

Лабораторная работа № 5-9(н): Изучение полупроводникового диода

Студент: _____ группа: _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: изучение принципа действия полупроводникового диода, снятие вольт – амперной характеристики диода при разных температурах, определение контактной разности потенциалов φ_k .

Приборы и материалы: установка для изучения полупроводникового диода.

Внешний вид установки



Порядок выполнения работы

Упражнение 1. Снятие вольтамперной характеристики (ВАХ) полупроводникового диода

1. Ознакомьтесь с установкой. Кнопка включения установки находится на задней панели прибора.
2. Установите переключатель ВАХ-ВФХ в положение ВАХ.
3. Установите переключатель «Прямая-обратная» в положение «Прямая».
4. Кнопкой «+» задавая необходимое значение напряжения на индикаторе напряжения от 0.3 В до 0.7 В через 0,05 В, снимите соответствующие показания с индикатора силы тока (с учетом указателя единиц измерения мА или мкА) и результаты измерений запишите в таблицу 1.
5. Нажмите кнопку «Сброс». Установите переключатель «Прямая-обратная» в положение «Обратная».
6. Проведите измерения в интервале от 0,1 В до 10 В через 1 В. Результаты измерений запишите в таблицу 1.
7. По полученным данным постройте **вольтамперную характеристику** полупроводникового диода.

Таблица 1

Прямой ток		Обратный ток	
U , В	I , мА	U , В	I , мкА
0.30		0.1	
0.35		0.3	
0.40		0.5	
0.45		0.8	
0.50		1.0	
0.55		2.0	
0.60		3.0	
0.65		4.0	
0.70		5.0	
		6.0	
		7.0	
		8.0	
		9.0	
		10.0	

Упражнение 2. Определение контактной разности потенциалов φ_k

Величину контактной разности потенциалов φ_k определите графически. Исходя из графика, представленного на рис.2 (см. теорию), ВАХ диода на промежутке $U > \varphi_k$ имеет практически линейный вид. Прямая, являющаяся продолжением почти линейного участка ВАХ, пересекает ось напряжений в точке $U = \varphi_k$.

Для проверки совпадения Вашей экспериментальной зависимости $I = f(U)$ с теоретической зависимостью данного полупроводникового диода используется метод наименьших квадратов.

1. Заполните таблицу 2, используя результаты предыдущего упражнения для прямого тока (возьмите последние 5 значений прямого тока).

2. В данном случае зависимость $I = f(U)$ должна определяется линейной функцией вида

$$y = Ax + B, \text{ где } x = U; \quad y = I.$$

Таблица 2

№	U , В	I , А	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	$y_i - \langle y \rangle$	$(y_i - (Ax_i + B))^2$
1								
2								
3								
4								
5								
Σ								

3. Определите коэффициенты A и B в линейной зависимости $y = Ax + B$ по методу наименьших квадратов (см. лаб. работу 0-1):

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

4. Определив значения параметров A и B , запишите уравнение прямой и постройте эту прямую на графике зависимости силы тока I от напряжения U из упражнения 1.

5. По формулам $S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - (Ax_i + B))^2}{n - 2}$ и $S_{on}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y - \langle y \rangle)^2}{n - 1}$ определите дисперсию адекватности и дисперсию опыта, где n – число измерений.

6. По полученным данным найдите критерий Фишера $F = \frac{S_{ad}^2}{S_{on}^2}$ и проверьте двухстороннее неравенство:

$$\frac{1}{F_{табл}} \leq F \leq F_{табл}, \quad \text{где} \quad F_{табл} = 6.59.$$

Если неравенство выполняется, то с вероятностью $p = 0,95$ можно утверждать о линейной зависимости силы тока I от напряжения U в Вашем эксперименте.

5. Сделайте вывод о соответствии зависимости $y = Ax + B$ полученным экспериментальным данным и определите по графику значение контактной разности потенциалов φ_K (это точка пересечения полученной прямой с осью ОХ).

6. Запишите ответ.

ВНИМАНИЕ: в связи с дистанционным обучением, Вам не надо проводить эксперимент самостоятельно. За Вас это сделали добрые люди. Ваша задача оформить лабораторную работу по примеру лабораторной работы 0-1 (не надо переписывать всё подряд).

1) Необходима шапка

Лабораторная работа № 5-9(н): Изучение полупроводникового диода

Студент: _____ группа: _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: изучение принципа действия полупроводникового диода, снятие вольт – амперной характеристики диода при разных температурах, определение контактной разности потенциалов φ_K .

Приборы и материалы: установка для изучения полупроводникового диода.
(рисунок установки можете не делать)

2) Название упражнения

Упражнение 1. Снятие вольтамперной характеристики полупроводникового диода

3) Таблица

Таблица 1

Прямой ток		Обратный ток	
U , В	I , мА	U , В	I , мкА
0,10		0.1	
0,20		0.3	
0,25		0.5	
0.30		0.8	
0.35		1.0	
0.40		2.0	
0.45		3.0	
0.50		4.0	
0.55		5.0	
0.60		6.0	
0.65		7.0	
0.70		8.0	

- 4) Под таблицей расчётные формулы, проверка их размерности и сами вычисления.
 5) Грамотно записан ответ.
 6) При необходимости сделать вывод и график (где его требуют)

Результаты эксперимента приводятся для каждой бригады после контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Основные отличия в электрических свойствах проводников, полупроводников и диэлектриков.
2. Виды полупроводников.
3. Получение полупроводников n – типа и p – типа.
4. Зонная структура металлов, полупроводников и диэлектриков
5. Полупроводниковый диод
6. Вольтамперная характеристика (ВАХ) полупроводникового диода

ВНИМАНИЕ: для защиты лабораторной работы необходимо её оформить, провести расчёты согласно результатам эксперимента для Вашей бригады, грамотно заполнить таблицы, проверить размерность формул, грамотно записать ответы и ответить в письменном виде на контрольные вопросы.

Сфотографируйте Вашу работу, а так же ответы на контрольные вопросы, и пришлите фотографии мне на WhatsApp.

Не забудьте подписать лабораторную работу. Тому, кто выполнит все требования, я зачту лабораторную работу.

Бригада 1 и 6**Таблица 1**

Прямой ток		Обратный ток	
$U, В$	$I, мА$	$U, В$	$I, мкА$
0,10	3	0.1	3
0,20	8	0.3	7
0,25	14	0.5	10
0.30	18	0.8	12
0.35	25	1.0	14
0.40	30	2.0	16
0.45	41	3.0	18
0.50	48	4.0	19
0.55	60	5.0	20
0.60	86	6.0	21
0.65	97	7.0	21
0.70	119	8.0	21

Бригада 2 и 7**Таблица 1**

Прямой ток		Обратный ток	
$U, В$	$I, мА$	$U, В$	$I, мкА$
0,10	3	0.1	3
0,20	8	0.3	7
0,25	14	0.5	10
0.30	18	0.8	12
0.35	25	1.0	14
0.40	30	2.0	16
0.45	41	3.0	18
0.50	48	4.0	19
0.55	60	5.0	20
0.60	86	6.0	21
0.65	97	7.0	21
0.70	119	8.0	21

Бригада 3 и 8**Таблица 1**

Прямой ток		Обратный ток	
$U, В$	$I, мА$	$U, В$	$I, мкА$
0,10	3	0.1	3
0,20	8	0.3	7
0,25	14	0.5	10
0.30	18	0.8	12
0.35	25	1.0	14
0.40	30	2.0	16
0.45	41	3.0	18
0.50	48	4.0	19
0.55	60	5.0	20
0.60	86	6.0	21
0.65	97	7.0	21
0.70	119	8.0	21

Бригада 4 и 9**Таблица 1**

Прямой ток		Обратный ток	
U, В	I, мА	U, В	I, мкА
0,10	3	0,1	3
0,20	8	0,3	7
0,25	14	0,5	10
0,30	18	0,8	12
0,35	25	1,0	14
0,40	30	2,0	16
0,45	41	3,0	18
0,50	48	4,0	19
0,55	60	5,0	20
0,60	86	6,0	21
0,65	97	7,0	21
0,70	119	8,0	21

Бригада 5 и 10**Таблица 1**

Прямой ток		Обратный ток	
U, В	I, мА	U, В	I, мкА
0,10	3	0,1	3
0,20	8	0,3	7
0,25	14	0,5	10
0,30	18	0,8	12
0,35	25	1,0	14
0,40	30	2,0	16
0,45	41	3,0	18
0,50	48	4,0	19
0,55	60	5,0	20
0,60	86	6,0	21
0,65	97	7,0	21
0,70	119	8,0	21

Краткие теоретические сведения

Существуют вещества, которые по проводимости электрического тока занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Такие вещества называют **полупроводниками**. К ним относится целый ряд химически чистых элементов (германий, кремний, селен и др.), а также некоторые химические соединения (минералы, сульфиды, оксиды).

Основные отличия в электрических свойствах проводников, полупроводников и диэлектриков

1. различная величина удельного сопротивления ρ :

- *проводники* (вещества, которые хорошо проводят электрический ток, например, металлы, электролиты).

Хорошая проводимость тока объясняется наличием у них большого количества свободных носителей тока.

В проводниках – свободных электронов, в электролитах - положительных и отрицательных ионов.

У проводников удельное сопротивление $\rho_{np} = (10^{-8} \div 10^{-6}) \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

- **полупроводники** (вещества, которые занимают промежуточное положение по проводимости электрического тока между проводниками и диэлектриками, например, кремний, германий, индий и др.)

Плохая проводимость тока объясняется наличием у них небольшого по сравнению с проводниками количества свободных носителей тока. В полупроводниках носителями тока являются электроны проводимости и дырки.

У полупроводников удельное сопротивление $\rho_{nn} = (10^{-5} \div 10^7) \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

- **диэлектрики** (вещества, которые не проводят электрический ток, например, стекло, керамика, полимеры и др)

Отсутствие проводимости тока объясняется отсутствием у них свободных носителей тока.

У диэлектриков удельное сопротивление $\rho_d = (10^8 \div 10^{13}) \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

2. различная зависимость удельного сопротивления от температуры:

- у проводников с повышением температуры удельное сопротивление увеличивается,
 - у полупроводников и диэлектриков с повышением температуры удельное сопротивление уменьшается.

3. различная зависимость силы тока, текущего через вещество, от напряжения:

- у проводников зависимость линейная (выполняется закон Ома),
 - у полупроводников и диэлектриков зависимость нелинейная (не выполняется закон Ома).

Виды полупроводников

Различают **собственные** и **примесные** полупроводники.

Собственными полупроводниками называются химически чистые полупроводники, у которых концентрация свободных электронов n_e в зоне проводимости равна концентрации «дырок» n_p в валентной зоне.

Собственная проводимость очень маленькая и обычно не представляет практического интереса. Для увеличения электрической проводимости полупроводников применяют примеси.

Примесные полупроводники

Примесными называются полупроводники, электрическая проводимость которых обусловлена наличием в собственном полупроводнике примесей.

(например, при введении в кремний всего лишь 0.001% примеси бора увеличивает его проводимость в миллион раз)

Различают два типа примесных полупроводников:

- **n - типа** (основными носителями тока являются свободные электроны в зоне проводимости),
- **p - типа** (основными носителями тока являются дырки в валентной зоне).

Получение полупроводников *n* – типа

В кристаллическую решётку чистого полупроводника вводят примесь валентностью на единицу больше (например, в чистый четырёхвалентный германий Ge (или кремний Si) вводят примесь пятивалентного мышьяка As).

В этом случае четыре валентных электрона мышьяка образуют четыре ковалентные связи с четырьмя валентными электронами соседних атомов германия Ge , а пятый электрон мышьяка As оказывается лишним, слабосвязанным с ядром, который может довольно легко при тепловых колебаниях атома мышьяка оторваться от него и стать свободным электроном проводимости. При этом атом мышьяка As превращается в положительно заряженный ион As^+ , который свободно перемещаться по кристаллу не может.

Получение полупроводников *p* – типа

В кристаллическую решётку чистого полупроводника вводят примесь валентностью на единицу меньше (например, в чистый четырёхвалентный германий Ge (или кремний Si) вводят трёхвалентную примесь бора B).

В этом случае валентные электроны примеси бора образуют три ковалентные связи с тремя валентными электронами соседних атомов германия. Образование четвёртой ковалентной связи осуществляется путём захвата атомом бора одного электрона у атома кремния из соседней кристаллической ячейки (это оказывается возможным из-за того, что атом бора по размерам меньше атома германия, в результате чего его валентные электроны оказываются ближе к ядру и сильнее притягиваются к нему, чем валентные электроны атома германия). При этом атом бора превращается в отрицательно заряженный ион B^- , который свободно перемещаться по кристаллу не может, и образуется вакансия электрона (то есть «дырка») у «обварованного» атома германия.

Зонная структура металлов, полупроводников и диэлектриков

Валентной зоной называется самая верхняя разрешённая энергетическая зона, полностью заполненная валентными электронами.

Зоной проводимости называется следующая разрешённая энергетическая зона, лежащая выше валентной.

(при $T = 0$ К она может быть либо полностью свободной от электронов, либо частично заполненной)

В зависимости от степени заполнения электронами зон проводимости и ширины запрещённой зоны, вещества ведут себя как проводники, полупроводники или диэлектрики. Возможны четыре различных случая. Для этого рассмотрим вещество при температуре $T = 0$ К.

1. Если полностью заполненная валентная зона ВЗ перекрывается с вышерасположенной свободной зоной проводимости ЗП, с образованием, так называемой, **гибридной зоны**, то такое вещество будет вести себя как **проводник**.
2. Если над полностью заполненной валентной зоной ВЗ находится частично заполненная зона проводимости ЗП, то такое вещество будет вести себя тоже как **проводник**.

3. Если над полностью заполненной валентной зоной ВЗ находится свободная от электронов зона проводимости ЗП и ширина запрещённой зоны окажется меньше или равно 2 эВ (то есть $\Delta E \leq 2 \text{ эВ}$), то такое вещество будет вести себя как **полупроводник** (надо отметить, что при температуре $T = 0 \text{ К}$ полупроводники ведут себя как диэлектрики).

4. Если над полностью заполненной валентной зоной ВЗ находится свободная от электронов зона проводимости ЗП и ширина запрещённой зоны окажется больше 2 эВ (то есть $\Delta E > 2 \text{ эВ}$), то такое вещество будет вести себя как **диэлектрик**.

Полупроводниковый диод

Полупроводниковым диодом называется устройство, представляющее собой двухслойный полупроводниковый кристалл с разными типами электрической проводимости (полупроводниковый диод служит в основном для преобразования переменного тока в постоянный ток).

Один слой полупроводникового диода обладает проводимостью p - типа, а другой – проводимостью n - типа.

При совмещении полупроводников p -типа и n -типа возникает пограничная область, называемая **p - n переходом** (или электронно–дырочным переходом), основным свойством которого является способность проводить ток преимущественно в одном направлении.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) полупроводникового диода

(это зависимость силы тока I , текущего через p – n - переход от величины напряжения U на нём)

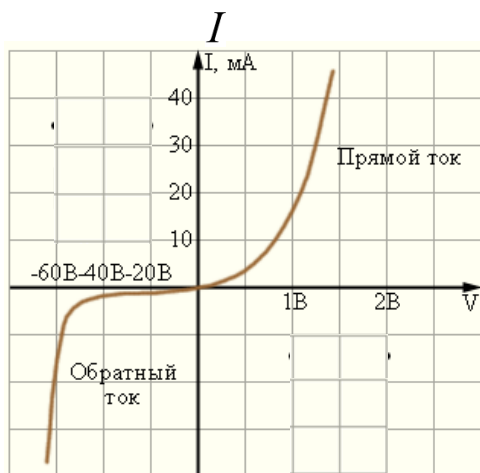


рис.1. ВАХ полупроводникового диода

Так как электрический ток в полупроводниках создается основными и неосновными носителями электрического тока, то имеются различия в зависимости силы тока от напряжения $I = f(U)$ для прямого и обратного тока (см. рис.1).

При прямом включении полупроводника ($U > 0$), ток, обусловленный в основном за счёт основных носителей тока, экспоненциально растёт по закону

$$I_{\text{прямой}} = I_0 (e^{\frac{|e|U}{kT}} - 1).$$

При обратном включении полупроводника ($U < 0$) ток, обусловленный неосновными носителями тока, сначала экспоненциально растёт по закону

$$I_{\text{обратный}} = I_0 (e^{-\frac{|e|U}{kT}} - 1).$$

Затем при некотором напряжении U , когда $e^{-\frac{|e|U}{kT}} \ll 1$, ток достигает предельного значения $I_{\text{обратный}} = -I_0$, которое называется **током насыщения**.

При дальнейшем увеличении обратного напряжения может наступить **электрический пробой** p - n – перехода, который может привести к разрушению p - n – перехода и выхода из строя полупроводникового диода.