

# 广东工业大学

## 2020 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！)

基本参数：电子电量  $q=1.602 \times 10^{-19} \text{C}$  玻耳兹曼常数  $k_B=1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$  室温下  $k_B T=0.026 \text{eV}$

### 一、基本概念解释（每题 5 分，共 25 分）

1. 请根据能带的差异，解释固体中导体、半导体和绝缘体的导电特性的差异。
2. 电子的有效质量的物理意义是什么？请写出电子的有效质量与半导体的能带结构  $E(k)$  的关系式，并根据关系式判断一下导带底和价带顶的电子的有效质量的正负。
3. 什么是霍尔效应？结合必要的公式，说明如何通过霍尔效应来判断半导体的导电类型？
4. 什么是载流子的迁移率？迁移率的物理意义是什么？载流子的迁移率与哪些因素有关？
5. 什么是费米能级？费米能级的物理意义是什么？在能带结构中，费米能级的位置受什么因素的影响？

### 二、填空和判断题（每题 5 分，共 25 分）

1. 如图 1 所示，半导体硅的晶格结构属于\_\_\_\_\_结构。硅的晶格常数  $a=0.357 \text{nm}$ ，则硅每立方厘米体积内有\_\_\_\_\_个硅原子； $\langle 110 \rangle$  晶向方向上每厘米长度中有\_\_\_\_\_个硅原子。
2. 电子的费米分布函数的表达式为\_\_\_\_\_； $T=0\text{K}$  时，导带底  $E_c$  处被电子占据的几率为\_\_\_\_\_； $T=300\text{K}$  时，费米能级比导带底低  $0.2\text{eV}$ ，则导带底  $E_c$  处被电子占据的几率为\_\_\_\_\_。
3.  $T=300\text{K}$  时某载流子的迁移率为  $1000 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，其寿命为  $\tau=350\mu\text{s}$ ，则该载流子的扩散系数为\_\_\_\_\_  $\text{cm}^2/\text{s}$ ，扩散长度为\_\_\_\_\_  $\text{cm}$ 。
4. 热平衡状态下，电子和空穴的浓度的乘积和下列哪些参数无关？\_\_\_\_\_（可多选）  
(费米能级、温度、杂质浓度、禁带宽度)。
5.  $T=300\text{K}$  时，硅霍尔器件的参数为厚度  $d = 5 \times 10^{-3} \text{cm}$  (Z 轴方向)，宽度  $W = 5 \times 10^{-2} \text{cm}$  (Y 轴方向)，长度  $L = 0.50 \text{cm}$ ，测得  $I_x = 0.50 \text{mA}$ ， $V_x = 1.25 \text{V}$ ， $B_z = 6.5 \times 10^{-2} \text{T}$ ， $E_H = -16.5 \text{mV/cm}$ ，则霍尔电压为\_\_\_\_\_  $\text{mV}$ ，霍尔系数为\_\_\_\_\_  $\text{m}^3/\text{C}$ 。

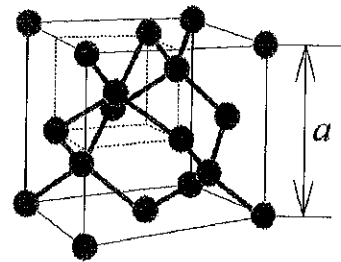


图 1

三、计算题（每题 20 分，共 60 分）

1.  $T=300\text{K}$  时，硅均匀掺杂了砷原子和硼原子，浓度分别为  $N_D=2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  和  $N_A=1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。 $T=300\text{K}$  时，取  $n_i=1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ， $k_0T=0.0259\text{eV}$ ； $T=600\text{K}$  时，取  $n_i=1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，电子与空穴的迁移率请查图 2。

- (1) 该材料是 n 型半导体还是 p 型半导体？
- (2) 试计算室温下的多数载流子浓度和少数载流子浓度。
- (3) 试计算 600K 下的多数载流子浓度和少数载流子浓度。
- (4) 试计算室温下的硅的电阻率。
- (5) 试计算室温下多子的扩散长度，假定电子和空穴的寿命均为  $5 \mu\text{s}$ 。

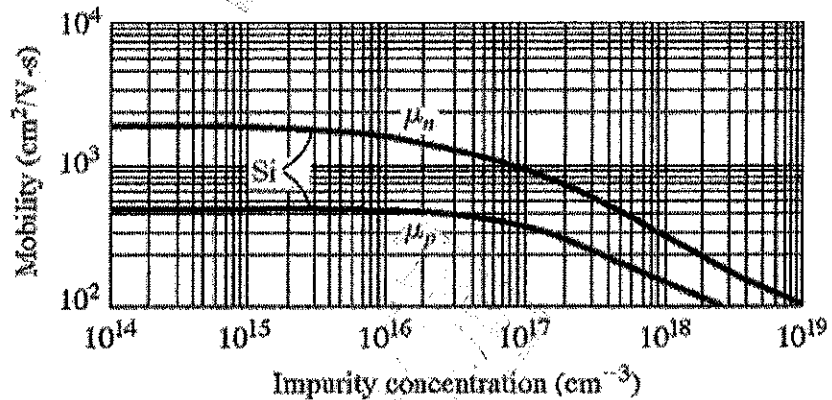


图 2

2. 如图 3 所示，在施主浓度  $N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$  的均匀掺杂半无限长的硅棒 ( $x=0$ ) 的一端，由于受到光照在  $x=0$  处，产生  $\Delta p_0=10^{10} \text{ cm}^{-3}$  的过剩空穴。光照只在表面，没有光进入棒的内部 ( $x>0$ )。空穴的迁移率为  $300 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，其寿命为  $\tau=350\mu\text{s}$ ，请确定过剩少子在硅棒中的分布函数  $\Delta p(x)$

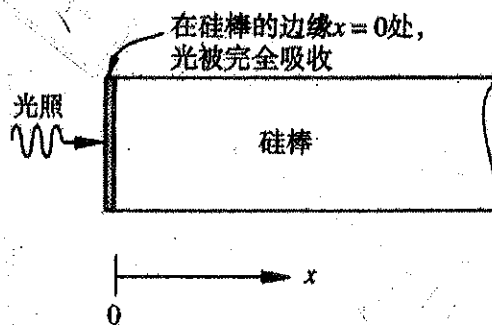


图 3

3. 砷化镓材料中，掺杂浓度  $N_D=1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，光注入的非平衡载流子浓度  $\Delta n=\Delta p=10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ，室温下  $n_i=1 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ 。

- (1) 计算室温下无光照和有光照的电阻率。迁移率数值请参考图 4。
- (2) 计算室温下无光照的费米能级和有光照时的准费米能级，并简要的在能带图上画出。室温下，

$N_c = 4.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_v = 8.1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

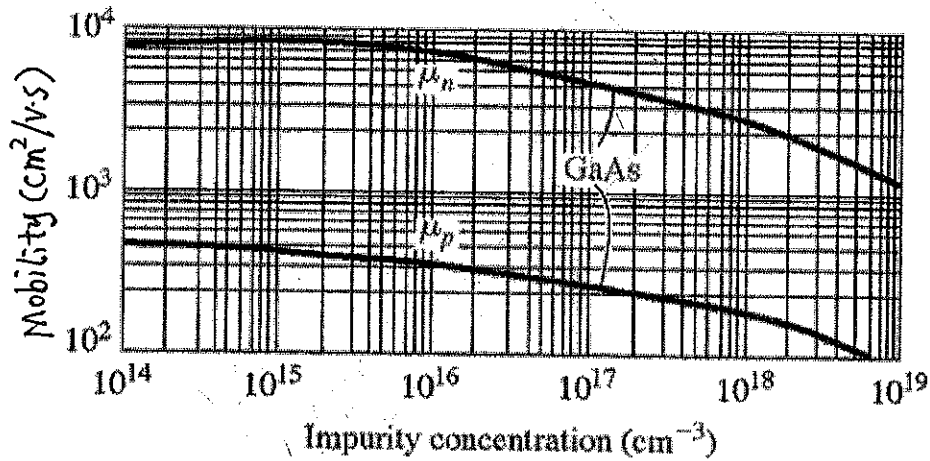


图 4

四、综合分析题 (每题 10 分, 共 20 分)

1. 对于同一种材料, 本征半导体材料与重掺杂的材料相比, 载流子迁移率的差异如何? 为什么会有这种变化?
2. 晶体中的载流子在漂移过程中会受到散射, 请列举至少两个主要的散射机制。图 5 是硅材料的电子受到两种主要的散射机制的独立作用下的迁移率随温度变化的曲线, 请分析这两种主要的散射是什么? 须说明原因。

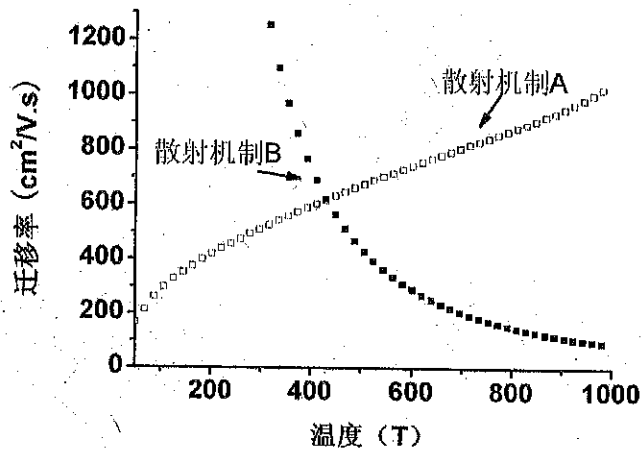


图 5

五、画图题 (每题 4 分, 共 20 分)

砷化镓的价键模型如图 6 所示, 图中阴暗处的镓和砷原子表示的是要移动原子。

1. 重新画出砷化镓的价键模型图, 在图中由硅原子替代镓和砷原子的空位;
2. 当硅原子代替镓原子时, 砷化镓的掺杂是 P 型还是 N 型? 为什么?
3. 当硅原子代替砷原子时, 砷化镓的掺杂是 P 型还是 N 型? 为什么?
4. 画出镓原子由硅原子代替后, 掺杂砷化镓的能带图。

5. 画出砷原子由硅原子代替后，掺杂砷化镓的能带图。

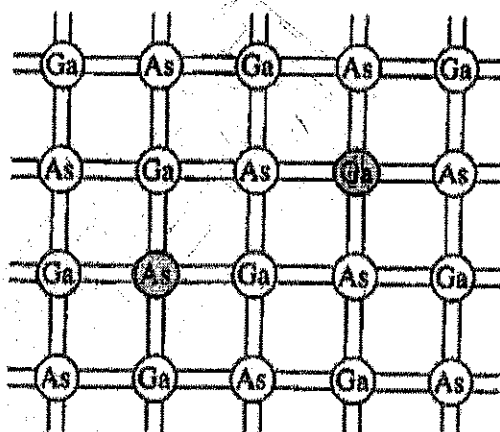


图 6