

# 半导体物理

课后作业05 参考解答

主讲人：蒋玉龙

微电子学楼312室， 65643768

Email: [yljiang@fudan.edu.cn](mailto:yljiang@fudan.edu.cn)

<http://10.14.3.121>

# 课后作业05

## 1、求解Si的空穴电导有效质量

提示：

1、考虑空穴在重空穴和轻空穴能带分支的分配比例。

空穴分为重空穴和轻空穴，考虑到重空穴和轻空穴的分布并不是等几率的，所以空穴在重空穴和轻空穴能带分支的分配比例并不是相同的。

对态密度公式在能量区间积分求解空穴浓度的时候，轻重空穴态密度公式  $g(E) \propto (m^*)^{3/2}$  表明，两种空穴浓度的比例将只取决于二者有效质量的比例，

于是，

$$\begin{aligned} p_h : p_l &= g_h(E) : g_l(E) \\ &= (m_{ph})^{3/2} : (m_{pl})^{3/2} = (0.53)^{3/2} : (0.16)^{3/2} = 6:1 \end{aligned}$$

设总的空穴浓度为 $p$ ，当外加电场 $E$ 时：

$$J = \frac{6}{7} pq\mu_h E + \frac{1}{7} pq\mu_l E$$

其中：

$$\mu_h = \frac{q\tau}{m_{ph}} \quad \mu_l = \frac{q\tau}{m_{pl}}$$

令  $J = pq\mu_c E$  ， 此处  $\mu_c = \frac{q\tau}{m_c}$   $m_c$ 即为空穴电导有效质量  
所以

$$\begin{aligned} \mu_c &= \frac{6}{7} \mu_h + \frac{1}{7} \mu_l \\ \Rightarrow \frac{1}{m_c} &= \frac{6}{7} \frac{1}{m_{ph}} + \frac{1}{7} \frac{1}{m_{pl}} \\ &= \frac{1}{7} \left( \frac{6}{m_{ph}} + \frac{1}{m_{pl}} \right) \end{aligned}$$

$$m_c = 0.4 m_0$$

# 课后作业05

2、已知本征Ge的电导率在310K时为 $3.56 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ ，在273K时为 $0.42 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ 。一个n型Ge样品，在这两个温度时，其施主杂质浓度 $N_D = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。计算在上述两个温度时该n型Ge的电导率。（设迁移率为常数， $\mu_n = 3600 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ， $\mu_p = 1700 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ；杂质已经全电离）

[解]： 本征半导体的电导率表达式为：

$$\sigma_i = n_i q (\mu_n + \mu_p) \Rightarrow n_i = \frac{\sigma_i}{q (\mu_n + \mu_p)}$$

①当  $T=310\text{K}$ 时  $\sigma_i = 3.56 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$

那么

$$n_i = \frac{3.56 \times 10^{-2}}{1.6 \times 10^{-19} \times (3600 + 1700)} = 4.2 \times 10^{13} / \text{cm}^3$$

施主杂质浓度 $N_D = 1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ ，在310K时杂质全部电离此时  $n_0 = n_i + N_D = 1.042 \times 10^{15} / \text{cm}^3$

# 课后作业05

$$\text{且 } n_0 p_0 = n_i^2 \Rightarrow p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(4.2 \times 10^{13})^2}{1.042 \times 10^{15}} = 1.7 \times 10^{12} / \text{cm}^3$$

故310K时，掺杂Ge的电导率为  $\sigma = n_0 q \mu_n + p_0 q \mu_p = 0.6 \text{ S/cm}$

$$\text{②当 } T=273\text{K时 } n_i = \frac{0.42 \times 10^{-2}}{1.6 \times 10^{-19} \times (3600 + 1700)} = 4.7 \times 10^{12} / \text{cm}^3$$

施主杂质浓度  $N_D = 10^{15} / \text{cm}^3$

在273K时  $n_0 = n_i + N_D = 1.0047 \times 10^{15} / \text{cm}^3$

$$\text{又 } p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(4.7 \times 10^{12})^2}{1.0047 \times 10^{15}} = 2.2 \times 10^{10} / \text{cm}^3$$

故273K时，掺杂Ge的电导率为：

$$\sigma = n_0 q \mu_n + p_0 q \mu_p = 0.58 \text{ S/cm}$$

# 课后作业05

3、在半导体Ge材料中掺入施主杂质浓度 $N_D=1E14/cm^3$ ，受主杂质浓度 $N_A=7E13/cm^3$ 。设室温下本征Ge材料的电阻率 $\rho_i=60\Omega\cdot cm$ ，电子和空穴的迁移率分别为 $\mu_n=3800cm^2/V\cdot s$ ， $\mu_p=1800cm^2/V\cdot s$ 。若流过样品的电流密度为 $52.3mA/cm^2$ ，求此时所加的电场强度。

[解]：由于本征半导体电阻率的表达式为：

$$\frac{1}{\rho} = n_i q (\mu_n + \mu_p)$$

$$\begin{aligned} \therefore n_i &= \frac{1}{\rho q (\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{60 \times 1.6 \times 10^{-19} \times (3800 + 1800)} \\ &= 1.86 \times 10^{13} / cm^3 \end{aligned}$$

根据电中性条件  $p_0 + N_D^+ = n_0 + N_A$  及  $n_0 p_0 = n_i^2$

联立可得：

$$n_0^2 - (N_D - N_A)n_0 - n_i^2 = 0$$

# 课后作业05

$$\Rightarrow n_0 = \frac{(N_D - N_A)}{2} + \frac{\sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}}{2}$$

$$= 3.89 \times 10^{13} / cm^3$$

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(1.86 \times 10^{13})^2}{3.89 \times 10^{13}} = 0.89 \times 10^{13} / cm^3$$

所以掺杂后样品的电导率可以求出为：

$$\sigma = n_0 q \mu_n + p_0 q \mu_p$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times (3.89 \times 10^{13} \times 3800 + 0.89 \times 10^{13} \times 1800)$$

$$= 0.026 S / cm$$

又知：

$$J = \sigma E \quad \Rightarrow \quad E = \frac{J}{\sigma} = \frac{52.3}{0.026} = 2 \times 10^3 \text{ mA/S} \cdot cm = 2 V / cm$$