

南京大学 2012 年攻读硕士学位研究生入学考试试题(三小时) A 卷

考试科目名称及代码

839

材料物理基础 (A 卷)

满分: 150 分

适用专业: 材料物理与化学、材料学、工程硕士 (材料工程)

注意: ①所有答案必须写在答题纸或答题卡上, 写在本试题纸或草稿纸上均无效;

②本科目不允许使用计算器; ③本试题纸须随答题纸一起装入试题袋中交回!

注意: 需要的数据

阿佛加德罗常数:  $L = 6.0222 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ; 单位电荷:  $e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$ ;

摩尔气体常数:  $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;

原子质量常数:  $m_0 = 1/12 m(^{12}\text{C}) = 1\text{u} = 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} / L = 1.660\,538\,73 \times 10^{-27} \text{ kg}$

光速:  $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

电子质量:  $m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g} = 0.511 \text{ MeV}/c^2$

普朗克常数:  $h = 6.626176 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $\hbar = 1.0545887 \times 10^{-34} \text{ Js} = 6.582173 \times 10^{-16} \text{ eVs}$

真空介电常数:  $\epsilon_0 = 10^7 / 4\pi c^2$

一、名词解释(30 分, 每题 5 分)

1. (5 分) 金属电子费米面、费米半径和金属功函数
2. (5 分) 晶体、准晶、液晶、液体 (从序参量角度说明物相)
3. (5 分) 声子及声子极化激元
4. (5 分) 相位匹配理论和准相位匹配理论
5. (5 分) 狄拉克费米子 (Dirac Fermion)
6. (5 分) 超导能隙及超导体中的能隙元激发

## 二、简答题(40 分, 每题 10 分)

1. (10 分) 比较热容的爱因斯坦模型和德拜模型, 指出金属的低温热容和高温热容随温度依赖关系的异同。
2. (10 分) 简述超导体中约瑟夫森效应 (Josephson effects)。
3. (10 分) 简述 Bloch 定理及其相关推论和物理意义, 并写出能带结构的三种表示方法, 并指出什么是布洛赫表象。
4. (10 分) 请给出晶体 X 射线衍射的原子形状因子 (atomic form factor) , 几何结构因子 (geometric structure factor) 和总的衍射强度表达式。

三. (20 分) 假设金属中电子是自由气体, 假设该金属的电子密度为  $5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ , 弛豫时间为 20ps, 试分析:

- 该金属的费米面和费米能;
- 写出该金属的态密度;
- 该金属的电导率, 分别计算经典电导率和量子电导率;
- 计算该金属的电子热容和电子热导率;
- 比较金属的电子电导率和电子热导率。

四. (25 分) 通常求解晶格振动简正模式的一般步骤是这样的:

- 写出晶格势能的谐波表示形式;
- 写出一个元胞内的运动方程;
- 代入运动方程位移的平面波解;
- 求解线性方程的色散关系和振幅随  $k$  波矢量的依赖关系。(色散关系就是简正模式频率和波矢量  $k$  的关系)

问题 a) 现有一个一维原子链, 晶格间距为  $a$ , 原子质量为  $m$ , 弹性常数为  $S$  请按上述步骤求解其纵振动模式色散关系。

b) 假定晶格势能的谐波表达式是 
$$V = \frac{1}{2} \sum_{\mu, \nu} \sum_{R, R'} u_{\mu}(R) D_{\mu\nu}(R - R') u_{\nu}(R') \mu_{\nu}(R');$$

$\mu\nu$  表示 xyz 元胞中每个原子的坐标,  $R$  和  $R'$  是元胞指标, 求解其一般性色散关系表达式。

五、(15 分) 一个本征半导体锗样品,

a) 证明本征半导体的电子和空穴的浓度为

$$n = p = 2 \left( \frac{k_B T}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} (m_e m_h)^{3/4} \exp\left(\frac{-E_G}{2k_B T}\right). \text{ 其中 } E_G \text{ 为半导体的能隙, } k_B \text{ 为}$$

玻尔兹曼常数,  $m_e$  和  $m_h$  分别为电子和空穴的有效质量;

b) 假定该本征半导体的空穴迁移率和电子迁移率分别是  $\mu_h$  和  $\mu_e$ , 试证明该半导体的 hall 系数为:

$$R_H = \frac{p\mu_h^2 - n\mu_e^2}{e(p\mu_h + n\mu_e)^2};$$

c) 实验测得一锗样品不呈现霍尔效应, 若已知电子的迁移率为  $3500 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ , 空穴的迁移率为  $1400 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ , 问电子在该样品中的总电流所占的比例为多少。(提示: 在稳定状态下, 载流子的漂移速度  $v$  与电场  $E$  之间的绝对值之比  $\mu$  为载流子迁移率。)

六. (20 分) 二维四方晶格电子能带求解:

a) 二维简单四方晶格, 晶格参数为  $a$ , 假定每个原子只有一个电子, 采用近自由电子近似模型求解出其费米半径, 并画出 2D 费米面 (Fermi Contour);

b) 考虑紧束缚模型, 考虑同样的二维晶格其格矢方向为  $x$  和  $y$ , 采用紧束缚参数的  $p$  型原子波函数  $zf(r)$  ( $z$  是垂直于  $xy$  面的方向), 此时  $f(r)$  是关于电子坐标  $r$  的球对称原子波函数。仅考虑最近邻原子间的交叠积分, 具体计算过程不要求写出具体的积分值, 只要用表达式和符号表示。考虑合适的积分参数 (自己选择, 不要设为 0), 然后在第一布里渊区内画出等能面示意图, 注意中心处和布里渊区四个顶角处, 以及布里渊区边界的等能面的画法, 并指出当这个能带仅仅被一个电子占据的时候的费米半径和费米面, 并注意这个费米面和自由电子近似的时候的费米面的不同, 这个紧束缚费米面和高温铜氧化物超导体 ( $\text{CuO}_2$  面) 的费米面非常类似。

c) 再类似 b) 步所示重新做紧束缚模型, 不过此时的原子轨道波函数不是  $zf(r)$ , 而是  $xf(r)$ , 推出其紧束缚能带色散关系。计算的时候特别注意其交叠积分的符号和相应幅度不同 (即  $x$  和  $y$  方向的交叠积分大小和符号是不一样的, 因为此时轨道波函数不是  $xy$  面内球对称的)。

试题编号 839 共 5 页

