
模拟试题 1

简答题（每题 5 分，共 30 分）

1. 已知 fcc 晶体的致密度比 bcc 晶体的大，请解释为什么 fcc 的固溶度仍比 bcc 的大？

答：间隙分为四面体间隙和八面体间隙。在 fcc 中八面体间隙较大，而 bcc 中因八面体间隙为扁八面体间隙，故其四面体间隙较大。因此 fcc 晶体能够容纳更多的溶质原子。

2. 请简述影响固溶体固溶度的因素有哪些。

答：1) 原子尺寸因素：置换固溶体的溶质与溶剂原子尺寸越相近固溶度越大。

间隙固溶体的溶质原子与溶剂间隙尺寸越相近固溶度越大。

- 2) 晶体结构因素：置换固溶体溶质溶剂的晶体结构相似固溶度越大。

- 3) 电负性因素：溶质与溶剂的电负性越相近固溶度越大。

- 4) 电子浓度因素：电子浓度越低固溶度越大。

3. 均匀形核与非均匀形核具有相同的临界晶核半径，非均匀形核的临界形核功也等于三分之一表面能，为什么非均匀形核比均匀形核容易？

答：非均匀形核与均匀形核的临界晶核半径相等，但非均匀形核的临界晶核体积小。非均匀形核的临界形核功也等于三分之一表面能，但非均匀形核的表面能小于均匀形核的表面能，即非均匀形核的临界形核功小。因此非均匀形核比较容易。

4. 原子的热运动如何影响扩散？

答：原子热运动越强烈，原子的跃迁距离增大，跃迁频率增大，跃迁几率增大，将使得扩散系数增大，即促进扩散。

5. 如何区分金属的热变形和冷变形？

答：冷、热变形温度的分界是再结晶温度。

6. 基体、增强体和界面在复合材料中各起什么作用？

答：基体：1) 固定和粘附增强体 2) 保护增强体免受物理化学损伤 3) 隔离和阻断损伤。

增强体：1) 承担载荷；2) 阻碍基体变形。

界面：协调变形

二、作图计算题（每题 10 分，共 40 分）

1. 请分别计算简单立方晶体与面心立方晶体（ 100）、（ 110）和（ 111）晶面的间距。

| 晶面 | (100) | (110) | (111) |
|------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 简单立方 | a (1 分) | $\frac{\sqrt{2}a}{2}$ (2 分) | $\frac{\sqrt{3}a}{3}$ (2 分) |
| 面心立方 | $\frac{a}{2}$ (1 分) | $\frac{\sqrt{2}a}{4}$ (2 分) | $\frac{\sqrt{3}a}{3}$ (2 分) |

2. 已知某晶体在 500 K 时，每 10^{10} 个原子中可以形成有 1 个空位，请问该晶体的空位形成能是多少？（已知该晶体的常数 $A = 0.0539$ ，波耳兹曼常数 $K = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ）

答：

$$c = A \exp\left(-\frac{\Delta E_v}{kT}\right)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_v &= -kT \ln \frac{c}{A} = -[1.381 \times 10^{-23} \times (500 + 273)] \ln \frac{10^{-10}}{0.0539} \\ &= 1.068 \times 10^{-20} \times 17.8 = 1.9 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

3. 请判定在 fcc 中下列位错反应能否进行： $\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3}[11\bar{1}]$

答：几何条件：

$$b_1 + b_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{6}\right)a + \frac{2}{6}b + \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{6}\right)c = \frac{1}{3}a + \frac{1}{3}b - \frac{1}{3}c = \frac{a}{3}(11\bar{1})$$

能量条件：

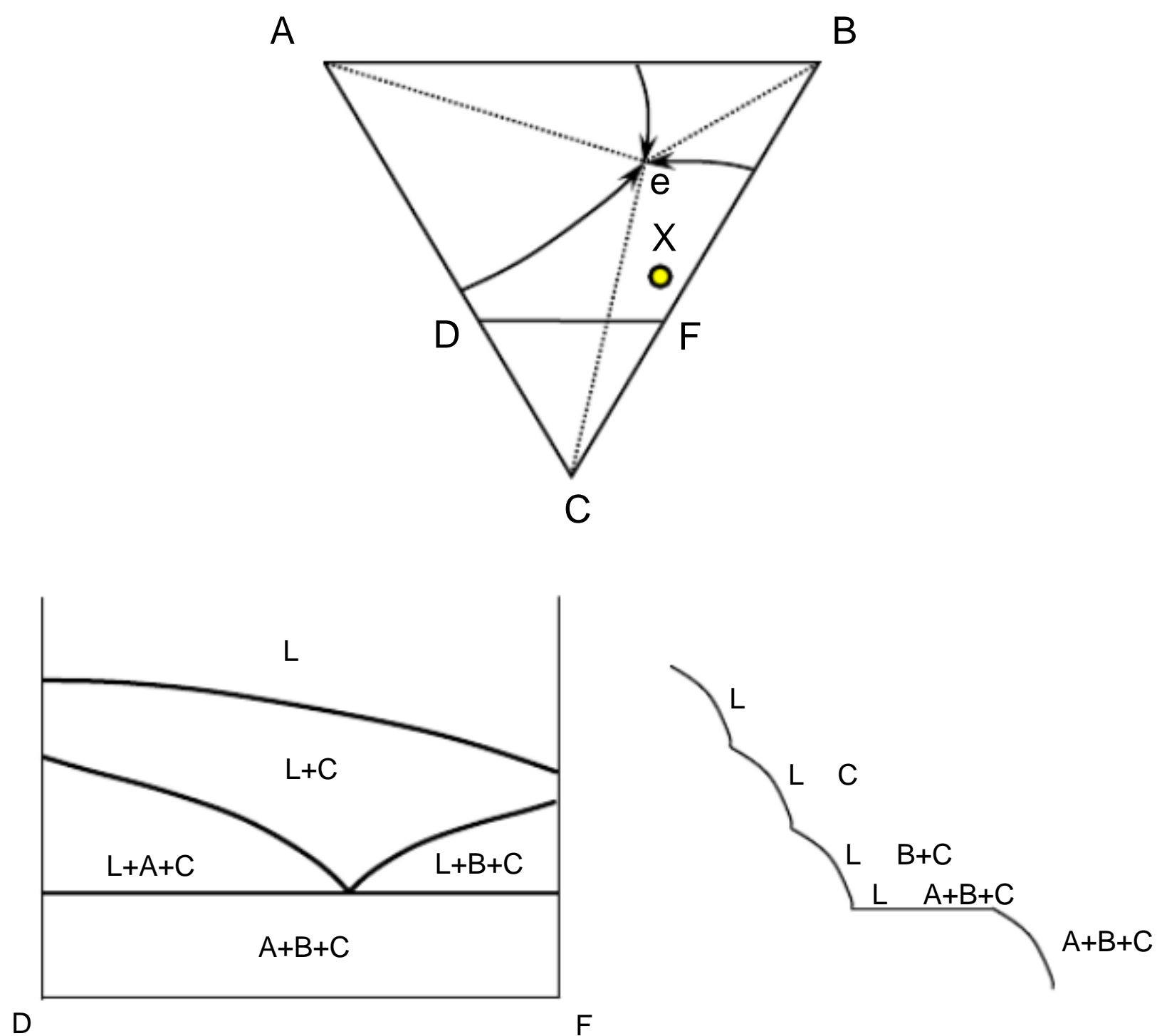
$$\left|\frac{a}{2}\sqrt{2}\right|^2 + \left|\frac{a}{6}\sqrt{6}\right|^2 = \left(\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{6}\right) = \frac{2a^2}{3} > \frac{a^2}{3}$$

满足几何条件和能量条件，反应可以进行。

4. 已知三元简单共晶的投影图，见附图，

- 1) 请画出 DF 代表的垂直截面图及各区的相组成；
- 2) 请画出 X 合金平衡冷却时的冷区曲线，及各阶段相变反应。

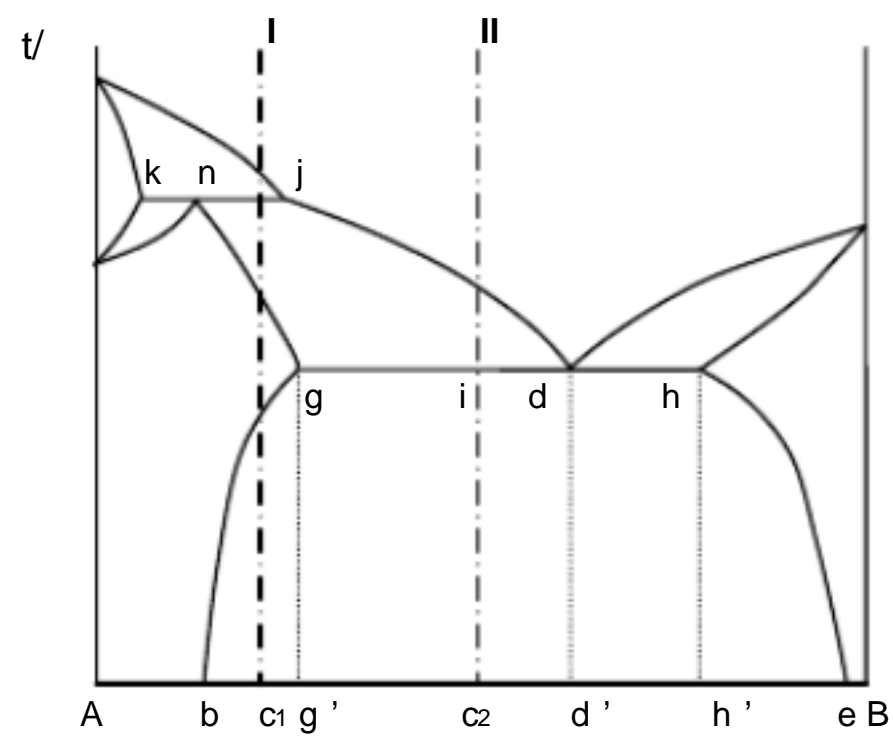
答：



三、综合分析题

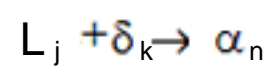
1. 如附图二所示，请分析：（22分）

- 1) 两水平线的反应类型，并写出反应式；
- 2) 分析 Ab 、 bg 、 gd 、 dh 、 he 、 eB 七个区域室温下的组织组成物（ j 点成分小于 g 点成分）；
- 3) 分析 I、II 合金的平衡冷却过程，并注明主要的相变反应；
- 4) 写出合金 I 平衡冷却到室温后相组成物相对含量的表达式及合金 II 平衡冷却到室温后组织组成物相对含量的表达式。

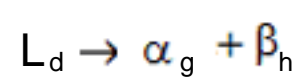


答：

1) 水平线 kj 为包晶反应：



水平线 gh 为共晶反应：



2) Ab:

bg : + ||

g d : +(+) 共 + ||

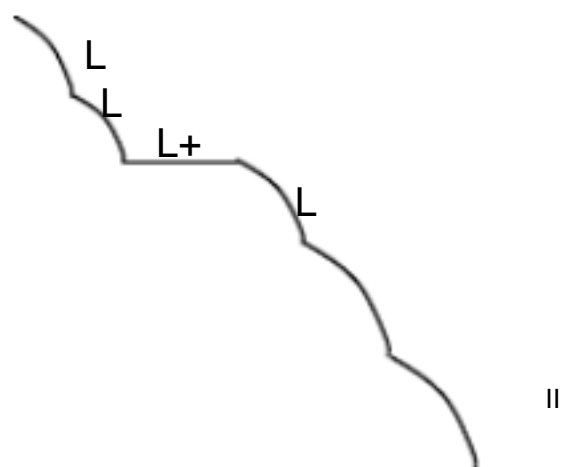
d' : (+) 共

d h : +(+) 共 + ||

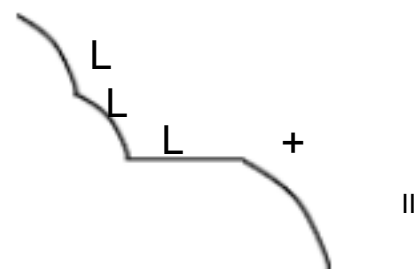
h e : + ||

eB:

3) 合金 I



合金 II



4) 合金 I 相组成： $w_{\alpha} = \frac{ec_1}{be} \times 100\%$; $w_{\beta} = \frac{bc_1}{be} \times 100\%$

合金 II 组织组成：

$$w_{(\alpha+\beta)_{共}} = \frac{ig}{gd} \times 100\% ;$$

$$w_{\beta_{析}} = \alpha_{初} \text{ 共晶前析出量} \times \beta_{||} \text{ 析出比例} = \frac{id}{gd} \times \frac{bg'}{be} \times 100\% ;$$

$$w_{\alpha_{初}} = \alpha_{初} \text{ 共晶前析出量} - \beta_{||} \text{ 析出量} = \frac{id}{gd} \times 100\% - w_{\beta_{析}}$$

2. 请对比分析回复、再结晶、正常长大、异常长大的驱动力及力学性能变化。（8分）

答：

| | 回复 | 再结晶 | 正常长大 | 异常长大 |
|--------|-------------------|-------------------|-------------|-----------------|
| 驱动力 | 存储能 （主要是点阵畸变能） | 存储能 （主要是点阵畸变能） | 总界面能 | 总界面能和表面能 |
| 力学性能变化 | 基本保持变形后性能 | 恢复到冷变形前的水平 | 基本保持再结晶后的水平 | 性能恶化 强度、塑性下降 |

模拟试题 2

简答题（每题 5 分，共 30 分）

1．何为空间点阵？它与晶体结构有何异、同？

答：空间点阵是对晶体结构按照一定法则进行的高度数学抽象；晶体结构是对晶体的直观表示。点阵只有七大类，14 种，晶体结构有无限多种。

2．请简述晶界有哪些特征？

答：晶界有自发变直的趋势；晶界引起晶体强度升高；晶界扩散比晶体内扩散速度快；晶界容易收到腐蚀；晶界容易吸附溶质原子和杂质；晶界是相变首先发生的地方。

3．何为固溶强化？置换固溶体与间隙固溶体相比，哪个的固溶强化效果强？请简述影响固溶度的因素。

答：溶质原子溶入晶格中，阻碍位错运动，引起强度升高，塑性下降的现象。晶体结构类型、原子尺寸差、电负性差异、电子浓度都会影响固溶度。

4．请简述二元合金结晶的基本条件有哪些。

答：热力学条件；结构条件；能量条件；成分条件。

5．什么是反应扩散？请简述其特点。

答：扩散时，元素超过最大固溶度因而形成新相的扩散。。反应快速分为有扩散无反应层和有反应层； 两层之间有明确的界面； 反应扩散速度取决于扩散速度和反应速度。

6．简述在什么情况下会发生单滑移、多滑移和交滑移，它们的滑移线形貌特征是什么。

答：变形量小或滑移系少的时候发生单滑移； 变形量大或滑移系多时多个滑移系同时或交替开动称为多滑移；当螺位错为了避开障碍物改变滑移面时称为交滑移。单滑移滑移线为平行直线； 多滑移为交叉的两组平行直线； 交滑移为波纹线

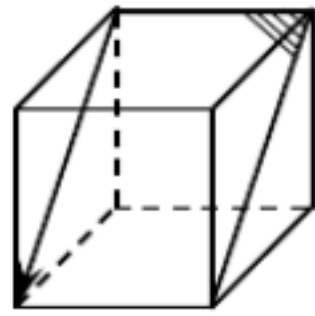
二、作图计算题（每题 10 分，共 40 分）

1．请计算简单立方和体心立方晶体的（ 100）、（ 110）和（ 111）晶面的面间距（假设两种点阵的点阵常数都是 a）。

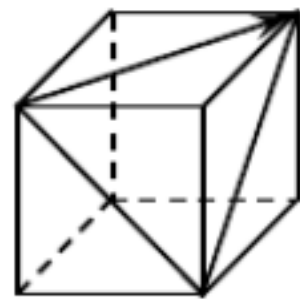
答：

| | (100) | (110) | (111) |
|------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 简单立方 | a (1 分) | $\frac{\sqrt{2}}{2} a$ (1 分) | $\frac{\sqrt{3}}{2} a$ (2 分) |
| 体心立方 | $\frac{a}{2}$ (2 分) | $\frac{\sqrt{2}}{2} a$ (2 分) | $\frac{\sqrt{3}}{6} a$ (2 分) |

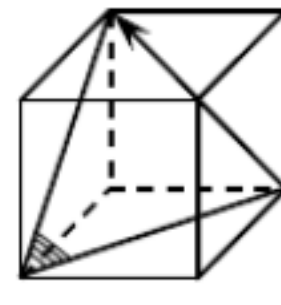
2. 在面心立方晶体中，分别画出 (101) 、 $[10\bar{1}]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 、 $[\bar{1}10]$ 和、 (111) 、 $[0\bar{1}1]$ ，指出哪些是滑移面、滑移方向，并就图中情况分析它们能否构成滑移系？若外力方向为 $\langle 001 \rangle$ ，请问哪些滑移系可以开动？



(101) 、 $[10\bar{1}]$
不能构成滑移系



$(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 、 $[\bar{1}10]$
能构成滑移系
不能开动



(111) 、 $[0\bar{1}1]$
能构成滑移系
能开动

3. 请判定下列反应能否进行，若能够进行，则在简单立方晶胞内绘出参加反应位错的柏氏矢量。

$$(1) \quad \frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111] \rightarrow a[001]$$

几何条件： $\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111] = \frac{a}{2}[002] = a[001]$ ，满足几何条件

能量条件：

$$b_1^2 + b_2^2 = \left(\frac{a}{2} \sqrt{(-1)^2 + (-1)^2 + 1^2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \right)^2 = \frac{3}{4} a^2$$

$$b_3^2 = (a \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2})^2 = a^2$$

不满足能量条件，反应不能进行。

$$(2) \quad \frac{a}{2}[110] \rightarrow \frac{a}{6}[12\bar{1}] + \frac{a}{6}[211]$$

几何条件： $\frac{a}{6}[12\bar{1}] + \frac{a}{6}[211] = \frac{a}{6}[330] = \frac{a}{2}[110]$ ，满足几何条件

能量条件：

$$b_1^2 = \left(\frac{a}{2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 0^2} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} a \right)^2 = \frac{a^2}{2}$$

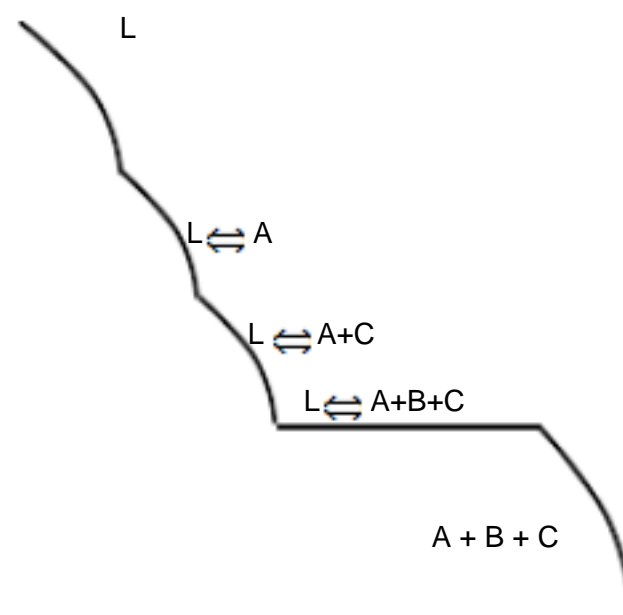
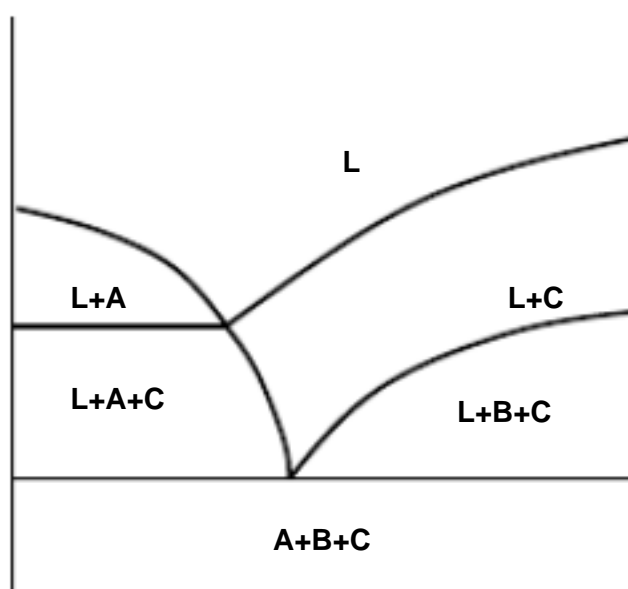
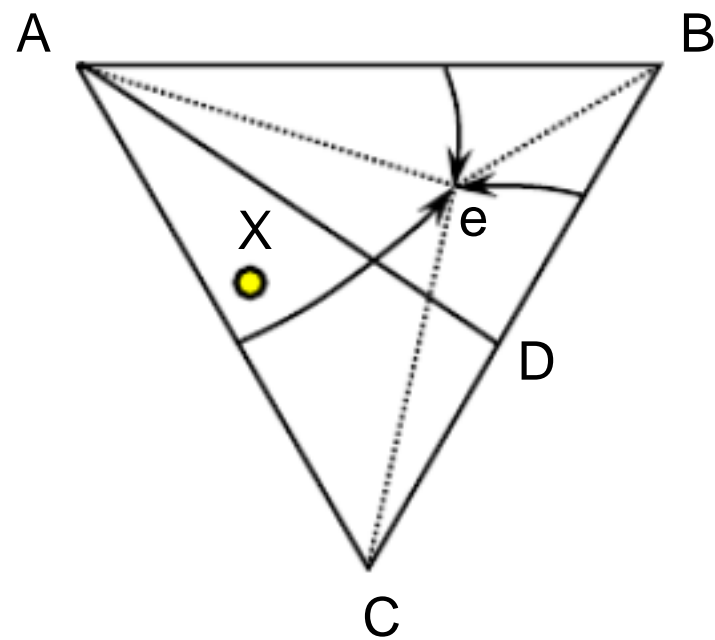
$$b_2^2 + b_3^2 = \left(\frac{a}{6} \sqrt{1^2 + 2^2 + (-1)^2} \right)^2 + \left(\frac{a}{6} \sqrt{2^2 + 1^2 + 1^2} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{6}}{6} a \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{6}}{6} a \right)^2 = \frac{a^2}{3}$$

满足能量条件，反应可以进行。

4. 已知三元简单共晶的投影图，见附图，

3) 请画出 AD代表的垂直截面图及各区的相组成；

4) 请画出 X合金平衡冷却时的冷区曲线，及各阶段相变反应。



三、综合分析题（每题 15 分，共 30 分）

1. 已知 Mg-Ni 合金系中一个共晶反应：



设有 G_1 和 G_2 两种合金， G_1 为亚共晶， G_2 为过共晶。这两种合金的初生相质量分数相等，但室温时 G_1 中 α (即 Mg) 的总量是 G_2 中 α 总量的 2.5 倍，请确定 G_1 和 G_2 的成分。

答：1) 见习题集，图略

$$2) \begin{cases} \frac{23.5 - x_1}{23.5} = \frac{x_2 - 23.5}{54.6 - 23.5} \\ \frac{54.6 - x_1}{54.6} = 2.5 \times \frac{54.6 - x_2}{54.6} \end{cases}$$

$$x_1 = 12.7\%$$

$$x_2 = 37.8\%$$

2. 某工厂对一大型零件进行淬火处理，经过 1100 加热后，用冷拉钢丝绳吊挂，由起重吊车送往淬火水槽，行至途中钢丝突然发生断裂。该钢丝是新的，且没有瑕疵，是分析该钢丝绳断裂的原因。

答：冷拉钢丝处于加工硬化状态，强度高。在 1100 加热后，发生再结晶，强度下降。出炉时，钢丝承担不了工件的重量发生断裂，并非因钢丝瑕疵导致断裂。

模拟试题 3

简答题（每题 5 分，共 30 分）

1. 固溶体晶粒内存在偏析，主轴与枝间成分不同，整个晶粒还是不是一个相？

答：仍然是一个相，因为固溶体可以有相应的成分变化范围。

2. 固体中常见的有哪些相结构？

答：固溶体中常见的相结构有固溶体，化合物，非晶相，分子相。

3. 何谓平衡结晶？何谓非平衡结晶？

答：平衡结晶是指结晶速度非常缓慢，液相和固相中扩散均很充分的情况下的结晶。非平衡结晶是指结晶速度比较快，扩散不充分的情况下的结晶。

4. 扩散第一定律的应用条件是什么？对于浓度梯度随时间变化的情况，能否应用扩散第一定律？

答：扩散第一定律的应用条件是稳态扩散，即与时间无关的扩散。对于非稳态扩散的情况也可以应用扩散第一定律，但必须对其进行修正。

5. 按热力学分，固态相变有哪几类？分类依据是什么？铁碳合金中， Fe_3C 的形成属于其中的哪一类？

答：按热力学分固态相变分为一级相变、二级相变和高级相变。 Fe_3C 的形成属于一级相变。

6. 复合材料按增强体形态可以分为哪几类？

答：可以分为连续纤维增强复合材料、短纤维增强复合材料和颗粒增强复合材料。

二、作图计算题（每题 8 分，共 40 分）

1. 已知 H 原子半径 r 为 0.0406nm，纯铝是 fcc 晶体，其原子半径 R 为 0.143nm，请问 H 原子溶入 Al 时处于何种间隙位置？

答：fcc 晶体的八面体间隙 $\frac{r}{R} = 0.414$ ，四面体间隙 $\frac{r}{R} = 0.225$ 。

根据题意知 $\frac{r_{\text{H}}}{R_{\text{Al}}} = \frac{0.0406}{0.143} = 0.284$ ，因此 H 原子应处于八面体间隙。

2. 现有 Zn 在 Cu 中的稀固溶体，已知 Zn 的扩散系数在 727 时的扩散系数为 $3.67 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ ，在 327 时为 $8.32 \times 10^{-18} \text{ cm}^2/\text{s}$ ，请确定 Zn 在 Cu 中的扩散激活能。（ $R=8.314\text{J/mol} \cdot \text{K}$ ）

答： $D_{727} = 3.67 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT_1}\right)$ ；

$$D_{327} = 8.32 \times 10^{-18} \text{ cm}^2/\text{s} = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT_2}\right)$$

$$\ln\left(\frac{D_{727}}{D_{327}}\right) = \left(-\frac{Q}{R}\right)\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\begin{aligned} \text{解得：} Q &= -R \left[\ln\left(\frac{D_{727}}{D_{327}}\right) \right] \left(\frac{1}{1/T_1 - 1/T_2} \right) = -8.314 \times \left(\ln \frac{3.67 \times 10^{-11}}{8.32 \times 10^{-18}} \right) \times \left(\frac{1}{1/1000 - 1/600} \right) \\ &= 190800 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

3. 一个 fcc 晶体在 $[\bar{1}23]$ 方向在 2MPa 正应力下屈服，已测得开动的滑移系是 $(111)[\bar{1}01]$ ，请确定使该滑移系开动的分切应力。

答：
$$\cos \phi = \frac{[\bar{1}23][111]}{|\bar{1}23||111|} = \frac{-1+2+3}{\sqrt{14}\sqrt{3}} = 0.617$$

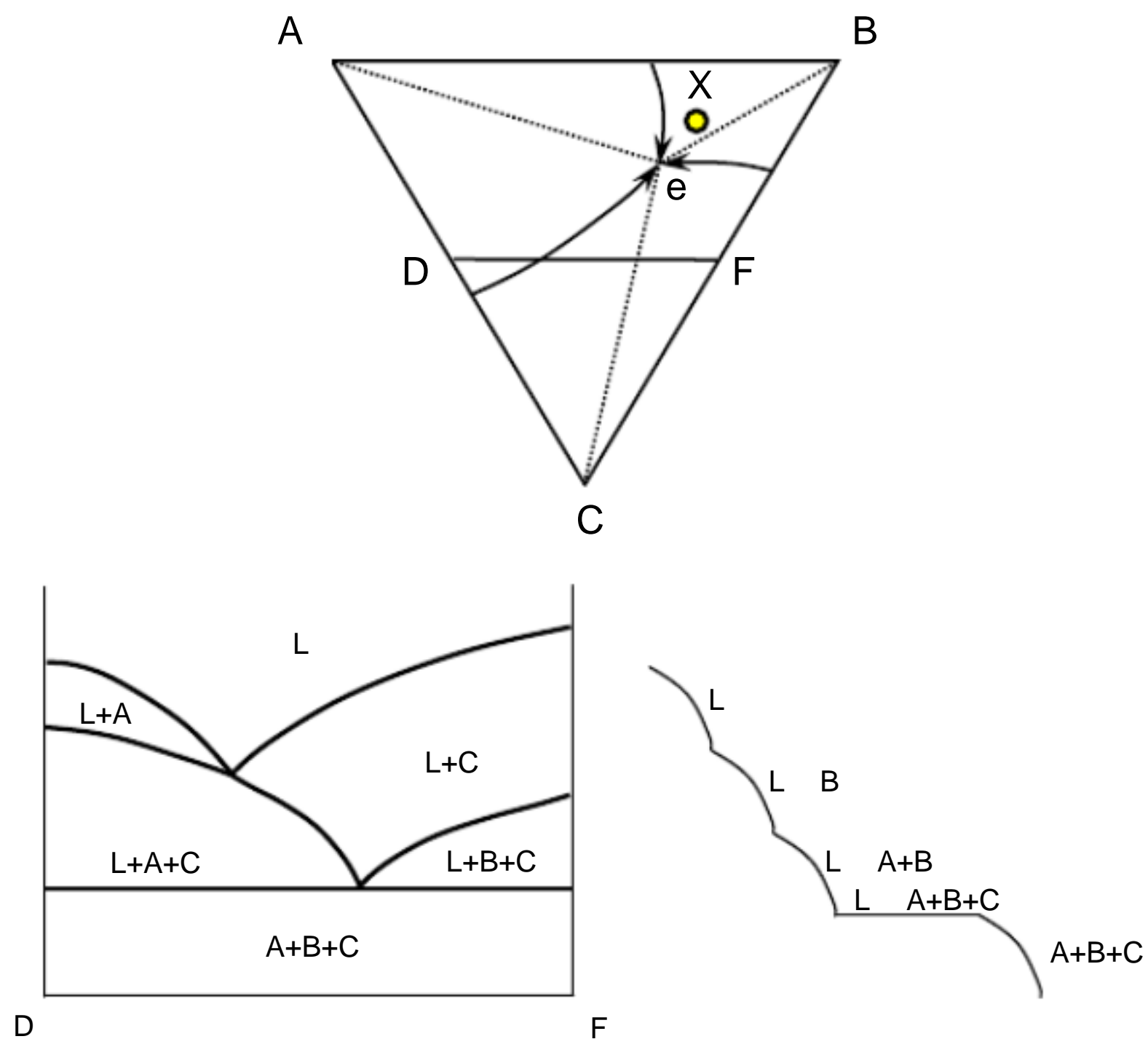
$$\cos \lambda = \frac{[\bar{1}23][\bar{1}01]}{|\bar{1}23||\bar{1}01|} = \frac{1+0+3}{\sqrt{14}\sqrt{2}} = 0.756$$

$$\tau = 2 \times 0.617 \times 0.756 = 0.933 \text{MPa}$$

4. 对于 Cu 含量 0.04 的 Al-Cu 合金，经过 80%冷变形后，分别在 700K, 350K 保温 1 小时，请画出缓慢冷却到室温后的金相组织，并分析两组织出现差异的原因。

答：700K 退火 1 小时后发生形成单一 θ 相，冷却是脱溶出 θ 相。250K 则仅发生回复，金相组织保持冷变形的组织形态。绘图略

5. 请根据附图作出简单三元共晶相图的垂直截面，并标明各个相区的相组成；
绘出合金 X 的冷却曲线，并标明各阶段的相变反应或相组成



三、综合分析题（每题 15 分，共 30 分）

1. 若需要对纯铝试样进行强化，可以采用什么强化手段？通过何种手段实现？

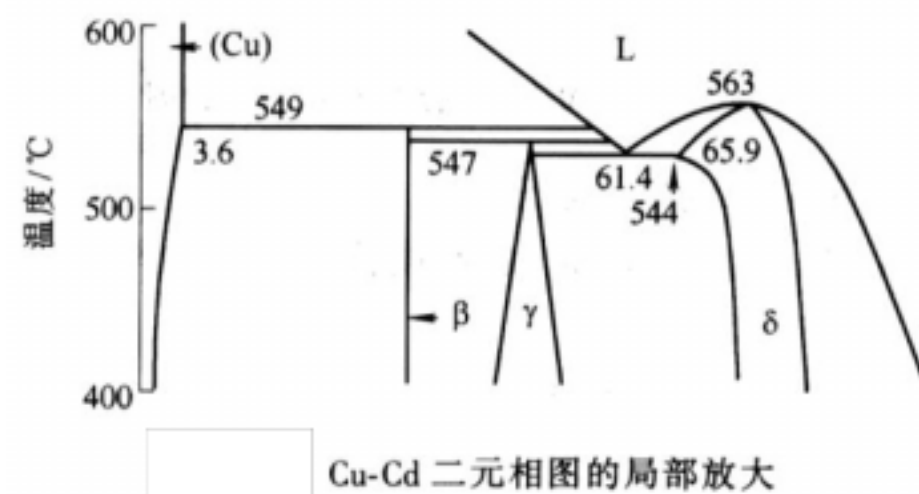
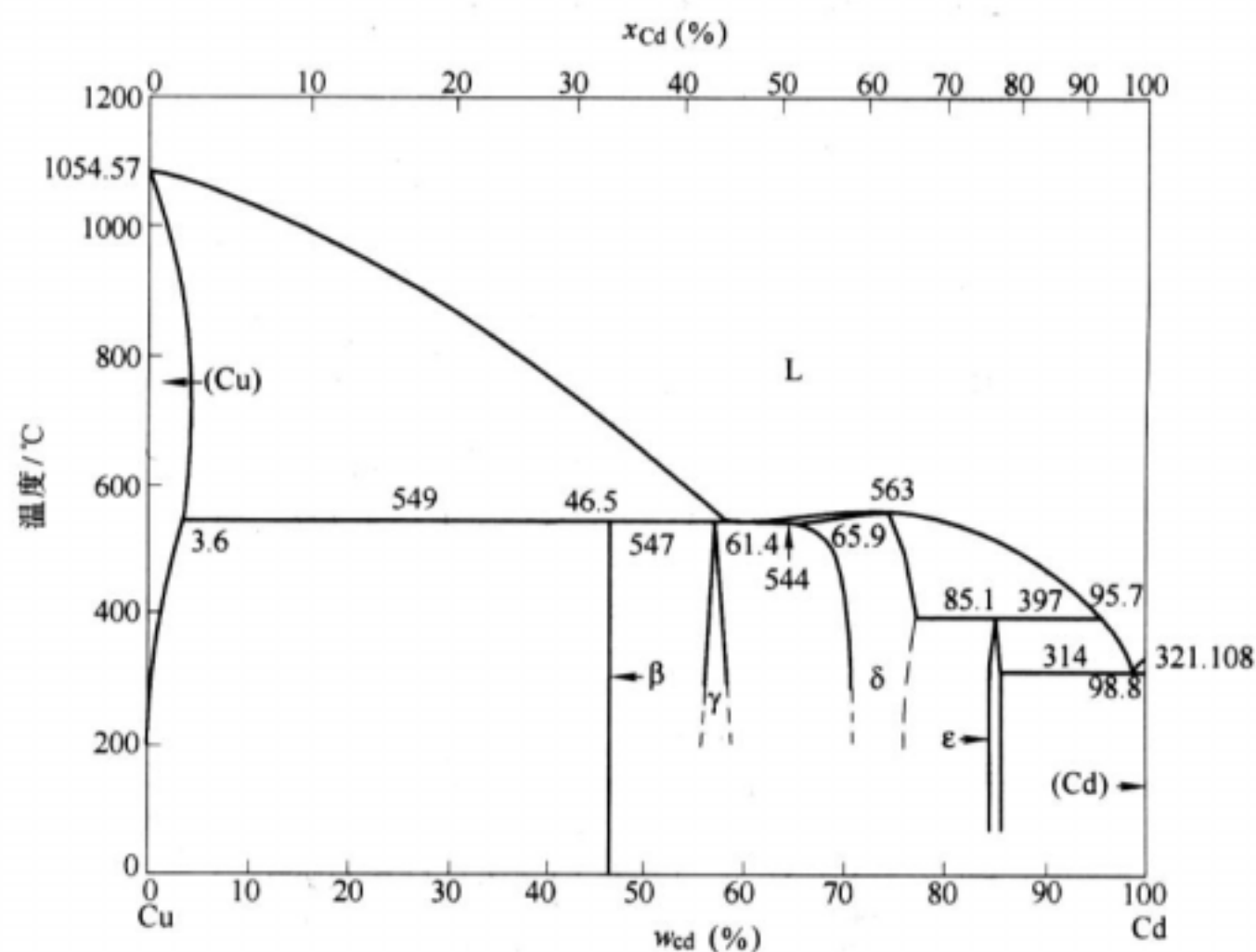
答：细晶强化，可以通过快速结晶或变形再结晶实现；

加工硬化，经适当的冷塑性变形后可以提高强度。

2. 图示 Cu-Cd 二元相图全图及其 400 ~ 600 范围的局部放大：

1) 请根据相图写出 549、547、544、397 和 314 五条水平线的三相平衡反应类型及其反应式；

2) 已知 相成分为 $w_{Cd} = 46.5\%$ ，400 时 相的成分为 $w_{Cd} = 57\%$ ，请计算 400 时 $w_{Cd} = 50\%$ 合金的相组成。



答：

1) 549 : 包晶反应， $(Cu) + L$
547 : 包晶反应， $\beta + L$

544 : 共晶反应, L +
397 : 包晶反应, + L
314 : 共晶反应, L + (Cd)

2) $\beta\% = \frac{57 - 50}{57 - 46.5} \times 100\% = 66.7\%$

或 $\gamma\% = \frac{50 - 46.5}{57 - 46.5} \times 100\% = 33.3\%$

模拟试题 4

简答题 (每题 6 分 , 共 30 分)

7. 请简述工程材料的分类。

答 : 金属材料 , 陶瓷材料 , 高分子材料 , 复合材料。

8. 请简述滑移和孪生变形的特点 ?

答 :

滑移变形特点 :

- 1) 平移滑动 : 相对滑动的两部分位向关系不变
- 2) 滑移线与应力轴呈一定角度
- 3) 滑移不均匀性 : 滑移集中在某些晶面上
- 4) 滑移线先于滑移带出现 : 由滑移线构成滑移带
- 5) 特定晶面 , 特定晶向

孪生变形特点 :

- 1) 部分晶体发生均匀切变
- 2) 变形与未变形部分呈镜面对称关系 , 晶体位向发生变化
- 3) 临界切分应力大
- 4) 孪生对塑变贡献小于滑移
- 5) 产生表面浮凸

9. 若将一位错线的正方向定义为原来的反向 , 此位错的柏氏矢量是否改变 ? 位

$$\left(\bar{2}31\right) \frac{y}{dx} = 3.6 \times 10^{-8} \text{mol/m}^4$$

错的类型是否改变？

答：柏氏矢量反向。位错类型不变，符号改变。

10. 动态再结晶与静态再结晶后的组织有何差别？力学性能有何差别？

答：动态再结晶后获得中心有畸变的等轴晶，晶粒内部有被缠结位错分割的亚晶。静态再结晶后获得低位错密度的等轴晶。一般，动态再结晶后的强度、硬度比静态再结晶的高。

11. 请简述金属间化合物的一般特性。

答：金属间化合物种类繁多，机构复杂，一般具有极高的硬度，较高的熔点，塑形差。往往具有特殊的物理化学性质。

二、作图计算题（每题 10 分，共 40 分）

6. 设有一条内径为 30mm 的厚壁管道，被壁厚 0.1mm 的铁膜隔开。由管子一端通入氮气，保持铁膜一侧活性氮原子浓度为 1200 mol/m^3 ，另一侧为 100 mol/m^3 。如果在 700 下测得通过管道的氮气流量为 $2.8 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$ ，求此时氮原子在铁中的扩散系数。

答：满足扩散第一定律应用条件，得：

活性氮原子通量为：

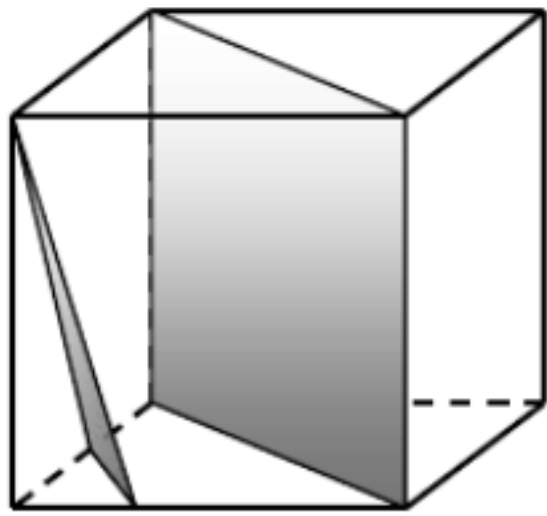
铁膜中活性氮原子浓度梯度为：

由扩散第一定律：

7. 请在立方晶胞中绘出 和 两晶面，并计算其夹角。

$$= \frac{-1 \times -2 + 1 \times 3 + 0 \times 1}{\sqrt{-1^2 + 1^2 + 0^2} \sqrt{-2^2 + 3^2 + 1^2}} = \frac{5}{\sqrt{2} \sqrt{6}} = \frac{5}{\sqrt{12}} = \frac{5}{2\sqrt{3}} = \frac{5\sqrt{3}}{6}$$

答：

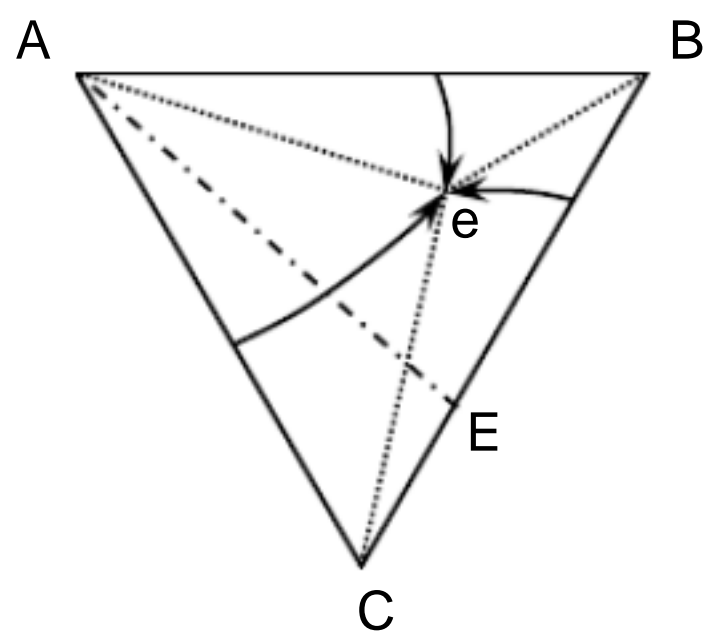


$$= 19.1^\circ$$

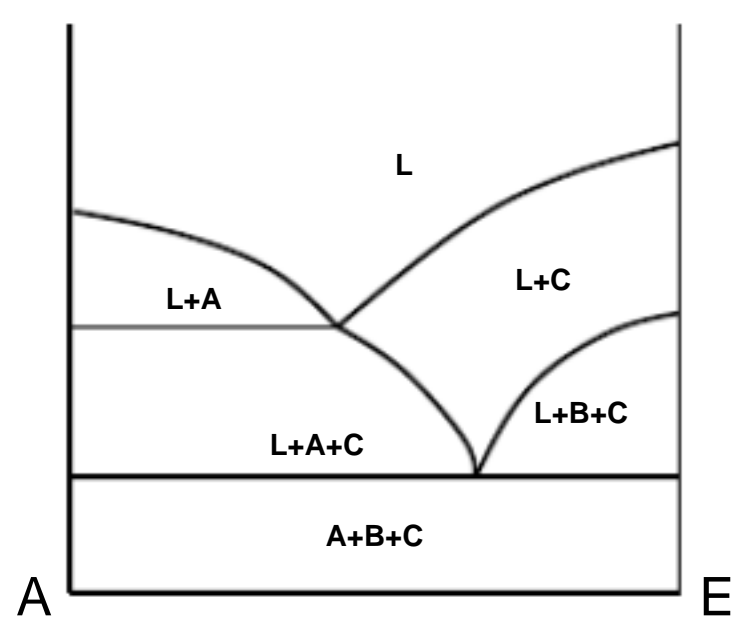
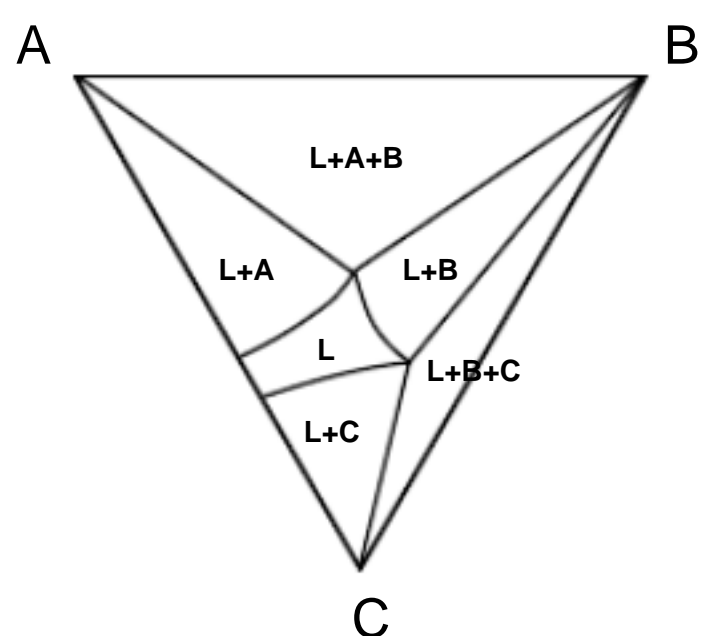
8. 请分别绘出室温下，共析钢、过共晶白口铸铁平衡组织； Al-5.0wt%Cu 合金平衡组织； Al-13%Si 合金平衡组织。

答：略

9. 已知简单三元共晶的投影图，且 A-B 共晶温度最高， B-C 共晶温度稍低， A-C 共晶温度最低。请绘出介于 B-C 和 A-C 共晶温度之间的等温截面，以及 AE 垂直截面图，并标注各区域的相组成。



答：



三、综合分析题（每题 15 分，共 30 分）

1. 请以层片状共晶组织为例，论述二元共晶时如何满足成分条件。

答：首先通过成分起伏获得某一组元的富集并形成共晶中的某一相（领先相），此时会在其周围形成另一组元的富集，比较容易满足另一相的形成条件，从而形成共晶中的另一相。如此反复，满足成分条件，交替形核，而形成共晶。

形核后，两相与液相的界面处均会形成溶质原子的富集，溶质原子通过横向扩散，满足两相生长所需的成分条件，实现液固界面的推进。

2. 根据 Al-Zr 二元相图回答：

1) 写出 1490 、 1250 、 975 、 940 的相变反应，并判断反应类型。

$$\text{AlZr}_2\% = \frac{30 - 25}{33.3 - 25} \times 100\% = 60.2\%$$

2) 画出 $x = 50.0\%$ 合金平衡结晶的冷却曲线，并标明各阶段的相变反应。

3) 计算 $x = 30.0\%$ 合金平衡结晶到室温下的相组成。

答：

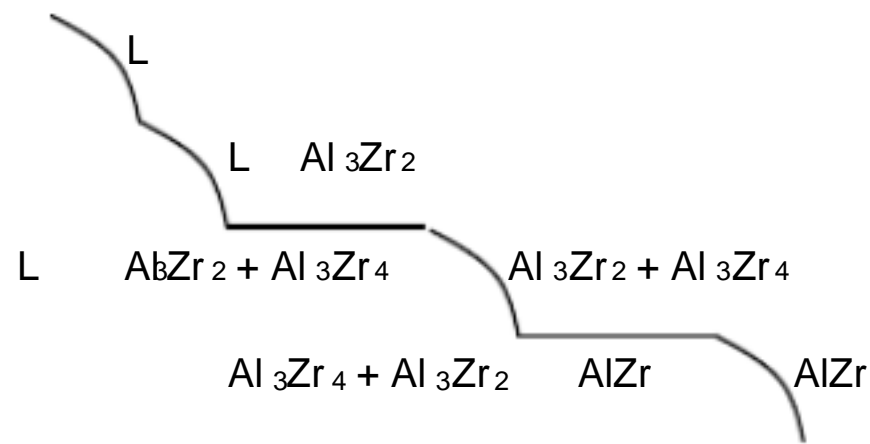
1) 1490 : $L \rightarrow \text{Al}_3\text{Zr} + \text{Al}_2\text{Zr}$ 共晶反应

1250 : $\text{Al}_3\text{Zr}_4 + \text{Al}_3\text{Zr}_2 \rightarrow \text{AlZr}$ 包析反应

975 : $-\text{Zr} + \text{AlZr}_2 \rightarrow \text{AlZr}_3$ 包析反应

940 : $-\text{Zr} + \text{AlZr}_3 \rightarrow -\text{Zr}$ 包析反应

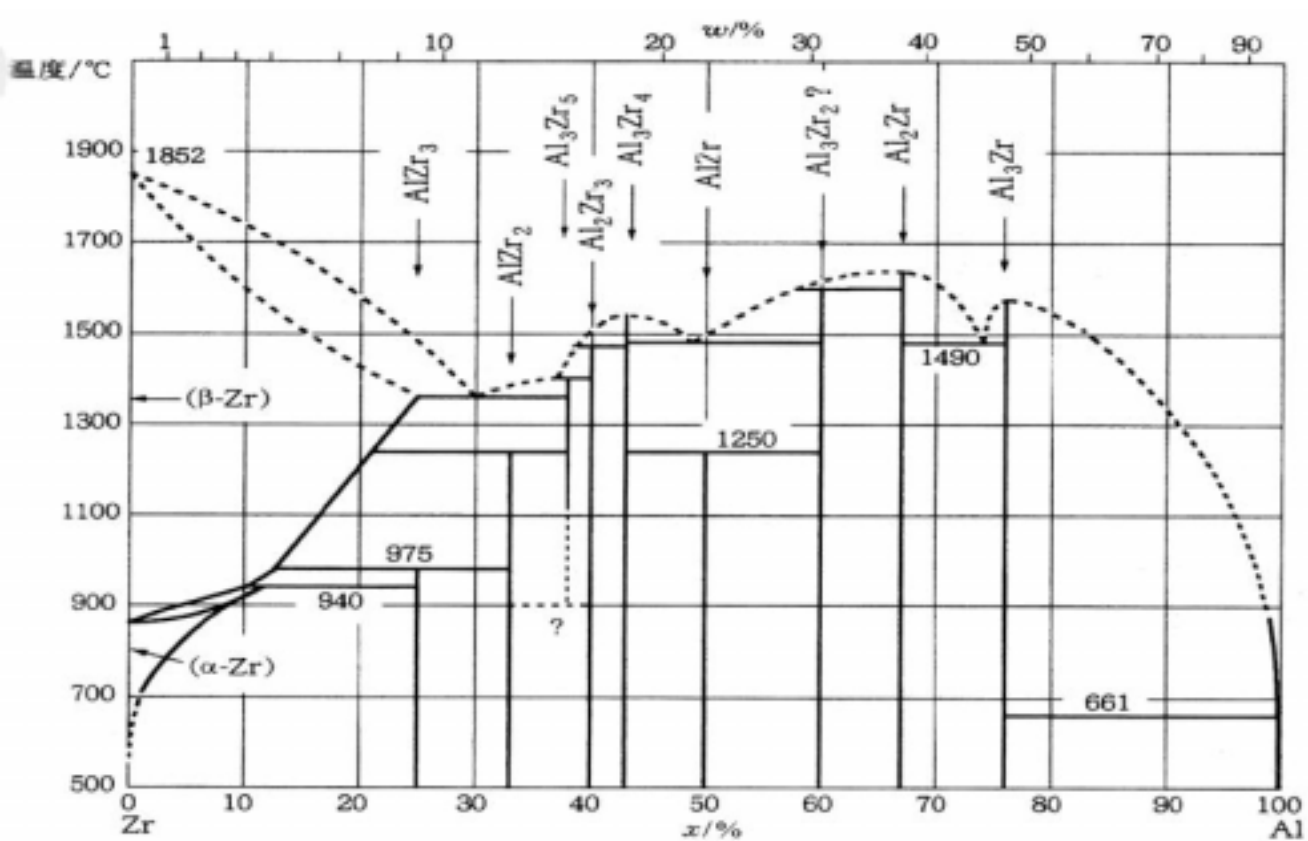
2)



3) $x = 30.0\%$ 合金室温下相组成为：

$\text{AlZr}_3 + \text{AlZr}_2$

AlZr_3 中含 $\text{Al} = 25\%$ ， AlZr_2 中含 $\text{Al} = 33.3\%$



简答题（每题 5 分，共 30 分）

12. 什么是柏氏矢量？它有哪些特征？

答：柏氏矢量是描述晶体中位错性质及其引起畸变方向、程度的一种数学方法。它具有唯一性、同一性和可加性。

13. 固溶体的固溶度受哪些因素的影响？

答：原子尺寸、晶体结构、电负性、电子浓度。

14. 请总结并简要回答二元合金平衡结晶过程中，单相区、双相区和三相区各相成分的变化规律。

答：单相区：相成分为合金平均成分，不随温度变化；
双相区：两相成分分别位于该相区的边界，并随温度沿相区边界变化；
三相区：三相具有确定成分，且不随结晶过程变化。

15. 什么是上坡扩散？哪些情况下会发生上坡扩散？

答：由低浓度处向高浓度处扩散的现象称为上坡扩散。应力场作用、电场磁场作用、晶界内吸附作用和调幅分解反应等情况下可能发生上坡扩散。

16. 何为固溶强化？请简述其强化机制。

答：固溶强化就是溶质原子通过某种方式阻碍位错运动，从而使合金强度提高的现象。其主要机制包括：（1）柯氏气团，即溶质原子与基体原子尺寸不同，产生的弹性应力场对位错运动产生阻碍；（2）铃木气团，即溶质原子降低了基体

$$\frac{(\bar{1}\bar{1}1)[011]}{|b_2|} = a\sqrt{1+0+0} = a\sqrt{1} = a$$

的层错能，使位错分解称为扩展位错，阻碍位错运动；（3）电交互作用，即溶质原子为带电粒子，与位错形成静电作用力，阻碍位错运动。

17. 室温下对某种金属材料进行塑性变形，能发生动态再结晶吗？为什么？

答：可能。若再结晶温度低于室温，则室温下的变形属于热变形，就可能发生动态再结晶。

二、作图计算题（每题 8 分，共 40 分）

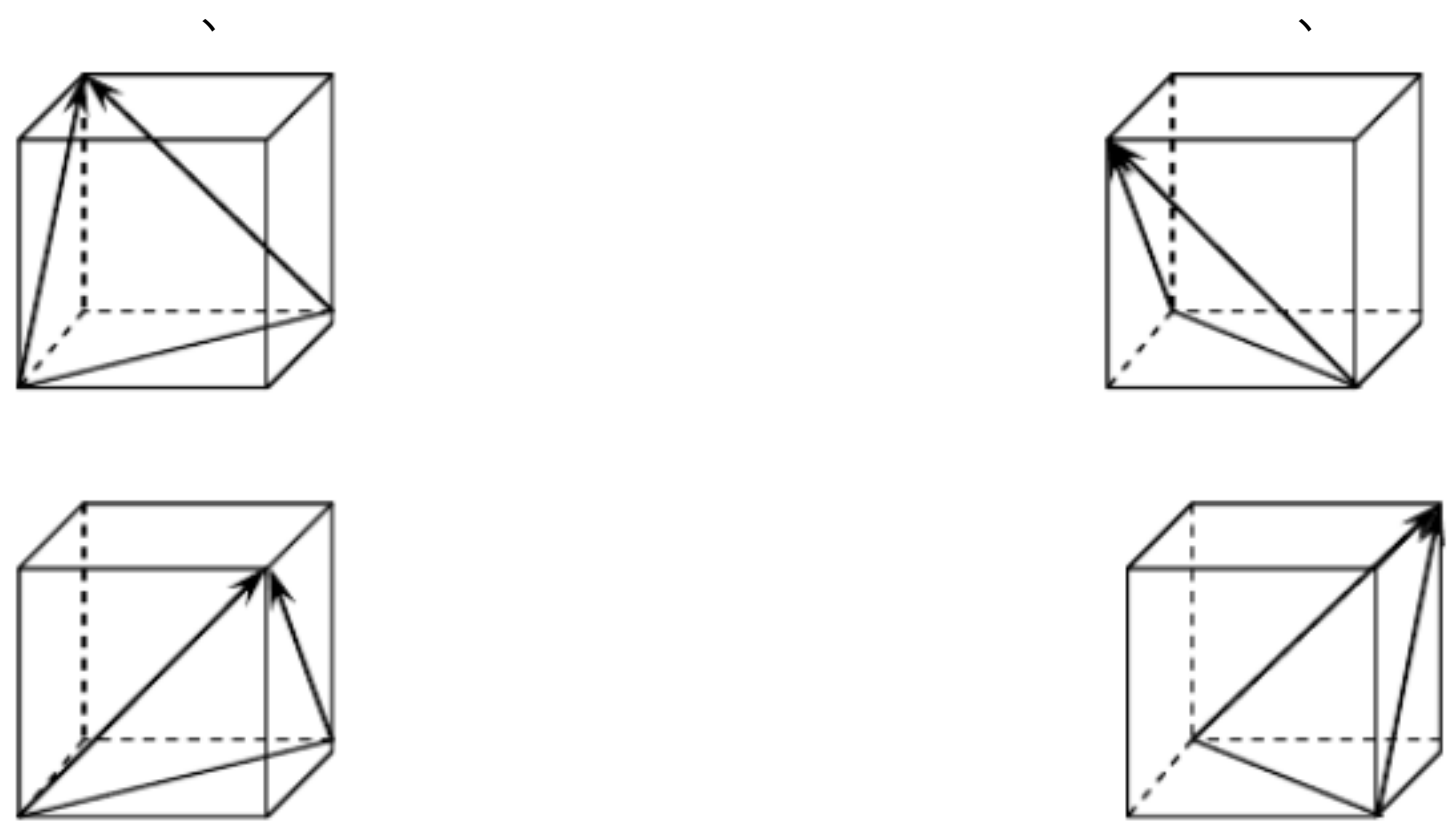
10. 请比较 FCC晶体中 $\frac{1}{2}[110]$ 和 $\frac{1}{2}[\bar{1}\bar{1}0]$ 两位错的畸变能哪个较大。

答：

故： b_1 能量较低。

11. 面心立方晶体沿 $[001]$ 方向拉伸，可能有几个滑移系开动？请写出各滑移系指数，并分别绘图示之。

答：可能开动的有 8 个。分别是：



$$D_{1000^{\circ}\text{C}} = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{8.314 \times (1000 + 273)}\right) = 1.6 \times 10^{-12}$$

12. 假设某合金平衡结晶时形成的临界晶核为边长为 a 的立方体。已知该合金体系液固界面能为 σ ，单位体积自由能差为 G_v 。请推导均匀形核时临界晶核边长 a^* 和临界形核功 G^* 的表达式。

答： $G = a^3 G_v + 6a^2 \sigma$

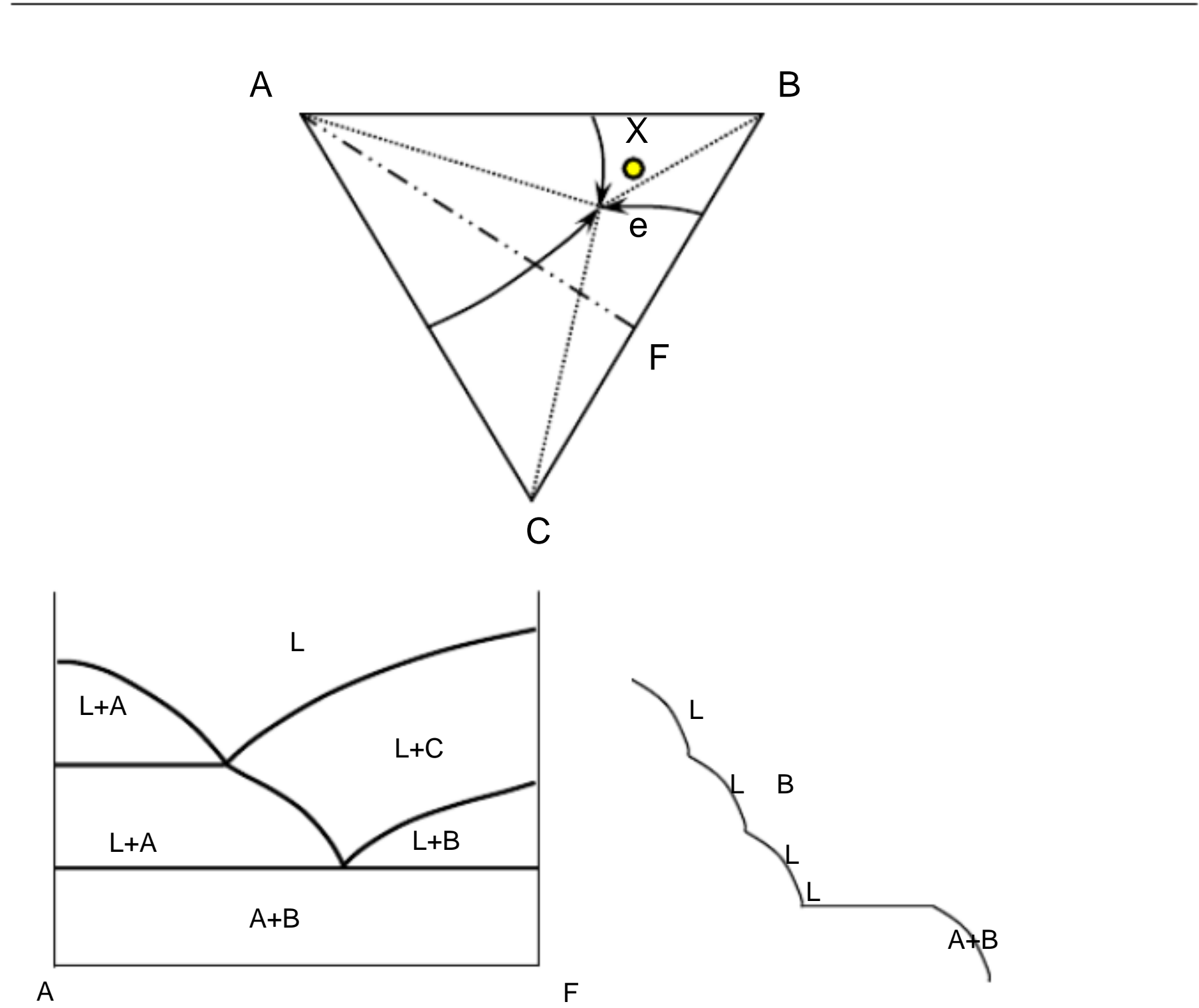
13. 500℃ 时，Al 在 Cu 中的扩散系数为 $2.6 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ ；1000℃ 时则为 $1.6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。计算该扩散偶的 D_0 和扩散激活能 Q （ $R=8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ）

答：

$$Q = 180435.396 \text{ J/mol} = 3 \times 10^{-19} \text{ J/atom}$$

$$D_0 = 4.056 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

14. 请根据附图作出简单三元共晶相图中 AF 所代表的垂直截面，并标明各个相区的相组成；绘出合金 X 的冷却曲线，并标明各阶段的相变反应或相组成

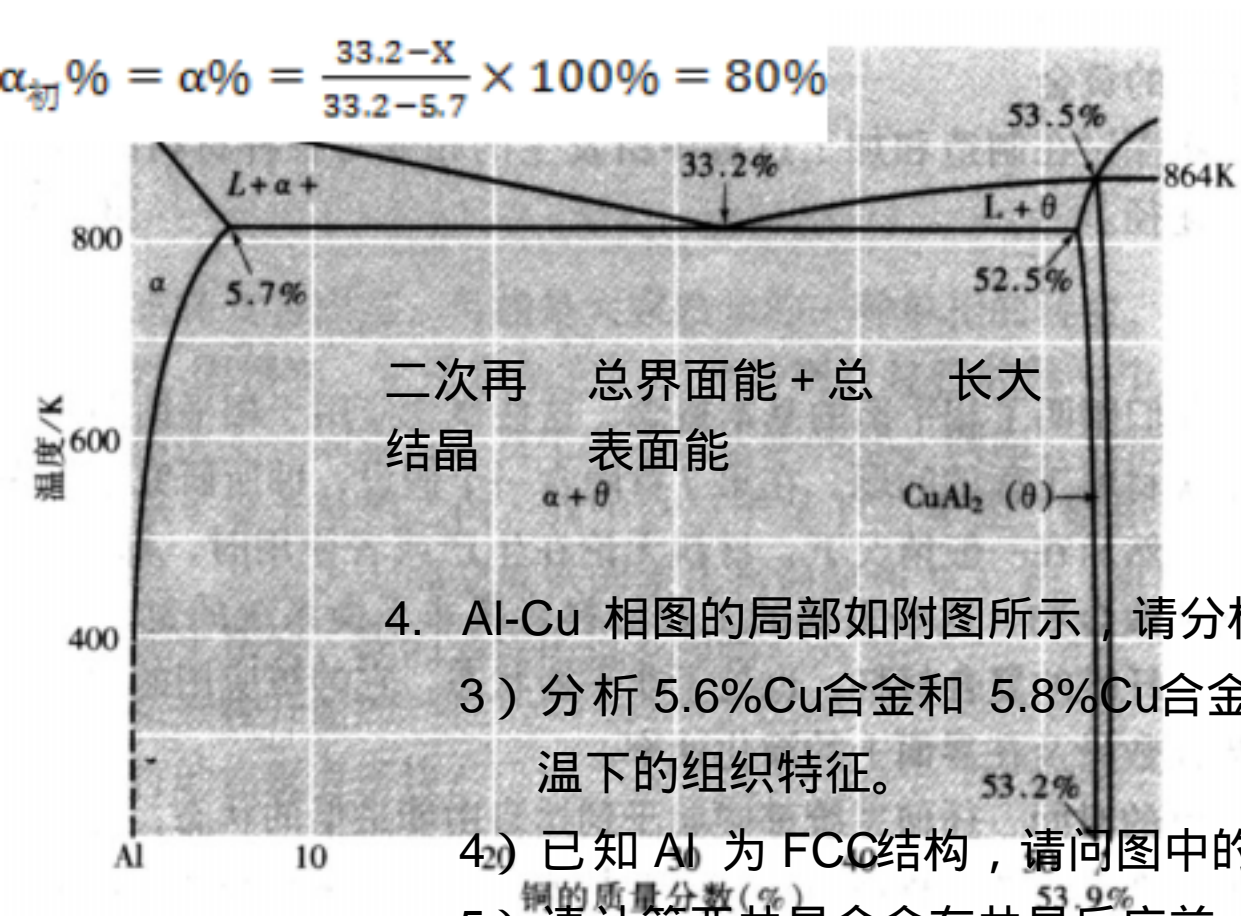


三、综合分析题（每题 15 分，共 30 分）

3. 请分析回复、再结晶、正常长大、二次再结晶的热力学驱动力和动力学特征。

答：

| | 热力学驱动力 | 动力学特征 |
|------|------------|-------|
| 回复 | 存储能（点阵畸变能） | 弛豫过程 |
| 再结晶 | 存储能（点阵畸变能） | 形核长大 |
| 正常长大 | 总界面能 | 长大 |



4. Al-Cu 相图的局部如附图所示，请分析并回答：

3) 分析 5.6%Cu 合金和 5.8%Cu 合金在平衡结晶和快速冷却不平衡结晶时，室温下的组织特征。

4) 已知 Al 为 FCC 结构，请问图中的 α 相是什么晶体结构？为什么？

5) 请计算亚共晶合金在共晶反应前一刻的平衡分配系数。

6) 设 X 合金平衡结晶完成时的组织为 $\alpha_{初} + (\alpha + \theta)_{共}$ ，其中 $\alpha_{初}$ 占 80%。请问，该合金刚刚凝固完毕时 θ 相的含量有多少。

答：

1) 5.6%Cu 合金平衡结晶至室温组织为 $\alpha_{初} + (\alpha + \theta)_{共}$ ，快速冷却至室温将还出现少量非平衡共晶组织；

5.8%Cu 合金平衡结晶组织为 $\alpha_{初} + (\alpha + \theta)_{共} + \theta_{非平衡}$ ，快冷组织会出现离异共晶。

2) α 相仍然是 FCC 结构。 α 相为固溶体，保持 Al 的晶体结构。

3)

4)

X=11.2%Cu

$$\theta\% = \frac{11.2-5.7}{52.5-5.7} \times 100\% = 11.75\%$$

模拟试题 5

简答题（每题 5 分，共 30 分）

18. 什么是柏氏矢量？它有哪些特征？

答：柏氏矢量是描述晶体中位错性质及其引起畸变方向、程度的一种数学方法。它具有唯一性、同一性和可加性。

19. 固溶体的固溶度受哪些因素的影响？

答：原子尺寸、晶体结构、电负性、电子浓度。

20. 请总结并简要回答二元合金平衡结晶过程中，单相区、双相区和三相区各相成分的变化规律。

答：单相区：相成分为合金平均成分，不随温度变化；

双相区：两相成分分别位于该相区的边界，并随温度沿相区边界变化；

三相区：三相具有确定成分，且不随结晶过程变化。

21. 什么是上坡扩散？哪些情况下会发生上坡扩散？

答：由低浓度处向高浓度处扩散的现象称为上坡扩散。应力场作用、电场磁场作用、晶界内吸附作用和调幅分解反应等情况下可能发生上坡扩散。

22. 何为固溶强化？请简述其强化机制。

答：固溶强化就是溶质原子通过某种方式阻碍位错运动，从而使合金强度提高的现象。其主要机制包括：（1）柯氏气团，即溶质原子与基体原子尺寸不同，产生的弹性应力场对位错运动产生阻碍；（2）铃木气团，即溶质原子降低了基体的层错能，使位错分解称为扩展位错，阻碍位错运动；（3）电交互作用，即溶质原子为带电粒子，与位错形成静电作用力，阻碍位错运动。

23. 室温下对某种金属材料进行塑性变形，能发生动态再结晶吗？为什么？

答：可能。若再结晶温度低于室温，则室温下的变形属于热变形，就可能发生动态再结晶。

$$\frac{(\bar{1}11)[101]}{|b_2|} = a\sqrt{1+0+0} = a\sqrt{1} = a$$

二、作图计算题（每题 8 分，共 40 分）

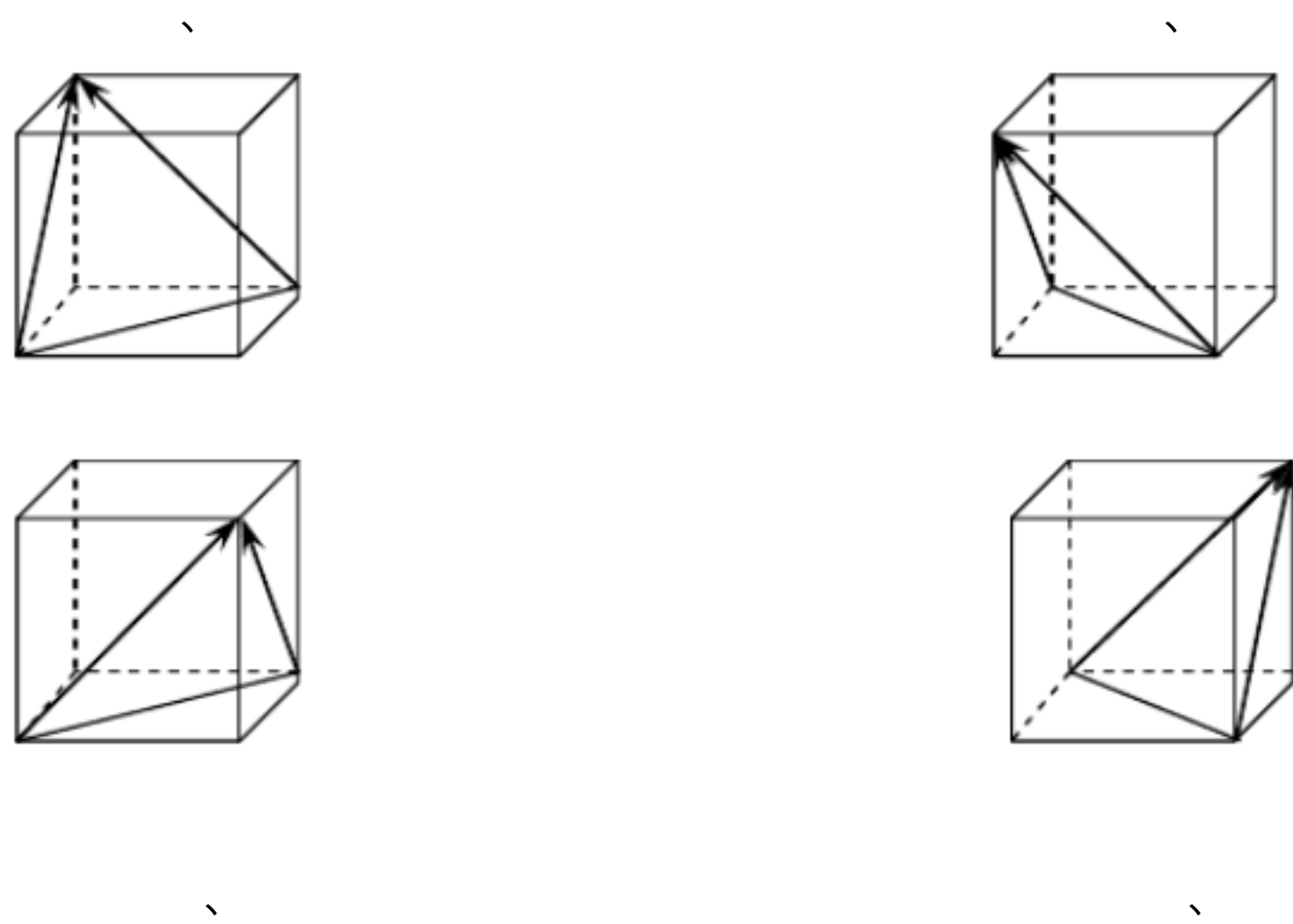
15. 请比较 FCC晶体中 和 两位错的畸变能哪个较大。

答：

故：b₁ 能量较低。

16. 面心立方晶体沿 [001] 方向拉伸，可能有几个滑移系开动？请写出各滑移系指数，并分别绘图示之。

答：可能开动的有 8 个。分别是：



17. 假设某合金平衡结晶时形成的临界晶核为边长为 a 的立方体。已知该合金体系液固界面能为 γ，单位体积自由能差为 ΔG_v。请推导均匀形核时临界晶核边长 a* 和临界形核功 G* 的表达式。

答： $G = a^3 \Delta G_v + 6a^2 \gamma$

$$D_{1000^{\circ}\text{C}} = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{8.314 \times (1000 + 273)}\right) = 1.6 \times 10^{-12}$$

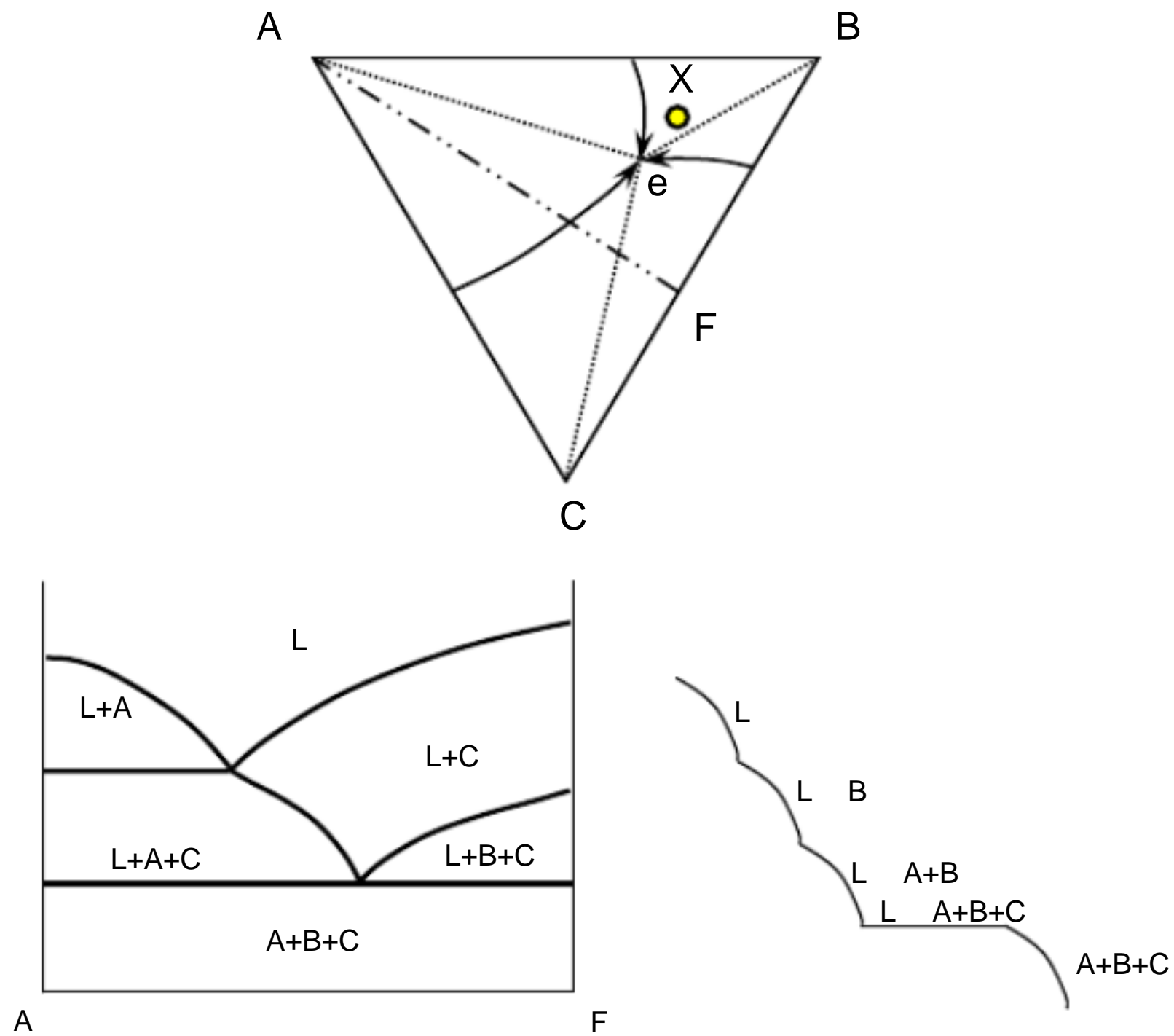
18. 500 时, Al 在 Cu 中的扩散系数为 $2.6 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$; 1000 时则为 $1.6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。计算该扩散偶的 D_0 和扩散激活能 Q ($R=8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)

答：

$$Q = 180435.396 \text{ J/mol} = 3 \times 10^{-19} \text{ J/atom}$$

$$D_0 = 4.056 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

19. 请根据附图作出简单三元共晶相图中 AF 所代表的垂直截面，并标明各个相区的相组成；绘出合金 X 的冷却曲线，并标明各阶段的相变反应或相组成



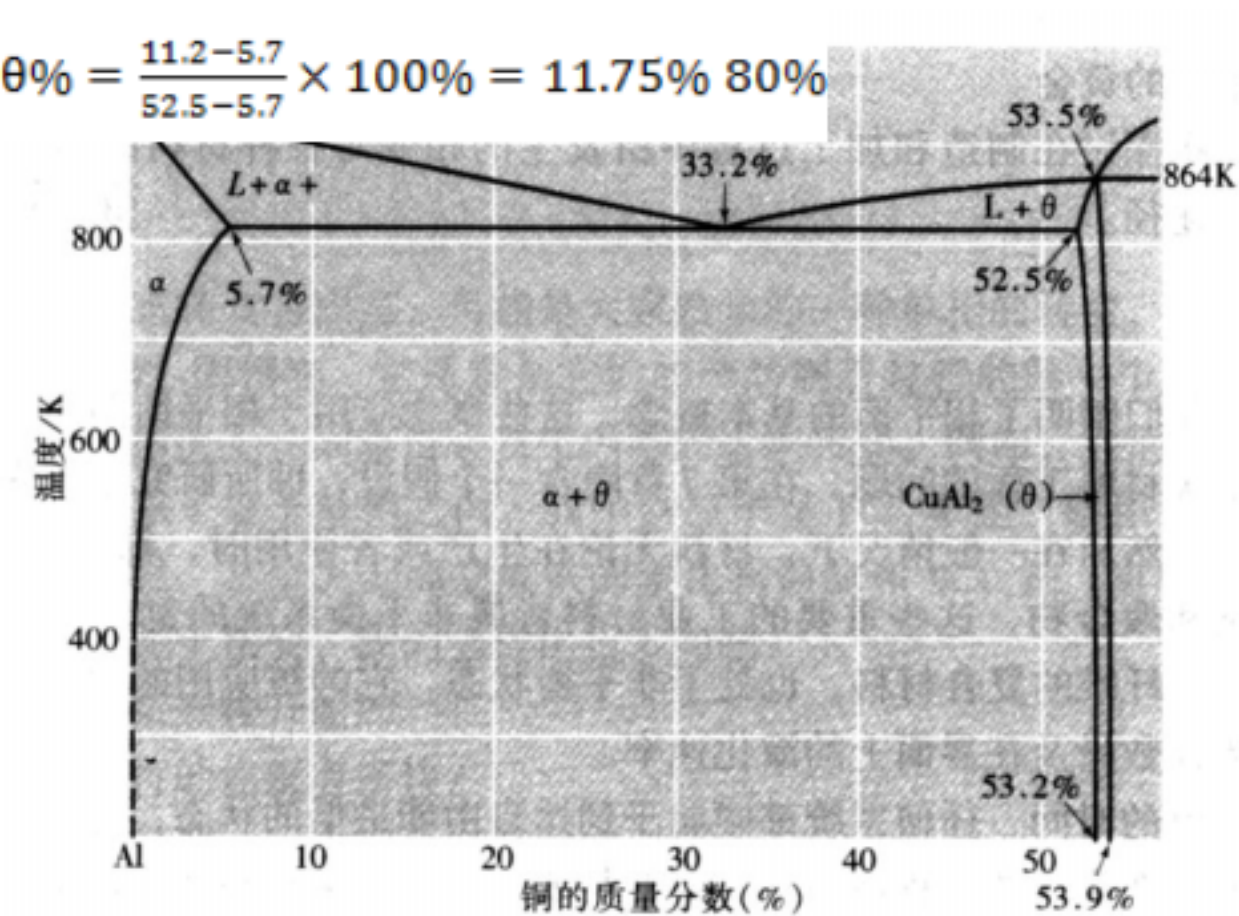
三、综合分析题（每题 15 分，共 30 分）

5. 请分析回复、再结晶、正常长大、二次再结晶的热力学驱动力和动力学特征。

| | | |
|-------|-------------|-------|
| | 热力学驱动力 | 动力学特征 |
| 回复 | 存储能（点阵畸变能） | 弛豫过程 |
| 再结晶 | 存储能（点阵畸变能） | 形核长大 |
| 正常长大 | 总界面能 | 长大 |
| 二次再结晶 | 总界面能 + 总表面能 | 长大 |

6. Al-Cu 相图的局部如附图所示，请分析并回答：

- 7) 分析 5.6%Cu合金和 5.8%Cu合金在平衡结晶和快速冷却不平衡结晶时，室温下的组织特征。
- 8) 已知 Al 为 FCC结构，请问图中的 α 相是什么晶体结构？为什么？
- 9) 请计算亚共晶合金在共晶反应前一刻的平衡分配系数。
- 10) 设 X 合金平衡结晶完成时的组织为 $\alpha_{初}+(\alpha+)$ 共,其中 $\alpha_{初}$ 占 80% 请问，该合金刚刚凝固完毕时 相的含量有多少。



答：

5) 5.6%Cu合金平衡结晶至室温组织为 α 初+ $\alpha+\theta$ ，快速冷却至室温将还出现少量非平衡共晶组织 ；

5.8%Cu合金平衡结晶组织为 α 初+($\alpha+\theta$)共+ θ ,快冷组织会出现离异共晶 。

6) α 相仍然是 FCC结构 。 α 相为固溶体，保持 Al 的晶体结构。

7)

8)

X=11.2%Cu

模拟试题 6

简答题（每题 6 分，共 30 分）

1. 请简述刃型位错、螺型位错的主要特征

答：刃型位错：

晶体中有一个额外原子面，形如刀刃插入晶体

刃型位错周围的点阵发生了弹性畸变

位错线可以是折线或曲线，但位错线必与滑移（矢量）方向垂直

只有一个确定的滑移面

位错线的移动方向与晶体滑移方向平行（一致）

位错线与柏氏矢量垂直

螺型位错：

上下两层原子发生错排，错排区原子依次连接呈螺旋状

位错线周围点阵产生了弹性畸变；

螺型位错与晶体滑移方向平行，故位错线一定是直线

螺型位错的滑移面是不确定的，凡是包含螺型位错的平面均可作为它的滑移面；

位错线的移动方向与晶体滑移方向相互垂直。

位错线与柏氏矢量平行

2. 相互垂直的位错运动后发生交割，原位错可能会发生什么变化？在后续的位错运动中可能会有什么影响？

答：交割后在原地错线上留下对方柏氏矢量大小、方向的扭转或割接，但是该位错线仍是原柏氏矢量。所有的割阶都是刃型位错，而扭折可以是刃位错也可以是螺位错在后续位错运动中，由于：扭折与原位错同一滑移面，可随主位错线一起运动，几乎不产生阻力，并在线张力的作用下易消失割阶与原位错线不在同一滑移面，故除非割阶产生攀移，否则割阶就不能跟随主滑移线一起运动，成为位错运动的障碍，称为割阶硬化

3. 什么是离异共晶？如何发生的？

答：在共晶水平线的两个端部附近，由于共晶量少，领先相相依附在初生相上，另一相独立存在于晶界，在组织学上失去共晶体特点，称为离异共晶。有时，也将端部以外附近的合金，在非平衡凝固时得到的少量共晶，称为离异共晶。

4. 简述平衡结晶与非平衡结晶的不同之处。

答：平衡结晶是指结晶速度非常缓慢，液相和固相中扩散均很充分的情况下的结晶。非平衡结晶是指结晶速度比较快，扩散不充分的情况下的结晶。

5. 形成无限固溶体的条件是什么？简述原因。

答：形成固溶体时，溶质原子的溶入会使溶剂结构产生点阵畸变，使体系自由能升高。间隙固溶体中溶质原子溶入溶剂间隙中引起的点阵畸变较大，故不能形成无限互溶；置换固溶体中溶质原子取代了溶剂原子的位置，晶格畸变较小。当溶质、溶剂尺寸相差越小，晶格畸变越小，能量越低，溶解度越大；两组元具有相同的晶体结构可形成无限互溶。

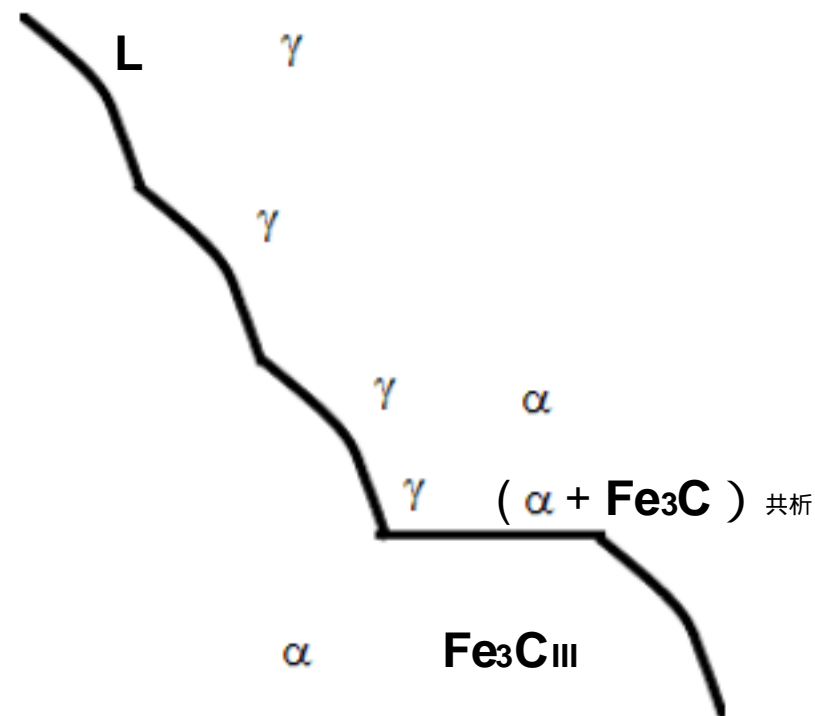
6. 在固态下晶体的线缺陷对溶质原子的扩散有何影响？

答： Q —— D ——管道机制 Q —— D ——陷阱机制

二 作图计算题（共 30 分）

1、根据 Fe-Fe₃C 相图画含碳 0.65 % 的铁碳合金的冷却曲线。指出平衡冷却，室温下相组成物、组织组成物是什么？并计算其相对含量。（12 分）

参考答案：



相组成： $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$

组织组成： $\text{F} + \text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ （少量、忽略）

室温下，相的相对含量：

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha\%_{20^\circ\text{C}} &= \frac{6.69 - 0.65}{6.69 - 0.008} \times 100\% = 90.4\% \\ \text{Fe}_3\text{C}\%_{20^\circ\text{C}} &= 1 - \alpha\%_{20^\circ\text{C}} = 10\% \end{aligned} \right.$$

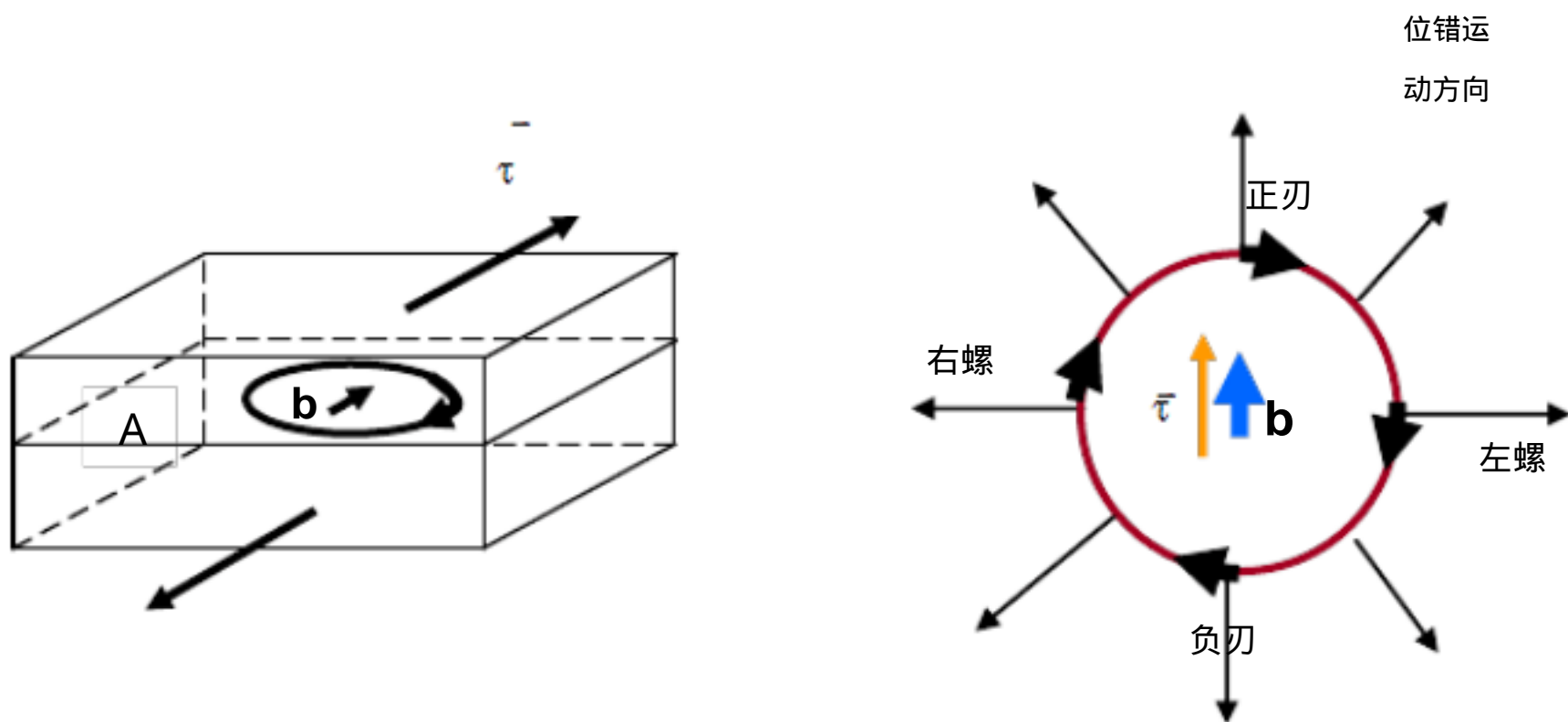
室温下，组织相对含量：

$$\left\{ \begin{aligned} \text{P}\%_{20^\circ\text{C}} &= \gamma\%_{727^\circ\text{C}} = \frac{0.65 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% \\ &= 84\% \\ \text{F}\%_{20^\circ\text{C}} &= \alpha\%_{727^\circ\text{C}} - \text{Fe}_3\text{C}\% = \frac{0.77 - 0.65}{0.77 - 0.0218} \times 100\% - \text{Fe}_3\text{C}\% \\ &= 16\% - \text{Fe}_3\text{C}\% \\ \text{Fe}_3\text{C}\%_{20^\circ\text{C}} &= \frac{0.0218 - 0.008}{6.69 - 0.008} \times 16\% = 0.03\% \end{aligned} \right.$$

忽略

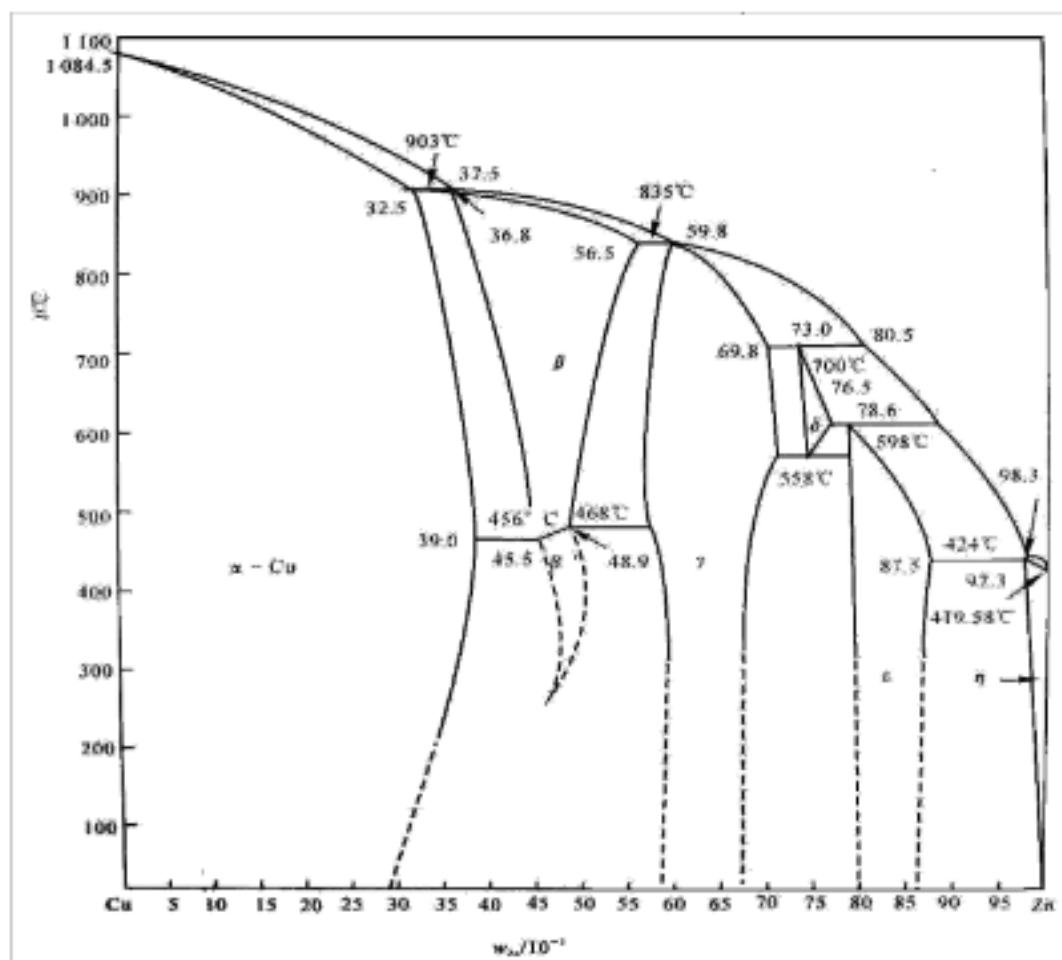
2、在 A 滑移面上有一环形位错，所受切应力如图所示，试分析在平面位错环上各段属于哪种类型的位错？作图表示位错运动的方向？（俯视观看）（8 分）

答：



3、下图为 Cu-Zn 相图，图中有多少三相平衡，写出它们的反应式。（8分）
答：

包晶反应 + L ；
包晶反应 + L ；
包晶反应 + L ；
包晶反应 + L ；
包晶反应 + L ；
共析反应 r + ；



4、已知单晶铜的 $\{111\}$ $[101]$ 滑移系的临界分切应力 τ_k 为 1MPa, 请问：
要使 $(\bar{1}11)$ 面上产生 $[101]$ 方向的滑移，则在 $[001]$ 方向上应施加多大的应力？

假设在单晶铜中只开动 $(\bar{1}11)[101]$ 滑移系，那么随着滑移的进行，拉伸试样中 $(\bar{1}11)$ 面会产生什么现象？它对随后的进一步变形有何影响？（10分）

答：

$$\cos\alpha = \frac{u_1u_2 + v_1v_2 + w_1w_2}{\sqrt{u_1^2 + v_1^2 + w_1^2} \sqrt{u_2^2 + v_2^2 + w_2^2}}$$

(1)

滑移面 $(\bar{1}11)$ 的法线方向 $[\bar{1}11]$ 和拉力轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\phi = \frac{1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$[101]$ 与拉力轴 $[001]$ 的夹角

$$\cos\lambda = \frac{1 \times 0 + 0 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 1^2} \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma = \frac{\tau}{\cos\phi \cos\lambda} = 2.45 \text{ MPa}$$

需要施加的力

(2) (111) 面会发生转动。晶面转动使晶体位相发生改变，使滑移面和滑移方向逐渐趋于平行拉伸轴线方向，从而使后续塑性变形所需外力进一步增大。

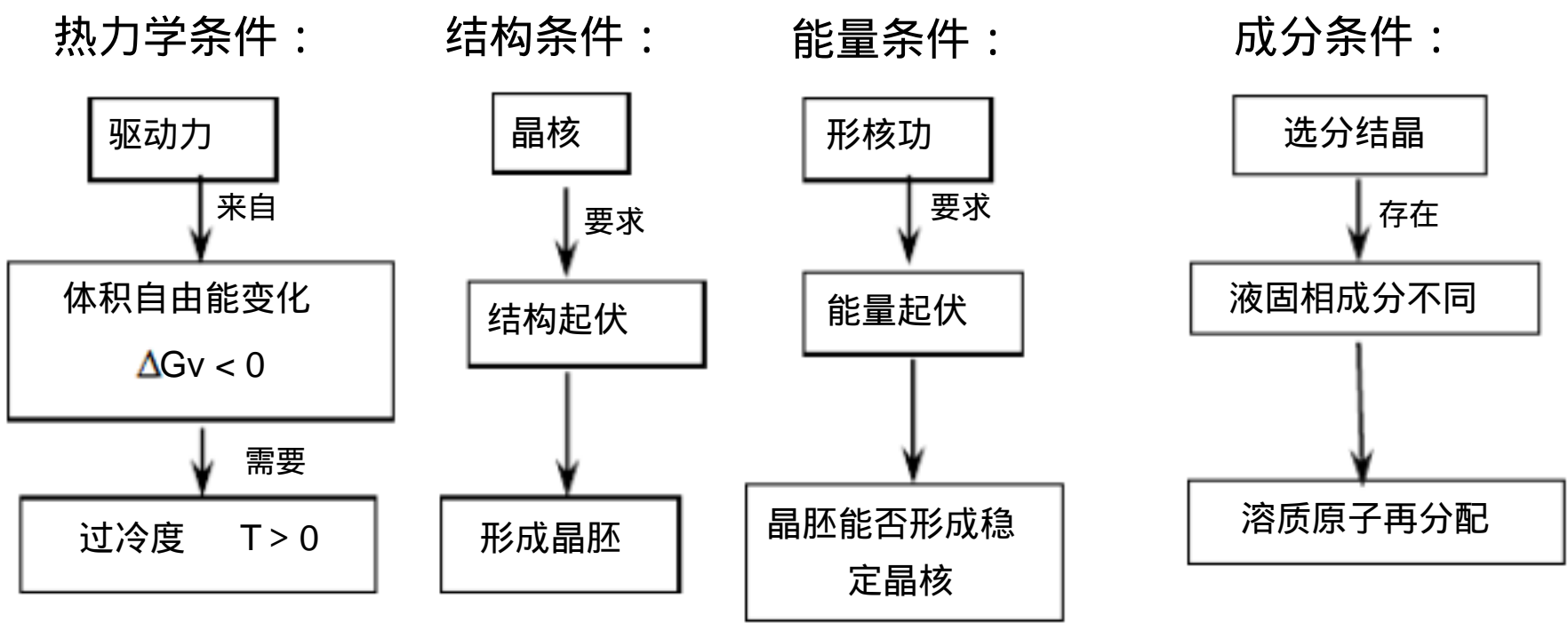
三 综合题（每题 15 分，共 30 分）

1、为了细化纯铝板晶粒，采用冷变性的方法将其变形 3% ~ 5%，之后采用 620 退火 1h，组织反而粗化，增大冷变形至 80% 以上，再于 620 退火 1h，组织仍然粗大。分析其原因，指出上述工艺不合理之处并拟定一种合理的晶粒细化工艺。（ $T_{\text{再}} = 0.4 T_{\text{溶}}$ 纯铝熔点为 660）

答：前一种为临界变形度下变形，高温退火再结晶驱动力小，形核少，晶粒粗大；后种工艺，在大变形下，根据 $T_{\text{再}} = 0.4 T_{\text{溶}}$ 计算， $T_{\text{再}} = 100$ ，故再结晶温度不得大于 200 为宜，由于采用了 620 高温退火，晶粒异常长大（二次再结晶），造成晶粒粗大。正确工艺：> 70% 以上冷变形，之后 150 退火 1h

2、简述 60[#] 钢（含碳 0.6%）平衡结晶（假设为均匀形核）需要满足的条件

答：



模拟试题 7

简答题（每题 6 分，共 30 分）

1．原子的结合键有哪几种？各有什么特点？

离子键：正负离子相互吸引；键合很强，无方向性；熔点、硬度高，固态不导电，导热性差。

共价键：相邻原子通过共用电子对结合；键合强，有方向性；熔点、硬度高，不导电，导热性有好有差。

金属键：金属正离子于自由电子相互吸引；键合较强，无方向性；熔点、硬度有高有低，导热导电性好。

分子键：分子或分子团显弱电性，相互吸引；键合很弱，无方向性；熔点、硬度低，不导电，导热性差。

氢键：类似分子键，但氢原子起关键作用 $XH-Y$ ；键合弱，有方向性；熔点、硬度低，不导电，导热性好。

2．面心立方晶体和体心立方晶体的晶胞原子数、配位数和致密度各是多少？

| | 晶胞原子数 | 配位数 | 致密度 |
|------|-------|-----|-----|
| 面心立方 | 4 | 12 | 74% |
| 体心立方 | 2 | 8 | 68% |

3. 立方晶系中，若位错线方向为 $[001]$ ， $\vec{b} = a[110]$ ，试说明该位错属于什么类型。

因位错线方向垂直于柏氏矢量，所以是刃位错。

4. 请说明间隙化合物与间隙固溶体的异同。

相同点：小原子溶入

不同点：若小原子溶入后，大小原子数量成比例，在选取点阵时，大小原子点阵可以合并，这实际上改变了大原子的点阵结构，因此认为形成新相，称为间隙相（间隙化合物）。

若小原子溶入后，分布随机，大小原子点阵不能合并，仍然保留大原子点阵，称为间隙固溶体。

5. 试从扩散系数公式 $D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right)$ 说明影响扩散的因素。

从公式表达形式可以看出扩散系数与扩散激活能 Q 和温度 T 有关。扩散激活能越低扩散系数越大，因此激活能低的扩散方式的扩散系数较大，如晶界和位错处的扩散系数较大。温度越高，原子活性越大，扩散系数越大。

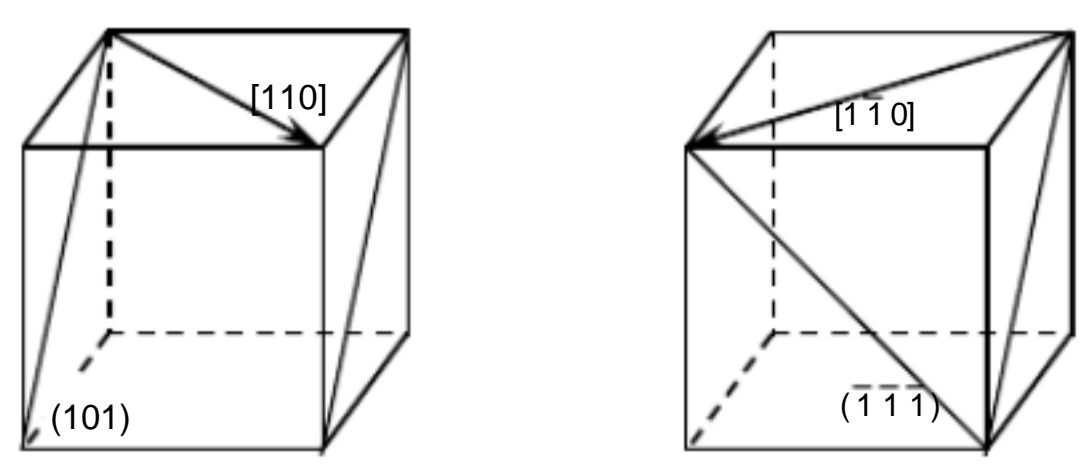
6. 何为过冷度？它对形核率有什么影响？

过冷度：实际结晶温度与理论结晶温度的差值。

随过冷度增大，形核率先增后减。

二、作图计算题（每题 10 分，共 40 分）

1. 在面心立方晶体中，分别画出 (101) 、 $[110]$ 和 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 、 $[\bar{1}\bar{1}0]$ ，指出哪些是滑移面、滑移方向，并就图中情况分析它们能否构成滑移系？



对面心立方晶体， (101) 非密排面，因此它不是滑移面； $[110]$ 是密排方向，因此是滑移方向。但这二者不能构成滑移系。

$(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 和 $[\bar{1}\bar{1}0]$ 是密排面和密排方向，因此可以构成滑移系。

2. 已知 Al 为面心立方晶体，原子半径为 r_A 。若在 Al 晶体的八面体间隙中能溶入最大的小原子半径为 r_B ，请计算 r_B 与 r_A 的比值是多少。

$$\frac{r_B}{r_A} = 0.414$$

3. A-B 二元合金中具有共晶反应如下： $L_{(w_B=0.75)} \xrightarrow{t_E} \alpha_{(w_B=0.15)} + \beta_{(w_B=0.95)}$ 若共晶反应刚结束时， α 和 β 相的相对含量各占 50%，试求该合金的成分。

设合金成分为 $c\%$ ，由题知：

$$\alpha\% = \frac{0.95 - c}{0.95 - 0.15} \times 100\% = 50\%$$

得：c % = 0.55%

4. 已知铜的临界切分应力为 1Mpa, 问要使 $(\bar{1}11)$ 面上产生 [101] 方向的滑移, 应在 [001] 方向上施加多大的力?

对立方晶系, 两晶向 $[h_1k_1l_1]$ 和 $[h_2k_2l_2]$ 夹角公式为:

$$\cos \varphi = \frac{h_1h_2 + k_1k_2 + l_1l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}}$$

故滑移面的法线 $[\bar{1}11]$ 与拉力轴方向 [001] 的夹角为:

$$\cos \varphi = \frac{-1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{(-1)^2 + 1^2 + 1^2} \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

同理, 滑移方向 [101] 与拉力轴方向 [001] 的夹角为: $\cos \lambda = \frac{1}{\sqrt{2}}$

由分切应力公式得:

$$\sigma = \frac{\tau_c}{\cos \varphi \cos \lambda} = 2.45 \text{MPa}$$

三、综合分析题 (每题 15 分, 共 30 分)

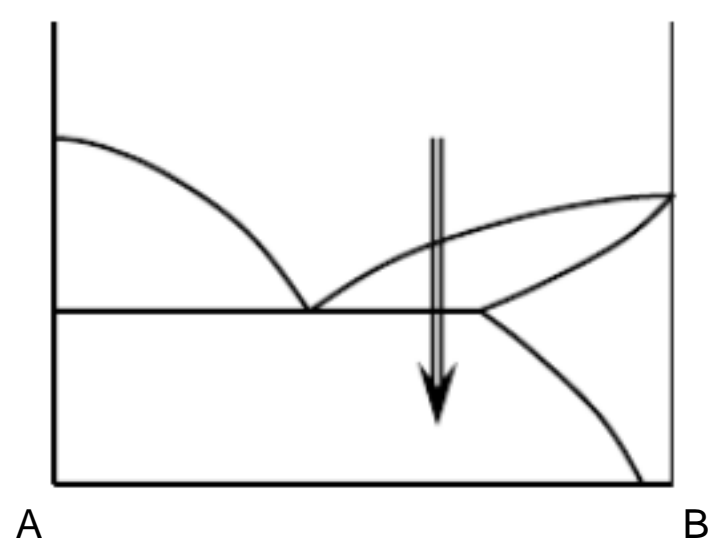
1. 按下列条件绘出 A-B 二元相图:

- 1) A 组元 (熔点 600) 与 B 组元 (熔点 500) 在液态时无限互溶;

- 2) 固态时，A在 B中的最大固溶度为 $w_A=0.30$ ，室温时为 $w_A=0.10$ ；
而 B在固态下不溶于 A；

- 3) 300 时发生共晶反应 $L_{(w_B=0.40)} \rightleftharpoons A + \beta_{(w_B=0.70)}$ 。

在 A-B 二元相图中，分析 $w_B=0.6$ 的合金平衡凝固后，在室温下的相组成物及组织组成物，并计算各相组成物的相对含量。



相组成：A +

组织组成：A + A_{II}

$$A\% = \frac{90 - 60}{90 - 0} \times 100\% = 33.3\%$$

$$\beta\% = 1 - 33.3\% = 66.7\%$$

2. 请绘出下列 Fe-C 合金极缓慢冷却到室温后的金相组织示意图，并标注各组织。

(腐蚀剂均为 3%硝酸酒精)

工业纯铁： F

20 钢： F+P

45 钢： F+P

T8 钢： P

T12 钢： $P+Fe_3C_{\text{网状}}$

亚共晶白口铸铁： $P+Ld'$
