半导体物理回顾

曾琅

2020/09/08

晶体结构

- 了解并会使用密勒指数
- 理解基本的晶体结构
- 理解量子力学的基本知识

关键方程

- 物理常数

$$\hbar = 1.055 \times 10^{-34} \quad [\text{J-s}]$$
$$m_0 = 9.109 \times 10^{-31} \quad [\text{kg}]$$
$$k_B = 1.380 \times 10^{-23} \quad [\text{J/K}]$$
$$q = 1.602 \times 10^{-19} \quad [\text{C}]$$

关键方程

- 密勒指数

(hkl) {hkl} [hkl] <hkl>

- 两个晶面之间的角度

$$: \cos\theta = \frac{h_1h_2 + k_1k_2 + l_1l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2}\sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}}$$

- 两个晶面之间的距离

$$d = \frac{1}{|\vec{N}|} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

能带结构

- 理解E-k关系，能从E-k关系中提取速度、有效质量、等能面等信息
- 理解态密度、费米积分，并进行简单的计算
- 在一定的温度和掺杂情况下，会计算电子和空穴的浓度

关键方程

- K空间的态密度

1D: $N_k dk = 2\times\left(L/2\pi\right)dk = \left(L/\pi\right)dk$

2D: $N_k d^2k = 2\times\left[A\Big/\left(2\pi\right)^2\right]d^2k = \left(A/2\pi^2\right)d^2k$

3D: $N_k d^3k = 2\times\left(\Omega/8\pi^3\right)d^3k = \left(\Omega/4\pi^3\right)d^3k$

- E空间的态密度

1D: $D_{1D}(E) = \dfrac{1}{\pi\hbar}\sqrt{\dfrac{2m_D^*}{E-E_C}}$ 2D: $D_{2D}(E) = \dfrac{m_D^*}{\pi\hbar^2}$ 3D: $D_{3D}\left(E\right) = \dfrac{\left(m_D^*\right)^{3/2}\sqrt{2\left(E-E_C\right)}}{\pi^2\hbar^3}$

关键方程

- 费米狄拉克分布

$$f(E)=\frac{1}{1+e^{(E-E_F)/k_BT}}$$

- 费米积分（电子浓度）

1D: $n_L=N_C\mathcal{F}_{-1/2}(\eta_F)$ m^{-1} $\qquad N_C=\frac{1}{\hbar}\sqrt{\frac{2m_D^*k_BT}{\pi}}$ m^{-1}

2D: $n_S=N_C\mathcal{F}_0(\eta_F)$ m^{-2} $\qquad N_C=\left(\frac{m_D^*k_BT}{\pi\hbar^2}\right)$ m^{-2} $\qquad (\eta_F=(E_F-E_C)/k_BT)$

3D: $n=N_C\mathcal{F}_{1/2}(\eta_F)$ m^{-3} $\qquad N_C=\frac{1}{4}\left(\frac{2m_D^*k_BT}{\pi\hbar^2}\right)^{3/2}$ m^{-3}

关键方程

- 电中性条件

$$p-n+N_D^+-N_A^-=0$$

$$\frac{N_D^+}{N_D}=\frac{1}{1+g_D e^{(E_F-E_D)/k_BT}}$$

$$\frac{N_A^-}{N_A}=\frac{1}{1+g_A e^{(E_A-E_F)/k_BT}}$$

非平衡态

- 理解载流子的产生与复合
- 理解载流子的扩散与漂移
- 初步求解简单的少数载流子扩散方程

关键方程

- SRH公式

$$-\left.\frac{\partial n}{\partial t}\right|_{SRH} = -\left.\frac{\partial p}{\partial t}\right|_{SRH} = R_{SRH} = \frac{\left(np - n_i^2\right)}{\tau_p\left(n + n_1\right) + \tau_n\left(p + p_1\right)}$$

- 扩散电流与漂移电流

$$J_n = n\mu_n \frac{dF_n}{dx} \qquad J_n = nq\mu_n \mathcal{E}_x + qD_n \frac{dn}{dx} \qquad D_n / \mu_n = k_B T / q$$

$$J_p = p\mu_p \frac{dF_p}{dx} \qquad J_p = pq\mu_p \mathcal{E}_x - qD_p \frac{dp}{dx} \qquad D_p / \mu_p = k_B T / q$$

关键方程

- 半导体方程

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\nabla \bullet \left(\frac{\vec{J}_n}{-q} \right) + G_n - R_n$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\nabla \bullet \left(\frac{\vec{J}_p}{q} \right) + G_p - R_p$$

$$0 = -\nabla \bullet \left(\varepsilon \vec{\mathcal{E}} \right) + \rho$$

- 少数载流子扩散方程

$$\frac{\partial \Delta p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 \Delta p}{dx^2} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + G_L$$

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$