

УДК 53.07

О. В. Стрекаловский, Е. И. Николенко**Регистрация альфа-частиц с помощью многопиксельных кремниевых детекторов *Timerix3***

Рассматриваются некоторые особенности работы пиксельного детектора *Timerix3*. Количество каналов в 65 536 пикселей с координатным разрешением 55 мкм, временное разрешение 1,5625 нс, удобство использования заслуженно привлекают внимание экспериментаторов. Разработанное программное обеспечение позволило провести первые эксперименты с регистрацией альфа-частиц, показавших обнадеживающие результаты.

Ключевые слова: пиксельный полупроводниковый детектор, система регистрации, *Timerix3*, регистрация альфа-частиц

Об авторах

Стрекаловский Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования электроники для установок «мегасайенс» государственного университета «Дубна». *E-mail:* stroleg1@yandex.ru. 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19.

Николенко Евгений Игоревич – студент 4-го курса кафедры интеллектуального управления техническими системами государственного университета «Дубна».

Современные специализированные интегральные схемы предоставляют новые возможности в самых различных областях человеческой деятельности. Детекторы *Timerix3* были разработаны для регистрации излучения в рамках коллаборации *Medipix* [1]. *Timerix3* – это пиксельный гибридный детектор, разработанный для обнаружения и визуализации рентгеновского излучения и заряженных частиц. Данные детекторы имеют широкую область применения, начиная с физики, заканчивая разработками в области медицины. Яркими примерами является применение *Timerix* в экспериментах в ЦЕРН [2], в ионно-лучевой терапии [3]. В декабре 2014 года детекторы *Timerix* были установлены на ракете NASA “*Orion*” для измерения распределения дозы излучения на орбите [4].

Особенности детектора

Timerix3 представляет (рис. 1) собой активный сенсорный слой (кремний толщиной 350–500 мкм), соединённый с сегментированной поверхностью специально разработанной заказной интегральной схемы ASIC (CMOS 0,13 мкм технология), обеспечивающей чтение информации. Получается матрица 256×256 пикселей (шаг пикселя 55 мкм). Частицы, взаимодействующие в активном материале детектора, создают носители зарядов,

которые дрейфуют к пикселизованному электроду, где они собираются. Для каждого пикселя одновременно фиксируется и время появления сигнала (с временным разрешением 1,5625 нс) и заряд, определяемый количеством созданных носителей, по которому измеряют энергию.

В каждом из 65536 каналов интегральной схемы имеется зарядо-чувствительный дифференциальный СМОП предусилитель на базе схемы Крумменахера [5]. Вместе с дискриминатором они формируют сигнал (рис. 2), пересечение порогового уровня которого определяет временной интервал, длительность которого пропорциональна попавшему в пиксел заряду. Определение длительности связано с простым подсчетом числа импульсов генератора, как в преобразователе Вилкинсона. Для определения момента попадания частицы в детектор применяется два генератора, частотой 40 МГц и 640 МГц. Первый запускается в момент запуска набора данных, и глубина регистров для хранения результата позволяют непрерывную работу до 20 дней (с системой регистрации «Катерина» [6]). Генератор 640 МГц запускается в момент пересечения сигналом порога и подсчитывается длительность интервала до первого нарастающего фронта основного генератора. Обеспечивается точность временной привязки на уровне 1,56 нс.

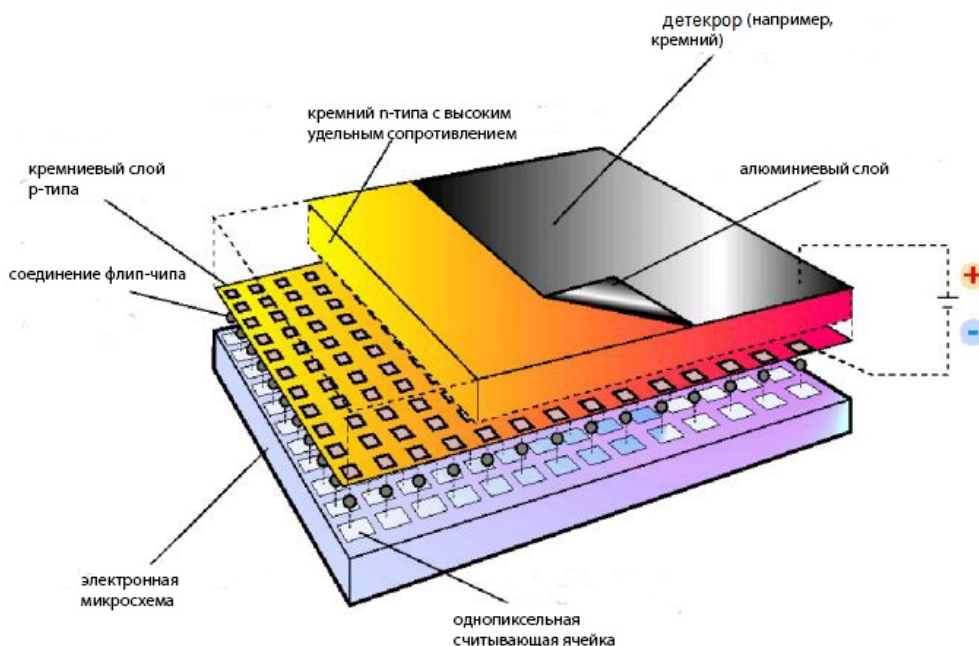


Рис. 1. Конструкция пиксельного детектора *Timepix3*

Eur. Phys. J. C (2017) 77:421

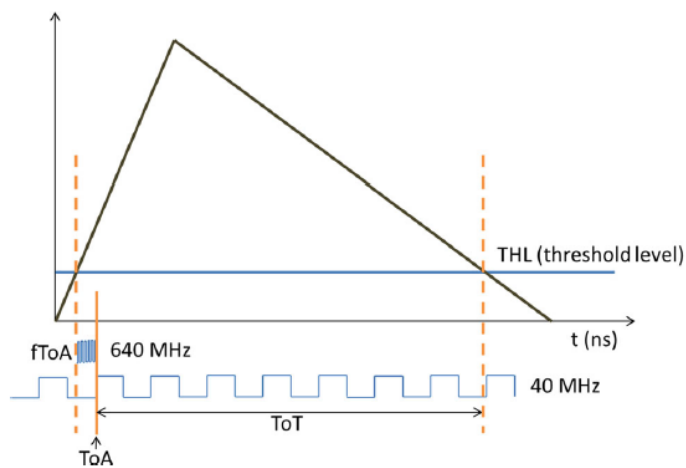


Рис. 2. Механизм преобразования в канале детектора

Стандартная калибровка необходима для каждого пикселя и делается по линиям характеристического рентгеновского излучения (рис. 3) [7; 8]. Эти данные хранятся в ка-

либровочных файлах. Используя эти файлы, можно получить энергию, пришедшую на пиксел по формуле:

$$E = \frac{a \cdot t + E_{\text{код}} - b + \sqrt{(b + a \cdot t - E_{\text{код}})^2 + 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a};$$

где a, b, c, t – данные калибровочных файлов; $E_{\text{код}}$ – значение, пришедшее на пиксел.

Для сбора данных с детектора *Timepix3* используется управляющий модуль *Katherine*,

подключенный к компьютеру по сети *Ethernet*, и программа сбора *BurdaMan*. Формируется текстовый файл с информацией о номере сработавшего регистрирующего пикселя, значении счетчиков времени и счетчика энергии. Для предварительного анализа данных нами

разработано программное обеспечение в среде *LabView2020* (рис. 4).

Показано распределение энергии и времени для каждого пикселя в зарегистрированном кластере от альфа-частицы.

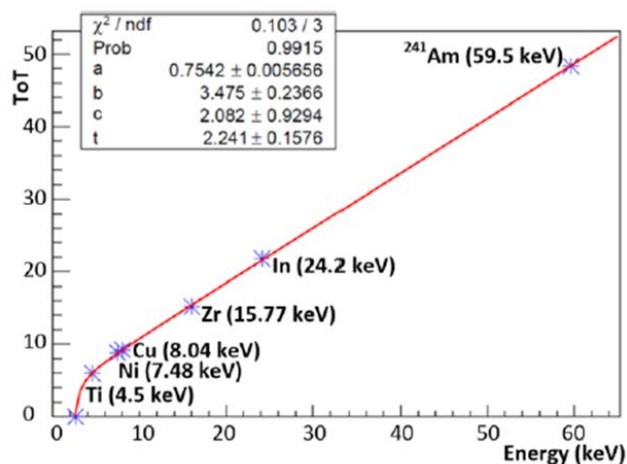


Рис. 3. Зависимость зарегистрированного кода от энергии, отмечены точки, по которым проводится калибровка

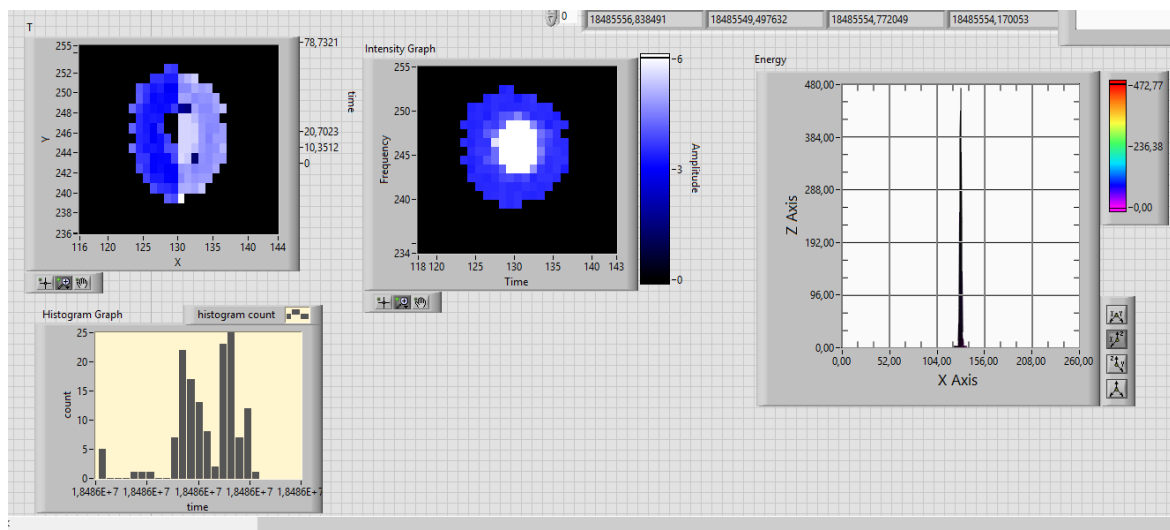


Рис. 4. Панель оператора программы предварительной обработки данных детектора *Timex3*

Задача данной работы понять, можно ли применить этот детектор для регистрации альфа-частиц с энергиями в несколько МэВ, когда многие пиксели образовавшегося кластера попадают в области насыщения.

Экспериментальная часть

Проверкой правильности работы системы будет сравнение известного энергетического спектра, полученного от источника с помощью *Timex3* и от другого детектора,

в нашем случае кремниевого *PiN*-диода. Радиоактивный источник ^{233}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu с тремя явно выраженными линиями был установлен на расстоянии 1 см от поверхности *PiN*-детектора, подключенного к анализатору *CAEN*, и набранный спектр сравнивается со

спектром, зарегистрированным *Timerix3*. Обычный воздух для альфа-частиц является плотной средой, приводящим как к потере примерно 1 МэВ энергии, так и к размыванию спектра (рис. 5). Тем не менее, можно увидеть разделение линий 5155 и 5439 КэВ.

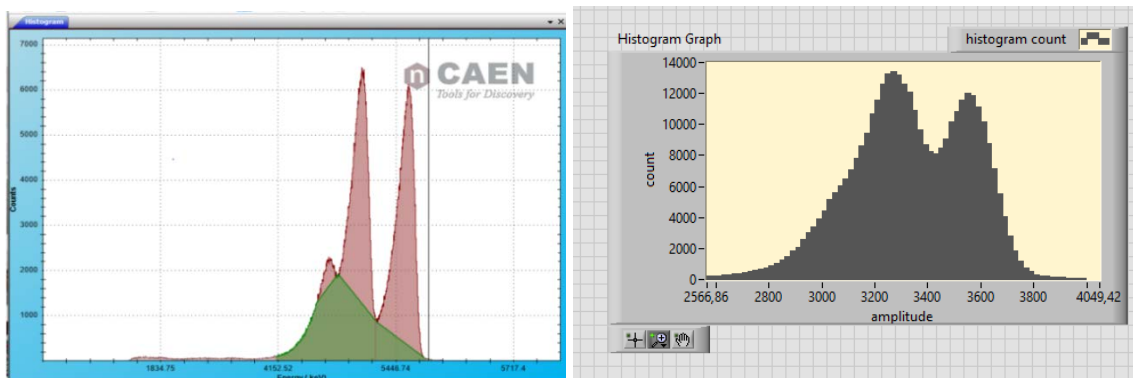


Рис. 5. Спектр альфа-частиц от радиоактивного источника ^{233}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu , набранный с помощью *PiN*-диода (слева) и детектора *Timerix3* (справа)

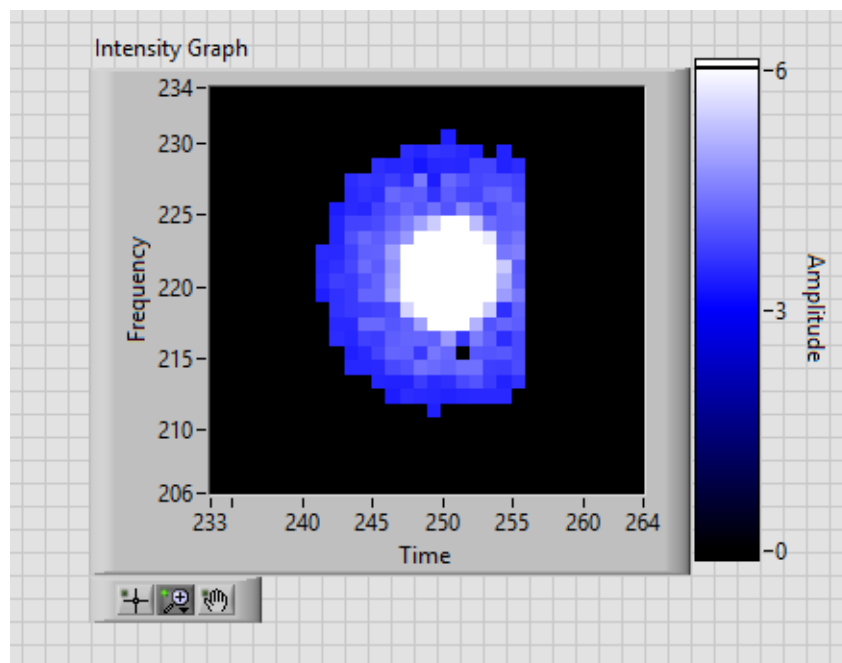


Рис. 6. Зарегистрированный кластер от альфа-частицы, попавший близко к краю детектора

Линия, связанная с ^{233}U , оказалась «замазана» альфа-частицами с энергиями, которые меньше истинных значений. Одним из причин является наличие частиц, попавших ближе к краям рабочей области детектора. Так как вклад в энергию определяется суммой энергии всех пикселей в кластере, такие обрезанные кластеры (рис. 6) искажают часть спектра с меньшими энергиями.

Выводы

Особенности детектора *Timerix3*, связанные с его исключительным пространственным разрешением (55 мкм), хорошим временным разрешением (1,56 нс), удобным способом регистрации, позволяют проводить разные эксперименты не только с рентгеновскими квантами, но и с альфа-частицами. Определение энергии альфа-частиц по размеру и

суммарной энергии регистрируемых кластеров требует дальнейшего исследования. Эксперименты, связанные с регистрацией альфа-частиц, предполагают работу в вакууме. Это требует специальной системы подключения детектора и охлаждения, которые разрабатываются в настоящее время.

Библиографический список

1. Burian P., Broulím P., Bergman B.B., Georgiev V., Pospishil S., Pushman L., Zich J. Timepix3 detector network at ATLAS experiment // Journal of Instrumentation. 2018. JINST 13. C11024.
2. Burian P., Broulim P., Jars M., Georgiev V., Bergmann B.Katherine: ethernet embedded readout interface for Timepix3 // Journal of Instrumentation. 2017. JINST 12. C11001.
3. Jakubek J. Precise energy calibration of pixel detector working in time-over-threshold // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 633. 2011. P. 262–266.
4. Kruppenacher F. Pixel detectors with local intelligence: an IC designer point of view // Nucl. Inst. And Meth. 1991. A305. P. 527.
5. MediPix3. – Электронные текстовые данные. Medipix collaboration. – URL: <https://medipix.web.cern.ch> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 16.10.2020).
6. Timepix Detector for Imaging in Ion Beam Radiotherapy. – Электронные текстовые данные. Medipix collaboration. – URL: <https://medipix.web.cern.ch/timepix-detector-imaging-ion-beam-radiotherapy> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 11.11.2020).
7. Timepix in NASA's Orion Rocket – Электронные текстовые данные. Medipix collaboration. – URL: <https://medipix.web.cern.ch/timepix-nasa-orion-rocket> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 15.11.2020).
8. Turecek D., Jakubek J., Kroupa M., Soukup P. Energy calibration of pixel detector working in time-over-threshold mode using test pulses // IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, USA. 2011. P. 1722.

*Поступила в редакцию
22.10.2020*