

УДК 621.383.523

ДЕТЕКТОРЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ Малютина-Бронская В.В., Сорока С.А., Сенькевич Д.В., Ермаков О.В.

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной работе представлены результаты разработки и исследования детекторов ионизирующих излучений на базе кремниевых лавинных фотодиодов и фотоумножителей. Разработана конструкция и собран экспериментальный образец детектора регистрации ионизирующего излучения для регистрации излучения диапазоне энергий от 10 кэВ до 2 МэВ.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, детектор ионизирующего излучения.

DETECTORS FOR REGISTRATION OF IONIZING RADIATION Malyutina-Bronskaya V., Soroka S., Senkevich D., Ermakov O.

SSPA of Optics, Optoelectronics and Laser Technology
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. This paper presents the results of the development and research of ionizing radiation detectors based on silicon avalanche photodiodes and photomultipliers. A design was developed and an experimental sample of the detector for detecting ionizing radiation has been assembled for detecting the radiation in the energy range from 10 keV to 2 MeV.

Key words: ionizing radiation, detector of ionizing radiation.

Адрес для переписки: Малютина-Бронская В.В., пр. Независимости, 68-1, Минск 220072, Беларусь
e-mail: malyutina@oelt.basnet.by

Введение. Оптические люминесцентные детекторы сцинтилляционного типа широко применяются в комплексах и системах радиационного, радиоэкологического и радиологического мониторинга для обнаружения делящихся и радиоактивных веществ. Такие детекторы все больше применяются для радиационного контроля природного и вторичного сырья и материалов, используемых в металлургической промышленности и строительной индустрии. Замеры радиационного фона – важный элемент защиты персонала атомных станций и некоторых гражданских и военных объектов. Для данной цели необходимы миниатюрные детекторы ионизирующих излучений с высокой чувствительностью и, в отличие от вакуумных, низким напряжением питания, что может быть реализовано с помощью Si-ФЭУ [3, 4].

Одним из методов регистрации излучения является сцинтилляционный метод, основанный на регистрации коротких вспышек света – сцинтилляций, возникающих в некоторых веществах при прохождении через них заряженных частиц, квантов ионизирующего излучения [1, 2].

Актуальность решаемой проблемы заключается в необходимости разработки импортозаменяющих оптоэлектронных устройств. Целью работы была разработка конструкции детектора, сборка экспериментального образца и исследование его работоспособности.

Методика эксперимента. Основная задача при разработке детекторов ионизирующих излучений заключается в согласованности оптических параметров: области спектральной чувствительности приемника излучения (ЛФД или Si-ФЭУ) и спектрального диапазона фотолюминесценции

сцинтилляционного материала. Существует большое разнообразие органических и неорганических сцинтилляторов, и их выбор определяется прежде всего областью применения [3]. Рабочий спектральный диапазон фотоприемников: кремниевых лавинных фотодиодов (ЛФД) или кремниевого фотоумножителя (Si-ФЭУ) составляет от 400 нм до 1000 нм [4].

Для детекторов гамма-излучения подходит сцинтиллятор CsI (Tl) [4]. На рис. 1 показаны спектральная чувствительность Si-ФЭУ при перенапряжении 4В (1) и спектр излучения образцов кристаллов CsI (Tl) при однократном возбуждении на длине волны 308 нм [6].

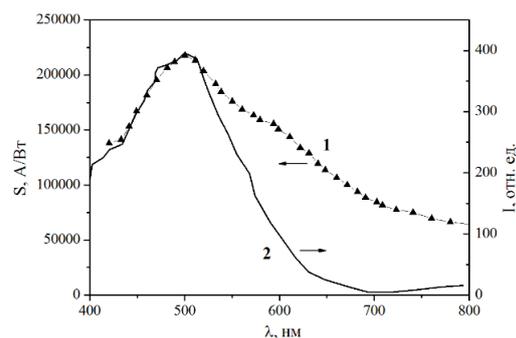
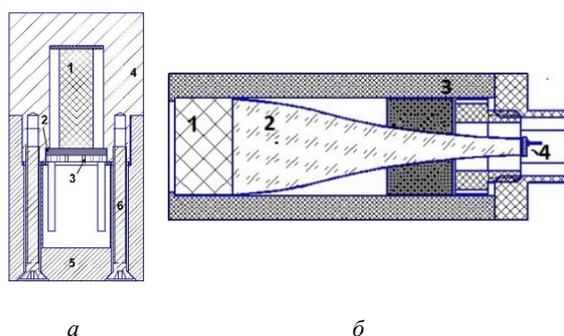


Рисунок 1 – Спектральная чувствительность Si-ФЭУ при перенапряжении 4В (1) и спектр излучения образцов кристаллов CsI (Tl) при однократном возбуждении на длине волны 308 нм [6] (2)

Как можно видеть, спектральные характеристики (особенно в максимуме) сцинтиллятора и фотодетектора хорошо совпадают, что является определяющим фактором практического применения Si-ФЭУ для детектора гамма-излучения.

На рис. 2 показаны структурные схемы разработанных макетов детекторов ионизирующего излучения (гамма- и бета-излучения) в сборе. Макет датчика гамма излучения реализован на базе сцинтиллятора и кремниевого фотоумножителя. В качестве сцинтиллятора использовался кристалл Cs(Tl) размером 7×7×30 мм. В качестве детектора оптического излучения использовался Si- ФЭУ с размером приемной части 6х6 мм, с размером одиночной приемной ячейки 35×35 мкм и с количеством приемных ячеек 19 000 шт. Эффективностью регистрации фотонов для этого фотоумножителя на длине волны 550 нм (длина волны излучения сцинтиллятора CsI(Tl)) составляет 25 %. Квант ионизирующего излучения, попадая в сцинтиллятор генерирует в нем вспышку оптического излучения, интенсивность которой пропорциональна энергии падающего кванта.



а: 1 – сцинтиллятор; 2 – Si ФЭУ; 3 – плата для Si – ФЭУ; 4 – корпус; 5 – крепежные винты;
б: 1 – сцинтиллятор; 2 – фокон; 3 – корпус; 4 – ЛФД

Рисунок 2 – Структурные схемы датчиков регистрации ионизирующего излучения в сборе на базе Si-ФЭУ (а) и ЛФД (б)

Оптическое излучение поглощается фотоприемником и преобразуется в электрический сигнал, который дальше, с помощью схемы регистрации и обработки усиливается, формируется и преобразуется в ТТЛ формат для дальнейшей передачи на устройство визуализации (осциллограф, компьютер или т. п.). Вся конструкция – сцинтиллятор, Si- ФЭУ или ЛФД на плате помещены в светонепроницаемый корпус. Конструкция детектора определяется размером фоточувствительной площадки фотоприемника и видом ионизирующего излучения.

Для регистрации бета-излучения использовали источник на основе изотопа стронция 90 с поверхностной активностью 5500 Бк/ см².

Для визуализации информации с датчика ионизирующего излучения использовался осциллограф Tektronix MDO 4054. К детектору приближали источник излучения и сигнал с Si ФЭУ через зарядочувствительный усилитель и формирователь подавался на вход осциллографа. Фиксировалась амплитуда выходного сигнала.

Результаты исследований. На рис. 3 представлена осциллограмма импульсов бета-излучения регистрируемого разработанным детектором на основе Si-ФЭУ в течении 2 мсек.

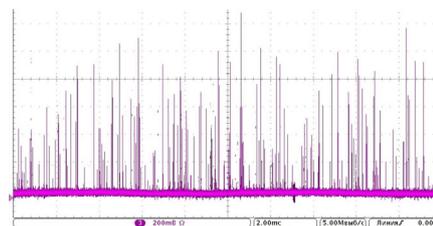


Рисунок 3 – Осциллограмма импульсов регистрируемых датчиком ионизирующих излучений на базе Si-ФЭУ

Световой выход сцинтиллятора CsI(Tl)) составляет около 40 000 фотонов/МэВ поглощенной энергии, а эффективность передачи света со сцинтиллятора на кремниевый фотоумножитель составляет 50 %. При этих характеристиках используемый Si- ФЭУ регистрирует 5 000 фотонов/МэВ поглощенной сцинтиллятором энергии кванта. Это позволяет регистрировать излучение в диапазоне энергии от нескольких КэВ до 2 МэВ с хорошей линейностью.

Закключение. Таким образом, были разработаны и исследованы конструкции детекторов ионизирующих излучений на базе кремниевых лавинных фотодиодов и фотоумножителей. Полученные результаты исследований показали, что на базе разработанных макетов датчиков ионизирующих излучений возможно реализовать спектрометр для регистрации излучения диапазоне энергий от 10 кэВ до 2 МэВ.

Литература

1. Марков, В. Ф. Технология тонкопленочных твердотельных сенсоров: учеб, пособие / В. Ф. Марков. – Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2019. – С. 148.
2. Шендрик, Р. Ю. Методы экспериментальной физики конденсированного состояния. Часть 3. Введение в физику сцинтилляторов: Учебное пособие / Р. Ю. Шендрик. – Иркутск: изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013. – 110 с.
3. Гулаков, И. Р. Регистрация ионизирующих излучений : учебное пособие / И. Р. Гулаков. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 287 с.
4. Кремниевые фотоприемники с внутренним усилением широкого спектра применения / В. Б. Залесский [и др.] // Сб. материалов 13-й международной научно-технической конференции “Приборостроение–2020”, Минск – БНТУ – 2020. – С. 393–394.
5. Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering. – Springer, 2006.
6. Shahmaleki, S. Investigation on the scintillation characteristics of CsI(Tl) crystal with Eu dopant: Monte Carlo simulation using GATE code and experimental results / S. Shahmaleki, F. Rahmani // Optik. – 2020. – Vol. 201. – P. 163492.