШАНІ КРИСТАЛИ ZnS_xSe_{1-x} ЯК МОЖЛИВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ДЕТЕКТОРІВ АЛЬФА ТА РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

УДК 538.958

Вивчено можливість використання матеріалу ZnS_xSe_{1-x} як детектора для рентгенівського та альфа випромінювання. Досліджено вплив вмісту сірки на властивості об'ємних кристалів ZnS_xSe_{1-x} . Об'ємні кристали ZnS_xSe_{1-x} були вирощені методом Бріджмена–Стокбаргера. Отримано шість сполук з різним вмістом компонентів: $ZnS_{0,07}Se_{0,93}$, $ZnS_{0,15}Se_{0,85}$, $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$, $ZnS_{0,28}Se_{0,72}$, $ZnS_{0,32}Se_{0,68}$, $ZnS_{0,39}Se_{0,61}$. Було виявлено, що інтенсивність спектрів рентгенолюмінесценції кристалів ZnS_xSe_{1-x} зростає зі збільшенням вмісту сірки і досягає максимуму для складу $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$. Світловий вихід змішаних кристалів ZnS_xSe_{1-x} вище, ніж у комерційних кристалів $ZnSe(Te)$ і $ZnSe(Al)$. Показані переваги змішаних кристалів на основі ZnS_xSe_{1-x} в порівнянні з кристалами $ZnSe(Te)$ і $ZnSe(Al)$.

Ключові слова: сцинтилятор, змішані кристали, ZnS_xSe_{1-x} , альфа-детектор, рентгенолюмінесценція.

1. Вступ

Твердотільні сцинтиляційні детектори, що містять сцинтиляційні кристали та кремнієві $p-i-n$ фотодіоди, широко використовуються в радіометрах, дозиметрах, спектрометрах, в технологічному обладнанні для митного контролю, контролю безпеки, медичної діагностики, моніторингу навколишнього середовища та інших [1]. В даний час для реєстрації різноманітних типів випромінювання використовуються різні сцинтиляційні детектори. Для реєстрації рентгенівського та γ випромінювання широко застосовуються кристали $ZnSe$, $ZnSe(Al)$, $ZnSe(Te)$, для виявлення альфа-випромінювання найпоширенішими сцинтиляторами є $CsI(Tl)$, $NaI(Tl)$, $ZnS(Ag)$. Однак ці кристали мають низку недоліків. Зокрема, кристали

$ZnSe$ мають низький світловий вихід, $ZnSe(Al)$ – високий коефіцієнт термогасіння [2], в кристалах $ZnSe(Te)$ – “повільна” до сотні мікросекунд, кінетика висвічування, сцинтилятори $CsI(Tl)$, $NaI(Tl)$ гігроскопічні, що вимагає додаткового захисту від вологи [3]. Недоліком кристалів на основі $ZnS(Ag)$, є те, що вони погано пропускають фотони видимого світла, і можуть використовуватися тільки у вигляді тонких шарів [4].

Перспективним сцинтилятором для детекторів альфа та рентгенівського випромінювання є ZnS_xSe_{1-x} [5–7]. Серед переваг цього матеріалу можна виділити негігроскопічність, прозорість до власної довжини хвилі, необмежену взаємну розчинність, внаслідок чого існує можливість створювати матеріал з будь-яким вмістом компонентів [8]. Також за рахунок збільшення ширини забороненої зони в ZnS_xSe_{1-x} можна значно підняти температуру гасіння [9], що відіграє важливу роль при створенні детекторів.

© О.Г. ТРУБАЄВА, М.А. ЧАЙКА,
О.В. ЗЕЛЕНСЬКА, 2018



Рис. 1. Фотографія змішаних кристалів $ZnS-xSe_{1-x}$ після полірування

Багато публікацій присвячено змішаним кристалам ZnS_xSe_{1-x} [9–12, 14–18], в більшості з них описані кристали, вирощені з парової фази, і лише кілька пов'язані з кристаллами, отриманими методом вирощування з розплаву [8–10]. Направлені методи затвердіння дозволяють створювати досить великі змішані кристали ZnS_xSe_{1-x} , що важливо для використання в ролі детекторів частинок високої енергії. На даний момент властивості ZnS_xSe_{1-x} кристалів як детекторів частинок високої енергії недостатньо вивчені, тим більше їх переваги порівняно з класичними сцинтиляторами $ZnSe$, $ZnSe(Al)$ $ZnSe(Te)$ ще не доведено.

У цій роботі досліджені сцинтиляційні і оптичні властивості об'ємних кристалів ZnS_xSe_{1-x} з урахуванням можливого застосування їх в ролі рентгенівських і альфа детекторів. Особливу увагу було приділено порівнянню властивостей ZnS_xSe_{1-x} і комерційних сцинтиляторів $ZnSe$, $ZnSe(Al)$, $ZnSe(Te)$.

2. Експериментальна частина

Було досліджено шість кристалів ZnS_xSe_{1-x} , різного складу, отриманих методом Бріджмена–Стокбаргера. Вирощування змішаних кристалів ZnS_xSe_{1-x} проводили з шихти з вихідними значеннями $x = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ і $0,3$. Перед вирощуванням шихту прожарювали для видалення кисневих домішок в атмосфері водню в кварцовому

тиглі при 1220 К протягом 5 годин. Ріст здійснювали за методом Бріджмена–Стокбаргера в графітових тиглях діаметром 25 мм під тиском інертного газу (Ar , $P = 10^7-10^9$ Па), швидкість протягання тигля через зону кристалізації була 7 мм/год, температуру нагрівача встановлювали від 1870 до 2000 К, залежно від складу вихідної шихти.

Після вирощування змішані кристали з номінальним складом $ZnS_{0,05}Se_{0,95}$, $ZnS_{0,1}Se_{0,9}$, $ZnS_{0,15}Se_{0,85}$, $ZnS_{0,2}Se_{0,8}$, $ZnS_{0,25}Se_{0,75}$ та $ZnS_{0,3}Se_{0,7}$ були розрізані перпендикулярно напрямку росту і відполіровані, отримані таблетки діаметром і товщиною 25 і 4 мм відповідно (див. рис. 1). Повністю досліджена одна таблетка кожного з шести кристалів ZnS_xSe_{1-x} . Властивості об'ємних кристалів ZnS_xSe_{1-x} порівнювали з кристаллами $ZnSe$, $ZnSe(Al)$ і $ZnSe(Te)$, отриманих в аналогічних умовах і більш докладно описаних [15, 16]. Для визначення вмісту катіонних домішок, а також фактичного складу кристала був проведений хімічний аналіз, який показав шість складів для цих кристалів: $ZnS_{0,07}Se_{0,93}$, $ZnS_{0,15}Se_{0,85}$, $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$, $ZnS_{0,28}Se_{0,72}$, $ZnS_{0,32}Se_{0,68}$, $ZnS_{0,39}Se_{0,61}$. Зразки відпалювали в парах цинку ($T = 1223$ К, $P_{Zn} = 5 \cdot 10^7$ Па, $t = 48$ год); який використовувався для остаточного утворення люмінесцентних центрів, а також для придушення безвипромінювальних релаксаційних каналів, збуджуваних носіями заряду [15, 16]. Після проведено шліфування та полірування зразків алмазним порошком. На рис. 1 зображена фотографія полірованих кристалів ZnS_xSe_{1-x} .

Спектри рентгенолюмінесценції реєстрували із застосуванням спектрофотометричного комплексу КСВУ-23. Як джерело рентгенівського випромінювання використовувався рентгенівський апарат РЕІС-І (Cu, $U = 10-45$ кеВ). Вимірювання відносного світловиходу і післясвітіння виконувалися з використанням рентгенівської трубки з вольфрамовим анодом і кремнієвим фотодіодом PD-24 Smiths Heimann AMS-1 з наступною автоматичною математичною обробкою даних.

Вимірювання технічного світлового виходу, змішаних кристалів ZnS_xSe_{1-x} спектрометричним методом проводилися з використанням джерел γ -квантів, таких як ^{137}Cs ($E\gamma = 662$ кеВ), ^{241}Am ($E\gamma = 59,5$ кеВ) і джерелом альфа частинок ^{239}Pu ($E\alpha = 5156$ кеВ) при робочій температурі 294 К. Як фотоприймач ми використовували фотопомно-

жувач (PMT) типу R1307. ГОСТ 17038.2-79 використовувався в ролі стандартного [2].

3. Результати та їх обговорення

Змішані кристали ZnS_xSe_{1-x} були отримані методом Бріджмена–Стокбаргера, таких складів: $ZnS_{0,07}Se_{0,93}$, $ZnS_{0,15}Se_{0,85}$, $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$, $ZnS_{0,28}Se_{0,72}$, $ZnS_{0,32}Se_{0,68}$, $ZnS_{0,39}Se_{0,61}$. Для порівняння використовувалися кристали $ZnSe(Te)$ і $ZnSe(Al)$, отримані в аналогічних умовах.

Оптичні дослідження проводилися при кімнатній температурі для зразків ZnS_xSe_{1-x} з різним вмістом компонентів. Спектри пропускання об'ємних кристалів ZnS_xSe_{1-x} показані на рис. 2. Пропускання змішаних кристалів ZnS_xSe_{1-x} знаходиться в діапазоні від 61% до 67% для $ZnS_{0,07}Se_{0,93}$ і $ZnS_{0,39}Se_{0,61}$ відповідно при $\lambda = 1100$ нм. Це вказує на високу оптичну якість кристалів.

Генерація світла в кристалах ZnS_xSe_{1-x} при перетворенні енергії рентгенівських або γ -квантів відбувається на структурі дефектів. Ці дефекти можна ідентифікувати за допомогою рентгенолюмінесценції. Нормалізовані спектри рентгенолюмінесценції кристалів ZnS_xSe_{1-x} з різним співвідношенням компонентів показані на рис. 3. У змішаних кристалах ZnS_xSe_{1-x} спостерігається широка смуга з максимумом 584 до 591 нм (рис. 3). Збільшення концентрації сірки приводить до зсуву максимуму смуги люмінесценції в короткохвильову область, це пов'язано зі збільшенням ширини забороненої зони при збільшенні концентрації сірки [13].

Положення смуги рентгенолюмінесценції кристалів $ZnSe(Al)$, збігається з ZnS_xSe_{1-x} і відповідає світінню потрійного комплексу $V_{Zn}Zn_iO_{Se}$, отже, механізм радіаційних переходів цих кристалів ідентичний [18–20]. Нормалізована інтенсивність рентгенолюмінесценції зростає зі збільшенням концентрації сірки і досягає максимуму для складу $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$ за рахунок утворення в цих кристалах оптимальної кількості потрійних комплексів $V_{Zn}Zn_iO_{Se}$ (вставка на рис. 3). Подальше збільшення вмісту сірки призводить до зниження інтенсивності рентгенолюмінесценції, через збільшення дефектності в об'ємних кристалах ZnS_xSe_{1-x} .

Світловихід є однією з важливих характеристик сцинтилятора, яка визначає його якість як детектора. Для отримання більш точних результа-

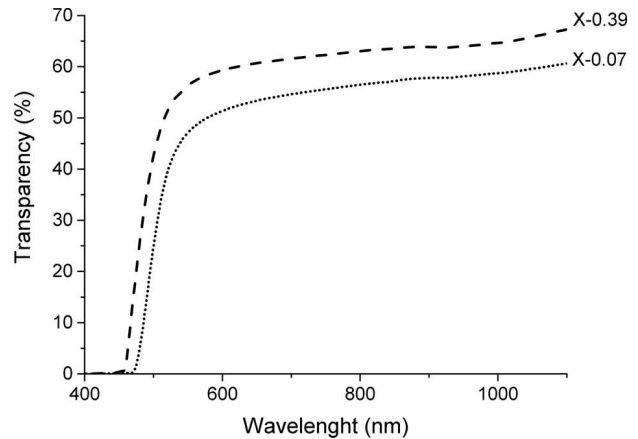


Рис. 2. Прозорість кристалів ZnS_xSe_{1-x}

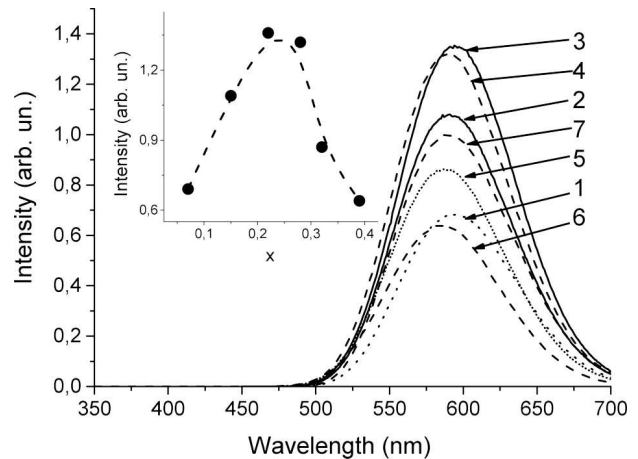


Рис. 3. Нормалізовані спектри рентгенолюмінесценції для об'ємних кристалів ZnS_xSe_{1-x} після відпаду в парах Zn зразків: 1 – $ZnS_{0,07}Se_{0,93}$, 2 – $ZnS_{0,15}Se_{0,85}$, 3 – $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$, 4 – $ZnS_{0,28}Se_{0,72}$, 5 – $ZnS_{0,32}Se_{0,68}$, 6 – $ZnS_{0,39}Se_{0,61}$ 7 – $ZnSe(Al)$. На вставці показана залежність інтенсивності смуги люмінесценції від складу для об'ємних кристалів ZnS_xSe_{1-x}

тів світловихід змішаних кристалів був вимірний ZnS_xSe_{1-x} двома методами: при збудженні рентгенівським випромінюванням і спектрометричним методом. Світловий вихід об'ємних кристалів ZnS_xSe_{1-x} , при збудженні рентгенівським випромінюванням, знаходився на рівні $ZnSe(Te)$ і вище. Світловихід зразка $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$ був в 1,6 рази вище, ніж світловий вихід еталонного кристала $ZnSe(Te)$ (див. табл. 1).

Післясвітіння визначає не тільки інерційність сцинтилятора, а і динамічний діапазон записа-

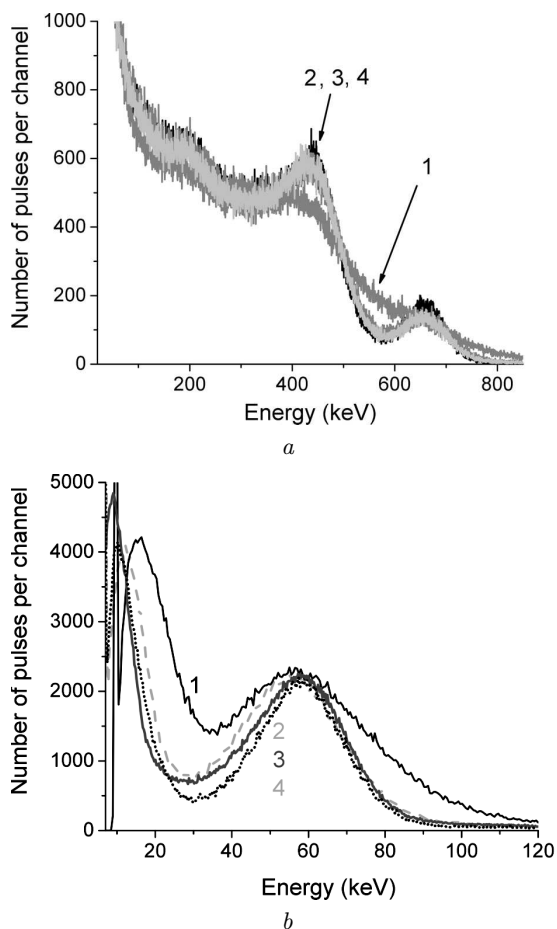


Рис. 4. Амплітудні спектри кристалів: 1 – $ZnS_{0,15}Se_{0,85}$, 2 – $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$, 3 – $ZnS_{0,39}Se_{0,61}$ і 4 – $ZnSe(Al)$ для γ -променів, отриманих з використанням: а – ^{137}Cs і б – ^{241}Am джерел

Таблиця 1. Дані для вимірювання світлового виходу змішаних кристалів ZnS_xSe_{1-x} при збудженні рентгенівським випромінюванням

№ Зразка	Відносний світловихід, %	Післясвітіння, %		
		5 мс	15 мс	25 мс
$ZnS_{0,07}Se_{0,93}$	98	0,24	<0,02	<0,02
$ZnS_{0,15}Se_{0,85}$	84	0,15	<0,02	<0,02
$ZnS_{0,22}Se_{0,78}$	159	0,40	<0,02	<0,02
$ZnS_{0,28}Se_{0,72}$	122	0,54	<0,02	<0,02
$ZnS_{0,32}Se_{0,68}$	103	0,37	<0,02	<0,02
$ZnS_{0,39}Se_{0,61}$	136	0,46	0,07	<0,02
$ZnSe(Te)$	100	0,30	0,17	<0,02
$ZnSe(Al)$	95	0,40	<0,02	<0,02
ZnS	75	58,04	39,74	31,77

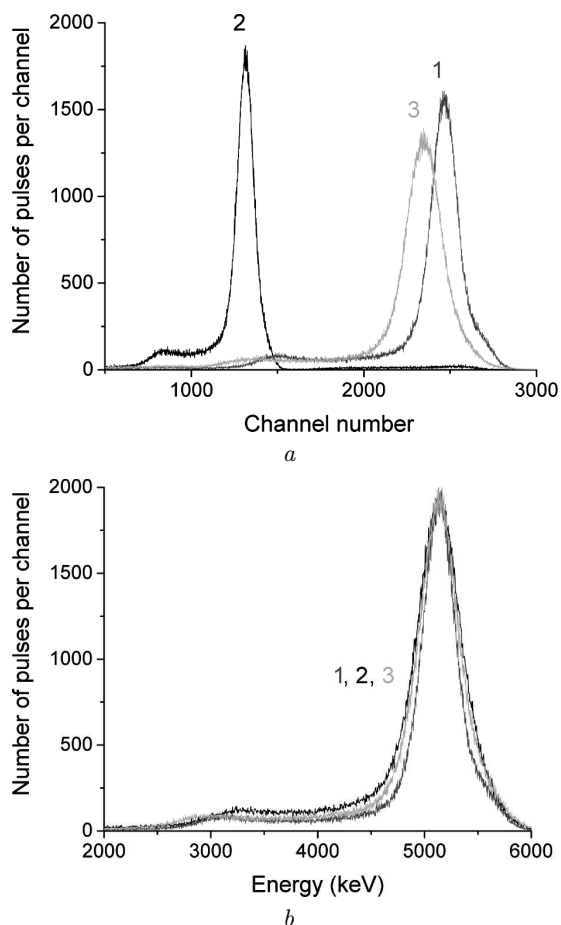


Рис. 5. Амплітудні спектри кристалів: 1 – $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$, 2 – $ZnSe(Te)$ і 3 – $ZnSe(Al)$ для α -променів, отриманих з використанням ^{239}Pu джерела (б – енергетичний спектр)

них сигналів. Післясвітіння змішаних кристалів ZnS_xSe_{1-x} становило близько 0.02% через 15 мс, за винятком зразка $ZnS_{0,39}Se_{0,61}$, і було досить коротким у порівнянні з відомими люмінесцентними матеріалами, такими як ZnS , $CsI(Tl)$, $Lu_2SiO_5 : Ce$ [21–23] (див. табл. 1).

Вимірювання світлового виходу для полірованих, відпалених у цинку кристалів $ZnSe(Al)$ і ZnS_xSe_{1-x} проводилося спектрометричним методом, з джерелами ^{241}Am і ^{137}Cs . У кристалах $ZnS_{0,22}Se_{0,78}$ після збудження ^{137}Cs та ^{241}Am спостерігається задовільне розділення (рис. 4, а, б), що підтверджує високу ефективність реєстрації даними сцинтиляторами низькоенергетичних квантів.

Таблиця 2. Дані по вимірюванню світловиходу змішаних кристалів ZnS_xSe_{1-x} в спектрометричному режимі

Сцинтилятор	$^{137}Cs - E_g = 662 \text{ кеВ}$		$^{241}Am - E_g = 59,5 \text{ кеВ}$	
	$V_{max}, \text{ кеВ}$	$I_1/I_2, \%$	$V_{max}, \text{ кеВ}$	$I_1/I_2, \%$
ZnSe(Al)	649	100,0	47	100,0
ZnS _{0,15} Se _{0,85}	443	68,3	33	70,7
ZnS _{0,22} Se _{0,78}	756	116,6	61	129,9
ZnS _{0,39} Se _{0,61}	606	93,4	46	98,8

Світловихід зразків ZnS_{0,22}Se_{0,78} становив 116,6% при вимірах з ^{137}Cs та 130% при вимірах з ^{241}Am відносно ZnSe(Al) (табл. 2). Для змішаних кристалів ZnS_{0,15}Se_{0,85} і ZnS_{0,39}Se_{0,61} (табл. 2) спостерігається погіршення спектрометричних параметрів щодо зразка ZnS_{0,22}Se_{0,78}, аналогічно даним по вимірюванню світловиходу цих зразків при збудженні рентгеном (див. табл. 1).

Для проведення досліджень властивостей ZnS_xSe_{1-x} кристалів у ролі альфа детекторів, з кристала ZnS_{0,22}Se_{0,78} відпаленого в Zn було вирізано зразок $10 \times 10 \times 2$ мм. Для порівняння використовувалися відпалені в Zn кристали ZnSe(Al) і ZnSe(Te) тих самих розмірів. Дослідження світловиходу тонких зразків кристалів ZnSe(Al), ZnSe(Te) і ZnS_xSe_{1-x} проводилося спектрометричним методом, з джерелом альфа частинок ^{239}Pu .

Енергетичне положення піків (рис. 5, а) свідчить про більший світловихід змішаних кристалів ZnS_{0,22}Se_{0,78} щодо кристала ZnSe(Al) і ZnSe(Te). Для кристалів ZnS_{0,22}Se_{0,78} спостерігається також задовільне розділення (рис. 5, б) для енергії 5156 кеВ, що підтверджує високу ефективність реєстрації даними сцинтиляторами альфа частинок.

4. Висновки

Об'ємні кристали ZnS_xSe_{1-x} були вирощені методом Бріджмена–Стокбаргера в діапазоні від $x = 0,07 - 0,39$. Вирощені кристали мали хорошу прозорість, коефіцієнт пропускання на довжині хвилі $\lambda = 1100$ нм вище 61%. Показано, що сцинтиляційні властивості кристалів ZnS_xSe_{1-x} залежать від вмісту сірки, залежність інтенсивності рентгенолюмінесценції від концентрації сірки немонотонна і досягає максимуму для складу ZnS_{0,22}Se_{0,78}.

Ці дослідження показали, що об'ємні кристали ZnS_xSe_{1-x} можна використовувати в ролі високоефективних рентгенівських і гамма детекторів. Перші дослідження показали перспективність використання змішаних кристалів у ролі альфа-детекторів, кристали ZnS_{0,22}Se_{0,78} мали кращий світловихід і енергетичне розділення при вимірах з ^{239}Pu .

Колектив авторів висловлює подяку канд. техн. наук, ст. наук. співр. Галкіну Сергію Миколайовичу за допомогу в обговоренні результатів.

1. L.V. Atroshenko, L.P. Galchinskii, S.N. Galkin *et al.* Distribution of tellurium in melt-grown ZnSe(Te) crystals. *J. Cryst. Growth* **197**, 471 (1999).
2. N.G. Starzhinskiy, B.V. Grinyov, L.P. Galchinskii *et al.* *The Scintillators Based Compounds AIBVI. Preparation, Properties and Features of the Application* (Institute for Single Crystal, 2007).
3. A. Wagner, W.P. Tan, K. Chalut *et al.* Energy resolution and energy–light response of CsI(Tl) scintillators for charged particle detection. *J. Cryst. Growth* **456** (3), 290 (2001).
4. S. Usuda. Development of ZnS (Ag)/NE102A and ZnS (Ag)/Stilbene phoswich detectors for simultaneous α and $\beta(\gamma)$ counting. *J. Nucl. Sci. Tech.* **29** (9), 927 (1992).
5. T. Homann, U. Hotje, M. Binnewies *et al.* Composition-dependent band gap in ZnS_xSe_{1-x} : A combined experimental and theoretical study. *Solid State Sci.* **81**, 44 (2006).
6. A.I. Focsha, P.A. Gashin, V.D. Ryzhikov *et al.* Preparation and properties of an integrated system “photosensitive heterostructure–semiconductor scintillator” on the basis of compounds AIBVI. *Intern. J. Inorg. Mat.* **38**, 1223 (2001).
7. M. Emam-Ismael, M. El-Hagary, E. Ramadan *et al.* Influence of γ -irradiation on optical parameters of electron beam evaporated $ZnSe_{1-x}Te_x$ nanocrystalline thin films. *Radiat Eff. Defects Solids* **169** (1), 61 (2014).
8. R.H. Hussein, O. Pags, S. Doyen-Schuler *et al.* Percolation-type multi-phonon pattern of Zn(Se, S): Backward/forward Raman scattering and ab initio calculations. *J. Cryst. Growth* **644**, 704 (2015).
9. R. Hajj Hussein, O. Pags, F. Firszt *et al.* Near-forward Raman study of a phonon-polariton reinforcement regime in the Zn(Se, S) alloy. *J. Appl. Phys.* **116** (8), 083511 (2014).
10. R.H. Hussein, O. Pags, A. Polian *et al.* Pressure-induced phonon freezing in the ZnSeS II–VI mixed crystal: phonon–polaritons and ab initio calculations. *J. Phys.: Cond. Mat.* **28** (20), 205401 (2016).
11. K. Mochizuki, M. Takakusaki. Growth of in-doped ZnS_xSe_{1-x} single crystals and their photoluminescence. *Phys. Status Solidi A* **94** (1), 243 (1986).

12. M.E. Ozsan, J. Woods. Green electroluminescence in crystals of $\text{ZnS}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$. *J. Appl. Phys. Let.* **25**, 489 (1974).
13. S. Larach, R.E. Shrader, C.F. Stocker. Anomalous variation of band gap with composition in zinc sulfo- and selenotellurides. *Phys. Rev.* **108** (3), 587 (1957).
14. S. Fujita. Growth of cubic ZnS , ZnSe and $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ single crystals by iodine transport. *J. Cryst. Growth.* **33** (10), 324 (1976).
15. N.B. Su Ching-Hua, A. Bradley, C. Fow-Sen. Optical and morphological characteristics of zinc selenide-zinc sulfide solid solution crystals. *Opt. Mat.* **60**, 474 (2016).
16. E.L. Trukhanova, V.I. Levchenko, L.I. Postnova. Crystal growth of $\text{ZnSe}_{1-x}\text{S}_x$ solid solutions at the lowest possible vapor pressure. *J. Appl. Phys.* **40** (1), 083511 (2014).
17. A. Catano, Z.K. Kun. Growth and characterization of ZnSe and homogeneous $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ crystals. *J. Cryst. Growth* **47** (9), 647 (1979).
18. Y. Shirakawa, H. Kukimoto. The electron trap associated with an anion vacancy in ZnSe and $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$. *Solid State Com.* **34**, 359 (1980).
19. G.D. Watkins. *Radiation Effects in Semiconductors* (Gordon and Breach, 1971).
20. V.D. Ryzhikov, N.G. Starzhinskiy, L.P. Gal'chinetskii *et al.* The role of oxygen in formation of radiative recombination centers in $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$ crystals. *Intern. J. Inorg. Mat.* **116** (8), 083511 (2014).
21. N.N. Berchenko, V.E. Krevs, V.G. Sredin. *Semiconductor Solid Solutions and Their Application* (Voениздат, 1982) (in Russian).
22. A.M. Gurvich. *Introduction to Physical Chemistry of Crystal Phosphors* (Vysshaya Shkola, 1982) (in Russian).
23. U. Kilgus, R. Kotthaus, E. Lange. Prospects of CsI (Tl)-photodiode detectors for low-level spectroscopy. *Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res.* **297** (3), 425 (1990).

Одержано 25.01.18

O.G. Trubaieva, M.A. Chaika, O.V. Zelenskaya

MIXED $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$
CRYSTALS AS A POSSIBLE MATERIAL
FOR ALPHA-PARTICLE AND X-RAY DETECTORS

S u m m a r y

A possibility to use $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ as a material for the detection of X-rays and alpha particles has been studied. The influence of the sulfur content on the properties of bulk $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ crystals is analyzed. Six specimens with different component contents were grown, by using the Bridgman–Stockbarger method: $\text{ZnS}_{0.07}\text{Se}_{0.93}$, $\text{ZnS}_{0.15}\text{Se}_{0.85}$, $\text{ZnS}_{0.22}\text{Se}_{0.78}$, $\text{ZnS}_{0.28}\text{Se}_{0.72}$, $\text{ZnS}_{0.32}\text{Se}_{0.68}$, and $\text{ZnS}_{0.39}\text{Se}_{0.61}$. The intensity of X-ray luminescence spectra of $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ crystals is found to increase with the sulfur content and reaches a maximum for the composition $\text{ZnS}_{0.22}\text{Se}_{0.78}$. The luminescence light yield of mixed $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ crystals is higher than that of commercial $\text{ZnSe}(\text{Te})$ and $\text{ZnSe}(\text{Al})$ crystals. The advantages of mixed crystals based on $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ over the $\text{ZnS}(\text{Te})$ and $\text{ZnSe}(\text{Al})$ crystals have been discussed.