

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

АЛЬФА-ДЕТЕКТОР ТИПА СПИНТАРИСКОП НА ОСНОВЕ МНОГОПИКСЕЛЬНОГО СЧЕТЧИКА ФОТОНОВ

© 2022 г. Elif Ebru Ermis^{a,*}, Cuneysel Celik^b

^a Izmir Tinaztepe University, Vocational School of Health Services, Medical Imaging Techniques Department, 35400, Buca, Izmir, TURKEY

^b Ege University, Faculty of Science, Physics Department, 35100, Bornova, Izmir, TURKEY

*e-mail: elermis@hotmail.com

Поступила в редакцию 03.03.2022 г.

После доработки 20.03.2022 г.

Принята к публикации 29.03.2022 г.

Описан детектор α -частиц, созданный на основе многопиксельного счетчика фотонов (MPPC — Multi-Pixel Photon Counter) с использованием пластины с ZnS(Ag), называемой “спинтарископом”, размещенной перед окном MPPC. Для устранения значительной роли шумов в α -спектре ^{226}Ra , полученном с помощью MPPC, был применен метод временной привязки с постоянным порогом. Полученные результаты показали, что использованный метод оказался весьма успешным для получения выделяющегося над шумом α -спектра и улучшения энергетического разрешения α -пика. На основании этого был сделан вывод, что MPPC со спинтарископом можно использовать в качестве α -детектора, что позволяет улучшить разрешение α -пика.

DOI: 10.31857/S0032816222050044

ВВЕДЕНИЕ

Многопиксельный счетчик фотонов (MPPC — Multi-Pixel Photon Counter) — это вариант полупроводникового прибора, называемого SiPM (кремниевый фотоумножитель). Это новый тип счетчика фотонов. Он обладает высокой эффективностью регистрации фотонов и может использоваться в различных приложениях для обнаружения слабого светового сигнала на уровне счета отдельных фотонов. MPPC может заменить обычные детекторы, используемые до настоящего времени для регистрации фотонов [1].

MPPC способен регистрировать отдельные сцинтилляции, производимые α -частицами при

бомбардировке слоя ZnS(Ag) [2]. Первым прибором, способным регистрировать отдельные частицы, был спинтарископ, изобретенный Уильямом Круксом в 1903 году. Было обнаружено, что свечение экрана из сульфида цинка при воздействии α -частиц состоит из ряда отдельных мерцающих световых точек, яркость которых достаточна для наблюдения человеческим глазом [3].

Временные методы измерения могут быть использованы для разделения частиц различных типов на основе различных временных характеристик их импульсов [4]. Один из наиболее эффективных методов — это метод временной привязки с постоянным порогом. В этом методе входящий



Рис. 1. Фотография использованного модуля MPPC с источником излучений.



Рис. 2. Фотография пластины спинтарископа.

импульс сначала разделяется на две части, причем одна часть задерживается на время, равное длительности роста импульса от порога до амплитудного значения, а другая часть инвертируется и ослабляется определенным образом. Затем они суммируются для получения биполярного импульса [5].

Исторический обзор спинтарископа и регистрации сцинтилляций был сделан Kolar and Hollander [6]. Gazzola et al. в [7] исследовали дискриминацию α -частиц путем анализа сцинтилляционного света, собранного SiPM. Оценка характеристик α -детек-

тирования четырех различных сцинтилляторов с использованием ФЭУ и SiPM была проведена Morishita et al. [8], которые предложили для одновременного обнаружения α -, β - и γ -излучения использовать детектор типа фосвич, включающий SiPM [9]. Авторы работы [8] разработали α -, β -спектрометр на основе органических сцинтилляторов для измерения радона [10].

В данном исследовании α -спектр радиоизотопа ^{226}Ra был получен с помощью пластины спинтарископа и МРРС. Поскольку в сигналах от МРРС значительную роль играют шумы, был предложен спектрометр с методом временной привязки с постоянным порогом, чтобы отличать шумовые сигналы от исходных α -сигналов, что позволяет получить более четкий α -спектр и улучшить разрешение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В экспериментах использовался стандартный модуль МРРС (C10507-11-100U) фирмы Hamamatsu, содержащий полупроводниковый сенсор SiPM. Модуль имел аналоговый и цифровой выходы, напряжение подавалось через порт USB компьютера. Фотография использованного модуля показана на рис. 1.

Для регистрации α -частиц использовалась пластина спинтарископа толщиной 0.25 мм, состоявшая из слоя активированного серебром сульфида цинка ($\text{ZnS}(\text{Ag})$), нанесенного на прозрачную подложку. Фотография спинтарископа

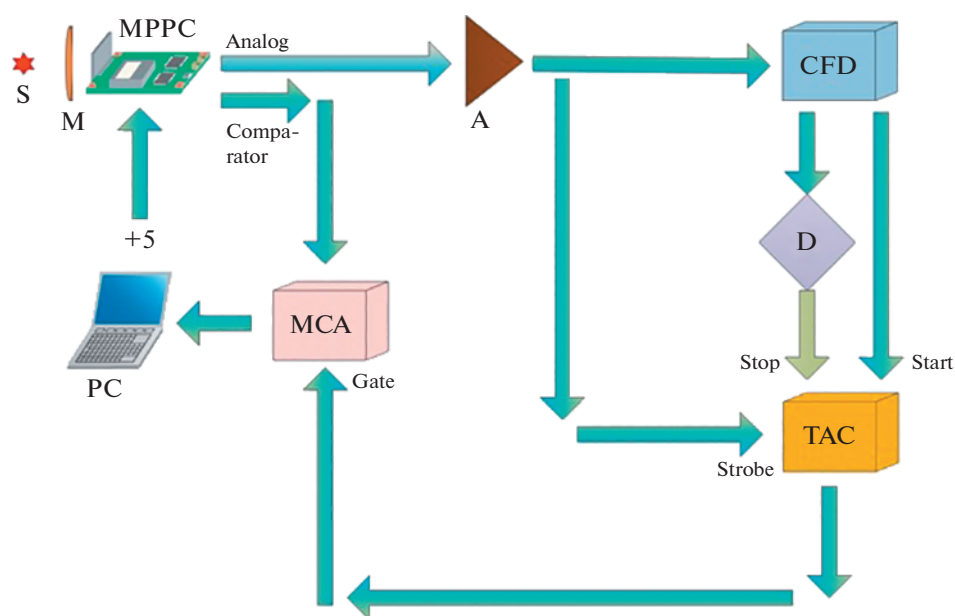


Рис. 3. Схема спектрометра. S — источник; M — $\text{ZnS}(\text{Ag})$ -пластина спинтарископа; A — основной усилитель ORTEC 671; CFD — дискриминатор с постоянным порогом ORTEC 584; D — блок задержки ORTEC 425A; TAC — времяамплитудный конвертер ORTEC 566; MCA — многоканальный анализатор ORTEC Easy MCA 2k.

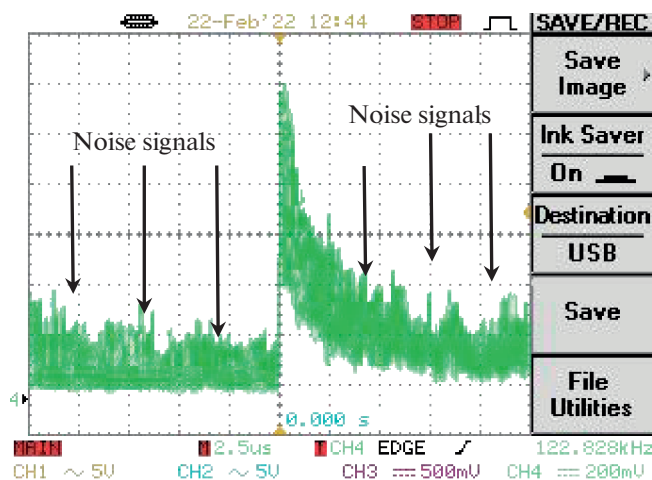


Рис. 4. Аналоговый сигнал с выхода MPPC.

приведена на рис. 2. Облучение проводилось твердым источником ^{226}Ra с активностью 9 мКи. Число регистрируемых α -частиц определяется расстоянием между источником и пластиной: чем меньше расстояние, тем больше α -частиц попадает в спинтарископ.

Пластина размещалась между источником и окном MPPC. Максимум длины волны излучения спинтарископа составлял 450 нм. Излучение с такой длиной волны надежно регистрируется SiPM-сенсором, так как его чувствительность простирается на область 320–900 нм [11].

Для подавления электронного шума, создаваемого внешним светом, вся система помещалась в оптически герметичный корпус. Для подавления теплового шума вся система помещалась в холодильник. Во всех экспериментах время набора статистики было равно 300 с. Схема экспериментальной установки для регистрации α -частиц и получения чистых α -спектров приведена на рис. 3.

В представленной на рис. 3 схеме модуль MPPC имеет два выхода: один – аналоговый “Analog”, другой – цифровой “Comparator”, отмеченные на рис. 1. Сигнал с аналогового выхода подается на основной усилитель. Усиленный сигнал показан на рис. 4, где можно видеть заметный вклад шумов.

Устранение этого негативного шумового эффекта было очень важно для получения более четкого α -спектра. По этой причине был использован метод временной привязки с постоянным порогом, который достаточно эффективен для отделения шумовой составляющей. В связи с этим сигнал с выхода усилителя направлялся на блок CFD для процесса синхронизации. Блок CFD генерирует два выходных сигнала синхронизации с одинаковыми характеристиками. Один умножается на определенный коэффициент f для соответ-

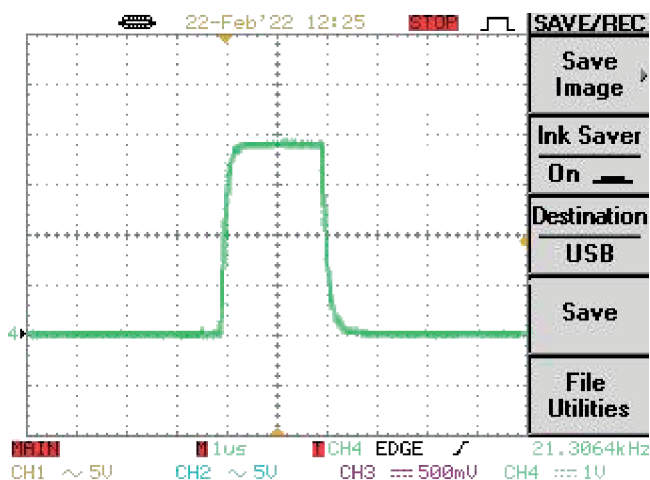


Рис. 5. Форма выходного сигнала блока TAC.

ствия необходимой временной доле амплитуды. Другой сигнал инвертируется и задерживается на время, превышающее время нарастания импульса (время между 10% и 90% от амплитуды сигнала). Затем задержанные и инвертированные сигналы суммируются для формирования окончательного выходного сигнала. Подробное объяснение метода можно найти в [12]. Временные выходы CFD были подключены к входам “Start” и “Stop” время-амплитудного конвертера (TAC), который формирует сигнал синхронизации, пропорциональный временному интервалу между его входами “Start” и “Stop”. Блок задержки задавал время задержки, равное 16 нс. Форма выходного сигнала TAC представлена на рис. 5.

Выходной сигнал TAC управлял воротами MCA. Цифровой выход MPPC (“Comparator”) был напрямую подключен к прямому входу MCA. На рис. 6 хорошо видны шумовые сигналы с вы-

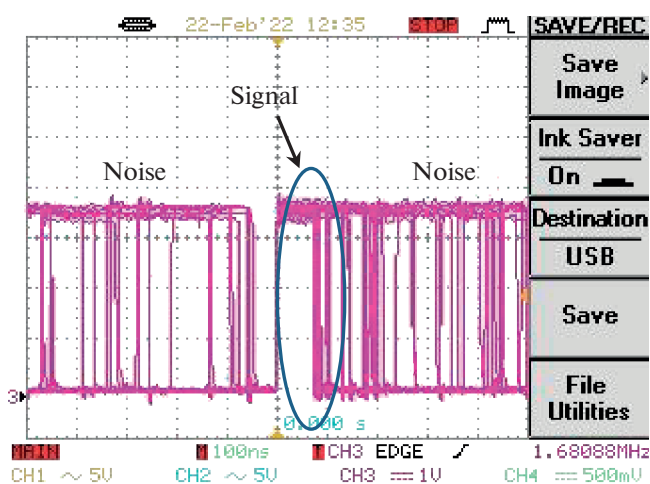


Рис. 6. Форма цифровых сигналов на выходе MPPC.

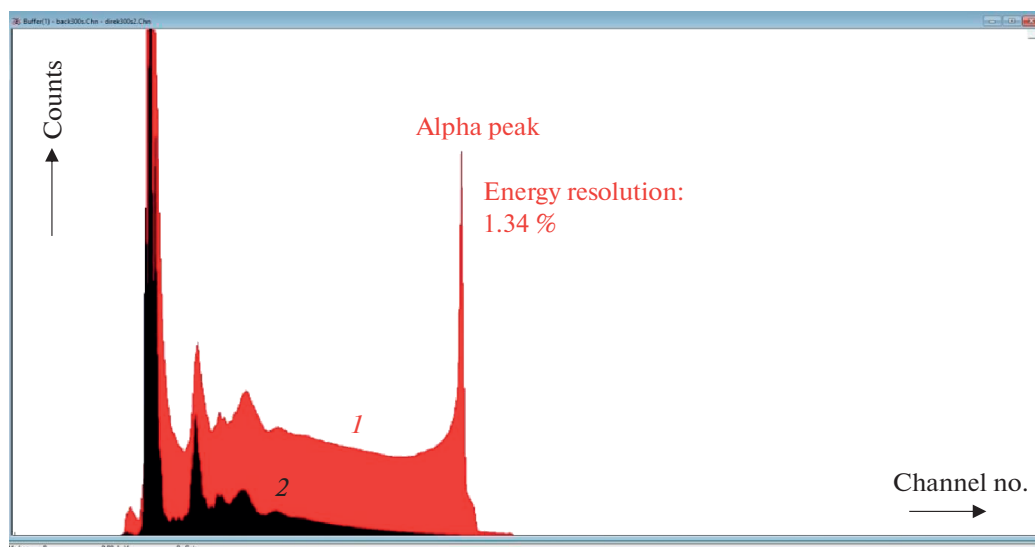


Рис. 7. Сравнение спектров от МРРС: 1 – спектр ^{226}Ra (красный); 2 – спектр фона без источника ^{226}Ra (черный).

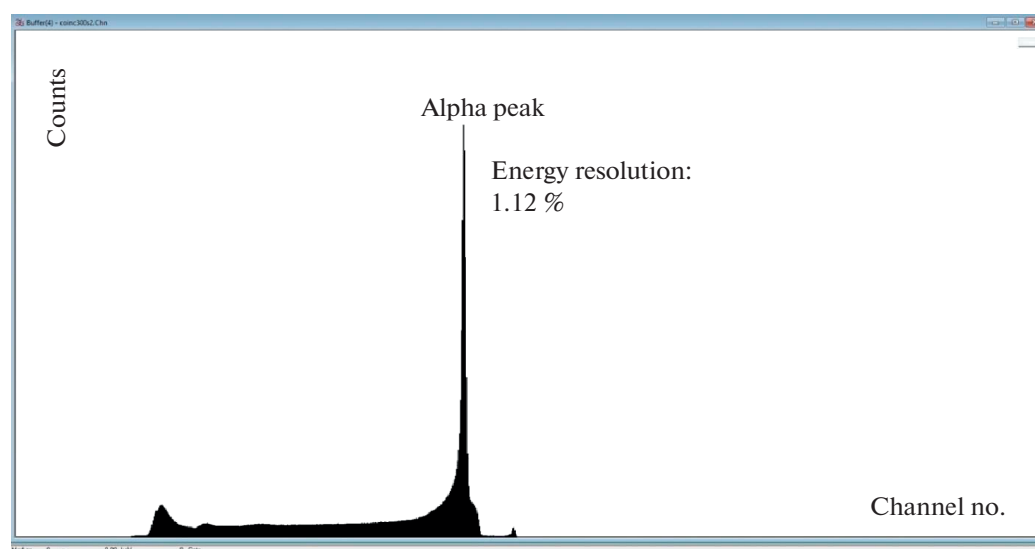


Рис. 8. Окончательный спектр, полученный с предложенным спектрометром.

хода “Comparator”, показанные на экране цифрового осциллографа. Таким образом, анализатор МСА накапливал только сигналы от α -частиц, инициированные временными, что позволяло записывать в компьютер α -спектр с подавленным шумом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение энергетических спектров с источником ^{226}Ra и без него приведено на рис. 7. На фотографии с экрана МСА отчетливо виден α -пик.

Совместная запись с двух входов анализатора МСА позволила получить очищенный от шумов

энергетический α -спектр радиоизотопа ^{226}Ra , показанный на рис. 8. Спектр на рис. 8 более четкий, устранены многие шумовые сигналы, а энергетическое разрешение α -пика было улучшено с 1.34% до 1.12%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описан альтернативный экспериментальный метод для регистрации α -частиц с использованием МРРС и пластины из слоя $\text{ZnS}(\text{Ag})$, нанесенного на прозрачную подложку (спинтарископ). Полученные результаты показали, что посредством метода временной привязки с по-

стоянным порогом можно получить более четкий α -спектр, в котором в основном подавлены электронные шумы. Кроме того, на основании полученных результатов можно предположить, что предлагаемый спектрометр можно будет использовать для получения чистых спектров α -излучения с подавленными шумами электронной системы и для других источников β -излучения.

Также полагается, что не только электронный шум, но и другие негативные эффекты, препятствующие накоплению чистого α -спектра, такие как фон, рассеяние, обратное рассеяние, окружающий свет и температура, а также старение, могут быть выделены с помощью предложенного в данной работе спектрометра.

По результатам работы можно сделать вывод, что предложенный спектрометр, состоящий из пластины спинтарископа и МРРС, за счет временного метода измерения достаточно эффективен для получения более четкого α -спектра, существенно избавленного от шумов и других негативных эффектов, даже для любого α -излучателя.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа поддержана the Scientific and Technological Research Council of TURKEY, проект № 121F012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.hamamatsu.com/us/en/product/optical-sensors/mppc.html>. Accessed March 03, 2022.
2. L'Annunziata, M.F., *Handbook of Radioactivity Analysis*, Academic Press, 2020.
3. <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull23-4/23405043136.pdf>. Accessed March 03, 2022.
4. Tsoulfanidis, N., *Measurement and Detection of Radiation*, CRC Press, 2015.
5. Leo, R.W., *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, Springer-Verlag, 1994.
6. Kolar, Z.I., Hollander, W., *Applied Radiat. Isot.*, 2004, vol. 61, p. 261, <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.03.056>
7. Gazzola, E., Lunardon, M., Collazuol, G., *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2160, p. 050017, <https://doi.org/10.1063/1.5127709>
8. Morishita, Y., Yamamoto, S., Izaki, K., Kaneko, J.H., Toui, K., Tsubota, Y., Higuchi, M., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 2014, vol. 764, p. 383, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2014.07.046>
9. Morishita, Y., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, 2022, vol. 1027, p. 166258, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.166258>
10. Morishita, Y., Yongjun, Y., Mata, L., Pozzi, S.A., Kearnfott, K.J., *Radiat. Meas.*, 2020, vol. 137, p. 106428, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106428>
11. <https://www.electronicsdatasheets.com/manufacturers/hamamatsu/parts/c1050711100u>. Accessed March 03, 2022.
12. Knoll, G.F., *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley and Sons, 2010.