

金属学原理习题库

第一章

1. 原子中一个电子的空间位置和能量可用哪四个量子数来决定？
2. 在多电子的原子中，核外电子的排布应遵循哪些个原则？
3. 铬的原子序数为 24，共有四种同位素：4.31%的 Cr 原子含有 26 个中子，83.76% 含有 28 个中子，9.55%含有 29 个中子，且 2.38%含有 30 个中子。试求铬的原子量。
4. 铜的原子序数为 29，原子量为 63.54，它共有两种同位素 Cu^{63} 和 Cu^{65} ，试求两种铜的同位素之含量百分比。
5. 已知 Si 的原子量为 28.09，若 100g 的 Si 中有 5×10^{10} 个电子能自由运动，试计算：(a)能自由运动的电子占价电子总数的比例是多少？(b)必须破坏的共价键之比例是多少？
6. 何谓同位素？为什么元素的相对原子质量不总为正整数？
7. 已知 Si 的相对原子质量为 28.09，若 100g 的 Si 中有 5×10^{10} 个电子能自由运动，试计算：(a)能自由运动的电子占价电子总数的比例是多少？(b)必须破坏的共价键之比例是多少？

第二章

1. 试证明四方晶系中只有简单立方和体心立方两种点阵类型。
2. 为什么密排六方结构不能称作为一种空间点阵？
3. 标出面心立方晶胞中 (111) 面上各点的坐标。
4. 标出具有下列密勒指数的晶面和晶向：a)立方晶系(421), (-123), (130), [2-1-1], [311]; b)六方晶系(2-1-11), (1-101), (3-2-12), [2-1-11], [1-213]。
5. 试计算面心立方晶体的(100), (110), (111), 等晶面的面间距和面致密度，并指出面间距最大的面。
6. 平面 A 在极射赤平面投影图中为通过 NS 及核电 0°N , 20°E 的大圆，平面 B 的极点在 30°N , 50°W 处，a)求极射投影图上两极点 A、B 间的夹角；b)求出 A 绕 B 顺时针转过 40° 的位置。

7. Mo 的晶体结构为体心立方结构，其晶格常数 $a=0.31468\text{nm}$ ，试求 Mo 的原子半径 r 。
8. In 具有四方结构其原子量 $M=114.82$ ，原子半径 $r=0.1625\text{nm}$ ，晶格常数 $a=0.32517\text{nm}$ ， $c=0.49459\text{nm}$ ，密度 $\rho=7.286\text{g/cm}^3$ ，试问 In 的单位晶胞内有多少个原子？In 致密度为多少？
9. Mn 的同素异构体有一为立方结构，其晶格常数为 0.632nm ， ρ 为 7.26g/cm^3 ， r 为 0.112nm ，问 Mn 晶胞中有几个原子，其致密度是多少？
10. 作图表示立方晶体的 (123) , $(0\bar{1}2)$, (421) 晶面及 $[\bar{1}02]$, $[\bar{2}11]$, $[346]$ 晶向。
11. 在六方晶体中，绘出以下常见晶向 $[0001]$, $[2\bar{1}10]$, $[10\bar{1}0]$, $[11\bar{2}0]$, $[\bar{1}2\bar{1}0]$ 等。

第三章

1. Nb 的晶体结构为 bcc，其晶格常数为 0.3294nm ，密度为 8.57g/cm^3 ，试求每 106Nb 中所含空位数目。
2. 若 fcc 的 Cu 中每 500 个原子会失去一个原子，其晶格常数为 0.36153nm ，试求铜的密度。
3. 在铁中形成 1mol 空位的能量为 104.675KJ ，试计算从 20°C 升温之 850°C 时空位数目增加多少倍？
4. 有两个被钉扎住的刃型位错 A-B 和 C-D，他们的长度 x 相等，且有相同的 b 大小和方向(图 3-2)。每个位错都可看作 F-R 位错源。

试分析在其增值过程中两者间的交互作用。若能形成一个大的位错源，使其开动的 τ_c 多大？若两位错 b 相反，情况又如何？

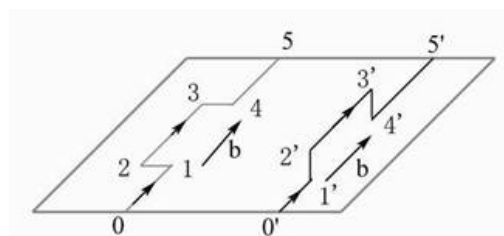


图 3-1

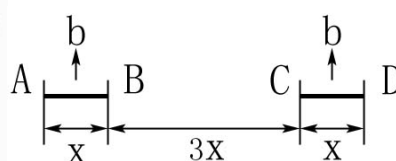


图 3-2

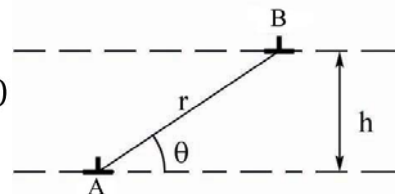


图 3-3

5. 如图 3-3 所示，在相距为 h 的滑移面上有两个相互平行的同号刃型位错 A、B。

试求出位错 B 滑移通过位错 A 上面所需的切应力表达式。

6. 两根刃位错显得 b 大小相等且相互垂直(如图 3-4 所示), 计算位错 2 从其滑移面上 $x \leq 0$ 处移至 $x=a$ 处所需的能量。
7. 在同一滑移面上有两根平行的位错线, 其柏氏矢量大小相等且相交成 Φ 角, 假设两柏氏矢量相对位错线呈成对配置(图 3-5), 试对能量角度考虑 Φ 在什么只是两根位错线相吸或相斥。
8. 图 3-6 所示某晶体位错面上有一柏氏矢量为 b 的位错环并收到一均匀切应力 τ 的作用, a)分析各段位错线所受力的方向并确定其大小; b)在 τ 作用下, 若要使它在晶体中稳定不动, 其最小半径为多大?

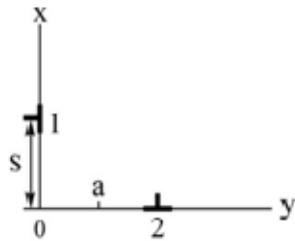


图 3-4

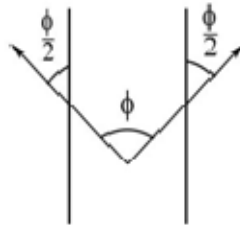


图 3-5

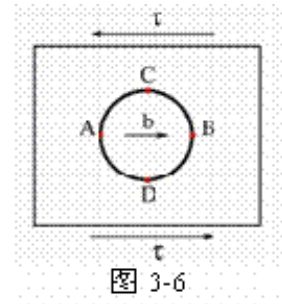


图 3-6

9. 在三个平行的滑移面上有三根平行的刃型位错线 A、B、C(图 3-7)其柏氏矢量大小相等, AB 被钉扎不能动, a)若无其它外力, 仅在 A、B 应力场作用下, 位错 C 向哪个方向运动? b)指出位错向上述方向运动后最终在何处停下?

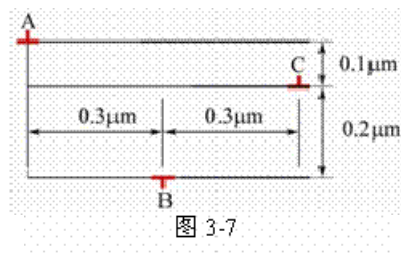


图 3-7

。

10. 判断下列位错反应能否进行。

$$1) \quad \frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3}[11\bar{1}];$$

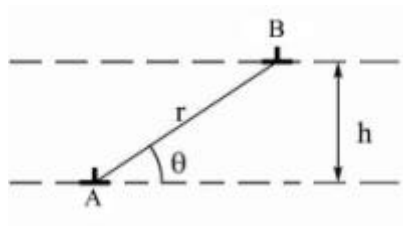
2) $a[100] \rightarrow \frac{a}{2}[101] + \frac{a}{2}[10\bar{1}];$

3) $\frac{a}{3}[112] + \frac{a}{2}[111] \rightarrow \frac{a}{6}[11\bar{1}];$

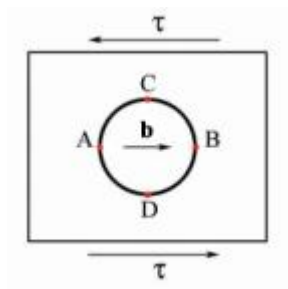
4) $a[100] \rightarrow \frac{a}{2}[111] + \frac{a}{2}[1\bar{1}\bar{1}].$

11. 已知柏氏矢量 $b=0.25\text{nm}$ ，如果对称倾侧晶界的取向差 $\theta=1^\circ$ 及 10° ，求晶界上位错之间的距离。从计算结果可得到什么结论？

12. 如图所示，在相距为 h 的滑移面上有两个相互平行的同号刃型位错 A、B。试求出位错 B 滑移通过位错 A 上面所需的切应力表达式。



13. 图所示某晶体滑移面上有一柏氏矢量为 b 的位错环并受到一均匀切应力 τ 的作用，a)分析各段位错线所受力的方向并确定其大小；b)在 τ 作用下，若要使它在晶体中稳定不动，其最小半径为多大？



14. 试分析在 fcc 中，下列位错反应能否进行？并指出其中三个位错的性质类型？反应后生成的新位错能否在滑移面上运动？

$$\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3}[11\bar{1}]$$

第四章

1. 有一硅单晶片，厚 0.5mm，其一面上每 10^7 个硅原子包含两个镓原子，另一个面经处理后含镓的浓度增高。试求在该面上每 10^7 个硅原子需包含几个镓原子，才能使浓度梯度为 2×10^{-26} 原子/ m^3m 硅的晶格常数为 0.357nm。
2. 为研究稳态条件下间隙原子在面心立方金属中的扩散情况，在厚 0.25mm 的金属薄膜的一个端面(面积 1000mm^2)保持对应温度下的饱和间隙原子，另一端面为间隙原子为零。测得下列数据：

温度(K)	薄膜中间隙原子的溶解度 (kg/m^3)	间隙原子通过薄膜的速率 (g/s)
1223	14.4	0.0025
1136	19.6	0.0014

计算在这两个温度下的扩散系数和间隙原子在面心立方金属中扩散的激活能。

3. 一块含 0.1%C 的碳钢在 930°C 渗碳，渗到 0.05cm 的地方碳的浓度达到 0.45%。在 $t > 0$ 的全部时间，渗碳气氛保持表面成分为 1%，假设 $D_c = 2.0 \times 10^{-5} \exp(-140000/RT) (\text{m}^2/\text{s})$ ，(a) 计算渗碳时间；(b) 若将渗层加深一倍，则需多长时间？(c) 若规定 0.3%C 作为渗碳层厚度的量度，则在 930°C 渗碳 10 小时的渗层厚度为 870°C 渗碳 10 小时的多少倍？
4. 含 0.85%C 的普碳钢加热到 900°C 在空气中保温 1 小时后外层碳浓度降到零。(a) 推导脱碳扩散方程的解，假定 $t > 0$ 时， $x=0$ 处， $p=0$ 。(b) 假如要求零件外层的碳浓度为 0.8%，表面应车去多少深度？（ $D_c = 1.1 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$ ）
5. γ 铁在 925°C 渗碳 4h，碳原子跃迁频率为 $1.7 \times 10^9/\text{s}$ ，若考虑碳原子在 γ 铁中的八面体间隙跃迁，(a) 求碳原子总迁移路程 S ；(b) 求碳原子总迁移的均方根位移；(c) 若碳原子在 20°C 时跃迁频率为 $\Gamma = 2.1 \times 10^9/\text{s}$ ，求碳原子的总迁移路程和根均方位移。
6. 假定聚乙烯的聚合度为 2000，键角为 109.5° ，求伸直链的长度为 L_{max} 与自由旋转链的均方根末端距之比值，并解释某些高分子材料在外力作用下可产生

很大变形的原因。(l=0.154nm, $h^2=nl^2$)

7. 有两种激活能分别为 $E_1=83.7\text{KJ/mol}$ 和 $E_2=251\text{KJ/mol}$ 的扩散反应。观察在温度从 25°C 升高到 600°C 时对这两种扩散的影响，并对结果作出评述。

第五章

1. 有一根长为 5m ，直径为 3mm 的铝线，已知铝的弹性模量为 70GPa ，求在 200N 的拉力作用下，此线的总长度。
2. 一 Mg 合金的屈服强度为 180MPa ， E 为 45GPa ，a)求不至于使一块 $10\text{mm}\times 2\text{mm}$ 的 Mg 板发生塑性变形的最大载荷；b)在此载荷作用下，该镁板每 mm 的伸长量为多少？
3. 有一截面为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 的镍基合金试样，其长度为 40mm ，拉伸实验结果如下：

载荷(N)	标距长度(mm)
0	40
43, 100	40.1
86, 200	40.2
102, 0	40.4
104, 800	40.8
109, 600	41.6
113, 800	42.4
121, 300	44.0
126, 900	46.0
127, 600	48.0
113, 800(破断)	50.2

试计算其抗拉强度 σ_b ，屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ，弹性模量 E 以及延伸率 δ 。

4. 有一 bcc 晶体的 $(110)[111]$ 滑移系的临界分切力为 60MPa ，试问在 $[001]$ 和 $[010]$ 方向必须施加多少的应力才会产生滑移？
5. Zn 单晶在拉伸之前的滑移方向与拉伸轴的夹角为 45° ，拉伸后滑移方向与拉伸轴的夹角为 30° ，求拉伸后的延伸率。

6. 试指出Cu和 α -Fe两晶体易滑移的晶面和晶向，并求出他们的滑移面间距，滑移方向上的原子间及点阵阻力。(已知 $G_{Cu}=483\text{GPa}$ ， $G_{\alpha\text{-Fe}}=81.6\text{GPa}$ ， $\nu=0.3$)。
7. 已知平均晶粒直径为 1mm 和 0.0625mm 的 α -Fe 的屈服强度分别为 112.7MPa 和 196MPa，问平均晶粒直径为 0.0196mm 的纯铁的屈服强度为多少？
8. 铁的回复激活能为 88.9KJ/mol，如果经冷变形的铁在 400℃进行恢复处理，使其残留加工硬化为 60%需 160 分钟，问在 450℃回复处理至同样效果需要多少时间？
9. Ag冷加工后位错密度为 $10^{12}/\text{cm}^2$ ，设再结晶晶核自大角度晶界向变形基体移动，求晶界弓出的最小曲率半径(Ag: $G=30\text{GPa}$ ， $b=0.3\text{nm}$ ， $r=0.4\text{J/m}^2$)。
10. 有一 70MPa应力作用在fcc晶体的[001]方向上，求作用在(111) $\begin{bmatrix} 101 \end{bmatrix}$ 和(111) $\begin{bmatrix} \bar{1}10 \end{bmatrix}$ 滑移系上的分切应力。
11. 简要分析加工硬化、细晶强化、固溶强化及弥散强化在本质上有何异同。
12. 为细化某纯铝件晶粒，将其冷变形 5%后于 650℃退火 1 h，组织反而粗化；增大冷变形量至 80%，再于 650℃退火 1 h，仍然得到粗大晶粒。试分析其原因，指出上述工艺不合理处，并制定一种合理的晶粒细化工艺。
13. 灯泡中的钨丝在非常高的温度下工作，故会发生显著的晶粒长大。当形成横跨灯丝的大晶粒时，灯丝在某些情况下就变得很脆，并会在因加热与冷却时的热膨胀所造成的应力下发生破断。试找出一种能延长钨丝寿命的方法。

第六章

1. 考虑在一个大气压下液态铝的凝固，对于不同程度的过冷度，即： $\Delta T=1$ ，10，100 和 200℃，计算：
 - (a)临界晶核尺寸；(b)半径为 r^* 的团簇个数；
 - (c)从液态转变到固态时，单位体积的自由能变化 ΔG_v ；
 - (d)从液态转变到固态时，临界尺寸 r^* 处的自由能的变化 ΔG_v 。

铝的熔点 $T_m=993\text{K}$ ，单位体积熔化热 $\Delta H_f=1.836\times 10^9\text{J/m}^3$ ，固液界面自由能 $\gamma_{sc}=93\text{J/m}^2$ ，原子体积 $V_0=1.66\times 10^{-29}\text{m}^3$ 。
2. (a)已知液态纯镍在 $1.1013\times 10^5\text{Pa}$ (1 个大气压)，过冷度为 319℃时发生均匀形核。设临界晶核半径为 1nm，纯镍的熔点为 1726K，熔化热 $\Delta H_m=18075\text{J/mol}$ ，

摩尔体积 $V_x=6.6\text{cm}^3/\text{mol}$ ，计算纯镍的液-固界面能和临界形核功。

(b)若要在 1726K发生均匀形核，需将大气压增加到多少？已知凝固时体积变化 $\Delta V=-0.26\text{cm}^3/\text{mol}$ ($1\text{J}=9.87\times 10^5 \text{ cm}^3\text{Pa}$)。

- 用示差扫描量热法研究聚对二甲酸乙二酯在 232.4℃的等温结晶过程，由结晶放热峰测得如下数据。

结晶时间(t)	7.6	11.4	17.4	21.6	25.6	27.6	31.6	35.6	36.6	38.1
fc(t)/fc(∞)(%)	3.41	11.5	34.7	54.9	72.7	80.0	91.0	97.3	98.2	99.3

其中fc(t)和fc(∞)分别表示t时间的结晶度和平衡结晶度。试以Avrami作图法求出Avrami指数n，结晶常数K和半结晶期 $t_{1/2}$ 。

- 如果纯镍凝固时的最大过冷度与其熔点 ($t_m=1453^\circ\text{C}$) 的比值为 0.18，试求其凝固驱动力。 ($\Delta H=-18075\text{J/mol}$)
- 什么叫临界晶核？它的物理意义及与过冷度的定量关系如何？
- 简述纯金属晶体长大的机制。
- 试分析单晶体形成的基本条件。

第七章

- 固溶体合金的相图如图 7-1 所示，试根据相图确定：

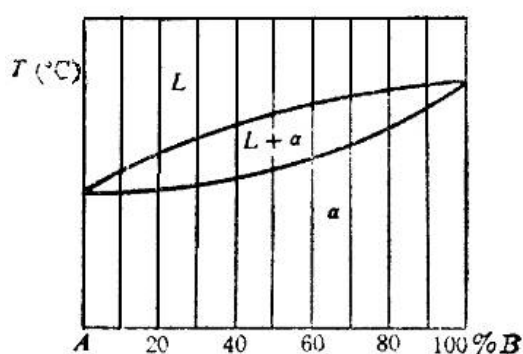


图 7-1

- 成分为 40%B 的合金首先凝固出来的固体成分；
- 若首先凝固出来的固体成分含 60%B，合金的成分为多少？
- 成分为 70%B 的合金最后凝固的液体成分；

(d) 合金成分为 50%B，凝固到某温度时液相含有 40%B，固体含有 80%B，此时液体和固体各占多少分数？

2. 指出图 7-2 所示相图中的错误，并加以改正。

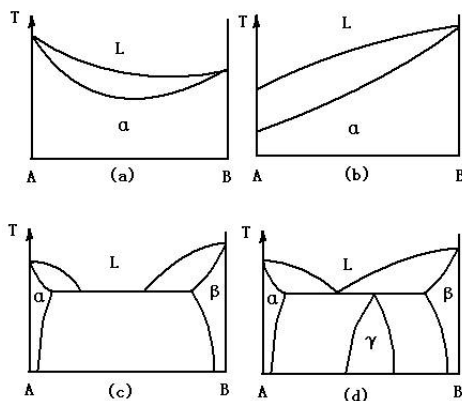


图 7-2

3. (a)根据Fe-Fe₃C相图(见图 7-4)，分别求 2.11%C，4.30%C的二次渗碳体的析出量，(b)画出 4.3%的冷却曲线。

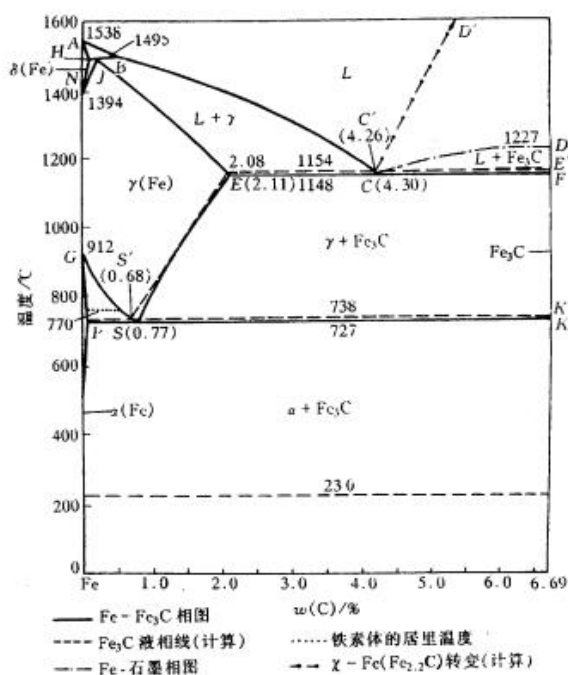


图 7-4

4. Al-Cu 合金相图如图 7-7 所示，设分配系数 K 和液相线斜率均为常数，试求：

(a) 含 1%Cu 固溶体进行缓慢的正常凝固，当凝固分数为 50%时所凝固出的固体成分；

(b) 经过一次区域熔化后在 $x=5$ 处的固体成分，取 $l=0.5$ ；

(c) 测得铸件的凝固速率 $R=3\times 10^{-4}\text{cm/s}$ ，温度梯度 $G=30^\circ\text{C/cm}$ ，扩散系数 $D=3\times 10^{-5}\text{cm}^2/\text{s}$ 时，合金凝固时能保持平面界面的最大含铜量。

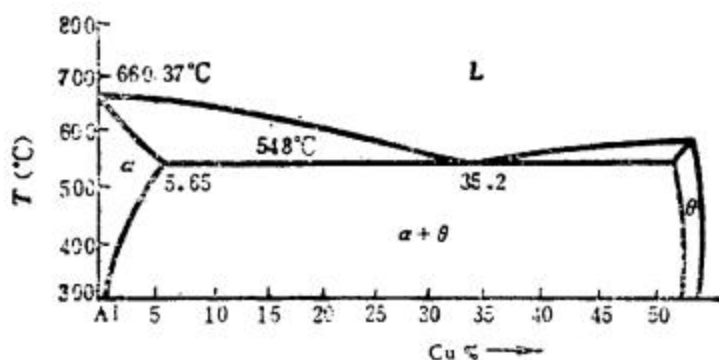


图 7-7

5. 在Al-Mg合金中， $x_{\text{Mg}}=0.05$ ，计算该合金中Mg的质量分数(w_{Mg}) (已知Mg的相对原子质量为 24.31，Al为 26.98)。
6. 已知Al-Cu相图中， $K=0.16$ ， $m=3.2$ 。若铸件的凝固速率 $R=3\times 10^{-4}\text{cm/s}$ ，温度梯度 $G=30^\circ\text{C/cm}$ ，扩散系数 $D=3\times 10^{-5}\text{cm}^2/\text{s}$ ，求能保持平面状界面生长的合金中 w_{Cu} 的极值。
7. 在图 4—30 所示相图中，请指出：
 - (1) 水平线上反应的性质；
 - (2) 各区域的组织组成物；
 - (3) 分析合金 I，II 的冷却过程；
 - (4) 合金工，II 室温时组织组成物的相对量表达式。

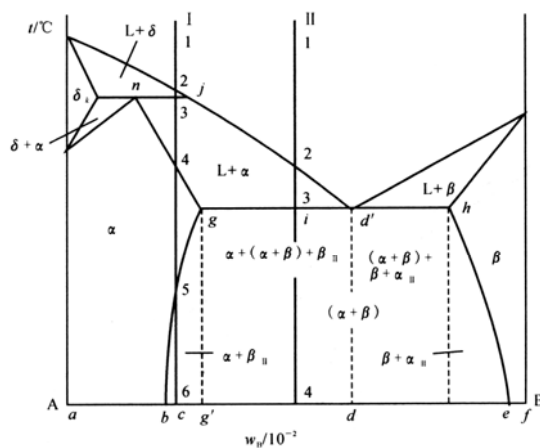


图 4-30 A-B 二元相图

(b) 试估计在同一温度, α 相和 β 相的成分同上, 但各占 50% 时合金的成分。

部分参考答案:

第一章

3. $M = 0.0431 \times (24+26) + 0.8376 \times (24+28) + 0.0955 \times (24+29) + 0.0238 \times (24+30) = 52.0569$

4. 73% (Cu63); 27% (Cu65)

5. a) 5.833×10^{-15}

b) 1.168×10^{-14}

6. 答: 在元素周期表中占据同一位置, 尽管它们的质量不同, 然它们的化学性质相同的物质称为同位素。由于各同位素的含中子量不同 (质子数相同), 故具有不同含量同位素的元素总的相对原子质量不为正整数。

7. 答:

$$\text{原子数} = \frac{100}{A_r} \times N_A = \frac{100}{28.09} \times 6.023 \times 10^{23} = 2.144 \times 10^{24} \text{ 个}$$

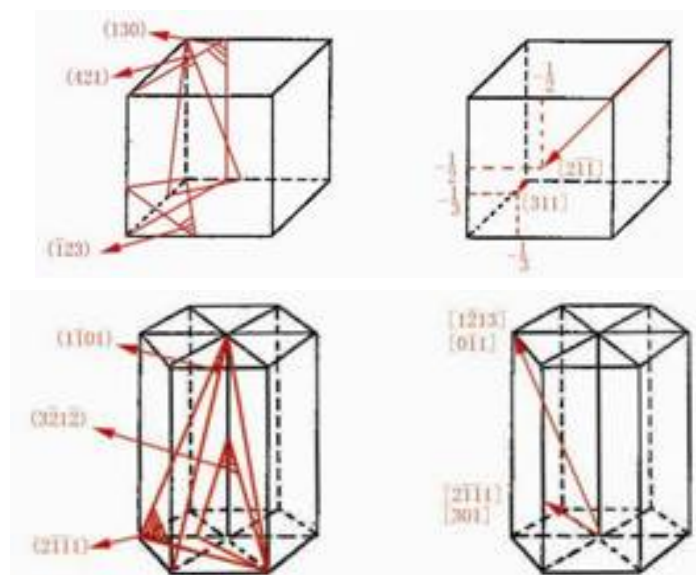
$$\text{价电子数} = 4 \times \text{原子数} = 4 \times 2.144 \times 10^{24} = 8.576 \times 10^{24} \text{ 个}$$

a) $\frac{5 \times 10^{10}}{8.576 \times 10^{24}} = 5.830 \times 10^{-15}$

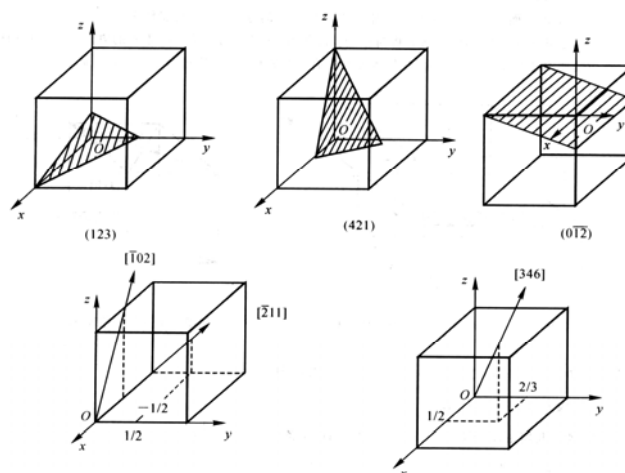
b) 共价键, 共有 2.144×10^{24} 个; 需破坏之共价键数为 $5 \times 10^{10} / 2 = 2.5 \times 10^{10}$ 个;

$$\text{所以, } \frac{2.5 \times 10^{10}}{2.144 \times 10^{24}} = 1.166 \times 10^{-14}$$

第二章

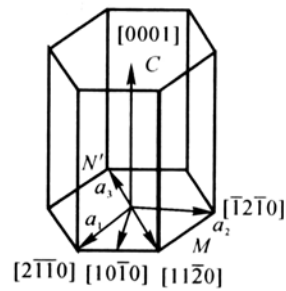


5. $d(100)=0.5a$ $\rho(100)=0.7854$
 $d(110)=0.3536a$ $\rho(110)=0.5554$
 $d(111)=0.577a$ $\rho(111)=0.9069$
6. a) A、B 间的夹角为 74° 。
 b) $A'(32^\circ S, 6^\circ W)$ 为 A 绕 B 顺时针转过 40° 的位置。
7. $r=0.13626nm$
8. a) In 的单位晶胞中有 2 个原子。
 b) $k=0.6874$
9. 每单位晶胞内 20 个原子。 $k=0.46493$
10. 有关晶面及晶向附图 2.1 所示。



附图 2.1 有关晶面及晶向

11. 见附图 2.2 所示。



附图 2.2 六方晶体中常见晶向

第三章

1. $\rho=0.7671\%$

2. $\rho=8.9168\text{g/cm}^3$

3. $C_{850}/C_{20}=6.23\times 10^{13}$ 倍

7. $\Phi < 80^\circ$, 两位错相斥; $\Phi > 80^\circ$, 两位错相吸。

8. $\tau_c = Gb/2\pi$

9. a) 向右运动。

b) 位错 C 向右运动至 $0.76\mu\text{m}$ 时停止。

10. (1) 能。几何条件: $\sum b_{\text{前}} = \sum b_{\text{后}} = \frac{a}{3}[11\bar{1}]$; 能量条件: $\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{2}{3}a^2 > \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{1}{3}a^2$

(2) 不能。能量条件: $\sum b_{\text{前}}^2 = \sum b_{\text{后}}^2$, 两边能量相等。

(3) 不能。几何条件: $\sum b_{\text{前}} = a/b[557]$, $\sum b_{\text{后}} = a/b[11\bar{1}]$, 不能满足。

(4) 不能。能量条件: $\sum b_{\text{前}}^2 = a^2 < \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{3}{2}a^2$, 即反应后能量升高。

11. 当 $\theta = 1^\circ$, $D = 14\text{ nm}$; $\theta = 10^\circ$, $D = 1.4\text{ nm}$ 时, 即位错之间仅有 5~6 个原子间距, 此时位错密度太大, 说明当 θ 角较大时, 该模型已不适用。

12. 两平行位错间相互作用力中, f_x 项为使其沿滑移面上运动的力: $f_x = \tau_{xy} b$

$$\tau_{xy} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \cdot \frac{\pi(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2} = \frac{Gb}{8\pi(1-\nu)} \cdot \frac{1}{k} \sin 4\theta$$

(直角与圆柱坐标间换算: $x = r \cos \theta = \frac{4 \cos \theta}{\sin \theta}$, $y = h$;

三角函数: $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$, $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$, $\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$
)

$$f_x = \frac{Gb_1b_2}{8\pi(1-\nu)} \cdot \frac{1}{h} \sin 4\theta$$

求出 f_x 的零点和极值点(第一象限)

$\sin 4\theta = 0$ $\theta = 0$ $f_x = 0$ 两位错间互不受力, 处于力的平衡状态;

$\sin 4\theta = 0$ $\theta = \pi/4$ $f_x = 0$ 两位错间互不受力, 处于力的平衡状态;

$\sin 4\theta = 1$ $\theta = \pi/8$ $f_x \rightarrow \max$ 同号位错最大斥力, 异号位错最大引力, 其值为

$$f_x = \frac{Gb_1b_2}{8\pi(1-\nu)h};$$

$\sin 4\theta = 1$ $\theta = 3\pi/8$ $f_x \rightarrow \max$ 同号位错最大斥力, 异号位错最大引力, 其值为

$$f_x = \frac{Gb_1b_2}{8\pi(1-\nu)h}$$

若不考虑其他阻力, 有如下结论:

1) 对异号位错

要作相向运动, $0 < \theta < \pi/4$ 时, 不需加切应力;

$\pi/4 < \theta < \pi/2$ 时, 需要加切应力: $\tau > \frac{Gb_1b_2}{8\pi(1-\nu)h}$ 方向 \Rightarrow

要作反向运动, $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ 时, 需要加切应力: $\tau > \frac{Gb b_2}{8\pi(1-\nu)k}$ 方向 \rightleftarrows

$\frac{\pi}{4} < \theta < \frac{\pi}{2}$ 时, 不需加切应力;

2) 对同号位错 (以两负刃位错为例),

要作相向运动, $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ 时, 需要加切应力: $\tau > \frac{Gb b_2}{8\pi(1-\nu)k}$

对位错 A 方向 \rightleftarrows , 对位错 B 方向为 \rightleftarrows ;

$\frac{\pi}{4} < \theta < \frac{\pi}{2}$ 时, 不需加切应力;

要作反向运动, $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ 时, 不需加切应力;

$\frac{\pi}{4} < \theta < \frac{\pi}{2}$ 时, 需要加切应力: $\tau > \frac{Gb b_2}{8\pi(1-\nu)k}$ 对位错 A 方向 \rightleftarrows ,

对位错 B 方向为 \rightleftarrows 。

13. a) 令逆时针方向为位错环线的正方向, 则 A 点为正刃型位错, B 点为负刃型位错, D 点为右螺旋位错, C 点为左螺旋位错, 位错环上其他各点均为混合位错。

各段位错线所受的力均为 $f=b$, 方向垂直于位错线并指向滑移面的未滑移区。

b) 在外力和位错线的线张力 T 作用下, 位错环最后在晶体中稳定不动, 此时

$$\tau = \frac{Gb}{2r_c}$$

$$\therefore r_c = \frac{Gb}{2\tau}$$

14. 位错反应几何条件:

$$b_1 + b_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{6}\right)a + \frac{2}{6}b + \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{6}\right)c = \frac{1}{3}a + \frac{1}{3}b - \frac{1}{3}c = \frac{a}{3}[1\bar{1}\bar{1}]$$

$$\text{能量条件: } \left|\frac{a}{2}\sqrt{2}\right|^2 + \left|\frac{a}{6}\sqrt{6}\right|^2 - \left(\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{6}\right) > \frac{a^2}{3}$$

因此 $\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3}[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ 位错反应能进行。

对照汤姆森四面体，此位错反应相当于



(全位错) (肖克莱) (弗兰克)

新位错 $\frac{a}{3}[111]$ 的位错线为 (m) 和 $(\bar{1}\bar{1})$ 的交线位于(001)面上，且系纯刃型位错。由于(001)面系fcc非密排面，故不能运动，系固定位错。

第四章

1. 该面上每 10^7 个硅原子需包含 22 个镓原子。
2. $D_{(1223k)}=4.34 \times 10^{-8}(\text{m}^2/\text{s})$ $D_{1136k}=1.78 \times 10^{-8}(\text{m}^2/\text{s})$ $Q=122\text{kJ/mol}$
3. $t=1.04 \times 10^4\text{s}$ $t_2=4.16 \times 10^4\text{s}$ 1.42 倍
4. $x=0.054\text{cm}$
5. 6193 米, 1.3mm, 在 20°C 时, $S=1.25 \times 10^{-3}$ 米, $\sqrt{R_n}^2=1.4 \times 10^{-9}\text{mm}$
6. $L_{\max}/\sqrt{R^2}=36.521$ 倍
7. 温度从 298K 提高到 873K, 扩散速率 D 分别提高 4.6×10^9 和 9.5×10^{28} 倍。

第五章

1. $l=5002.02\text{mm}$
2. a) $F=3600\text{N}$ b) $\epsilon=0.004$
3. $\sigma_b=1.276\text{GPa}$ $\sigma_{0.2}=1000\text{MPa}$ $E=172.4\text{GPa}$ $\delta=25.5\%$
4. [001]方向: 无论施加多大应力都不能产生滑移。
[010]方向: $\sigma=146.97\text{MPa}$
5. $\epsilon=41.4\%$
6. Cu: $d_{(111)}=a/\sqrt{3}$ $b=\sqrt{3}a/2$ $\tau_{P-N}=90.45\text{MPa}$
 $\alpha\text{-Fe}$: $d_{(111)}=a/\sqrt{2}$ $b=\sqrt{2}a/2$ $\tau_{P-N}=152.8\text{MPa}$
7. $\sigma_s=283.255\text{MPa}$
8. $t_2=59$ 分
9. $R_{\min}=290\text{nm}$
10. 矢量数性积

$$\frac{a \cdot b}{a \cdot b} = \frac{a \cdot b \cos \theta}{a \cdot b \cos \theta} = \frac{a \cdot b}{a \cdot b} \quad \text{---}$$

$$= \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2} \cdot \sqrt{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}}$$

($\bar{1}11$)($10\bar{1}$) 滑移系: $\cos \lambda = \frac{-1}{1 \times \sqrt{2}} = \frac{-1}{\sqrt{2}}$ (负号不影响切应力大小, 故取正号)

$$\cos \phi = \frac{1}{1 \times \sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi = \frac{70}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3}} = 28.577 (\text{MPa})$$

(111)($\bar{1}10$) 滑移系: $\cos \lambda = \frac{0}{1 \times \sqrt{2}} = 0$ $\cos \phi = \frac{1}{1 \times \sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$$\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi = \frac{70 \times 0}{\sqrt{3}} = 0$$

11. 加工硬化是由于位错塞积、缠结及其相互作用, 阻止了位错的进一步运动,

流变应力 $\sigma_d = \alpha G b \sqrt{\rho}$ 。

细晶强化是由于晶界上的原子排列不规则, 且杂质和缺陷多, 能量较高, 阻碍位错的通过,

$\sigma_s = \sigma_0 + K d^{-\frac{1}{2}}$; 且晶粒细小时, 变形均匀, 应力集中小, 裂纹不易萌生和传播。

固溶强化是由于位错与溶质原子交互作用, 即柯氏气团阻碍位错运动。

弥散强化是由于位错绕过、切过第二相粒子, 需要增加额外的能量(如表面能或错排能); 同时, 粒子周围的弹性应力场与位错产生交互作用, 阻碍位错运动。

12. 前种工艺，由于铝件变形处于临界变形度下，故退火时可形成个别再结晶核心，最终晶粒极为粗大，而后种工艺，是由于进行再结晶退火时的温度选择不合理（温度过高），若按 $T_{\text{再}}=0.4T_{\text{熔}}$ 估算，则 $T_{\text{再}}=100^{\circ}\text{C}$ ，故再结晶温度不超过 200°C 为宜。由于采用 630°C 退火1h，故晶粒仍然粗大。

综上分析，在80%变形量条件下，采用 150°C 退火1h，则可使其晶粒细化。

13. 金属材料在热加工过程中经历了动态变形和动态回复及再结晶过程，柱状晶区和粗等轴晶区消失了，代之以较细小的等轴晶粒；原铸锭中许多分散缩孔、微裂纹等由于机械焊合作用而消失，显微偏析也由于压缩和扩散得到一定程度的减弱，故使材料的致密性和力学性能(特别是塑性、韧性)提高。

第六章

1. $r^*=94.5\text{nm}$ $N_r^*=2.12\times 10^8$ $\Delta G_V=-1.97\times 10^6\text{J/m}^3$ $\Delta G_r^*=3.43\times 10^{-15}\text{J}$

同理可得 $\Delta T=10, 100$ 和 200°C 的结果，见下表：

	ΔT			
	1°C	10°C	100°C	200°C
$r^*(\text{nm})$	94.5	9.45	0.945	0.472
N_r^*	2.12×10^8	2.13×10^5	2.13×10^2	26.5
$\Delta G_V(\text{J/m}^3)$	-1.97×10^6	-1.97×10^7	-1.97×10^8	-3.93×10^8
$\Delta G_r^*(\text{J})$	3.43×10^{-15}	3.51×10^{-17}	3.43×10^{-19}	0.87×10^{-19}

2. $\sigma=2.53\times 10^{-5}\text{J/cm}^2=253\text{erg/cm}^2$ $\Delta G^*=1.06\times 10^{-18}\text{J}$

$P=116366\times 10^5\text{Pa}$ 时，才能在 1726K 发生均匀形核。

3. $n=3.01$ $t_{1/2}=\frac{n}{\ln 2/k}=20.5\text{min}$

4. 凝固驱动力 $\Delta G=-3253.5\text{J/mol}$ 。

5. 根据自由能与晶胚半径的变化关系，可以知道半径 $r<r_k$ 的晶胚不能成核； $r>r_k$ 的晶胚才有可能成核；而 $r=r_k$ 的晶胚既可能消失，也可能稳定长大。因此，半径为 r_k 的晶胚称为临界晶核。其物理意义是，过冷液体中涌现出来的短程有序原子团，当其尺寸 $r\geq r_k$ 时，这样的原子团便可成为晶核而长大。

临界晶核半径 r_k ，其大小与过冷度有关，则有
$$r_k = \frac{2\sigma T_m}{L_m} \frac{1}{\Delta T}$$

6. 晶体长大机制是指晶体微观长大方式，它与液—固界面结构有关。

具有粗糙界面的物质，因界面上约有 50% 的原子位置空着，这些空位都可接受原子，故液体原子可以单个进入空位，与晶体相连接，界面沿其法线方向垂直推移，呈连续式长大。

具有光滑界面的晶体长大，不是单个原子的附着，而是以均匀形核的方式，在晶体学小平面界面上形成一个原子层厚的二维晶核与原界面间形成台阶，单个原子可以在台阶上填充，使二维晶核侧向长大，在该层填满后，则在新的界面上形成新的二维晶核，继续填满，如此反复进行。

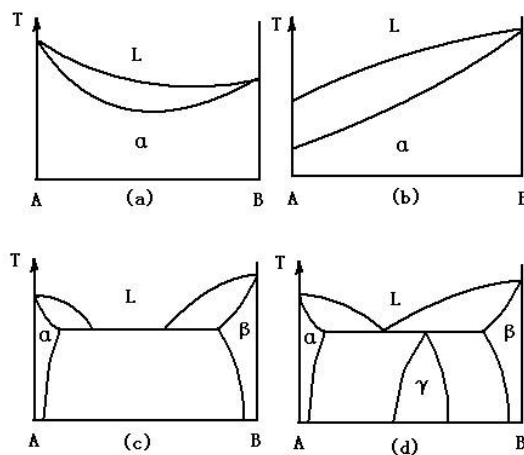
若晶体的光滑界面存在有螺型位错的露头，则该界面成为螺旋面，并形成永不消失的台阶，原子附着到台阶上使晶体长大。

7. 形成单晶体的基本条件是使液体金属结晶时只产生一个核心(或只有一个核心能够长大)并长大成单晶体。

第七章

1. 固体成分：~85%B， 合金成分：~15%B， ~20%B， L%=75%， α%=25%

2.



3. $\text{Fe}_3\text{C}_{II}\% = 22.6\%$ $\text{Fe}_3\text{C}_{II}\% = 11.8\%$

4. $C_s = 0.286\% \text{Cu}$ $C_s = 0.83\% \text{Cu}$ $C_0 = 0.18\% \text{Cu}$

5. $w_{Mg} = 0.0456$ 。

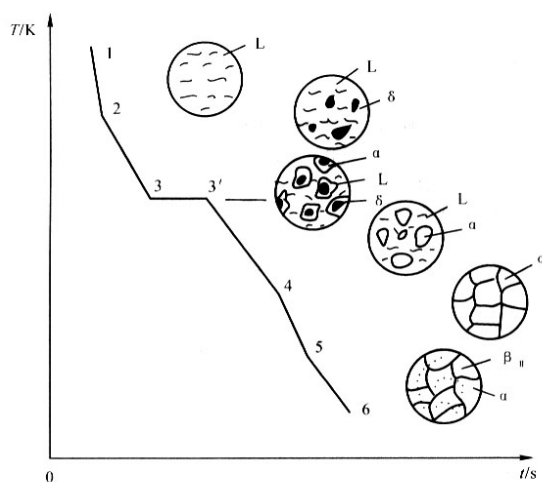
$$6. \quad w_{Cu}^{C0} = \frac{GD}{Rm} \frac{K}{1-K} = 0.1744。$$

7. (1) 高温区水平线为包晶线，包晶反应： $L_j + \delta_k \rightarrow \alpha_n$

中温区水平线为共晶线，共晶反应： $L_{d'} \rightarrow \alpha_g + \beta_h$

(2) 各区域组织组成物如图 4—30 中所示。

(3) I 合金的冷却曲线和结晶过程如附图 2.9 所示。



附图 2.9 I 合金的冷却曲线

1~2，均匀的液相 L。

2~3 匀晶转变， $L \rightarrow \delta$ 不断结晶出 δ 相。

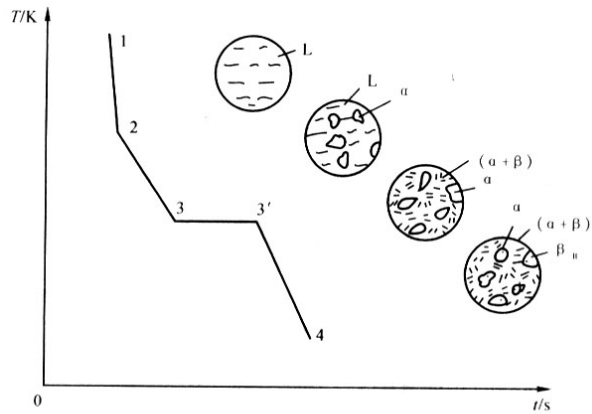
3~3'，发生包晶反应 $L + \delta \rightarrow \alpha$ 。

3'~4，剩余液相继续结晶为 α 。

4，凝固完成，全部为 α 。

4~5，为单一 α 相，无变化。

5~6，发生脱溶转变 $\alpha \rightarrow \beta_{II}$ 。室温下的组织为 $\alpha + \beta_{II}$ 。



附图 2.10 II 合金的冷却曲线

II合金的冷却曲线和结晶过程如附图 2.10 所示。

1~2, 均匀的液相L。

2~3, 结晶出 $\alpha_{\text{初}}$, 随温度下降 α 相不断析出, 液相不断减少。

3~3', 剩余液相发生共晶转变 $L \rightarrow \alpha + \beta$ 。

3'~4, $\alpha \rightarrow \beta_{\text{II}}$, $\beta \rightarrow \alpha_{\text{II}}$, 室温下的组织为。 $\alpha_{\text{初}} + (\alpha + \beta)_{\text{共}} + \beta_{\text{II}}$

(4)室温时, 合金 I、II 组织组成物的相对量可由杠杆定律求得。

合金 I:

$$W_{\alpha} = \frac{ec}{eb} \times 100\%$$

$$W_{\beta_{\text{II}}} = \frac{cb}{eb} \times 100\%$$

第八章

1. K合金成分为: 15%A、80%B、5%C

2. (a) $A_{\text{初}}\% = 50\%$, $(A+B)\% = 25\%$, $(A+B+C)\% = 25\%$

(b) I 合金: $B + (A+B+C)_{\text{共晶}}$ P合金: $(B+C)_{\text{共晶}} + (A+B+C)_{\text{共晶}}$

3. (a) $L\% = 56.5\%$, $\alpha\% = 20\%$, $\beta\% = 33.5\%$

(b) $B = 14.5\%$, $C = 38\%$