

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.1.074.3

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ CsI НА ИХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

© 1997 г. Л. А. Андрищенко, Э. Л. Виноград, В. П. Гаврилок,
Б. В. Гринев, А. М. Кудин, Т. А. Чаркина

*Отделение щелочно-галогидных кристаллов Института монокристаллов НАН Украины
Украина, 310001, Харьков, просп. Ленина, 60*

Поступила в редакцию 23.12.96 г.

Исследовано влияние оптических свойств кристалла CsI на относительный вклад быстрой компоненты высвечивания F/T . Установлено, что основным фактором, определяющим зависимость F/T от размера, формы и типа поверхности больших сцинтилляторов, является селективность коэффициента поглощения собственного свечения. Предложен метод повышения F/T , основанный на использовании спектросмещающих покрытий на поверхности сцинтилляционного детектора.

Кристаллы чистого йодистого цезия в настоящее время широко используются для создания быстродействующих сцинтилляционных детекторов. Ядерная физика – одна из основных областей, где применяются такие детекторы [1]. При этом главными требованиями, предъявляемыми к ним, являются большой объем сцинтиллирующего материала и высокое соотношение быстрой и медленной компонент высвечивания.

Известно, что наличие следовых концентраций натрия, таллия, карбонат-ионов и других неконтролируемых примесей в кристаллах CsI приводит не только к уменьшению интенсивности быстрого у.ф.-свечения ($\tau = 5\text{--}10$ нс, $\lambda_{\text{max}} = 300$ нм), но и к появлению длительного свечения в видимой области спектра с характерными временами $\tau > 1$ мкс [2, 3].

Нами было замечено, что относительный вклад этого медленного свечения зависит не только от концентрации указанных примесей, но и от таких факторов, как геометрическая форма и размеры сцинтиллятора. Кроме этого установ-

лено, что наличие или отсутствие отражающего покрытия на поверхности кристалла, состояние самой поверхности (зеркальная или матированная) влияют на величину относительного вклада быстрой компоненты F/T , определенной как соотношение светосумм, высвеченных за первые 100 и 1000 нс. Влияние указанных факторов проиллюстрировано в табл. 1. Образцы для получения этих данных были изготовлены из одной и той же монокристаллической були. Данные табл. 1 свидетельствуют, что увеличение среднего пути света сцинтилляций в кристаллах CsI приводит к росту вклада длительной компоненты на фоне уменьшения быстрого у.ф.-свечения.

Анализ спектров поглощения реальных кристаллов, содержащих перечисленные выше примеси, показал, что коэффициент поглощения собственного у.ф.-свечения всегда несколько превышает таковой для света видимой области.

Нами было сделано предположение о том, что указанная выше связь величины F/T с геометрическими и поверхностными факторами обусловлена

Таблица 1. Влияние геометрии и типа поверхности кристалла CsI на величину относительного вклада быстрой компоненты F/T

Тип кристалла	Форма кристалла	Размеры, мм	Качество поверхности	F/T
А	Цилиндр	$\varnothing 30 \times 5$	Матирование	0.80
Б	Усеченная гексагональная пирамида	Высота 220, основание 70	Полировка	0.75
В	Усеченная гексагональная пирамида	Высота 220, основание 70	Матирование	0.72
Г	Усеченная гексагональная пирамида	Высота 220, основание 70	Полировка + отражатель (майлар)	0.72

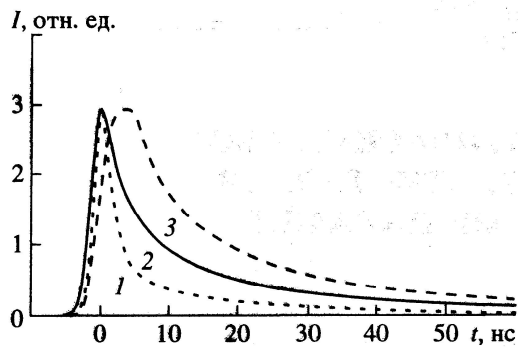


Рис. 1. Форма сигналов от сцинтилляционных вспышек в кристаллах CsI типов А (1), Б (2) и Б, боковая поверхность которого покрыта спектросмещающей пленкой (3).

селективным характером спектров поглощения реальных кристаллов в области 250–500 нм. Для проверки справедливости этого предположения нами была предпринята попытка расчетным путем оценить вклад селективности поглощения в изменение величины F/T при переходе от кристаллов больших размеров к малым, когда прозрачностью можно пренебречь. Для проведения этой оценки необходимы данные о значениях коэффициентов поглощения у.ф. и видимого света и длине среднего пути света в кристалле. Максимумы полос быстрого и медленного свечения, а также коэффициенты поглощения K для собственного света реального кристалла CsI приведены в табл. 2.

Основным методом оценки средней длины пути света L служило экспериментальное определение величины уширения формы сигнала быстрой компоненты F при переходе от малого кристалла (тип А) к большому (тип Б). Форма быстрой у.ф.-компоненты, так же как и сама величина F/T , измерялась однофотонным методом (метод задержанных совпадений [4]) при возбуждении сцинтилляций в кристаллах аннигиляционными γ -квантами от радиоактивного источника ^{22}Na . Фотоприемником в стоповом канале служил фотомножитель 9822QKB.

На рис. 1 (кривые 1 и 2) показана форма сигналов у.ф.-компоненты для кристаллов типов А и Б соответственно. Оценка изменения длительности сигнала от быстрой компоненты на 50%-ном уров-

Таблица 2. Оптические характеристики реального кристалла CsI

Тип кристалла	F/T	λ_{max} , нм	K , см^{-1}
А	0.80	300	0.015
		440	0.010

не при увеличении размера кристалла (А \rightarrow Б) дает значение ≈ 5 нс. При коэффициенте преломления $n = 2$ для $\lambda = 300$ нм в кристалле CsI имеем $L = 75$ см. С учетом реальных значений K для длин волн 300 и 440 нм, соответствующих максимумам спектральных распределений быстрой и медленной компонент, можно получить величины относительного изменения вклада быстрой b_F и медленной b_S компонент при переходе А \rightarrow Б:

$$b_F = \exp(-K_{300}L) = 0.32;$$

$$b_S = \exp(-K_{440}L) = 0.47.$$

Оценить вклад этих изменений спектрального состава света при переходе А \rightarrow Б в изменение F/T можно из следующих соображений. Пусть A , A' – значения параметра F/T для кристаллов типов А и Б соответственно. Тогда с учетом $T = F + S$ и $S = \frac{1-A}{A}F$, где F и S – интенсивности быстрой и медленной компонент для кристалла типа А соответственно, имеем для A' соотношение

$$A' = \frac{b_FF + b_SS}{b_FF + b_SS} = \frac{b_F}{b_F + b_S} \frac{1-A}{A}. \quad (1)$$

Подстановка значений $A = 0.8$, $b_F = 0.32$ и $b_S = 0.47$ дает для A' значение 0.73, что близко к экспериментально полученной величине 0.75 (см. табл. 1). Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных значений величины F/T , подтвержденное на большом количестве кристаллов, позволяет в дальнейшем прогнозировать значение F/T больших кристаллов с помощью соотношения (1), используя для этого данные о спектральных и кинетических параметрах, полученных на образцах малых размеров.

Необходимо отметить, что приведенные соотношения носят оценочный характер, так как, в частности, не учитывают факт зависимости длины среднего пути света L от длины волны и отражающих свойств поверхности.

Весь свет сцинтилляционной вспышки можно разделить на две части: свет, идущий по кратчайшему пути к выходному окну детектора, и свет, претерпевающий многократные отражения от боковой поверхности кристалла до его попадания на фотоприемник. В протяженных детекторах или кристаллах сложной формы вклад света, идущего по второму пути, является преобладающим [5]. Именно этот свет определяет не только основные сцинтилляционные свойства детектора – световыход и энергетическое разрешение, но и его кинетические параметры – форму сцинтилляционного импульса и соотношение быстрой и медленной компонент.

Известно, что использование люминесцирующих покрытий, смещающих спектр отраженного от поверхности света в длинноволновую область, в которой сцинтиллятор имеет более высокую прозрачность, позволяет добиться лучшей однородности световых выходов вдоль длины протяженных детекторов [6].

Нами была исследована возможность использования спектросмещающих пленочных покрытий для увеличения относительного вклада быстрой компоненты высвечивания в сцинтилляционных детекторах большого объема на основе CsI. Опробован ряд люминофоров, поглощающих свет в области 300 нм и высвечивающих фотоны в области 380–450 нм.

Установлено, что люминофор на силоксановой основе обладает рядом достоинств, основными из которых являются высокая квантовая эффективность, хорошая адгезия к поверхности кристалла, химическая пассивность к материалу CsI и высокая механическая устойчивость. Кроме этого кремнийсодержащая пленка может служить гидрофобным покрытием для основного водорастворимого кристалла.

Люминофор наносился тонким слоем (10–20 мкм) на все боковые грани усеченной гексагональной пирамиды (тип Б), исключая большое основание, служащее выходным окном. После этого проводились измерения формы и интенсивности сцинтилляционного импульса в этом образце. Контролируемыми параметрами были форма сигнала быстрой компоненты сцинтилляционного импульса, относительный вклад быстрой компоненты F/T , световой выход быстрой компоненты C_F и его распределение вдоль оси кристалла (C_F – амплитуда сигнала, соответствующая положению пика полного поглощения при облучении кристалла γ -квантами от ^{137}Cs и времени сбора заряда с анода фотоумножителя 100 нс). Результаты сравнительных измерений с кристаллом типа Б, покрытым и непокрытым спектросмещающей пленкой, приведены в табл. 3 и на рис. 1 (кривые 2, 3) для величины F/T и формы сигнала быстрой компоненты и на рис. 2 для световых выходов быстрой компоненты. Как следует из приведенных данных, нанесение люминофора на боковые грани кристаллов CsI большого объема приводит к заметному увеличению вклада быстрой компоненты F/T . При этом несколько увеличивается длительность ее сигнала (рис. 2, кривая 3). Последнее обстоятельство, очевидно, связано как с конечным временем высвечивания самого люминофора ($\tau \approx 2$ нс), так и с увеличением длины пути света при переходе в спектральную область более высокой прозрачности.

Абсолютное увеличение световых выходов быстрой компоненты C_F при нанесении люминофора

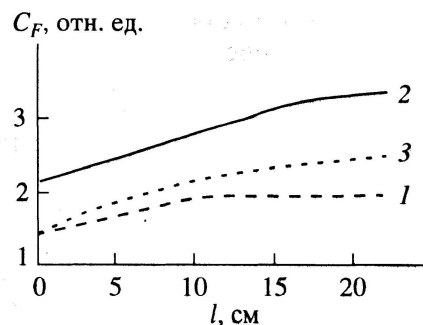


Рис. 2. Зависимость световых выходов быстрой компоненты от расстояния между выходным окном и сцинтилляционной вспышкой: 1 – кристалл типа Б, 2 – все грани, кроме выходного окна, кристалла типа Б покрыты спектросмещающим покрытием, 3 – спектросместитель нанесен только на выходное окно кристалла типа Б.

на боковые грани достигает 50%. Необходимо отметить, что наблюдаемый экспериментально эффект нанесения люминофора оказывается более существенным при наличии отражателя на боковых гранях. Так, для величины F/T характерно увеличение на 7–8%, а увеличение световых выходов быстрой компоненты достигает 80%. Существенно меньший эффект наблюдается при помещении спектросместителя только между фотоумножителем и выходным окном кристалла (рис. 2, кривая 3). Это доказывает, что наблюдаемые изменения в значительно большей степени обусловлены особенностями оптических свойств кристаллов, чем селективностью фоточувствительности приемника света.

Подстановка в соотношение (1) средних экспериментальных значений $b_F = 1.4$ с учетом $b_S = 1$ (нанесение спектросместителя не сказывается на абсолютном значении медленной компоненты) дает для кристалла с исходным значением $A = 0.68$ расчетное значение $A' = 0.72$, что совпадает с реально полученным значением F/T для кристалла, покрытого люминофором. Это обстоятельство позволяет не только использовать формулу (1) для прогнозирования ожидаемого эффекта нанесения люминофора, но и расчетным путем определять изменение основного параметра F/T при использовании любых селективно отражающих покрытий.

Таблица 3. Влияние спектросместителя на величину F/T для кристаллов CsI большого объема (тип Б) разного качества

F/T без спектросместителя	0.60	0.68	0.72	0.80
F/T после нанесения спектросместителя на боковые грани кристалла	0.65	0.72	0.77	0.84

Известный способ корректировки сцинтилляционных свойств кристаллов путем нанесения спектросмещающих покрытий [6] имеет, как оказалось, более универсальное значение, так как позволяет увеличивать относительный вклад быстрой компоненты высвечивания детекторов большого объема.

Приведенные соображения, не претендуя на абсолютную точность, так как при проведении оценочных расчетов совершенно не учитывались полное внутреннее отражение света, реальное спектральное распределение быстрой и медленной компонент, селективность фоточувствительности фотоумножителя и др., однако, кажутся нам непротиворечивыми и позволяют объяснить зависимость величины F/T от ряда факторов, изложенных в начале статьи. Очевидно, что учет подобных обстоятельств возможен только с при-

менением компьютерного моделирования процессов отражения, поглощения и переизлучения света сцинтилляций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kubota S., Sakuragi S., Hashimoto S., Ruan J. // Nucl. Instrum. and Methods. 1988. V. A268. № 1. P. 275.
2. Бельский А.Н., Васильев А.Н., Гектин А.В. и др. Препринт ИМК-91-3. Харьков, 1991.
3. Бельский А.Н., Васильев А.Н., Гектин А.В. и др. Препринт ИМК-90-26. Харьков, 1990.
4. Галунов Н.З., Копина И.В., Мицай Л.И., Цирлин Ю.А. // ПТЭ. 1983. № 4. С. 81.
5. Цирлин Ю.А. Светособирание в сцинтилляционных счетчиках. М.: Атомиздат, 1975. С. 29.
6. Акимов Ю.К. // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 1994. Т. 25. Вып. 2. С. 496.