

作业 4

廖汶锋

2024 年 3 月 30 日

4.1. 一硅突变 pn 结, n 区的 $\rho_p = 0.1\Omega\cdot\text{cm}$ 、 $\tau_p = 1\mu\text{s}$; p 区的 $\rho_n = 5\Omega\cdot\text{cm}$ 、 $\tau_n = 5\mu\text{s}$; 假设 $N_D = 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $N_A = 10^{16}\text{cm}^{-3}$, 室温下硅的平衡载流子浓度 $n_i = 1.5 \times 10^{10}\text{cm}^{-3}$ 。计算

- (1) 饱和电流密度;
- (2) 室温下空穴电流与电子电流之比;
- (3) 在正向电压 0.3V 时流过 pn 结的电流密度。

解. (1) pn 结饱和电流密度公式可以作如下等价变换:

$$\begin{aligned} J_s &= \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p p_{n0}}{L_p} \\ &= qn_{p0}\sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} + qp_{n0}\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} \\ &= qn_{p0}\sqrt{\frac{kT}{q} \frac{\mu_n}{\tau_n}} + qp_{n0}\sqrt{\frac{kT}{q} \frac{\mu_p}{\tau_p}} \\ &= n_{p0}\sqrt{kT \frac{\sigma_n}{n_{p0}\tau_n}} + p_{n0}\sqrt{kT \frac{\sigma_p}{p_{n0}\tau_p}} \\ &= \sqrt{kT \cdot \frac{n_{p0}}{\rho_n \tau_n}} + \sqrt{kT \cdot \frac{p_{n0}}{\rho_p \tau_p}} \\ &= n_i \sqrt{kT} \cdot [(N_A \rho_n \tau_n)^{-1/2} + (N_D \rho_p \tau_p)^{-1/2}] \end{aligned} \quad (4.1-1)$$

代入已知条件可得 $J_s = 4.983\mu\text{A}/\text{cm}^2$

- (2) 由 (4.1-1) 可知, 空穴电流 $\propto (N_D \rho_p \tau_p)^{-1/2}$, 电子电流 $\propto (N_A \rho_n \tau_n)^{-1/2}$, 所以两者之比为

$$\frac{J_p}{J_n} = \sqrt{\frac{N_A \rho_n \tau_n}{N_D \rho_p \tau_p}} = \sqrt{2.5} \approx 1.581 \quad (4.1-2)$$

- (3) 根据肖克莱方程可知, 当 pn 结被施加正偏电压 $V = 0.3\text{V}$ 时, 其电流密度为

$$J = J_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] = 0.547\text{A}/\text{cm}^2 \quad (4.1-3)$$

- 4.2. (1) 分别计算硅 n^+p 结在正向电压为 0.6V、反向电压 40V 时的势垒区宽度。已知 $N_A = 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、 $V_D = 0.8\text{V}$ ，硅介电常数 $\varepsilon_r = 11.9$ ；
- (2) 分别计算硅 p^+n 结在平衡和反偏电压 45V 时的最大电场强度。已知 $N_D = 5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 、 $V_D = 0.7\text{V}$ 。

解. (1) n^+p 结两端电压 V 、内建电势 V_D 、掺杂浓度 N_A 、 N_D 、耗尽层宽度 X 之间的关系如下：

$$X = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_r(V_D - V)}{qN_A}} \quad (4.2-1)$$

结合已知条件，分别代入 $V = 0.6\text{V}$ 和 $V = -40\text{V}$ 可得

$$\begin{cases} V_{0.6} = 0.0229\mu\text{m} \\ V_{-40} = 0.328\mu\text{m} \end{cases} \quad (4.2-2)$$

(2) 最大电场强度的位置就是 p^+ 区和 n 区的交界面，其电场强度为：

$$E_{max} = -\sqrt{\frac{2qN_D(V_D - V)}{\varepsilon_0\varepsilon_r}} \quad (4.2-3)$$

把 $V = 0\text{V}$ 和 $V = -45\text{V}$ 分别代入 (4.2-3) 可得：

$$\begin{cases} E_{max,0} = -3.262 \times 10^4 \text{V/cm} \\ E_{max,-45} = -2.636 \times 10^5 \text{V/cm} \end{cases} \quad (4.2-2)$$