

06.2;06.3;07;11

©1994

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОТОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ДУХФУНКЦИОНАЛЬНОГО ФЭУ С ОЭС ФОТОКАТОДОМ И ВЫСОКОСТАБИЛЬНОГО SiC СВЕТОДИОДА

*Ю.Ф.Бирюлин, Е.М.Круглов,  
В.В.Семенов, Ю.А.Чичикалюк*

Ранее сообщалось о физических принципах работы [1] новых двухфункциональных фотокатодов с отрицательным электронным средством (ДФКОЭС) на основе GaAsSb(Ge). На основе таких ДФК ОЭС были созданы макеты двухфункциональных ФЭУ. Их отличительная особенность — два диаметрально противоположных оптических боковых входа. Один из них обеспечивает засветку ДФК ОЭС со стороны эмиттирующей фотоэлектроны поверхности активного слоя. При этом реализуется широкополосная спектральная характеристика, определяемая коротковолновой границей пропускания материала колбы 200–350 нм и длинноволновой красной границей в интервале 900–1080 нм, задаваемой шириной запрещенной зоны используемого полупроводникового материала. Второй оптический вход позволяет освещать ДФК ОЭС с противоположной стороны (со стороны подложки фотокатодной структуры), при этом за счет варизонного оптического эффекта осуществляется узкополосная (селективная) спектральная характеристика на любой из длин волн в диапазоне 910–1060 нм. Последняя определяется составом твердого раствора GaAs<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>. Спектральная ширина селективной характеристики лежит в пределах 20–50 нм и задается градиентом ширины запрещенной зоны варизонного активного слоя структуры и степенью его неоднородности. В отличие от серийных ФЭУ-157 и ФЭУ-180, базирующихся на GaAs ФК ОЭС, двухфункциональный ФЭУ обладает как широкополосной спектральной характеристикой со сдвинутой в ИК область границей фотоэффекта, так и возможностью одновременного или попеременного использования селективной спектральной характеристики, расположенной в ближней ИК области, без применения каких-либо оптических фильтрующих систем.

Однако для реализации в различных практических задачах двухфункциональных ФЭУ крайне желательно иметь соответствующим образом рассчитанное и сформированное

фотоприемное устройство (ФПУ), основная задача которого — обеспечение высокой стабильности ФЭУ при изменении в широких пределах: световых загрузок на фотокатод, питающего напряжения и температуры окружающей среды.

Цель данной работы — создание и исследование возможностей универсального высокочувствительного быстродействующего низкопорогового ФПУ на базе двухфункционального ФЭУ и светодиода на карбиде кремния.

Выбор светодиода на карбиде кремния в качестве опорного источника световых импульсов для системы стабилизации ФПУ определяется следующими причинами [2,3]:

— механизм протекания тока при обратном смещении через специально приготовленный  $p-n$  переход с однородным микроплазменным пробоем и рабочих напряжениях 14–18 В обусловлен туннельно-лавинным размножением, что обеспечивает высокую температурную стабильность излучения ( $10^{-4} - 10^{-5}$  град $^{-1}$ );

— стабильность таких  $p-n$  структур с высокой плотностью микроплазм (до  $10^8$  см $^{-2}$ ) предопределяет уникальную временную стабильность спектра излучения и светового потока (1–2% за  $10^4$  ч непрерывной работы);

— высокая линейность мощности излучения от тока через диод определяет широкий динамический диапазон (не менее 200);

— малая инерционность электролюминесценции ( $\sim 10^{-9}$  с).

Перечисленные факторы позволяют рассчитывать на эффективное использование опорных светоизлучающих диодов на карбиде кремния (SiC СД) для стабилизации работы ФЭУ и изготовление на их основе высокостабильных малогабаритных ФПУ.

ФПУ на базе двухфункциональных ФЭУ (ДФЭУ) и SiC СД формировалось в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 1.

Обратная связь, включающая СД, охватывала ДФЭУ и его высоковольтный источник питания. Засветка ДФКОЭС осуществлялась со стороны эмиттирующей фотоэлектронной поверхности, обладающей широкополосной спектральной характеристикой (от 350 до 1080 нм), в которую полностью попадал спектр излучения СД (рис. 2). Электрический сигнал от усиленного диодной системой ДФЭУ светового импульса SiC СД через зарядовый предусилитель поступал на схему компаратора, где сравнивался с токовым импульсом СД. Разностный сигнал управлял безынерционным источником высокого напряжения питания ДФЭУ. Практически линейная зависимость интенсивности излучения СД от силы тока через  $p-n$ -переход и высокая частота

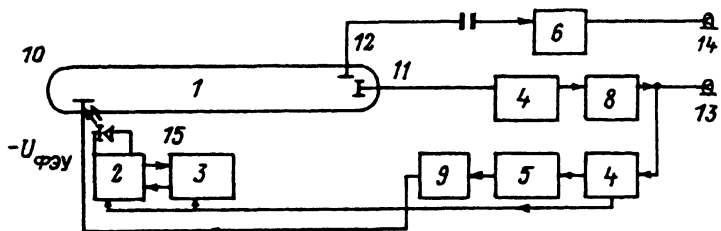


Рис. 1. Функциональная схема фотоприемного устройства.

1 — фотоэлектронный умножитель, 2 — генератор светодиода, 3 — система стабилизации тока, 4 — система стабилизации общая, 5 — высоковольтный преобразователь напряжения, 6 — быстрый усилитель, 7 — быстрый зарядочувствительный предусилитель, 8 — усилитель-формирователь, 9 — умножитель напряжения, 10 — фотокатод, 11 — анод, 12 — динод, 13 — "заряд", 14 — "амплитуда", 15 — светодиод.

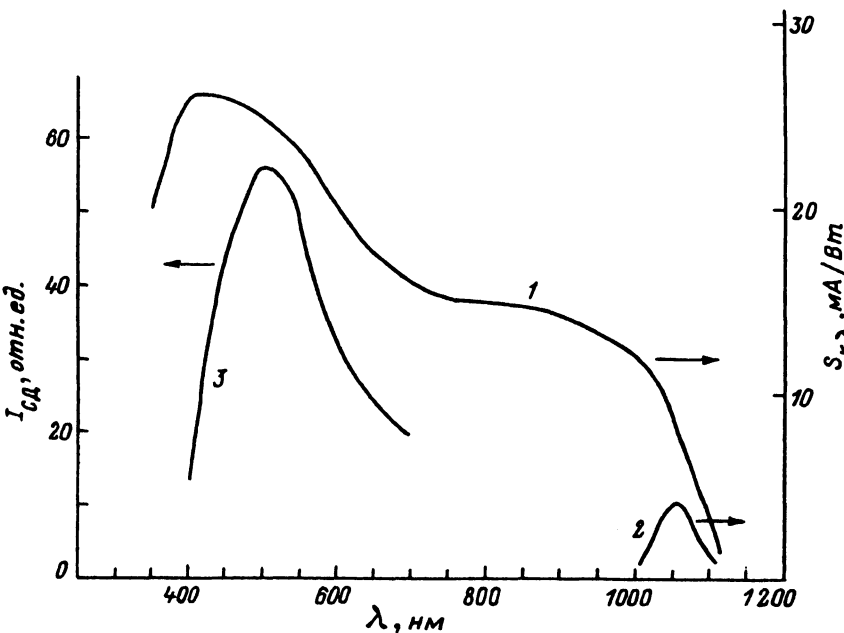


Рис. 2. Спектральные зависимости двухфункционального ФЭУ.

1 — широкополосная (засветка со стороны эмиттирующей поверхности фотокатода), 2 — селективная (засветка со стороны подложки), 3 — спектр излучения опорного светоизлучающего диода SiC.

та повторения импульсов СД (порядка 0.5 кГц) позволяли удерживать на постоянном уровне коэффициент усиления ФПУ с точностью не хуже 1% в течение длительного времени непрерывной работы (порядка десяти тысяч часов).

Низкое остаточное дифференциальное сопротивление SiC СД (около 10–20 Ом) позволяло работать с короткими (2–3 нс) световыми импульсами, что сводило время работы схемы стробирования системы стабилизации, когда не регистрируется полезный сигнал, к ничтожно малой величине, незаметной при практическом счете одноэлектронных импульсов ДФЭУ. При работе ФЭУ в токовом режиме влияние работы схемы стробирования тоже незначительно, поскольку величину светового импульса SiC СД можно снизить до значений, соответствующих 3–5 фотоэлектронам с фотокатода.

Испытания макета ФПУ показали его высокую стабильность, большой динамический диапазон и дали измеренное в импульсном режиме значение порога регистрируемого излучения  $P = (1 - 3)10^{-10}$  Вт на  $\lambda = 1.06$  мкм.

Наличие двух оптических боковых входов двухфункциональных ФЭУ — с широкополосной и с селективной спектральными характеристиками — расширяют схемотехнические возможности применения ФПУ.

Например, некая оптическая система может сначала работать в режиме поиска излучения, используя широкополосный оптический вход ФПУ. При появлении сигнала оптико-механическое устройство перебрасывает излучение на второй, селективный вход, и ФПУ дает ответ, является ли регистрируемый сигнал искомым, т.е. с требуемой длиной волны. Применение двух ДФЭУ в ФПУ ( $\lambda_{\text{сел}} = 910$  и  $1060$  нм) обеспечит независимую помехоустойчивую работу оптической системы на двух длинах волн излучателей. Использование интерференционного фильтра для широкополосного входа (например,  $\lambda_{\text{сел}} = 530$  нм) и узкополосного входа с  $\lambda_{\text{сел}} = 1060$  нм позволит использовать один ДФЭУ в ФПУ на двух длинах волн одного излучателя (основная длина волны генерации и ее первая гармоника), и тем самым снизить факторы влияния атмосферы.

Быстродействие ФПУ определяется быстродействием диводной системы ДФЭУ, время нарастания переходной характеристики которого составляет 1.5–2 или 0.8 нс в зависимости от модификации используемой диводной системы.

Компактное конструктивное оформление ФПУ (цилиндр длиной 30, диаметром 8 см, весом  $\sim 2$  кг) и низкая энергоемкость (питание от источника постоянного тока или ак-

Сравнительные характеристики ФЭУ-83, ФЭУ-84 и двухфункционального ФЭУ

	ФЭУ-83	ФЭУ-84	ДФЭУ
Материал ФК	Ag-O-Cs	Sb-K-Na-Cs	GaAsSb(Ge)
Фотокатод	Полупрозрачный	Полупрозрачный	Непрозрачно-полупрозрачный (двухфункциональный)
Спектральная характеристика	C-1	C-8	Двухфункциональная, широкополосно-селективная
Область спектральной чувствительности	400-1200 нм	350-800 нм	От 350 до (900-1070) нм, (ИК граница от 900 до 1070) нм задается по выбору)
Область максимальной спектральной чувствительности	650-850 нм	420-550 нм	450(от 900 до 1060 нм) ИК граница и селективная длина волны — любая от 910 до 1060 нм
Оптический вход	Торцевой	Торцевой	Два боковых, диаметрально расположенных (под 180°)
Фотокатод	Диаметр 24 мм	Диаметр 25 мм	Площадка 7 × 10 мм, (с двух сторон)
Динодная система	Жалюзная 12-каскадная	Жалюзная 12-каскадная	Корытообразная 7-каскадная
Оформление	Стеклоянное,	бесцокольное,	с жесткими выводами
Диаметр баллона	33.5 мм	34 мм	32 мм
Посадочная длина	101 мм	105 мм	111 мм
Полная длина	119 мм	118 мм	128 мм

	ФЭУ-83	ФЭУ-84	ДФЭУ
Вес	80 г	75 г	56 г
Чувствительность ФК	> 20 мкА/лм	> 80 мкА/лм	800-1000 мкА/лм (на $\lambda$ от 500 до 800 нм) 100-200 мкА/лм (на $\lambda = 1060$ нм)
Спектральная анод. чувствительность на $\lambda$	-	2500 А/Вт на $\lambda = 694$ нм	> 8000 А/Вт на $\lambda = 694$ нм
Время нарастания импульсной характеристики	10-15 нс	10-15 нс	2 нс
Предельное напряжение питания	2100 В	1900 В	2500 В
Анодная чувствительность	1 А/лм(1300 В) 10 А/лм(1600 В) 100 А/лм(2100 В)	100 А/лм (1700 В)	1000 А/Вт (1200-1450 В) 10000 А/Вт (1800-2100 В)
Темновой ток	0.1 мкА (1300 В) 1 мкА (1600 В) 10 мкА (2100 В)	0.2 мкА (1700 В)	< 0.02 мкА при 10000 А/Вт < 0.003 мкА при 1000 А/Вт
Порог	—	$1 \cdot 10^{-8}$ Вт	$10^{-11}$ Вт (на $\lambda = 900$ нм) $10^{-10}$ Вт (на $\lambda = 1060$ нм)
Нестабильность	2.5%	5%	2%
Долговечность	1000 ч	1500 ч	Свыше 5000 ч

кумулятора 12 В, требуемая мощность 2.5 Вт) позволяют использовать его не только в лабораторных, но и в полевых условиях.

Таким образом, представленные результаты демонстрируют возможность практического применения разработанного на базе ДФЭУ и голубого SiC СД ФПУ в качестве универсального высокостабильного быстродействующего низкорогового помехоустойчивого фотодетектора, которым могут оснащаться как лабораторные, так и промышленные установки и системы (экологические мониторы, лидары и т.п.).

Для сравнения приведем, например, характеристики серийных ФЭУ-83 и ФЭУ-84, использовавшихся в целой серии лидаров (Л-1, Л-1М, Л-26 "Глория", "Баклан") [4]. Их параметры сопоставлены с ДФЭУ в таблице.

Очевидно, во-первых, что одним ДФЭУ можно заменить два серийных ФЭУ, работающих в разных спектральных диапазонах (имеются ввиду длины волн 530 и 1060 нм). Во-вторых, ДФЭУ обладает по ряду параметров (чувствительность световая и спектральная, темновой ток, быстродействие, порог) значительными преимуществами по сравнению с ФЭУ-83 и ФЭУ-84.

С точки зрения построения лидарных систем эти преимущества ДФЭУ позволяют создать ФПУ на его основе, удовлетворяющее сразу двум противоречивым требованиям: снижение уровня мощности зондирующего лазерного луча до требуемых санитарных норм безопасного воздействия на сетчатку глаз человека и увеличение дальности и временного разрешения лидара.

Работа поддержана Министерством науки и технической политики Российской Федерации по проекту N 9.3-133/3.

## Список литературы

- [1] Аристархова А.А., Бирюлими Ю.Ф., Каряев В.Н., Климин А.И., Пальтс Т.Н., Писаревская В.А., Тимашев М.Ю., Шульбат В.А. // Радиотехника и электроника. 1991. Т. 36. В. 7. С. 1362-1369.
- [2] Водаков Ю.А., Ломакина Г.А., Семенов В.В. // II Всесоюз. совещ. "Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов". Ч. II. Кишинев, 1986. С. 76.
- [3] Водаков Ю.А., Семенов В.В. и др. // II Всесоюз. совещ. "Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов". Ч. I. Кишинев, 1986. С. 82.
- [4] Иванов А.П., Чайковский А.П., Бондаренко П.П., Дятлов К.Н., Калинин И.И., Осипенко Ф.П., Хутко И.С., Николаев Л.В. Препринт № 151 ИФ АН БССР. Минск, 1978. 27 с.

Физико-технический  
институт им.А.Ф.Иоффе  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
11 апреля 1994 г.