中山大学本科生期中考试-答案

考试科目：《固体物理》（A 卷）

学年学期：2016 学年第 1 学期　　姓　　名：__________
学 院/系：物理学院　　学　　号：__________
考试方式：半开卷（手写备忘 1 张 A4 纸）　　年级专业：14 级　光信息
考试时长：100 分钟　　班　　别：__________
任课老师：钟定永

警示《中山大学授予学士学位工作细则》第八条：“考试作弊者，不授予学士学位。”

------------------以下为试题区域，共 2 道大题，总分 100 分,考生请在答题纸上作答------------------

一、名词解释（共 30 分）

1、基元，威格纳－赛兹原胞，布拉菲格子；

基元：晶体结构的最小重复单元，具有物理内涵，可以是原子或原子团。

威格纳－赛兹原胞：能反映晶体对称性的最小重复单元。

布喇菲格子：挑选各基元中的任一点，把最近邻的这一点相连，抽象出的三维几何网络。

2、声子，声学声子，光学声子；

声子：是一种准粒子，是晶体原子集体运动形成的格波的能量激发单元。

声学声子：原胞含有不止一个原子的晶体振动的声学支格波的能量量子。

光学声子：原胞含有不止一个原子的晶体振动的光学支格波的能量量子。

3、Hartree-Fork近似（单电子近似），Bloch（布洛赫）定理，波恩-卡门条件，能隙。

单电子近似：

布洛赫定理：

波恩-卡门条件：

能隙：

二、判断题（共 20 分）

1. 常温常压下，NaCl晶体和金刚石都具有面心立方结构。（对）
2. 具有平移对称性的晶体结构不存在5重旋转对称轴。（对）
3. 提高温度晶体可以产生声子。（对）
4. 金属结合具有饱和性和方向性。（错）
5. 近自由电子模型的能带结构：能隙出现在布里渊区的中心（$k = 0$）处。（错）
6. 每个布里渊区的体积均相等，都等于倒格子原胞的体积。（对）
7. 晶格振动波矢的总数等于晶体的原胞数。（对）
8. 等体积硬球堆积成体心立方和面心立方结构，体心立方结构致密度大于面心立方。（错）
9. 格波的色散关系只能在第一布里渊区表示才有物理意义。（对）

10. 在非常低的温度下，短波声子比长波声子更容易被热激发，对热容量有主要贡献。（错）
11. 三维晶体电子的等能面是一系列的封闭曲面。（错）
12. 高温下，热导率K与温度T成正比。（错）
13. 表面电子态局限在晶体的表面处，不具有布洛赫函数的形式。（错）
14. 参与U过程的主要是短波声子。（对）
15. 非晶固体内的电子也有可能处于扩展态。（对）
16. 原子的排列具有周期性才能形成能带。（错）
17. 面心立方格子的倒格子是体心立方，体心立方格子的倒格子是面心立方。（对）
18. 在声子与晶格的相互作用过程中，声子数必须守恒。（错）
19. 晶体的单电子哈密顿算符与相应的点群操作算符对易。（对）
20. 用紧束缚近似处理晶体能带结构：相邻原子的轨道波函数重叠越多，所形成的能带就越宽。（对）

三、选择题（共 8 分）

1. 钛酸钙（钙钛矿）结构属于（A）

   A．简单立方； B. 体心立方； C. 底心单斜； D. 面心立方； E. 六角密堆积

2. 低温下，金属晶格的比热随温度的变化规律正比于（D）

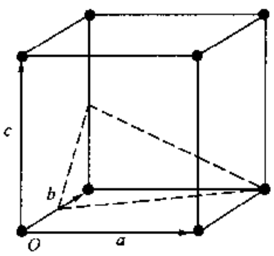
   A． T^0 B. T^1 C. T^2 D. T^3 E. $e^{-E/kT}$

3. 黄昆方程是（B）

   A. $\begin{matrix}\ddot{\vec{W}} = b_{11}\vec{W} + b_{12}\vec{E} \\ \dot{\vec{P}} = b_{21}\vec{W} + b_{22}\vec{E}\end{matrix}$； B. $\begin{matrix}\ddot{\vec{W}} = b_{11}\vec{W} + b_{12}\vec{E} \\ \vec{P} = b_{21}\vec{W} + b_{22}\vec{E}\end{matrix}$； C. $\begin{matrix}\ddot{\vec{W}} = b_{11}\dot{\vec{W}} + b_{12}\vec{E} \\ \vec{P} = b_{21}\vec{W} + b_{22}\vec{E}\end{matrix}$；

   D. $\begin{matrix}\ddot{\vec{W}} = b_{11}\vec{W} + b_{12}\dot{\vec{E}} \\ \vec{P} = b_{21}\vec{W} + b_{22}\vec{E}\end{matrix}$； E. $\begin{matrix}\ddot{\vec{W}} = b_{11}\dot{\vec{W}} + b_{12}\dot{\vec{E}} \\ \vec{P} = b_{21}\vec{W} + b_{22}\vec{E}\end{matrix}$

4. 一立方晶系的晶格常数为 a，如下图所示平面的晶面指数为（C）



A.（$\bar{1}12$）； B. （021）； C. （$1\bar{2}2$）； D. （211）； E. （110）

四、简答题（18分）

1. 晶胞选取应满足什么条件？

   答：晶胞选取应满足下列条件：晶胞几何形状充分反映点阵对称性；平行六面体内相等的棱和角数目最多；当棱间成直角时，直角数目最多；满足上面条件，晶胞体积最小。

2. 试以能带论的观点来划分导体，半导体和绝缘体。

答：能带论指出，能带中满带中电子不能导电，不满带中的电子才导电。导体的能带中一定有不满的带；绝缘体的能带中不是满带就是空带；半导体中有杂质原子存在时，导致满带缺少一些电子，原空带中也有少数电子，无杂质的半导体的满带与空带之间的禁带一般比绝缘体的小，少数电子会由满带热激发到空带底，可以导电。

3. 能带函数$E(\mathbf{k})$有哪些对称性？并简述理由。

答：

五、计算题(24分)

1. 由 N 个原子组成的二维(面积为 S)简单晶格晶体，设格波的平均传播速度为 c，应用 Debye 模型分别计算：(1)晶格振动的模式密度 $g(w)$；(2)截止频率ω_m； (3) Debye 温度Θ_D；(4)晶格的零点能 E_0(用 N 和ω_m 表示)。

2. 铝具有面心立方结构，有3个自由电子，点阵常数a=4.041埃，求铝在绝对零度下的费米能，费米速度、费米温度以及单位体积的电子气平均能。

解答：1.

(1)二维：q空间密度为$\dfrac{S}{4\pi^2}$

纵波$\mathrm{d}q$内振动模式数 $= \dfrac{S}{4\pi^2}2\pi q\mathrm{d}q$

纵波$\mathrm{d}\omega$内振动模式数$\mathrm{d}n = \dfrac{S}{4\pi^2}2\pi\dfrac{\omega}{c}\dfrac{\mathrm{d}\omega}{c} = \dfrac{S\omega}{2\pi c^2}\mathrm{d}\omega$

类似地，横波$\mathrm{d}\omega$内振动模式数$\mathrm{d}n = \dfrac{S\omega}{2\pi c^2}\mathrm{d}\omega$

振动模式密度$g(\omega) = \dfrac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}\omega} = \dfrac{S\omega}{\pi c^2}$

(2)二维 $\Rightarrow \int_0^{\omega_m}\dfrac{S\omega}{\pi c^2}\mathrm{d}\omega = 2N \Rightarrow \omega_m = \left(\dfrac{4N\pi}{S}\right)^{1/2}c$

(3)二维$\Theta_D = \dfrac{\hbar}{k_B}\left(\dfrac{4N\pi}{S}\right)^{1/2}c$

(4)频率为ω的格波的零点能为$\dfrac{1}{2}\hbar\omega$

$\Rightarrow$晶体总的零点能$E_0 = \int_0^{\omega_m}\dfrac{1}{2}\hbar\omega g(\omega)\mathrm{d}\omega$

二维$E_0 = \int_0^{\omega_m}\dfrac{1}{2}\hbar\omega\dfrac{S\omega}{\pi c^2}\mathrm{d}\omega = \dfrac{S\hbar\omega_m^3}{6\pi c^2} = \dfrac{2N\hbar\omega_m}{3}\left(\because \omega_m^2 = \dfrac{4N\pi c^2}{S}\right)$

解答：2.

Al具有面心立方结构，每个晶胞有4个原子，每个Al原子有3个自由电子，故

自由电子密度$n=\dfrac{N}{V}=\dfrac{3\times 4}{\left(4.041\times 10^{-10}\right)^3}\approx 1.819\times 10^{29}(m^{-3})$

绝对零度下的费米能$E_F^0=\dfrac{\hbar^2}{2m}\left(3\pi^2 n\right)^{2/3}\approx 1.87\times 10^{-18}(J)\approx 11.7(eV)$

$\dfrac{1}{2}mv_F^2=E_F^0\Rightarrow$费米速度$v_F^0=2.32\times 10^6(m.s^{-1})$

费米温度$T_F^0=\dfrac{E_F^0}{k_B}\approx 135746(K)$

每个电子的平均能$\overline{E}_0=\dfrac{3}{5}E_F^0$

$\Rightarrow$单位体积电子气[平均能$\overline{E}=\dfrac{3}{5}nE_F^0\approx 2.04\times 10^{11}(J.m^{-3})$