

1. Какова вероятность заполнения электронами уровней, расположенных на kT выше уровня Ферми?

$$kT = E - E_F$$

$$\frac{E - E_F}{kT} = 1$$

$$f(E) = \frac{1}{e^1 + 1} = \frac{1}{2,72 + 1} = 0,26$$

$$f(E) = \frac{1}{e^1 + 1} = \frac{1}{2,72 + 1} = \frac{1}{3,72} = 0,26 = 26\%$$

2. На каком расстоянии (в единицах kT) от уровня Ферми находятся уровни, вероятность заполнения которых 20%?

$$\frac{E - E_F}{kT} = x$$

$$0,2 = \frac{1}{e^x + 1}$$

$$x = \ln \frac{1}{0,2} = 1,61$$

$$e^x + 1 = \frac{1}{0,2}$$

$$e^x = \frac{1}{0,2} - 1 = 4$$

$$x = \ln 4$$

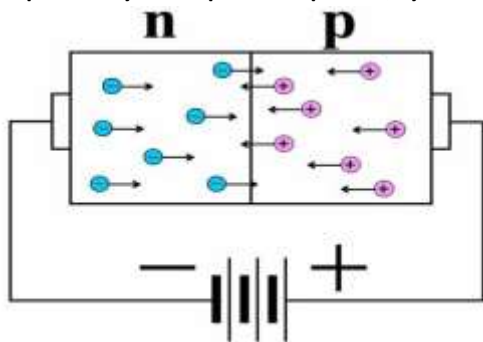
$$X = 1,38$$

II ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

2.1 ЕЛЕКТРОННО-ДІРКОВИЙ ПЕРЕХІД

Завдання 1.

Методом дифузії було сформовано електронно-дірковий перехід в напівпровіднику таким чином, що питомі опори електронної та діркової областей становлять величини ρ_{ni} і ρ_{pi} відповідно. Величина максимального електричного поля переходу $\xi_m = 4,1 \cdot 10^6$ В/м. Площа поперечного перетину p-n-переходу $A = 1,6$ мм². Температура $T=270$ К



3. Вихідні данні:

№ вар.	Напівпровідник	Питомий опір n- обл..	Питомий опір p- обл..	Пряма напруга U, В	Зворотня напруга U _{зворн} , В
1	Si	0,34	48,2	0,6	2
2	Ge	43,2	0,91	0,7	3
3	GaAs	29,4	0,02	0,8	4
4	InSb	48,1	0,36	0,9	5
5	Si	0,28	39,8	1,0	2
6	Ge	0,84	41,2	1,1	3
7	GaAs	41,6	0,23	1,2	4
8	InSb	0,53	39,98	1,3	5

9	Si	0,57	39,74	1,2	2
10	Ge	0,35	44,5	1,1	3
11	GaAs	26,7	0,03	1,0	4
12	InSb	42,6	0,7	0,9	5
13	Si	0,9	38,32	0,8	2
14	Ge	36,7	0,5	0,7	3
15	GaAs	0,25	39,3	0,6	4
16	Si	0,34	43,2	0,7	5
17	Ge	43,2	0,09	0,8	2
18	GaAs	29,4	0,07	0,9	3
19	InSb	48,1	0,6	1.0	4
20	Si	0,28	37,8	1.1	5
21	Ge	0,84	41,2	1,2	2
22	GaAs	41,6	0,23	0,9	3
23	InSb	0,53	34,98	0,8	4
24	Si	0,57	39,74	0,7	5
25	Ge	0,35	40,5	0,7	2
26	GaAs	0,21	43,29	0,6	3
27	InSb	0,37	41,98	1,2	4
28	Si	49,5	0,11	1,1	5
29	Ge	42,9	0,37	1,0	2
30	GaAs	38,4	0,23	0,9	3

Визначити:

1. Концентрацію основних та неосновних носіїв заряду;

$$N_a = \frac{1}{q\rho_p\mu_p} = \frac{1}{1,6 \cdot 0,25 \cdot 534,78 \cdot 10^{-19}} = 4,67 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{см}^3};$$

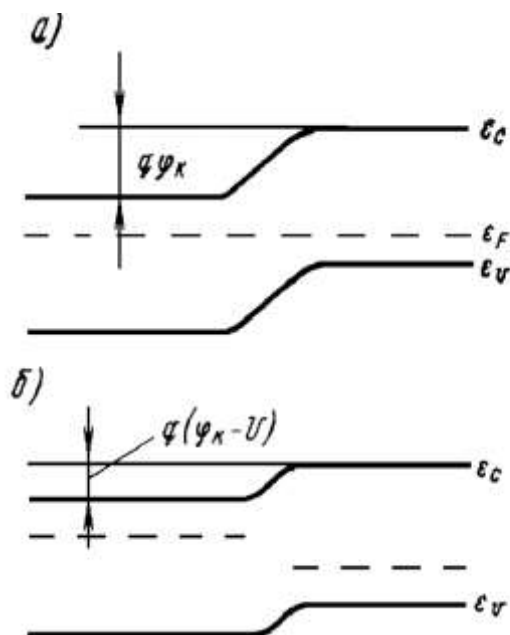
$$N_d = \frac{1}{q\rho_n\mu_n} = \frac{1}{1,6 \cdot 45,8 \cdot 1504,35 \cdot 10^{-19}} = 9,07 \cdot 10^{13} \frac{1}{\text{см}^3};$$

Концентрацію неосновних (n_p , p_n) носіїв визначити за законом діючих мас

2. Величину контактної різниці потенціалів при кімнатній температурі;

$$\varphi_0 = \varphi_T \ln \left(\frac{N_a N_d}{n_i^2} \right) = 0,023 \ln \left(\frac{4,67 \cdot 10^{16} \cdot 9,07 \cdot 10^{13}}{1,45^2 \cdot 10^{20}} \right) = 0,546 \text{В.}$$

Енергетична діаграма р-п - переходу в рівноважному стані представлена на малюнку 2.1 а, а енергетична діаграма р-п - переходу при заданому значенні величини прямого напруги - на малюнку 2.1, б.



Температурний потенціал:

$$\varphi_T = \frac{kT}{q} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 270}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,023 \text{ В};$$

Для стану рівноваги величина викривлення меж зон:

$$\Delta\varepsilon_k = q\varphi_k = q\varphi_o = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,546 = 0,87 \cdot 10^{-19} \text{ КлВ.}$$

При наявності прямого напруги:

$$\Delta\varepsilon_k = q|\varphi_k - U| = q|\varphi_o - U| = 1,6 \cdot 10^{-19}|0,546 - 0,8| = 0,41 \cdot 10^{-19} \text{ КлВ.}$$

Побудувати енергетичну діаграму

3. Вольт-амперна характеристика ідеального р-п-переходу може бути описана виразом (2.5). Для цього розрахуємо спочатку струм насичення по (2.8):

$$I_0 = kT^{1,5} \cdot e^{-1,21/2\varphi_i} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 270^{1,5} \cdot 2,713^{-1,21/0,046} = 2,44 \cdot 10^{-31} \text{ А};$$

$$I = I_0 [e^{U/\varphi_T} - 1];$$

U, В	-1	-0,5	-0,1	0	0,1	0,5	1
I, А	$-2,44 \cdot 10^{-31}$	$-2,44 \cdot 10^{-31}$	$-2,4 \cdot 10^{-31}$	0	$1,85 \cdot 10^{-29}$	$6,46 \cdot 10^{-22}$	$1,71 \cdot 10^{-12}$

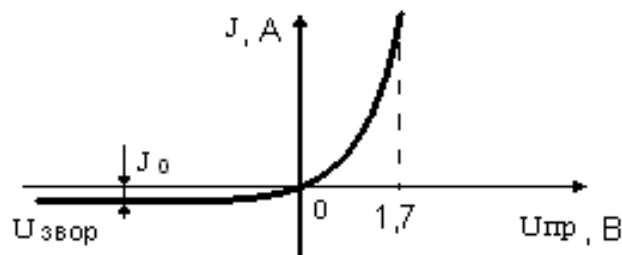


Рисунок 2.2 - Вольт-амперна характеристика р-п-переходу

4. Ширину р-п переходу можна розрахувати з формули 2.17

$$W = \frac{\varepsilon_s \varepsilon_o \xi_m (N_a + N_d)}{q N_a N_d}.$$

5. Бар'єрну ємність р-n переходу знайдемо з формули 2.10

$$C_b = \sqrt{\frac{q \varepsilon_s \varepsilon_o N_a N_d}{2(N_a + N_d)}} \sqrt{\frac{1}{\varphi_0 - U'}}$$

6. Напругу пробою знайдемо з формули 2.18

$$U_{\text{пр}} = \frac{\xi_m W}{2}.$$

припускаючи, що він настає при напруженості поля ξ_m , В / м;

Побудувати енергетичну діаграму р-n-переходу в рівноважному стані, а також при заданій величині прямої напруги U, В;

Побудувати енергетичну діаграму р-n-переходу при заданій величині зворотної напруги U, В;

Побудувати теоретичну вольт-амперну характеристику (розглядається рух усіх носіїв заряду через р-n-перехід).