

东南大学考试卷 (A 卷)

课程名称 半导体物理 考试时间 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 120 分钟

室温下, 硅的相关系数: $k_0T = 0.026eV$, $n_i = 1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$, $N_C = 2.8 \times 10^{19} cm^{-3}$

$N_V = 1.1 \times 10^{19} cm^{-3}$, 电子电量 $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ 。

一、 填空题 (每空 1 分, 共 35 分)

1. 半导体中的载流子主要受到两种散射, 对于较纯净的半导体 散射起主要作用, 对于杂质含量较多的半导体, 温度很低时, 散射起主要作用。

2. 非平衡载流子的复合率 $U = \frac{N_t C(np - n_i^2)}{n + p + 2n_i ch[(E_t - E_i) / k_0T]}$, N_t 代表 , E_t

代表 。当载流子浓度满足 $np - n_i^2$ 时, 半导体存在净复合; 当

$np - n_i^2$ 时, 半导体处于热平衡状态。杂质能级位于 位置时, 为最有效复合中心, 此杂质为 杂质。

3. 纯净的硅半导体掺入浓度为 $10^{17} cm^{-3}$ 的磷, 当杂质电离时能产生导电 , 此时杂质为 杂质, 相应的半导体为 型; 如果再掺入浓度为 $10^{16} cm^{-3}$ 的硼, 半导体是 型。假定又掺入浓度为 $10^{15} cm^{-3}$ 的金, 则金原子带电状态为 。

4. 当 PN 结施加反向偏压, 并增到某一数值时, 反向电流密度突然 的现象称为击穿, 击穿分为 和 。温度升高时, 击穿的击穿电压阈值变大。

5. 当半导体中载流子浓度存在 时, 载流子将做扩散运动, 扩散流密度与 成正比, 比例系数称为 ; 半导体存在电势差时, 载流子将做 运动, 其运动速度正比于 , 比例系数称为 。

6. GaAs 样品两端加电压使内部产生电场, 在某一个电场强度区域, 电流密度随电场强度的增大而减小, 这区域称为 , 这是由 GaAs 的 结构决定的。

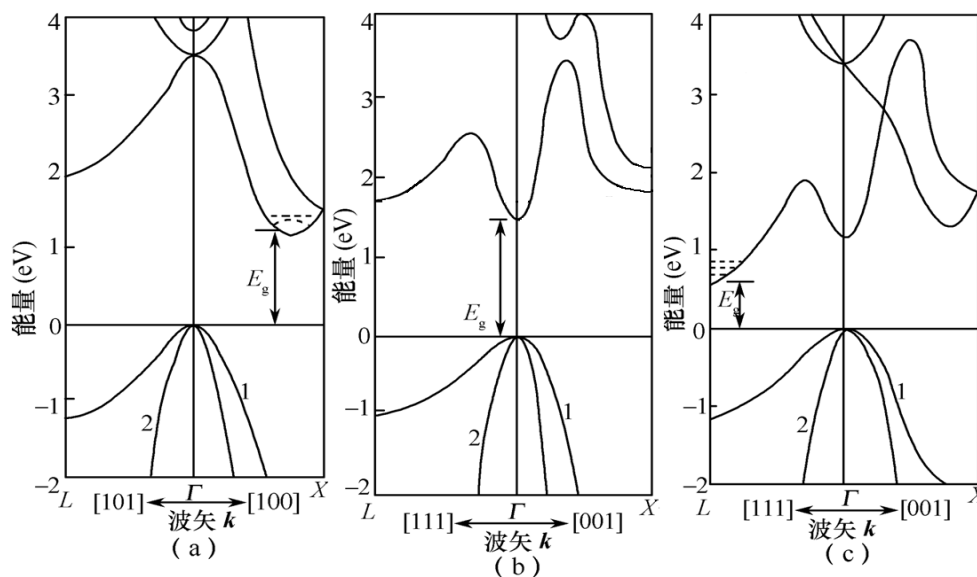
7. 某 n 型半导体导带极值在 [111] 轴上, 那么共有 个导带底。已知硅的导带电子纵向有效质量为 $0.92m_0$, 横向有效质量为 $0.197m_0$, 重空穴的质量 $0.49m_0$, 轻空穴的质量为 $0.16m_0$, 则硅的导带底电子的状态有效质量为 , 价带顶空穴的状态有效质量为 , 硅的沿 [100] 方向的电导有效质量为 。

8.对于 Si、Ge、GaAs，_____适合制作高温器件，其原因是_____。

9. pn 结电容主要有_____电容和_____电容，正向偏压越大，_____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，_____更适合高频电路使用。

二、简答题（共 35 分）

1.(8分) 下图是半导体材料 Si、Ge、GaAs 的能带结构示意图。

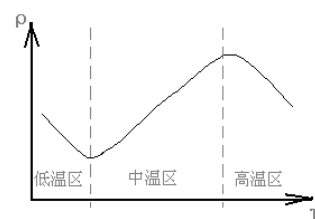


- (1) 请指出图 a 、图 b 、图 c 分别对应何种材料，你判断的依据是什么？
- (2) 在三幅图中，价带对于同一个 k ， $E(k)$ 可以有两个值，表明对应两种有效质量不同的空穴，即重空穴和轻空穴。试指出曲线 1、2 分别对应哪种空穴，依据是什么？

2.(6分) 举一个关于异质结应用的例子，并说明异质结相比于同质结有哪些优点。

3.(13分) (1) 画出轻掺杂半导体和重掺杂半导体的迁移率与温度的关系，并解释之。

(2) n 型半导体的电阻率随温度的变化曲线如图所示，试解释为什么会出现这样的变化规律。



- 4.(8分) (1)画出实现反阻挡的金属——半导体欧姆接触后的能带图；
 (2)实际加工中在对半导体进行电互连时，将半导体的接触区进行重掺杂后在与金属连接，而不是直接用金一半欧姆接触进行电互连，试解释之。

三、 计算题 (30 分)

1.(6分) 单晶硅中均匀地掺入两种杂质，掺硼 $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，掺磷 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。已知 $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_p = 500 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ，计算：

- (1)载流子的浓度； (2)费米能级相对禁带中央的位置； (3)电导率。

2.(6分) 掺磷的 n 型硅，已知磷的电离能为 0.044 eV ，求室温下杂质一半电离时费米能级的位置和磷的浓度。

3.(8分) 稳定光照射在一块均匀掺杂的 n 型半导体中均匀产生非平衡载流子，产生率为 g_p ，非平衡载流子空穴的寿命为 τ_p ，且无外场作用，在 $t=0$ 时刻，撤去光照。

- (1)求 $t < 0$ 时半导体载流子空穴的浓度； (2)求 $t > 0$ 时半导体载流子空穴的浓度。

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

4.(10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 。

- (1)求接触电势差 V_D (要求写出推导过程)； (2)画出平衡时 pn 结的能带图；
 (3)请问 p 区和 n 区哪边的势垒宽度宽，为什么？
 (4)分析说明外加正向偏置时，正向扩散电流的主要成分是电子电流还是空穴电流？
 (5)若外加正向电压为 V_f 时，分别写出注入 p 区和 n 区的载流子浓度。

东南大学考试卷(B卷)

课程名称 半导体物理 考试时间 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 120 分钟

室温下, 硅的相关系数: $k_0T = 0.026eV$, $n_i = 1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$, $N_C = 2.8 \times 10^{19} cm^{-3}$

$N_V = 1.1 \times 10^{19} cm^{-3}$, 电子电量 $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ 。

一. 填空题(每空 1 分, 共 30 分)

1. 纯净半导体Si中掺硼元素的杂质, 当杂质电离时从Si中夺取 , 在Si晶体的共价键中产生了一个 , 这种杂质称 杂质。
2. p型Ge中掺入施主杂质, 费米能级将 (上升, 下降或不变)。若温度升高至本征激发起主导作用时费米能级所处位置为 。
3. 某n型半导体的导带极值在[110]轴上, 则有 个导带底。已知硅的导带电子纵向有效质量为 $0.92m_0$, 横向有效质量为 $0.197m_0$, 重空穴的质量 $0.49m_0$, 轻空穴的质量为 $0.16m_0$, 则硅的价带顶空穴的状态有效质量为 , 在回旋共振试验中, 磁场沿[100]方向时, 测得共振吸收峰个数为 。
4. 半导体Si属于 半导体(填“直接带隙”或“间接带隙”), 砷化镓属于 半导体, 直接带隙和间接带隙半导体的区别在于 。
5. 轻掺杂的目的是 , 深能级掺杂能起到 的重要作用, 而我们进行重掺杂主要是利用重掺杂的高导电性和 的特点, 尽管其可能给半导体器件带来不理想的结果, 如 。
6. 半导体中的载流子寿命不是取决于材料的基本性质, 而是与半导体材料中的缺陷、 或应力相关; 在半导体材料中有一些缺陷能级, 它们可以俘获载流子, 并长时间把载流子束缚在这些能级上, 这种现象称为 。
7. 半导体中的载流子主要受到两种散射, 它们分别是 和 。前者在 下起主要作用, 后者在 下起主要作用。
8. 改变半导体电导率最常见的方法是通过掺杂, 除此之外还可以通过 、 和 等。

9. 锗 pn 结与硅 pn 结的内建电势差 V_D 相比, _____ 内建电势差 V_D 大, 其原因是 _____。
10. pn 结的理想伏安特性与实际伏安特性的区别是 _____, 其原因是忽略了 _____ 和 _____。
11. 爱因斯坦关系式 _____ 表征了非简并情况下载流子迁移率和扩散系数间的关系。

二. 简答题 (共 36 分)

- 1.(12分) (1) 从能带论出发, 简述半导体能带的基本特征;
(2) 利用能带论分析讨论为什么金属和半导体电导率具有不同的依赖性。
- 2.(8分) 试画出并解释载流子浓度随温度的变化关系;
- 3.(8分) 分析 p 型半导体与金属相接触时的接触特性, 画出相应能带图。
- 4.(8分) 简述多能谷散射对半导体导电性的影响, 举一例说明。

三. 计算题 (共 34 分)

- 1.(8分) 施主浓度为 10^{17} cm^{-3} 的 n 型硅, 室温下的功函数是多少? 如果不考虑表面态的影响, 试画出它与金 (Au) 接触的能带图, 并标出势垒高度和接触电势差的数值。已知硅的电子亲和能 $\chi = 4.05 \text{ eV}$, 金的功函数为 4.58 eV 。

- 2.(6分) 如图 1 所示, 一个很长的掺杂均匀的 n 型半导体样品, 其中心附近长度为 $2a$ 的范围内被一稳定光照射, 假定光均匀的穿透样品, 电子-空穴对的产生率为 G 。写出整个样品在小注入条件下少数载流子方程表达式及边界条件。(非平衡载流子空穴的连续性方程

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

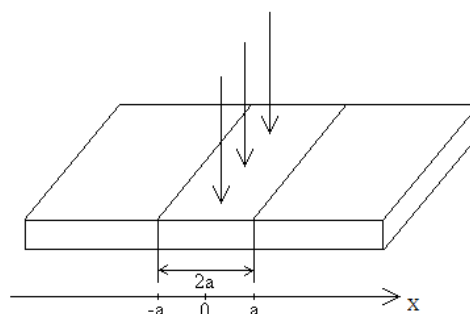


图1.半导体光照图

3.(8分) 假定室温下一半导体的本征载流子浓度为 10^{10} cm^{-3} ， $N_C=N_V=10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。

- (1) 禁带宽度是多大？
- (2) 若半导体掺入浓度为 $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 的施主杂质，计算室温下载流子浓度；
- (3) 上述已经掺杂半导体，若再掺入浓度为 $3.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 的受主杂质，计算载流子浓度，画出简化的能带图，并指出费米能级的位置(费米能级与本征费米能级的距离)。

4.(12分) 某一掺杂半导体及能带图如图 2 所示，半导体长度为 $2 \mu\text{m}$ 。

- (1) 分析其倾斜原因；
- (2) 求 AB 两端电子浓度之比和空穴浓度之比；
- (3) 求电场，以 V/cm 为单位，在图中标出电场方向、电子加速方向和空穴加速方向；
- (4) 半导体两端接一根导线，收尾相连，你认为回路中有电流吗？为什么？

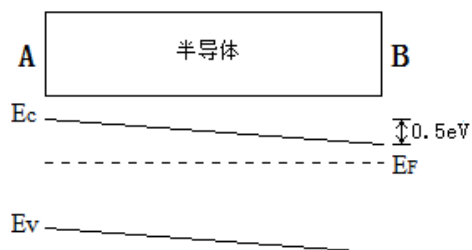


图2. 半导体能带图