

东南大学考研复习卷(E 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 $k_0T = 0.026\text{eV}$, 电子电量 $e=1.6\times 10^{-19}\text{C}$ 。

一、 填空题 (每空 1 分, 共 35 分)

1. 用单电子近似法研究晶体中电子状态的理论称为能带论。在能带论中, 费米能级是一个非常有用的概念, 在能带中引入费米能级是为了 _____, 费米能级与温度、杂质浓度、半导体材料的导电类型等因素有关。 p 型半导体费米能级随温度升高的变化为 _____。能带图中引入准费米能级的目的是为了 _____。
2. 金在硅中的施主能级在价带顶上方 0.35eV 处, 受主能级在导带底带下方 0.54eV 处。已知硅的禁带宽度 $E_g=1.12\text{eV}$, 硅中金原子浓度为 10^{15}cm^{-3} , 在硅中掺入浓度为 10^{16}cm^{-3} 的硼, 则该硅是 _____ 型半导体, 金的带电状态为 _____。
3. 常规掺杂半导体是通过价带空穴和导带电子导电, 在重掺杂的简并半导体中, 杂质浓度很高, 杂质原子相互靠近, 被杂质原子束缚的电子的波函数显著重叠, 杂质能级扩展为杂质能带。重掺杂半导体还可以通过杂质带导电: 杂质能带中的电子可以通过杂质原子间的 _____ 运动参加导电。进行浅能级杂质的重掺杂常常是为了获得高电荷密度和高电导率。重掺杂的应用有 _____、 _____ 等。
4. 两块 n 型硅材料, 在某温度下, 第一块与第二块电子浓度之比为 $n_1/n_2 = e$, 第一块材料的费米能级在导带底下 $3k_0T$ 处, 那第二块材料的费米能级位置在 _____, 两块材料的空穴浓度之比为 _____。
5. 电流连续性方程: $\frac{\partial p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - p\mu_p \frac{d\varepsilon}{dx} - \varepsilon\mu_p \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + g_p$ 。若用适当频率的光脉冲照射一块均匀 n 型半导体材料的局部区域, 没有外场作用, 且非平衡载流子的产生率为 g_p , 光脉冲停止后的连续性方程简化为 _____; 若稳定光照射均匀掺杂 n 型半导体的一部分, 均匀产生非平衡载流子, 产生率为 g_p , 且电场是均匀的, 则连续性方程简化为 _____。
6. 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。齐纳击穿电压具有 _____ (填“正”或“负”)温度系数, 原因是 _____。对于半导体材料 Si、Ge 和 GaAs, _____ 最容易发生热击穿, 原因是 _____。

7. pn 结的 n 区掺有施主杂质 $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, p 区掺有受主杂质 $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。 pn 结

施加正向偏压 V_f , 电流密度为 J , 反向饱和电流 $J_s = \frac{qD_n}{L_n} n_{p0} + \frac{qD_p}{L_p} p_{n0}$ 。室温下本

征载流子浓度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 非平衡载流子电子的寿命 $\tau_n = 0.5 \mu\text{s}$, 非平衡载流

子空穴的寿命 $\tau_p = 5 \mu\text{s}$, 电子的迁移率 $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, 空穴的迁移率

$\mu_p = 480 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ 。该 pn 结的接触电势差 V_D 为 _____ ; 当电流密度为

1 A/cm^2 时, 外加电压为 _____。

8. 金属的电导率与温度的关系比较单一, 一般随温度的升高而 _____ (填“增加”、“不变”或“减小”), 原因是 _____。

9. 已知未知半导体的禁带宽度 $E_g = 1.1 \text{ eV}$, 且 $N_C = N_V$, 掺有 10^{15} cm^{-3} 的施主杂质,

施主能级比 E_C 低 0.2 eV , 费米能级 E_F 比 E_C 低 0.3 eV , 室温下本征激发忽略不计。

半导体导带有效状态密度 N_C 为 _____, 半导体的空穴浓度为 _____。

10. 异质结相对于同质结, 主要优势有 _____、_____、_____等。

11. 半导体非平衡载流子的注入方法有 _____、_____, 其中 _____

满足 $\Delta n = \Delta p$ 。

12. 室温下, 硅的本征载流子浓度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 硅的禁带宽度 $E_g = 1.12 \text{ eV}$, 在受

主浓度为 10^{18} cm^{-3} 的硅(电子亲和能为 4 eV)表面淀积一层功函数为 4.6 eV 的金属。这是一个肖特基接触还是一个欧姆接触? _____。金属的功函数为多少时可以改变这个接触的类型? _____。

13. 根据费米分布函数, 比较大小 _____:

- A. 电子占据 E_F 能级的几率; B. 空穴占据 E_F 能级的几率;
C. 电子占据 $(E_F - k_0 T)$ 能级的几率; D. 空穴占据 $(E_F - k_0 T)$ 能级的几率。

14. 某新型半导体的 $N_C = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $N_V = 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 禁带宽度 $E_g = 2 \text{ eV}$, 若掺入 10^{17} cm^{-3} 的施主杂质(完全电离), 室温下空穴浓度为 _____, 费米能级的位置在禁带中央上 _____。

15. 在纯半导体硅中掺入硼,在一定温度下,当掺杂浓度增加时,费米能级向_____移动;掺杂浓度一定时,温度从室温逐步上升,费米能级向_____移动。

二、简答题(共 72 分)

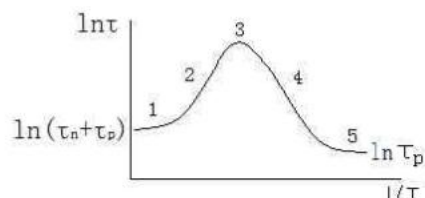
- 1.(12分)假设 n 型半导体中的复合中心位于禁带的上半部,间接复合理论给出小注入条件下非平衡少数载流子的寿命 $\tau = \frac{\Delta p}{U} = \frac{c_n(n_0 + n_1) + c_p(p_0 + p_1)}{N_t c_n c_p (n_0 + p_0)}$, 其中有 $\tau_n = \frac{1}{N_t c_n}$,

$$\tau_p = \frac{1}{N_t c_p}, \quad n_1 = N_c e^{-\frac{E_c - E_t}{k_0 T}}, \quad p_1 = N_v e^{-\frac{E_t - E_v}{k_0 T}}。半$$

导体非平衡少数载流子的寿命与温度的关系如图所示,解释说明这种关系。已知导带有效状态密度为

$$N_c = 2 \left(\frac{2\pi m_{dn} k_0 T}{h^2} \right)^{3/2}, \quad \text{价带有效状态密度为}$$

$$N_v = 2 \left(\frac{2\pi m_{dp} k_0 T}{h^2} \right)^{3/2}。$$



- 2.(12分)定性画出并解释导体、半导体和绝缘体的能带结构。

- 3.(10分)何谓直接复合和间接复合?

- 4.(12分)试画出 n 型半导体的费米能级随温度变化规律,并解释之。

- 5.(12分)什么是热载流子?随着温度的升高,热载流子的迁移率将怎么变化,为什么?

- 6.(14分)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 $N_D \gg N_A$,本征载流子浓度为 n_i 。求:

- (1)叙述空间电荷区的形成过程,画出平衡时 pn 结的能带图;
- (2)分析说明外加正向偏置 V_f 时正向扩散电流的组成成分,分析扩散区载流子的运动方向,画出外加正向偏置 pn 结的能带图;
- (3)若外加反向电压为 V_r 时,分析说明反向饱和电流的组成成分,画出外加反向偏置 pn 结的能带图。

三、计算题(共 43 分)

- 1.(13分)均匀掺杂的 p 型半导体样品中掺入的施主杂质浓度为 N_D ,掺入的受主杂质浓度为 N_A ,如果两种载流子对电导率的贡献不可忽略,试推导出电导率的公式:

$$\sigma = \frac{1}{2} q \mu_p (N_A - N_D) (1 + a) \left\{ \left[1 + \frac{4n_i^2}{(N_A - N_D)^2} \right]^{1/2} + \frac{1 - a}{1 + a} \right\}, \quad \text{其中 } a = \mu_n / \mu_p。$$

如果进入本征区,简化上式。

2.(15分) 在室温下，有一块本征 Ge 材料，其导带有效状态密度 $N_C = 1.05 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，价带有效状态密度 $N_V = 3.9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ，已知室温下锗的禁带宽度 $E_g = 0.67 \text{ eV}$ 。锗的电子迁移率 $\mu_n = 3900 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ，锗的空穴迁移率 $\mu_p = 1900 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ，电子的热运动速度为 $v = 2 \times 10^7 \text{ cm/s}$ ，电子的有效质量 $m_n^* = 0.3m_0 \approx 3 \times 10^{-31} \text{ g}$ 。

- (1) 求电子的平均自由程 \bar{l} 和空穴的扩散系数 D_p ；
- (2) 求在外加电场 $\mathcal{E} = 10 \text{ V/cm}$ 下的电子漂移速度 v_n 及电流密度 J ；
- (3) 当外加电场 $\mathcal{E} > 10^3 \text{ V/cm}$ 时，Ge 材料电子的漂移速度 v_n 将怎么变化，并加以解释。

3.(15分) 在一个足够长的条形 Si 半导体样品中，横截面积为 0.5 cm^2 ，掺入施主杂质，掺杂浓度为 10^{16} cm^{-3} ，硅的禁带宽度 $E_g = 1.12 \text{ eV}$ ，本征载流子浓度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 。该均匀掺杂 n 型 Si 半导体无外场作用。在半导体的一面存在均匀稳定的光照，光被半导体表面薄层均匀吸收以 $G_{op} = 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的产生率产生非平衡载流子，即小注入。室温下 ($T = 300 \text{ K}$)，半导体少数载流子空穴的寿命为 $5 \mu\text{s}$ ，迁移率 $\mu_p = 480 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ，半导体的长度远远大于少数载流子的扩散长度。

- (1) 在 $x = 100 \text{ nm}$ 处 E_C 和 E_{Fn} 的间隔为多少？
- (2) 距表面一个少数载流子的扩散长度处少子的扩散流密度为多少？

(提示：非平衡载流子的产生只是在表面非常薄的一层内发生，所以非平衡载流子的产生率只是以边界条件出现： $G_{op} = -D_p \frac{d\Delta p}{dx} \Big|_{x=0}$ ，非平衡载流子的连续性方程为

$$\frac{\partial p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - p\mu_p \frac{d\mathcal{E}}{dx} - \varepsilon\mu_p \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + g_p$$

