

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

УДК 621.383.9:621.383.4

*Р. Д. Мухамедьяров, В. И. Стук, Г. П. Фаина, Г. А. Китаев***ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ
ФОТОРЕЗИСТОРОВ $Cd_xPb_{1-x}S$**

Рассмотрены основные параметры новых быстродействующих тонкопленочных поликристаллических фоторезисторов на основе нового полупроводника $Cd_xPb_{1-x}S$, обладающего чувствительностью в спектральном диапазоне 0,4—2,0 мкм. Проведено сравнение новых фоторезисторов с уже существующими. Рассмотрена возможность применения многоэлементных фоторезисторов на основе $Cd_xPb_{1-x}S$ в качестве оптического датчика положения ротора электродвигателя постоянного тока и в других оптоэлектронных устройствах.

В настоящее время интенсивно развивается новое направление современной полупроводниковой электроники — оптоэлектроника. Создание новых источников излучения (лазеры, светодиоды) значительно расширило возможности систем передачи и обработки информации благодаря проникновению электромагнитных волн в оптический диапазон. Ускоренное развитие оптоэлектроники отвечает практической необходимости широкого применения в современной технике оптических сигналов как для активного и пассивного обнаружения объектов, так и для создания систем оптической связи, телеметрии, автоматики.

Во многих оптоэлектронных устройствах обработки информации одним из основных элементов является многоканальное фотоприемное устройство, предназначенное для преобразования оптического сигнала в электрический. Такие устройства наиболее эффективно изготавливаются методами интегральной технологии на основе различных полупроводниковых материалов.

Работа многоканальных полупроводниковых фотоприемников (ФП) основана на внутреннем фотоэффекте в полупроводниках. Многоканальные ФП могут быть построены на основе фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов [1].

Помимо широкого распространения в оптоэлектронных системах монокристаллических ФП на основе кремния и германия (реже арсенида галлия) широкое применение также находят тонкопленочные поликристаллические ФП: фоторезисторы (ФР) на основе сульфида и селенида кадмия и на основе сульфида свинца [2—5]. Это объясняется, с одной стороны, тем, что процесс изготовления многоэлементных ФР на тонкопленочных полупроводниках технологически проще и дешевле; а с другой стороны, тем, что тонкопленочные ФР на основе CdS и $CdSe$ чувствительнее в спектральном диапазоне 0,4—0,7 мкм (рис. 1) и отличаются высокой кратностью изменения сопротивления при засветке, которая достигает 10^8 при засветке источником типа «А» (лампа накаливания с температурой тела накала $2850^\circ C$) мощностью 1000 лк со световым сопротивлением 10^3 Ом/□. Неравномерность чувствительности по поверхности для химически осажденных пленок CdS и $CdSe$ может быть порядка 1,5%, что позволяет изготавливать как функциональные, так и

матричные ФР [3—5].

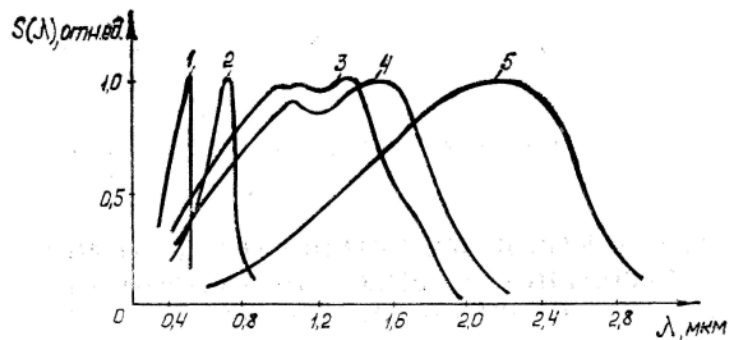


Рис. 1. Спектральные характеристики фоторезисторов на различных п/п материалах:
1 - CdS; 2 - CdSe; 3, 4 - $Cd_xPb_{1-x}S$; 5 - PbS.

В спектральном диапазоне 1,5—3,0 мкм наиболее чувствительны и широко применяются ФР на основе PbS, полученные способом химического осаждения [2, 6]. Характеристики сульфида свинца можно изменять в широких пределах путем варьирования многочисленных технологических и конструктивных факторов, таких, например, как размер кристаллитов, стехиометрия и фазовый состав, окисление, толщина пленки и химический состав подложки. Благодаря этому можно получать для химически осажденных пленок постоянную времени ФР от 200 до 1000 мкс [2, 6].

Рассмотренные фоторезисторы обладают высокими эксплуатационными характеристиками, однако широкому внедрению в оптоэлектронные устройства препятствует их малое быстродействие, даже при больших засветках (5—10 мс для CdS и CdSe ФР), либо малая кратность изменения фототока, представляющая собой отношение светового тока I_{ϕ} к темновому I_T (менее 1,5 для PbS) при приемлемом быстродействии. В силу вышеуказанного возможно использование PbS ФР в основном как приемников излучения только в системах с модуляцией излучения [6].

В связи с широким применением в оптоэлектронике тонкопленочных фоторезисторов CdS и PdS представляет интерес создание нового полупроводникового материала Cd — Pb — S и фоторезисторов на его основе. В [7] рассмотрены способы получения и свойства пленок, содержащих одновременно CdS и PdS. Полученные пленки обладают слабой фотопроводимостью и не пригодны для изготовления ФР. Теоретические и экспериментальные работы по химическому осаждению в водных средах тонких пленок халькогенидов металлов и изучения их физических свойств [8—11] позволяют получать не только фоторезисторы CdS и CdSe, но и создать принципиально новые фотопроводники на основе сложных композиций халькогенидов, таких как $Cd_xPb_{1-x}S$.

Способ химического осаждения полупроводника $Cd_xPb_{1-x}S$ позволяет получить плотные зеркальные фотопроводящие пленки толщиной до 1,6 мкм, с коэффициентом преломления в полосе пропускания в зависимости от состава от 3,2 до 3,9 (аналогичные значения для CdS и PbS — 2,4 и 4,1, соответственно) и с темновым сопротивлением от 2 до 1000 МОм/□. В данной работе пленки с высокой фоточувствительностью были получены на стеклянных, кварцевых и ситалловых подложках. При засветке от источника «А» мощностью 200 лк кратность изменения сопротивления в зависимости от состава составляет 2-50.

Наблюдения за электрофизическими параметрами, фазовым составом полупроводника на образцах (аморфные подложки — стекло, кварц), хранившихся при температуре 18—25 °С в течение четырех лет, показали, что

необходимой стабильностью для применения в оптоэлектронных устройствах обладают образцы с малым содержанием Cd_x ($x \leq 0,08$ в твердом растворе).

Способ электролитического (или химического) осаждения контактов и формирования структуры ФР с помощью фотолитографических методов позволяет изготавливать одно- и многоэлементные ФР с различными размерами чувствительных площадок без применения вакуумной техники.

Полученные контакты являются омическими и $Cd_xPb_{1-x}S$ ФР соответствуют требованиям по шумовым и вольт-амперным характеристикам для самых различных применений в оптоэлектронных устройствах. $Cd_xPb_{1-x}S$ ФР перекрывают спектральный диапазон от 0,4 до 2,0 мкм, занимая промежуточное положение между ФР на основе CdS и PbS (см. рис. 1).

Важное значение для оптоэлектронных устройств имеет спектральное согласование пары приемник—излучатель, определяемое как коэффициент корреляции их спектральных характеристик:

$$K_\lambda = \frac{\int_0^\infty s(\lambda)r(\lambda)d(\lambda)}{\int_0^\infty \lambda d\lambda},$$

где $s(\lambda)$ — относительная спектральная характеристика фоточувствительности приемника; $r(\lambda)$ —относительная спектральная характеристика излучателя.

Наиболее часто в последнее время в качестве излучателей используются светодиоды из GaP, GaAs, а также лампы накаливания, особенно в устройствах, не требующих электрической модуляции излучения. Светодиоды с зеленым и красным свечением хорошо согласуются по спектру с CdS и CdSe ФР, но имеют квантовый выход, в 10—100 раз меньший, чем у инфракрасных GaAs светодиодов. Лампа накаливания является эффективным излучателем в ближней инфракрасной области, но имеет плохое согласование по спектру с CdS и CdSe ФР ($K_\lambda \ll 0,03$).

По сравнению с указанными ФР, $Cd_xPb_{1-x}S$ ФР имеют гораздо лучшие спектральные характеристики с точки зрения согласования с лампами накаливания ($K_\lambda > 0,6$) и наиболее мощными и эффективными инфракрасными светодиодами (типа АЛ103, АЛ106-109 и др.) с излучаемой мощностью до 10 мВт, K_λ при этом составляет 0,7—0,9.

ФР на основе $Cd_xPb_{1-x}S$ являются быстродействующими приборами, обладающими, в отличие от рассмотренных выше ФР, одинаковой постоянной времени нарастания и спада фототока, составляющей при 20°C и малой засветке (1 лк от источника «Л») от 8 до 120 мкс. Постоянная времени измерена на установке [10] с модуляцией излучения источника «А» (1,0 — 8,0 кГц) и светодиодов (0,25—16,0 кГц).

Наряду с этим $Cd_xPb_{1-x}S$ ФР обладают приемлемыми для большинства применений характеристиками чувствительности. Так, интегральная чувствительность, определяемая как отношение величины относительного изменения сопротивления к изменению его облученности, составляет $\sim 0,3—10^6$ Вт⁻¹. Токовая чувствительность при напряжении питания на ФР 5 В равна 1,0—1,5 А·Вт⁻¹. Эти ФР имеют также высокую вольттовую чувствительность, которая в согласованном режиме (сопротивление нагрузки равно темновому сопротивлению) при том же напряжении питания составляет $(0,5—1,0) \cdot 10^6$ Вт⁻¹ по источнику «А».

Ускоренное развитие электроники и возрастание функциональной сложности аппаратуры выдвигают требование к ее микроминиатюризации во

всех областях ее применения. Одной из таких областей являются устройства управляемого электропривода на базе бесщеточного электродвигателя постоянного тока, где характерно проявляется эффективность использования оптоэлектронных датчиков положения ротора (ОДПР) и таходатчиков (ТД) в пленочном исполнении [11].

Наиболее экономичным для этой цели является пара фоторезистор—светодиод. Авторами были исследованы оптронные характеристики комбинации $Cd_xPb_{1-x}S$ ФР с чувствительной площадкой $0,20 \times 1,00$ мм и GaAs светодиода АЛ107А, расположенного на расстоянии 2,5 мм от ФР.

Исследования показали, что кратность изменения фототока составляет 20—150, выходной ток 50—120 мкА при токе через светодиод 100 мА и напряжении питания на ФР 5 В. Выходные оптронные характеристики, представляющие собой зависимость фототока от тока через светодиод при постоянном напряжении на ФР (5 В для данного случая), приведены на рис. 2.

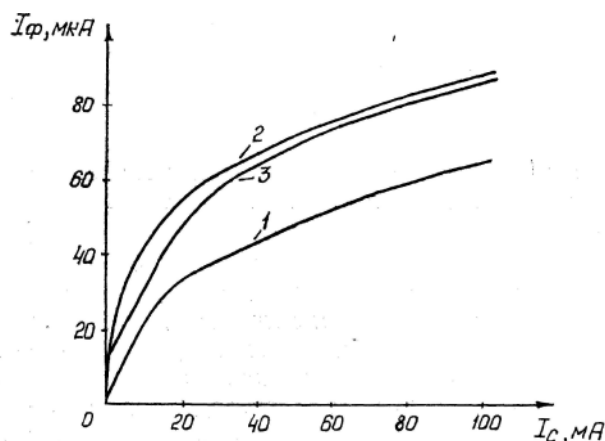


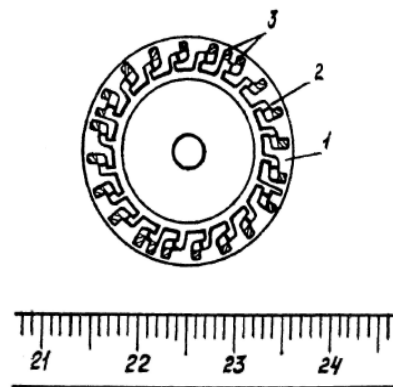
Рис. 2. Выходные оптронные характеристики фоторезисторов при температурах 20, 60 и 90 °С (кривые 1—3).

При максимальном токе светодиода отмечалось уменьшение постоянной времени в два и более раз без изменений вида переходной характеристики, а также уменьшение темнового тока в тех же пределах после снятия засветки.

Возвращение темнового тока к стационарному значению происходит за 40—60 мин. За счет этого явления при работе оптрона в динамическом режиме кратность изменения фототока увеличивается в 2—5 раз. Совмещенная конструкция ОДПР и ТД на ситалловых подложках, установленная в двигатель постоянного тока, испытана в диапазоне скоростей до 15000 об/мин и показала значительное преимущество по сравнению со своими индукционными аналогами.

ОДПР представляет собой 20-элементный фоторезистор, выполненный на ситалловом кольце по единой химической технологии (рис. 3). ФР в режимах ОДПР и ТД имеют постоянную времени порядка 10 мкс, стационарный темновой ток 1,0—1,5 мкА и световой ток более 50 мкА при напряжении 5 В. Излучателем служит матрица светодиодов типа ЗЛ107Б. Чувствительные площадки ФР защищены прозрачным полиуретановым компаундом.

Рис. 3. Датчик положения ротора, двадцатиэлементный фоторезистор на основе $Cd_xPb_{1-x}S$: 1 — ситалловая подложка; 2 — фоторезистор; 3 — контактные площадки.



В ы в о д ы

Рассмотренные быстродействующие ФР на основе нового поликристаллического полупроводникового материала $Cd_xPb_{1-x}S$, изготовленные по единой химической технологии, выгодно отличаются от существующих по комплексу фотоэлектрических параметров и могут найти широкое применение в составе оптронов с прямой оптической связью и открытым оптическим каналом.

Представляет интерес применение $Cd_xPb_{1-x}S$ ФР в фотосчитывателях с бумажных носителей, в устройствах ввода ЭВМ, в кодовых и аналоговых преобразователях угловых и линейных перемещений, а также в модуляторах малых сигналов, аналоговых оптронах и других оптоэлектронных устройствах.

Пленочные микросборки типа ОДПР и ТД на основе фоторезистивных матриц благодаря возможности группового изготовления более технологичны в производстве, чем гибридные микросборки на дискретных фотодиодах.

Статья поступила 10 марта 1977 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошкин В. И., Арленова Л. А. Элементы оптоэлектронных систем обработки информации. Обзор.—Зарубежная электронная техника, 1975, № 11.
2. Росс М. Лазерные приемники. — М.: Мир, 1969. — 519 с.
3. Фоточувствительные химические осажденные из водного раствора пленки CdS - CdSe с контролируемым спектральным распределением фотопроводимости/ Э. Б. Богданович, А. А. Великанов, Э. Б. Коганович и др. — Полупроводниковая техника и микроэлектроника, 1973, вып. 11.
4. Лукьянчикова И. Б., Богданович В. М. Шумы и пороговые характеристики тонкопленочных CdS-фоторезисторов. — Оптомеханическая промышленность, 1973, № 9, с. 8—10.
5. Гриценко А. Ф. Некоторые результаты технологических исследований пленочных элементов сопротивления фотопотенциометров на основе материалов группы А и В.—Труды Московского института электронного машиностроения, 1972, вып. 20, с. 162—170.
6. Приемники инфракрасного излучения/Ж. Шоль, И. Марфан, Н. Мюнш и др.— М.: Мир, 1969. —268 с.
7. Получение пленок CdS—PbS методом пульверизации/Я. А. Угай, О. Б. Яценко, В. Н. Семенов и др. — Неорганические материалы, 1973, т. 9, № 11, с.

2055—2056.

8. Осаждение пленок сульфидов металлов из водных растворов, содержащих тиомочевину/Г. А. Китаев, Г. М. Фофанов, А. А. Урицкая и др. — Электронная промышленность, 1972, вып. 6, с. 14.

9. О возможности изготовления фоторезисторов химическим способом /Г. А. Китаев, Р. Д. Мухамедьяров, В. И. Стук и др. — В кн.: Физико-химические процессы на межфазных границах. Свердловск, 1976, с. 69.

10. Установка для измерения параметров фотоприемников/Р. Д. Мухамедьяров, В. Н. Жуков, В. И. Стук и др. — Приборы и техника эксперимента, 1976, № 6, с. 243.

11. Глебов Г. М. Вопросы комплексной микроминиатюризации систем накопления информации магнитной записи. — Электронная техника. Сер. 11. Комплексная микроминиатюризация радиоэлектронных устройств и систем, 1976, вып. 2(6), с. 36—42.