固物 2020 期末-第二版

Deschain

2022 年 6 月 11 日

1.

(1) 堆积比最大的晶格结构有________和________。

(2) 晶胞的两种定义方法：____和____。

(3) 写出除 C 之外的两种金刚石结构的半导体材料：______。

(4) 计算晶体离子结合库仑势能要用到__________，它只与________有关。

(5) 无限大自由空间电子 $E-k$ 关系为________，切线____________与 $\frac{1}{m}$ 成正比。(6) 一价正负离子交错排列，形成一维晶格，平衡间距为 a，只计近邻原子的作用，$U(r)=-\frac{q^2}{r}+\frac{b}{r^n}$，则 $b=$ ______，刚性系数 $\beta=$______。

(7) yz 厚度为 0.1cm 的 n 型材料，沿 x 轴方向通 50mA 电流，沿 z 轴方向加 0.5T 磁场，得到 0.4mV 的电场。材料的霍尔系数为________________，载流子浓度为____________。

(8) PN 结形成是半导体中载流子____与____的动态平衡过程。内建电场在 PN 结____处最强。空间电荷区宽度与掺杂浓度成____。偏压电流主要与____浓度变化有关。

(9) 索末菲自由电子模型中，二维材料的面积为 S，则 k 空间的点阵密度为___，能量标度自由电子能态密度为 ____。

(10) 金属与 N 型半导体形成欧姆接触的条件是 ϕ_M__ϕ_N，热平衡状态下，电子会流向______。

(11) 有效质量包含________作用。在能带顶，电子的有效质量为__（正/负）。能带顶的电子从外场得到的动量____（大于/小于）交给金属的动量。

(12) 与索末菲模型相比，布洛赫电子考虑了晶体中的________对电子运动的影响。设简约波矢为 $\vec{k}$，则 $\psi(\vec{r}+\vec{R_n})=$ _____$\psi(\vec{r})$。考虑一维情况，$\psi_k(x)=-icos(\frac{4\pi x}{a})$，$a$ 是晶格常数，则简约波矢为_。

(13) 异质 PN 结若想获得更高电子注入比，需要 N 区带隙宽度____P 区。

(14) 一块金刚石晶体中有 2N 个 C 原子，其包含_支光学支色散曲线，_支声学支色散曲线，每支有__个色散模式。

(15)长光学支格波 B 和长声学支格波 A,B 反映了______________________,A 反映了__________________。A 振动的频率比 B__（高/低），平均声子数比 B__（多/少）。

(16) 常温下 1mol NaCl 热容为_____，低温时，NaCl 的热容随温度的_次方减小。

(17) 体心立方晶格，晶格常数为 a，体积为 V，倒格子是________晶格。第一布里渊区体积为____，k 的取值总数为___。如果每个原子提供一个价电子，则 0K 时费米球半径为____，费米能量____________。

(18) 固体磁性分成______、______、______、________、________。忽略核磁矩，则原子磁矩主要来源于电子的________、电子的________和 ________。

2.NaCl 立方晶系，摩尔质量 $58.5g/mol$，室温下的密度为 $2.165g \cdot cm^3$。
（1）写出 NaCl 的晶体结构，并求出晶格常数 a。
（2）在晶格衍射实验中，测得最小衍射角为 12 度，求实验用的射线的波长。
（3）描述第一布里渊区的形状，并求出第一布里渊区的体积。

3. 一维材料的 $V(x)$ 满足 $V(0)=V_1, V(\frac{a}{4})=V_2, V(\frac{a}{8})=V_3, \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} V(x)dx=0$。$a$ 是晶格常数，$V(x)$ 是偶函数并且是周期函数，第四级及以上的带隙为 0。
（1）使用近自由电子近似，求第一、二、三条带隙的宽度。
（2）画出简约布里渊区的能带图。
（3）定性分析电子沿 x 轴正向受力为 F 时在 k 空间的运动，并标注。

4. 300K 时，$N-Al_xGa_{1-x}As$ 在左侧，$GaAs$ 在中间，$P-Al_xGa_{1-x}As$ 在右侧。左侧是 N 型重掺杂，掺杂浓度 $N_D=1.0\times10^{19}cm^{-3}$；中间是本征半导体；右侧是 P 型重掺杂，掺杂浓度 $N_A=5.0\times10^{19}cm^{-3}$。$x=0.3$ 时，$GaAs$ 和 $N-Al_xGa_{1-x}As$ 的禁带宽度分别为 1.42eV、1.8eV，本征载流子浓度分别为 $2.1\times10^6cm^{-3}$、$2.1\times10^3cm^{-3}$，导带差 $\Delta E_C=0.66\Delta E_g$。
（1）求 $N-Al_xGa_{1-x}As$ 和 $P-Al_xGa_{1-x}As$ 的费米能级相对于本征费米能级的位置。
（2）定量计算 $\Delta E_C, \Delta E_V$ 及接触电势差，画出能带图。

5. 长度为 L 的一维双原子链，刚性系数 β_1, β_2，晶格常数为 a，质量为 m，只考虑近邻原子的作用，采用简谐近似。求出：
（1）运动方程；
（2）色散曲线的表达式；
（3）画出色散曲线示意图，标注边界和中心频率；
（4）计算声学波波速的表达式和布里渊区中心的声学支格波的态密度。

答案：
1. 填空题
（1）①面心立方②六角密排
（2）①原胞②单胞
（4）①硅和锗
（5）①马德隆常数②晶体结构
（6）①抛物线型②斜率的变化率
（7）①$\frac{(n-1)q^2}{a^3}$②$\frac{(n-1)q^2}{a^3}$
（8）①扩散②漂移③界面④反比⑤少子
（9）①$\frac{S}{4\pi^2}$②$\frac{Sm}{\pi\hbar^2}$
（10）①<②半导体
（11）①周期势场②负③小于
（12）①周期势场②$e^{i\vec{k}\cdot\vec{R}_n}$③0
（13）①大于
（14）①3②3③N
（15）①原胞内原子间的相对振动②所有原子的整体运动

（16）①$N_a k_B$②3

（17）①面心立方②$\frac{16\pi^3}{a^3}$③$\frac{\hbar^2}{2ma^2}(6\pi^2)^{\frac{2}{3}}$

（18）①抗磁性②顺磁性③铁磁性④亚铁磁性⑤反铁磁性⑥轨道磁矩⑦自旋磁矩⑧感生磁矩

2.

（1）面心立方

$$a = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{58.5\times 4}{2.165\times 10^6\times 6.02\times 10^{23}}} = 5.64\mathring{A}$$

（2）

$$\theta = 6^\circ, d = \frac{a}{\sqrt{3}}, \lambda = 2dsin\theta = 0.681\mathring{A}$$

（3）

立方体切去六角（切点为每条棱的中点）形成的十四面体。

$$V = \frac{32\pi^3}{a^3} = 5.53\times 10^{30}m^{-3}$$

3.

（1）

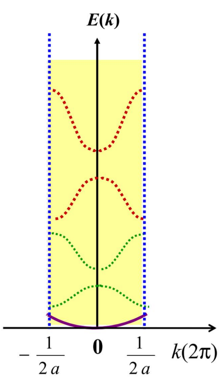
$$V(x) = Acos(\frac{2\pi x}{a}) + Bcos(\frac{4\pi x}{a}) + Ccos(\frac{6\pi x}{a})$$

$$\begin{cases} A+B+C = V_1 \\ -B = V_2 \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(A-C) = V_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A = \frac{1}{2}(V_1+V_2+\sqrt{2}V_3) \\ B = -V_2 \\ C = \frac{1}{2}(V_1+V_2-\sqrt{2}V_3) \end{cases}$$

$$E_{g_1} = |A| = \frac{1}{2}(V_1+V_2+\sqrt{2}V_3), E_{g_2} = |B| = V_2, E_{g_3} = |C| = \frac{1}{2}(V_1+V_2-\sqrt{2}V_3)$$

（2,3）



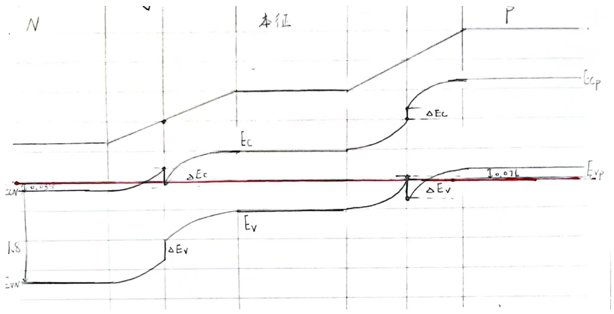
在图中的某一条能带上，作 k 空间（k 正向）的匀速运动，并且是循环运动，从 $-\frac{\pi}{a}$ 移出，从 $\frac{\pi}{a}$ 移入。

4.

(1)

$$E_{Fn} = E_{Fi_2} + k_B T ln(\frac{N_D}{n_{i2}}) = E_{Fi_2} + 0.935eV$$
$$E_{Fp} = E_{Fi_2} - k_B T ln(\frac{N_A}{n_{i2}}) = E_{Fi_2} - 0.976eV$$

(2)



$$\Delta E_C = 0.66\Delta E_g = 0.66 \times (1.80 - 1.42) = 0.251eV$$
$$\Delta E_V = E_{g1} - E_{g2} - \Delta E_C = 0.34 \times (1.80 - 1.42) = 0.129eV$$
$$V_{Dn} = E_{Fn} - E_{Fi1} = 0.996eV, V_{Dp} = E_{Fi1} - E_{F_p} = 0.915eV$$

5.

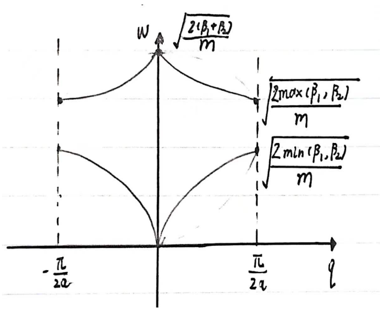
(1)

$$m\ddot{\mu}_{2n} = -\beta_1(\mu_{2n} - \mu_{2n-1}) - \beta_1(\mu_{2n} - \mu_{2n+1})$$
$$m\ddot{\mu}_{2n+1} = -\beta_2(\mu_{2n+1} - \mu_{2n}) - \beta_1(\mu_{2n+1} - \mu_{2n+2})$$

(2)

$$\mu_{2n} = Ae^{i(\omega t - 2nqa)}, \mu_{2n+1} = Be^{i(\omega t - (2n+1)qa)}$$
$$-m\omega^2 A = -\beta_2(A - Be^{iaq}) - \beta_1(A - Be^{-iaq})$$
$$-m\omega^2 B = -\beta_1(B - Ae^{iaq}) - \beta_2(B - Ae^{-iaq})$$
$$(m\omega^2 - \beta_1 - \beta_2)^2 - [\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_1\beta_2(e^{2iaq} + e^{-2iaq})] = 0$$
$$\omega = \sqrt{\frac{1}{m}[\beta_1 + \beta_2 \pm \sqrt{\beta_1^2 + \beta_2^2 + 2\beta_1\beta_2 cos(2aq)}]}$$

(3)



(4)

$$v_a = \frac{d\omega}{dq}\|_{q=0} = a\sqrt{\frac{\beta_1\beta_2}{2m(\beta_1+\beta_2)}}$$

$$D(\omega) = \frac{L}{\pi v_a} = \frac{L}{\pi a}\sqrt{\frac{2m(\beta_1+\beta_2)}{\beta_1\beta_2 0}}$$