

# 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 $\varepsilon_i$ 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  $N_{\text{A2}}$ 。(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  $L_{\text{p}}$ ;
- (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  $qV_{\text{D}}$  和硅中的耗尽区宽度  $X_{\text{d}}$ ;
- (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  $kT=0.026\text{eV}$ )