

КОМПОЗИЦИОННЫЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПАРАТЕРФЕНИЛА

А. С. Раевский, Л. А. Андрущенко, Л. С. Гордиенко, Б. В. Гринев, В. А. Тарасов

НТК «Институт монокристаллов», Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, Харьков, Украина

Представлены результаты исследования свойств органических поликристаллических сцинтилляторов, изготовленных различными способами. Получены образцы диаметром от 40 до 120 мм и толщиной от 1 до 14 мм. Исследовано влияние материала матрицы, способов механической и термической обработки кристаллического порошка на характеристики сцинтиллирующих элементов при регистрации быстрых нейтронов, β - и γ -излучений. Выбраны необходимые параметры гетерогенных детектирующих систем большой площади для регистрации различных видов излучений.

1. Введение

Активированные монокристаллы паратерфенила являются наиболее эффективными сцинтилляторами для регистрации и спектрометрии β -излучений. Усложнение геометрии и увеличение размеров детекторов в современных приборах предъявляют к сцинтилляторам все более высокие требования. В связи с тем, что получение органических монокристаллов (о.м.) большой площади является трудной задачей, были разработаны технологические приемы получения сцинтиллирующих элементов диаметром до 200 мм путем равномерного диспергирования кристаллического порошка активированного паратерфенила в прозрачной кремнийорганической композиции [1 - 2] и путем горячего прессования кристаллических порошков паратерфенила [3 - 4].

Большое содержание атомов водорода в композиционных сцинтилляционных системах на основе кристаллов активированного паратерфенила обуславливает перспективность их применения и для регистрации нейтронного излучения в присутствии гамма-фона.

Целью настоящей работы является обобщение и развитие исследований, направленных на улучшение характеристик сцинтилляционных систем на основе кристаллов активированного паратерфенила при регистрации быстрых нейтронов, β - и γ -излучений.

2. Объекты исследования и описание эксперимента

В качестве объектов исследования использовались сцинтилляционные элементы размерами $\varnothing 40 \times 3$ мм, $\varnothing 40 \times 8$ мм, $\varnothing 40 \times 10$ мм, $\varnothing 40 \times 14$ мм, $\varnothing 80 \times 5$ мм, $\varnothing 80 \times 10$ мм, $\varnothing 125 \times 10$ мм, $\varnothing 160 \times 3$ мм, полученные [5, 6]:

1. прессованием кристаллических зерен активированного паратерфенила в виде пластинок, полученных путем кристаллизации из органического растворителя;

2. диспергированием кристаллического порошка активированного паратерфенила в кремнийорганическую и эпоксидную матрицы.

В качестве кремнийорганической матрицы использовались композиции на основе олигометилвинилсилоксана и олигометилгидридсилоксана, вулканизуемые по реакции полиприсоединения. Кремнийорганические композиции имели показатель преломления 1,405 и 1,46, а их светопропускание, при толщине слоя 10 мм, в диапазоне длин волн 420 - 1000 нм составляло не менее 98 %. В качестве эпоксидной матрицы использовался оптический клей УП-4-260, имеющий показатель преломлений 1,52 и светопропускание при толщине клеевого слоя 25 мкм, в интервале длин волн 450 - 950 нм, - 98 %. В качестве сцинтилляционного порошка использовались кристаллы паратерфенила с линейными размерами 1 - 2 мм, которые отжигались в олигометилсилоксановом олигомере вязкостью $3 \text{ мм}^2/\text{с}$ в течение 3,5 ч при температуре 110 °С. Указанный режим обработки, как показано в [3], позволяет улучшить оптические свойства поверхности кристаллического порошка и, тем самым, улучшить характеристики композиционных сцинтилляторов. В качестве светоотражающего элемента для входного окна использовались: полиэтилентерефталатная алюминизированная пленка и пленки Tetratex. Образцы различного диаметра и толщины наносились на подложку из оптического стекла.

Для проведения исследований амплитудных спектров импульсов образцов использовалась установка, состоящая из анализатора импульсов АМА-03-Ф, высоковольтного источника питания БНВЗ-05 и усилителей формирователей БУС-2-94 и БУС-2-95. В эксперименте в качестве источников иони-

зирующего излучения применялись Pu-Be источник нейтронов и точечный источник ^{137}Cs . В качестве приемника света использовался фотоумножитель Photonis XP 3540/B. Оценка светового выхода проводилась в соответствии с ГОСТ17038.0-79 – ГОСТ17038.7-79. Погрешность определения положения пика в амплитудном спектре составляла -2 %...+3 %. Для сравнения сцинтилляционных параметров образцов использовался о. м. п-терфенила размером $\varnothing 40 \times 14$.

Проводились исследования разделяющей способности сцинтилляторов по форме их импульса. При этом использовался метод отдельной регистрации частиц, основанный на непосредственном сравнении зарядов в медленном и быстром компонентах сцинтилляционного импульса, взятых с различными статистическими весами.

Разделяющая способность сцинтиллятора, измеренная дискриминационным методом, характеризуется коэффициентом

$$K_n = \frac{\theta_n}{\theta_\gamma}, \quad (1)$$

где $\theta_{n(\gamma)}$ – число импульсов, формируемых на нейтронном (γ) выходе схемы (исключая шумы и ложные срабатывания), нормированных на поток нейтронов (фотонов γ -излучения) для конкретного радиоактивного источника.

В наших измерениях использовались радионуклидный источник Pu-Be. Этот источник является одновременно источниками фотонов γ -излучения и быстрых нейтронов. Для Pu-Be источника пропорция между фотонами γ -излучения и быстрыми нейтронами равняется 3. Эти параметры источников учитывались в расчетах по формуле (1).

3. Результаты исследований

Результаты исследований влияния различных способов изготовления сцинтилляционных элементов на основе активированного паратерфенила размерами $\varnothing 40 \times 3$ мм на их световой выход при возбуждении конверсионными электронами ^{137}Cs (624 кэВ) приведены в табл. 1. Как видно из приведенной таблицы, максимальный световой выход имеют органические поликристаллические сцинтилляторы (о.п.с.), полученные горячим прессованием, а минимальный - на основе эпоксидного клея, что обусловлено их более низким светопропусканием по сравнению с кремнийорганическими композициями.

Таблица 1. Сцинтилляционные характеристики композиционных сцинтилляторов на основе кристаллов активированного паратерфенила размерами $\varnothing 40 \times 3$ мм

Материал сцинтиллятора	паратерфенил, активированный 1,4-дифенилбутadiеном-1,3		Кристаллический порошок активированного паратерфенила в		
	о.м.	о.п.с.	кремнийорганической матрице		эпоксидной матрице
			$n = 1,405$	$n = 1,46$	
Световой выход, УЕСВ	1,75	1,7 - 1,78	1,45 - 1,51	1,54 - 1,60	1,29 - 1,35
Время высвечивания, нс	3 - 4	2,5	2,4	2,4	-

Таблица 2. Сцинтилляционные характеристики сцинтилляторов на основе кристаллов активированного паратерфенила большой площади

Материал сцинтиллятора	Размеры, мм	Световой выход, %		Неоднородность чувствительности по площади, %
		без отжига	с отжигом	
о.м.	$\varnothing 80 \times 3$	100	100	± 20
Кремнийорганический композиционный сцинтиллятор	-//-	82	90	± 3
“_”	$\varnothing 120 \times 3$	84	93	± 4
“_”	$\varnothing 160 \times 3$	85	95	± 5
“_”	$\varnothing 200 \times 3$	87	96	± 5

Как видно из табл. 2 при изготовлении образцов использовалась термическая обработка исходного порошка сцинтиллятора. Показано, что отжиг улучшает световой выход на 8 - 10 %. В дальнейшем все исследования проводились с отожженными образцами. Световой выход кремнийорганических композиционных сцинтилляторов зависит от показателя преломления полимерной матрицы и составляет 80 - 90 % относительно детектора на основе о.м. активированного паратерфенила. Преимуществом указанных сцинтилляторов, как видно из табл. 2, является высокая однородность чувствительности по площади сцинтиллятора.

Проведено сравнение влияния отражателей на световой выход полученных образцов. В качестве отражателя использовалась полиэтилентерефталатная алюминированная светонепроницаемая пленка толщиной 8 мкм и Tetratex. Световой выход измерялся при регистрации излучения от радионуклида ^{137}Cs . Показано, что световой выход при использовании однослойного отражателя Tetratex увеличивается на 10 - 32 %, а у двухслойного – на 16 - 33, чем при использовании зеркального отражателя. Это свидетельствует о том, что при использовании диффузного отражателя изменяется индикатриса рассеяния света на поверхности и уменьшается доля захваченного света.

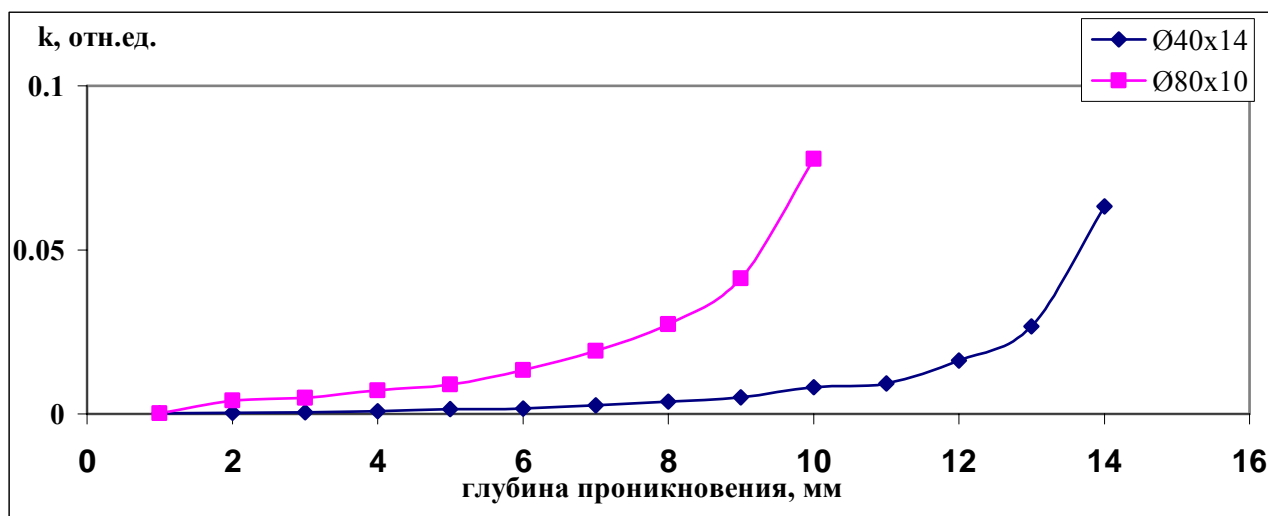
Была исследована способность органических сцинтилляторов к селективной регистрации ионизирующих излучений. В табл. 3 представлены значения коэффициента K_n для органических сцинтилляторов на основе паратерфенила. Диаметр сцинтилляторов варьировался от 40 до 120 мм, а толщина от 8 до 14 мм.

Таблица 3. Значения параметра K_n для органических поликристаллов

Характеристика образца		Материал матрицы	Размер гранул, мм	K_n , %
1	Эталон $\text{Ø}40 \times 14$	монокристалл		19,7
2	$\text{Ø}40 \times 8$	эпоксидная	до 1 мм	7,3
3	$\text{Ø}40 \times 10$	-//-	-//-	8,1
4	$\text{Ø}40 \times 14$	-//-	-//-	11,3
5	$\text{Ø}40 \times 14$ гель	кремнийорганическая	-//-	14,1
6	$\text{Ø}80 \times 10$ гель	-//-	-//-	14,3
7	$\text{Ø}120 \times 10$ гель	-//-	-//-	15,3
8	$\text{Ø}80 \times 10$ гель	-//-	1 - 2	22,4
9	$\text{Ø}80 \times 5$	прессовка		8,3

Как видно из таблицы 3, разделяющая способность изготовленных образцов сравнима с монокристаллом. На нее влияет, как сама матрица, так и размер гранул.

Для гелеобразных образцов размерами $\text{Ø}40 \times 14$ и $\text{Ø}80 \times 10$ была смоделирована зависимость коэффициента светособирания от глубины проникновения излучения (рисунок).



Зависимость коэффициента светособирания от глубины проникновения частиц

4. Выводы

Проведенные исследования показали возможность эффективного использования п-терфенила в качестве основы для гетерогенных детектирующих систем.

Показано, что сцинтилляционные параметры таких систем сравнимы с монокристаллическими образцами.

Изучена технология получения дисперсных детекторов, а также определено влияние различных технологических факторов на дозиметрические характеристики конечных изделий.

Использование полученных данных обеспечило изготовление органических гетерогенных сцинтилляторов на основе паратерфенила с улучшенными характеристиками, которые обуславливают дальнейшее развитие аппаратуры для ядерно-физических исследований с повышенной чувствительностью и избирательностью для широкого круга задач как в аспекте разработки новых приборов, так и в совершенстве существующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрющенко Л.А., Будаковський С.В., Гриньов Б.В., Гордієнко Л.С., Волков В.О. Спосіб виготовлення сцинтиляційного детектора: Пат. № 55633 А, Україна, МКИ G 01 Т 1/202 2003. - Бюл. № 4.
2. Андрющенко Л. А., Будаковський С. В., Галунов Н. З. и др. Детекторы на основе органических сцинтилляторов с улучшенными эксплуатационными характеристиками // ПТЭ. - 1999. - № 6. - С. 30 - 36.
3. Гершун А.С., Будаковський С.В., Андрющенко Л.А., Мнацаканова Т.Р., Власов В.Г. Сцинтилляционный детектор и способ его изготовления. Пат. Украины № 18241А. МПК⁶ G 01 Т 1/203.29.08. - Бюл. № 6. 25.12.1997.
4. Grinyov B.V., Andryushchenko L.A., Budakovsky S.V. et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 1995. - Vol. 42. - P. 361 - 363.
5. Галунов Н.З., Семиноженко В.П. Теория и применение радиолоуминесценции органических конденсированных сред. - К.: Наук. думка, 1997. – 280 с.
6. Андрющенко Л. А., Будаковський С. В., Галунов Н. З. и др. Органические поликристаллические сцинтилляторы с улучшенными характеристиками // ПТЭ. - 2003. - № 5. - С. 15 - 19.

COMPOSITION SCINTILLATION ELEMENTS ON BASIC OF SMALL-GRAINED PARATERPHENYL

A. S. Raevskiy, L. A. Andryushchenko, L. S. Gordienko, B. V. Grinyov, V. A. Tarasov

The results of the research were presented of characteristic organic polycrystal scintillators, which made different ways. Sample were received by diameter from 40 to 120 mm and thickness from 1 to 14 mm. Influence of the material of the matrix, ways mechanical and thermal processing of crystalline powder on features of scintillating element at registration fast neutron, β - and γ -radiations were researched. Necessary parameters heterogeneous detection systems big area for registration different type radiations were select.

КОМПОЗИЦІЙНІ СЦИНТИЛЯЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ ДРІБНОКРИСТАЛІЧНОГО ПАРАТЕРФЕНІЛУ

A. С. Раєвський, Л. А. Андрющенко, Л. С. Гордієнко, Б. В. Гриньов, В. О. Тарасов

Представлено результати дослідження властивостей органічних полікристалічних сцинтиляторів, виготовлених різними способами. Отримано зразки діаметром від 40 до 120 мм і товщиною від 1 до 14 мм. Досліджено вплив матеріалу матриці, способів механічної та термічної обробки кристалічного порошку на характеристики сцинтилюючих елементів при реєстрації швидких нейтронів, β - і γ -випромінювань. Обрано необхідні параметри гетерогенних детектуючих систем великої площі для реєстрації різних видів випромінювань.