

中国科学院大学

2020 年招收攻读硕士学位研究生入学统一考试试题

科目名称：半导体物理

考生须知：

1. 本试卷满分为 150 分，全部考试时间总计 180 分钟。
2. 所有答案必须写在答题纸上，写在试题纸上或草稿纸上一律无效。
3. 可以使用无字典存储和编程功能的电子计算器。

一、（共 50 分，每题 5 分）解释下列名词或概念

1. 等同的能谷间散射
2. 杂质电离能
3. 理想 MIS 结构的平带状态
4. 准费米能级
5. pn 结扩散电容
6. 价带的有效状态密度
7. 表面复合速度
8. 自由载流子吸收
9. 费米分布函数
10. 半导体的汤姆逊效应

二、（共 20 分，每题 10 分）简答题

1. 简述理想 MIS 结构的高频 C-V 特性（以 p 型半导体为例）。
2. 1963 年，Gunn 发现，给 n 型 GaAs 两端电极加以电压使得 GaAs 内电场超过 $3 \times 10^3 \text{V/cm}$ 时，电流便会以很高的频率振荡，这个效应称为耿氏效应(Gunn effect)。1964 年 Koremer 指出，这与微分负阻理论一致。请结合 GaAs 的能带结构，简述 GaAs 在高场下出现负阻效应的原因。

三、（20 分）某正方结构二维晶体，晶格常数为 a 。与原子能级 ε_i 对应的能带具有色散关系： $E(k_x, k_y) = \varepsilon_i + J_0 + 2J_1(\cos k_x a + \cos k_y a)$ ， J_0 和 J_1 为小于零的常数。

- (1) 该二维晶体的倒格子是什么结构？给出第一布里渊区 k 的取值范围。
- (2) 画出第一布里渊区内沿[1,1]方向，电子有效质量随波矢 k 的变化关系曲线 $m_e^*(k)$ 。
- (3) 设该能带为满带，在能带底处去除一个电子，形成一个空穴，计算倒空间中沿[1,1]方向的空穴的有效质量和运动速度。

四、(20分) 掺硼的非简并 p 型硅中含有一定浓度的镉, 在室温 (300K) 下, 测得电阻率 $\rho=2.84\Omega\cdot\text{cm}$ 。已知所掺硼浓度为 $N_{\text{A1}}=10^{16}\text{cm}^{-3}$, 硼的电离能 $\Delta E_{\text{A1}}=E_{\text{A1}}-E_{\text{V}}=0.045\text{eV}$, 镉的电离能 $\Delta E_{\text{A2}}=E_{\text{A2}}-E_{\text{V}}=0.16\text{eV}$ 。求该半导体中镉的浓度 N_{A2} 。(设 $m_{\text{p}}^*=0.59m_0$, 空穴迁移率 $\mu_{\text{p}}=200\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 电子电量 $q=1.6\times 10^{-19}\text{C}$, 电子静止质量 $m_0=9.1\times 10^{-31}\text{kg}$, 普朗克常数 $h=6.63\times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$, 波耳兹曼常数 $k=1.38\times 10^{-23}\text{J/K}$)

五、(20分) n 型硅片表面受均匀恒定的高能光子照射, 在表面注入的非平衡少数载流子浓度为 $5\times 10^{11}\text{cm}^{-3}$ 。设少子寿命为 $10\mu\text{s}$, 少子迁移率为 $500\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 波耳兹曼常数 $k=1.38\times 10^{-23}\text{J/K}$, 电子电量 $q=1.6\times 10^{-19}\text{C}$, 样品足够厚。计算室温 (300K) 下:

- (1) 非平衡少数载流子的扩散长度 L_{p} ;
- (2) 在距离表面 $2L_{\text{p}}$ 处少子的净复合率;
- (3) 在距离表面 $2L_{\text{p}}$ 处少子的扩散电流密度。

六、(20分) 有机/无机复合接触能够形成整流接触, 可在很多方面得到应用。现有一高电导的有机半导体 Q (功函数 $W_{\text{Q}}=5.06\text{eV}$) 和 n 型晶体 Si (亲和能 $\chi=4.06\text{eV}$) 形成整流接触, 设该接触类似理想金属-半导体整流接触 (界面间隙为零, 不存在表面态, 不考虑镜像力和隧道效应等), 且位于室温 300K 下。

- (1) 示意地画出热平衡时 Q/n-Si 接触的理想能带图;
- (2) 设 n 型硅的掺杂浓度 $N_{\text{D}}=2.8\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$, 导带的有效状态密度 $N_{\text{C}}=2.8\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, 求热平衡时有机半导体一边的势垒高度 $q\phi_{\text{ns}}$ 、硅这边的势垒高度 qV_{D} 和硅中的耗尽区宽度 X_{d} ;
- (3) 分别写出小注入下多子电流和少子电流的 J-V 关系。设少子寿命为 $100\mu\text{s}$, 少子迁移率为 $500\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 计算室温下少子与多子电流密度的比值。(真空介电常数 $\epsilon_0=8.85\times 10^{-14}\text{F/cm}$, 硅的相对介电常数 $\epsilon_{\text{r}}=12$, 电子电量 $q=1.6\times 10^{-19}\text{C}$, 有效理查逊常数 $A^*=240\text{A}/\text{cm}^2\text{K}^2$, 本征载流子浓度 $n_{\text{i}}=1.0\times 10^{10}\text{cm}^{-3}$, 室温下 $kT=0.026\text{eV}$)