

СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЕ ФОТОЭФФЕКТА

Цель работы: Изучить три вида фотоэффекта: внешний, внутренний и вентильный.

1. Краткое теоретическое введение

Различают три вида фотоэффекта: внешний, внутренний и вентильный фотоэффект в запирающем слое.

Внешним фотоэффектом называют явление вырывания электронов с поверхности тела под действием света. Закон сохранения энергии для внешнего фотоэффекта выражается уравнением Эйнштейна:

$$h \cdot \nu = A_{\text{вых}} + \frac{m \cdot v_{\text{max}}^2}{2} . \quad (1.1)$$

Энергия поглощенного телом кванта $E = h \cdot \nu$ затрачивается на совершение работы выхода электрона из тела $A_{\text{вых}}$ и приобретение электроном максимальной кинетической энергии $\frac{m \cdot v_{\text{max}}^2}{2}$. Минимальная энергия кванта, необходимая для вырывания электрона, определяет красную границу фотоэффекта:

$$h \cdot \nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}}; \quad \nu_{\text{кр}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$$

Если частота света $\nu < \nu_{\text{кр}}$, то фотоэффект отсутствует.

Внешний фотоэффект можно наблюдать в вакуумном фотоэлементе (рис. 1.1). В стеклянной колбе, из которой выкачан воздух до давления $10^{-6} - 10^{-7}$ мм рт. ст., размещены катоды К и анод А. Для уменьшения граничной частоты $\nu_{\text{кр}}$ поверхность катода покрывают полупроводниковым слоем, обладающим малым значением работы выхода, например, соединением сурьмы и цезия Cs_3Sb . Если на катод направить пучок света с частотой $\nu > \nu_{\text{кр}}$ и создать между катодом и анодом разность потенциалов, то электроны, эмитируемые катодом и ускоряемые электрическим полем, образуют фототок. При этом сила фототока вначале растет с увеличением напряжения, а затем достигает насыщения.

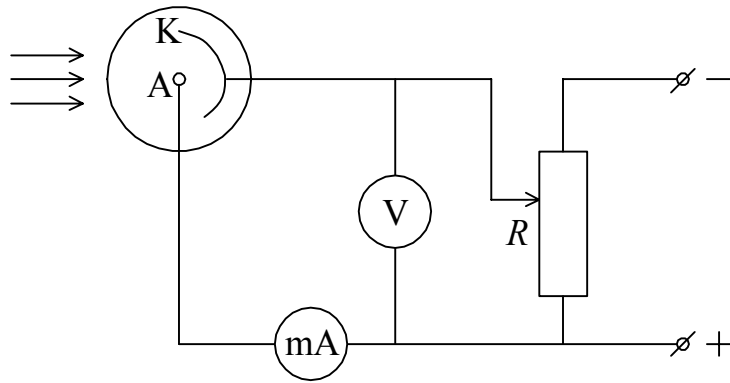


Рис.1.1. Схема включения фотоэлемента

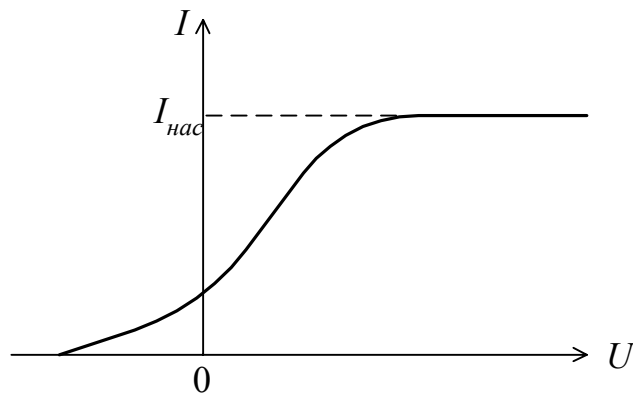


Рис.1.2. Вольт-амперная характеристика фотоэлемента

График, выражающий зависимость фототока от напряжения, называется вольтамперной характеристикой фотоэлемента (рис. 1.2). Ток насыщения пропорционален мощности падающего излучения (световому потоку).

Фотоэлементы применяются для преобразования светового сигнала в электрический, поэтому важной характеристикой элемента является его чувствительность, равная отношению фототока насыщения к световому потоку, падающему на катод. Чувствительность фотоэлемента можно значительно повысить путем заполнения баллона разреженным инертным газом. Такие фотоэлементы называются газонаполненными. Дополнительное число носителей возникает в них вследствие ударной ионизации электронами атомов газа.

Внутренний фотоэффект заключается в том, что под действием света электропроводность полупроводников увеличивается за счет возрастания в них числа свободных носителей тока - электронов проводимости и дырок.

Явление внутреннего фотоэффекта объясняется на основе зонной теории кристаллических тел. В диэлектрике и беспримесном полупроводнике зона проводимости не содержит электронов, а лежащая ниже валентная зона целиком заполнена электронами (рис. 1.3). Разница между энергиями этих зон называется энергией активации проводимости W_a . У полупроводников W_a значительно меньше, чем у диэлектриков. При поглощении полупроводником фотона с энергией $h\nu > W_a$ один из электронов может перейти из валентной зоны в зону проводимости. При этом появляются носители тока: в зоне проводимости - электроны, а в валентной зоне - "положительные дырки", обуславливающие увеличение электропроводности тела. Введением в полупроводник соответствующих примесей можно получить полупроводник электрической (n -типа) и дырочной (p -типа) проводимостью.

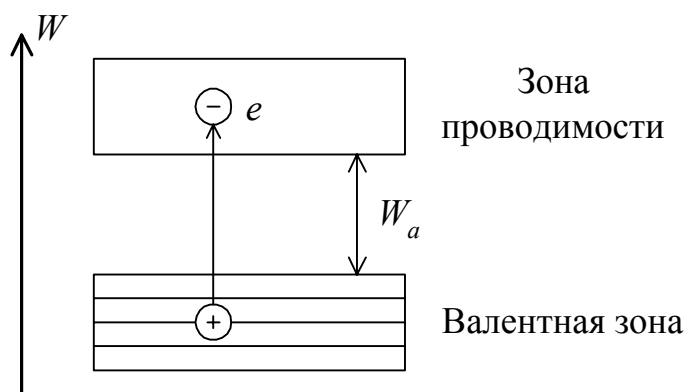


Рис.1.3. Энергетические зоны полупроводника

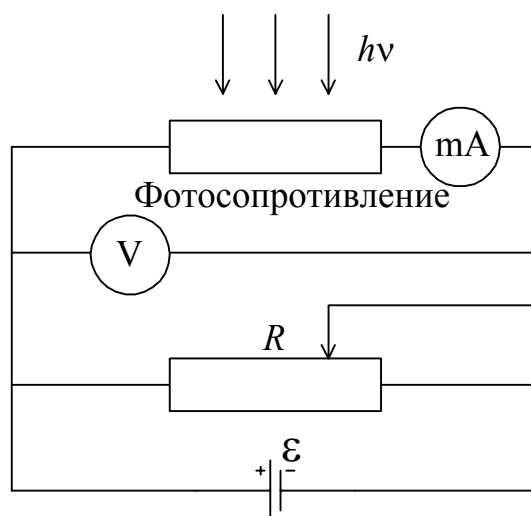


Рис.1.4. Схема включения фотосопротивления

Рассмотрим фотоэффект с запирающим слоем (рис. 1.5). Приведем в контакт между собой два полупроводника n - и p -типа. Тогда электроны проводимости из n -полупроводника будут диффундировать в противоположном направлении. В результате в тонком слое на границе раздела возникает контактная разность потенциалов. Это поле препятствует движению через него основных носителей тока: электронов n -полупроводника и дырок p -полупроводника, поэтому слой называется запирающим.

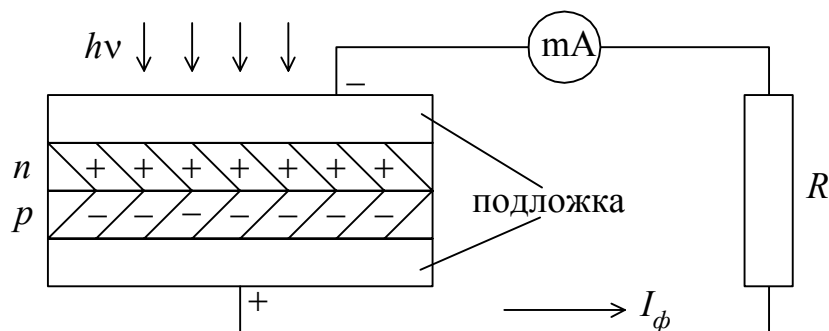


Рис. 1.5. Схема возникновения фотоэффекта в запирающем слое

При падении светового потока на поверхность запирающего слоя в нем вследствие внутреннего фотоэффекта возникают дополнительные электроны проводимости и дырки.

Под действием контактной разности потенциалов дырки переходят в p -область, электроны в n -область. Таким образом, в p -области появляется избыток положительных зарядов, в n -области — избыток отрицательных зарядов, т. е. между областями возникает разность потенциалов, называемая фото-эдс. Такие приборы, работающие на основе фотоэффекта в запирающем слое, называются фотодиодами. Фотодиоды могут работать в двух режимах: фотопреобразовательном и фотогенераторном. В первом режиме на фотодиод прикладывается внешнее напряжение, под действием которого освобождаемые светом заряды перемещаются внутри элемента. В фотогенераторном, или вентильном, режиме под действием света на зажимах диода возникает собственная эдс, благодаря которой проходит ток во внутреннем и внешнем (нагрузочном) участках цепи.

2. Лабораторная установка

2.1. Принадлежности: установка ЭС-6 для снятия характеристик.

2.2. Описание установки (рис. 2.1).

Блок-схема установки представлена на рис. 2.1

3. Порядок выполнения работы

3.1. Снятие вольт-амперной характеристики сурьмяно-цезиевого фотоэлемента СЦВ-3.

3.1.1 Тумблером "сеть" включите прибор в сеть 220 В.

3.1.2 Тумблер В7 установите в положение "вакуумный". Тумблером В8 установите световой поток F1. Остальные тумблеры В9, В10, В11, должны быть установлены в положении $F = 0$, т. е. выключены.

3.1.3 Изменяя резистором R_{12} напряжение U_a на аноде фотоэлемента от 0 до 250 В через каждые 10 В, снимите значения тока, идущего через фотоэлемент, по микроамперметру μA_1 . Для измерения напряжения служит вольтметр V_1 . Данные занести в таблицу.

3.1.4 Тумблером В8 установите световой поток F2 и снимите новую вольт-амперную характеристику. После этого тумблер В8 установите в среднее положение, при котором световой поток равен нулю.

3.1.5 Постройте вольт-амперные характеристики фотоэлемента для двух значений светового потока. По графику определите токи насыщения для F1 и F2 и сравните их изменение $I_{нас1}/I_{нас2}$ с изменением светового потока ($F2/F1 = 2$).

3.2. Снятие вольт-амперной характеристики газонаполненного фотоэлемента ЦГ-3.

3.2.1 Тумблер В7 установите в положение "газонаполненный".

3.2.2 Устанавливая тумблером В9 световые потоки F1 и F2, снимите и постройте вольт-амперные характеристики аналогично случаю с вакуумным фотоэффектом.

3.3. Снятие вольт-амперной характеристики фотосопротивления ФСК-Г1.

3.3.1 Включите тумблер В2. Тумблер В10 установите в положение F1. Все остальные тумблеры должны быть в выключенном положении.

3.3.2 Снимите вольт-амперные характеристики. Напряжение регулируется резистором R_{12} , ток измеряется по миллиамперметру mA_2 .

3.3.3 Установите тумблер В10 в положение F2 и повторите измерения. После чего В10 установите в среднее положение.

3.3.4 Постойте вольт-амперной характеристики фотосопротивления для F1 и F2. По углу наклона графиков ($tg\alpha$) определите значение сопротивления участка: $R = R_\phi + R_2$, где R_ϕ - сопротивление ФСК-Г1, $R_2 = 5,6$ кОм. Отсюда $R_\phi = R - R_2$. Сравните изменение сопротивления $R_{\phi 2}/R_{\phi 1}$ с изменением светового потока $F2/F1=2$.

3.4. Снятие нагрузочных характеристик ФД1-1 в режиме фотогенератора.

3.4.1 Тумблер В3 установите в положение "фотогенератор". Тумблером В11 установите F1.

3.4.2 Переключателем В1 установите различные значения нагрузки от 0 до 300 кОм, измеряя при этом токи в цепи по микроамперметру μA_3 . Данные занесите в таблицу.

3.4.3 Постройте нагрузочные характеристики $I = f(R_n)$, сравните изменение фототоков I_2/I_1 при $R_n = 0$ с изменением светового потока $F2/F1 = 2$.

4. Вопросы для самопроверки

1. Фотоэлектрический эффект: внешний, внутренний, вентильный. Их характеристика.

2. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Красная граница фотоэффекта.

3. Чем объяснить наличие тока насыщения у вакуумных фотоэлементов и отсутствие его у газонаполненных ?

4. Как объяснить увеличение электропроводности фотосопротивления при освещении его светом ?

5. Объясните принцип действия фотодиода. Почему при увеличении светового потока, падающего на фотодиод, возрастает фототок в цепи ?