

Раздел VII Физика твердого тела

Глава II. Полупроводники

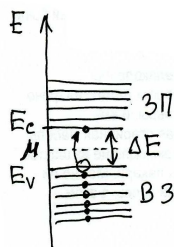
1. Собственные полупроводники Si, Ge

$$\text{Si } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2 \quad \Delta E = 1,15 \text{ эВ}$$

$$\text{Ge } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$$

$$\Delta E = 0,74 \text{ эВ}$$

4 валентных электрона



За счет тепловой энергии часть электронов из валентной зоны переходят в зону проводимости. В валентной зоне образуются вакансии, которые называются

дырки. Дырки ведут себя как положительно заряженные частицы. Концентрации электронов в зоне проводимости n_e и дырок в валентной зоне n_d равны

$$n_e = n_d$$

В образовании электрического тока участвуют электроны в ЗП и дырки в ВЗ.

2. Статистика электронов и дырок в собственных полупроводниках

В германии и кремнии вплоть до температур плавления выполняются условие:

$$\Delta E \gg kT$$

Среднее число электронов в квантовых состояниях зоны проводимости:

$$\langle n \rangle_e = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}} + 1} \approx e^{\frac{\mu-E}{kT}}$$

Среднее число дырок в квантовых состояниях валентной зоны:

$$\langle n \rangle_d = 1 - \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}} + 1} \approx e^{\frac{E-\mu}{kT}}$$

Плотность квантовых состояний электронов в зоне проводимости:

$$g_e(E) = \frac{V 4\pi (2m_e^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_c}$$

Дырок в валентной зоне:

$$g_d(E) = \frac{V 4\pi (2m_d^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E_v - E}$$

Концентрация электронов в зоне проводимости:

$$n_e = \frac{1}{V} \int_{E_c}^{\infty} \langle n \rangle_e g_e dE = 2 \frac{(2\pi m_e^* kT)^{3/2}}{h^3} e^{\frac{\mu - E_c}{kT}}$$

Концентрация дырок в валентной зоне:

$$n_{\delta} = \frac{1}{V} \int_{-\infty}^{E_v} \langle n \rangle_{\delta} g_{\delta} dE = 2 \frac{(2\pi m_{\delta}^* kT)^{3/2}}{h^3} e^{\frac{E_v - \mu}{kT}}$$

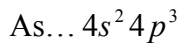
Из условия $n_e = n_{\delta}$ находят уровень химпотенциала:

$$\mu = \frac{E_c + E_v}{2} - \frac{kT}{2} \ln \left(\frac{m_e^*}{m_{\delta}^*} \right)^{3/2}$$

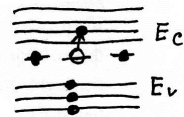
При $T = 0^{\circ} K$ химпотенциал находится по середине запрещенной зоны.

3. Примесные полупроводники

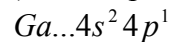
Если в Ge, Si добавить 5-валентную примесь (донорную) например мышьяк



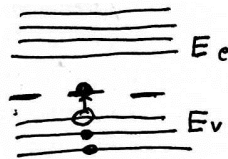
то получится полупроводник с преобладанием



электронной проводимости – n-типа. При добавлении 3-валентной примеси (акцепторной) например галлий



Получится полупроводник с преобладанием дырочной проводимости - p-типа.

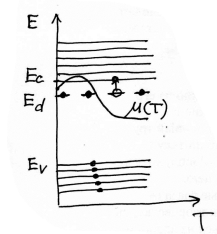


4. Статистика электронов и дырок в донорном полупроводнике

Рассмотрим случай

$$E_c - E_d \gg kT$$

Концентрация электронов в ЗП:



$$n_e = \frac{1}{V} \int_{E_c}^{\infty} \langle n \rangle_e g_e dE = 2 \frac{(2\pi m_e^* kT)^{3/2}}{h^3} e^{\frac{\mu - E_c}{kT}}$$

Концентрация дырок на донорных уровнях:

$$n_{\delta} = n_d \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{E_d - \mu}{kT}} + 1} \right) \approx n_d e^{\frac{E_d - \mu}{kT}}$$

где n_d - концентрация донорных атомов.

Из равенства $n_e = n_d$ находим μ :

$$\mu = \frac{E_d + E_C}{2} - \frac{kT}{2} \ln \frac{n_{0e}}{n_d}$$

$$n_{0e} = 2 \frac{(2\pi m_e^* kT)^{3/2}}{h^3}$$

n_{0e} - эффективная концентрация электронов.

С ростом температуры уровень химпотенциала может оказаться в зоне проводимости – эффект металлизации. Это произойдет, когда $\mu = E_C \Rightarrow$

$$kT = \frac{E_C - E_d}{\ln \frac{n_d}{n_{0e}}}$$

Вопросы:

1. Что такое собственные полупроводники?
2. Положение химпотенциала в собственных полупроводниках
3. Что такое полупроводники p и n типа?
4. Положение химпотенциала в донорных полупроводниках.
5. Эффект металлизации.