

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА
СВЕТОСБОРА В ДЕТЕКТОРЕ НА ОСНОВЕ
КРИСТАЛЛА GAGG И СИРМ ОТ ТИПА
ОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ**

Научный руководитель

_____ Ф. А. Дубинин

Студент

_____ А. П. Зверев

Москва 2021

Содержание

Введение	3
1 Коэффициент светосбора и типы исследуемых покрытий	3
2 Описание детектора	4
3 Описание установки	5
4 Экспериментальные данные	6
5 Результаты измерений	6
6 Заключение	9

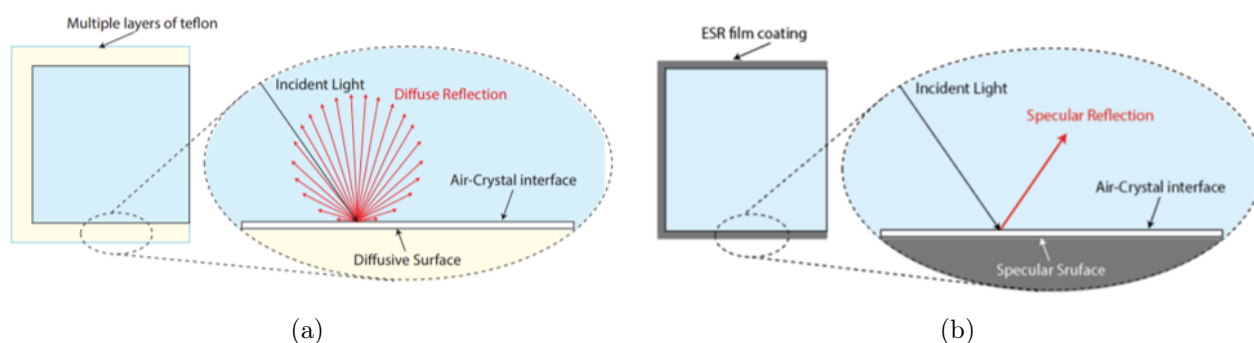
Исследование различных типов покрытий для сцинтиллятора GAGG

Цель работы: исследование влияния зеркального, диффузного покрытий для сцинтиллятора GAGG на характеристики детектора на основе сцинтиллятора GAGG и SiPM.

Введение

1 Коэффициент светосбора и типы исследуемых покрытий

В работе изучалась зависимость коэффициента светосбора в детекторе на основе кристалла GAGG и фотоэлектронного умножителя SiPM от типа отражающего покрытия.



Коэффициент светосбора определяется как отношение числа фотонов, попавших на фотоприемник и числа фотонов, излученных сцинтиллятором. На изображениях (a) и (b) можно видеть основные особенности диффузного покрытия в сравнении с зеркальным. Фотон, падая на зеркальное покрытие, в соответствии с законами геометрической оптики, отражается на тот же самый угол. В случае же диффузного покрытия отражение фотона при попадании на покрытие возможно по всем направлениям в пределах телесного угла 2π с некоторой вероятностью. Из диаграммы вероятностей, указанной на рисунке (a), видно, что наиболее вероятно отражение под прямым углом к поверхности, а также на малые углы в окрестности перпендикуляра.

$$\mu = \frac{N_{ph}}{N_{\Sigma}}$$

μ - коэффициент светосбора

N_{ph} - число фотонов, попавших на фотоприемник

N_{Σ} - число фотонов, излученных сцинтиллятором

2 Описание детектора

Таблица 1 — Характеристики сцинтилляторов

Характеристики сцинтиллятора	NaI:Tl	LYSO	GAGG:Ce
Плотность, г/см ³	3.67	7,1	6.62
Энергетическое разрешение, %	7.5	7.1	7.4
Световыход, ф/МэВ	38	32	40
Длина волны излучения, нм	415	420	520
Время высвечивания, нс	230	50	92
Гигроскопичность	+	-	-
Наличие собственного фона	-	+	-

В таблице вместе с исследуемым кристаллом GAGG:Ce приведены характеристики кристаллов NaI:Tl и LYSO. NaI:Tl - стандартный сцинтилляционный кристалл, являющийся базовым кристаллом в сравнении с которым исследуются другие сцинтилляторы [1]. LYSO - это сцинтиллятор, который широко распространен в ядерной медицине и в целом при регистрации гамма-излучения. В сравнении с этими кристаллами можно видеть, что плотность GAGG достаточно высока - она выше чем у NaI:Tl и и достаточно близка к плотности кристалла LYSO, значит GAGG должен обладать хорошей эффективностью регистрации гамма-излучения. Энергетическое разрешение кристалла GAGG сравнимо с энергетическими разрешениями LYSO и NaI:Tl, он не уступает им по данному параметру. По световыходу GAGG является лучшим среди представленных кристаллов. Его световыход выше чем у LYSO, выше чем у NaI:Tl, следовательно амплитуда сигнала, получаемого от такого кристалла, будет достаточно большой, его удобно регистрировать возможно даже работая без усилителя. Длина волны излучения соответствует зеленой области спектра, что удобно в связи с тем, что она располагается недалеко от максимума чувствительности большинства фотоприемников. Данный кристалл негигроскопичен, благодаря чему с ним можно работать без корпуса. У GAGG нет собственного фона (так же как и у NaI:Tl), что позволяет избежать дополнительного измерения его собственных шумов. Отсутствие фона нельзя отметить в случае кристалла LYSO, имеющего высокий уровень собственного фона. [3]

Размер кристалла, исследуемого в работе, составлял 3 x 3 x 10 мм³.

Таблица 2 — Характеристики Sensl SB 30020

Фоточувствительная площадь	3 x 3 мм ²
Размер пикселя	20 x 20 мкм ²
Число пикселей	22500
Длина волны максимума чувствительности	420 нм
Эффективность регистрации	25%

В работе использовался фотодетектор SIPM SensL SB 30020. Касательно характеристик SIPM можно выделить размеры фоточувствительной площади (3 x 3 мм²), то есть кристалл и фотоумножитель состыковывались в работе вплотную, размер пикселя составлял 20 x 20 мкм², что означает, что площадь фотоумножителя содержала 22500 пиксе-

лей. Длина волны максимума чувствительности использованного SIPM составляет 420 нм, квантовая эффективность составляет 25% на данной длине волны. [2]

Также стоит отметить коэффициенты отражения исследуемых покрытий:

Таблица 3 – Коэффициенты отражения покрытий

Покрытие	Коэффициент отражения, %
Зеркальное	~ 95
Диффузное	>80

3 Описание установки

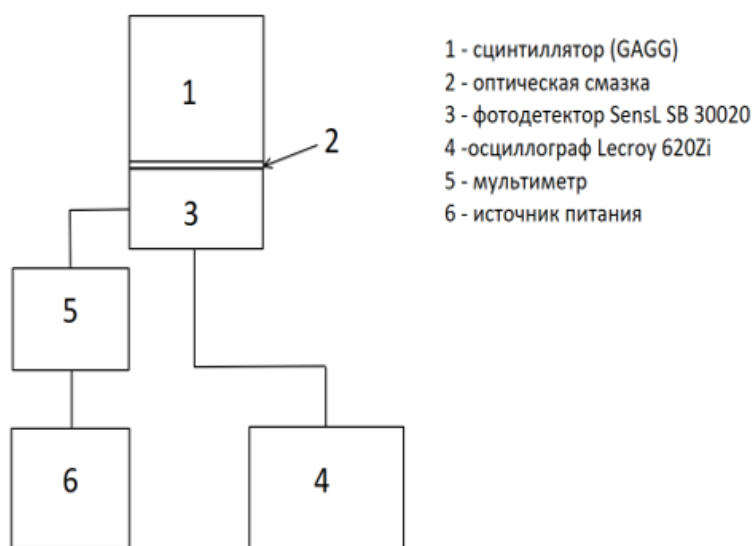


Рисунок 1 – Схема установки

- Напряжение питания 28.4 В
- Источник ^{137}Cs
- Энергия излучения 662 кэВ

Установка состояла из сцинтиллятора и фотоприемника (SIPM), состыкованных через оптическую смазку. Питание на SIPM подавалось от источника питания через амперметр. Сигналы поступали на осциллограф, на котором происходил анализ исследуемых импульсов. Оптическая смазка наносилась для улучшения оптического контакта.

Осциллограф использовался для получения спектров.

Относительное энергетическое разрешение рассчитывалось по данным, полученным в OriginPro после построения спектра и фитирования функцией Гаусса. Фитирование производилось функцией Гаусса потому, что рассматриваемые в работе пики полного поглощения теоретически описываются гауссовым распределением.

$$\delta = \frac{2.35 \cdot W/2}{x_c - x_{c_p}}$$

δ - относительное энергетическое разрешение

$W = 2\sigma$, где σ - среднеквадратическое отклонение

x_c - положение максимума пика

x_{c_p} - положение максимума пьедестала

4 Экспериментальные данные

Для правильной калибровки полученных с помощью электронного тракта спектров необходимо учитывать электронный нуль тракта, или же пьедестал. Реальное положение нулевой амплитуды импульсов может оказаться смещенным относительно нуля анализатора.

Ниже представлены спектры ^{137}Cs , полученные на сцинтиляторе, обернутом в зеркальное [(a),(b)], диффузное покрытия [(c),(d)] и сцинтилятор без покрытия [(e),(f)] соответственно. Для каждого спектра представлена таблица параметров, применявшихся для расчета энергетического разрешения и сравнения положения максимума фотопика.

Статистика в окрестности фотопика теоретически описывается распределением Гаусса. Обрыв комптоновского плато явно виден в случае спектра без покрытия, что нельзя отметить в случае спектров с покрытиями. Данное различие, предположительно, вызвано некачественным нанесением покрытия.

Далее представлена наблюдавшаяся осциллограмма.

По осциллограмме можно видеть, что максимальная полученная амплитуда сигнала от ^{137}Cs составляет 49.2 мВ (соответствует линии 662 кэВ), длительность переднего фронта составляет 50 нс, заднего 300 нс.

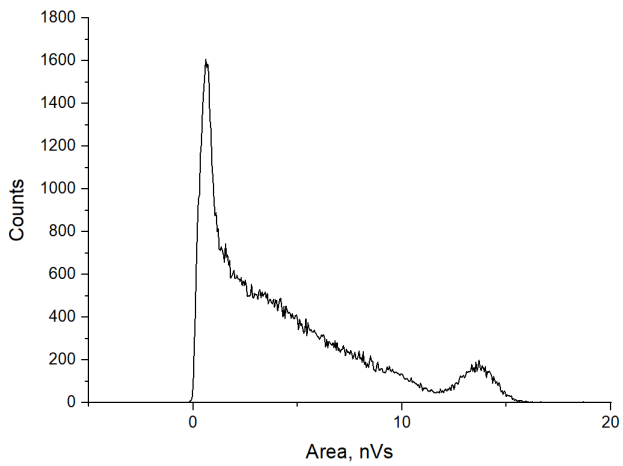
5 Результаты измерений

Далее представлена таблица с положениями максимума пика полного поглощения, результатами расчета энергетических разрешений для двух типов покрытий и сцинтилятора без покрытия.

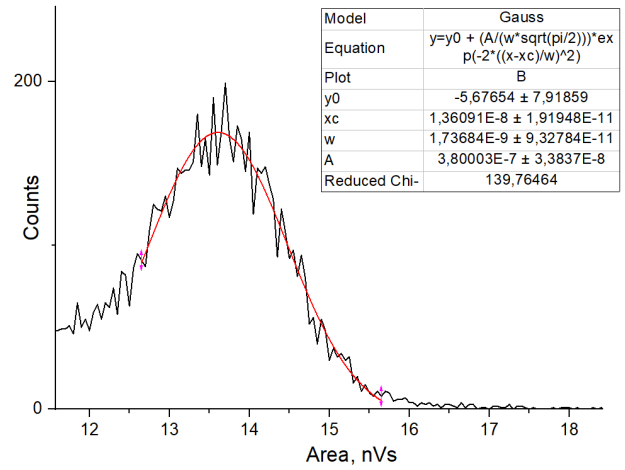
Таблица 4 — Результаты измерения

Тип покрытия	Положение максимума, нВс	Энергетическое разрешение, %
Зеркальное	13.56 ± 0.02	15
Диффузное	13.61 ± 0.01	14
-	9.90 ± 0.01	18

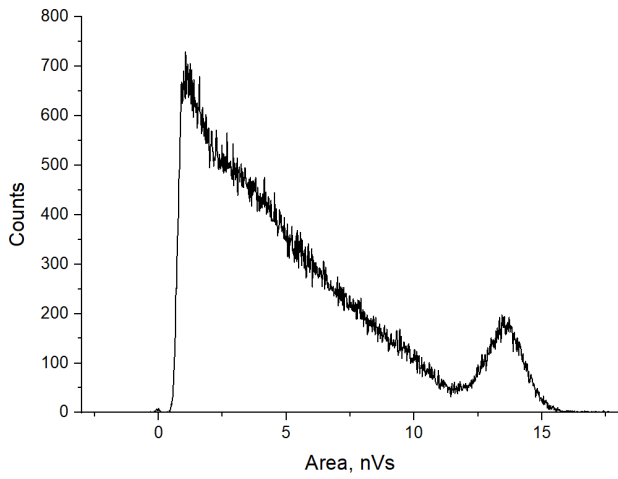
Из таблицы видно, что положения максимумов пиков практически совпадают для спектров с покрытиями. Для детектора без покрытия положение пика меньше. Энергетическое разрешение для детектора с диффузным отражателем оказалось наилучшим, хотя



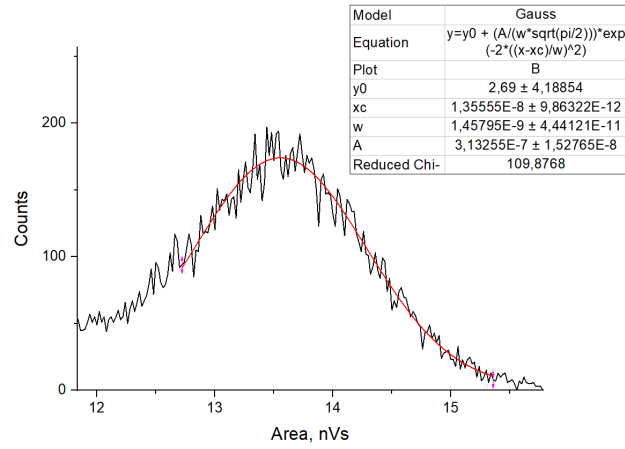
(a)



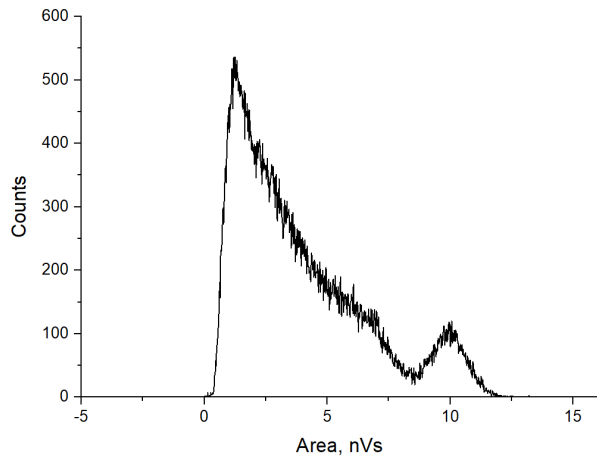
(b)



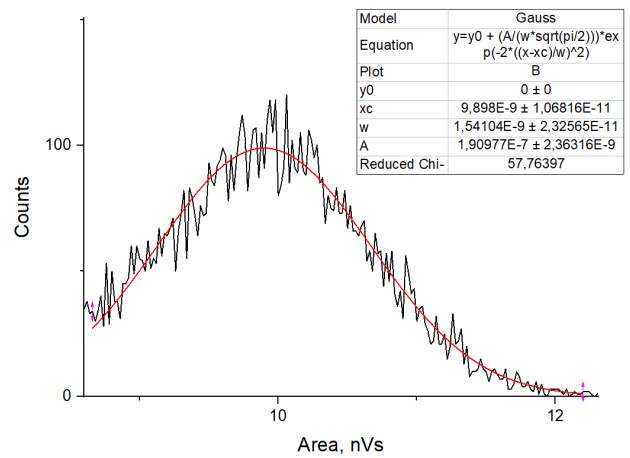
(c)



(d)



(e)



(f)

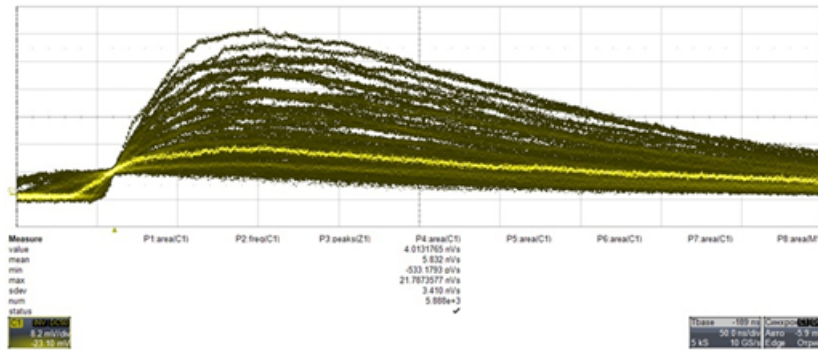


Рисунок 2 —Оциллограмма

положения максимумов для детекторов с зеркальным и диффузным отражателем совпадают. Необходимо отметить, что при нанесении зеркального покрытия не удалось достичь качества промышленного изготовления. В некоторых частях детектора между покрытием и кристаллом мог оказаться воздух, также не удалось полностью избавиться от щелей на стыках плёнки.

Результаты эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

1. При данной конфигурации детектора зеркальный и диффузный отражатели с одинаковой эффективностью улучшают светосбор, о чем говорят полученные спектры и положения фотопиков;
2. В результате нанесения покрытий светосбор был улучшен на 37%.

$$\frac{1.36091 \cdot 10^{-8}}{9.898 \cdot 10^{-9}} \approx 1.37$$

$$\frac{1.35555 \cdot 10^{-8}}{9.898 \cdot 10^{-9}} \approx 1.37$$

Далее на графике указаны все полученные спектры вместе с пьедесталами.

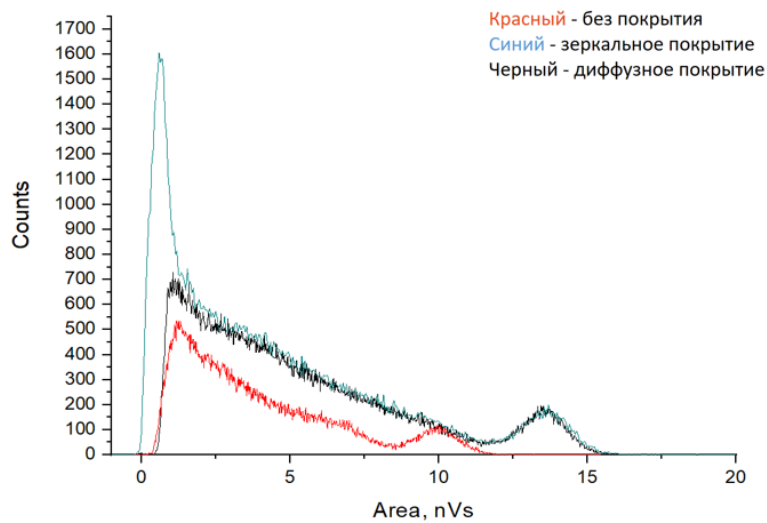


Рисунок 3 —Схема установки

6 Заключение

В работе изучались детекторы на основе сцинтиллятора GAGG и SiPM SensL SB 30020. Исследовались детекторы с зеркальным, диффузным отражателями и без отражателя. Результаты исследований показывают, что диффузный и зеркальный отражатели одинаково улучшают светосбор в ~ 1.4 раза. Энергетическое разрешение на кристалле без отражателя составило 18 %, с диффузным отражателем - 14%, с зеркальным отражателем - 15%.

Список литературы

- [1] Акимов Ю.К. Фотонные методы регистрации излучений. Дубна: ОИЯИ, 2006.
- [2] B-Series Fast, Blue-Sensitive Silicon Photomultiplier Sensors, November 2015. URL: <https://sensl.com/downloads/ds/DS-MicroBseries.pdf>
- [3] А.С.Симутин, М.Ю.Чернов, А.А.Гасанов, А.Д.Орлов, Н.В.Класен, С.З.Шмурак Исследование характеристик спектрометрического детектора на основе кристалла $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ и ФЭУ-184, 2012.