

Лабораторная работа 19

ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОРЕЗИСТОРА

Цель работы: экспериментально исследовать вольтамперную характеристику фоторезистора. Определить ширину запрещенной зоны полупроводника.

Требуемое оборудование: Модульный учебный комплекс МУК-ОК.

Приборы: 1. Блок амперметра-вольтметра АВ1, 1 шт.

2. Стенд с объектами исследования СЗ-ОК01 и источник питания ИПС1, 1 комплект.

3. Проводники Ш4/Ш1,6 -60см, 6 шт.

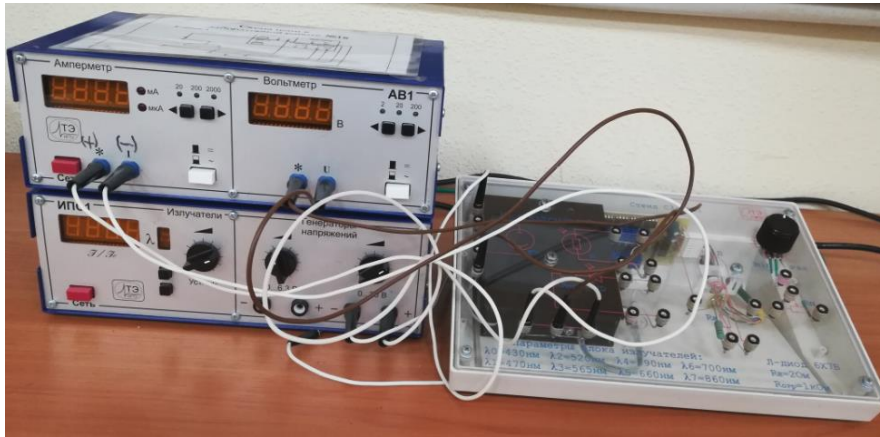


Рис. 1

Общие сведения

Явление вырывания электронов из вещества при освещении его светом получило название фотоэлектрического эффекта. Различают внешний и внутренний фотоэффект. При внешнем фотоэффекте электроны освобождаются светом из поверхностного слоя вещества и переходят в другую среду, в частности в вакуум. В кристаллических полупроводниках и диэлектриках, помимо внешнего фотоэффекта, наблюдается внутренний фотоэффект.

Внутренним фотоэффектом называется увеличение электропроводности полупроводника под действием света. При внутреннем фотоэффекте оптически возбужденные электроны остаются внутри освещаемого тела, не нарушая его электрическую нейтральность,

то есть под действием света происходит перераспределение электронов по энергетическим уровням.

Фоторезистором называется полупроводниковый прибор, действие которого основано на явлении внутреннего фотоэффекта.

Частота электромагнитного излучения, удовлетворяющая условию

$$h\nu_{кр} = \Delta E \quad (1)$$

Где h - постоянная Планка, ΔE – ширина запрещённой энергетической зоны полупроводника, называется красной границей фотоэффекта. В теории полупроводников выделяют также понятие **вентильного фотоэффекта**, когда фотоЭДС возникает при освещении вентильного, то есть выпрямляющего, контакта. Выпрямляющими свойствами обладают контакты полупроводников различного типа электропроводности (как p-n-переход).

Электропроводность собственного полупроводника, обусловленная тепловым возбуждением, называется темновой проводимостью:

$$\sigma_T = q_e n (\mu_n + \mu_p) \quad (2)$$

где n – концентрация электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне; μ_n и μ_p – подвижность электронов и дырок соответственно; q_e – заряд носителя тока.

При освещении полупроводника возникают дополнительные свободные носители заряда, обусловленные внутренним фотоэффектом. При поглощении кванта света один из валентных электронов переходит в зону проводимости, а в валентной зоне образуется дырка. Очевидно, такой переход возможен, если энергия фотона $\varepsilon = h\nu$ равна или несколько больше ширины запрещённой зоны ΔE

$$h\nu > \Delta E \quad (3)$$

Полная электропроводность складывается из темновой и фотопроводности:

$$\sigma = \sigma_T + \sigma_\phi \quad (4)$$

Основными характеристиками фоторезистора являются вольтамперная, световая и спектральная.

Вольтамперной характеристикой фоторезистора называется зависимость тока I_ϕ , протекающего через фоторезистор, от величины приложенного напряжения U при постоянном световом потоке Φ :
 $I_\phi = f(U)_{\Phi=\text{const}, \lambda=\text{const}}$. Амперметр в схеме установки регистрирует полный световой ток I , включающий в себя темновой ток I_T и фототок I_ϕ

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\sigma S}{l} U = \frac{(\sigma_T + \sigma_\phi) S}{l} U = I_T + I_\phi \quad (5)$$

где $R = \frac{l}{\sigma S}$ - сопротивление фоторезистора, l - его длина, S - площадь поперечного сечения, σ - его удельная проводимость.

I_T - темновой ток, I_ϕ - фототок, S - площадь поперечного сечения, l - длина проводника.

Из уравнения (4) видно, что вольтамперная характеристика как темновая, так и при освещении, является линейной, поскольку при постоянной температуре T и постоянном световом потоке Φ электропроводности σ_ϕ и σ_T не зависят от напряжения U . Следует отметить, что в области обычно реализуемых освещенностей световой ток намного больше темнового, т. е. $I \gg I_T$

Световой характеристикой фоторезистора называется зависимость фототока I_ϕ от величины падающего светового потока Φ при постоянном значении приложенного к нему напряжения $I_\phi = f(\Phi)_{U=\text{const}}$. Световая характеристика фоторезистора обычно нелинейная (Рис.2). При больших освещенностях увеличение фототока отстает от роста светового потока, намечается тенденция к насыщению. Это объясняется тем, что при увеличении светового потока наряду с ростом концентрации генерируемых носителей заряда растет вероятность их рекомбинации, однако при небольших и средних освещенностях характеристика практически совпадает с прямой линией.

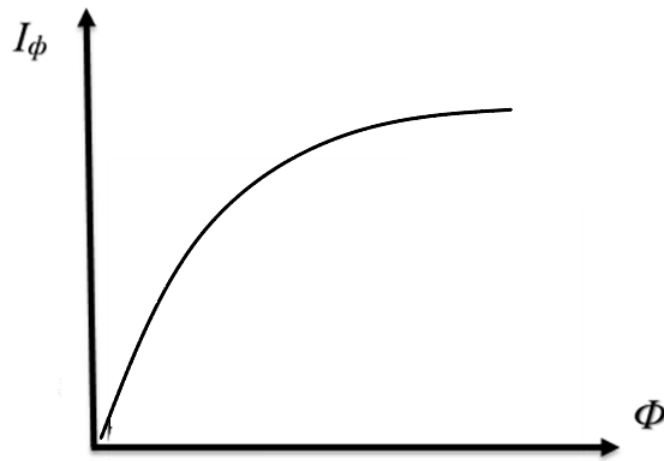


Рис.2

Спектральной характеристикой фоторезистора называется зависимость фототока насыщения I_n от длины волны λ при постоянном световом потоке $I_n = f(\lambda)_{\Phi=const, U=cjnst}$. Фототок в полупроводнике появляется, начиная с длины волны λ_0 , соответствующей равенству:

$$\frac{hc}{\lambda_{кр}} = \Delta E \quad (5)$$

где ΔE – ширина запрещенной зоны полупроводника; $\lambda_{кр}$ – край собственного поглощения (красная граница фотоэффекта).

Зная ширину запрещенной зоны, можно определить полупроводник, из которого сделан фоторезистор (таблица 1).
Таблица 1.

Полупроводник	Ge	Si	JnSb	GaAs	GaP	CdS	CdSe	PbS
ΔE , эВ	0,72	1,12	0,17	1,42	2,26	2,42	1,70	0,41

Казалось бы, что спектральная характеристика фоторезистора должна иметь вид ступени, т.е. для всех $\lambda < \lambda_{кр}$ $I_\phi = const$ и для $\lambda > \lambda_{кр}$ $I_\phi = 0$

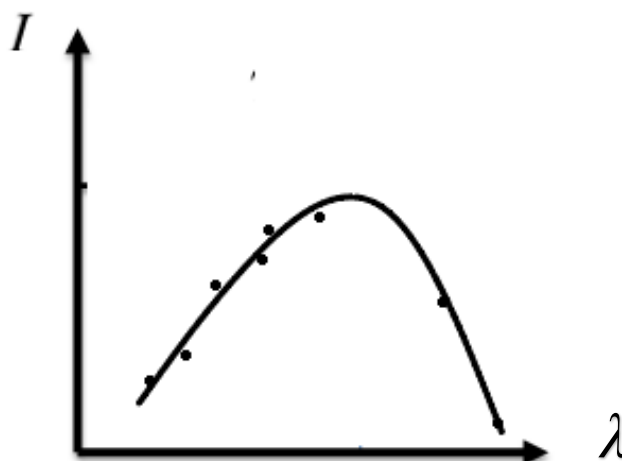


Рис.3

Однако такой вид она могла бы иметь лишь при абсолютном нуле. При повышении температуры тепловое движение «размывает» край собственного поглощения и характеристика принимает вид кривой с выраженным максимумом (Рис.3). С увеличением энергии фотона в реальной спектральной характеристике фототок быстро достигает максимума, а затем начинает уменьшаться, хотя энергии фотона более чем достаточно для возникновения фотопроводимости. Это объясняется тем, что с уменьшением λ растет коэффициент оптического поглощения, что приводит к поглощению света в тонком приповерхностном слое вещества и, следовательно, к повышению концентрации неравновесных носителей заряда. Эти носители заряда активно рекомбинируют на поверхности, не успевая диффундировать в объем полупроводника, что приводит к уменьшению фотопроводимости.

Вблизи края собственного поглощения у некоторых полупроводников возникает так называемое экситонное поглощение, несколько снижающее величину фототока. (Электрон, возбужденный фотоном, покидает валентную зону, но зоны проводимости не достигает; эта система электрон-дырка, связанная кулоновским взаимодействием, и называется экситоном. Экситоны, будучи нейтральными образованиями, вклада в электропроводность не дают.)

Методика эксперимента

Экспериментальная установка. Электрическая схема установки представлена на Рис.4. В качестве источника ЭДС используется генератор регулируемого постоянного напряжения блока ИПС1, работающий в диапазоне 0..6,3 В. Такое включение измерительных

Таблица 19.2: световые характеристики фоторезистора

$$I_{\phi} = f(\Phi)_{U=const, \lambda=const} \quad U = , \quad I_T = , \quad \Delta(J/J_0) = 0,1$$

J/J_0		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$\lambda =$	$I, \text{ мкА}$													
	$I_{\phi} = I - I_T$ мкА													
$\lambda =$	$I, \text{ мкА}$													
	$I_{\phi} = I - I_T$ мкА													

Таблица 19.3: спектральная характеристика фоторезистора .

$$J/J_0 = \dots , \quad U = , \quad I_T =$$

$$I_{\phi} = f(\lambda)_{\Phi=const, U=const}$$

$\lambda, \text{ нм}$	430	470	520	565	590	660	700	860
$I, \text{ мкА}$								
$I_{\phi} = I - I_T, \text{ мкА}$								

Указания по проведению измерений

1. Собрать схему (Рис.4)

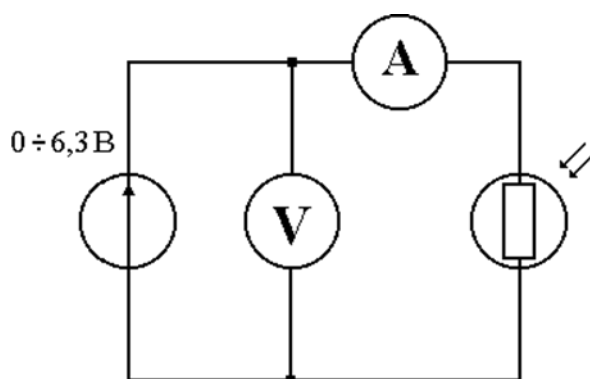


Рис.4

2. На блоке управления ИПС1 регулятором интенсивности излучения установите значение J/J_0 в диапазоне 1.0-1.2; выберите режим измерения вольтметра – 20 В, режим измерения амперметра - 200 мкА.
3. Снять темновую характеристику фоторезистора $I_T = f(U)_{\Phi=const}$ при величине $\Phi = J/J_0 = 0.1$ с шагом напряжения $\Delta U = 0.5В$. Значения занести в Табл.19.1.
4. Снять семейство вольтамперных характеристик (зависимость величины фототока $I_\phi = I - I_T$ от напряжения U) для трёх значений длины волны λ с шагом напряжения $\Delta U = 0.5В$.
Для исключения влияния усилителя необходимо снять значения темнового тока I_T фоторезистора при величине $J/J_0 = 0.1$;
Результаты измерений занесите в таблицу 19.1. Истинное значение фототока равно разности светового I и темнового I_T токов: $I_\phi = I - I_T$.
5. Снять семейство световых характеристик (зависимость фототока I_ϕ от величины светового потока $\Phi = J/J_0$). Измерения выполнить при фиксированном значении напряжения U для двух длин волн с шагом по $J/J_0 = 0,1$. Выбранное значение напряжения U и темнового тока I_T занести в верхнюю часть таблиц 19.2 и 19.3. Результаты измерений занесите в таблицу 19.2.
6. Снять спектральную характеристику фотоэлемента (зависимость величины фототока от длины волны λ) используя все 8 длин волн, значения которых написаны на крышке стенда СЗ-ОК1 и в табл. 19.3. Измерения выполнять при фиксированном значении напряжения U и фиксированном значении величины светового потока $\Phi = J/J_0$, значения которых занести в верхнюю часть табл.19.3. Результаты измерений занести в таблицу 19.3.

Задание по обработке результатов измерений

1. Используя результаты измерений в таблице 19.1 построить на миллиметровой бумаге графики зависимостей величины фототока I_ϕ от напряжения U : $I_\phi = f(U)_{\Phi=const, \lambda=const}$ для трех значений длин волн λ (вольтамперные характеристики фоторезистора).

2. Постройте на миллиметровой бумаге световые кривые $I_{\phi} = f(\Phi)_{U=const, \lambda=const}$ по результатам измерений, полученным в таблице 19.2.
3. По результатам измерений из таблицы 19.3 постройте на миллиметровой бумаге спектральную характеристику фоторезистора $I_{\phi} = f(\lambda)_{\Phi=const}$. Определите по спектральной характеристике край собственного поглощения $\lambda_{кр}$. По формуле (5) оцените ширину $\Delta E = hc/\lambda_{кр}$ запрещенной зоны полупроводника, из которого изготовлен фоторезистор. Пользуясь таблицей 1 определите материал полупроводника.

Контрольные вопросы.

1. Чем отличается внешний фотоэффект от внутреннего?
2. Что такое длинноволновая граница фотопроводимости и как ее определить?
3. Почему при освещении полупроводника его сопротивление уменьшается?
4. Что такое вольтамперная и световая характеристики фотосопротивлений?
5. Как образуются в твердом теле зоны проводимости, валентная, запрещенная зоны?
6. Как зависит от температуры сопротивление (проводимость) полупроводников?

