

Группа _____ К работе допущен _____

Студент _____ Работа выполнена _____

Преподаватель _____ Отчет принят _____

Лаборант _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №2.10

Электронно-дырочный переход

1. Цель работы.

Измерить ВАХ полупроводникового диода. Найти высоту и ширину потенциального барьера в области р-п перехода

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

Измерить ВАХ германиевого и кремниевого диодов в прямом и обратном включениях. Построить графики ВАХ обоих диодов. Для германиевого диода найти напряжение отсечки $U_{отс}$, ширину d р-п перехода, ток насыщения I_s , экспериментальное значение $\Phi_{рп}$. Визуально сравнить ВАХ, полученную экспериментально, с ВАХ, полученной теоретически.

3. Объект исследования.

Полупроводниковый диод (германий, кремний)

4. Метод экспериментального исследования.

Снятие ВАХ диода

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$d \approx \left(\frac{2\epsilon\epsilon_0 U_{отс}}{en_d} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad I = I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right].$$

Ge: $N_d = 2.3 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$, $\epsilon = 16$

Si: $N_d = 1.8 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$, $\epsilon = 12$

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

$T = 23 \text{ град.} = 296 \text{ К}$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	вольтметр	цифровой	0-8,82 В	0,001 В
2	амперметр	цифровой	-13 – 9,46 мА	0,001 мА
3				
4				

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

	Германиевый диод				Кремниевый диод			
	прямое		обратное		прямое		обратное	
	Упр, В	Іпр, мА	Uобр, В	Іобр, мкА	Упр, В	Іпр, Ма	Uобр, мВ	Іобр, мкА
1	0,212	0,283	-3,43	-0,31	0,676	1,016	-14,147	-1,6
2	0,252	0,445	-3,7	-0,32	0,688	1,35	-14,14	-1,5
3	0,27	0,538	-4,01	-0,415	0,698	1,691	-13,32	-1,4
4	0,284	0,615	-4,32	-0,42	0,704	2,191	-12,37	-1,3
5	0,305	0,744	-4,62	-0,43	0,713	2,31	-11,2	-1,2
6	0,322	0,861	-4,91	-0,52	0,73	3,19	-10,49	-1,16
7	0,351	1,082	-5,24	-0,55	0,744	4,06	-9,32	-1,07
8	0,362	1,17	-5,53	-0,57	0,75	4,526	-8,26	-0,98
9	0,38	1,321	-5,82	-0,61	0,76	5,32	-7,32	-0,88
10	0,394	1,45	-6,14	-0,62	0,772	6,47	-6,26	-0,82
11	0,406	1,566	-6,42	-0,65	0,785	7,94	-5,29	-0,69
12	0,418	1,695	-6,71	-0,69	0,79	8,61	-4,25	-0,59
13	0,42	1,71	-7,02	-0,73	0,8	9,85	-3,31	-0,43
14	0,43	1,81	-7,35	-0,78	0,811	11,5	-2,36	-0,31
15	0,47	2,25	-7,62	-0,79	0,82	13,01	-1,507	-0,2
16	0,488	2,47	-7,95	-0,8	0,83	14,67	-1,322	-0,16
17	0,505	2,68	-8,25	-0,81	0,84	16,68		
18	0,51	2,74	-8,52	-0,88				

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Ge:

$$U_{отс} = U_{pn} = 0,29 \text{ В}$$

$$\Phi = e * U_{отс} = 1,6 * 10^{-19} * 0,29 \text{ Дж} = 4,64 * 10^{-20} \text{ Дж} = 0,29 \text{ эВ}$$

$$I_s = -0,12 \text{ мкА}$$

$$d = \left(\frac{2 * \epsilon * \epsilon_0 * U_{отс}}{e * n_d} \right)^{1/2} = \left(\frac{2 * 12 * 8,85 * 10^{-12} * 0,29}{1,6 * 10^{-19} * 2,3 * 10^{23}} \right)^{1/2} = 0,01375 \text{ м}$$

$$I = I_s * \left[\exp\left(\frac{eU}{k * T}\right) - 1 \right] = 3 = 0,12 * \left[\exp\left(\frac{1,6 * 10^{-19} * U}{1,38 * 10^{-23} * 296}\right) - 1 \right]$$

$$= 0,12 * [\exp(39,16 * U) - 1]$$

Uпр, В	Iпр, Ма
0,212	4,8E+02
0,252	2,3E+03
0,27	4,7E+03
0,284	8,1E+03
0,305	1,8E+04
0,322	3,6E+04
0,351	1,1E+05
0,362	1,7E+05
0,38	3,5E+05
0,394	6,0E+05
0,406	9,6E+05
0,418	1,5E+06
0,42	1,7E+06
0,43	2,5E+06
0,47	1,2E+07
0,488	2,4E+07
0,505	4,7E+07
0,51	5,7E+07

Uобр, В	Iобр, мкА
-3,43	-0,00012
-3,7	-0,00012
-4,01	-0,00012
-4,32	-0,00012
-4,62	-0,00012
-4,91	-0,00012
-5,24	-0,00012
-5,53	-0,00012
-5,82	-0,00012
-6,14	-0,00012
-6,42	-0,00012
-6,71	-0,00012
-7,02	-0,00012
-7,35	-0,00012
-7,62	-0,00012
-7,95	-0,00012
-8,25	-0,00012
-8,52	-0,00012

Si:

$$U_{отс} = U_{pn} = 0,75 \text{ В}$$

$$\Phi = e * U_{отс} = 1,6 * 10^{-19} * 0,75 = 1,2 * 10^{-19} \text{ Дж} = 0,75 \text{ эВ}$$

$$I_s = -0,3 \text{ мкА}$$

$$d = \left(\frac{2 * \epsilon * \epsilon_0 * U_{отс}}{e * n_d} \right)^{1/2} = \left(\frac{2 * 12 * 8,85 * 10^{-12} * 0,75}{1,6 * 10^{-19} * 1,8 * 10^{23}} \right)^{1/2} = 0,025 \text{ м}$$

$$I = I_s * \left[\exp\left(\frac{eU}{k * T}\right) - 1 \right] = 0,3 * \left[\exp\left(\frac{1,6 * 10^{-19} * U}{1,38 * 10^{-23} * 296}\right) - 1 \right]$$

$$= 0,3 * [\exp(39,16 * U) - 1]$$

Uпр, В	Iпр, Ма
0,676	9,42E+10
0,688	1,51E+11
0,698	2,23E+11
0,704	2,82E+11
0,713	4,01E+11
0,73	7,80E+11
0,744	1,35E+12
0,75	1,71E+12
0,76	2,53E+12
0,772	4,04E+12
0,785	6,72E+12
0,79	8,18E+12
0,8	1,21E+13
0,811	1,86E+13
0,82	2,65E+13
0,83	3,92E+13
0,84	5,79E+13

Uобр, В	Iобр, мкА
-14,147	-0,300
-14,14	-0,300
-13,32	-0,300
-12,37	-0,300
-11,2	-0,300
-10,49	-0,300
-9,32	-0,300
-8,26	-0,300
-7,32	-0,300
-6,26	-0,300
-5,29	-0,300
-4,25	-0,300
-3,31	-0,300
-2,36	-0,300
-1,507	-0,300
-1,322	-0,300

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

Ge: $\Delta U_{pn} = 0.001$ В

$\Delta \Phi = e * \Delta U_{pn} = 0.0016$ эВ

$$\Delta d(\text{Ge}) = \sqrt{\left(\frac{1}{2d(\text{Ge})} * \frac{d(\text{Ge})^2}{U_{pn}} * \Delta U_{pn}\right)^2} = \frac{d(\text{Ge}) * \Delta U_{pn}}{2 * U_{pn}} = \frac{0,01375 * 0.001}{2 * 0,29} = 2.371 * 10^{-5} \text{ м} = 0.024 * 10^{-3} \text{ м}$$

Si:

$\Delta U_{pn} = 0.001$ В

$\Delta \Phi = e * \Delta U_{pn} = 0.0016$ эВ

$$\Delta d(\text{Si}) = \sqrt{\left(\frac{1}{2d(\text{Si})} * \frac{d(\text{Si})^2}{U_{pn}} * \Delta U_{pn}\right)^2} = \frac{d(\text{Si}) * \Delta U_{pn}}{2 * U_{pn}} = \frac{0,025 * 0.001}{2 * 0,75} = 1.667 * 10^{-5} \text{ м} = 0.017 * 10^{-3} \text{ м}$$

11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

ВАХ германиевого и кремниевого диодов

Теоретическая ВАХ германиевого и кремниевого диодов

12. Окончательные результаты.

Ge:

$$\Phi = (0,2900 \pm 0,0016) \text{ эВ} \quad d = (15.530 \pm 0,024) * 10^{-3} \text{ м}$$

Si:

$$\Phi = (0,7500 \pm 0,0016) \text{ эВ} \quad d = (19.580 \pm 0.017) * 10^{-3} \text{ м}$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы была получена высота потенциального барьера и ширина запрещенной зоны германия, были построены ВАХ германия и кремния, построены теоретическая ВАХ для обоих диодов. Отклонение экспериментально полученного значения высоты потенциального барьера германия $\Phi_{pn} = 0,29$ эВ от табличной величины $E_g = 0.72$ эВ может быть вызвана недостаточным количеством данных для проведения более точных вычислений. Сравнивая экспериментальную и теоретическую ВАХ, можно установить, что прямая ветвь экспериментально полученных значений плавно переходит от экспоненциальной к линейной зависимости.

