

第二章第1-2讲

1. 硅突变 pn 结的 N 区，N 区施主杂质掺杂浓度为： $N_D = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ，P 区受主杂质掺杂浓度为 $N_A = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。所有施主和受主均电离，计算 300 K 下：

- (1) 内建电势差；
- (2) 耗尽层宽度；
- (3) 零偏下内建电场的最大值。

2. 考虑掺杂浓度为 $N_D = N_A = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 的硅突变 pn 结， $T = 300 \text{ K}$ ，

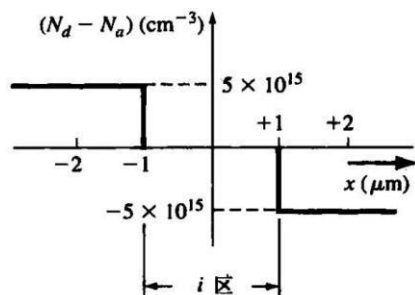
- (1) 计算中性区内 P 区与 N 区费米能级的位置；内建电势 V_{bi} ；结两侧空间电荷区宽度 x_n, x_p
- (2) 画出 pn 结平衡能带图并标注 (1) 中计算结果。

3. 计算零偏和施加反偏电压时，pn 结中的空间电荷区宽度变化了多少？ $T = 300 \text{ K}$ 时，硅 pn 结的掺杂浓度为 $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ， $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。假定 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ， $V_R = 5 \text{ V}$ 。

4. $T = 300 \text{ K}$ 时，GaAs 反偏 pn 结的最大电场为 $|E_{\max}| = 2.5 \times 10^5 \text{ V/cm}$ ，掺杂浓度为 $N_A = 8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ， $N_D = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。确定产生这个最大电场的反偏电压的大小。

5. 硅 PIN 结的掺杂曲线如图，“I”对应着理想本征区。本征区内没有杂质掺杂。给 PIN 结外加一个反偏电场，以使空间电荷区占据从 $-1.5 \mu\text{m}$ 到 $1.5 \mu\text{m}$ 的所有区域。

- (a) 采用泊松方程计算出 $x = 0$ 处的电场，(b) 画出 PIN 结电场随距离变化的曲线，(c) 计算出外加反偏电压的大小。



6. 考虑 $T = 300 \text{ K}$ 时的均匀掺杂 GaAs pn 结，其 N 区的 $E_F - E_{Fi} = 0.365 \text{ eV}$ ，P 区的 $E_{Fi} - E_F = 0.330 \text{ eV}$ ， $\alpha = 5.4 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$ ， $\beta = 204 \text{ K}$ ， $T = 300 \text{ K}$ 时 n_i 为 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ 。杂质完全电离。请参考以下两式：

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{T - \beta}$$

(施敏教材第 10 页 式 12)

$$\begin{aligned} n_i &= N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_i}{kT}\right) = N_v \exp\left(-\frac{E_i - E_v}{kT}\right) \\ &= \sqrt{N_c N_v} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \end{aligned} \quad (28)$$

$$= 4.9 \times 10^{15} \left(\frac{m_{de} m_{dh}}{m_0^2}\right)^{3/4} M_c^{1/2} T^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

(施敏教材第 14 页 式 28)

画出 $T=400\text{ K}$ 时该pn结的能带图，标注费米能级的位置。给出计算过程。

第二章第3-4讲

1、施加正向偏压时，求 pn 结空间电荷区边缘处的少子空穴浓度。 $T=300\text{ K}$ ，掺杂浓度为 $N_A=6\times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ ， $N_D=10^{16}\text{ cm}^{-3}$ ，正偏电压为 $V_f=0.6\text{ V}$ 。假定 $n_i=1.02\times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ 。

2、GaAs pn 结的掺杂浓度为 $N_A=4\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ ， $N_D=2\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ ，结面积为 $A=10^{-3}\text{ cm}^2$ ，外加正偏电压 $V=1.5\text{ V}$ 。设 $n_i=1.8\times 10^6\text{ cm}^{-3}$ ， $D_n=205\text{ cm}^2/\text{s}$ ， $D_p=9.8\text{ cm}^2/\text{s}$ ， $\tau_{n0}=5\times 10^{-8}\text{ s}$ ， $\tau_{p0}=10^{-8}\text{ s}$ 。计算（1）靠近p区的空间电荷区边缘的少子电子扩散电流；（2）靠近n区的空间电荷区边缘的少子空穴扩散电流；（3）pn 结二极管的总电流。

3、理想硅pn 结的掺杂浓度为 $N_D=3\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ ， $N_A=2.5\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ ，结的横截面积为 $A=4\times 10^{-4}\text{ cm}^2$ 。 $D_n=25\text{ cm}^2/\text{s}$ ， $D_p=10\text{ cm}^2/\text{s}$ ， $\tau_{n0}=2\times 10^{-7}\text{ s}$ ， $\tau_{p0}=8\times 10^{-8}\text{ s}$ 。设 $n_i=1.5\times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ 。计算（1）空穴形成的理想反向饱和电流；（2）电子形成的理想反向饱和电流；（3）外加正偏压 $V_a=0.6V_{bi}$ 时， x_n 处的空穴浓度；（4）外加正偏压 $V_a=0.8 V_{bi}$ 时， x_n 处的电子浓度。

要求：

计算最终结果保留三位有效数字，本次作业 3.13（下周三）上课交。