

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСКРИМИНАЦИИ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ФОРМЕ ИХ ИМПУЛЬСА (PSD) ДЛЯ РЕШЕНИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Е. А. Борисевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, garovaknorka@mail.ru*

Научный руководитель — В. А. Мечинский, кандидат физико-математических наук

В данной статье анализируются возможности использования цифрового метода дискриминации выходных сигналов сцинтилляционных детекторов ионизирующего излучения по форме их импульса, используя в качестве образцов сцинтилляторы GAGG:Ce размером $3 \times 3 \times 5$ мм³ и LYSO:Ce размером $3 \times 3 \times 3$ мм³. В качестве фотоприёмников в данной работе были использованы ФЭУ Hamamatsu R329-02 и кремниевый ФЭУ (SiPM) производства фирмы Advansid.

Ключевые слова: сцинтиллятор; детектор; импульс; фотоприёмник; альфа-частица; гамма-квант; ионизация.

В экспериментах по регистрации и измерению энергии ионизирующего излучения используются сцинтилляционные детекторы, в которых сцинтиллятор оптически соединяется с фотоприёмником при этом амплитуда выходного сигнала пропорциональна энергии, потерянной частицей в объёме детектора.

В экспериментах с частицами разного сорта, особенно в случае, когда их энергии лежат в близких энергетических интервалах, амплитуды сигналов могут практически совпадать, что говорит о необходимости дополнительной информации для анализа данных [1]. За счёт особенностей механизмов транспорта выделенной в сцинтилляторе энергии и процессов возбуждения и релаксации центров высвечивания, интенсивность и длительность высвечивания сцинтилляционного импульса может изменяться в зависимости от создаваемой плотности ионизации, которая для различных типов частиц с одинаковой первичной энергией будет разной. Таким образом, информацию о типе частицы может дать анализ формы импульса, на основе метода дискриминации выходных сигналов сцинтилляционных детекторов по форме импульса (PSD).

Суть метода PSD заключается в вычислении PSD-параметра:

$$\text{PSD} = 1 - \frac{Q_s}{Q_l}$$

где Q_s – заряд быстрой компоненты импульса, Q_l – полный заряд всего импульса. Ширина диапазона Q_s отсчитывается от максимальной величины сигнала до некоторой заданной позиции (PSD_BIN value) после этой величины, а Q_l – от максимальной величины сигнала до конца оцифрованного сигнала. Моментом старта сбора сигнала выбирается максимальное значение сигнала, от которого идёт отсчёт длительности быстрой компоненты Q_s до пересечения заданной границы (рис.1).

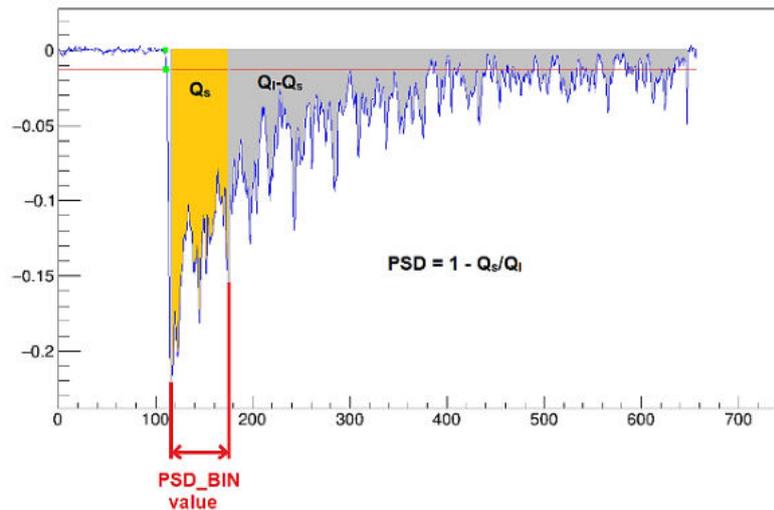


Рис.1. Пример оцифрованного сигнала с отмеченными областями для вычисления величины PSD методом сравнения зарядов

В данной работе для измерения PSD-спектра в качестве сцинтилляторов были взяты $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce$ (GAGG:Ce) размером $3 \times 3 \times 5$ мм³ и $Lu_{2(1-x)}Y_{2x}SiO_5:Ce$ (LYSO:Ce) размером $3 \times 3 \times 3$ мм³, обёрнутые в тефлоновый отражатель для улучшения эффективности светосбора, а в качестве фотоприёмников были использованы ФЭУ R329-02 производства фирмы Hamamatsu и SiPM производства фирмы Advansid (ASD-RGB4S-P) размером 4×4 мм² [2, 3]. Для оцифровки импульсов от детекторов и последующей передачи полученной оцифровки на компьютер применялся оцифровщик DRS4 Evaluation Board [4].

В первом случае образцы GAGG и LYSO, помещались на поверхность входного окна ФЭУ R329 с использованием оптической смазки. Сначала образец облучался только альфа-частицами с энергией $E_\alpha=5500$ кэВ от источника ^{238}Pu , далее – только гамма-квантами от источника ^{137}Cs (662 кэВ), и далее – одновременно двумя источниками.

Во втором случае в качестве фотоприёмника использовался SiPM производства фирмы Advansid размером 4×4 мм², размещённый на плате предусилителя AdvanSid ASD-EP-EB-PZ, помещённые в термостатирующий и светонепроницаемый бокс. Источники ионизирующего излучения,

образцы и иммерсия были взяты те же, что и в измерениях с ФЭУ. С использованием ПО оцифровщика выполнялось триггерование входных сигналов по уровню -20 мВ, которые записывались в виде DAT-файлов для последующего анализа в пакете программ ROOT [5].

Во-первых, для методики измерения PSD-спектра исследовалось влияние функции отклика фотоприёмника на форму импульса для образцов GAGG и LYSO. В случае SiPM наблюдается затягивание не только заднего фронта, но и переднего фронта, что связано с относительно большой ёмкостью SiPM по сравнению с ФЭУ (рис. 2).

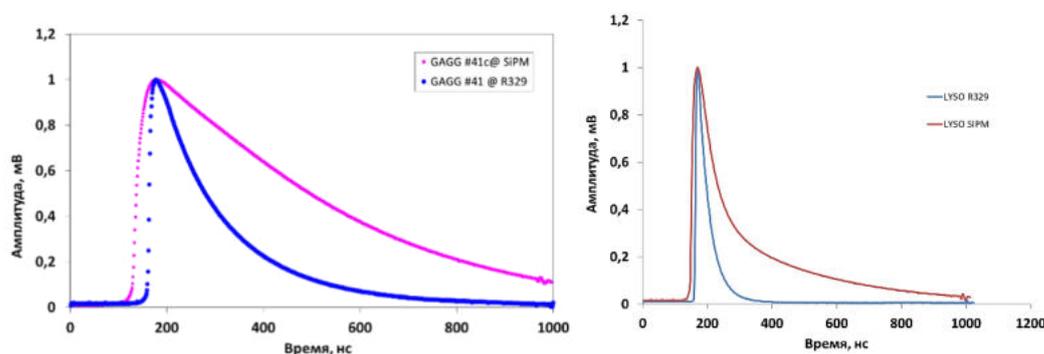


Рис. 2. Усреднённый нормализованный профиль импульсов от GAGG (слева) и LYSO (справа), сопряжённого с ФЭУ R329-02 (синяя кривая) и SiPM (красная кривая)

Во-вторых, исследовалось изменение формы импульсов в зависимости от типа частиц ионизирующего излучения. На рис. 3 видно, что отклик образца GAGG на альфа- и гамма-излучение различен, ввиду влияния линейной плотности ионизации вдоль трека, что обуславливает затягивание заднего фронта импульса от альфа-частиц относительно импульса от гамма-излучения.

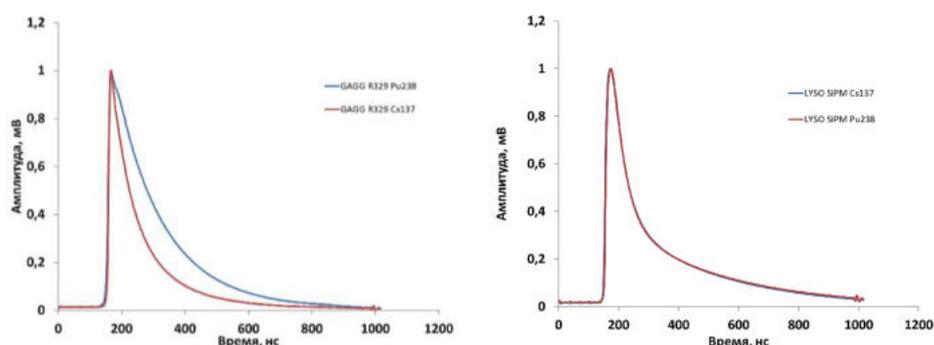


Рис.3. Различие в форме импульсов от гамма- и альфа-излучения для образцов GAGG при использовании ФЭУ R-329-02 (слева) и LYSO при использовании SiPM (справа)

Различия в форме импульсов от гамма- и альфа-излучения в образце LYSO практически не наблюдается, что говорит о том, что кинетики выщелачивания для альфа- и гамма-излучения практически совпадают.

В качестве примера можно привести вид PSD-спектрограмм (рис.4), полученных для GAGG и LYSO, с использованием ФЭУ XP2020 под гамма- и альфа источниками при величине PSD_BIN (в каналах) равной 150 и 60 каналов, соответственно.

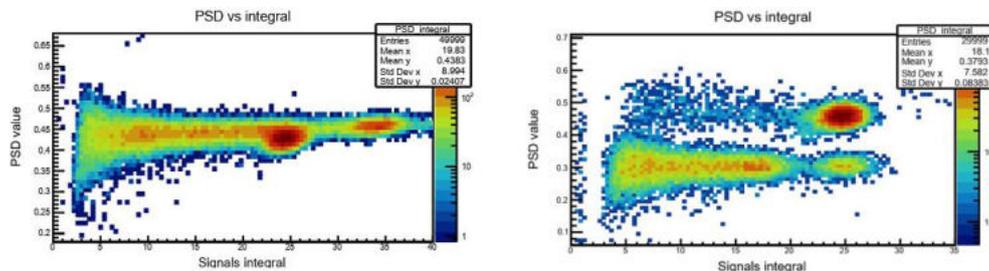


Рис.4. PSD-спектрограмма альфа-частиц ^{238}Pu и гамма-квантов ^{137}Cs для образца LYSO при PSD_BIN=60 (слева) и для образца GAGG при PSD_BIN=150 (справа) при использовании ФЭУ XP2020

По PSD-спектрограммам видно, что в случае LYSO сигналы от альфа- и гамма-излучения не разделяются по форме ввиду одинаковой кинетики, а в случае образца GAGG величины для PSD-параметров импульсов гамма- и альфа-излучения различаются как по кинетике высвечивания, так по световыходу, что даёт хорошее разделение сигналов по форме.

В данной работе было рассмотрено применение метода PSD при регистрации излучения смешанного типа. Сравнение импульсов с ФЭУ и SiPM, показало, что в случае SiPM наблюдается затягивание не только заднего фронта, но и переднего фронтов. А также было показано влияние типа частиц на форму импульса.

Образец GAGG показывает хорошее PSD-разделение в случае альфа- и гамма-излучения, образец LYSO не подходит для разделения импульсов по форме.

Библиографические ссылки

1. Цитович А.П. Ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1984, 408с.
2. RGB SiPMs Chip Scale Package (CSP) / [Электронный ресурс] // AdvansSiD: Advanced Silicon Detectors: [сайт]. — URL: <https://www.advansid.com/> (date of access 15.05.2024).
3. Photomultiplier tube R329-02 / [Электронный ресурс] // Hamamatsu Photonics: [сайт]. — URL: <https://www.hamamatsu.com> (date of access 15.05.2024).
4. DRS4 Evaluation Board / [Электронный ресурс] // Paul Scherrer Institut (PSI): [сайт]. — URL: <https://www.psi.ch/en> (date of access 15.05.2024).
5. ROOT - An Object Oriented Data Analysis Framework / R. Brun, F. Rademakers // Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A. - 1997. - Vol.389. - PP.81-86.