

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
для студентов

КУЙБЫШЕВ 1988

УДК 621.315

В методических указаниях излагаются краткие теоретические сведения и методика исследования материалов полупроводниковой электронной техники, изучаемых в курсах «Материалы электронной техники» и «Материалы конструкций и технологии деталей РЭА». Методические указания рекомендованы кафедрой микроэлектроники и технологии РЭА, адресованы студентам специальности 0705 дневного* и вечернего отделений.

Составитель к.т.н. доцент Буров В. Н.

Рецензенты: А. В. Полулех, И. П. Федорова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ РЕЗИСТОРОВ С S ОБРАЗНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Цель — изучение зависимости электропроводности материалов термисторов и позисторов от температуры и электрического тока.

Задания:

1. По экспериментальным результатам построить зависимости $\ln \gamma = \varphi_1(1/T)$ и $I = \varphi_2(U)$ исследуемых элементов.

2. Определить ширину запрещенной зоны полупроводникового материала исследуемых элементов.

3. На основе анализа получаемых характеристик полупроводниковых резисторов определить область их применения. Назвать материалы, используемые для изготовления резисторов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Материалы термисторов

Термистор — это полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводника от температуры. Процесс переноса зарядов — процесс электропроводности — может наблюдаться в полупроводниках при наличии электронов в зоне проводимости и условии неполного заполнения электронами валентной зоны. При выполнении этих условий и в отсутствие градиента температуры перенос носителей заряда может происходить либо под действием электрического поля, либо под действием градиента концентрации носителей заряда.

Широко распространены терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом, т. е. у которых при увеличении температуры сопротивление уменьшается. Наряду с ними используют высокочувствительные терморезисторы с положительным коэффициентом сопротивления. Среди них особое место занимают позисторы. Термисторы бывают прямого и косвенного подогрева. В работе используются материалы термисторов прямого подогрева. Уменьшение сопротивления полупроводника с увеличением температуры может быть обусловлено тремя причинами: 1 — увеличением концентрации носителей заряда, 2 — увеличением их подвижности, 3 — фазовыми превращениями полупроводникового материала.

1. Первое явление характерно для термисторов, изготовленных из монокристаллов ковалентных полупроводников (кремний, германий, карбид кремния, соединения типа $A^{III} - B^V$ и др.). Зависимость сопротивления полупроводника от температуры определяется применением концентрации носителей заряда, так как температурные изменения подвижности при этом пренебрежительно малы.

Зависимость сопротивления полупроводника от температуры соответствует уравнению

$$R_t = R_0 \exp B \left(\frac{T_0}{T_0 T} \right),$$

где B — коэффициент температурной чувствительности, определяемый в виде

$$B = \frac{R_1 - R_2}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}},$$

R_0 — «холодное» сопротивление термистора, обычно при 20°C .

У разных типов термисторов $B = 700 - 15800 \text{ K}$.

2. Основная часть термисторов, выпускаемых промышленностью, изготовлена из поликристаллических окисных полупроводников — из окислов так называемых металлов переходной группы таблицы Менделеева (от титана (Ti) до меди (Cu)). Наиболее широко используют окислы марганца (Mn), кобальта (Co), никеля (Ni) и меди (Cu). Термисторы в форме стержней, трубок, дисков или пластинок получают методами керамической технологии, т. е. путем обжига заготовок при высокой температуре. Электропроводность окисных полупроводников с преобладающей ионной связью между атомами отличается от электропроводности ковалентных полупроводников. Электропроводность окислов металлов связана с обменом электронами между соседними ионами. Энергия, необходимая для такого обмена, мала. Поэтому все электроны (или дырки), которые могут переходить от одного иона к другому, можно считать свободными носителями заряда, а их концентрацию — постоянной в рабочем диапазоне температур термистора.

Из-за сильного взаимодействия носителей заряда с ионами подвижность носителей заряда в окисном полупроводнике оказывается малой и экспоненциально возрастающей с ростом температуры. В результате температурная зависимость сопротивления термистора из окисного полупроводника оказывается такой же, как и у термисторов из ковалентных полупроводников, но коэффициент температурной чувствительности характеризует в этом случае изменение подвижности носителей заряда, а не изменение их концентрации.

3. В оксидах ванадия V_2O_4 и V_2O_5 при температуре фазовых превращений ($68^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}$) наблюдается уменьшение удельного сопротивления на несколько порядков. Это явление позволяет создать термистор с большим отрицательным температурным коэффициентом сопротивления в диапазоне температур, соответствующих фазовому превращению.

1.2. Характеристики термисторов

На рис. 1. приведены статические характеристики термисторов прямого подогрева. При снятии характеристики после определения значения тока делалась достаточная выдержка времени до отсчета напряжения, чтобы температура термистора установилась. Из рис. 1 (участок OC) видно, что с ростом тока напряжение на термисторе растет медленнее, чем это предписывается законом Ома. Это объясняется тем, что при протекании через термистор тока он разогревается джоулевым теплом. Температура полупроводника растет, что приводит к росту концентрации электронов и уменьшению сопротивления термистора. Каждая точка вольт-амперной характеристики соответствует тепловому равновесию между нагревом образца, протекающим током и его охлаждением за счет отвода тепла в окружающую среду. Даже на участке OA (см. рис. 1), где вольт-амперная характеристика выглядит линейной, точные измерения зафиксировали бы небольшой разогрев образца протекающим током и незначительное отклонение от закона Ома. Поскольку концентрация свободных носителей в полупроводнике резко нелинейно зависит от температуры, то когда ток станет большим, чем значение, соответствующее $t. C$ (см. рис. 1), концентрация носителей, а следовательно и проводимость полупроводника, могут расти так быстро, что нужно меньшее, чем прежде, напряжение, чтобы поддержать тот же или даже больший ток. Это видно из известного выражения

$$U = IR = I \rho(I) \frac{L}{S} = \frac{L}{\gamma(I) S}$$

где L и S — длина и площадь поперечного сечения полупроводника. Удельное сопротивление $\rho(I)$ и проводимость в данном случае зависят от протекающего тока I . На рис. 1 видно, что еще

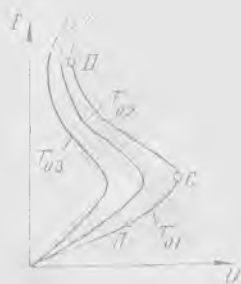


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика полупроводника, снятая при различных температурах окружающей среды $T_{01} < T_{02} < T_{03}$

большее увеличение тока (участок выше т. *D*) снова приводит к росту напряжения *U*. Этот участок возникнет на вольт-амперной характеристике полупроводника, когда протекающий ток разогреет его до температуры, соответствующей температуре примесного истощения. Участок выше т. *D* показан пунктиром, поскольку чаще всего раньше сгорает термистор или контакты к нему, прежде чем удастся наблюдать второй возрастающий участок.

Вольт-амперная характеристика термистора (см. рис. 1) будет меняться при различных температурах окружающей среды T_0 . Чем больше T_0 , тем меньше начальное (при малых *U* и *I*) сопротивление полупроводника и тем больший ток соответствует тому же напряжению. С повышением T_0 вольт-амперная характеристика «прижимается» к оси токов и «спрямляется». При достаточно высокой температуре падающий участок на вольт-амперной характеристике может исчезнуть вовсе. Действительно, если T_0 так велика, что соответствует примесному истощению, то повышение температуры, образуемое за счет джоулева разогрева, не будет сопровождаться ростом проводимости. Следовательно, исчезнет и причина, вызывающая появление на вольт-амперной характеристике падающего участка.

Изменять вид вольт-амперной характеристики позволяют также технологические приемы. По сравнению с характеристикой обычного термистора, используемого для термокомпенсации элементов РЭА (кривая *I*, рис. 2), характеристики термистора, используемого в качестве стабилитрона (кривая *II*, рис. 2) или термистора измерительной щели (кривая *III*, рис. 2), не имеют падающего участка.

Температурный коэффициент сопротивления термистора

$$TKR = \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial T}$$

или

$$TKR = -B/T^2.$$

На рис. 3 приведена температурная зависимость TKR .

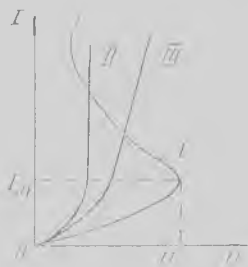


Рис. 2. Статические характеристики термисторов

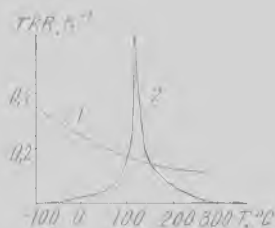


Рис. 3. Зависимости TKR от температуры: 1 — термисторов; 2 — писторов

1.3. Позисторы

Позисторы — это полупроводниковые резисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления. В массовом производстве позисторы делают на основе титанатобариевой керамики, удельное сопротивление которой значительно уменьшено в результате добавления примесей. Титанат бария (BaTiO_3) — диэлектрик с удельным сопротивлением $\rho = 10^{10} \text{—} 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Введение в BaTiO_3 малых количеств (0,1—0,3 ат%) примесей редкоземельных элементов (лантана, церия и др.) приводит к уменьшению ρ до $10 \text{—} 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. При дальнейшем увеличении примесей степень тетрагональности материала уменьшается, происходит разукрупнение кристаллов, поэтому ρ растет. Такой материал обладает аномальной температурной зависимостью: в узком диапазоне температур его ρ увеличивается на несколько порядков с увеличением температуры (рис. 4). Резкое увеличение ρ BaTiO_3 происходит из-за тетрагонально-кубического фазового превращения, т. е. в диапазоне температур выше точки Кюри, при которых BaTiO_3 переходит из сегнетоэлектрического в параэлектрическое состояние.

Иногда для создания позисторов исследуют монокристаллические Si, Ge и другие полупроводниковые материалы. Принцип действия позисторов основан на уменьшении подвижности носителей заряда с увеличением температуры в результате увеличения их рассеивания на тепловых колебаниях атомов кристаллической решетки. Преимуществом монокристаллических позисторов является возможность использования технологии, позволяющей создавать позисторы с разбросом номинальных сопротивлений (1—2)%. Однако из-за меньшей стоимости и из-за больших температурных коэффициентов сопротивления поликристаллические позисторы нашли более широкое применение.

Свойства позисторов оцениваются характеристиками и параметрами, аналогичными характеристикам и параметрам термисторов с отрицательным TKR .

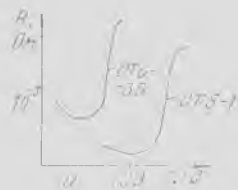


Рис. 4. Температурные характеристики некоторых позисторов

2. УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки (рис. 5).

2. Включить установку с помощью тумблера «Вкл.», располо-

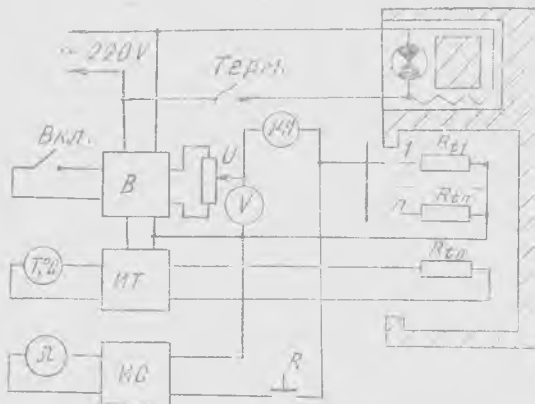


Рис. 5. Схема экспериментальной установки: В — выпрямитель; ИТ — измеритель температуры; ИС — измеритель сопротивления; Т — термостат

женного на ее лицевой панели. Индикатор «Т°С» измерителя температуры покажет начальную температуру термостата T_0 .

3. Снять зависимости $I = \varphi(U)$ набора полупроводниковых резисторов при $T = T_0$, для чего регулятором «U» задать 5–6 значений напряжений и снять показания с индикаторов I и U . Результаты занести в таблицу, форма которой выбирается произвольно.

4. Снять зависимости $R = \varphi(T)$ для набора полупроводниковых резисторов, для чего регулятором «U» задать ток $I = 5$ мкА и включить термостат тумблером «Терм.» на правой стороне установки. Загорится красная лампочка на передней панели установки. Для измерения R полупроводниковых резисторов следует нажать кнопку «R» на передней панели установки и снять показания с индикатора «Ω» при 5–6 значениях температуры термостата. Результаты занести в табл. 2, форма которой выбирается произвольно.

5. Снять зависимости $I = \varphi(U)$ набора полупроводниковых резисторов при $T = T_{\text{макс}}$ термостата. Результаты занести в табл. 3, форму которой выбрать аналогично табл. 1.

6. Вычислить γ , учитывая реальные размеры полупроводниковых резисторов и формулу

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RS}$$

7. Построить зависимости $\ln \gamma = \varphi_1(1/T_s)$ и $I = \varphi_2(U)$ при $T = T_0$ и $T = T_{\text{макс}}$.

8. Определить ширину запрещенной зоны материала полупроводниковых резисторов по формуле

$$\chi W = \frac{2,3 k \Lambda \ln \gamma}{\Lambda (1/T)},$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-28}$ Дж/К = $0,86 \cdot 10^{-4}$ эВ/К — постоянная Больцмана.

9. Ответить на вопросы задания, сформулировать выводы.

3. ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Почему статическая характеристика терморезистора имеет три отличающихся друг от друга участка?

2. О чем свидетельствует нелинейность зависимости $\ln \gamma = \chi (1/T)$?

3. Как экспериментально определить ширину запрещенной зоны полупроводника?

4. Какие характеристики полупроводникового элемента необходимо иметь, чтобы определить возможную область его использования?

5. В чем отличие электропроводности термисторов, изготовленных из карбида кремния и оксид марганца?

Библиографический список

1. Писынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. — М.: Высшая школа, 1986. — 367 с.

2. Осечкин Ю. А. Полупроводниковые приборы. — М.: Высшая школа, 1979. с. 141-151.

3. Лесинштейн М. Е., Силин Г. С. Знакомство с полупроводниками / Под редакцией Л. С. Асламзоев. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. — 240 с. (Библиотечка «Квант», вып. 33).

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОРЕЗИСТОРОВ

Ц е л ь — исследование влияния света на электропроводность материалов полупроводниковых приемников излучения.

З а д а н и я:

1. На основании экспериментальных данных построить зависимость тока через фоторезистор от освещенности.
2. Определить величину сопротивления фоторезисторов для различных освещенностей.
3. Построить график спектральной чувствительности фоторезистора.
4. Дать интерпретацию полученным экспериментальным результатам. Определить материал фоторезистора.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Внутренний и внешний фотоэффект

В качестве фотоэлектрических преобразователей используются фотополупроводники, электрические свойства которых под влиянием света изменяются. Рассмотрим принципы действия и важнейшие свойства, а затем некоторые наиболее типичные случаи применения. Еще в конце прошлого столетия было известно, что электропроводность определенной группы твердых материалов может изменяться при облучении их светом. Развитие элементов, не использующих фотоэффект, тесно связано с успехами физики полупроводников, поэтому фотополупроводники приобрели серьезное техническое значение только в последние 30 лет.

Как схематически показано на рис. 1, при внешнем фотоэффекте электроны за счет облучения освобождаются с внешней поверхности металлического слоя (например, калия или цезия). В вакуумном или газоразрядном фотоэлементе освобожденные электроны движутся к аноду, фотоэлементы создают фото-ЭДС, пропорциональную силе света. При внутреннем фотоэффекте электроны, которые до этого были соединены с атомами кристаллической решетки полупроводника, под влиянием облучения светом освобождаются и движутся в полупроводнике как освобожденные носители зарядов. В однородном полупроводнике, обладающем *n*-проводимостью или *p*-проводимостью, это относится ко всему объему. В таких полупроводниках можно получить очень сильные уменьшения электрического сопротивления при освещении.



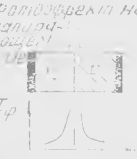
	Внешний фотоэффект	Внутренний фотоэффект	
			
Тип элемента	Фотоэлектроды и фотоэлементы. Понный фотоэлемент	Фотосопротивления	Фотодиоды и фотофототранзистор
Действие света	Фотонапряжение	Изменение сопротивления	Фотоиндуцированный ток
Материал	Цезий (Cs) Калий (K)	Сульфид кадмия (CdS) Селенид кадмия (CdSe) Сульфид свинца (PbS)	Селен (Se) Германий (Ge) Кремний (Si)

Рис. 1. Фотоэлектрические элементы

Этот эффект имеет место в большом количестве химических соединений. Техническое применение получили фотосопротивления из CdS, CdSe, PbS.

Если в полупроводнике области p -проводимости и n -проводимости граничат между собой (неоднородный полупроводник), то на поверхности перехода возникает запирающий слой. Фотоэлементы, фотодиоды и фототранзисторы, выполненные по этому принципу, создают при освещении фото-ЭДС. В противоположность фотосопротивлениям фоточувствительным в них является только участок, непосредственно примыкающий к запирающему слою, поэтому можно говорить о фотоэффекте в запирающем слое. В качестве материалов для этих трех элементов применяются в большинстве случаев Se, Ge, Si.

1.2. Изготовление фотополупроводников

Говоря об изготовлении фотополупроводников, можно в общем отметить, что для каждого материала применяется его особая технология обработки в соответствии с его физическими свойствами (точка плавления, давление паров и т. д.). Кристаллы Ge, Si вытягиваются из расплава, слой Se направляют, слой PbS осаждают из растворов солей, а CdS получают распылением в вакууме. Все эти вещества, однако, обладают одним свойством — в химически

чистом веществе они являются чистыми изоляторами и не обладают фотоэффектом. Фотоэлектрическая активность веществ возникает лишь в том случае, если в них добавлено незначительное, но строго определенное количество примесей, поэтому при изготовлении материалов необходимо прежде всего получить очень чистый основной материал, а затем добавить в требуемых количествах примеси. Далее необходимо выдержать в большинстве случаев узкие допуски на геометрические размеры элементов. Разброс этих параметров — концентрации примесей и внешних габаритов — определяет разброс электрических свойств.

1.3. Фоторезисторы

Фоторезистор — это полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от освещенности. На рис. 2 схематично показано устройство фоторезистора.

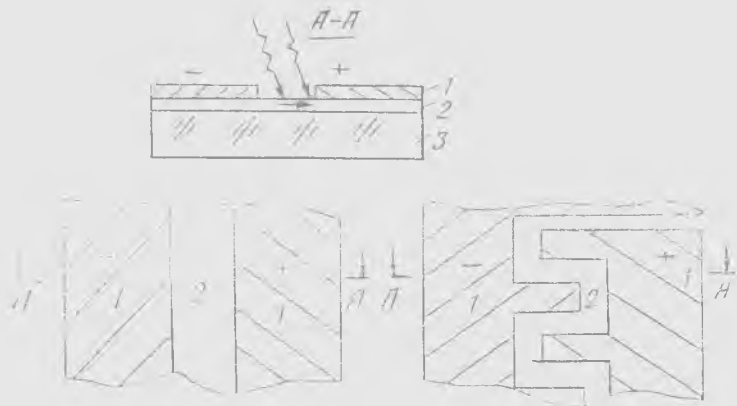


Рис. 2. Устройство фоторезистора: 1 — металлические электроды; 2 — слой CdS; 3 — стекло

На основание из стекла наносится распыленным слой CdS толщиной 20—30 мк, в котором имеются нарушения, образованные атомами примесей, например, Си и Cl. Подсоединительные контакты фотосопротивления состоят из двух металлических электродов, полученных напылением на слой CdS, между ними расположена фотоактивная поверхность. Для фотосопротивления с активной поверхностью 30 мм² (расстояние между электродами равно 1 мм) темновое сопротивление составляет около 10⁹ Ом, а сопротивление при освещенности 1500 ЛК — 10³ Ом. Если приложить к сопротивлению электрическое напряжение, то через слой CdS от одного контакта к другому, т. е. перпендикулярно пучку света, потечет фототок.

1.4. Механизм электропроводности фоторезисторов

Если рассматривать кристаллическую решетку, то процессы в фотосопротивлении можно описать следующим образом. При затемненном сопротивлении практически все элементы связаны с ионами сетки и только незначительная часть их свободна за счет тепловой энергии kT . Если при этом приложить к фотосопротивлению электрическое напряжение, то эти свободные носители зарядов, двигаясь в направлении электрического поля, создадут очень незначительный ток — темновой ток. Падающий на фотосопротивление свет лучше всего представить себе не как электромагнитные волны, а как большое количество световых квантов. Если световой квант встречается с ионами сетки, то энергия светового кванта передается электрону (абсорбция), и в случае, когда энергия, полученная электроном, превышает энергию его связей, электрон освобождается. Облучающий свет, таким образом, производит дополнительные свободные носители зарядов. Если фоторезистору приложено напряжение, то протекающий через него ток становится больше, т. е. при освещении фоторезистора его сопротивление уменьшается.

Это возбуждение электронов можно представить с помощью энергетической схемы фотосопротивления. Все электроны, связанные с ионами, находятся в валентной зоне и только свободные электроны в зоне проводимости участвуют в создании электрического тока. Ширина запрещенной зоны, расположенной между валентной зоной и зоной проводимости, задается энергией связи электронов. При наличии примесей (Cu, Cl) энергия соединения электрона с ионами становится меньше, так что уровни мест нарушения лежат в запрещенной зоне. Поглощая световой квант, связанный электрон может попасть в зону проводимости, т. е. освободиться от иона только в том случае, если полученная им энергия больше, чем ширина запрещенной зоны. Этот процесс называют возбуждением электрона. В зоне проводимости электрон движется в направлении электрического поля и много раз захватывается; за счет тепловой энергии вновь освобождается, пока наконец он не окажется захваченным ионом, на котором отсутствует электрон. Это называется рекомбинацией электронов. При этом электрон передает свою энергию иону, и тепловая энергия решетки CdS увеличивается. Отдельные электроны имеют весьма ограниченный срок жизни, например, для CdS только несколько микросекунд. Постоянный фототок при освещении фоторезистора возникает вследствие того, что в каждый момент времени благодаря воздействию света появляется столько же свободных электронов, сколько рекомбинируется (динамическое равновесие).

Выбором геометрических размеров можно сделать фоторезистор низкоомным. Для этого необходимо увеличить толщину слоя

CdS и уменьшить расстояние между электродами, а также увеличить активную поверхность. Применение электродов по типу гребенки (рис. 2) позволяет получить особенно большую активную поверхность. При постоянной освещенности сопротивление фоторезистора в широких пределах не зависит от приложенного напряжения (от милливольт до нескольких сотен вольт), т. е. фотосопротивление ведет себя как линейное сопротивление. При этом, конечно, предполагается, что между металлическими электродами и слоем CdS не образуется запирающих слоев, что достигается тщательным изготовлением.

На рис. 3 приведена зависимость сопротивления от освещенности (площадь активной поверхности 30 мм², расстояние между электродами 1 мм).

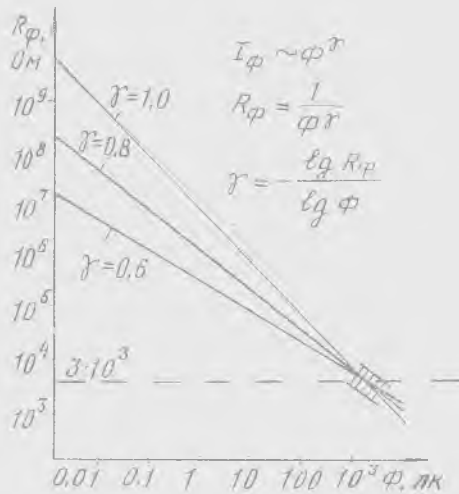


Рис. 3. Зависимость сопротивления от освещенности для фоторезистора из CdS

В логарифмическом масштабе эта зависимость представляет собой прямую с углами наклона 45°. В порядке уточнения можно отметить, что наклон характеристики очень сильно зависит от концентрации атомов примесей Си в решетке CdS и может измениться в несколько раз.

1.5. Спектральная чувствительность фоторезисторов

Спектральная чувствительность фоторезистора определяется, по существу, его основным материалом. На рис. 4 представлены зависимости чувствительности некоторых материалов фоторезис-

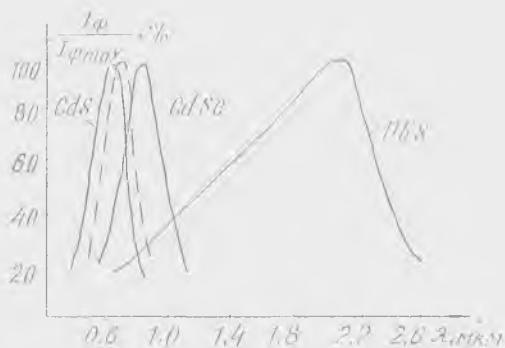


Рис. 4. Спектральные характеристики некоторых фоторезисторов

торов от длины волны облучающего света (λ). Для сравнения на рис. 4 приведена характеристика чувствительности человеческого глаза (пунктирная кривая А) для цветов от фиолетового (0,4 мк) до темно-красного (0,75 мк).

Принципиальный ход характеристик фотосопротивлений может быть объяснен следующим образом. При малых длинах низкая чувствительность объясняется тем, что облучающий свет полностью поглощается уже в тонком поверхностном слое фоторезистора (поглощение основной решеткой). С увеличением длины волны свет проникает в светочувствительный слой фоторезистора все глубже, чувствительность при этом повышается и при некоторой длине волны становится опять равной нулю, так как энергия светового кванта уже недостаточна для того, чтобы освободить электрон.

Чувствительность сернисто-кадмиевого фотосопротивления хорошо совпадает с чувствительностью человеческого глаза, однако максимум этой чувствительности может смещаться введением соответствующих присадок. Чувствительность фотосопротивления из CdS смещена в область красных лучей, а чувствительность слоев PbS—даже в область инфракрасных лучей (2,8 мк). Соответственно ширина запрещенной зоны в энергетической схеме равна для CdS — 1,8 эВ, для PbS — 2,4 эВ.

При увеличении температуры вид спектральной характеристики существенно изменяется. Характеристика может смещаться как в длинноволновую, так и коротковолновую область спектра. Это объясняется тем, что ширина запрещенной зоны у различных веществ может как уменьшаться, так и увеличиваться.

Фоторезисторы широко используются в схемах защиты контролируемого процесса, сортировке деталей по окраске или размерам, измерении силы света и автоматической регулировке освещенно-

сти, дистанционного измерения температуры, кино- и фотоаппаратуре. Обозначаются фоторезисторы буквами СФ или ФС (фото-сопротивление), за которыми следуют буква и цифра, характеризующие состав материала полупроводника и конструктивное оформление (А — PbS, К — CdS, Г — герметизированная конструкция).

2. УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки (рис. 5).

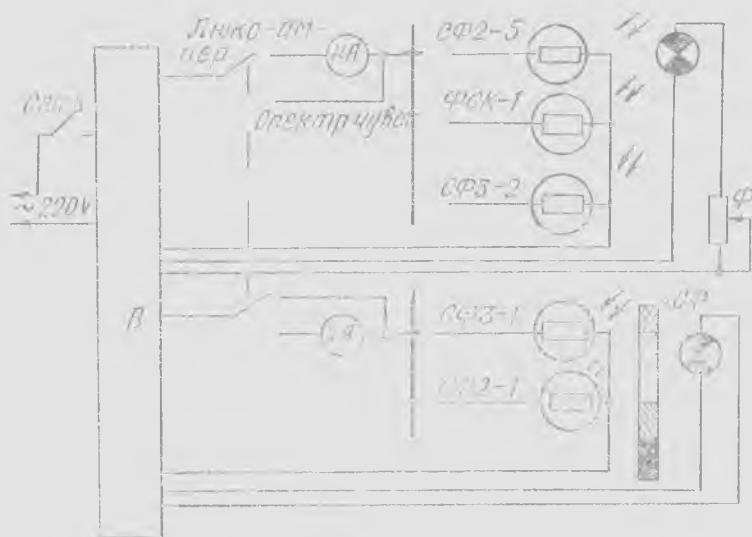


Рис. 5. Схема экспериментальной установки: В — выпрямители; СФ — светофильтр

2. Включить стенд с помощью тумблера «Сеть», расположенного на передней панели стенда.

3. Поставить тумблер «Люкс—ампер—спектр. чувств.» в положение «Люкс—ампер».

4. Снять зависимости $I_{\Phi} = \varphi(\Phi)$ последовательно для трех фоторезисторов СФ2-5, ФСК-1 и СФ3-2. Освещенность фоторезисторов изменять регулятором «Ф» в пределах, указанных на стенде, выбрать максимальную чувствительность микроамперметра для каждого фоторезистора. Результаты занести в таблицу, форму которой выбрать произвольной.

5. Поставить тумблер «Люкс—ампер—спектр. чувств.» в положение «Спектр. чувств.».

6. Снять зависимости спектральной чувствительности последовательно для трех фоторезисторов СФ3-1 и СФ2-1. Длину волны света задавать с помощью светофильтра. Соответствие цвета светофильтра и длины волны света установить с помощью таблицы, расположенной на крышке стенда. Результаты занести в табл. 2, форму которой выбрать произвольной.

7. Рассчитать величины фотосопротивлений в соответствии с формулами:

$$R_{\Phi} = \frac{1}{\Phi \gamma}, \quad \Phi \gamma = I_{\Phi}, \quad \gamma = - \frac{\lg R_{\Phi}}{\lg \Phi}$$

8. Построить графики зависимостей:

$$R_{\Phi} = \varphi(\Phi) \quad \text{и} \quad \frac{I_{\Phi}}{I_{\Phi \max}} = \varphi(\lambda)$$

9. Определить материалы, из которых выполнены фоторезисторы, сформулировать выводы.

3. ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Чем отличаются внутренний и внешний фотоэффекты?
2. Из каких материалов изготавливаются фоторезисторы?
3. Каков механизм электропроводности в фоторезисторах?
4. Почему ток, протекающий через фоторезистор, зависит от частоты падающего светового потока?
5. Как должны изменяться спектральные чувствительности фоторезисторов с понижением температуры?
6. По каким характеристикам можно определить область применения фоторезисторов?

Библиографический список

1. Насынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. — М.: Высшая школа, 1986. — 367 с.
2. Насынков В. В. Материалы электронной техники. — М.: Высшая школа, 1980. — 406 с.

Составитель *Виктор Николаевич Биров*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Редактор Л. Балыкова
Техн. редактор Н. Калепюк
Корректор Н. Куприянова

Сдано в набор 16.02.88 г. Подписано в печать 4.03.88 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная. Печать высокая. Гарнитура литературная.
Усл. п. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,9. Т. 300 экз. Заказ 293. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяповская, 18.