## \_\_\_\_\_ ЛАБОРАТОРНАЯ \_\_\_\_ ТЕХНИКА

# ВЫЯВЛЕНИЕ ГАММА-ПИКОВ <sup>60</sup>Со С ПОМОЩЬЮ МНОГОПИКСЕЛЬНОГО СЧЕТЧИКА ФОТОНОВ

© 2021 г. Elif Ebru Ermis\*

Izmir Tinaztepe University, Vocational School of Health Services, Medical Imaging Techniques Department, 35400, Buca, Izmir, Turkey \*e-mail: elermis@hotmail.com Поступила в редакцию 10.04.2021 г.

> После доработки 06.05.2021 г. Принята к публикации 17.05.2021 г.

Для выявления γ-пиков в энергетическом спектре <sup>60</sup>Co, теряющихся в электронном шуме при работе с многопиксельным счетчиком фотонов (MPPC – Multi-Pixel Photon Counter), предложена экспериментальная установка, использующая метод временной привязки с постоянным порогом. Сигналы синхронизации управляли регистрацией импульсов от MPPC амплитудным анализатором. Полученные результаты показали, что разработанная установка вполне успешно подавляет шумы и позволяет выявлять пики от радиоактивных источников при использовании MPPC.

DOI: 10.31857/S0032816221050207

#### введение

В настоящее время для регистрации фотонов сцинтилляционных детекторов все чаще используются полупроводниковые кремниевые фотоумножители – многопиксельные счетчики фотонов SiPM. Они состоят из большого числа пикселей с чувствительной областью 25, 50 или 100 мкм<sup>2</sup>. Пиксели электрически соединены и расположены в двух измерениях.

Применение таких счетчиков в физике элементарных частиц, ядерной медицине и т.д. описано в [1]. Обзор методов определения характеристик SiPM представлен в работе Klanner [2], а их основных свойств и технологической реализации – в работе Piemonte и Gola [3]. Применениям SiPM в медицине посвящен обзор Bisogni et al. [4]. Использование SiPM в физике элементарных частиц и ядерной физике, а также в γ-спектроскопии было рассмотрено Simon [5] и Kobylka et al. [6]. Об использовании SiPM для обнаружения нейтронов сообщили Федоров и др. [7] и Santoro et al. [8].

Для измерения времени развития события, регистрации истинных совпадающих событий из большой группы и выделения частиц разных типов на основе различных временных характеристик их импульсов используется техника временных экспериментов [9]. Вероятно, самый эффективный и универсальный метод, доступный сегодня, — это метод временной привязки с постоянным порогом. В этом методе входящий импульс разделяется на две части. Одна часть задерживается на время, равное времени нарастания до определенного порога. Другая часть инвертируется и ослабляется. Затем эти два импульса суммируются для получения биполярного импульса [10].

В наших исследованиях по обнаружению γ-излучения с помощью многопиксельного счетчика фотонов MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) реальные спектры γ-излучения радиоактивных источников терялись в шумах. По этой причине в данной работе предложено использовать метод временной привязки с постоянным порогом для подавления этого шума и получения четкого энергетического спектра γ-излучения для стандартного образца γ-источника <sup>60</sup>Со.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами использовался стандартный модуль многопиксельного счетчика фотонов SiPM фирмы Hamamatsu (C10507-11-100U). Модуль состоит из кремниевого фотоумножителя с активной площадью  $1 \times 1$  мм<sup>2</sup>, преобразователя тока в напряжение, высокоскоростного компаратора, высоковольтного источника питания, схемы температурной компенсации, счетчика и микроконтроллера. Модуль также имеет порт USB, подключенный к персональному компьютеру *ПС*, для подачи напряжения смещения, а также аналоговый и цифровой выходы (рис. 1).

Источник излучения  $^{60}$ Со (Spectrum Techniques Co.) в форме диска и сцинтиллятор Cs(Tl) (Epic Crystal Co.,  $1 \times 1 \times 5$  см) смонтированы на



Рис. 1. Фотография модуля МРСС.

окне SiPM. Для предотвращения оптических потерь сцинтиллятор обернут белым тефлоном. Для минимизации потерь света между окном кремниевого фотоумножителя и сцинтилляционным кристаллом использовалась оптическая смазка (Silicone Technology, LS-3252). Вся система помещена в темный ящик. Для предотвращения зависимости электронного шума от температуры бокс помещали в холодильник и поддерживали при постоянной температуре. Время сбора данных составляло 100 с. Принципиальная схема использованной экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Сигналы с аналогового выхода SiPM показаны на рис. 3. Видно, что сигнал теряется в шумах. Для устранения этого эффекта и выявления у-пиков



Аналоговый выход МРРС был подключен к усилителю *AMP* (ORTEC 671) (см. рис. 2). Униполярный выходной сигнал с усилителя *AMP* направлялся на дискриминатор постоянного порога *CFD* (ORTEC 584) для процесса синхронизации (рис. 4).

На дискриминатор, устанавливающий постоянный порог, поступал выходной импульс усилителя, который умножался на коэффициент f для получения желаемого выходного сигнала. Входной сигнал также инвертировался и задерживался на время, превышающее время нарастания импульса (время, необходимое для роста сигнала от 10 до 90% от его амплитуды). Сумма основного, а также задержанного и инвертированного импульсов формировала выходной биполярный сигнал



Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки. *АМР* – усилитель; *СFD* – дискриминатор с постоянным порогом; *TAC* – амплитудно-временной преобразователь; *D* – временная задержка; *FC* – модуль совпадений; *MCA* – многоканальный анализатор.



Рис. 3. Аналоговый выход МРРС.



Рис. 4. Форма униполярного выходного сигнала усилителя.

[11]. Для подавления шумовых импульсов порог дискриминации установлен равным 10 мВ.

Выходы дискриминатора с постоянным порогом подключались к входам "start" и "stop" времяамплитудного преобразователя *TAC* (ORTEC 566). Преобразователь генерировал выходной сигнал синхронизации, который пропорционален интервалу времени между его сигналами *start* и *stop*. Сигналы *stop* были задержаны на 8 нс относительно сигналов *start* через устройство задержки *D* (ORTEC 425A).

Биполярный выход усилителя был подключен к входу строба времяамплитудного преобразователя, чтобы инициировать цикл считывания для линейного затвора выходного сигнала преобразователя. Выход времяамплитудного преобразователя и униполярный выход усилителя подключались соответственно к входам антисовпадения и



Рис. 5. Форма выходного сигнала модуля совпадений.

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА № 5 2021



Рис. 6. Выход компаратора МРСС.

совпадения модуля совпадений *FC* (ORTEC 414A). Форма выходного сигнала блока совпадений представлена на рис. 5.

Выход компаратора МРСС (com) и системный шум дополнительно показаны на рис. 6.

Синхронизирующие сигналы от времяамплитудного преобразователя и сигналы от усилителя подавались на модуль совпадения. В этом случае устройство принимало только сигналы детектора, запускаемые сигналами синхронизации. Выход компаратора модуля МРРС и логический выход модуля совпадений были подключены к многоканальному анализатору *MCA* (ORTEC Trump 8K). Последний регистрировал только входные сигналы, стробируемые сигналами модуля совпадений. Таким образом, в конечном итоге был получен энергетический спектр без шума, как показано на рис. 7.



**Рис. 7.** Спектры  ${}^{60}$ Со от МРСС, полученные при 33°С без использования (**a**) и с использованием (**б**) предложенной установки.



Рис. 8. Сравнение фона (красный) и спектра без шума (черный) при 20°С.



**Рис. 9.** Влияние температуры на свободный от шума спектр: красный – при 33°С, черный – при 20°С.



**Рис. 10.** Влияние температуры на свободный от шума спектр: красный – при 20°С, черный – при 33°С.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку прямой γ-спектр от модуля МРСС содержал слишком много импульсов электронного шума, был разработан спектрометр для подавления шумовых сигналов и накопления свободного от шума γ-спектра. После многочисленных испытаний с помощью модуля SiPM и предложенного спектрометра был получен экспериментальный γ-спектр<sup>60</sup>Со с подавленным шумом. Использованный спектрометр успешно уменьшил шумовые составляющие и позволил получить

чистый γ-спектр с помощью метода временной привязки с постоянным порогом. Экспериментальные спектры при температуре среды 33°С без использования (рис. 7а) и с использованием (рис. 7б) предлагаемой установки показаны на рис. 7.

Предложенная установка выявила пики 1.17 и 1.33 МэВ, которые исчезали в шуме. Отличие хорошо видно на спектрах на рис. 7а и 76.

Сравнение спектральных характеристик используемой установки с источником и без него показано на рис. 8. Как видно из рисунка, фоновые отсчеты с использованием предложенной установки меньше, чем фоновые отсчеты при температуре окружающей среды  $20^{\circ}$ С, что можно считать еще одним показателем того, что предложенная установка эффективна при подавлении шума.

Влияние температуры среды на способность установки выявлять пики показано на рис. 9 и 10. На этих рисунках приведены спектры при средних температурах 20 и 33°С. Спектры от источника на этих рисунках совпадают. Согласно рис. 9, число фоновых сигналов при температуре 33°С выше, чем при 20°С. Рис. 10 показывает, что пики при температуре 20°С выше, чем при температуре 33°С.

Энергетическое разрешение (полная ширина на половине высоты) рассчитывалось с помощью программного обеспечения многоканального анализатора. При понижении температуры энергетическое разрешение улучшилось. Для γ-пика с энергией 1.17 МэВ разрешение составило 2.25% при 33°С и 2.14% при 20°С, а для γ-пика с энергией 1.33 МэВ – 2.15% (33°С) и 2.04% (20°С).

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит доктора С. Celiktas за его помощь в проведении эксперимента и ценный вклад в исследование. Работа поддержана Советом по научно-техническим исследованиям Турции (проект № 121F012) и Центром науки и технологий Эгейского университета (Center of Science and Technology EBILTEM of Ege University), проект № 12 BIL 004.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Multi-pixel Photon Counters web site, https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/opticalsensors/mppc/index.html
- Klanner R. // Nucl. Instrum and Meth. Phys. Res. A. 2019. V. 926. P. 36. https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.083
- Piemonte C., Gola A. // Nucl. Instrum and Meth. Phys. Res. A. 2019. V. 926. P. 2. https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.119
- Bisogni M.G., Guerra A.D., Belcari N. // Nucl. Instrum and Meth. Phys. Res. 2019. V. 926. P. 118. https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.10.175

- Simon F. // Nucl. Instrum and Meth. Phys. Res. A. 2019. V. 926. P. 85. https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.042
- Kobylka M.G., Moszynski M., Szczesniak T. // Nucl. Instrum and Meth. Phys. Res. A. 2019. V. 926. P. 129. https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.10.065
- Fedorov A., Gurinovich V., Guzov V., Dosovitskiy G., Korzhik M., Kozhemyakin V., Lopatik A., Kozlov D., Mechhinsky V., Retivov V. // Nucl. Eng. and Tech. 2020. V. 52. P. 2306. https://doi.org/10.1016/j.net.2020.03.012
- Santoro R., Caccia M., Ampilogov N., Malinverno L., Allwork C., Ellis M., Abba A., Caponio F., Cusimano A. // J. Instrum. 2020. V. 15. P. C05053. https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/05/C05053
- 9. *Tsoulfanidis N.* Measurements and Detection Radiation, USA: Taylor & Francais, 1995.
- 10. *Leo R.W.* Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Germany: Springer-Verlag, 1987.
- 11. *Knoll G.F.* Radiation Detection and Measurement, New York: John Wiley & Sons. Inc, 2000.