

# 广东工业大学

## 2019 年硕士学位研究生招生考试试题

考试科目（代码）名称：(841)半导体物理

满分 150 分

(考生注意：答卷封面需填写自己的准考证编号，答完后连同本试题一并交回！)

注：电子电量  $q=1.6 \times 10^{-9} \text{ C}$ ，玻尔兹曼常数  $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

### 一 基本概念解释（每题 6 分，共 30 分）：

1. 电子和空穴；
2. 简并半导体和非简并半导体；
3. 电子的有效质量，并写出有效质量与能带  $E(k)$  的关系式；
4. 漂移运动和扩散运动，并写出漂移电流密度和扩散电流密度的表达式；
5. 解释非平衡载流子的直接复合和间接复合，并在能带图上画出其示意图。

### 二 填空选择题（每空 1 分，共 20 分）

1. 半导体的电阻率与载流子的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_有关。轻掺杂的 ( $N_D < 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ) 硅样品由室温加热到  $100^\circ \text{C}$ 。在室温和  $100^\circ \text{C}$  时，都有  $N_D \gg n_i$ ，则样品的电阻率（增加或减少）。其原因是\_\_\_\_\_。
2. 不同杂质在半导体中的作用不同，施主或受主杂质影响半导体的载流子的\_\_\_\_\_；同时施主和受主杂质也可以作为散射中心，影响载流子的\_\_\_\_\_；作为复合中心的深能级杂质，影响载流子的\_\_\_\_\_。
3. 晶格常数为  $a$  的一维晶格，导带极小值附近能量表达式  $E_c(k) = \frac{\hbar^2 k^2}{3m_0} + \frac{\hbar^2 (k - k_1)^2}{m_0}$ ，其中  $k_1 = \frac{1}{2a}$ ， $m_0$  为电子的惯性质量，导带底的波矢  $k$  为\_\_\_\_\_；导带底电子的有效质量为\_\_\_\_\_；导带底电子的准动量为\_\_\_\_\_。
4. 电子的费米分布函数的表达式为\_\_\_\_\_；其物理意义表示\_\_\_\_\_； $T=300\text{K}$  时，费米能级在导带底下面  $0.3 \text{ eV}$  处，则导带底  $E_c$  处被电子占据的几率为\_\_\_\_\_。
5. 半导体内存在两种散射机制。第一种散射发生的概率为  $P_1$ ，这种散射单独存在时载流子的平均自由时间  $\tau_1$  为\_\_\_\_\_；第二种散射发生的概率为  $P_2$ ，这种散射单独存

在时载流子的平均自由时间  $\tau_2$  为\_\_\_\_\_。两种散射机制同时存在时的载流子的平均自由时间  $\tau$  为\_\_\_\_\_。

6. 室温下半导体 Si 的晶格常数  $a=5.43\text{\AA}$ , 则 Si 的单位体积内的原子体密度为\_\_\_\_\_  $\text{atom}/\text{cm}^3$ ; Si (100) 晶面的原子面密度为\_\_\_\_\_  $\text{atom}/\text{cm}^2$ , Si<111> 晶向的原子线密度为\_\_\_\_\_

7. 掺杂浓度为  $N_D=1\times 10^{16}\text{m}^{-3}$ , 在  $T\approx 0\text{K}$  时, 电子的浓度为\_\_\_\_\_  $\text{m}^{-3}$ , 空穴的浓度为\_\_\_\_\_  $\text{m}^{-3}$ 。

### 三 计算题 (20 分)

在半导体硅中,同时掺有  $N_D=1.5\times 10^{16}/\text{cm}^3$  磷原子 和  $N_A=5\times 10^{15}/\text{cm}^3$  的硼原子,已知:

$T=300\text{K}$  时  $n_i=1\times 10^{10}\text{cm}^{-3}$ ;  $T=600\text{K}$  时,  $n_i=2\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ ;

$T=1000\text{K}$  时,  $n_i=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ , 计算

- (1)温度为 300K 时的电子浓度  $n_0$ , 空穴浓度  $p_0$  和费米能级的位置  $E_F$ ;
- (2)温度为 600K 时的电子浓度  $n_0$ , 空穴浓度  $p_0$  和费米能级的位置  $E_F$ ;
- (3) 温度为 1000K 时的电子浓度  $n_0$ , 空穴浓度  $p_0$  和费米能级的位置  $E_F$ .

### 四 计算题 (20 分)

设一均匀的 p 型 Si 样品, 如图 1 所示, 用一稳定的光照射半导体, 整个半导体内均匀产生电子-空穴对, 产生率为  $G_0$ , 若样品半无限长, 且在  $x=0$  表面稳定注入电子浓度  $\Delta n_0$ , 已知电子的扩散系数  $D_n$ , 寿命  $\tau_n$  和扩散长度  $L_n$ 。请完成下列问题:

- (1) 确定满足上述条件的稳态连续性方程? 及其该连续性方程的通解?
- (2) 用于求  $\Delta n(x)$  特解的边界条件?
- (3) 求电子的扩散电流密度随  $x$  变化的函数关系.

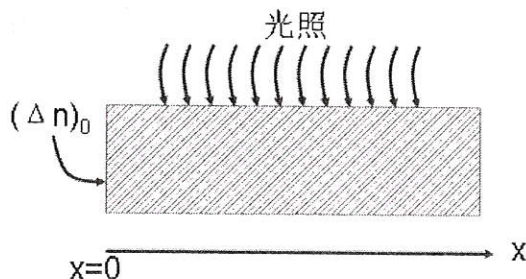


图 1

### 五 计算题 (20 分)

$T=300\text{K}$  时, 硅霍尔器件的几何尺寸如图 2 所示,  $d=1\times 10^{-3}\text{cm}$ ,  $W=1\times 10^{-2}\text{cm}$ ,  $L=1\times 10^{-1}\text{cm}$ , 测得  $I_x=0.75\text{mA}$ ,  $V_x=15\text{V}$ ,  $V_H=+5.8\text{mV}$ ,  $B_z=0.1\text{T}$ , 试确定:

(1) 导电类型, (2) 多数载流子浓度, (3) 多数载流子迁移率。

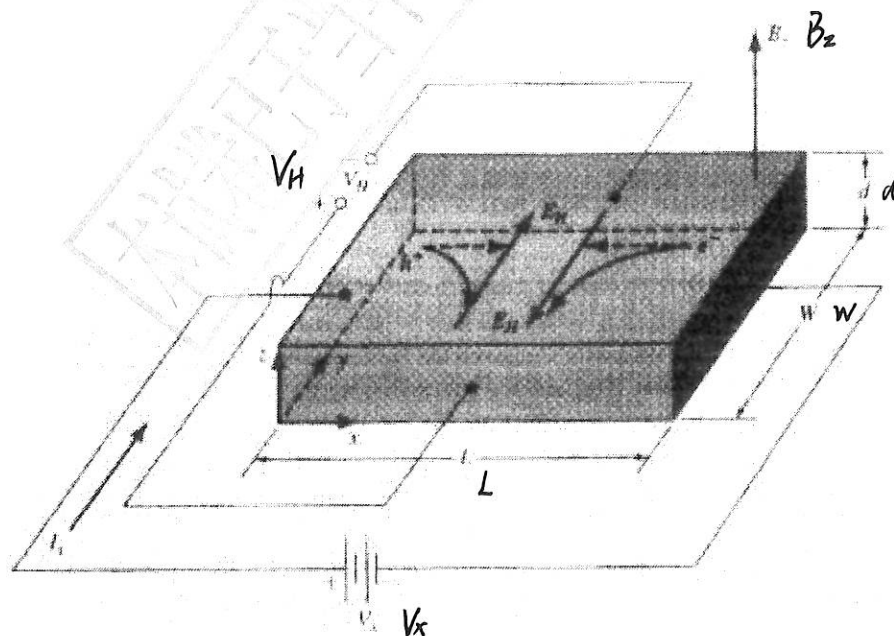


图 2

### 六 综合分析题 (每小题 10 分, 共 20 分)

1. 如图 3 所示的  $E-k$  关系曲线表示了两种可能的价带。说明其中哪一种对应的空穴有效质量较大。为什么?

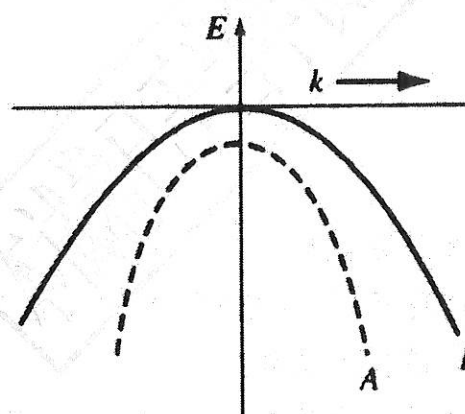


图 3

2. GaAs 半导体的晶格结构是怎样的? 请说明哪些杂质是施主杂质? 哪些杂质是受主

杂质？说明 Si 原子在 GaAs 中具有双性杂质行为，即：既可以是施主杂质，也可以是受主杂质。

七 画图题（每小题 5 分，共 20 分）

1. 画出半导体硅的三维晶格结构图以及 (100) 晶面上的原子分布图（可以用文字协助说明）；
2. 使用共价键模型画出受主杂质电离前和电离后的示意图；
3. 在能带图中，标出下列能级的通常位置；  
(1)  $E_i$ -本征费米能级 (2)  $E_D$ -施主能级 (3)  $E_A$ -受主能级，  
(4)  $E_T$ -产生-复合能级 (5) 简并 n 型半导体的费米能级；
4. 在共价键模型和能带模型上画出本征半导体空穴的示意图。