

КИНЕТИЧНИ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИЦИ

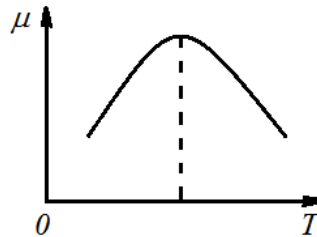
1. Общи понятия за електропроводимостта на полупроводниците

$$\sigma_n = en\mu_n, \quad (1)$$

$$\mu_n = \frac{v_{cp}}{E}. \quad (2)$$

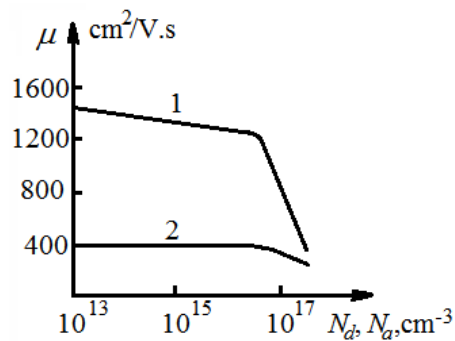
$$\sigma_p = ep\mu_p, \quad \mu_p = \frac{v_{cp}}{E}.$$

$$\mu_n = \frac{e}{m_n^*} \tau.$$



Фигура 1. Температурна зависимост на подвижността на носителите на заряд в полупроводниците.

$$\mu_n = aT^{3/2}, \quad \mu_p = aT^{-3/2}.$$



Фигура 2. Зависимости на:

1 - подвижността на електроните μ_n от концентрацията на донорите N_d ,

2 - подвижността на дупите μ_p от концентрацията на акцепторите N_a .

В областта на собствена проводимост

$$\sigma = en\mu_n + ep\mu_p = e(\mu_n + \mu_p) \sqrt{N_c N_v} \exp\left(-\frac{\Delta E_0}{2kT}\right) \quad (3)$$

$$\lg \sigma = A - \frac{0,43\Delta E_0}{2k10^3} \frac{10^3}{T}. \quad (4)$$

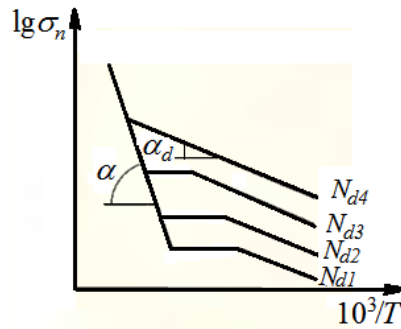
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,43\Delta E_0}{2k10^3}, \quad \Delta E_0 = 0,4\operatorname{tg} \alpha, \text{ eV}.$$

В n-тип полупроводник

$$\sigma_n = e\mu_n \sqrt{\frac{N_c N_d}{2}} \exp\left(-\frac{\Delta E_d}{2kT}\right). \quad (5)$$

$$\lg \sigma_n = B - \frac{0,43\Delta E_d}{2k10^3} \frac{10^3}{T}. \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_d = \frac{0,43\Delta E_d}{2k10^3}, \quad \Delta E_d = 0,4\operatorname{tg} \alpha_d, \text{ eV},$$



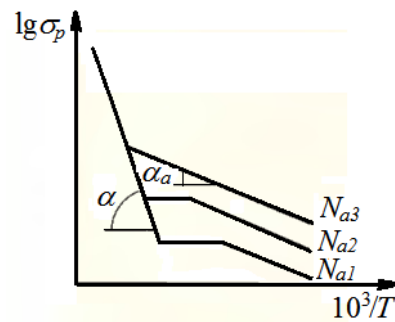
Фигура 3. Зависимости $\lg \sigma_n = f(1/T)$.

В p-тип полупроводник

$$\sigma_p = e\mu_p \sqrt{\frac{N_v N_a}{2}} \exp\left(-\frac{\Delta E_a}{2kT}\right). \quad (7)$$

$$\lg \sigma_p = C - \frac{0,43\Delta E_a}{2k10^3} \frac{10^3}{T}. \quad (8)$$

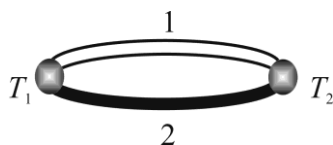
$$\operatorname{tg} \alpha_a = \frac{0,43\Delta E_a}{2k10^3}, \quad \Delta E_a = 0,4\operatorname{tg} \alpha_a, \text{ eV},$$



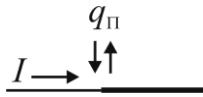
Фигура 4. Зависимости $\lg \sigma_p = f(1/T)$.

2. Термоелектрични явления

➤ **Ефект на Зеебек**

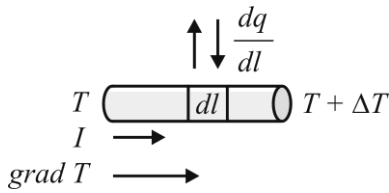


$$\alpha = \frac{d\mathcal{E}}{dT}, \quad (9)$$



➤ **Ефект на Пелтие**

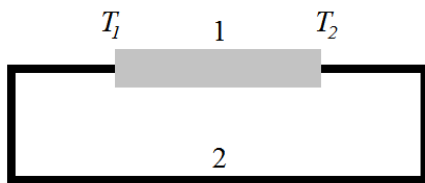
$$q_{\pi} = \Pi I t, \quad (10)$$



➤ **Ефект на Томсън**

$$\frac{dq}{dl} = \tau I \text{grad} T, \quad (11)$$

По-подробно ще разгледаме ефекта на Пелтие в полупроводниците.

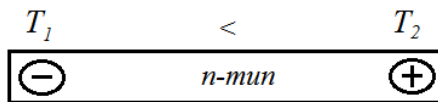


$$n_{01} = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT_1}\right), p_{01} = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{kT_1}\right);$$

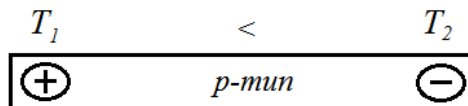
$$n_{02} = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT_2}\right), p_{02} = N_v \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{kT_2}\right).$$

Нека $T_1 < T_2$:

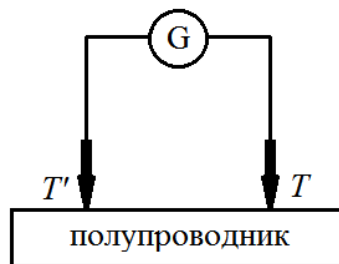
$$n_{01} \ll n_{02}; p_{01} \ll p_{02}.$$



$$\alpha_n = -\frac{k}{e} \left(r + 2 + \ln \frac{N_c}{n_0} \right).$$

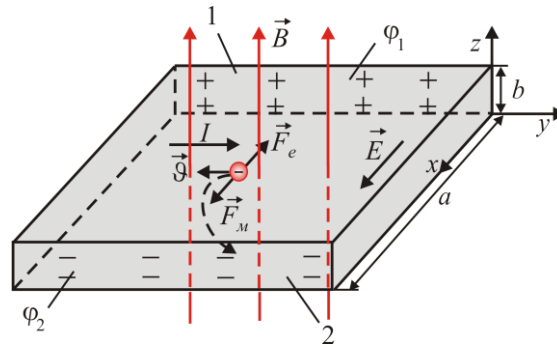


$$\alpha_p = \frac{k}{e} \left(r + 2 + \ln \frac{N_v}{p_0} \right).$$



Фигура 5. Термосонда.

3. Ефект на Хол



$$\vec{F}_m = q(\vec{g} \times \vec{B}), \quad \vec{F}_e = -q\vec{E}, \quad (F_e = F_m).$$

$$U_x = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{1}{en} \frac{IB}{b}.$$

$$U_x = \frac{A}{en} \frac{IB}{b}. \quad (12)$$

$$R_x = A/en. \quad (13)$$

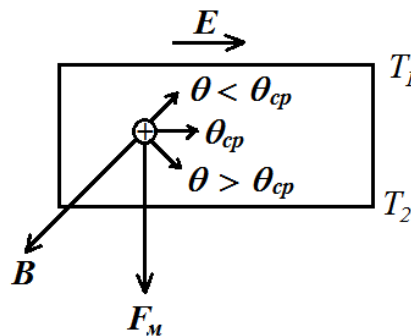
$$U_{xn} = -\frac{A}{en} \frac{IB}{b} = R_{xn} \frac{IB}{b},$$

$$U_{xp} = \frac{A}{ep} \frac{IB}{b} = R_{xp} \frac{IB}{b},$$

$$R_x = \frac{A_{at}}{Z\rho F}$$

4. Галваномагнитни и термомагнитни явления

- *Магниторезистивен ефект*
- *Ефект на Етингсхаузен*



Фигура 6. Отклонение на дупките при ефекта на Етингсхаузен .

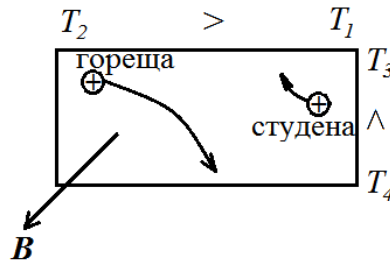
$$\Delta T_{напр.} = T_2 - T_1 = f(I, B).$$

- *Ефект на Нернст*

$$\Delta T_{надл.} = f(I, B).$$

➤ **Термомагнитни явления**

$$\Delta T_{\text{напр.}} = T_4 - T_3 = f(\Delta T_{\text{надл.}}, B).$$



Фигура 7. Отклонение на дупките при ефекта на Риги – Ледюк.

- Ефект на Марджи - Риги – Ледюк: $\Delta T_{\text{надл.}} = f(\Delta T_{\text{надл.}}, B).$
- Напречен ефект на Нернст - Етингсхаузен: $\Delta V_{\text{напр.}} = f(\Delta T_{\text{надл.}}, B).$
- Надлъжен ефект на Нернст - Етингсхаузен: $\Delta V_{\text{надл.}} = f(\Delta T_{\text{надл.}}, B).$

5. Уравнение на Айнщайн

$$j_n^{\text{др.}} = \sigma_n E = \sigma_n (-\text{grad}\varphi) = -en\mu_n \text{grad}\varphi,$$

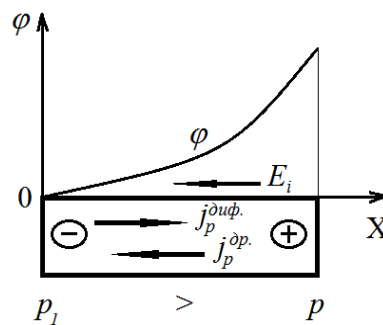
$$j_p^{\text{др.}} = \sigma_p E = \sigma_p (-\text{grad}\varphi) = -ep\mu_p \text{grad}\varphi,$$

$$j_n^{\text{дуф.}} = -eD_n \text{grad}n,$$

$$j_p^{\text{дуф.}} = -eD_p \text{grad}p,$$

$$j_n = -en\mu_n \text{grad}\varphi - eD_n \frac{dn}{dx}, \tag{14}$$

$$j_p = -ep\mu_p \text{grad}\varphi - eD_p \frac{dp}{dx}. \tag{15}$$



Фигура 8. P-тип полупроводник с надлъжен градиент на концентрацията на дупки.

$$j_p = -ep\mu_p \frac{d\varphi}{dx} - eD_p \frac{dp}{dx} = 0, \quad (16)$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu_p}{D_p} d\varphi.$$

$$p = p_1 \exp\left(-\frac{\mu_p}{D_p} \varphi\right). \quad (17)$$

$$p = p_1 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right). \quad (18)$$

$$\frac{\mu_p}{D_p} = \frac{e}{kT}.$$

$$\frac{\mu_n}{D_n} = \frac{e}{kT}.$$