

广东工业大学

2012 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目（代码）名称：(841) 半导体物理

满分 150 分

（考生注意：答卷封面需填写自己的准考证编号，答完后连同本试题一并交回！）

一、基本概念解释（每题 6 分，共 30 分）

1. 什么是半导体的导带和价带？什么是禁带宽度？请在图 1 所示的 GaAs 半导体材料的能带图中标出该半导体的导带、价带和禁带宽度。请分别列举你所知道的间接带隙和直接带隙的半导体材料各 2 种

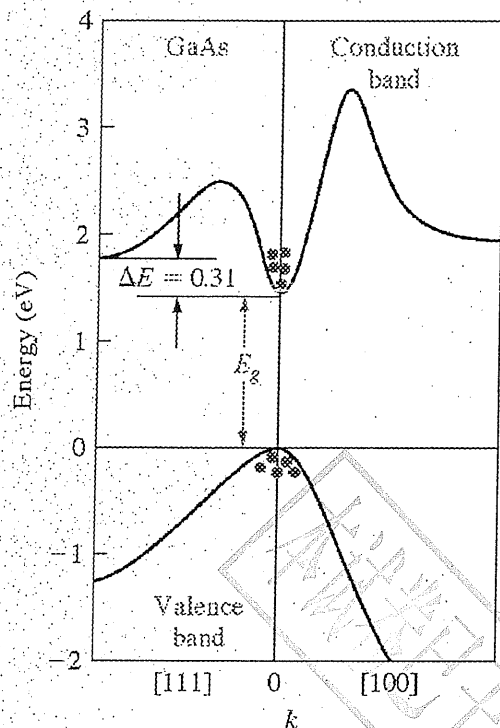


图 1

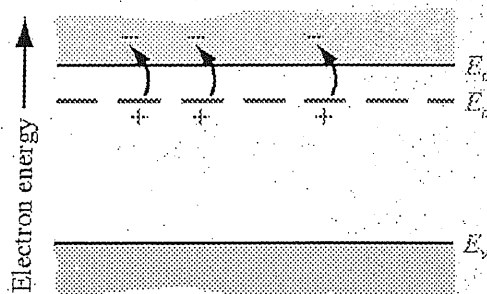


图 2

2. 请解释费米能级的物理意义？假设在半导体硅中掺入 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 的施主杂质，其能带图如下图 2 所示，请在图 2 中画出 $T=30\text{K}$ 和 $T=300\text{K}$ 时费米能级的位置，并说明你的理由

3. 什么是载流子的漂移运动？写出电子的漂移电流密度方程。载流子在漂移运动过程中受到散射作用，请解释什么是载流子的散射？载流子的两种主要的散射机制是晶格振动散射和电离杂质散射，假设图 3 是硅材料中的电子在散射机制 A 或散射机制 B 的独立作用下，迁移率随温度变化的曲线，请分析散射机制 A 和散射机制 B 分别对应于晶格振动散射还是电离杂质散射？须说明原因。

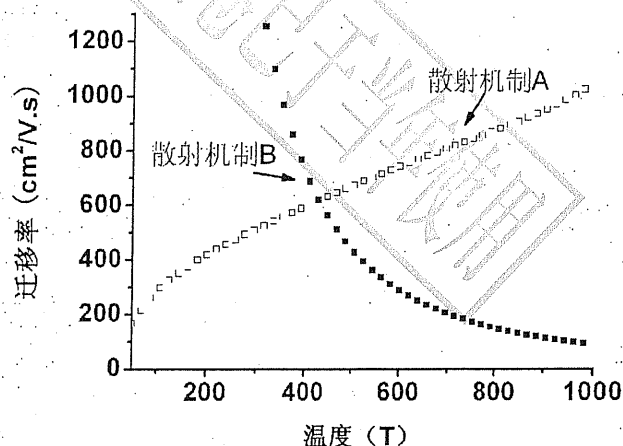


图 3

4. 请描述半导体材料硅和砷化镓的晶格结构？硅、锗和砷化镓在常温下的禁带宽度分别是多少电子伏特？图 4 是硅晶体 (100) 面上的原子分布图，请问 (100) 面上的原子面密度是多少？设其晶格常数 $a = 0.357 \text{ nm}$ 。

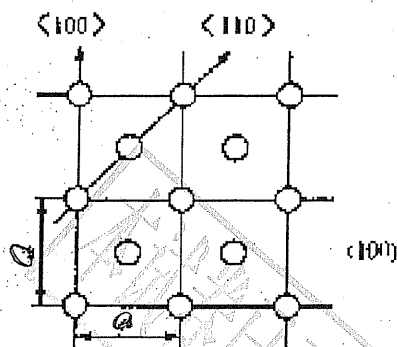


图 4

5. 请解释什么是过剩载流子？什么是非平衡少子的寿命？什么是非平衡载流子的间接复合？

二、填空题（1-4 题，每题 3 分，5-6 题每题 4 分，共 20 分）

1. 一维晶体的电子能带可写为 $E(k) = \frac{\hbar^2}{ma^2} \left(\frac{7}{8} - \cos ka + \frac{1}{8} \cos 2ka \right)$ ，式中 a 为晶格

常数, 则电子在波矢 $k = \frac{2\pi}{a}$ 处的有效质量 m_n^* 为_____, 运动速度为_____, 准动量为_____。

2. 电子的费米分布函数的表达式为_____ ; 其物理意义表示_____ ; $T=300\text{K}$ 时, 费米能级比导带底 E_C 处被电子占据的几率为_____。

3. 半导体内存在两种散射机制。第一种散射发生的概率为 P_1 , 这种散射单独存在时载流子平均自由时间 T_1 为_____ ; 第二种散射发生的概率为 P_2 , 这种散射单独存在时载流子的平均自由时间 T_2 为_____。两种散射机制同时存在时的载流子的平均自由时间 T 为_____。

4. 杂质在半导体中, 可以作为施主或受主中心, 影响半导体的载流子_____ ; 也可以作为散射中心, 影响载流子的_____ ; 还可以作为复合中心和陷阱中心, 影响载流子的_____。

5. $T=300\text{K}$ 时, 硅霍尔器件的参数为 $d=5\times 10^{-3}\text{cm}$, $W=5\times 10^{-2}\text{cm}$, $L=0.50\text{cm}$, 测得 $I_x=0.50\text{mA}$, $V_x=1.25\text{V}$, $B_z=6.5\times 10^{-2}\text{T}$, $E_H=-16.5\text{mV/cm}$, 则霍尔电压为_____ mV, 该半导体为_____型半导体; 多数载流子的浓度为_____ cm^3

6. 均匀掺杂 $N_A=10^{16}/\text{cm}^3$ 的 p 型硅片, 在温度 $T\approx 0\text{K}$ 时, 平衡状态的空穴浓度为_____ $/\text{cm}^3$ 电子浓度为_____ $/\text{cm}^3$; 温度 $T=300\text{K}$ 时, 平衡状态的空穴浓度为_____ $/\text{cm}^3$ 电子浓度为_____ $/\text{cm}^3$ 。室温下, 硅本征载流子浓度 $n_i=1.0\times 10^{10}/\text{cm}^3$ 。

三、计算题 (每题 20 分, 共 60 分)

1. $T=300\text{K}$ 时, 硅片中均匀掺入 $N_D=1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 的施主杂质, 在温度 $T=300\text{K}$ 时保持热平衡条件不变, 取 $n_i=1\times 10^{10}\text{cm}^{-3}$, $\tau_p=10^{-6}\text{s}$, $\mu_n=800\text{cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p=330\text{cm}^2/\text{Vs}$, 求:

(1) 计算热平衡状态下的电子和空穴的浓度

(2) 该半导体硅的费米能级 E_F-E_i

(3) 该半导体硅片的电阻率

(4) 该半导体硅片中少子的扩散系数

(5) 该半导体硅片中少子的扩散长度

2. 设一均匀的 p 型 Si 样品, 如图 5 所示, 用一稳定的光照射其表面, 均匀产生电子-空穴对, 产生率为 G_0 , 若样品无限长, 且在 $x=0$ 表面稳定注入电子浓度 Δn_0 , 试求样品 x 方向的电子浓度分布, 已知电子的扩散系数 D_n 和寿命 τ_n 。

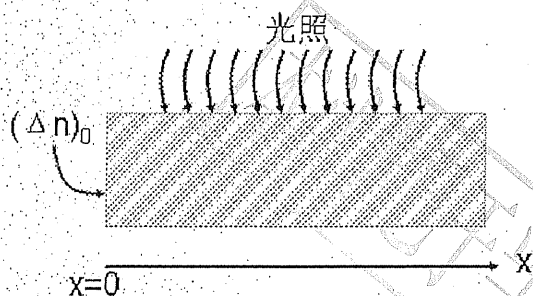


图 5

3. 0.1kg 的 Ge 单晶, 掺有 $3.2 \times 10^9 \text{ kg}$ 的 Sb, 试求室温下该材料的电导率。

已知 $\mu_n = 3800 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$, Ge 的单晶密度为 5.32 g/cm^3 , Sb 原子量为 121.8, 室温下 Ge 的本征载流子浓度 $n_i \approx 2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

四、综合题 (每题 10, 共 20 分)

1. 假设一理想非简并半导体, 其导带中的态密度为:

$$g_c(E) = \frac{N_c}{kT} \quad E \geq E_c$$

推导该理想半导体导带中的电子浓度表达式

2. 结合 GaAs 的晶格结构和共价键模型, 说明 Si 原子在 GaAs 中具有双性杂质行为, 即: 既可以是施主杂质, 也可以是受主杂质, 并画图表示。

五. 画图题 (20 分, 每题 5 分)

- 画出 p 型半导体在光照 (小注入) 前后的能带图, 并要求标出导带底 E_c 、价带顶 E_v 、本征费米能级 E_i 、光照前的费米能级 E_F 和光照时的准费米能级 E_{Fn} 和 E_{Fp}
- 请在能带图上画出受主能级的位置; 标出受主杂质的电离能; 未电离和已电离的受主杂质的示意图
- 用能带图, 画出电子-空穴通过 R-G 中心复合的图象和直接复合的图象
- 什么是空穴? 分别在共价键模型和能带模型上画出空穴的图像

注: 本试卷可能用到的物理常数: $k = 1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

$$q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$