

NJUIC 《半导体物理学》期中模拟考试试卷

考试时长：120 分钟

考生学号：

考生姓名：

一、(30 分) 简答

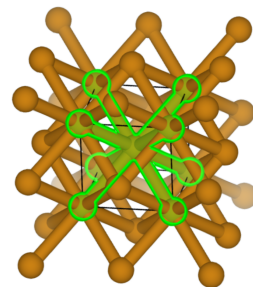
1. 什么是晶体点阵？和晶体结构的关系是什么？原胞取法唯一吗？
 2. 晶体的晶面是什么？密勒指数是什么（仅考虑立方晶系），该如何确定？
 3. 倒空间如何理解？正空间 WS 原胞与倒空间的第一布里渊区分别是如何选取的？
 4. 能带理论中，周期场近似是什么？紧束缚近似是什么？布洛赫波函数是怎样的？
 5. 如何理解电子共有化运动？能带是连续的吗？
 6. 如何定义有效质量？其意义是什么？什么是间接带隙半导体？
 7. 晶体的本征缺陷有哪些？掺杂为什么能够改变半导体导电性能？
- *. 你如何理解什么是半导体？

二、(10 分)

晶体结构的确定对了解晶体的性质非常重要，X 射线衍射是确定晶体结构的重要手段。

1. 常见的铝晶体是一种面心立方堆积结构，Z 同学用 $\lambda_1 = 1.54 \times 10^{-10}\text{m}$ 的 X 射线做衍射分析，结果得到 (110) 面的衍射角 θ_1 约为 22.3° 。请给出晶体中一个铝原子的最近邻原子数，并分析上述结果的合理性。

2. Z 同学又使用波长 $\lambda_2 = 0.071\text{nm}$ 的射线对一铁晶体做衍射分析，发现随着衍射角从零开始增大，最早在 $\theta_2 = 10.1^\circ$ 时出现衍射峰。查阅资料知常温下铁晶体结构如下，晶格常数为 2.87\AA 。请给出该衍射峰对应晶面的晶面指数，并计算铁晶体原胞的体积。



三、(12 分)

与原子核的分裂与结合一样，晶体的形成常常伴随着能量的释放。考虑一个由两种二价离子（各 N 个， $N \rightarrow +\infty$ ）等间距组成的一维晶体，相互作用能为

$$U(r) = -\frac{1}{2} \cdot 2N \left[\frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \sum_{i(\neq j)}^{2N} \left(\pm \frac{1}{a_i} \right) - \frac{B}{r^n} \right]$$

1. 请计算该晶体的 Madelung 常数 $\alpha = \sum_{i(\neq j)}^N \left(\pm \frac{1}{a_i} \right)$ 。
2. 若 $n = 4$ ，请计算单离子的结合能 $E = u(r_0)$ ，可用平衡间距 r_0 表示。
3. 若 $r_0 = 0.3\text{nm}$ ，结合能 $E = 3\text{ eV}$ ，试求 B 。

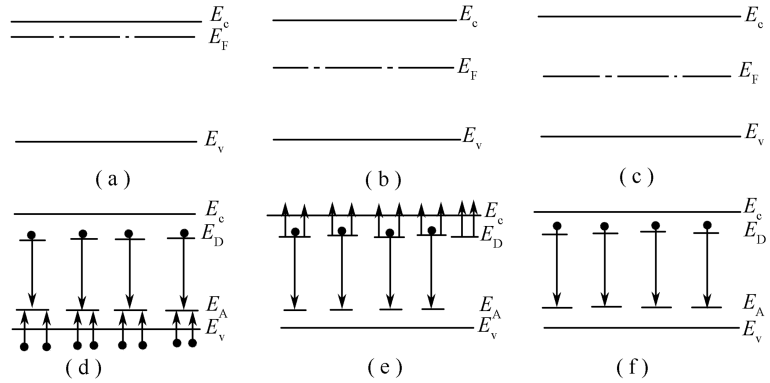
四、(12 分)

考虑室温 300 K 环境下一掺杂半导体硅，其 $N_c = 2.8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ， $E_g = 1.12 \text{eV}$ 。

1. 半导体中首先掺杂了磷原子，使其费米能级来到导带底部下侧 0.3 eV 处，试计算磷的掺杂浓度并绘制能带图，体现出电离过程。设杂质磷的电离能为 0.04 eV。

2. 对上述硅继续掺杂硼原子，使得费米能级降低了 0.1 eV，试计算硼的掺杂浓度。假设均能全部电离。

3. 请简述下列各个能带图分别表明半导体处于何种掺杂情况，并分别指出哪个符合上述 1、2 小题的半导体掺杂情况。



五、(12 分)

一块有杂质补偿的硅材料，已知掺入受主密度 $N_A = 1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ，室温下测得其 E_F 恰好与 E_D 重合，并得知平衡电子密度为 $n_0 = 5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 。已知室温下硅的本征载流子密度 $1 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ ，导带底有效态密度 $2.8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

1. 请计算平衡少数子浓度与 E_F 的位置。

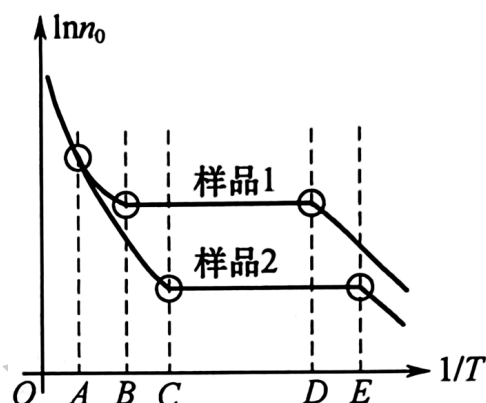
2. 请计算掺入材料中的施主杂质浓度以及电离程度。

3. 导带底有效态密度 $N_c \propto T^{\frac{3}{2}}$ ，请证明强电离条件下有 $E_F = E_c + kT \ln \frac{N_D - N_A}{N_c}$ ，并简单说明该硅材料在 $T = 400 \text{K}$ 时的电离情况。

六、(12 分)

Z 同学采购了两块硅材料，是杂质相同但浓度不同的两块 n 型硅。测量得到其电子浓度与温度的关系如图所示。试分析以下问题。

1. 两样品掺杂浓度较高的是哪个，在 T_A 左侧为什么两曲线近似重合。
2. 两曲线在 T_C 与 T_D 之间为什么近乎平行，为什么两平行曲线的起点 T_B 、 T_C 的不一致，终点 T_D 、 T_E 也不一致。
3. 若低温下， N_c 近乎不变，则在 T_E 右侧两曲线是否平行，其斜率的含义是什么。
4. 请直接在图中绘制样品 2 的本征载流子浓度与温度的关系（纵坐标为 $\ln n_i$ ）。



七、(12 分)

Z 同学有一个 n 型锗样品，在 300K 环境下，其电子浓度 $n_0 = 5 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ ，试计算上述温度时掺杂锗的电导率 σ 。已知 $\mu_n = 3800 \text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 、 $\mu_p = 1900 \text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 、 $n_i = 2.33 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。