

УДК 621.383.4/5:546.817'221'23

**ФОТОПРИЕМНИКИ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА:
СОСТОЯНИЕ РАБОТ В ГУП «НПО «ОРИОН»» И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ**

В. Г. Буткевич, Е. Р. Глобус, Г. А. Казанцев, Ю. П. Бутров, Л. Я Лебедева
Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»»,
Москва, Россия

Приведены результаты разработок фотоприемников на основе сульфида и селенида свинца в ГУП «НПО «Орион»», характеризующие возможности предприятия по созданию различных образцов изделий и фотоэлектрические параметры последних.

Работы по фотоприемникам (ФП) на основе тонких пленок халькогенидов свинца — PbS и PbSe ведутся в ГУП «НПО «Орион»» более сорока лет. В течение этого периода выполнены сотни НИР и ОКР, создано и внедрено в производство большое количество типов изделий различного назначения и разной степени сложности. В работах участвовали большие коллективы специалистов ГУП «НПО «Орион»», предприятий электронной промышленности, Академии наук и вузов.

Были созданы и непрерывно совершенствовались технологические процессы получения фоточувствительных пленок и изготовления приборов на их основе. ФП из PbS и PbSe, разработанные нашим предприятием, выпускались на ряде заводов десятками тысяч штук в год.

Основной сферой применения халькогенидных ФП в течение всего сороколетнего периода была оборонная техника. Можно говорить о двух определяющих достижениях: это, во-первых, создание гаммы высокочувствительных ФП для различных систем обнаружения и наведения на цель и, во-вторых, разработка уникальных многоканальных фотоприемных устройств (ФПУ) для систем космического наблюдения.

Предметом рассмотрения будут одно- и малоэлементные ФП из PbS и PbSe, протяженные линейки и матричные фоточувствительные структуры. Отметим, что речь идет исключительно о фоторезисторах (ФР), поскольку ранее начатые работы по светодиодам из халькогенидов свинца последние годы были остановлены из-за отсутствия средств. Отметим также, что практически все новые ФП изготавливаются с использованием пленок, получаемых методом химического осаждения, более производительного и экономичного по сравнению с методом напыления в вакууме. Технологический процесс осаждения пленок из растворов ("химический" метод) был развит в предыдущие годы, в первую очередь благодаря работам А. Н. Залевской (в части PbS) и И. В. Корнеевой (PbSe). В ряде случаев использовались результаты работ ГОИ им. С. И. Вавилова и Уральского политехнического института. Основная цель разработки метода изготовления пленок в прошлые годы — достижение наиболее высокого уровня обнаружительной способности D^* во всем диапазоне рабочих температур. Различий между обнаружительной способностью наших и зарубежных изделий практически нет.

В последние годы в работах по усовершенствованию технологии изготовления пленок PbS и PbSe на первый план была выдвинута задача управления характеристиками пленок с помощью технологических факторов. При сохранении высоких значений D^* , технология должна была обеспечивать сознательное изменение таких важных параметров, как R_r , τ , $\lambda_{гр}$ (естественно в разумных пределах), так чтобы это в наилучшей степени соответствовало работе ФП в той или иной аппаратуре.

Кроме того, одной из принципиально важных задач являлось изучение причин, приводящих к микронеоднородностям фотоэлектрических свойств фоточувствительных пленок, и разработка технологических методов, обеспечивающих получение более однородных структур. Работа в этом направлении была необходима для создания протяженных линейчатых и матричных структур, нашедших широкое применение в современной тепlopеленгационной и тепловизионной аппаратуре.

Идеология такого технологического управления характеристиками основана на общих закономерностях процесса осаждения и кристаллизации пленок, к которым относятся:

поверхностная плотность и распределение центров кристаллизации определяются материалом и обработкой поверхности подложки и в свою очередь определяют размер кристаллитов, формирующих пленку. Крупнокристаллическая структура способствует снижению τ , сдвигает вправо границу спектральной характеристики;

низкие пересыщения по сульфиду и селениду свинца и кислородосодержащим фазам также способствуют формированию пленки, состоящей из относительно крупных и чистых кристаллитов;

более компенсированные кристаллиты и, следовательно, низкие значения концентрации дырок получаются за счет использования восстановительных агентов, вводимых в ванну.

Варьируя изменением этих, а также некоторых других факторов, можно получать пленки с различным сочетанием характеристик. Наиболее эффективный результат в этом направлении — получение пленок с малой инерционностью. Так, характерные значения τ для высокочувствительных неохлаждаемых пленок PbS — $300 \div 400$ мкс. Фирма Optoelectronics несколько лет назад сообщила о разработке метода осаждения пленок с $\tau \leq 150$ мкс. Наша технология позволяет устойчиво обеспечить значения $\tau \leq 100$ мкс при значениях $D^*_{\lambda_{\max}}$ не ниже $4,0 \cdot 10^{10}$ см·Вт⁻¹·Гц^{1/2}. Это объясняется еще и малым вкладом шумов вида $1/f$ в суммарном спектре шума.

Для ряда применений со стороны заказчиков был поставлен вопрос о возможности смещения длинноволновой границы спектральной чувствительности слоев PbSe в связи с необходимостью увеличения чувствительности при $\lambda = 4,7$ мкм, где находится полоса поглощения окиси углерода. Метод управления, выбранный в данном случае, заключается в том, что пленка наносится на интерференционное зеркало, изготовленное на подложке в соответствии со специальным расчетом. Зеркало представляет собой многослойную поликристаллическую структуру, состоящую из тонких слоев Si и SiO₂. Значение D^* при $\lambda = 4,7$ мкм составляет у образцов, осажденных на зеркале, не менее 25 % от $D^*_{\lambda_{\max}}$ при 293 К.

Следует отметить, что химическая технология позволяет достичь высоких значений процента выхода годных пленок. Возможность изготовления ФП для промышленной автоматики, где зачастую не требуется предельно высокая чувствительность, позволяет дополнительно увеличить выпуск образцов, удовлетворяющих предъявляемым требованиям и, соответственно, снизить их стоимость.

Потребность в массовом, недорогом и в то же время стабильном и достаточно чувствительном ФП гражданского назначения была в значительной степени удовлетворена разработкой фоторезисторов ФР-202 (рис. 1). В герметичном корпусе диаметром 6 мм размещается фоточувствительный элемент с размером

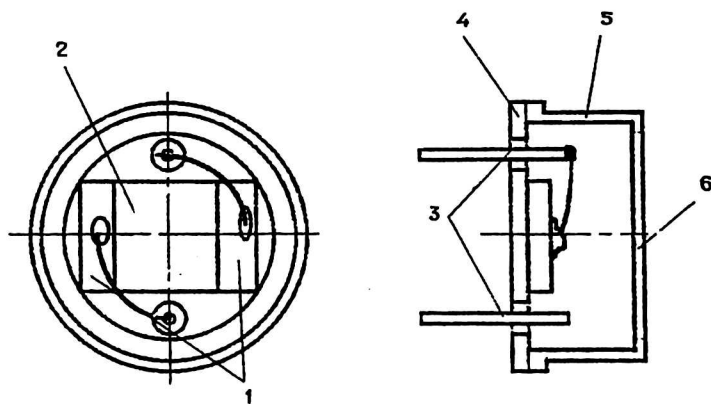


Рис. 1. Неохлаждаемый фоторезистор ФР-202:

- 1 — контактное покрытие; 2 — фоточувствительный элемент; 3 — герметичные выводы;
4 — цоколь; 5 — корпус; 6 — входное окно

площадки $1,7 \times 1,7$ мм², изготовленный по групповой технологии. Один размер площадки определяется расстоянием между контактами, другой — резкой подложки. Могут быть использованы площадки меньшего размера, выделяемые фотолитографией. Крепление элементов в корпусе — приклейка полиуретановым компаундом УК-1. Технологическая защита — покрытие халькогенидными стеклами. Контакты, по традиции, — золотые, но в последнее время используются и никель. Герметизация корпуса производится контактной сваркой. Входное

окно — стекло А-151. Для площадок большего размера (до 4x4) используются стандартные корпуса типа ТО-5 (фоторезистор ФР-203), при практически той же технологии.

В 1997 г. изготовлена первая партия неохлаждаемых ФР на основе PbSe (ФР-202К). Используется тот же корпус, но входное окно — диск из просветленного германия, который вклеивается в корпус. Для технологической защиты ФЧЭ здесь используется фоторезисторная полимерная пленка. Дальнейшее развитие в этом направлении будет определяться спросом. Имеется реальная возможность, в частности, в короткий срок организовать изготовление недорогих ФП с одно- или двухкаскадным ТЭО, а также простейших ФПУ с предусилителем в едином корпусе с ФР. Сейчас изготавливаются по заказам отдельные образцы таких приборов.

На рис. 2 изображен бескорпусной ФП на основе PbS с размером площадки от 6x6 до 10x10 мм². Для сохранения стабильности ФЧЭ защищен пленкой из сульфидов мышьяка и покровным стеклом. Изготовление этих ФП было связано с потребностями аппаратуры контроля качества пищевых продуктов по полосам в спектрах отражения.

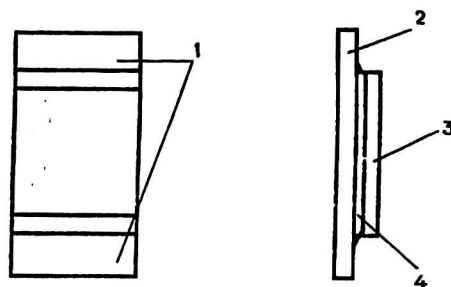


Рис. 2. Неохлаждаемый бескорпусной ФР:

1 — контактные площадки; 2 — подложка (кварц); 3 — покровное стекло (кварц); 4 — компаунд УК1

Для ряда заказчиков нами были разработаны и изготавливаются двухцветные ФП и ФПУ на основе комбинаций ФР из PbS и PbSe и кремниевых фотодиодов. Одно из таких ФПУ рассмотрено в работе [1].

Значительный прогресс был достигнут в направлении создания многоэлементных линейчатых ФП на основе PbS и PbSe, разрабатывавшихся для тепловизионной и тепловизионной аппаратуры. Фоточувствительные структуры этих приборов содержат от нескольких десятков до 1500 ФЧЭ в случае PbS и до 128 ФЧЭ — в случае PbSe. Сейчас заметно больший интерес вызывают линейки из PbSe с 64, 96, 128 и 256 элементами. Имеющаяся в нашем распоряжении технология позволяет изготавливать такие структуры с линейными размерами элементов до 40 мкм, зазорами — до 10 мкм и с топологией — по требованию заказчика. При этом возможно соединение таких фоточувствительных структур с микроэлектронными устройствами усиления, преобразования и считывания информации в виде конструктивно законченных приборов — ФПУ.

Первый опыт по созданию матричного ФПУ с числом элементов 8x8 ("Штандарт") описан в работе [2]. Далее работы велись над созданием матричных структур с 64x64 и 128x128 элементами, связанными с микроэлектронными устройствами по схеме с X—Y-адресацией. Изготовление таких матричных структур предусматривало:

- осаждение слоя на подложку;
- выделение фоточувствительных площадок заданного размера;
- создание контактной системы с изолированными друг от друга пересекающимися контактными шинами.

По такой схеме были изготовлены образцы матричных структур из PbS и PbSe, которые сейчас исследуются. Указанная технологическая схема не лишена серьезных недостатков. Она сложна, чувствительная пленка подвергается большому количеству операций. Коэффициент заполнения невелик $\approx 0,35$. В связи с этим в 1998 г. начаты работы по новому варианту, который основан на опыте работ НПО "Электрон". В этом случае сначала на окисленной поверхности кремния создается система пересекающихся токопроводящих шин, затем осаждается сплошной фоточувствительный слой PbS или PbSe. В кремниевой подложке предполагается заранее сформировать микросхему усиления и считывания сигналов с ФЧЭ матричной структуры. Такие матричные структуры с форматом 128x128, 256x256 и более, обладающие высокой чувствительностью в области спектра $3 \div 5$ мкм, могут, по нашему мнению, составить серьезную конкуренцию матричным структурам на основе CdHgTe и InSb, благодаря сравнительно низкой трудоемкости их изготовления, отсутствию необходимости глубокого осаждения и значительно более низкой стоимости.

Л и т е р а т у р а

1. Г л о б у с Е. Р., Б у т р о в Ю. П., Н е с т е р о в а Л. И., С о р о к и н а Ю. Н., А н д р ю ш и н С. Я., Х а к у а ш е в П. Е. // Прикладная физика, 1999, № 1. С. 101.
2. Б о ч к о в В. Д., Д р а ж н и к о в Б. Н., К а з а н ц е в Г. А., К а ф т а н е н к о Э. И., Х р а п у н о в М. Л. // Там же. С. 122.

PHOTODETECTORS ON A BASIS OF LEAD HALCOGENID: CONDITION OF DEVELOPMENTS AT NPO "ORION" AND PROSPECT OF PROGRESS

*V. G. Butkevitch, E. R. Globus, G. A. Kazantsev, Yu. P. Butrova,
L. Y. Lebedeva*

The State Unitary Enterprise «RD&P "Orion"», Moscow, Russia

Results of developments of photodetectors on basis of PbS and PbSe at The State Unitary Enterprise «RD&P "Orion"» characterising opportunities of the enterprise to create various devices, and their photo-electric parameters also are reported.