

# ВИКОРИСТАННЯ СЦИНТИЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ СЕЛЕНІДУ ЦИНКУ В КОМБІНОВАНИХ ДЕТЕКТОРАХ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ЗМІШАНИХ ПОТОКІВ ВИПРОМІНЮВАНЬ

**В.Рижиков, Н.Старжинський, К.Катрунов,  
В.Тарасов, О.Вягін, О.Зеленська**

Інститут сцинтиляційних матеріалів НТК «Інститут монокристалів» НАН України,  
просп. Леніна, 60, Харків, 61001.  
e-mail:viagin@isma.kharkov.ua

Досліджено можливість використання сцинтиляторів на основі кристалів селеніду цинку з ізовалентними домішками (Te, O, Cd) у поєднанні з CsI(Tl) та Si-фотодіодом, у комбінованих детекторах (КД) для роздільної реєстрації заряджених часток ( $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінювання) і  $\gamma$ -квантів. Показано, що виділення сигналів сцинтиляторів можна здійснювати як вибором амплітудно-часових параметрів спектрометричного тракту, так і селективним оптичним ослабленням. Розглянуто перспективу використання типів КД, що досліджувались, як елементів координатно-чутливих детекторів.

## Вступ

Комбіновані детектори (КД), що застосовуються зараз для реєстрації змішаних потоків іонізуючих випромінювань, складаються звичайно з кількох сцинтиляторів, що мають різну чутливість до заряджених часток і гамма-квантів. Такими, наприклад, є детектори типу «фосвич». Критеріями вибору сцинтиляторів, що входять до складу таких КД, є різниця у часі висвітлення, високий світловий вихід, ефективний атомний номер, енерге-

тичне розділення та ефективність реєстрації конкретного виду іонізуючого випромінювання.

Кристали селеніду цинку з ізовалентними домішками ZnSe(ІВД), де ІВД=Te, O, Cd, відомі як високоефективні сцинтилятори детекторів низькоенергетичного рентгенівського випромінювання в інтроскопічній апаратурі. Сцинтилятори мають високий абсолютний світловий вихід (до 70 000 фотон/МеВ), радіаційно стійкі, добре спектрально узгоджені з фотодіодом та негігроскопічні (Табл. 1) [1, 2].

Таблиця 1. Основні характеристики сцинтиляторів ZnSe(ІВД) і CsI(Tl)

Характеристика	Кристал			
	CsI(Tl)	ZnSe(Te)	ZnSe(O)	ZnSe(Cd)
Щільність, г/см <sup>3</sup>	4,51	5,42	5,42	5,42
Ефективний атомний номер	54	33	33	33
Макимум люмінесценції, нм	550	640	600	620
Коефіцієнт спектрального узгодження з ФД	0,74	0,92	0,89	0,90
Коефіцієнт заломлення	1,75	2,59	2,61	2,61
Абсолютний світловий вихід, фотон/МеВ	5,5·10 <sup>4</sup>	до 7·10 <sup>4</sup>	до 5·10 <sup>4</sup>	до 4·10 <sup>4</sup>

У роботах [3, 4] було показано, що сцинтилятори на основі селеніду цинку можуть застосовуватися для реєстрації короткопробіжних часток. Тому метою даної роботи було дослідження можливості застосування цих сцинтиляторів як детекторів  $\alpha$ - і  $\beta$ -випромінювань у комбінованих детекторах. Для реєстрації гамма-випромінювання було обрано сцинтилятор CsI(Tl) завдяки високому ефективному атомному номеру, а також прозорості у діапазоні висвітлення сцинтиляторів ZnSe(ІВД).

### Експеримент

Для визначення оптимальних форм і розмірів сцинтиляційних елементів комбінованого детектора за допомогою математичного моделювання методом Монте-Карло було проведено розрахунки оптимізації світлозбирання й ефективності реєстрації іонізуючого випромінювання досліджуваними кристалами.

У результаті детектор було зроблено у вигляді зрізаної чотиригранної піраміди з CsI(Tl) висотою 40 мм і вхідним вікном

$5 \times 5 \text{ мм}^2$ , на яке поміщувалися зразки кристалів ZnSe(ІВД) розміром  $5 \times 5 \times 0,3 \text{ мм}^3$  та  $5 \times 5 \times 0,8 \text{ мм}^3$ . Площа нижньої основи піраміди ( $S = 1 \text{ см}^2$ ) дорівнює площі вхідного вікна кремнієвого фотодіода.

Вимірювання характеристик комбінованого детектора проводилося на стандартному спектрометричному тракті, що складається з фотоелектронного помножувача типу ФЭУ-183, зарядочутливого підсилювача (ЗП), лінійного підсилювача зі змінними колами інтегрування сигналу та багатоканального аналізатора імпульсів АМА-03Ф. Час інтегрування сигналу був у діапазоні  $0,8 \div 12,8$  мкс. Джерелами  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -випромінювання були радіонукліди  $^{238}\text{Pu}$  ( $E_\alpha = 5,5 \text{ MeV}$ ) і  $^{137}\text{Cs}$  ( $E_{\text{KE}} = 0,624 \text{ MeV}$ ,  $E_\gamma = 0,662 \text{ MeV}$ ).

### Результати та обговорення

У табл. 2 наведено основні експериментальні й розрахункові результати стосовно спектрометричних характеристик ZnSe(ІВД) і комбінованого детектора ZnSe(ІВД) + CsI(Tl).

Таблиця 2. Спектрометричні параметри сцинтилятора ZnSe(ІВД) та комбінованого детектора ZnSe(ІВД) + CsI(Tl)

Тип детектора	Енергетичне розділення, %			Коефіцієнт світло збирання		Ефективність реєстрації по $\gamma$ -лінії $^{137}\text{Cs}$ (0,662 MeV), $\epsilon_\gamma$ , %		$\alpha/\gamma$
	$R_\alpha$	$R_{\text{KE}}$	$R_\gamma$	$\tau_\alpha$	$\tau_\gamma$	розрахунок	експеримент	
ZnSe(ІВД)	5,5–6,2	12,3–13,2	15,7–17,8	0,49	0,48	1,7	1,5	0,6–1,0
КД	6,2–7,7	13,0–14,2	7,1–8,0	0,19	0,25	23	19,7	0,12–0,35

З таблиці видно, що кристали ZnSe (ІВД) у складі КД мають задовільне енергетичне розділення, а використання піраміди з CsI(Tl) як світловода мало впливає на спектрометричні характеристики сцинтиляторів на основі селеніду цинку. Роз-

біжність між розрахунковими та експериментальними значеннями ефективності реєстрації гамма-випромінювання КД не перевищує 10%.

У полях змішаних випромінювань до фотоприймача КД надходить сумарний

сигнал від обох сцинтиляторів. У цьому випадку можливе накладення на шкалі аналізатора піків сцинтиляторів, що окремо реєструють заряджені частки й гамма-кванти.

У випадку одночасної реєстрації  $\alpha$ - і  $\gamma$ -випромінювання важливим параметром КД, що визначає можливість спектрометричного відокремлення сигналів сцинтиляторів, є альфа-гамма ( $\alpha/\gamma$ )-відношення. Воно являє собою відношення амплітуд імпульсів, що припадають на одиницю втрати енергії від альфа-частинок і гамма-квантів [5]:

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{V_{\alpha}}{E_{\alpha}} : \frac{V_{\gamma}}{E_{\gamma}}, \quad (1)$$

де  $V_{\alpha}$  і  $V_{\gamma}$  — амплітуди сигналів від сцинтиляторів (у каналах) при опроміненні відповідно альфа-частками й гамма-квантами. Таким чином, чим вище значення  $\alpha/\gamma$ , тим краще розділені піки.

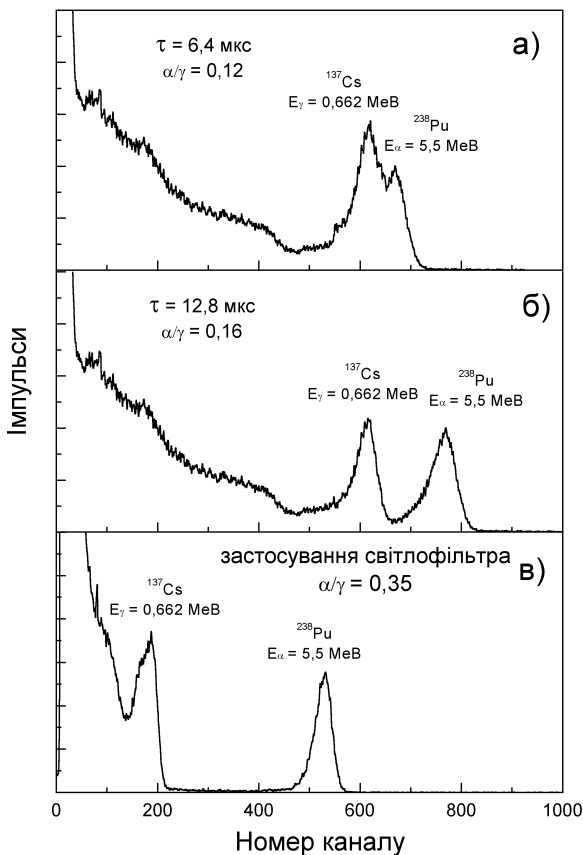


Рис. 1. Спектри амплітудного розподілу імпульсів КД при збудженні радіонуклідами  $^{238}\text{Pu}$  і  $^{137}\text{Cs}$ .

Істотна різниця у тривалості загасання люмінесценції сцинтиляторів CsI(Tl) і ZnSe(ІВД) (відповідно 1 мкс та понад 10 мкс) дозволяє змінювати альфа-гамма-відношення КД шляхом вибору часу інтегрування сигналу.

З рис. 1, а видно, що піки поглинання  $\alpha$ -часток і  $\gamma$ -квантів сцинтиляторами ZnSe(O) і CsI(Tl) перекриваються при часі інтегрування 6,4 мкс,  $\alpha/\gamma$ -відношення при цьому дорівнює 0,12. Збільшення сталої інтегрування  $\tau$  до 12,8 мкс розділяє піки,  $\alpha/\gamma = 0,16$  (рис. 1, б).

Також  $\alpha/\gamma$ -відношення можна змінювати шляхом селективного оптичного ослаблення, застосовуючи світлофільтр, що непропорційно змінює світловихід сцинтиляторів (рис. 1, в).

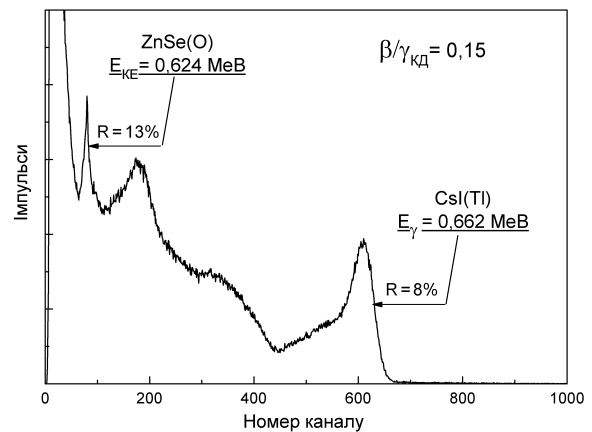


Рис.2. Спектри амплітудного розподілу імпульсів КД при збудженні  $^{137}\text{Cs}$ .

Спектрометричне відокремлення сигналів, що відносяться до різних видів випромінювань, можливе і при реєстрації бета-випромінювання (електронів) на фоні гамма-випромінювання. На рис. 2 наведено спектр амплітудного розподілу імпульсів, отриманого при опроміненні КД електронами внутрішньої конверсії з енергією 0,624 МеВ та гамма-випромінювання від радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$ . У цьому випадку відстань між піками буде характеризуватися  $\beta/\gamma$ -відношенням, яке при використанні в КД сцинтилятора ZnSe(O) і часі інтегрування сигналу  $\tau = 12,8$  мкс становить 0,15.

### Висновки

Досліджено спектрометричні характеристики комбінованого детектора для реєстрації змішаних потоків іонізуючих випромінювань. З урахуванням коефіцієнта світлозбирання та ефективності реєстрації гамма-випромінювання обрано форму й розмір елементів КД. Показано можливість застосування у КД сцинтиляторів на основі селеніду цинку для детектування заряджених часток.

Запропонований варіант КД дозволяє проводити виділення характерних ліній іонізуючого випромінювання різної природи (з різною щільністю іонізації) без використання спеціальних схем відокремлення сигналів за формою імпульсу. Таке виділення може досягатися спектрометрично при підборі часу формування імпульсів або при використанні оптичного фільтра.

Можливе використання кремнієвого фотодіода як фотоприймача збільшить альфа-гамма-відношення комбінованого детектора, тому що коефіцієнт спектрального узгодження сцинтиляторів ZnSe (ІВД) із ФД сягає 0,92. За оцінками, для енергій  $E_\alpha = 5,5$  МеВ і  $E_\gamma = 0,662$  МеВ при часі інтегрування сигналу  $\tau = 12,8$  мкс  $\alpha/\gamma$ -відношення КД становитиме  $\sim 0,5-0,6$ .

Варіювання розміру, форми, а також матеріалу елементів КД відповідно до поставлених завдань дозволяє окремо детектувати різні типи іонізуючих випромінювань.

Комбіновані детектори розглянутої конструкції можуть використовуватись як елементи координатно чутливих детекторів, що реєструють іонізуюче випромінювання в 4 $\pi$ -геометрії.

### Література

1. В.Д.Рыжиков, Н.Г.Старжинский, Л.П.Гальчинецкий и др, Кристаллы сцинтиляторов и детекторы ионизирующих излучений на их основе (Наукова думка, Киев, 1998).
2. V.Ryzhikov, N.Starzhinskiy, L.Galchinetzkyi, K.Katrunov, Functional Materials 9, 135 (2002).
3. V.Ryzhikov, L.Galchinetzkyi, N.Starzhinskiy, E.Danshin, K. Katrunov V.Chernikov, Вопросы атомной науки и техники 81, 138 (2001).
4. В.Д.Рыжиков, Н.Г.Старжинский, К.А.Катрунов, В.В.Черников, В.А.Тарасов, О.В.Зеленская, О.Г.Вягин, И.М.Зеня, Новые технологии №1-2, 64 (2004).
5. Принципы и методы регистрации элементарных частиц. Под редакцией Ву Цзянь-сюн и Люк К.Юан, (Издательство иностранной литературы, Москва, 1963).

## **USING ZINC SELENIDE-BASED SCINTILLATORS IN COMBINED DETECTORS FOR REGISTRATION OF MIXED FLUXES OF RADIATION**

**V.Ryzhikov, N.Starzhinsky, K.Katrunov, V.Tarasov,  
O.Vyagin, O.Zelenskaya**

Institute for Scintillation Materials, ST Complex "Institute for Single Crystals",  
Ukr. Nat. Acad. Sci., Lenin Ave. 60, Kharkiv, 61001  
e-mail:viagin@isma.kharkov.ua

The possibility for using zinc selenide-based scintillators with isovalent dopants (IVD=Te,O,Cd) coupled with CsI(Tl) and Si photodiode in combined detectors for separate registration of charged particles ( $\alpha$ -,  $\beta$ - radiation) and  $\gamma$ -quanta is studied. It is shown that separation of signals from different scintillators can be carried out both by the choice of amplitude-time parameters of the spectrometric tract and selective optical attenuation. Promising applications of the types of combined detectors under study as composite elements of coordinate-sensitive detectors are considered.