

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].

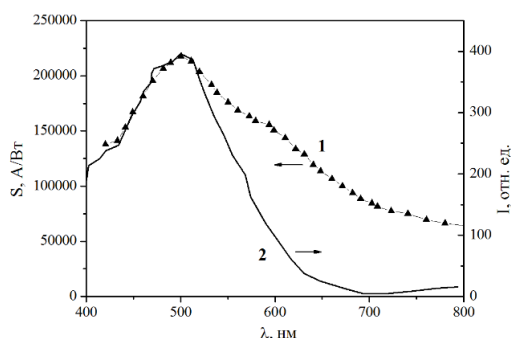
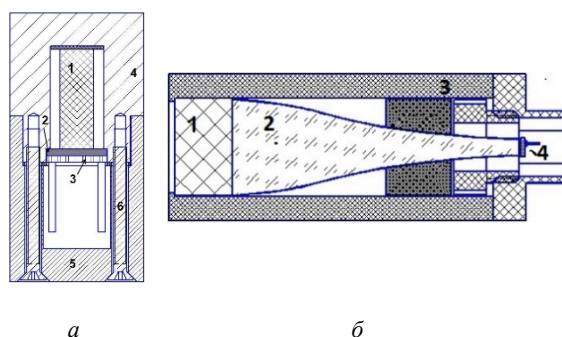


Рисунок 1 – Спектральная чувствительность Si-ФЭУ при перенапряжении 4В (1) и спектр излучения образцов кристаллов CsI (Tl) при однократном возбуждении на длине волны 308 нм [6] (2)

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 TTL 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/ см<sup>2</sup>.

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.

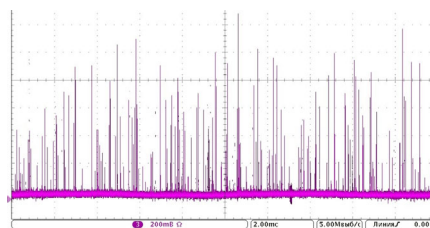


Рисунок 3 – Осциллограмма импульсов регистрируемых датчиком ионизирующих излучений на базе Si-ФЭУ

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.

**Заключение.** 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.