

东南大学考研复习卷(B 卷)

课程名称 半导体物理 929 编辑时间 2013-1 得分 _____
 适用专业 电子科学与技术 考试形式 闭卷 考试时间长度 180 分钟

室温下 $k_0T = 0.026eV$ ，电子电量 $e = 1.6 \times 10^{-19}C$ 。

一、 填空题（每空 1 分，共 35 分）

1. 设晶格常数为 a 的一维晶格，导带极小值附近的能量为 $E_c(k) = \frac{h^2k^2}{3m_0} + \frac{h^2(k-k_1)^2}{m_0}$ ，

价带极大值附近的能量 $E_v(k) = \frac{h^2k_1^2}{6m_0} - \frac{3h^2k^2}{m_0}$ ，其中 m_0 为电子质量， h 为普朗克常

数， $k_1 = \frac{a}{2}$ ，则半导体禁带宽度为 _____，价带顶电子跃迁到导带底时的准动量的变化为 _____，价带顶空穴有效质量为 _____。

2. 室温下，锗的禁带宽度 $E_g = 0.67eV$ ，估计室温下本征锗导带底的一个能态被电子占据的几率为 _____。锗价带顶的一个能态被空穴占据的几率为 10^{-3} ，此时费米能级的位置在 _____，玻尔兹曼分布是否近似成立？ _____。

3. 由间接复合作用决定的非平衡载流子寿命 $\tau = \frac{c_n(n_0 + n_i + \Delta n) + c_p(p_0 + p_i + \Delta p)}{N_t c_n c_p (n_0 + p_0 + \Delta p)}$ ，式中 N_t 代表 _____。半导体禁带宽度 $E_g = 1.12eV$ ，小注入条件下，复合中心能级 E_t 在价带顶上方 $0.12eV$ ，费米能级在导带下方 $0.31eV$ ，则非平衡载流子的寿命可化简为 _____；大注入条件下，非平衡载流子的寿命可化简为 _____。

4. 室温下本征硅掺入某种杂质后，电子浓度为 $n_0 = 1.5 \times 10^4 cm^{-3}$ ，硅的本征载流子浓度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$ ，导带有效状态密度 $N_C = 2.8 \times 10^9 cm^{-3}$ ，价带有效状态密度 $N_V = 1.1 \times 10^{19} cm^{-3}$ 。则费米能级与价带顶的差为 _____；掺入施主杂质 $N_D = 5 \times 10^5 cm^{-3}$ 后，费米能级将 _____（填“上升”、“下降”或“不变”）。

5. 表面复合率 U_s 表示单位时间 _____, 它与 _____ 成正比, 比例系数用 s 表示, 反应了表面复合的强弱。如果半导体表面载流子的复合几率为 p_s , 体内复合寿命为 τ_v , 则有效寿命为 _____。
6. 半导体中的载流子主要受到两种散射, 在高温下 _____ 起主要作用; 在高掺杂情况下, 载流子的迁移率随温度的变化是比较小的, 其原因是 _____。
7. 设室温下半导体材料硅中载流子迁移率 $\mu_n = 1000 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_p = 300 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, 本征载流子浓度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 本征电阻率为 _____, 掺入硼 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 掺入磷 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 设迁移率不随掺杂浓度的变化而变化, 半导体加电场 2 V/cm , 则电流密度为 _____。
8. pn 结电容主要有势垒电容和扩散电容, 反向偏压下, _____ 电容的作用越重要。对于点接触型二极管和面接触型二极管, _____ 更适合用于大电流和整流。
9. 对于 Si、Ge 和 GaAs 材料, 同一掺杂浓度下 _____ 材料 pn 结内建电动势最小, _____ 材料适合制作高温器件。
10. pn 结的击穿有热击穿和电击穿, 电击穿有雪崩击穿和齐纳击穿。其中 _____ 击穿是不可逆的, _____ 击穿电压具有正温度系数, 原因是 _____。
11. 某硅样品含有 10^{16} cm^{-3} 的 In 受主原子和一定数量的浅浓度施主杂质, 硅的禁带宽度 $E_g = 1.12 \text{ eV}$ 。室温下, 硅的本征载流子浓度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 导带有效状态密度 $N_C = 2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 价带有效状态密度 $N_V = 1.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。In 受主能级比 E_V 高 0.16 eV , 费米能级 E_F 比 E_V 高 0.26 eV , 电离杂质中心浓度为 _____。
12. 若在掺有受主杂质 N_A 的 p 型衬底上采用扩散工艺又掺入一层浓度为 N_D 施主杂质, 且 $N_A \gg N_D$, 本征载流子浓度为 n_i 。 p 区和 n 区哪边的势垒宽度宽? _____。外加正向偏置时, 正向扩散电流的主要成分是 _____ 电流。若外加正向电压为 V_f 时, 注入 p 区的电子浓度为 _____。实际工艺中往往采用 $N_D \gg N_A$, 这样做的原因是 _____。

13. 在室温下，当反向偏压等于 $0.13V$ 时，流过 pn 结二极管的电流为 $5\mu A$ 。当二极管正向偏置同样大小的电压时，流过二极管的电流为_____。
14. _____是反映载流子在电场作用下运动难易程度的物理量，_____是反映有浓度梯度时载流子运动难易的物理量，联系两者的关系式是_____，称为_____关系式。

二、 简答题（共 72 分）

1. (12分) 解释半导体物理中载流子的平均自由程、扩散长度和牵引长度有何不同？

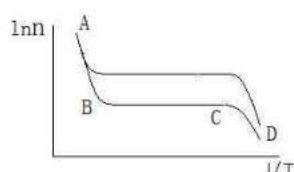
2. (10分) 解释半导体物理中大注入、小注入概念。

3. (12分) 比较 PN 结和肖特基结的主要异同点，解释肖特基结更适合高频条件下使用。

4. (12分) 画出并定性解释 Si 的电子平均漂移速度与电场强度的关系。

5. (12分) 简要叙述金属和半导体的导电机理。

6. (14分) 两掺杂浓度不同的硅样品，其载流子电子浓度与温度的关系如图所示，解释说明 AB 段基本重合，BC 段基本平行，CD 段不平行。



三、 计算题（共 43 分）

1.(13分) (1) 已知 r 为电子空穴复合几率，本征载流子浓度为 n_i ，热平衡下 p 型半导体材料的空穴浓度为 p_0 ，求该材料由直接复合决定的非平衡载流子的寿命。

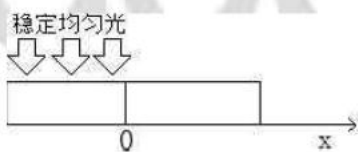
(2) 试证明半导体中当 $\mu_n \neq \mu_p$ 且电子浓度 $n = n_i \sqrt{\mu_p / \mu_n}$, 空穴浓度 $p = n_i \sqrt{\mu_n / \mu_p}$, 材料的电导率 σ 最小, 其中 n_i 为本征载流子浓度, 并求 σ_{\min} 的表达式。

2.(15分) 如图所示, 室温下一个无限大的均匀掺杂的 n 型半导体样品, 无外场作用。用适当频率且稳定均匀光在 $t=0$ 照射在半导体样品的左半部分, 产生非平衡载流子, 产生率 $G_{op} = 10^{15} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。非平衡载流子空穴的寿命为 $\tau_p = 5 \mu\text{s}$, 迁移率为 $\mu_p = 480 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ 。

(提示: 非平衡载流子的连续性方程为 $\frac{\partial p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - p\mu_p \frac{d\varepsilon}{dx} - \varepsilon\mu_p \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + g_p$)

(1) 画出半导体非平衡载流子的浓度与位置 x 的关系;

(2) 什么位置非平衡载流子的浓度为 10^9 cm^{-3} ?



3.(15分) 室温下均匀掺杂的硅掺入的施主杂质浓度为 N_D ，掺入的受主杂质浓度为 N_A ，且满足： $5.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} < N_A < N_D < 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_A = 0.1 N_D$ 。室温下：硅的导带底电子状态密度有效质量 $m_{dn} = 1.08 m_0$ ，硅的价带顶空穴状态密度有效质量 $m_{dp} = 0.55 m_0$ ，其中 m_0 为电子的惯性质量；导带有效状态密度为 $N_C = 2 \left(\frac{2\pi m_{dn} k_0 T}{h^2} \right)^{3/2}$ ，价带有效状态密度为 $N_V = 2 \left(\frac{2\pi m_{dp} k_0 T}{h^2} \right)^{3/2}$ ，其中 k_0 为波尔兹曼常数， $T = 300 \text{ K}$ ；禁带宽度为 E_g ； μ_n 为电子迁移率， μ_p 为空穴迁移率。设 600 K 下硅的本征载流子浓度为 n_i 。

- 解释说明电子惯性质量、状态密度有效质量和有效状态密度三个概念；
- 室温下假定本征硅的费米能级在禁带中央合理吗？说明理由；
- 求室温下的该掺杂硅的载流子浓度、费米能级位置及电导率；
- 求 600 K 下的载流子浓度。

