

УДК 53.087.92

КРЕМНИЕВЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ С ВНУТРЕННИМ УСИЛЕНИЕМ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ

Сорока С.А.¹, Залесский В.Б.¹, Малютин-Бронская В.В.¹, Лемешевская А.М.², Солодуха В.В.²

¹ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь

²Филиал Научно-технический центр «Белмикросистемы»
ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга ИНТЕГРАЛ
Минск, Республика Беларусь

Введение. В последние годы в мире возрос интерес к разработке приборов, включающих оптоэлектронные компоненты. В технических приложениях (атомная энергетика, астрономия, оптика и др.) существует необходимость регистрации и детектирования очень слабых световых потоков малой интенсивности. Один из таких приборов являются оптические детекторы на эффекте лавинного умножения [1–2]. Лавинные фотодетекторы или фотодиоды (ЛФД) обеспечивают внутреннее усиление регистрируемого сигнала в объеме полупроводника в $50 \div 1000$ раз.

Лавинные мультипиксельные фотодиоды или кремниевые фотоумножители (SiФЭУ) в настоящее время являются быстро развивающимся и очень перспективным классом фотодетекторов, который становится основой для решения широкого круга научных и прикладных задач, требующих регистрации импульсного излучения малой интенсивности. Характеристики современных детекторов позволяют не только заменять вакуумные ФЭУ во многих применениях, но и создавать на их основе качественно новые системы, содержащие тысячи каналов регистрации.

Отличительными особенностями приборов данного типа являются компактные размеры, высокая чувствительность даже к малым световым сигналам, хорошая квантовая эффективность и низкая стоимость.

Области применения ЛФД: оптическая локация и дальнометрия, регистрация ионизирующих излучений, ядерная физика, медицинские приборы. SiФЭУ находят применение в различных областях промышленности, научных исследованиях и телекоммуникациях, таких как квантовая криптография, астрономические ЛИДАРы.

В данной работе представлены два перспективных типа оптических детекторов – лавинный фотодиод (ЛФД) и кремниевый фотоумножитель (SiФЭУ), разработанные ОАО «ИНТЕГРАЛ» совместно с ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника».

Лавинный фотодиод. ЛФД разработанные на ОАО «ИНТЕГРАЛ» имеют: высокое отношение сигнал/шум; высокую обнаружительную способность; низкую цену при конкурентных характеристиках (характеристики разработанных ЛФД соответствуют характеристикам лучших зарубежных аналогов); спектральный диапазон

чувствительности: 0,35–1,06 мкм. Аналогов данному прибору в СНГ нет.

Разработанные приборы имеют диаметр активной области 200 мкм, 500 мкм и 1 000 мкм. Есть две группы приборов по пробивным напряжениям – 200–450 В и 140–200 В. На рисунке 1 показан внешний вид и спектральная чувствительность ЛФД S (А/Вт), приведенная к единице падающей мощности.

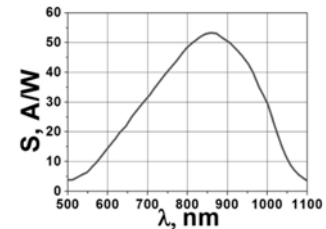
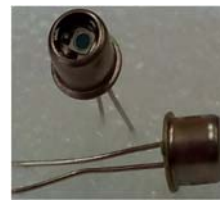


Рисунок 1 – Внешний вид ЛФД в корпусе КТ-1-7 и спектральная чувствительность ЛФД

Максимум спектральной чувствительности разработанных ЛФД находится в области $\lambda = 830$ нм и составляет $S = 0,26$ А/Вт при нулевом смещении. В предпробойном режиме при напряжении смещения 230–250 В чувствительность S может достигать значений 60–100 А/Вт (для прибора с диаметром светочувствительной области 500 мкм). В таблице 1 представлены основные параметры ЛФД с максимальным размером светочувствительной области.

Таблица 1 – Основные параметры ЛФД КОФ101 и КОФ 102

Наименование параметра, буквенное обозначение, единица измерения, режим измерения	Маркировка ЛФД КОФ	
	101А	102В
Напряжение лавинного пробоя, U_b , В, при $I_b = 100$ мкА	200–450	140–200
Максимальный темновой ток, I_d , А, при $U = 0,1U_b$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$
Диапазон спектральной фоточувствительности, λ , мкм, при $U = 0; 0,9U_b$ В	0,4–1,1	0,4–1,1
Коэффициент умножения, M, при $U = 0,9U_b$	30–100	30–60

Кремниевые фотоумножители работающие в гейгеровском режиме. SiФЭУ представляет собой матрицу ячеек, каждая из которых пред-

ставляет собой ЛФД и включенный последовательно с ним резистор с сопротивлением от 0,2 до 10 Мом (рисунок 2, а). Все ячейки матрицы соединены параллельно. В зависимости от применения количество отдельных ЛФД в матрице может меняться от нескольких единиц до нескольких десятков тысяч, а площадь единичного ЛФД может быть от 100 мкм² до 10 000 мкм² и более.

На рисунке 2, б показан внешний вид SiФЭУ. Он имеет рабочую площадь от 1 мм² до 10 мм² и может состоять из 100–10 000 пикселей (размером от 10×10 мкм до 50×50 мкм), каждый из которых представляет собой кремниевый ЛФД. Для уменьшения оптической и электрической связи пиксели отделены друг от друга узкими металлизированными канавками.

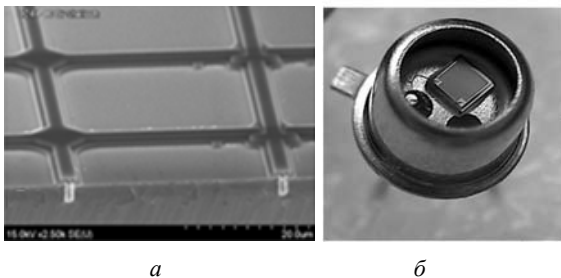


Рисунок 2 – Внешний вид многопиксельной матрицы SiФЭУ (а) и внешний вид SiФЭУ (б)

Основные достоинства SiФЭУ: высокое внутреннее усиление порядка 10⁶; малый разброс коэффициента усиления (около 10 %); невысокая чувствительность коэффициента усиления к изменению температуры и напряжения питания; эффективность регистрации видимого света на уровне вакуумных ФЭУ; возможность работы, как в режиме счета импульсов, так и в токовом режиме; хорошее временное разрешение (десятки пикосекунд); невысокое напряжение питания (25–60 В); нечувствительность к магнитному полю; компактность (размеры кристалла порядка (2×2×0,3) мм).

Получены и исследованы опытные образцы SiФЭУ с размером приемной ячейки 35×35 мкм и количеством приемных ячеек в матрице 1 004 шт.

Основные параметры опытных образцов следующие:

1. Коэффициент усиления линейно увеличивался с ростом напряжения питания в диапазоне перенапряжений от 1 до 5 В и при перенапряжении 3 В составил 10⁶.

2. Темновой счет на опытных образцах изменялся от 20 до 80 кГц при изменении перенапряжения от 1 до 5 В. При уменьшении температуры до –15 °С темновой счет уменьшался в 5 раз.

3. Величина перекрестной оптической помехи составила 7–10 %.

4. Диапазон спектральной чувствительности составляет 380–900 нм с максимумом спектральной чувствительности на длине волны 500 нм и составляет 230 000 А/Вт. для перенапряжения 4 В (рисунок 3).

5. Эффективность регистрации фотонов при перенапряжении 4 В изменяется от 25 % до 5 % в диапазоне длин волн 380–900 нм и имеет максимум в 40% на длине волны 500 нм.

Полученные опытные образцы SiФЭУ по основным параметрам не уступают конструктивно схожим образцам фирмы SiФЭУ Hamamatsu.

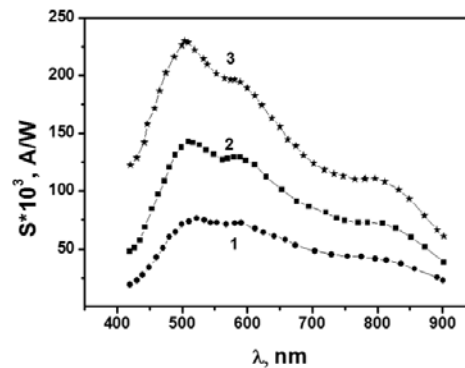


Рисунок 3 – Спектральная чувствительность SiФЭУ для значений перенапряжения 2 В, 3 В, 4 В

Интегральная спектральная чувствительность ЛФД больше (80 %), чем интегральная спектральная чувствительность Si-ФЭУ (40 %), диапазоны спектральной чувствительности хорошо совпадают со спектром излучения сцинтиллятора для обоих типов приборов.

Заключение. В настоящее время ОАО «ИНТЕГРАЛ» серийно выпускают на ОАО «ИНТЕГРАЛ» ЛФД четырех типонаименований и проводят совместную разработку с ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» линейки SiФЭУ с размерами единичной ячейки 35×35 мкм и 50×50 мкм и различными количествами ЛФД в матрице.

В ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» проводятся работы по разработке детекторов ионизирующих излучений на базе данных оптических датчиков.

Благодарности. Работа по Si-ФЭУ выполнена при финансовой поддержке Задания 2.3.4.1 программы союзного государства «Технология-СТ».

Литература

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
2. Залесский В.Б., Малышев В.С., Хатько В.В. Исследование характеристик лавинных фотодиодов с охраняемыми областями // Материалы 2-ой Международной конференции «Приборостроение-2009», Минск, Республика Беларусь, 11–13 ноября 2009 г.