

# 固物 2011 期中

Deschain

2022 年 5 月 1 日

注：以上题目除特别指出外，温度为 300K。

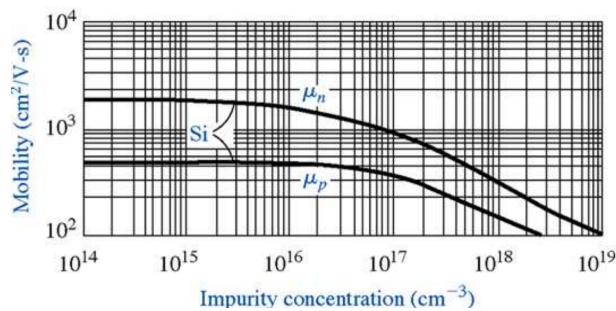
## 1 一、常用常数

玻尔兹曼常数  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} J/K$ ；普朗克常数  $\hbar = 2.05 \times 10^{-34}$ ；自由电子质量  $m_0 = 0.91 \times 10^{-30}$ ；真空介电常数  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-14} F/cm$ ；基本电荷电量  $q = 1.6 \times 10^{-19}$

## 二、材料参数

Si 材料：

带隙宽度  $E_g = 1.12 eV$ ，本征载流子浓度  $n_i = 1.5 \times 10^{10}$



## 一、填空题

- 由完全相同的一种原子构成的格子，格子中只有一个原子，称为\_\_\_\_\_。满足  $\vec{a}_i \cdot \vec{b}_j = 2\pi\delta_{ij} = \begin{cases} 2\pi & (i=j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}$  关系的  $\vec{b}_1, \vec{b}_2, \vec{b}_3$  为基矢，由  $\vec{G}_h = h_1\vec{b}_1 + h_2\vec{b}_2 + h_3\vec{b}_3$  构成的格子，称作\_\_\_\_\_。由若干个布拉菲格子相套而成的格子，叫做\_\_\_\_\_。其原胞中有\_\_\_\_\_以上的原子。
- 对于固体的能带，简约波矢  $k$  的取值范围要求在\_\_\_\_\_区域内，其取值总数等于\_\_\_\_\_的总数。
- 对于金属的能带，除填满电子的一系列能带后，还有部分被填充的能带，后者称为\_\_\_\_\_；对于半导体材料的能带，最高填充的能带称为\_\_\_\_\_，其上最低的空带称为\_\_\_\_\_。
- 如果一些能量区域中，波动方程不存在具有布洛赫函数形式的解，这些能量区域称为\_\_\_\_\_；能带的表示有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三种图景。
- 电子在三维周期性晶格中波函数的方程的解具有\_\_\_\_\_的形式，式中\_\_\_\_\_在晶格平移下保持不变（具有平移对称）。
- 对于 4 族元素 Si，5 族元素 P 作为杂质，1 个 P 原子将可提供 1 个\_\_\_\_\_，属于\_\_\_\_\_主杂质，3 族

元素 B 作为杂质，1 个 B 原子将提供 1 个\_\_\_\_\_，属于\_\_\_\_\_主杂质。

7. 能带顶部电子的有效质量为\_\_\_\_\_（填写正，或负）；能带底部电子的有效质量为\_\_\_\_\_（填写正，或负）。

8. 温度升高，金属的导电率\_\_\_\_\_，半导体的导电率\_\_\_\_\_。对于金属，温度越高，金属中的晶格振动对电子的散射作用\_\_\_\_\_，而在半导体中则是有更多的电子从\_\_\_\_\_激发到\_\_\_\_\_中。

## 二、简述题

1. 根据能带理论简述金属、半导体和绝缘体的导电性；并解释为什么半导体掺杂可以提高其导电能力？
2. 简述如何利用近自由电子近似模型得到能带图。

## 三、计算题

1. 一价金属具有体心立方结构，晶格常数  $a$  为  $\text{\AA}$ ，试求费米面的半径和费米能量。
2. 有一补偿型非本征硅半导体，施主和受主杂质浓度均为  $2.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，试计算该材料的电导率。

### 一、填空题答案

1. ①布拉菲格子      ②倒格子      ③复式格子      ④两个
2. ①第一布里渊区      ②原胞
3. ①导带      ②价带      ③导带
4. ①禁带      ②简约布里渊区图景      ③周期布里渊区图景      ④扩展布里渊区图景
5. ①  $\psi_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}_n) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}_n} u_{\vec{k}}(\vec{r})$       ②  $u_{\vec{k}}(\vec{r})$
6. ①电子      ②施      ③空穴      ④受
7. ①负      ②正
8. ①减小      ②增大      ③越大      ④导带      ⑤价带

### 二、简述题答案

1. ①金属：价带完全填充，导带部分填充，导带中的电子导电。  
②绝缘体：价带完全填充，导带是空带，都不能导电。带隙宽，价带中的电子很难被激发到导带上。  
③半导体：价带完全填充，导带是空带，但是带隙较窄。室温下，价带的一部分电子可以热激发到导带上，导带和价带都变成部分填充，可以导电。  
④掺杂：杂质分为施主和受主。施主能级位于带隙中接近导带的位置，其电子在室温下可以被激发到导带中；受主能级位于带隙中接近价带的位置，价带电子在室温下可以被激发到受主能级上。因此，杂质可以改善半导体的导电性能。
2. 使用自由电子的波函数和周期势场的平均值  $\bar{V}$  作为零级近似，周期势场的起伏量  $\Delta V = V - \bar{V}$  作为微扰。在布里渊区边界，能级是简并的，使用简并微扰处理，能级劈裂成两个，即能带之间的带隙。

### 三、计算题

1. 设近自由电子浓度为  $n$ ，费米球半径为  $k_F$ ，费米能量为  $E_F$ ，则

$$n = \frac{2}{a^3} = \frac{2}{(3 \times 10^{-10})^3} = 7.4 \times 10^{28} m^{-3}$$

$$k_F = (3\pi n)^{\frac{1}{3}} = 1.3 \times 10^{10} m^{-1}$$

$$E_F = \frac{\hbar^2 k_F^2}{2m_0} = 1.02 \times 10^{-18} J = 6.4 eV$$

2. 对于完全补偿半导体，载流子浓度为本征载流子浓度，电子和空穴浓度相同， $n = 5 \times 10^{17} cm^{-3}$ ，杂质总浓度为  $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ 。电子迁移率为  $400 cm^2/v \cdot s$ ，空穴迁移率为  $190 cm^2/v \cdot s$ 。 $\mu_n = 400 cm^2/v \cdot cm^{-1}/s$ ， $\mu_p = 178 cm^2/v \cdot cm^{-1}/s$ ， $n_i = 1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$ 。电导率为  $\sigma = en_i(\mu_n + \mu_p) = 1.4 \times 10^{-6} (\Omega cm)$