

# 厦门大学 2007 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题

## 材料科学基础部分

### 1. 名词解释

#### (1) 空间点阵

##### 【考查重点】

这是第二章空间点阵的考点，不连续出现两年，考生应掌握并会区分空间点阵、阵点、晶胞的概念，清楚它们之间的关系。

##### 【答案解析】

将晶体中原子或原子团抽象为纯几何点（阵点），即可得到一个由无数几何点在三维空间规则排列成规则的阵列称为空间点阵，简称点阵；特征：每个阵点在空间分布必须具有完全相同的周围环境。

#### (2) 柏氏矢量

##### 【考查重点】

这是第三章柏氏矢量的考点，考生应理解并掌握柏氏矢量的物理意义。

##### 【答案解析】

柏氏矢量是描述位错实质的重要物理量。反映出柏氏回路包含的位错所引起点阵畸变的总积累。通常将柏氏矢量称为位错强度。

#### (3) 成分过冷

##### 【考查重点】

这是第七章合金凝固中的成分过冷考点，考生应掌握成分过冷的概念。

##### 【答案解析】

在合金的凝固过程中，由于液相中溶质分布发生变化而改变了凝固温度，这可由相图中的液相线来确定，因此，将界面前沿液体中的实际温度低于由溶质分布所决定的凝固温度时产生的过冷。

#### (4) 包晶反应

##### 【考查重点】

这是第七章包晶相图的考点，考生应掌握包晶反应。

##### 【答案解析】

组成包晶相图的两组元，在液态可无限互溶，而固态只能部分互溶。在二元相图中，包晶转变就是已结晶的固相与剩余液相反应形成另一固相的恒温转变。包晶转变表示为：包晶转变表示为： $L_C + \alpha_D \rightarrow \beta_P$ 。

### 2. 铅是 fcc 结构，求：(2007)

(1) 在 (111) 平面上， $1\text{cm}^2$  有多少原子？

(2)  $1\text{cm}^3$  内有多少原子？

(已知 Pb 的原子半径  $R=0.1750\text{nm}$ )。



【考查重点】

这是第二章面心立方晶体结构的晶体学特点, 考生要对三种典型的金属晶体结构的晶体学特点熟练掌握, 并会基本的计算。

【答案解析】

$$(1) \text{ fcc 结构单位晶胞 (111) 面上的原子数 } n_1 = 3 \times \frac{1}{8} + 3 \times \frac{1}{2} = \frac{15}{8} \text{ 个}$$

$$R = \frac{\sqrt{2}}{4} a \Rightarrow a = 2\sqrt{2}R$$

$$S_{(111)} = \frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{6}}{2} a \times \sqrt{2} a = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} (2\sqrt{2}R)^2 = 0.2122 nm^2$$

$$N_1 = [(1 \times 10^7)^2 / S_{(111)}] \times n_1 = [(1 \times 10^7)^2 / S_{(111)}] \times n_1 = 8.84 \times 10^{14} \text{ 个}$$

$$(2) \text{ 单位晶胞内的原子数 } n_2 = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ 个}$$

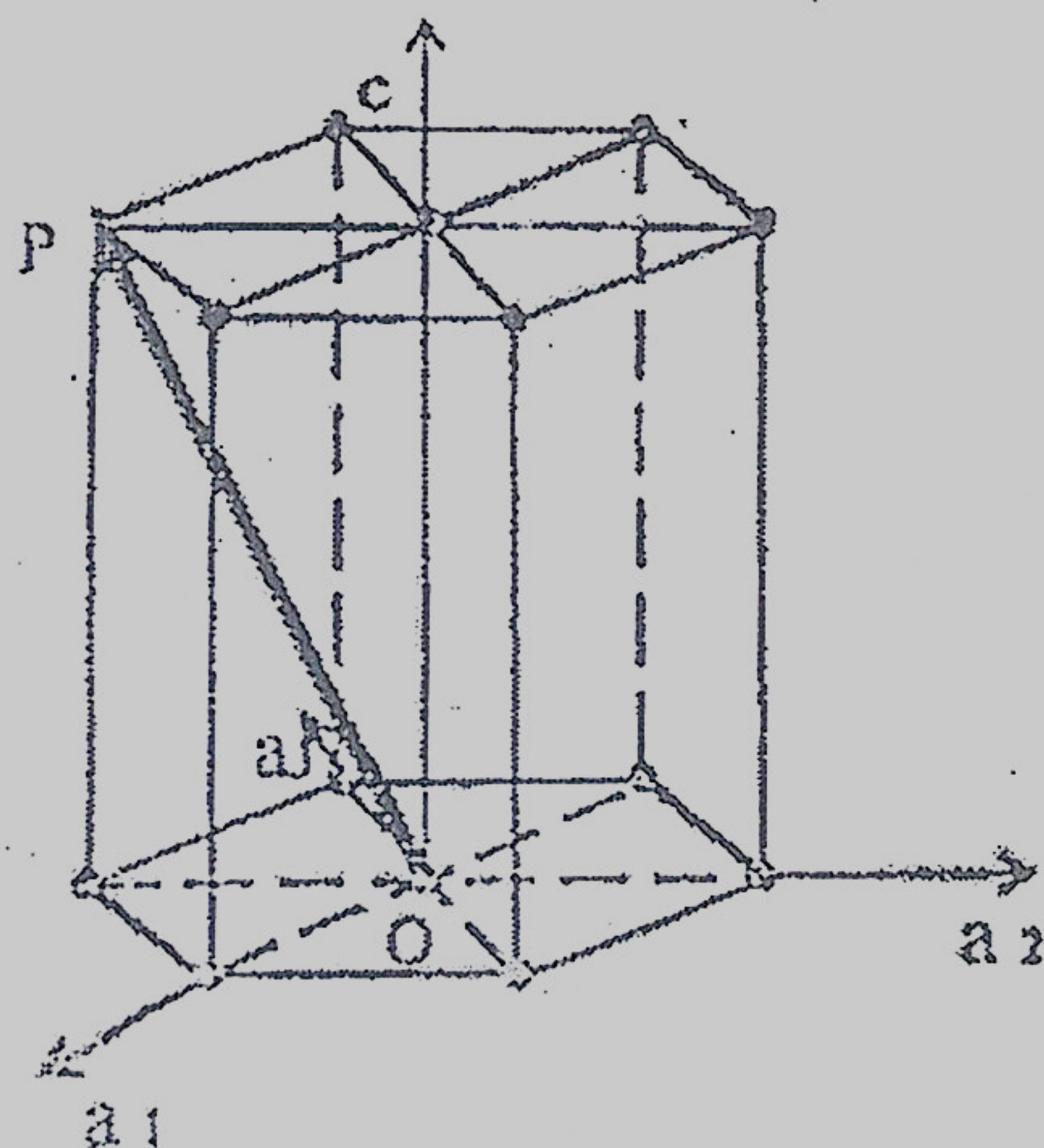
$$N_2 = \frac{(1 \times 10^7)^3}{a^3} \times n_2 = 3.30 \times 10^{22} \text{ 个}$$

3. 晶面指数和晶向指数的标定。

(1) 在立方晶体中绘出下列晶面及晶向:  $(\bar{1}31)$ ,  $(201)$ ,  $[\bar{1}2\bar{1}]$ ,  $[312]$

(2) 在六方晶系中绘出下列晶面:  $(\bar{2}110)$ ,  $(12\bar{3}2)$ ,  $(1101)$ ;

(3) 求出图中所示晶向 (OP) 的晶向指数。



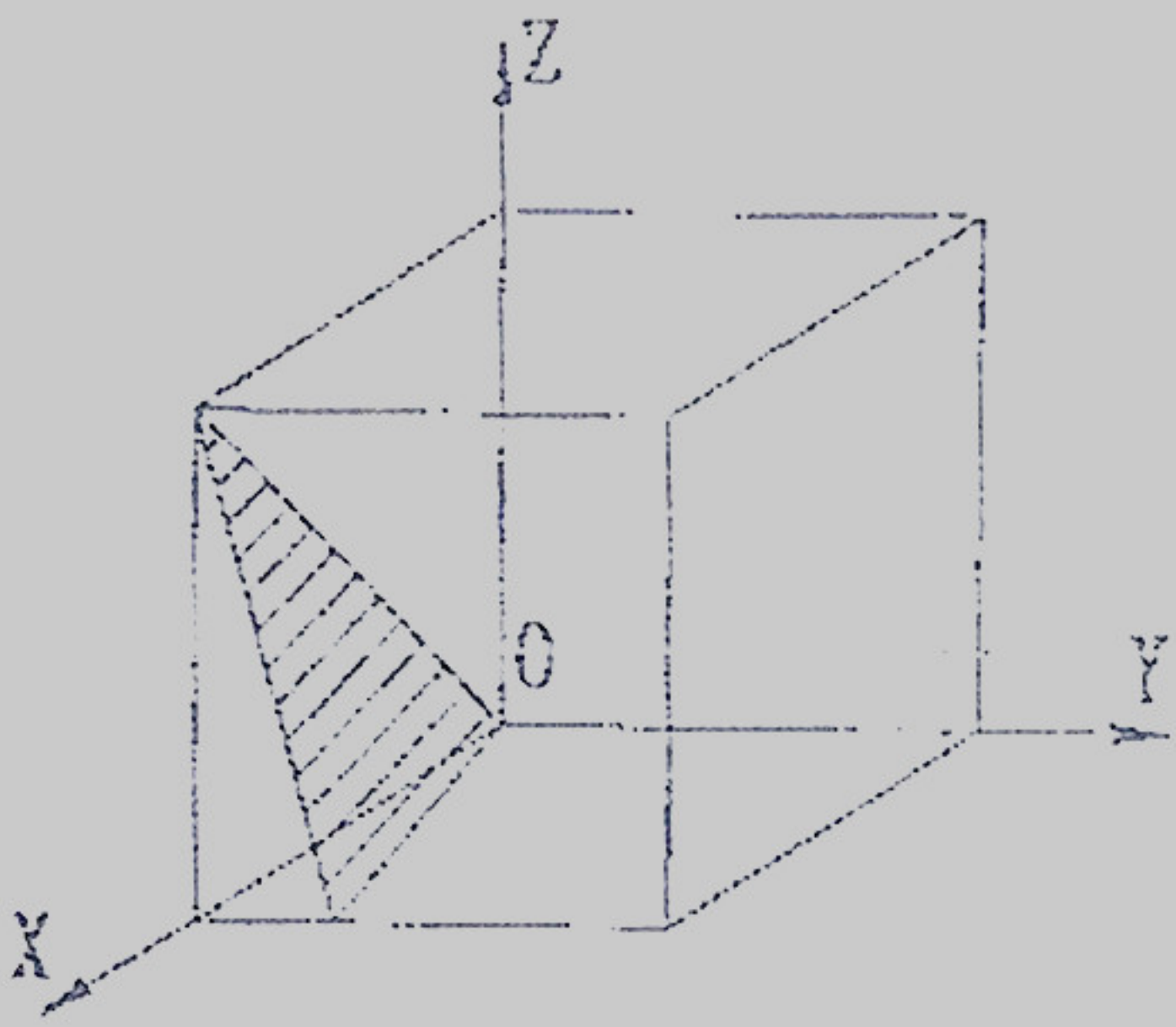
【考查重点】

这是第二章立方晶体与六方晶系的考点, 考生应会标注晶向、晶面指数并会画出给定的晶向、晶面指数。

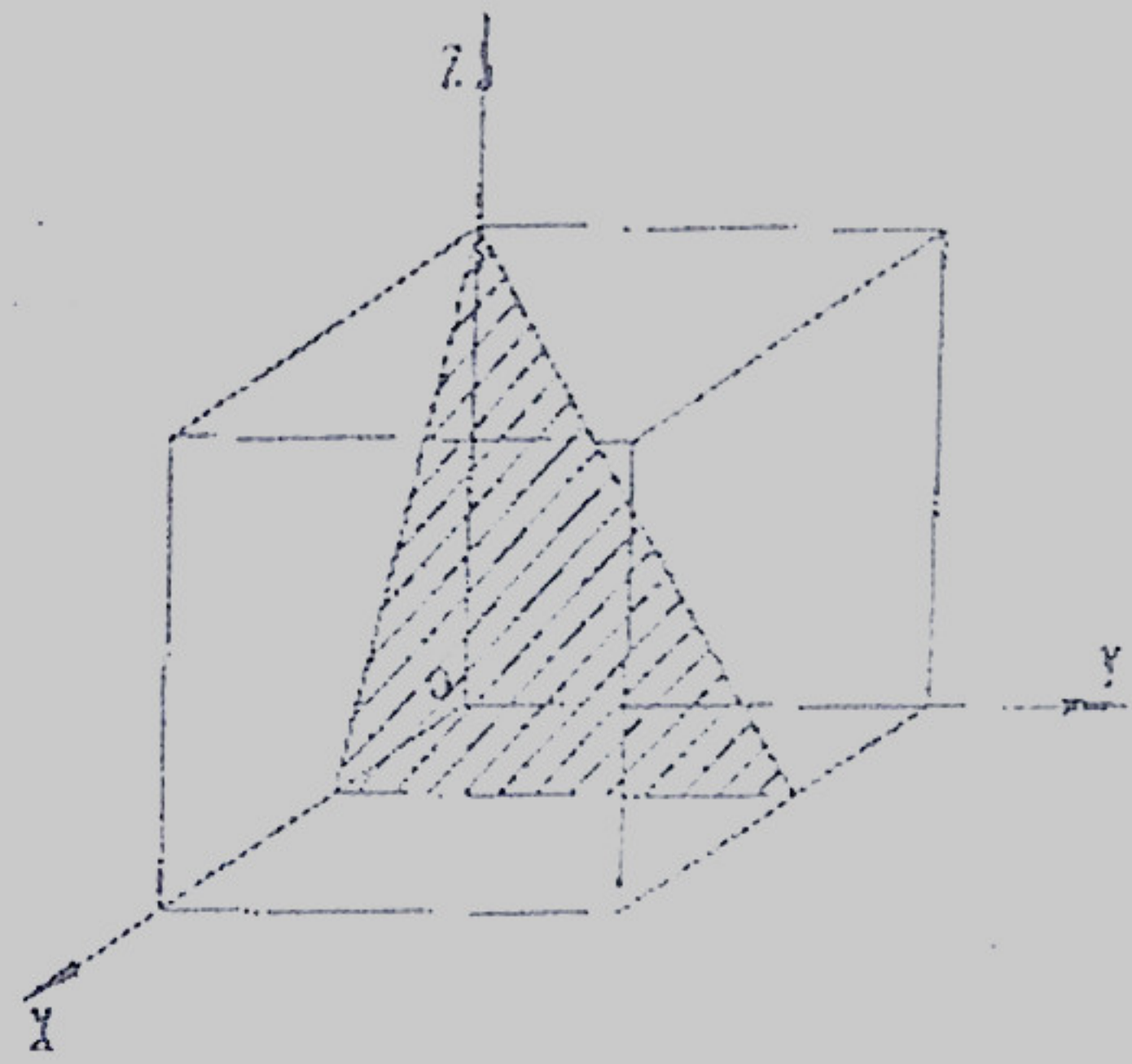


【答案解析】

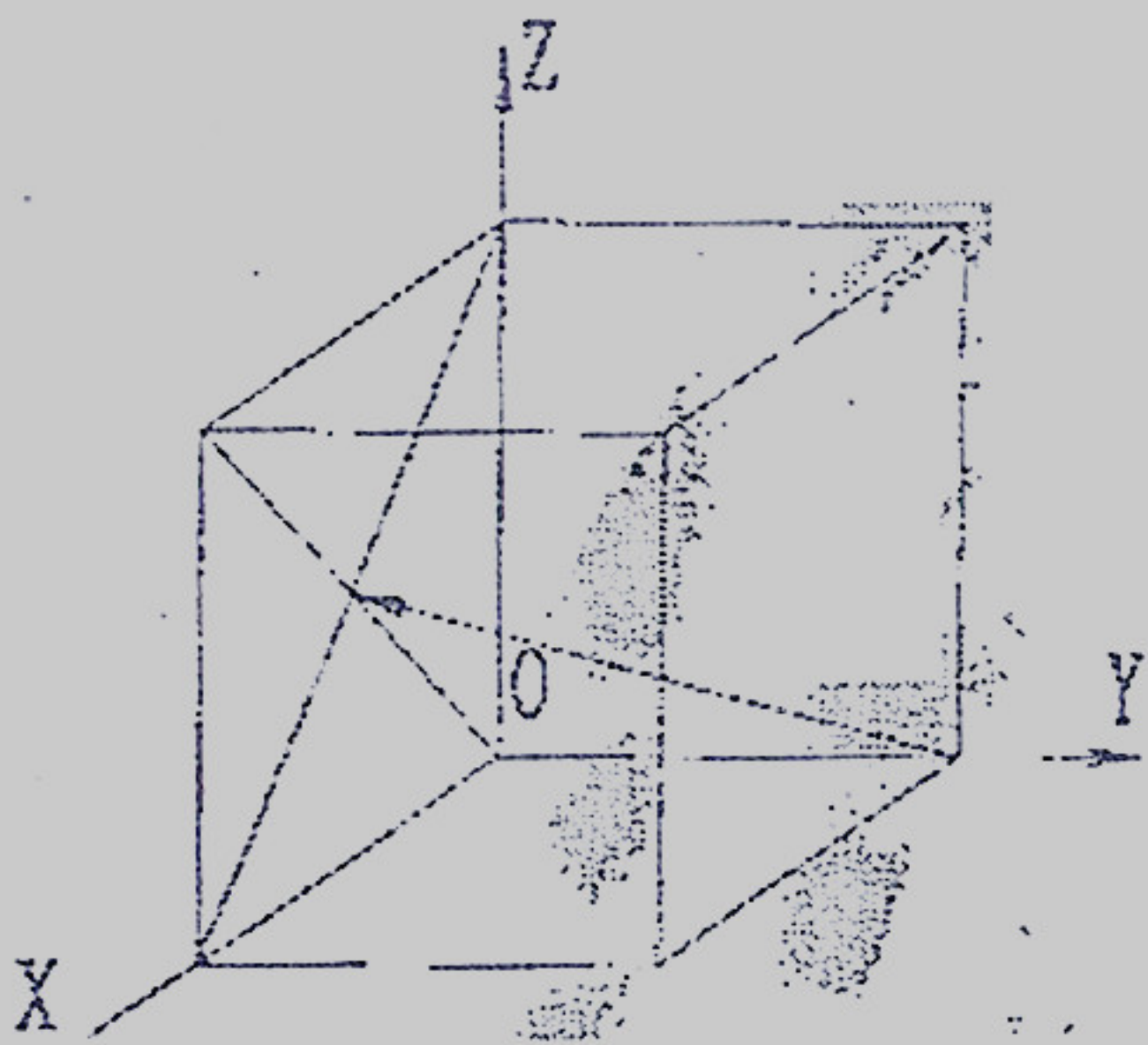
(1)



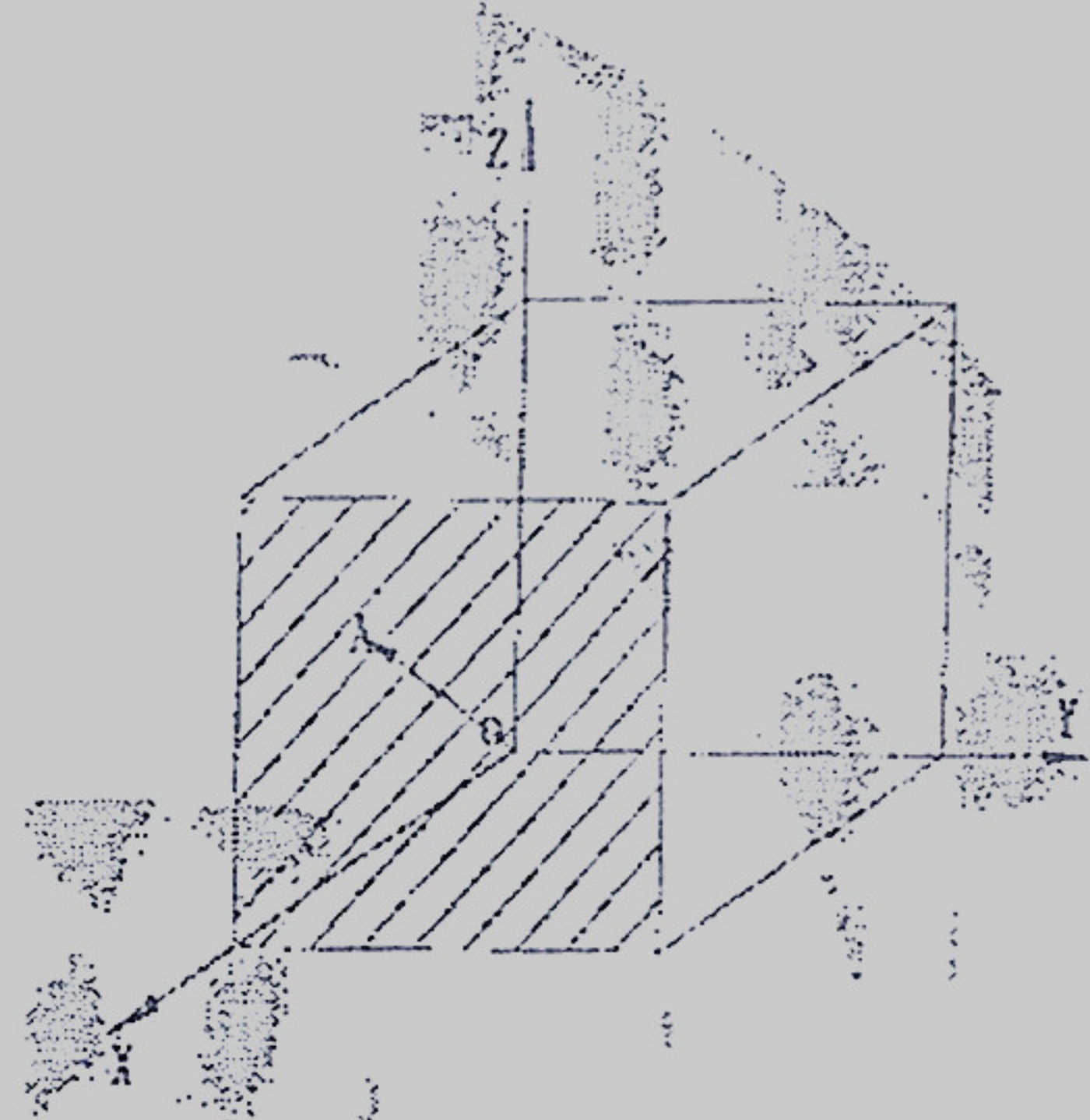
立方晶系  $(1\bar{3}1)$



立方晶系  $(201)$

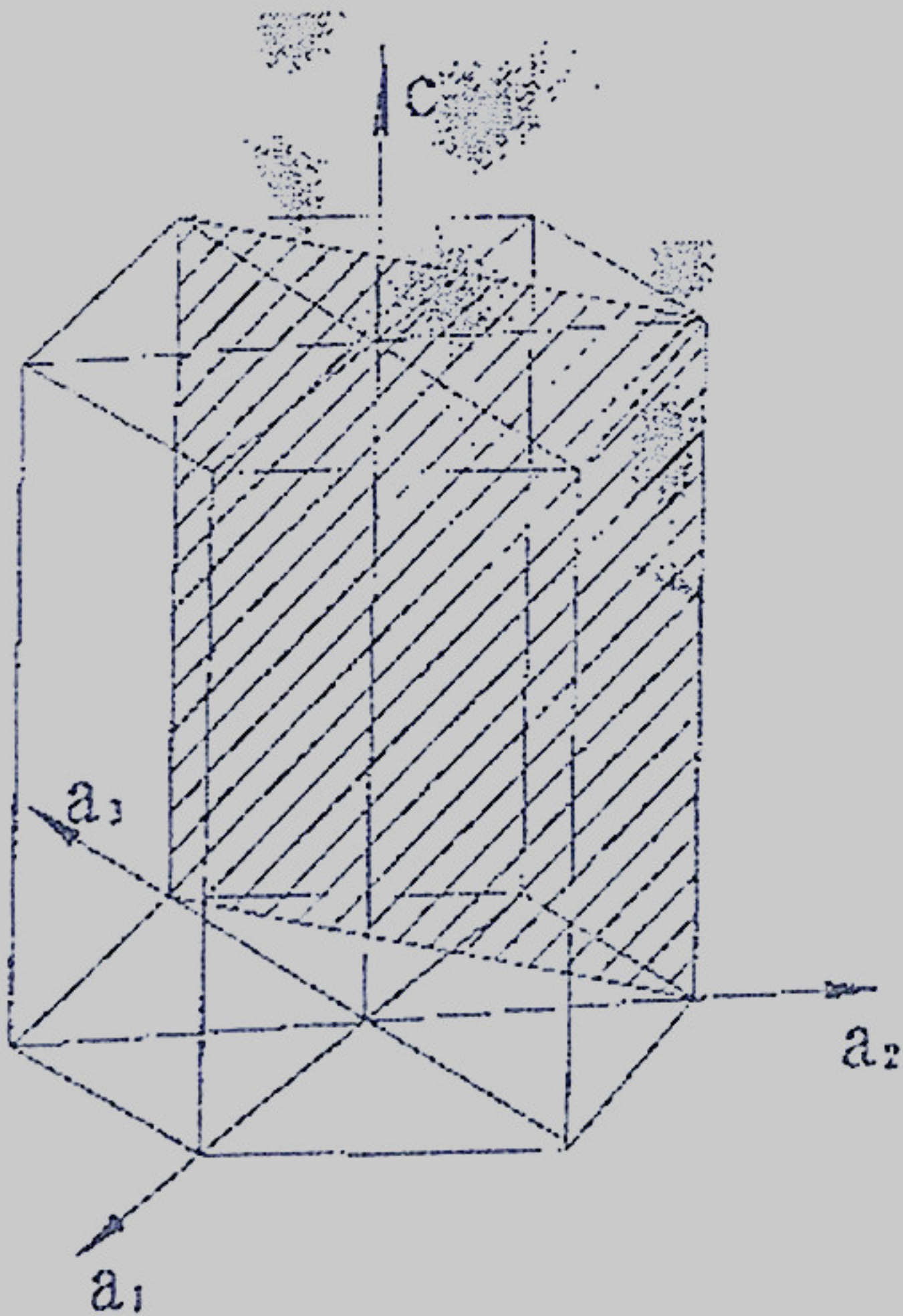


立方晶系  $[121]$

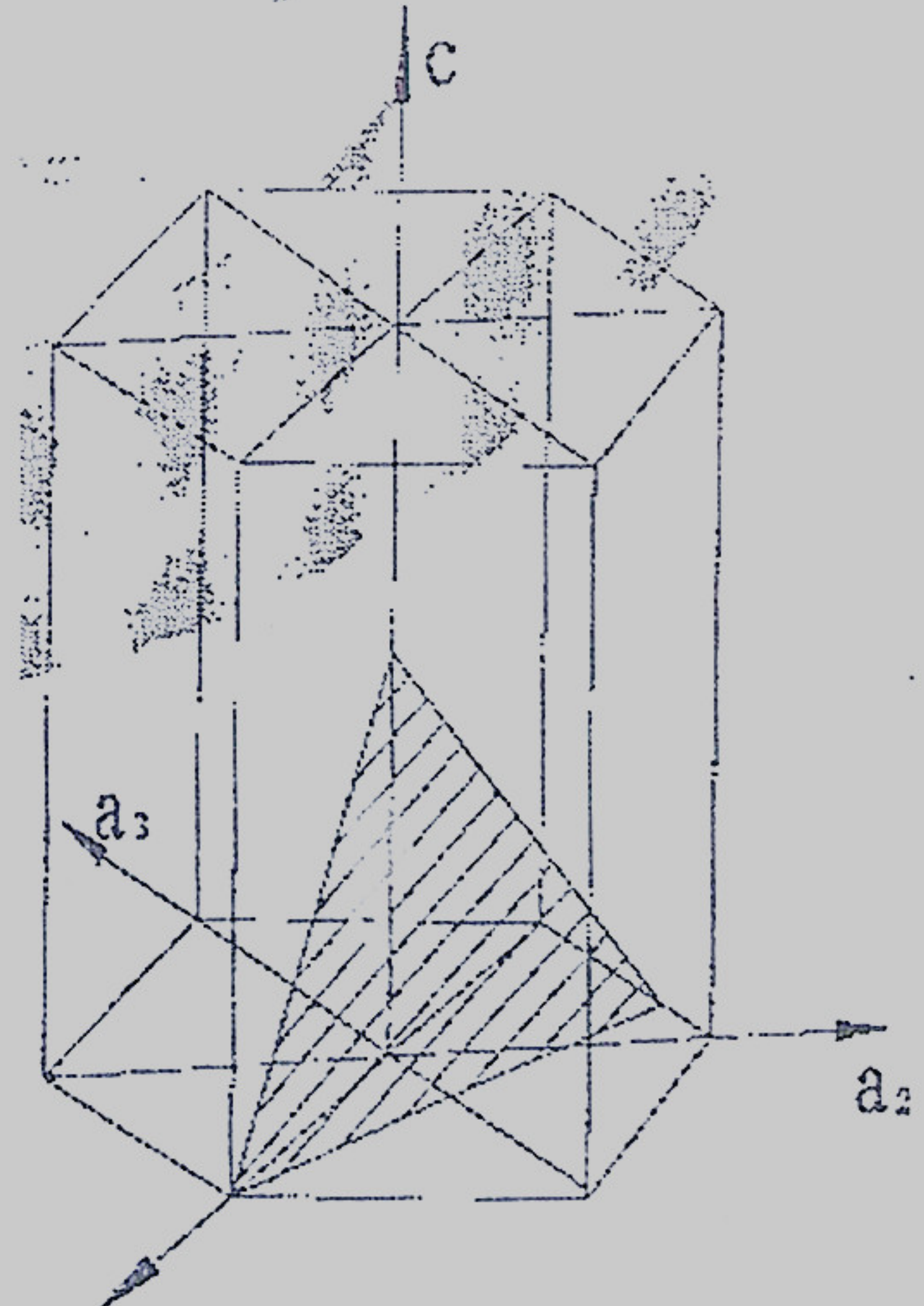


立方晶系  $[312]$  (A 点在剖面线面上)

(2)

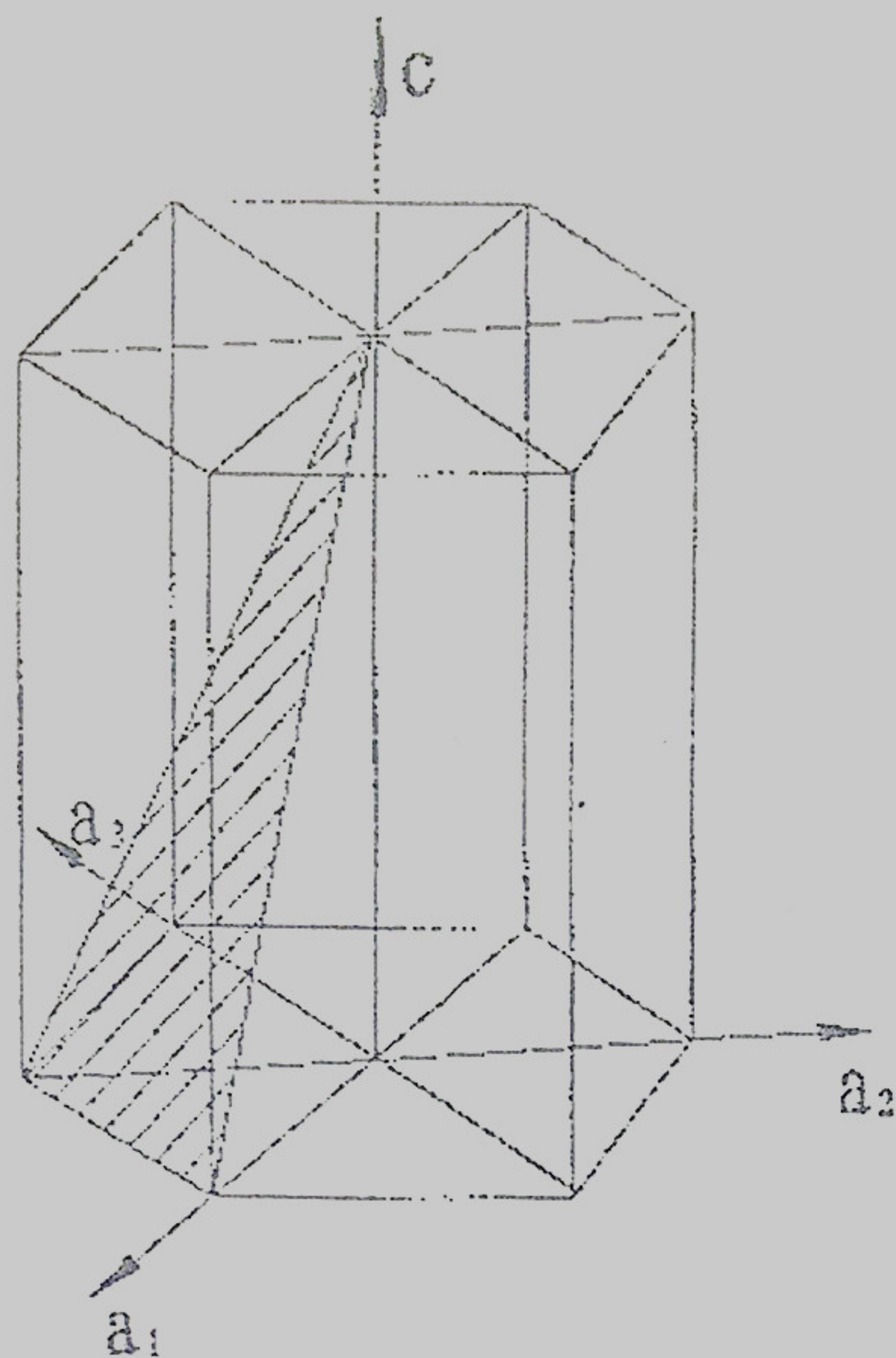


六方晶系  $(2110)$



六方晶系  $(12\bar{3}2)$





六方晶系  $(\bar{1}10)$

(3) 晶向  $OP$  的晶向指数为  $[\bar{1}011]$

4. 计算下列位错反应, 并指出此反应能否进行, 并解释理由。

(1)  $\frac{a}{2}[\bar{1}01] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$

(2)  $\frac{a}{3}[211] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$

判断下列位错反应能否进行, 并解释理由。

(3)  $\frac{a}{2}[\bar{1}02] + \frac{a}{3}[\bar{2}11] \rightarrow \frac{5a}{6}[\bar{3}13]$

(4)  $a[100] \rightarrow \frac{a}{2}[\bar{1}11] + \frac{a}{2}[\bar{1}1\bar{1}]$

【考查重点】

这是第三章位错反应的考点, 2007年到2010年每年都考到, 属于送分题, 考生应掌握。

【答案解析】

(1) 根据几何条件  $\frac{a}{2}[\bar{1}01] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] \rightarrow \frac{a}{3}[\bar{1}11]$ , 满足能量条件

$\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{2}{3}a^2 > \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{a^2}{3}$ , 所以可以进行, 此反应即  $\frac{a}{2}[\bar{1}01] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] \rightarrow \frac{a}{3}[\bar{1}11]$ 。

(2) 根据几何条件  $\frac{a}{3}[211] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}] \rightarrow \frac{a}{6}[503]$ ,

能量条件:  $\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{5}{6}a^2 < \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{34}{36}a^2$ , 不能满足, 所以此反应不能进行。

(3) 不能。几何条件:  $\sum b_{\text{前}} = \frac{a}{6}[\bar{7}28]$ ,  $\sum b_{\text{后}} = \frac{5a}{6}[\bar{3}13]$ , 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。

5. 设纯 A 和纯 B 组成扩散偶, 扩散 1 小时后, 标识面移动了  $3.5 \times 10^{-3} \text{ cm}$ , 已知摩尔分数  $x_A = 0.478$  时,  $\frac{\partial x}{\partial z} = 126 / \text{cm}$  ( $z$  为扩散距离), 互扩散系数  $\bar{D} = 1.43 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{s}$ 。试求纯 A 和纯 B 的本征扩散系数  $D_A, D_B$ 。

### 【考查重点】

这是第四章置换型固溶体中的扩散的考点, 考生应理解互扩散系数公式、Kirkendall 效应和置换型固溶体中的扩散进行的过程。

### 【答案解析】

根据 Kirkendall 效应, 标记漂移速度

$$v_m = (D_A - D_B) \frac{\partial x}{\partial z} = (D_A - D_B) \times 126 \text{ cm/s}$$

$$\text{互扩散系数 } \bar{D} = x_A D_B + x_B D_A = 0.478 D_B + (1 - 0.478) D_A = 1.43 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$\Delta v_m = \frac{l}{2t} = \frac{3.5 \times 10^{-3}}{2 \times 3600} \text{ cm/s}$$

联立上述三个方程, 即可解得:

$$D_A = 3.274 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$D_B = -0.584 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{s} (\text{不合理})$$

(这里的本征扩散系数应为正值, 因为列方程组时没有将它带方向性, 所以题目数据有误。)

6. 指出下列概念的错误, 并改正。

(1) 所谓过冷度, 是指结晶时, 在冷却曲线上出现平台的温度与熔点之差; 而动态过冷度是指结晶过程中, 实际液体温度与熔点之差。

### 【考查重点】

这是第六章过冷度和动态过冷度的概念, 要理解其本质并会区分。

### 【答案解析】

所谓过冷度, 是指在冷却曲线上出现的实际结晶温度与熔点之差; 而动态过冷度是指液-固界面前沿液态中的温度与熔点之差。

(2) 金属结晶时, 原子从液相无序到固相有序排列, 使体系熵值减小, 因此是一个自发的过程。

### 【考查重点】

这是第六章晶体凝固的热力学条件的考点, 考生要掌握晶体凝固过程中典型的热力学状态函数的变化。而过冷度也是在此基础上推导出来的。



### 【答案解析】

金属结晶时,原子从液相无序到固相有序排列,使体系自由能减小,因此是一个自发的过程。

(3) 所谓临界晶核,就是体系自由能的减少补偿表面自由能的增加时的晶胚大小。

### 【考查重点】

这是第六章晶核形成时的能量变化和临界晶核的考点,考生应掌握临界半径、临界晶核的含义,和结晶过程中的能量起伏、结构起伏。

### 【答案解析】

所谓临界晶核,就是体系自由能的减少能够补偿  $2/3$  表面自由能时的晶胚大小。

(4) 从非均匀形核功的计算公式  $A_{\text{非}} = A_{\text{均}} \left( \frac{2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} \right)$  中可以看出,当润湿

角  $\theta = 0$  时,非均匀形核的形核功最大。

### 【考查重点】

这是第六章非均匀形核的考点,考生应理解随润湿角的变化,非均匀形核的形核功与均匀形核的形核功的关系。

### 【答案解析】

从非均匀形核功的计算公式  $A_{\text{非}} = A_{\text{均}} \left( \frac{2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} \right)$  中可以看出,当润湿角

$\theta = 0$  时,非均匀形核的形核功最小。

(5) 非均匀形核总是比均匀形核容易,因为前者是外加质点为结晶,不像后者那样形成界面,而引起自由能的增加。

### 【考查重点】

这是第六章均匀形核与非均匀形核的考点,考生应掌握两者的概念和它们之间的区别。

### 【答案解析】

因为前者是以外加质点为基底,形核功小。

(6) 无论温度分布如何,常用金属生长都是呈树枝状界面。

### 【考查重点】

这是第六章纯晶体凝固时的生长形态考点,考生应该清楚正、负温度梯度下纯金属凝固时的生长形态。

### 【答案解析】

只有在负温度梯度条件下,常用纯金属生长呈树枝状界面。

7. 试述孪晶与滑移的异同,比较它们在塑性变形过程中的作用。

### 【考查重点】

这是第五章滑移与孪生的考点,考生对比了解,印象深刻。



## 【答案解析】

相同点：均是均匀切变；都沿一定的晶面、晶向进行，不改变晶体结构，都是位错运动的结果。不同点如下表所示：

| 不同点      | 滑移               | 孪生              |
|----------|------------------|-----------------|
| 晶体位向     | 不改变              | 改变，形成镜面对称关系     |
| 位移量      | 滑移方向上原子间距的整数倍，较大 | 小于孪生方向上的原子间距，较小 |
| 对塑性变形的贡献 | 很大，总变形量大         | 有限，总变形量小        |
| 应力       | 有一定临界分切应力        | 所需临界分切应力远高于滑移   |
| 变性条件     | 一般先发生滑移          | 滑移困难时发生孪生       |
| 变性机制     | 全位错运动的结果         | 分位错运动的结果        |

比较滑移与孪生在塑性变形过程中的作用：

塑性变形主要通过滑移实现，只有当滑移难以进行时，发生孪生，虽孪生对塑性变形的直接贡献并不大，但孪晶的产生改变了晶体的位向，使原处于不利的滑移系换到有利于发生滑移的位置，从而可以激发进一步的滑移和晶体变形。这样，滑移和孪生交替进行，相辅相成，可使晶体获得较大变形量。

8. 根据下列条件画出一个二元系相图，并标出特征点的成分：

A 和 B 的熔点分别为  $900^{\circ}\text{C}$  和  $1100^{\circ}\text{C}$ ，质量分数  $w_B=0.5$  的合金正好在  $600^{\circ}\text{C}$  完全凝固，它的平衡组织由 50% 的初晶  $\beta$  相和 50% 的  $(\alpha+\beta)$  共晶体所组成。而质量分数  $w_B=0.6$  的合金，在  $600^{\circ}\text{C}$  时的组织由 75% 的初晶  $\beta$  相和 25% 的  $(\alpha+\beta)$  共晶体所组成，并且此合金的  $\beta$  相总量为 83.33%。在  $300^{\circ}\text{C}$ ， $w_B=0.5$  的合金平衡组织为 50% 的  $\beta$  相和 50% 的  $\alpha$  相， $w_B=0.6$  的合金平衡组织为 61.11% 的  $\beta$  相和 38.89% 的  $\alpha$  相。此体系只有液相、 $\alpha$  相（富 A）和  $\beta$  相（富 B）组成。

### 【考查重点】

这是第七章二元相图的考点，考生应重点掌握二元相图的分析，并会根据给出的已知条件，画出所求的三元相图。

### 【答案解析】

根据已知条件应用杠杆定律：

$$w_B = 0.5 \quad 50\%_{(\beta\text{先})} = \frac{50 - E}{N - E} \times 100\%$$

$$50\%_{((\alpha+\beta)\text{共})} = \frac{N - 50}{N - E} \times 100\%$$

$$w_B = 0.6 \quad 75\%_{(\beta\text{先})} = \frac{60 - E}{N - E} \times 100\%$$

$$25\%_{((\alpha+\beta)\text{共})} = \frac{N - 60}{N - E} \times 100\%$$

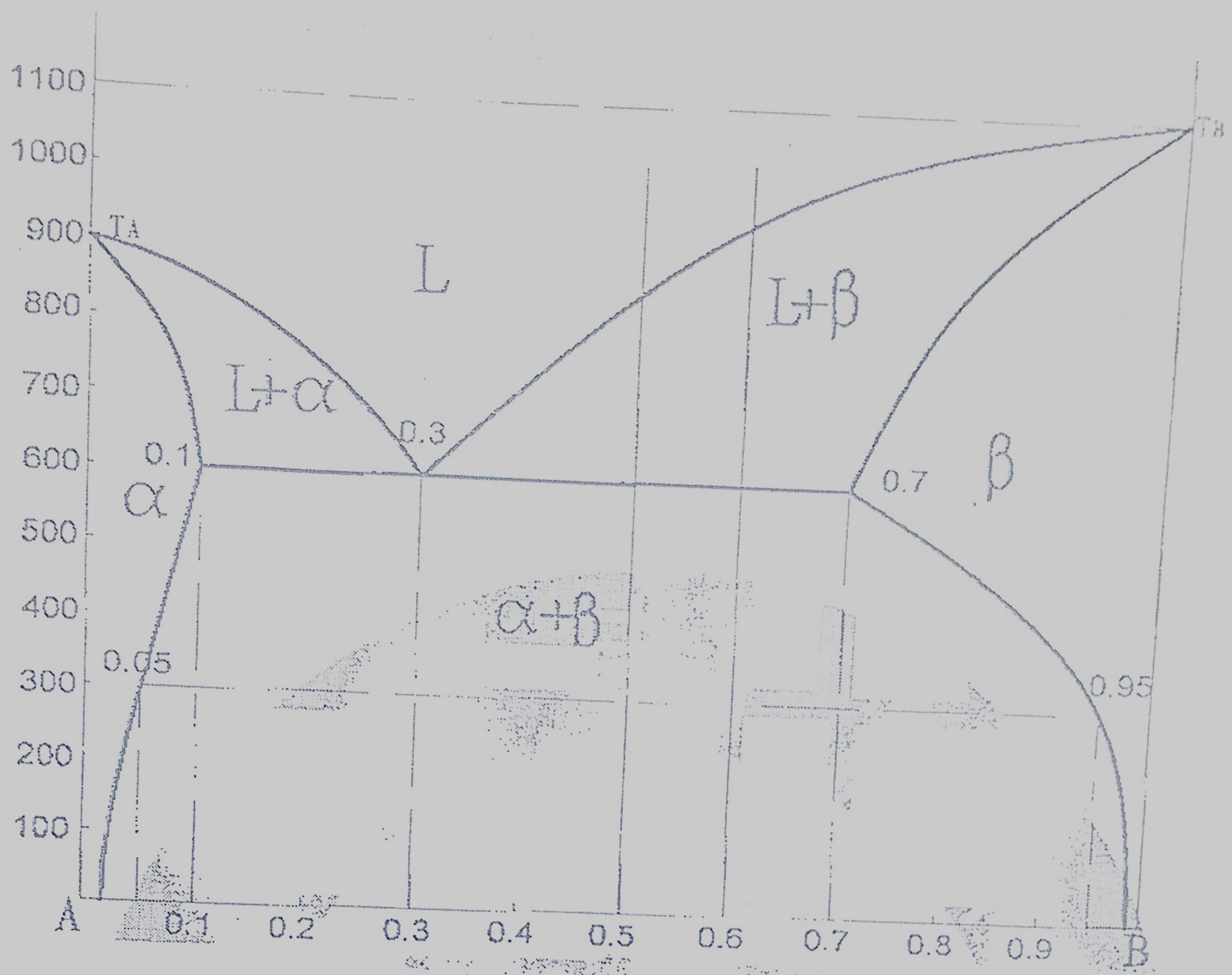
$$83.33\%_{(\beta\text{先})} = \frac{60 - M}{N - M} \times 100\%$$

可解得  $E=30\%$ ， $M=10\%$ ， $N=70\%$ 。

其他已知条件也是同样的应用杠杆定律可以求出特征点，再根据这些特征点画出相图，



这里不列出式子，下图为所求二元相图。



9.说明金属在冷变形、回复、再结晶及晶粒长大四个阶段晶体缺陷的行为与表现，并说明各阶段促使这些晶体缺陷运动的驱动力是什么。

【考查重点】

这是第五章塑性变形、回复和再结晶的考点，是该章节的重点，考生应掌握。

【答案解析】

| 缺陷表现、物理变化 | 晶体缺陷的行为  | 缺陷运动驱动力                     |
|-----------|--|-----------------------------|
| 冷变形       | 冷加工变形时主要的形变方式是滑移，由于滑移，晶体中空位和位错密度增加，位错分布不均匀                                 | 切应力作用                       |
| 回复        | 空位扩散、集聚或消失；位错密度降低，位错相互作用重新分布(多边化)  | 弹性畸变能                       |
| 再结晶       | 毗邻低位错密度区晶界向高位错密度的晶粒扩张。位错密度减少，能量降低，成为低畸变或无畸变区                               | 形变储存能                       |
| 晶粒长大      | 弯曲界面向其曲率中心方向移动。微量杂质原子偏聚在晶界区域，对晶界移动起拖曳作用。这与杂质吸附在位错中组成柯氏气团阻碍位错运动相似，影响了晶界的活动性 | 晶粒长大前后总的界面能差，而界面移动的驱动力是界面曲率 |

10.杠杆定律与重心法则有什么关系？在三元相图的分析中怎样运用杠杆定律和重心法



则?

### 【考查重点】

这是第八章三元相图中杠杆定律及重心定律的考点，考生应理解这些定律，并会应用。

### 【答案解析】

1. 杠杆定律与重心法则有什么关系：杠杆定律应用于三元相图两相平衡时，而重心法则则是应用于三元系处于三相平衡时，当设想先把三相中的任意两相，混合成一体，然后再把这个混合体和第三相混合成合金，那么这两部分即可应用杠杆定律中的推论，即当给定材料在一定温度下处于两相平衡状态时，若其中一相的成分给定，另一相的成分点必在两已知成分点连线的延长线上。结合直线定律，再进一步应用杠杆定律，可推导出合金成分正好位于成分三角形（三相平衡的三相成分点构成）的质量重心，即重心法则。可见，重心法则是由一定假设，借助直线法则、杠杆定律而推导出来的。

2. 杠杆定律用来计算三元系中两相平衡时，两个相的质量分数；另外可以由直线法则及杠杆定律作出有用的推论：当给定材料在一定温度下处于两相平衡状态时，若其中一相的成分给定，另一相的成分点必在两已知成分点连线的延长线上；若两个平衡相的成分点已知，材料的成分点必然位于此两个成分点的连线上。

重心法则可用来计算三元系中三相平衡时，三个相的质量分数。

9



# 厦门大学 2008 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题

## 材料科学基础部分

### 1. 名词解释

#### (1) 固溶体

##### 【考查重点】

这是第二章固溶体的考点，考生应该掌握固溶体的概念以及特点。

##### 【答案解析】

固溶体是以某一组元为溶剂，在其晶体点阵中溶入其他组元原子（溶质原子）所形成的均匀混合的固态溶体，它保持着溶剂的晶体结构类型。

#### (2) 再结晶

##### 【考查重点】

这是第五章再结晶的考点，再结晶的概念考生应掌握。

##### 【答案解析】

将冷变形后的金属加热到一定温度之后，在原变形组织中重新产生了无畸变的新晶粒，而性能也发生了明显的变化并恢复到变形前的状况。这个过程称之为再结晶。

#### (3) 临界分切应力

##### 【考查重点】

这是第五章单晶体的塑性变形的考点，考生应该掌握临界分切应力的物理意义。

##### 【答案解析】

晶体的滑移是在切应力作用下进行的，但其中许多滑移系并非同时参与滑移，而只有当外力在某一滑移系中的分切应力达到一定临界值时，该滑移系才可以首先发生滑移，该分切应力称为滑移的临界分切应力。

#### (4) 共析转变

##### 【考查重点】

这是第七章具有固态转变的二元相图的考点，考生应熟悉一些典型的二元相图和它们所特有的转变。

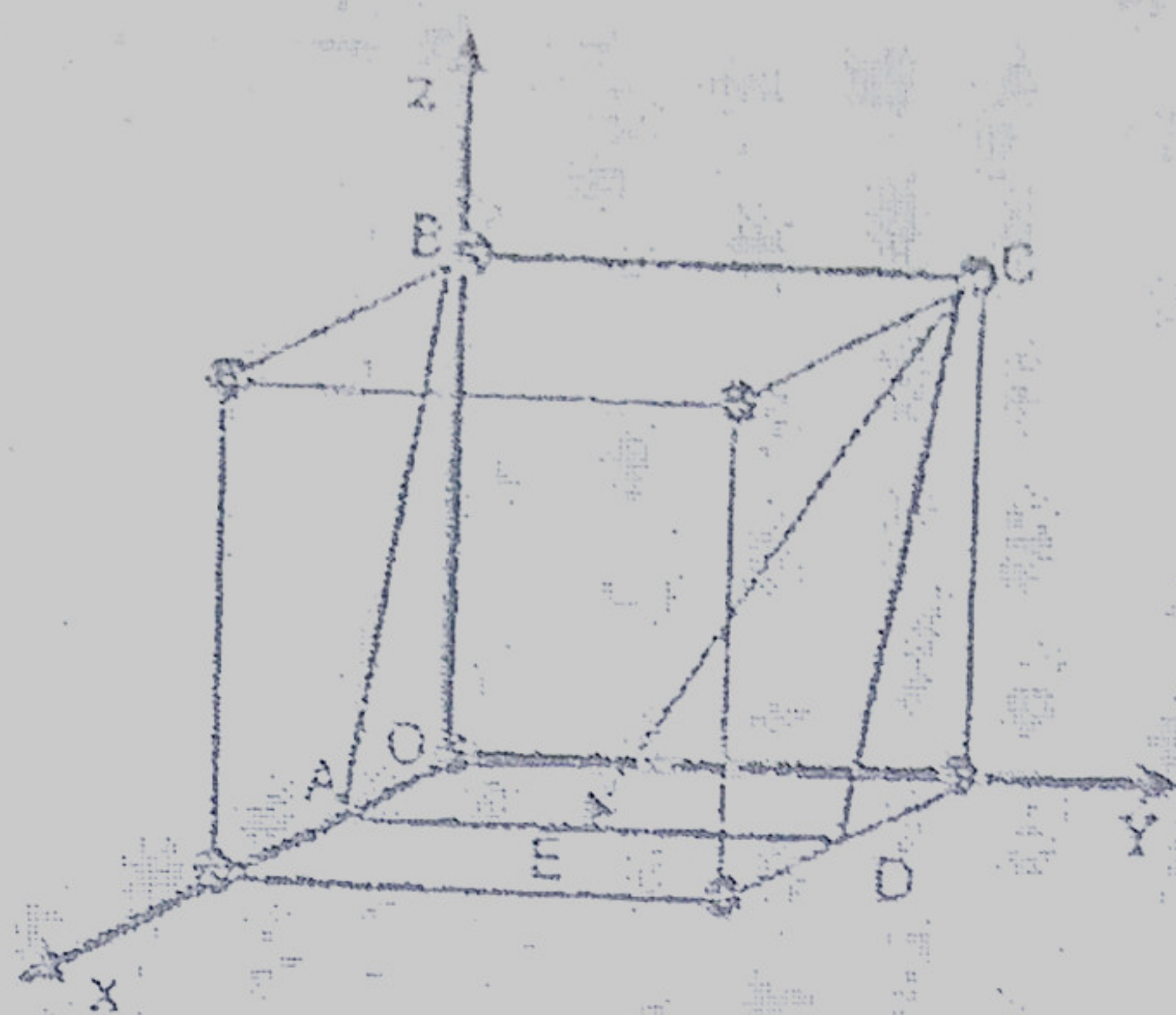
##### 【答案解析】

共析转变是一个固相在恒温下转变为另外两个固相。

### 2. 写出图中所示立方晶格中晶面 ABCD 和晶向 CE 的指数；并在立方晶格中画出晶面

(111) 和该面上属于  $\langle 112 \rangle$  的三个晶向，并标出具体指数。



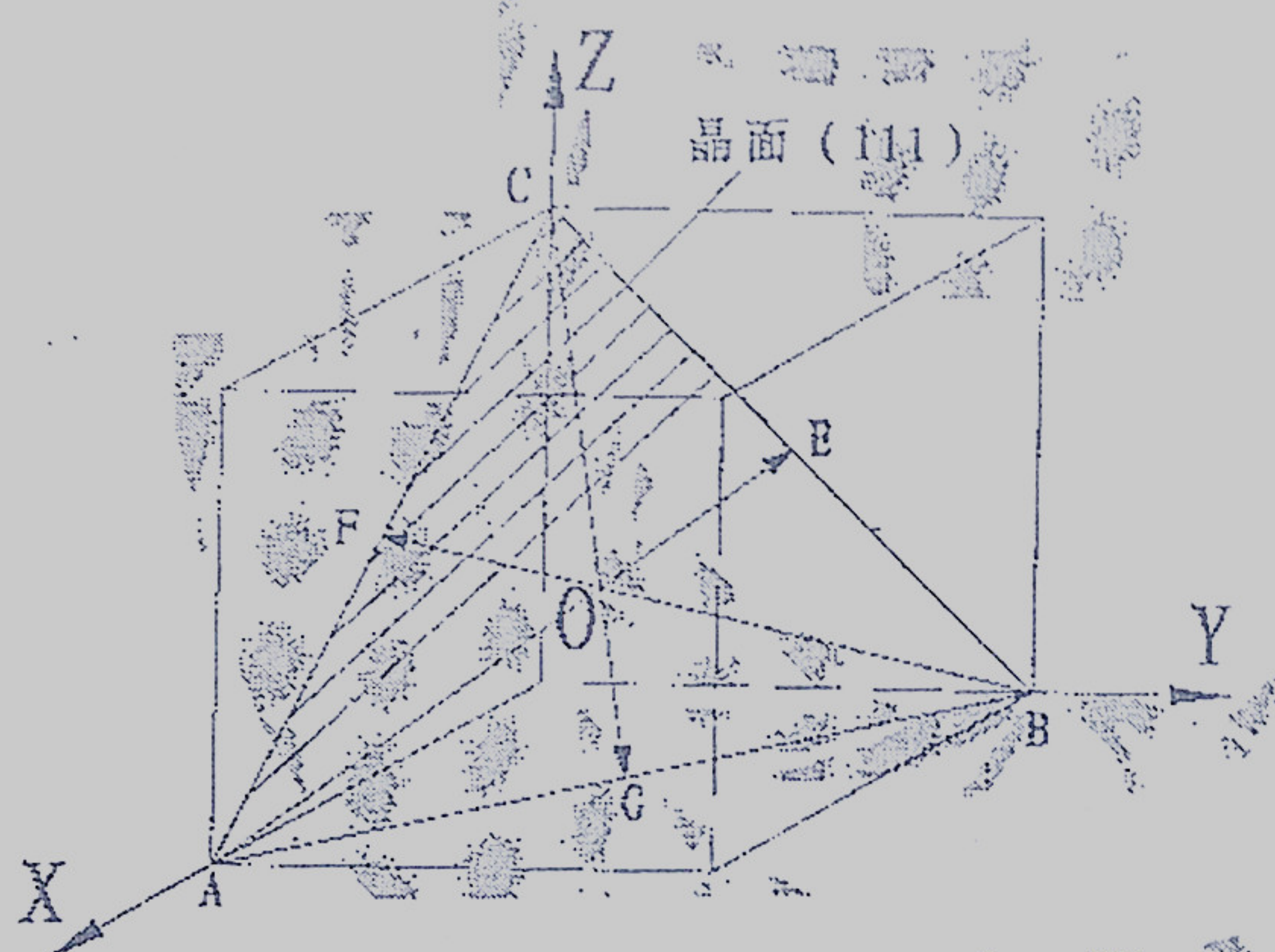


### 【考查重点】

这是第二章立方晶体与六方晶系的考点，考生应会标注晶向、晶面指数并会画出给定的晶向、晶面指数。

### 【答案解析】

立方晶格中晶面 ABCD 的指数为 (201)；晶向 CE 的指数为  $[\bar{1}\bar{1}2]$



晶面 (111) 上属于  $\langle 112 \rangle$  的三个晶向分别为 AE, BF, CG，它们的晶向指数分别为  $[\bar{2}11]$ ;  $[\bar{1}21]$ ;  $[\bar{1}12]$

3. 判断下列位错反应能否进行，并说明理由。

$$(1) \frac{a}{2} [\bar{1}01] + \frac{a}{6} [\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3} [\bar{1}11]$$

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

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

$$\frac{1}{6} [\bar{2}2\bar{1}]$$



$$(4) a[100] \rightarrow \frac{a}{2}[\bar{1}11] + \frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$$

### 【考查重点】

这是第三章位错反应的考点, 2007 年到 2010 年每年都考到, 属于送分题, 考生应掌握。

### 【答案解析】

$$(1) \text{能。几何条件: } \sum b_{\text{前}} = \frac{a}{3}[\bar{1}11], \sum b_{\text{后}} = \frac{a}{3}[\bar{1}11];$$

能量条件:  $\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{3}{2}a^2 > \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{a^2}{3}$ , 均能满足, 所以此反应可以进行。

(2) 不能。能量条件:  $\sum b_{\text{前}}^2 = a^2 = \sum b_{\text{后}}^2 = a^2$ , 即反应前后能量相等, 所以不能进行。

(3) 不能。几何条件:  $\sum b_{\text{前}} = \frac{a}{6}[557], \sum b_{\text{后}} = \frac{a}{6}[\bar{1}11]$ , 不满足, 所以此反应不能进行。

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

4. 纯铝晶体为面心立方点阵, 已知铝的相对原子质量为  $A_r(\text{Al}) = 26.97$ , 原子半径  $r = 0.143\text{nm}$ , 求铝晶体的密度。(阿伏伽德罗常数  $6.023 \times 10^{23}$ )

### 【考查重点】

这是第二章面心立方晶体结构的晶体学特点, 考生要对三种典型的金属晶体结构的晶体学特点熟练掌握, 并会基本的计算。

### 【答案解析】

$$\text{单位晶胞中铝原子的个数 } n = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ 个}$$

$$1\text{mol Al 的体积 } V = N_A a^3 = \frac{1}{4} \times 6.023 \times 10^{23} \times (2\sqrt{2}R)^3 = 0.0997 \times 10^{23} \text{ nm}^3 = 9.97 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{A_r}{V} = \frac{26.97}{9.97} = 2.7 \text{ g/cm}^3$$

5. 简述菲克第一定律和第二定律的含义, 写出其表达式, 并标明其字母的物理含义。

### 【考查重点】

这是第四章菲克第一、二定律的考点, 考生应理解它们的含义, 各物理量的意义。

### 【答案解析】

菲克定律描述了固体中存在浓度梯度时发生的扩散, 即化学扩散。

菲克第一定律: 扩散中原子的通量与质量浓度梯度成正比, 即  $J = -D \frac{dp}{dx}$ 。式中,  $J$

为扩散通量, 表示单位时间内通过垂直于扩散方向  $x$  的单位面积的扩散物质质量, 其单位为

$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $D$  为扩散系数, 其单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ ,  $p$  是扩散物质的质量浓度, 其单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。



式中的负号表示物质的扩散方向与质量浓度梯度  $\frac{d\rho}{dx}$  方向相反, 即表示物质从高的质量浓度

区向低的质量浓度区方向迁移。该定律描述了一种稳态扩散, 即质量浓度不随时间而变化。

菲克第二定律: 大多数扩散过程是非稳态扩散过程, 某一点的浓度是随时间而变化, 这类过程可以由菲克第一定律结合质量守恒条件推导出的菲克第二定律来处理。即

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial \rho}{\partial x} \right)。$$

6. 铸锭的一般组织可分为哪几个区域? 写出其名称, 并简述影响铸锭结晶组织的因素。

【考查重点】

这是第七章合金铸锭(件)的组织与缺陷的考点, 考生应该掌握铸锭组织的区域和影响因素。

【答案解析】

在铸锭组织中, 一般有三层晶区:

(1) 表层细晶区。其形成是由于模壁的温度较低, 液体的过冷度较大, 因此形核率较高。

(2) 柱状晶区。其形成是由于模壁的温度升高, 晶核的成长速率大于晶核的形核率, 且沿垂直于模壁方向的散热较为有利。在细晶区中取向有利的晶粒优先生长为柱状晶粒。

(3) 中心等轴晶区。其形成是由于模壁温度进一步升高, 液体过冷度进一步降低, 剩余液体的散热方向性已不明显, 处于均匀冷却状态; 同时, 未熔杂质、破碎枝晶等易集中于剩余液体中, 这些都促使了等轴晶的形成。

影响铸锭结晶组织的因素: 冷却速度、浇注温度。通常快的冷却速度, 高的浇注温度和定向散热有利于柱状晶的形成; 如果金属纯度较高、铸锭截面较小时, 柱状晶快速成长, 有可能形成穿晶。相反, 慢的冷却速度, 低的浇注温度, 加入有效形核剂或搅动等均有利于形成中心等轴晶。

7. 根据下列条件画出一个二元系相图, A 和 B 的熔点分别是  $1000^{\circ}\text{C}$  和  $700^{\circ}\text{C}$ , 含  $w_B=0.25$  的合金正好在  $500^{\circ}\text{C}$  完全凝固, 它的平衡组织由 73.3% 的先共晶  $\alpha$  和 26.7% 的  $(\alpha+\beta)$  共晶组成。而  $w_B=0.5$  的合金在  $500^{\circ}\text{C}$  时的组织由 40% 的先共晶  $\alpha$  和 60% 的  $(\alpha+\beta)$  共晶组成, 并且此合金的  $\alpha$  总量为 50%。

【考查重点】

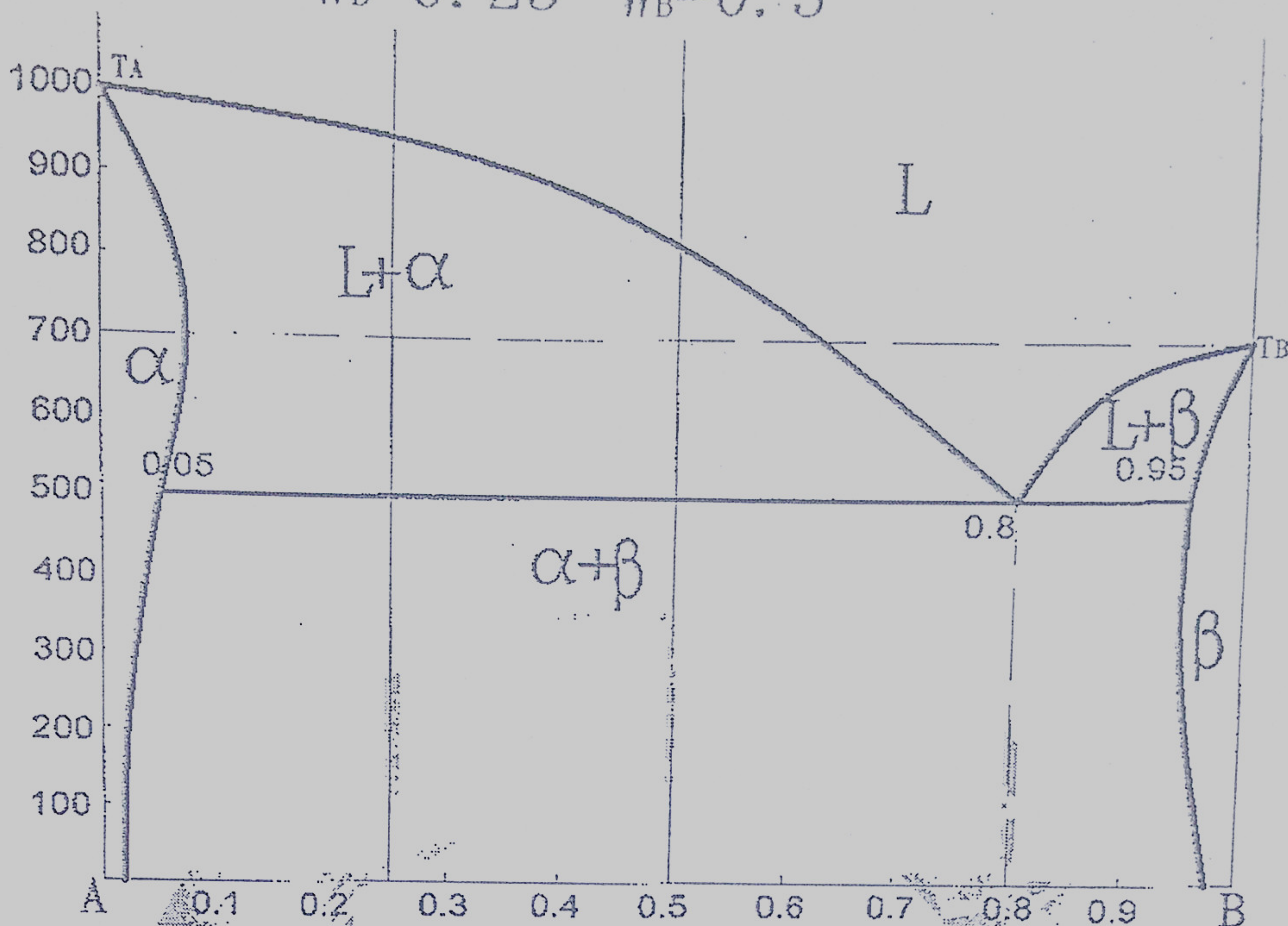
这是第七章二元相图的考点, 考生应重点掌握二元相图的分析, 并会根据给出的已知条件, 画出所求的二元相图。

【答案解析】

方法同 2007-8, 下图为所求二元相图。



$$W_B=0.25 \quad W_B=0.5$$



8.判断正误，并改正其中错误。

(1) 由凝固理论可知，细化晶粒的途径是提高形核率，降低长大速度。

【答案解析】

这是第六章细晶的获得的考点，考生应理解形核率、长大速率与晶粒尺寸的关系。

【考查重点】

正确。

(2) 渗碳处理常常在钢的奥氏体区域进行，这是因为碳在奥氏体中的浓度梯度比在铁素体中的大。

【答案解析】

这是第四章扩散的考点与铁碳合金的组织及性能的考点的综合，考生应灵活应用所学知识，融会贯通。

【考查重点】

正确。

(3) 固态金属中原子扩散的驱动力是浓度梯度。

【考查重点】

这是考察第四章扩散的热力学分析考点，考生应掌握扩散的驱动力的本质，这同时也解释了“上坡扩散”等反常现象。

【答案解析】

错误。固态金属中原子扩散的驱动力是化学势能梯度，而不是浓度梯度。

(4) 无论温度分布如何，常用金属生长都是呈树枝状界面。

第

PQ

第五

P221



【考查重点】

这是第六章纯晶体凝固时的生长形态考点，考生应该清楚正、负温度梯度下纯晶体凝固时的生长形态。

【答案解析】

错误。只有在负温度梯度条件下，常用纯金属生长呈树枝状界面。

(5) 柏氏矢量与所作的柏氏回路的途径无关。

【考查重点】

这是第三章柏氏矢量的特性的考点，考生应掌握其四个特性。

【答案解析】

正确。

(6) 再结晶是形核长大的过程，所以也是一个相变过程。

【考查重点】

这是第五章再结晶过程的考点，考生应掌握再结晶过程的意义以及它与固态相变的不同。

【答案解析】

错误。再结晶虽然是形核长大过程，但晶体点阵类型并未改变，故不是相变过程。

9. 根据所学知识，试论述金属材料、陶瓷材料的主要性能特点，并列举几种它们的制备方法。

【考查重点】

这是一个综合题，考察的是金属和陶瓷的性能特点，隐含考察它们的结构和键合特征，同时还考察它们的制备方法，属于平时积累的知识。

【答案解析】

金属材料中的结合键是金属键，金属键基本特点是电子的共有化，由于自由电子的存在，金属一般都具有良好的导电和导热性能。金属键无饱和性又无方向性，当金属受力变形而改变原子之间的相互位置时不至于破坏金属键，这就使金属具有良好的延展性。以金属键结合的每个原子有可能同更多的原子相结合，并趋于形成低能量的密堆结构，因此金属结构致密。但金属材料的熔点和硬度一般不高。

陶瓷材料中主要的结合键是离子键及共价键。由于离子键及共价键很强，故陶瓷的抗压强度很高，硬度极高。因为原子以离子键和共价键结合时，外层电子处于稳定的结构状态，不能自由运动，故陶瓷材料的熔点很高，抗氧化性好，耐高温，化学稳定性高。

金属材料的制备方法，如冶炼，铸造，冷、热加工，热处理等。

陶瓷材料混料、成形、烧结、熔炼，吹（瓶等）、拉（玻璃）等。

10. 在以下两小题中选答一题。

(1) 试用位错理论解释低碳钢的屈服现象。

【考查重点】

这是第五章屈服现象的考点，考生应掌握屈服现象的物理本质。



### 【答案解析】

低碳钢的屈服现象可用位错理论说明。由于低碳钢是以铁素体为基的合金，铁素体中的碳(氮)原子与位错交互作用，总是趋于聚集在位错线受拉应力的部位以降低体系的畸变能，形成柯氏气团对位错起“钉扎”作用，致使 $\sigma_s$ 升高。而位错一旦挣脱气团的钉扎，便可在较小的应力下继续运动，这时拉伸曲线上又会出现下屈服点。已经屈服的试样，卸载后立即重新加载拉伸时，由于位错已脱出气团的钉扎，故不出现屈服点。但若卸载后，放置较长时间或稍经加热后，再进行拉伸时，由于溶质原子已通过热扩散又重新聚集到位错线周围形成气团，故屈服现象又会重新出现。

(2) 讨论形成晶相和玻璃相的条件，指出为什么大多数陶瓷材料可以结晶，形成玻璃相也是常见的，而金属则很容易进行结晶，但很难形成玻璃相？

### 【考查重点】

这是第二章晶态与非晶态的考点以及第六章结晶的考点，属于综合题，考生应掌握这些概念的本质含义，和陶瓷、金属的结构特点。

### 【答案解析】

对于有可能进行结晶的材料，决定液体冷却时是否能结晶或形成玻璃的外部条件是冷却速度，内部条件是黏度。如果冷却速度足够高，任何液体原则上都可以转变成玻璃。特别是对那些分子结构复杂、材料熔融态时黏度很大冷却时原子迁移扩散困难，则晶体的形成过程很难进行，容易形成过冷液体。温度下降至 $T_g$ 温度以下时，过冷液体固化成玻璃。

金属材料由于其晶体结构比较简单，且熔融时黏度小，冷却时很难阻止结晶过程的发生，故固态下的金属大多为晶体；但如果冷却很快时，能组织某些合金的结晶过程，此时过冷液态的原子排列方式保留至固态，原子在三维空间则不呈周期性的规则排列。

陶瓷材料晶体一般比较复杂，特别是能形成三维网络的 $\text{SiO}_2$ 等，尽管大多数陶瓷材料可进行结晶，但也有一些是非晶体，这主要是指玻璃和硅酸盐结构。



# 厦门大学 2009 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题

## 材料科学基础部分

### 1. 名词解释

#### (1) 配位数

##### 【考查重点】

这是考察第二章配位数的考点，考生应掌握其意义。

##### 【答案解析】

配位数 (CN): 晶体结构中任一原子周围最近邻且等距离的原子数。

#### (2) 空间点阵

##### 【考查重点】

这是第二章空间点阵的考点，不连续出现两年，考生应掌握并会区分空间点阵、阵点、晶胞的概念，清楚它们之间的关系。

##### 【答案解析】

将晶体中原子或原子团抽象为纯几何点 (阵点)，即可得到一个由无数几何点在三维空间规则排列成规则的阵列称为空间点阵，简称点阵；特征：每个阵点在空间分布必须具有完全相同的周围环境。

#### (3) 位错攀移

##### 【考查重点】

这是第三章位错的运动考点，考生应掌握位错的两种运动方式的概念以及它们的特点。

##### 【答案解析】

位错的攀移：在热缺陷或外力作用下，位错线在垂直其滑移面方向上的运动，结果导致晶体中空位或间隙质点的增殖或减少。

#### (4) 二次再结晶

##### 【考查重点】

这是第五章晶粒长大的考点，考生应掌握二次再结晶的概念，以及它与一次再结晶有什么关系。

##### 【答案解析】

二次再结晶 (异常晶粒长大)：又称不连续的晶粒长大，二次再结晶为非形核过程，不产生新晶核，而是以一次再结晶后的某些特殊晶粒作为基础而长大的。

### 2. 作图表示立方晶体的 $(12\bar{3})$ ， $(0\bar{1}2)$ 晶面及 $[\bar{1}02]$ ， $[\bar{2}11]$ 晶向。作图表示六方晶体

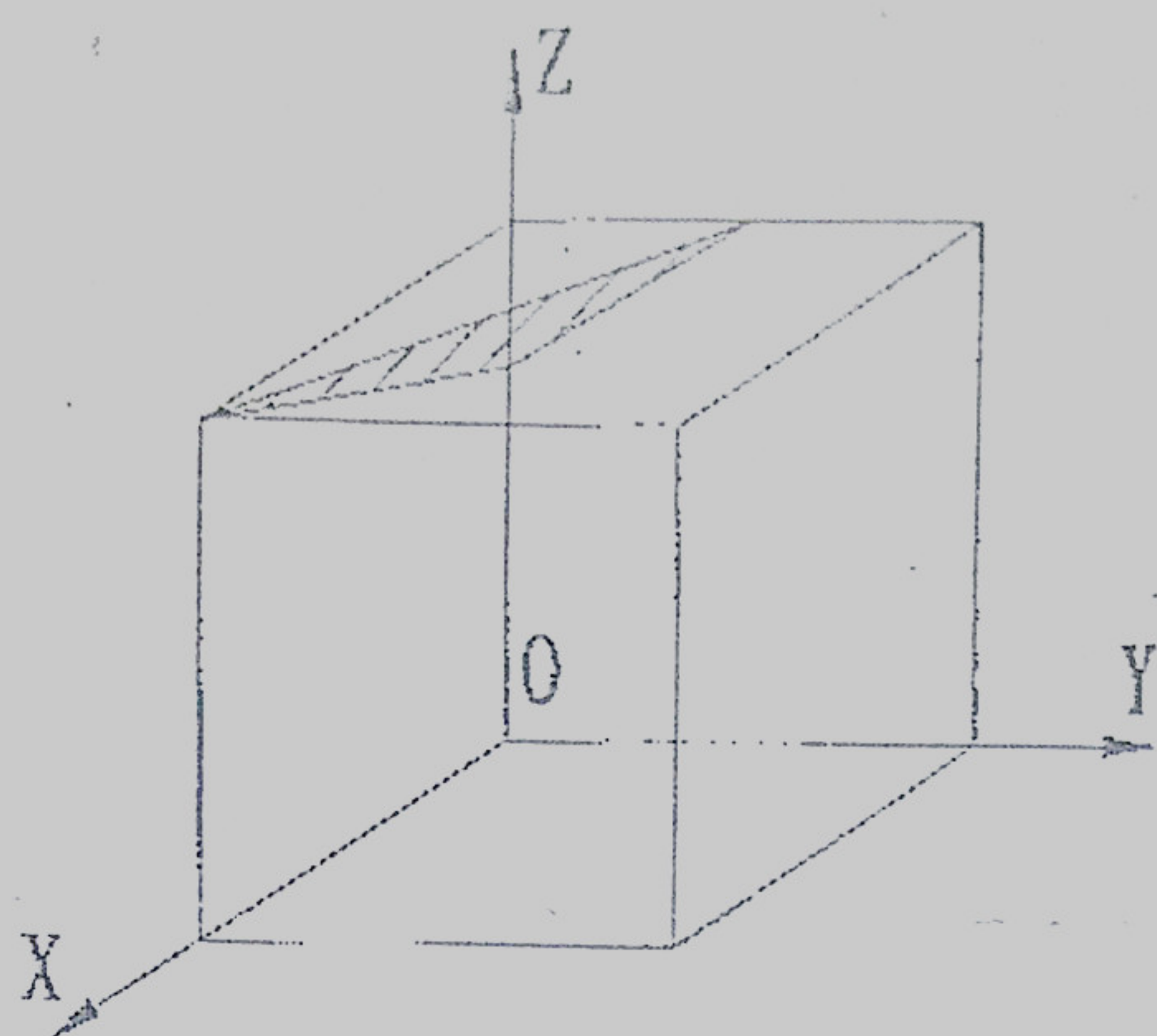
$(11\bar{2}0)$  晶面。

##### 【考查重点】

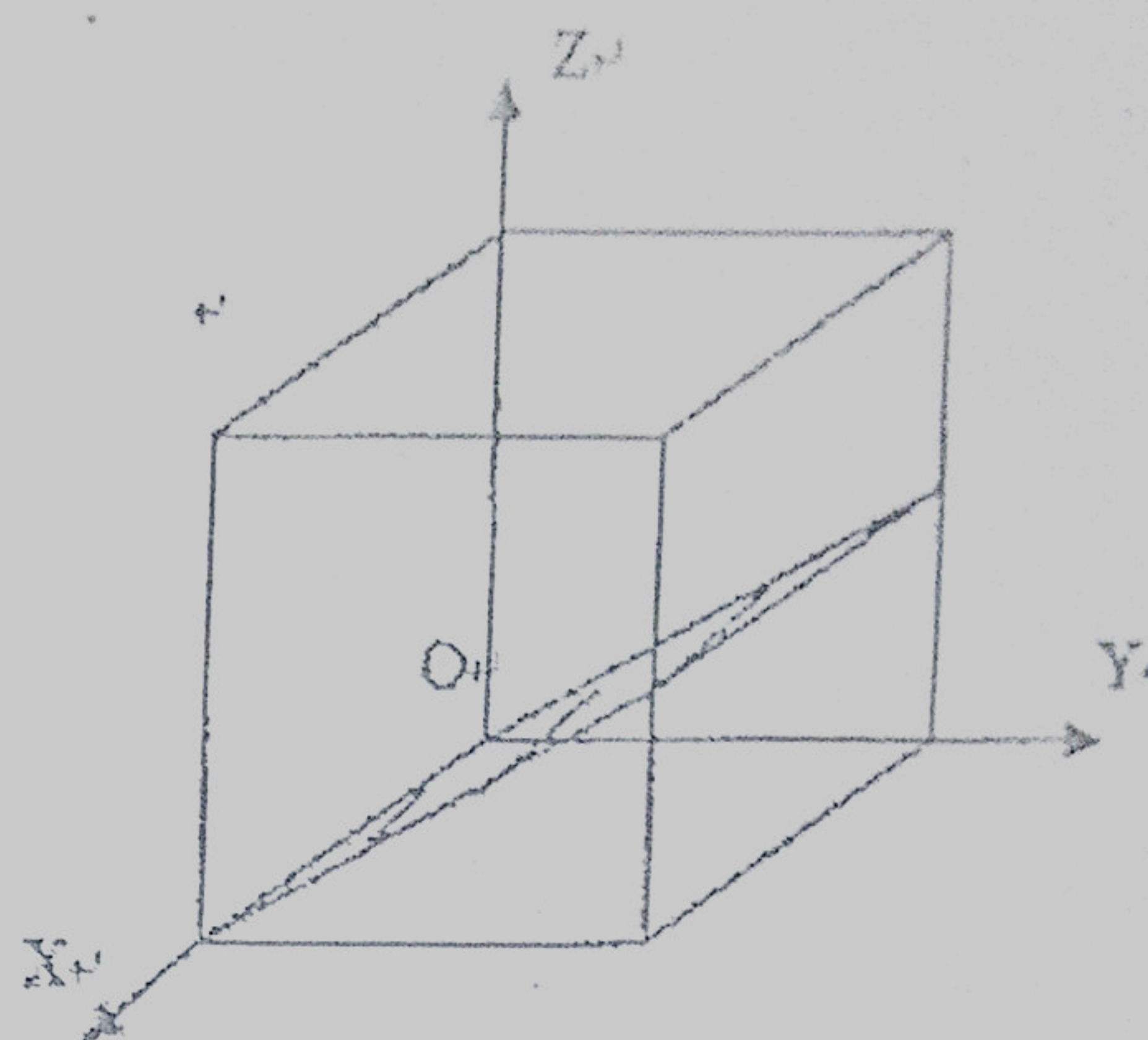
这是第二章立方晶体与六方晶系的考点，考生应会标注晶向、晶面指数并会画出给定的晶向、晶面指数。



【答案解析】

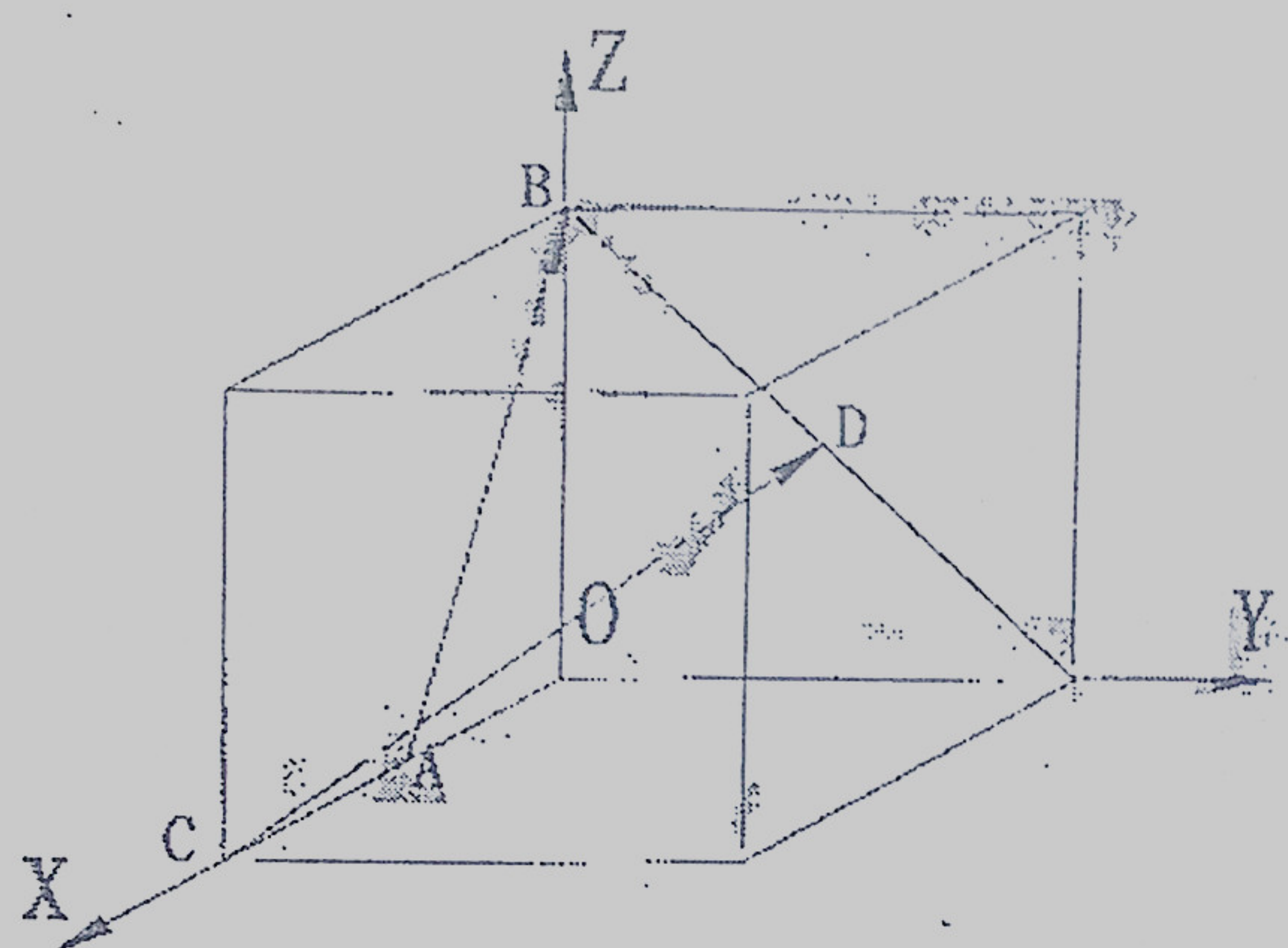


立方晶体  $(1\bar{2}3)$  晶面

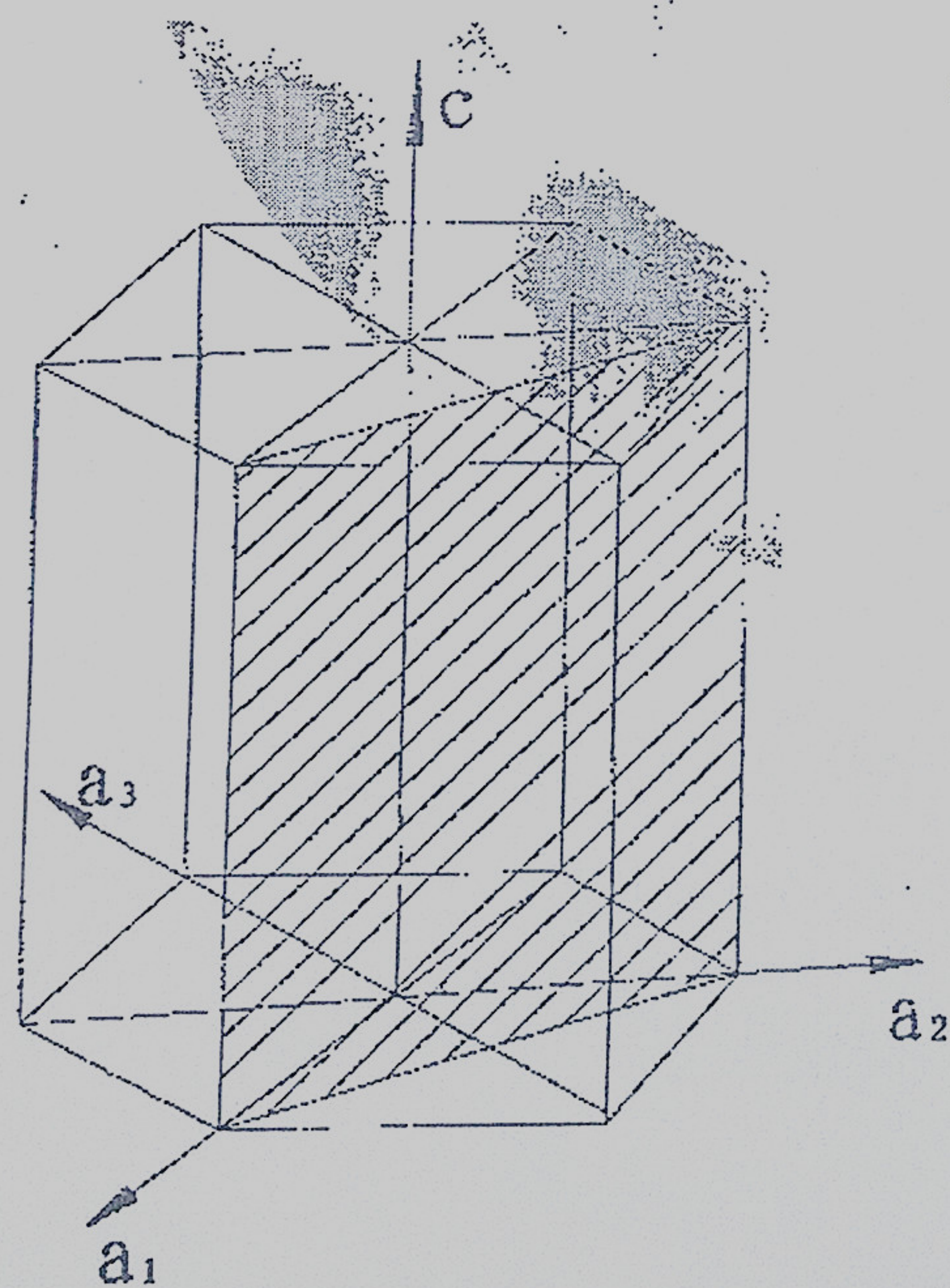


立方晶体  $(0\bar{1}2)$

18



立方晶体  $[1\ 0\ 2]$  和  $[2\ 1\ 1]$  分别为 AB 和 CD 晶向



六方晶系  $(11\bar{2}0)$  晶面



3. 判断下列位错反应能否进行, 并说明理由。

$$(1) \frac{a}{2} \begin{bmatrix} \bar{1} & \bar{1} & 1 \end{bmatrix} + \frac{a}{2} [111] \rightarrow a[001]$$

$$(2) \frac{a}{2} [110] \rightarrow \frac{a}{6} \begin{bmatrix} 1 & 2 & \bar{1} \end{bmatrix} + \frac{a}{6} [211]$$

$$(3) \frac{a}{3} [112] + \frac{a}{6} \begin{bmatrix} \bar{1} & 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{a}{2} [111]$$

### 【考查重点】

这是第三章位错反应的考点, 2007 年到 2010 年每年都考到, 属于送分题, 考生应掌握。

### 【答案解析】

(1) 能。几何条件:  $\sum b_{\text{前}} = a[001], \sum b_{\text{后}} = a[001]$ ; 能量条件:

$$\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{3}{2}a^2 > \sum b_{\text{后}}^2 = a^2, \text{均能满足, 所以此反应可以进行。}$$

(2) 能。几何条件:  $\sum b_{\text{前}} = \frac{a}{2}[110], \sum b_{\text{后}} = \frac{a}{2}[110]$ ; 能量条件:

$$\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{a^2}{2} > \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{a^2}{3}, \text{均能满足, 所以此反应可以进行。}$$

(3) 不能。能量条件:  $\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{3}{4}a^2 = \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{3}{4}a^2$ , 反应前后能量相等, 所以此反应不能进行。

4. 固体钨 (Ta) 是立方体结构, 计算:

(1) 1mm<sup>3</sup> 中有多少原子?

(2) 求其原子的堆积密度为多少?

(3) 该元素是体心立方还是面心立方结构, 为什么?

(原子序数为 73, 相对原子质量为 180.95; 原子半径为 0.1429nm; 密度为 16.6mg/mm<sup>3</sup>;

阿伏伽德罗常数  $N_A = 6.023 \times 10^{23}$ )

### 【考查重点】

这是第二章三种典型的金属晶体结构的考点, 考生应重点掌握。

### 【答案解析】

(1) 1mm<sup>3</sup> 原子个数

$$N = n \cdot N_A = \frac{m}{A_r} N_A = \frac{\rho \cdot V}{A_r} N_A = \frac{16.6 \times 10^{-3} \times 1}{180.95} \times 6.023 \times 10^{23} = 5.525 \times 10^{19} \text{ 个}$$

$$(2) \text{堆积密度 } K = \frac{N \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{V} = \frac{5.525 \times 10^{19} \times \frac{4\pi}{3} \times 0.1429^3}{(1 \times 10^6)^3} \approx 0.68$$



(3) 该元素是体心立方, 因为其致密度为 0.68。

5. 判断正误, 并改正其中错误

(1) FCC 中的八面体间隙比 BCC 中的大, 故 FCC 中的原子排列比较松散。

【考查重点】

这是第二章三种典型的金属晶体结构的考点, 考生应对其非常熟悉。

【答案解析】

错误。FCC 中的八面体间隙比 BCC 中的大, 但是 FCC 中的原子排列比较致密, 因为是否致密看的是其致密度。

(2) 在任何温度下, 液相中出现的最大结构起伏都是晶核。

【考查重点】

这是第六章纯晶体凝固和结构起伏的考点, 考生应清楚晶体凝固的条件和结构起伏的概念。

【答案解析】

错误。在一定过冷度下, 液相中出现的最大结构起伏都是晶核。

(3) 液态纯金属中加入形核剂, 其生长形态总是呈树枝状。

【考查重点】

这是第六章纯晶体凝固时的生长形态的考点, 和形核剂的作用。

【答案解析】

错误。液态纯金属中加入形核剂, 其生长形态不会发生改变。

(4) 金属结晶时, 晶体长大所需要的动态过冷度有时还比形核所需要的临界过冷度大。

【考查重点】

这是第六章晶体长大和形核的考点, 考生应该理解这些过程。

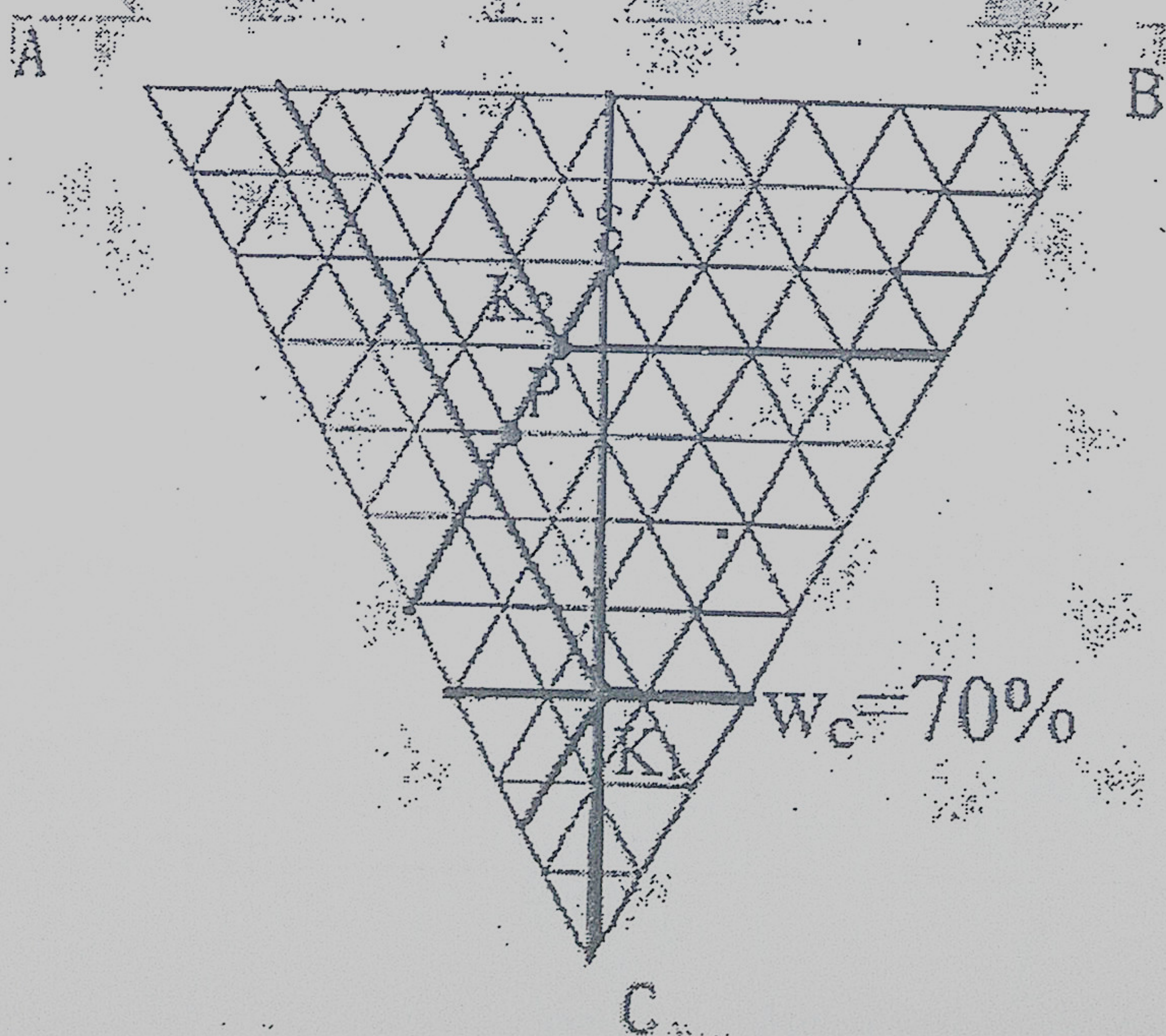
【答案解析】

错误。金属结晶时, 晶体长大所需要的动态过冷度比形核所需要的临界过冷度小。

6. 在三元相图中。

(1) 确定组元 C 为 70%, 而 A 和 B 组元浓度比等于 S 成分的合金成分。

(2) 确定用 10 公斤 P 成分合金与 10 公斤 S 成分合金熔化混合的合金成分, 写出作图步骤。





### 【考查重点】

这是第八章等边成分三角形的考点,考生应该理解成分三角形中的成分的表示方法,并会用作图法代替代数计算。

### 【答案解析】

上图即为解题辅助图(加粗的线条为解题辅助线)。

(1) A 和 B 组元浓度比等于 S 成分的合金成分,所以  $K_1$  的成分必定在 SC 连线上,又组元 C 为 70%,所以  $K_1$  的成分必定在  $w_C=70\%$  线上,所以  $K_1$  的成分即  $w_C=70\%$  线与 SC 连线的交点,再由  $K_1$  点分别向 A, B, C 顶角对应边 BC, CA, AB 引平行线,相交于三边,从而确定其成分为  $w_A=15\%$ ,  $w_B=15\%$ ,  $w_C=70\%$ 。

(2) 将 P 成分的合金与 S 成分的合金看成两相平衡,则混合后的合金成分必定在 SP 连线上,又因为两原合金均为 10 公斤,即质量分数比为 1:1,即混合后合金  $K_2$  必定在 SP 连线的中点,再由  $K_2$  点分别向 A, B, C 顶角对应边 BC, CA, AB 引平行线,相交于三边,从而确定其成分为  $w_A=40\%$ ,  $w_B=30\%$ ,  $w_C=30\%$ 。

7. 铜单晶其外表面平行于  $\{001\}$ , 若施加拉力, 力轴方向为  $[001]$ 。测得  $\tau_c$  为 0.7MPa, 求多大应力下材料能屈服?

### 【考查重点】

这是第五章滑移的临界分切应力考点,考生应理解外力在某滑移面沿滑移方向的分切应力的公式,并会简单的计算。

### 【答案解析】

Cu 为面心立方, 滑移方向为  $\langle 110 \rangle$ , 若取滑移面为 (001), 滑移方向在滑移面上, 则定位  $[01\bar{1}]$ 。

$$\begin{aligned}\vec{a} \cdot \vec{b} &= |\vec{a}| |\vec{b}| \cos\theta \Rightarrow \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} \\ &= \frac{a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2} \sqrt{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}}\end{aligned}$$

(001)[01 $\bar{1}$ ]滑移系:

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

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

$$\sigma = \frac{\tau_c}{\cos\lambda \cos\phi} = \frac{0.7}{\frac{1}{\sqrt{2}} \times 1} = 0.99 \text{ MPa}$$

当应力大于 0.99MPa, 材料能屈服。



8.试用位错理论解释低碳钢的屈服现象。举例说明吕德斯带对工业生产的影响及解决办法。

【考查重点】

这是第五章屈服现象的考点，考生应掌握屈服现象的物理本质。

【答案解析】

低碳钢的屈服现象可用位错理论说明。由于低碳钢是以铁素体为基的合金，铁素体中的碳(氮)原子与位错交互作用，总是趋于聚集在位错线受拉应力的部位以降低体系的畸变能，形成柯氏气团对位错起“钉扎”作用，致使 $\sigma_s$ 升高。而位错一旦挣脱气团的钉扎，便可在较小的应力下继续运动，这时拉伸曲线上又会出现下屈服点。已经屈服的试样，卸载后立即重新加载拉伸时，由于位错已脱出气团的钉扎，故不出现屈服点。但若卸载后，放置较长时间或稍经加热后，再进行拉伸时，由于溶质原子已通过热扩散又重新聚集到位错线周围形成气团，故屈服现象又会重新出现。

吕德斯带会使低碳薄钢板在冲压成型时使工件表面粗糙不平。其解决办法，可根据应变时效原理，将钢板在冲压之前先进行一道微量冷轧(如1%~2%的压下量)工序，使屈服点消除，随后进行冲压成型，也可向钢中加入少量Ti、Al及C、N等形成化合物，以消除屈服点。

9.奥氏体不锈钢能否通过热处理来强化？为什么？生产中用什么方法使其强化？

【考查重点】

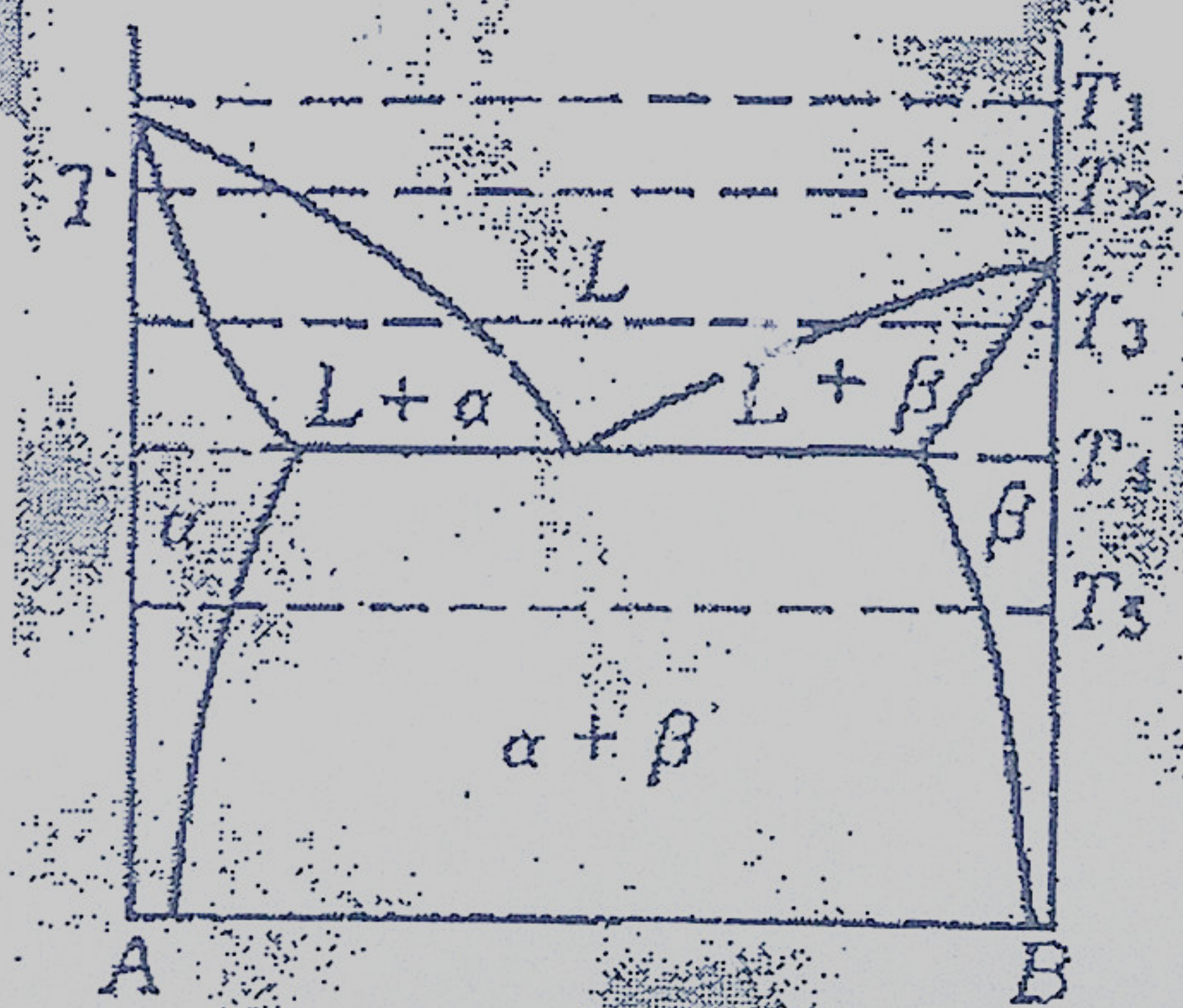
这是第五章塑性变形对材料组织与性能的影响的考点，考生应掌握常用金属强化机制。

【答案解析】

热处理强化机制主要是通过热处理过程中相变而得到强化，而奥氏体不锈钢在热处理时不发生相变，达不到预想的强化效果，因为不能通过热处理来强化。

生产中主要是借冷加工实现强化的。金属材料经冷加工变形后，强度(硬度)显著提高，而塑性则很快下降，即产生了加工硬化现象。加工硬化是金属材料的一项重要特性，可被用作强化金属的途径。特别是那些不能通过热处理强化的材料。

10.已知二元共晶相图如下，请示意地画出各个温度( $T_1$ 、 $T_2$ 、 $\dots$ 、 $T_5$ )下的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、L相的自由能-成分曲线，并作相应的标示。

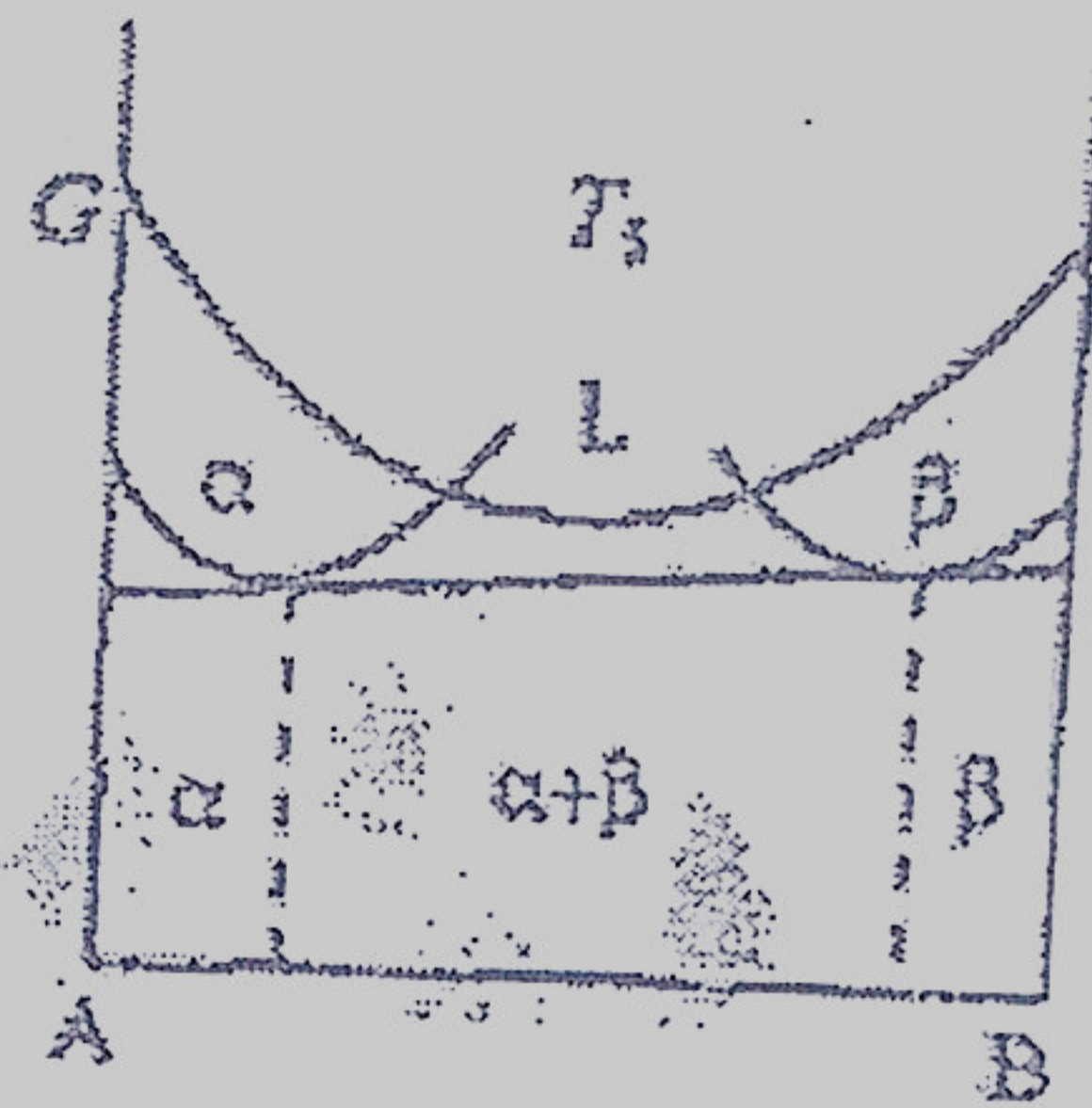
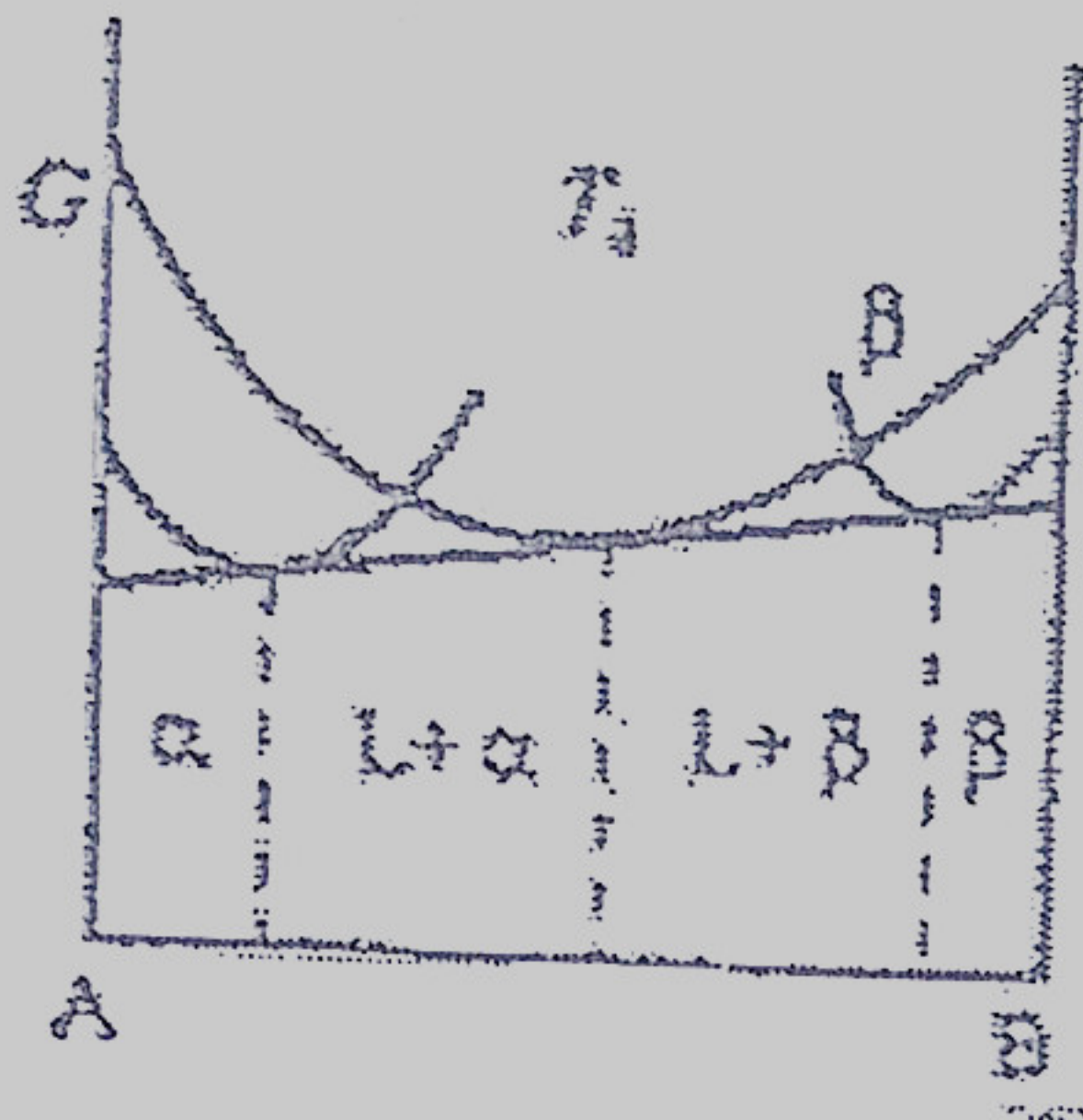
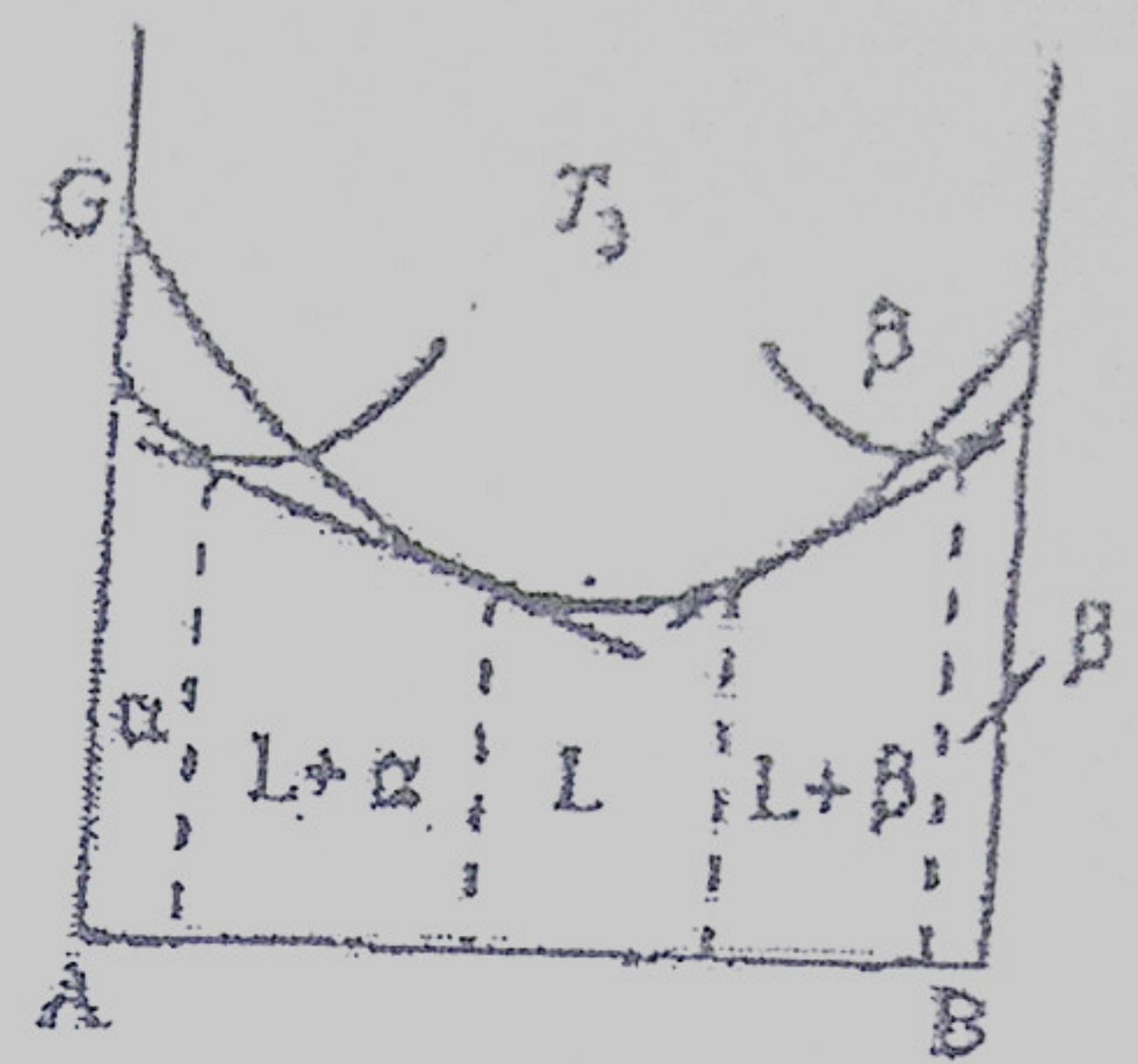
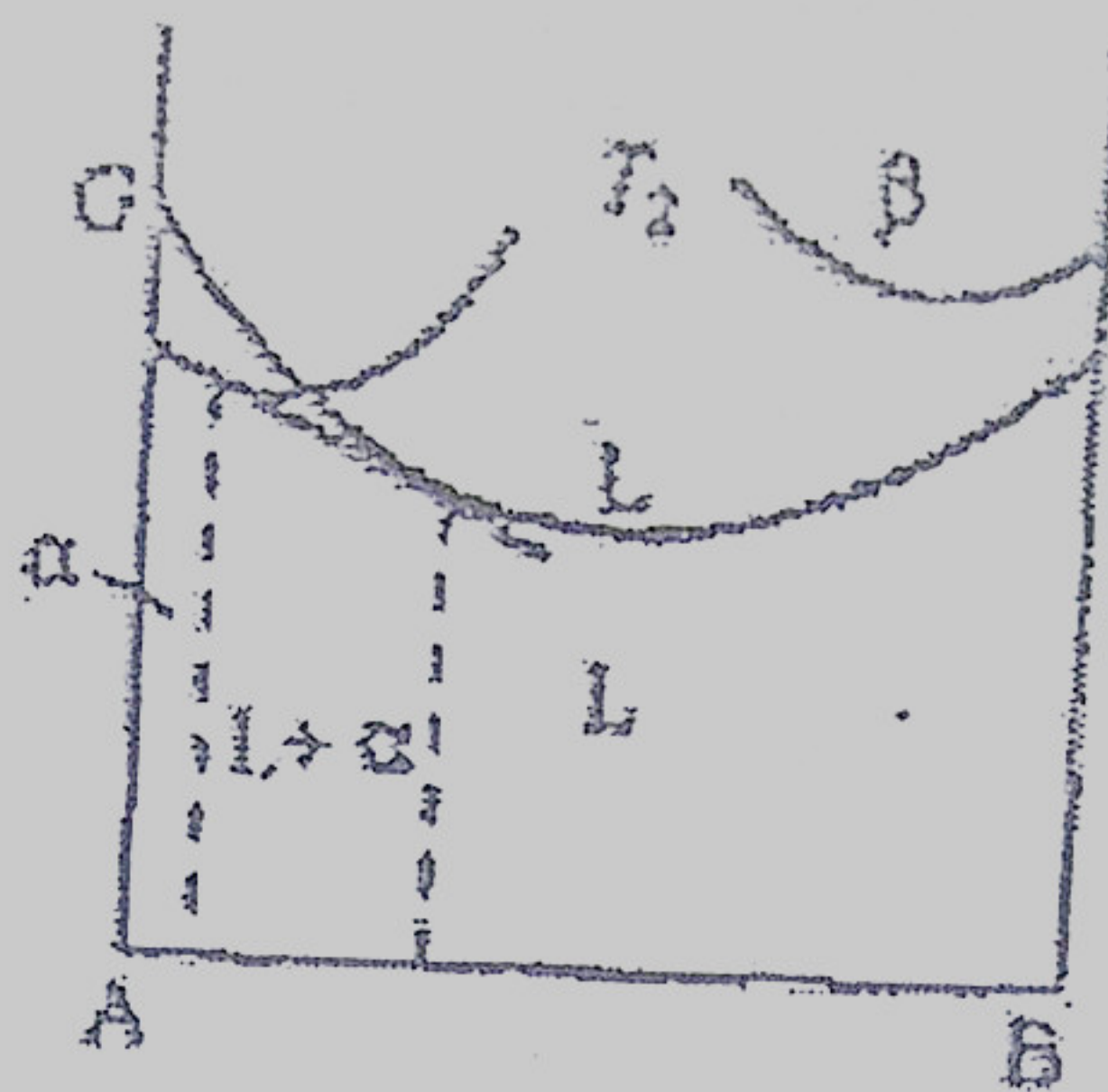
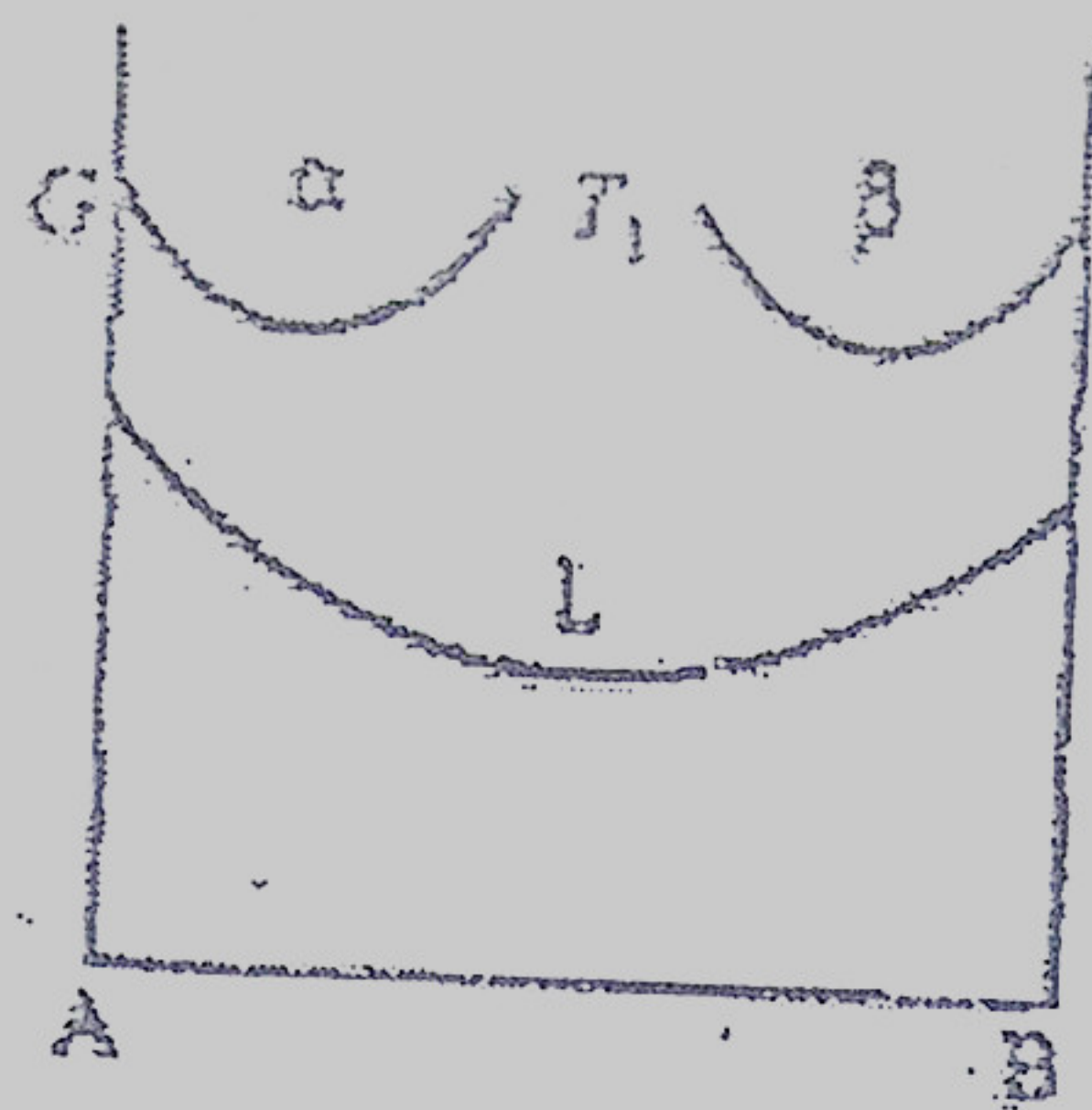


【考查重点】

这是第七章自由能-成分曲线的考点，考生应理解自由能-成分曲线与相图的关系。



## 【答案解析】



11. 在以下两小题中选答一题。

(1) 简要说明提高一种陶瓷材料韧性的方法及原理。

### 【考查重点】

这是第五章陶瓷材料变形的特点的考点，更是考察考生对陶瓷性能的了解以及改善性能的方法。

### 【答案解析】

陶瓷相比于金属而言，脆，难以变形是陶瓷的一大特点。为了改善陶瓷的脆性，提高其韧性，目前采取降低晶粒尺寸，使其亚微米或纳米化来提高其塑性和韧性，采取氧化锆增韧、相变增韧，或采取纤维，或颗粒原位生长增强等有效途径来改善之。下面针对纤维增韧，阐述一下它的原理。纤维增韧：利用一些纤维的高强度和高模量，使之均匀分布于陶瓷材料的基体中，生成一种陶瓷基复合材料。当材料受到外载荷时，纤维可以承担部分的负荷，减轻了陶瓷本身的负担，同时纤维可以阻止或抑制裂纹扩展，从而改善了陶瓷材料的脆性，起到增韧效果。

(2) 三元相图的垂直截面与二元相图有何不同？为什么杠杆定律可以应用于二元相图而不能应用于三元相图的垂直截面？

### 【考查重点】

这是第八章三元相图的截面图的考点，考生应理解三元相图的垂直截面与二元相图的区别。

### 【答案解析】

尽管三元相图的垂直截面与二元相图的形状很相似，但是它们之间存在着本质的差别，二元相图的液相线与固相线可以用来表示合金在平衡凝固过程中液相与固相浓度随温度变化的规律，而三元相图的垂直截面就不能表示相浓度随温度而变化的关系，只能用于了解凝固过程中的相变温度，不能应用直线法则来确定两相的质量分数，也不能用杠杆定律计算两相的相对量。



12.在以下两小题中选答一题。

(1) 简要说明陶瓷的两种主要加工成型方法及工艺过程。

【考查重点】

这是一道综合体，考察考生平时的知识积累，是材料类考生应该了解的知识。

【答案解析】

(1) 注浆成型：将陶瓷粉料配成具有流动性的泥浆，然后注入多孔模具内（主要为石膏模），水分在被模吸入后便形成了具有一定厚度的均匀泥层，脱水干燥过程中同时形成具有一定强度的坯体。其工艺过程：

①泥浆注入模具后，在石膏模毛细管力的作用下吸收泥浆中的水，靠近模壁的泥浆中的水分首先被吸收，泥浆中的颗粒开始靠近，形成最初的薄泥层。

②水分进一步被吸收，其扩散动力为水分的压力差和浓度差，薄泥层逐渐变厚，泥层内部水分向外部扩散，当泥层厚度达到注件厚度时，就形成雏坯。

③石膏模继续吸收水分，雏坯开始收缩，表面的水分开始蒸发，待雏坯干燥形成具有一定强度的生坯后，脱模即完成注浆成型。

(2) 干压成型：将干粉坯料填充入金属模腔中，施以压力使其成为致密坯体。其工艺过程：①通过加入一定量的表面活性剂，改变粉体表面性质，包括改变颗粒表面吸附性能，改变粉体颗粒形状，从而减少超细粉的团聚效应，使之均匀分布。②加入润滑剂减少颗粒之间及颗粒与模具表面的摩擦；加入黏合剂增强粉料的粘结强度。③将粉体进行上述预处理后装入模具，用压机或专用干压成型机以一定压力和压制方式使粉料成为致密坯体。

(2) 列举几种金属材料的晶体结构和显微组织的表征方法，分别指出这些方法的优缺点。

【考查重点】

这是一道综合体，考察考生平时的知识积累，是材料类考生应该了解的知识。

【答案解析】

金属材料的晶体结构的表征方法：X射线衍射物相分析（XRD），优点：速度快、强度相对精确、信息量大、精度高、分析简便、试样制备简单。

金属材料的显微组织的表征方法：扫描电子显微镜（SEM）和透射电子显微镜（TEM）；

SEM、TEM的分辨率高，用扫描电子显微镜观察断口时，样品不必复制，可直接进行观察，这给分析带来极大方便，因此目前，显微断口的分析工作大都是用扫描电子显微镜来完成的。



# 厦门大学 2010 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题

## 材料科学基础部分

### 1. 填空

(1) 材料科学是研究材料成分、组织结构、\_\_\_\_\_与材料性能及应用之间相互关系的科学。

【考查重点】

这是考察材料科学这门学科的研究范畴,属于学习材料的考生必须理解自己所学领域的最基本的知识,原话在材料科学基础(上海交大)前言中出现。

【答案解析】

制备工艺。

(2) 原子的结合键有: 离子键、\_\_\_\_、金属键、氢键和范德华力。

【考查重点】

这是第一章原子间的键合考点,考的是化学键的种类。

【答案解析】

共价键。

(3) 七大晶系为单斜、三斜、正交、六方、\_\_\_\_、四方、立方。

【考查重点】

这是第二章晶体学基础的考点,考的是七大晶系。

【答案解析】

菱方。

(4) 晶体缺陷包括点缺陷、\_\_\_\_和面缺陷三种。

【考查重点】

这是第三章晶体缺陷的考点,考的是晶体缺陷的分类。

【答案解析】

线缺陷。

(5) 非晶体中的原子排列是近程有序,\_\_\_\_\_。

【考查重点】

这是第二章非晶态结构的考点,考的是非晶态结构的基本特征。

【答案解析】

远程无序。

### 2. 简答

(1) 立方晶系中  $\langle 111 \rangle$  晶向族分别包含哪些晶向?

(2) 画出  $[110]$  晶向与  $[121]$  晶向,并计算两者之间的夹角是多少?



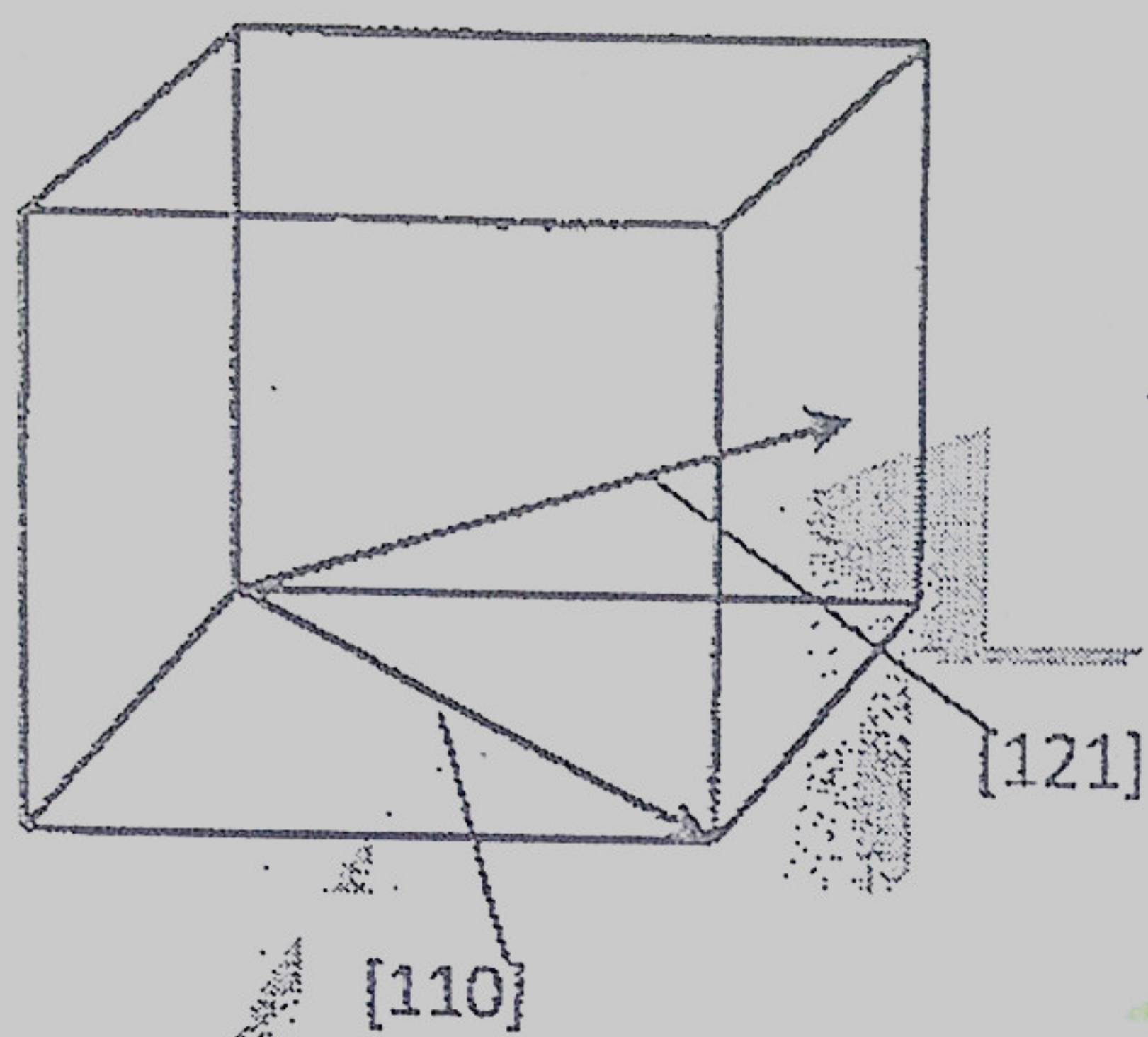
【考查重点】

这是第二章晶向指数的考点，考察的是晶向族的知识。

【答案解析】

(1) 立方晶系中  $\langle 111 \rangle$  晶向族分别包含八条体对角线  $[111]$ ,  $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ ,  $[\bar{1}11]$ ,  $[1\bar{1}\bar{1}]$  和  $[\bar{1}\bar{1}1]$ ,  $[\bar{1}1\bar{1}]$  和  $[1\bar{1}1]$ 。

(2)



$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta \Rightarrow \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \cos \theta$$

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

$[110]$  晶向与  $[121]$  晶向夹角的余弦值

$$\cos \theta = \frac{1 \times 1 + 1 \times 2 + 0 \times 1}{\sqrt{2} \times \sqrt{6}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

即  $\theta = 60^\circ$

3. 简答

完成以下位错反应:  $\frac{a}{2}[110] \rightarrow \frac{a}{6}[12\bar{1}] + ?$ , 并依此为例说明位错反应要满足什么条件

才能进行?

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

【考查重点】

这是第三章位错反应的考点, 2007 年到 2010 年每年都考到, 属于送分题, 考生应掌握。

【答案解析】

根据几何条件:  $\frac{a}{2}[110] \rightarrow \frac{a}{6}[12\bar{1}] + \frac{a}{6}[211]$ ; 能量条件:  $\sum b_{\text{前}}^2 = \frac{a^2}{2} > \sum b_{\text{后}}^2 = \frac{a^2}{3}$ ,

均能满足, 所以此反应可以进行, 即  $\frac{a}{2}[110] \rightarrow \frac{a}{6}[12\bar{1}] + \frac{a}{6}[211]$ 。

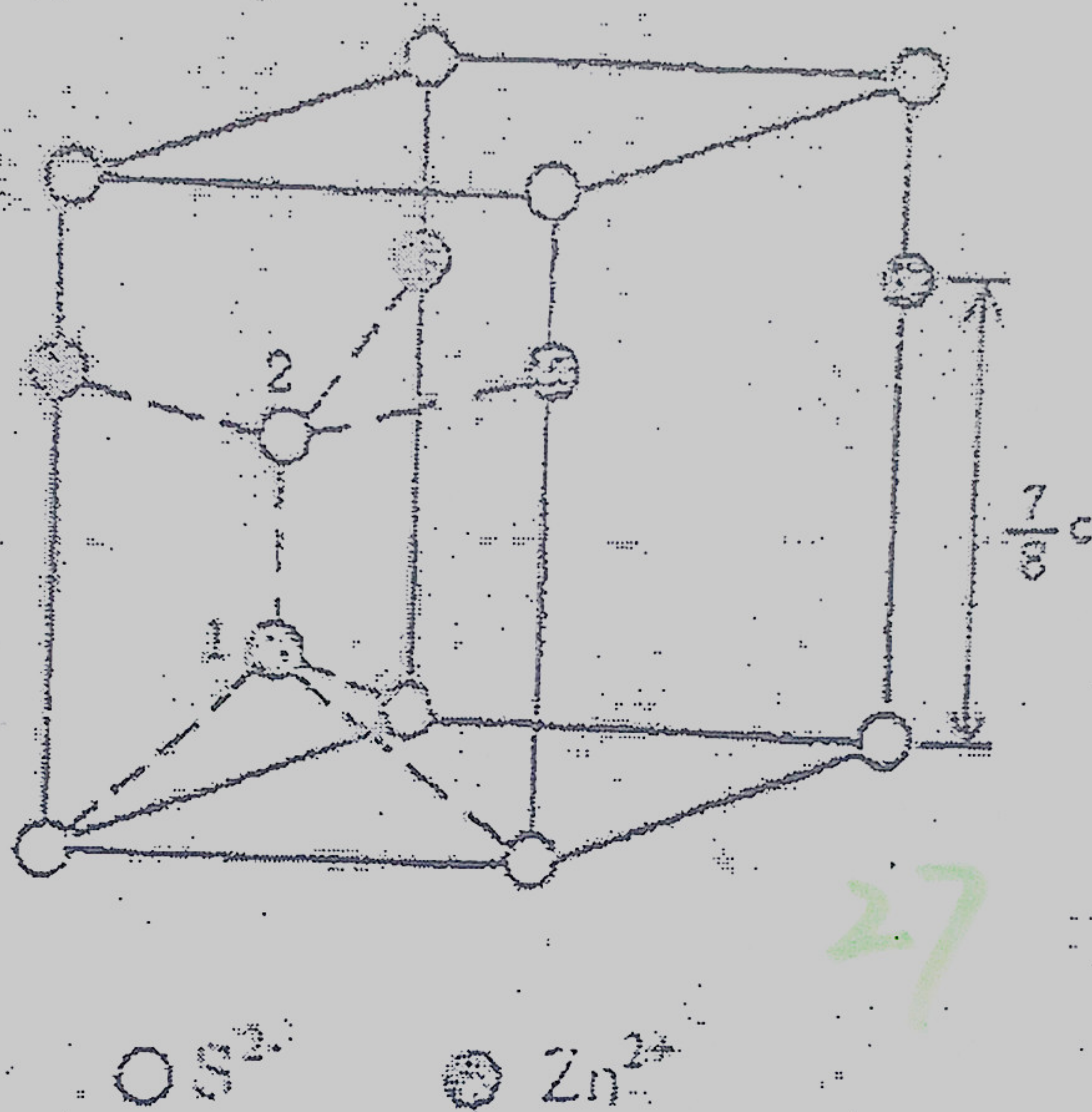


位错反应能否进行，决定于是否满足如下两个条件：

几何条件：按照柏氏矢量守恒性的要求，反应后诸位错的柏氏矢量之和应该等于反应前诸位错的柏氏矢量之和，即  $\sum b_{\text{前}} = \sum b_{\text{后}}$ ；能量条件：位错反应必须是一个伴随着能量降低的过程，即  $\sum b_{\text{前}}^2 > \sum b_{\text{后}}^2$ 。

4. 根据图中六方 ZnS 的晶体结构，计算六方 ZnS 的理论密度。

(Zn 原子序数为 30，相对原子质量为 65.38；S 的原子序数为 16，相对原子质量为 32.06；六方 ZnS 的晶格常数为：a=3.77 Å，c=6.188 Å；阿伏伽德罗常数  $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ )



晶胞中 1 号  $\text{Zn}^{2+}$  的坐标为  $(\frac{2}{3}, \frac{1}{3}, \frac{3}{8})$ ，2 号  $\text{S}^{2-}$  的坐标为  $(\frac{2}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$

【考查重点】

这是第二章典型的离子晶体结构，考生若对晶体结构熟悉，这类题的解答都是类似的，都是基于读懂晶体结构。

【答案解析】

从图中可看出每个晶胞内包含 2 个  $\text{Zn}^{2+}$ 、2 个  $\text{S}^{2-}$

$$\text{每个晶胞的体积 } v = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c = 76.1664 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$\text{则 } 1 \text{ mol ZnS 的体积 } V = \frac{1}{2} N_A \cdot v = \frac{1}{2} \times 6.02 \times 10^{23} \times 76.1664 \times 10^{-24} = 22.9260 \text{ cm}^3$$

$$\text{六方 ZnS 的理论密度 } \rho = \frac{m}{V} = \frac{A_{\text{rZn}} + A_{\text{rS}}}{V} = \frac{65.38 + 32.06}{22.9260} = 4.25 \text{ g/cm}^3$$

5. 判断正误，并改正其中错误。

(1) 在固体中，物质的迁移可通过对流和扩散两种。



【考查重点】

这是第四章固体中原子及分子的运动的考点，考的是固体中的物质的迁移方式，参考教材中有原话，考生看书需细心，当然这是考生平时积累的应该会的题。

【答案解析】

错误。在固体中不发生对流，扩散是唯一的物质迁移方式。

(2) 同一晶面族的晶面间距和晶面上的原子分布完全相同，晶面的空间位向相同。

【考查重点】

这是第二章晶面族的考点，考生应理解晶面族的概念。

【答案解析】

错误。同一晶面族的晶面间距和晶面上的原子分布完全相同，只是晶面的空间位向不同。

(3) 大多数盐类、碱类和金属氧化物主要以离子键的方式结合。

【考查重点】

这是第一章离子键的考点，这是考生应该会的的基础知识。

【答案解析】

正确。

(4) 上坡扩散的驱动力是化学浓度差。

【考查重点】

这是考察第四章扩散的热力学分析考点，考生应掌握扩散的驱动力的本质和反常现象“上坡扩散”产生的原因。

【答案解析】

错误。上坡扩散的驱动力是化学势能梯度，而不是化学浓度梯度。

6. 合金凝固时发生过冷的原因是什么？请画出成分过冷的温度分布示意图。

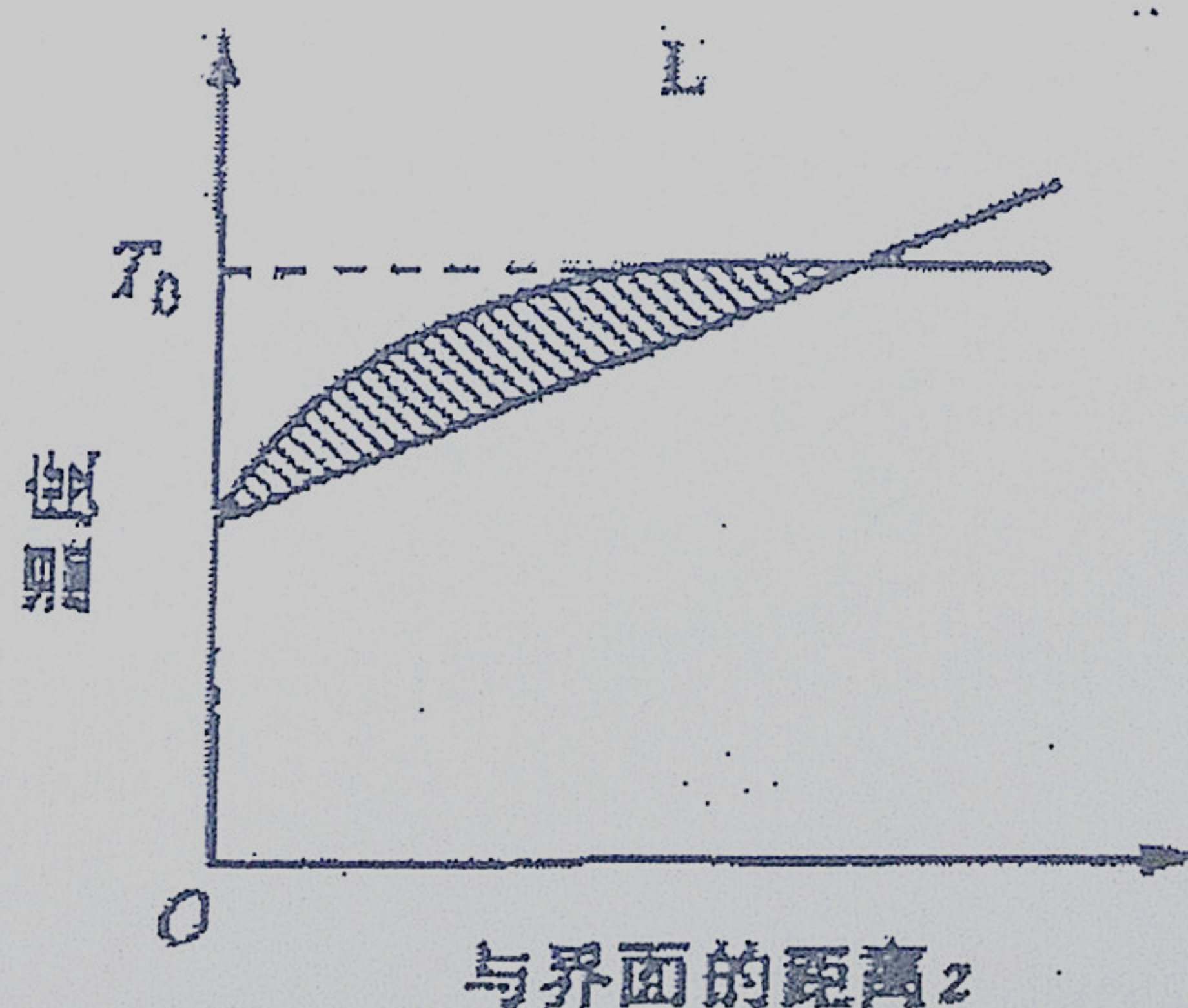
【考查重点】

这是第七章合金凝固中的成分过冷的考点，考生应该掌握其概念以及发生成分过冷的原因。

【答案解析】

在合金的凝固过程中，由于液相中溶质的分布发生变化而改变了凝固温度，这可由相图中的液相线来确定，因此，界面前缘的液体中的实际温度低于由溶质分布所决定的凝固温度时，产生过冷，即成分过冷。

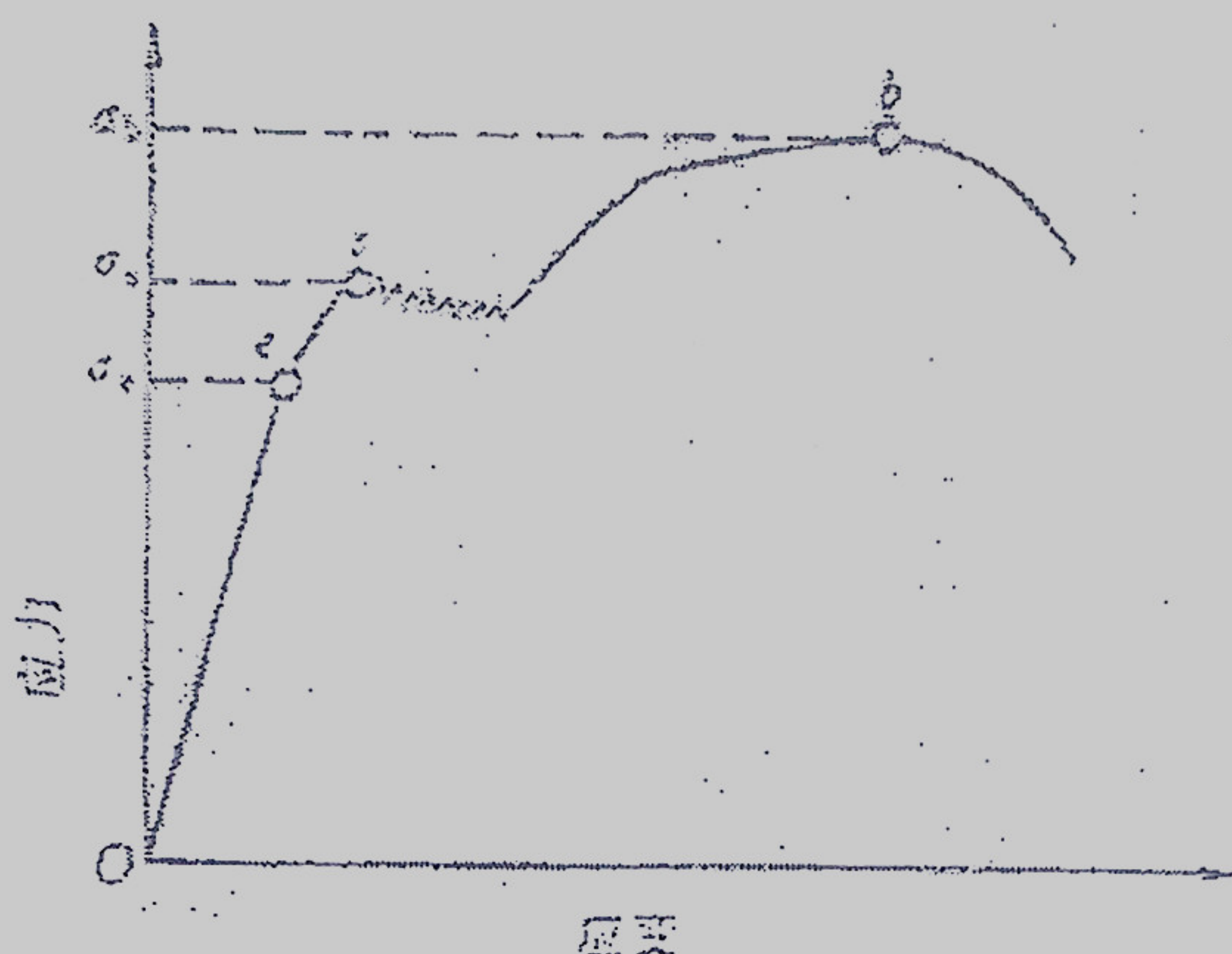
$K_0 < 1$  成分过冷的温度分布示意图如下图所示





图中曲线为由相图中液相线确定的温度变化曲线, 直线为液同界面前沿液体的实际温度分布, 阴影部分即为成分过冷区。

7. 图为一个典型的材料的拉伸应力-应变曲线图, 请写出  $\sigma_e$ ,  $\sigma_s$ ,  $\sigma_b$  的含义。并解释为什么在  $\sigma_s$  附近, 应力会发生多次微小的波动?



【考查重点】

这是第五章材料的形变和屈服现象与应变时效的考点, 考生应理解材料形变中的各个阶段。

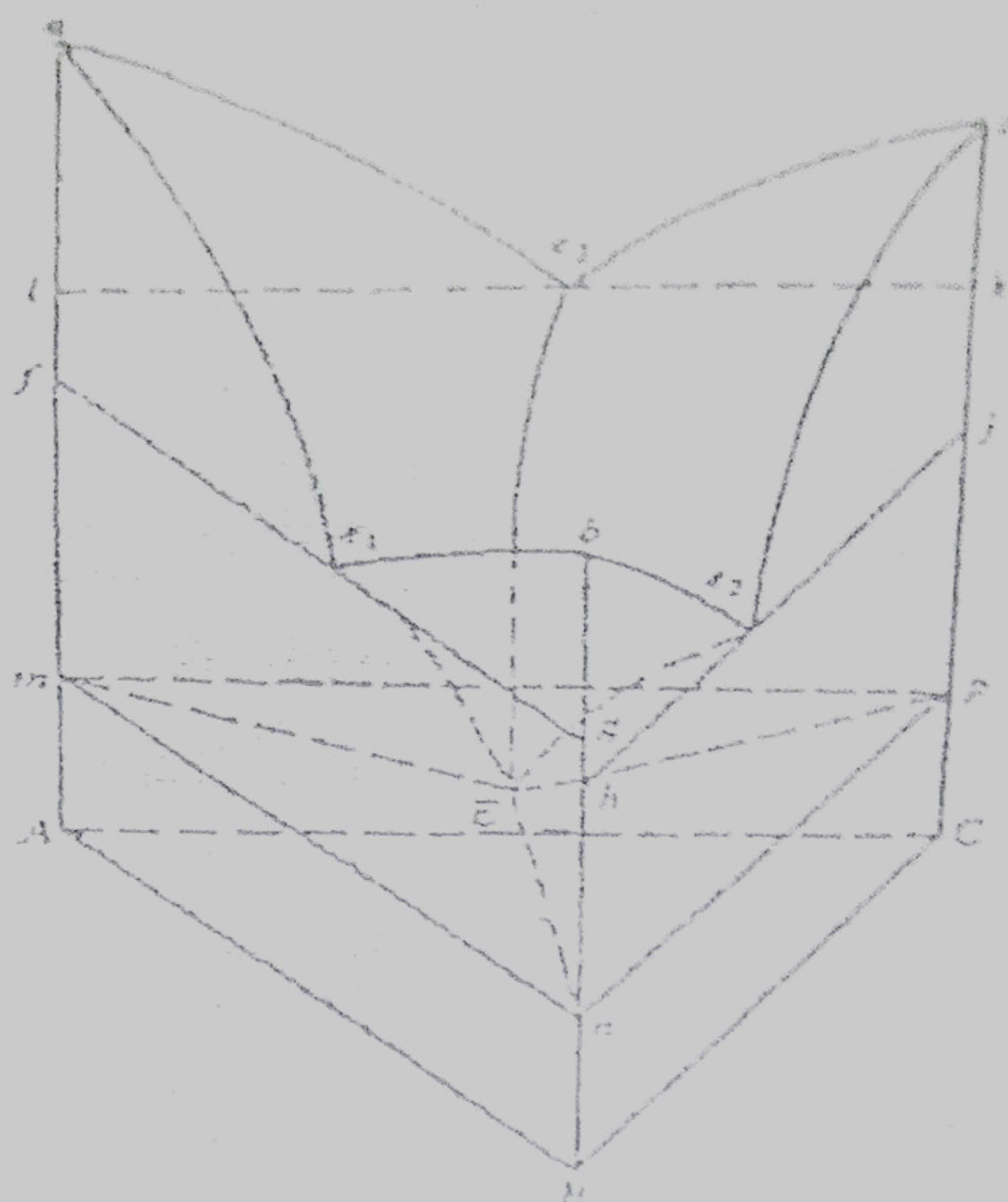
【答案解析】

$\sigma_e$  为弹性极限, 当应力小于  $\sigma_e$  时, 试样发生弹性形变; 当应力超过  $\sigma_e$  时, 试样发生塑性形变。当应力达到  $\sigma_s$  时, 试样开始屈服,  $\sigma_s$  为屈服强度;  $\sigma_b$  为抗拉强度, 当应力达到  $\sigma_b$  时, 试样发生断裂。

在  $\sigma_s$  附近, 应力的多次微小的波动是屈服伸长现象。这是因为当拉伸试样开始屈服时, 应力随即突然下降, 并在应力基本恒定的情况下继续发生屈服伸长, 所以拉伸曲线出现应力平台区。在发生屈服延伸阶段, 试样的应变是不均匀的。这种变形带沿试样长度方向不断形成与扩展, 从而产生拉伸曲线平台的屈服伸长。其中, 应力的每一次微小波动, 即对应一个新变形带的形成。当屈服扩展到整个试样标距范围时, 屈服延伸阶段就告结束。

8. 固相互不溶解的三元共晶体系相图如下图所示, 请画出处于  $e_1 < T < e_3$  温度  $T$  下的水平截面图, 并标出该水平截面图中, 每个区分别是哪几相共存?

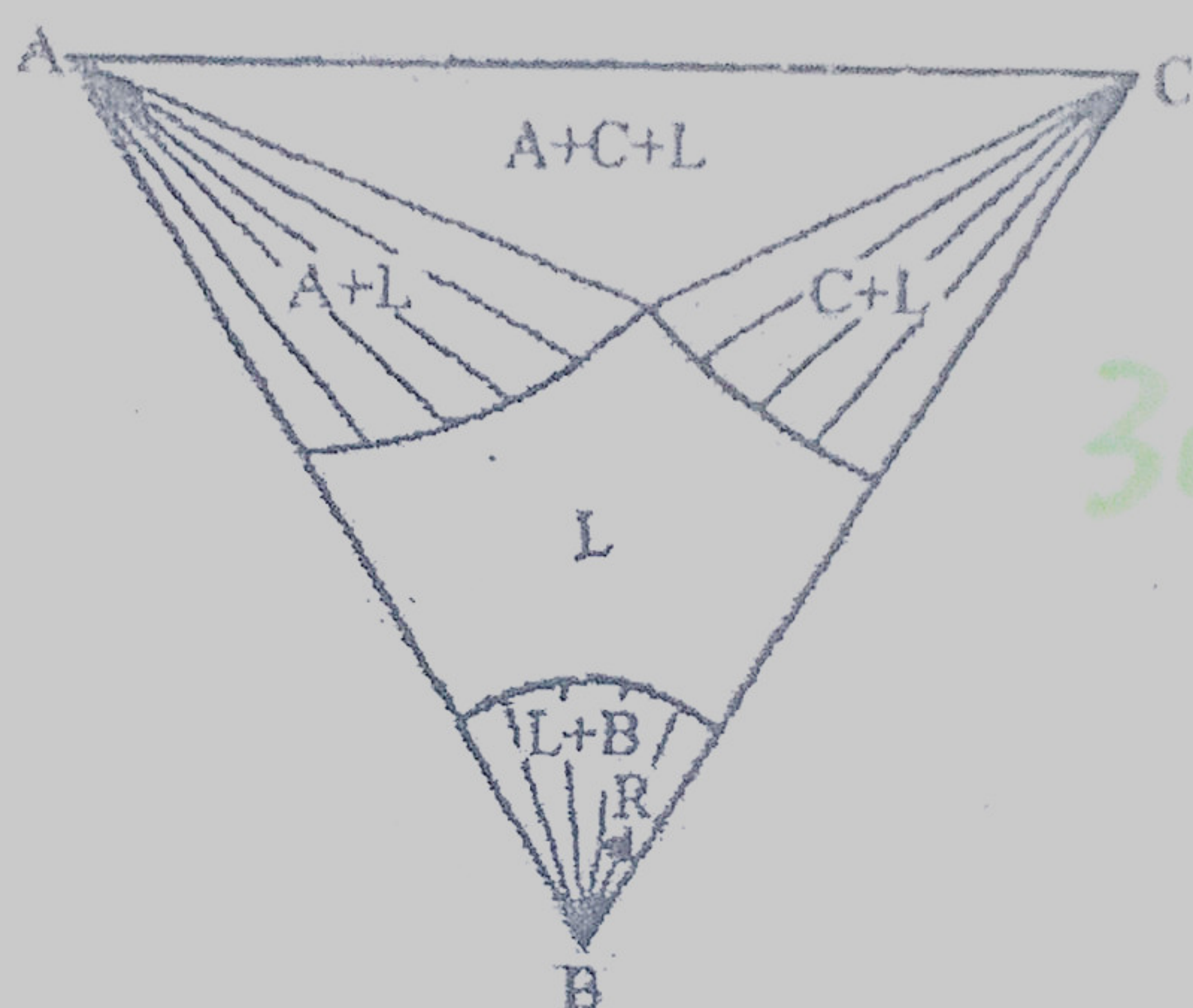




【考查重点】

这是第八章固态互不相容的三元共晶相图的考点，考生应会分析各个区的组织。

【答案解析】



9. 一个半径为  $r$  长度为  $l$  的纯铁空心管在高温下进行渗碳，经过一段时间以后，筒壁各点的浓度不再发生变化，满足稳态扩散条件，单位时间内通过管壁的碳量为  $q/t$ 。若扩散系数  $D$  不随成分而变，根据菲克第一定律，写出碳浓度随着厚度的变化关系式。

【考查重点】

这是第四章菲克第一定律的考点，考生应会运用菲克第一定律。

【答案解析】

根据扩散通量的定义，可得

$$J = \frac{q}{At} = \frac{q}{2\pi rlt}$$

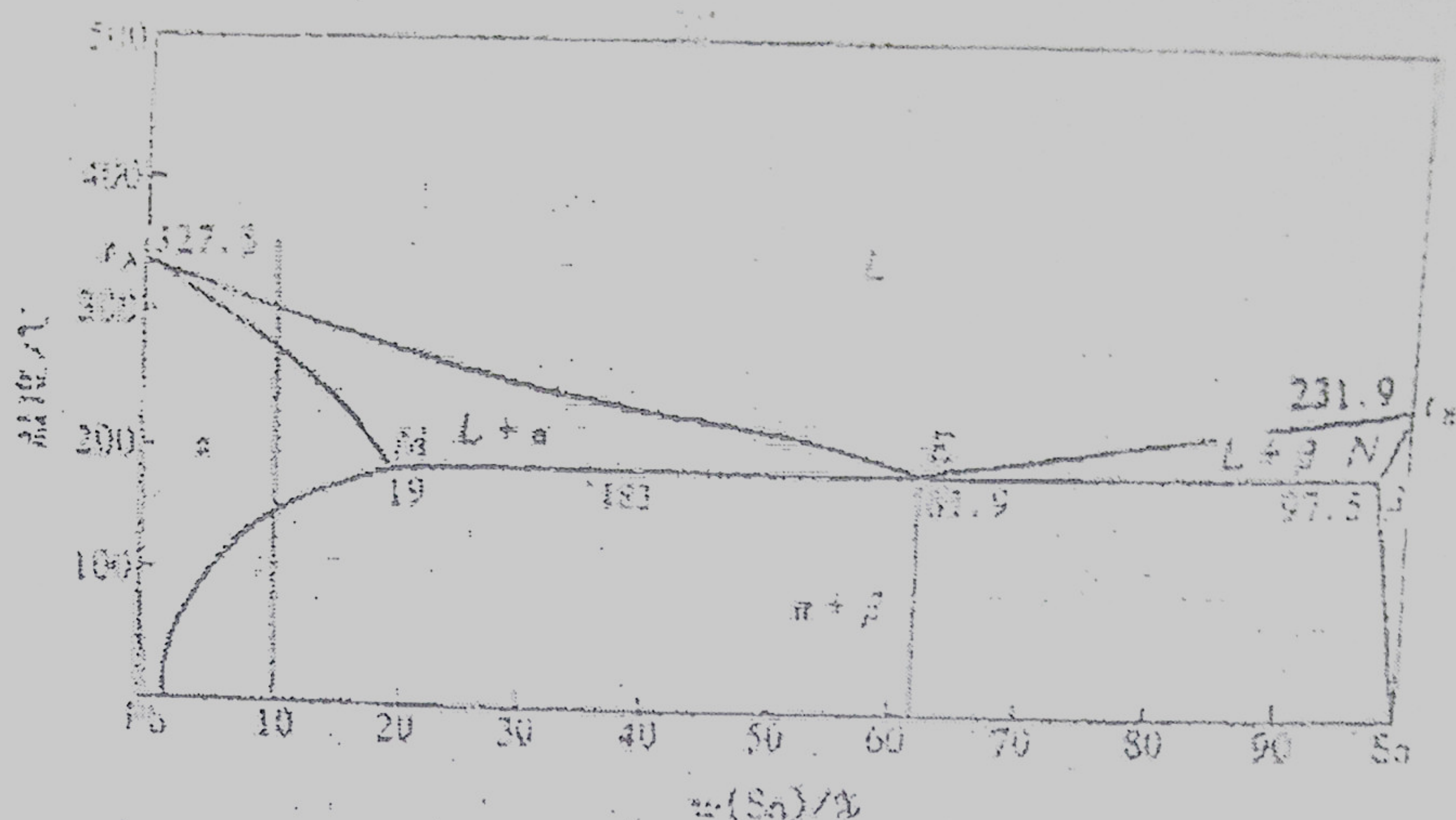
由菲克第一定律可得

$$-D \frac{d\rho}{dr} = \frac{q}{2\pi rlt}$$

$$\frac{d\rho}{dr} = -\frac{q}{2\pi rltD}$$



10. 根据以下 Pb-Sn 相图,



(1) 根据相律, 在以上相图中, 共晶温度 183°C 时最多能够有几个相共存, 分别是哪几个?

(2) 100g 含 10%Sn 的 Pb-Sn 合金从 400°C 缓慢冷却到液相完全凝固时, 合金中含有多少重量的共晶组织? 100g 含 30%Sn 的 Pb-Sn 合金从 400°C 缓慢冷却到液相完全凝固时, 合金中含有多少重量的共晶组织?

【考查重点】这是第七章二元相图的考点, 考生应重点掌握二元相图的分析。

【答案解析】

(1) 三相共存, 分别为 L,  $\alpha$ ,  $\beta$ 。

(2) 100g 含 10%Sn 的 Pb-Sn 合金从 400°C 缓慢冷却到液相完全凝固时, 合金中不含共晶组织; 100g 含 30%Sn 的 Pb-Sn 合金从 400°C 缓慢冷却到液相完全凝固时, 合金中含有的共晶组织重量计算如下:

$$w_{(\alpha+\beta)} = w_L = \frac{30-19}{61.9-19} = 25.89\%$$

$$\text{共晶组织重量 } W = 100 \times 25.89\% = 25.89\text{g}$$

11. 亚正规溶体模型中, 固溶体的自由能可以写成:

$$G = x_A \mu_A^\circ + x_B \mu_B^\circ + \Omega x_A x_B + RT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B),$$

其中  $x_A$  和  $x_B$  分别表示 A, B 组元的摩尔分数,  $\mu_A^\circ$  和  $\mu_B^\circ$  分别表示 A, B 组元在 T (K) 温度时的摩尔自由能。Ω 为相互作用参数。

(1) 分别写出混合熵、混合焓的表达式。

(2) 当相互作用参数  $\Omega > 0$ ,  $\Omega = 0$ ,  $\Omega < 0$  时, 请画图示意自由能-成分曲线的形状有什么不同?

【考查重点】

这是第七章相图热力学的基本要点的考点, 考察的是固溶体的自由能的表达式以及其含义, 考生应该理解这部分内容。

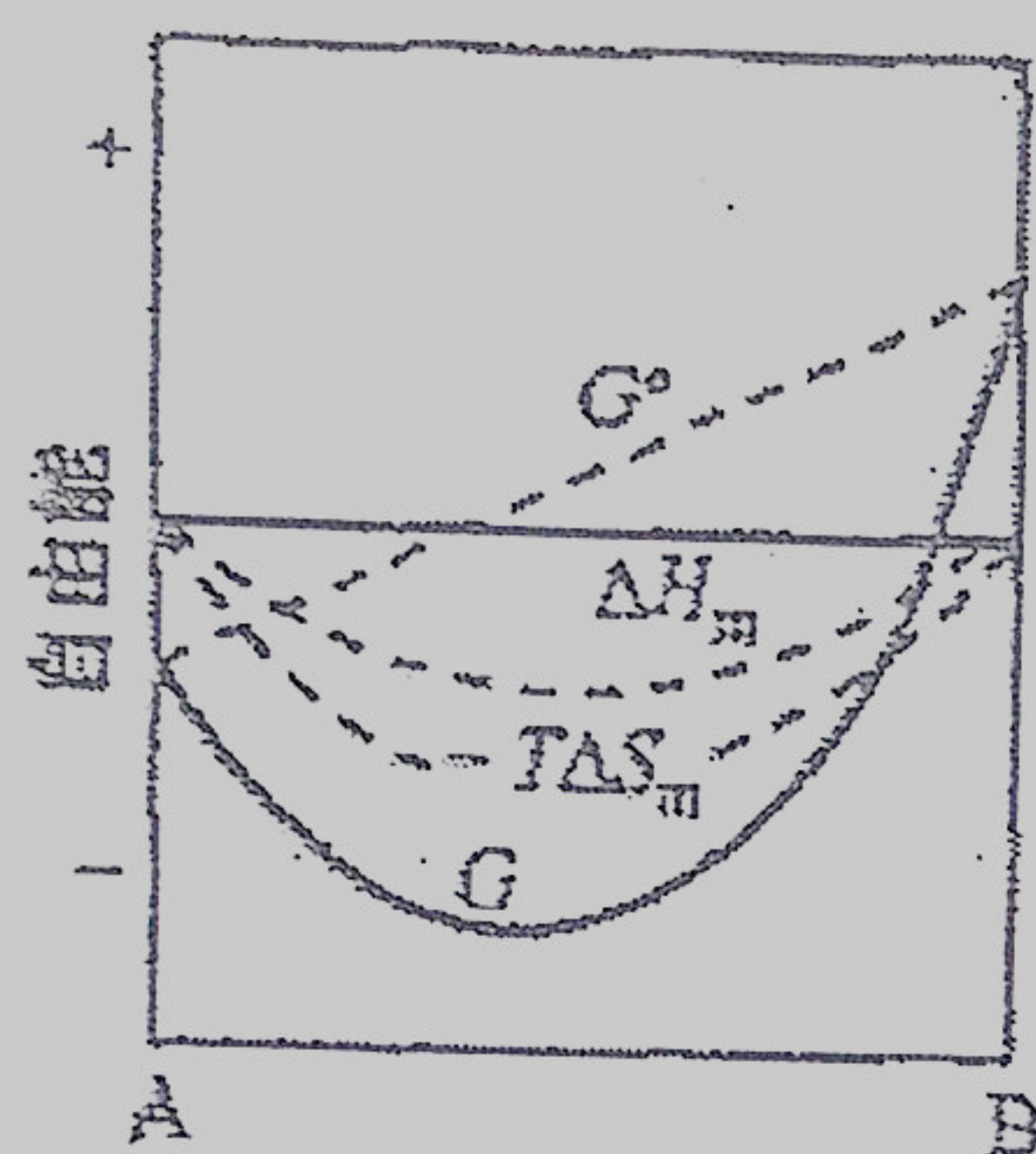
【答案解析】



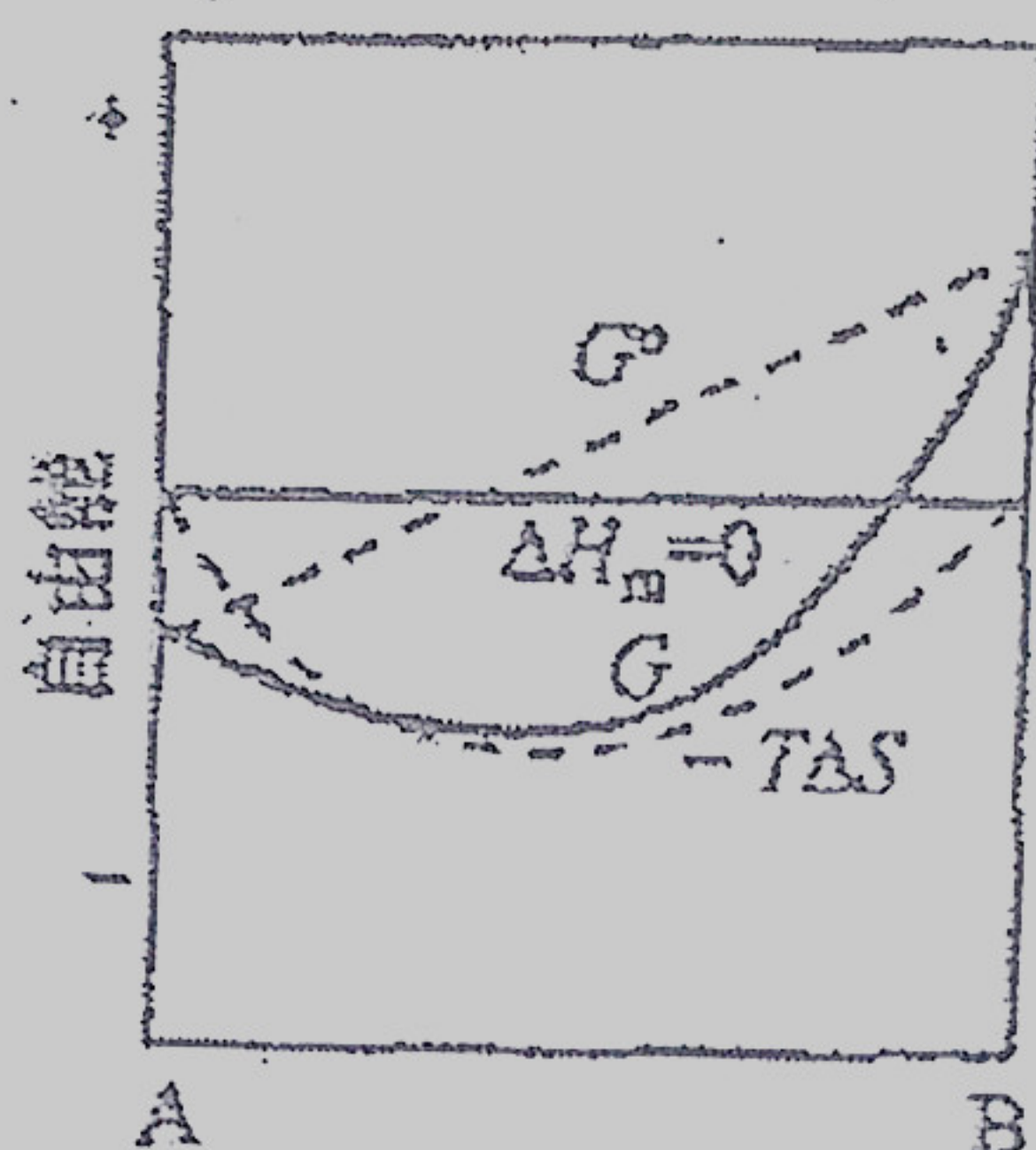
$$(1) \Delta H_m = \Omega x_A x_B$$

$$-T\Delta S_m = RT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$$

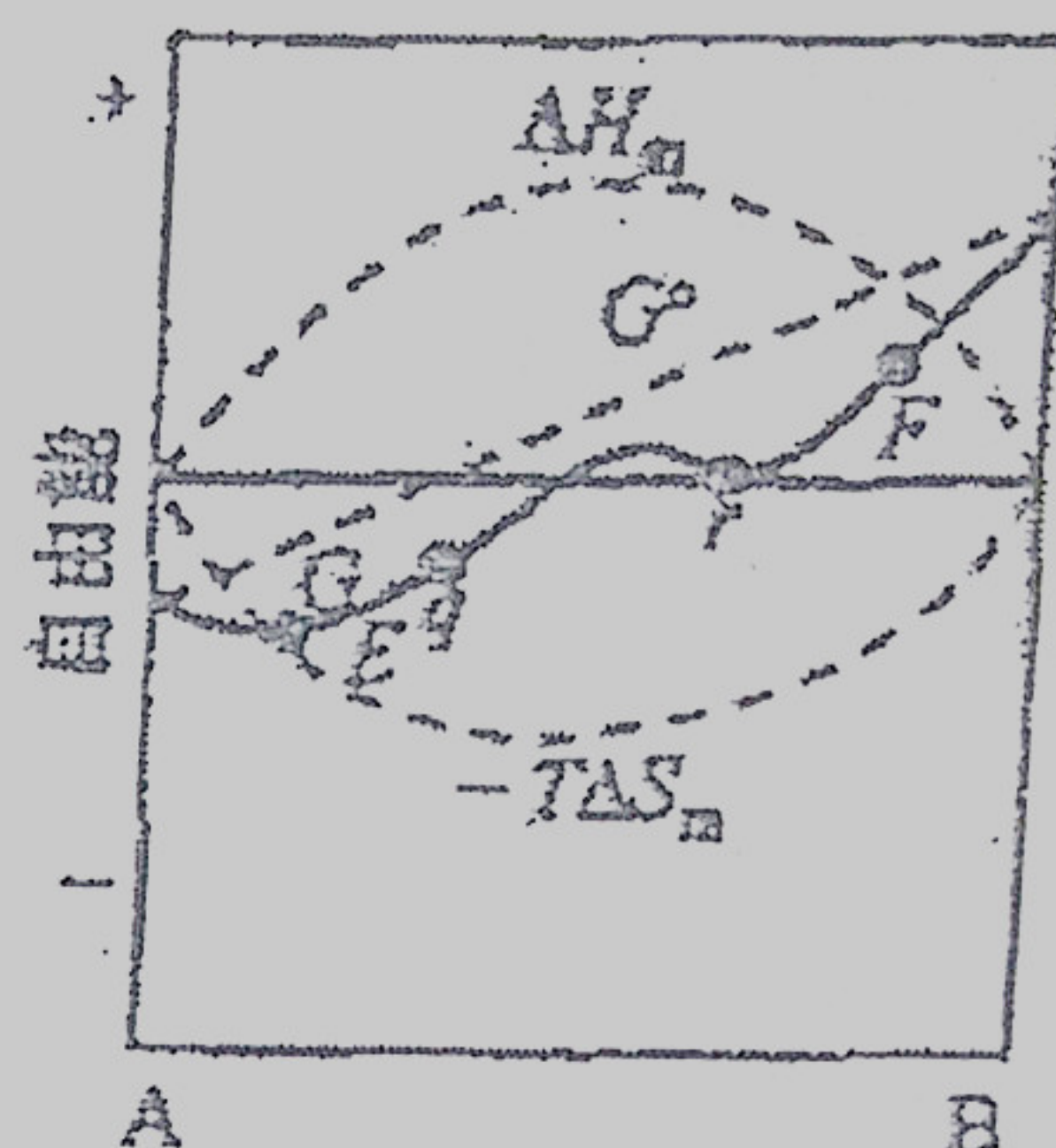
(2) 示意图如下所示



成分  
(a)



成分  
(b)



成分  
(c)

(a)  $\Omega < 0$  (b)  $\Omega = 0$  (c)  $\Omega > 0$

(a)是 $\Omega < 0$ 的情况。在整个成分范围内，曲线为U形，只有一个最小值，其曲率 $\frac{d^2G}{dx^2}$ 均为正值。

32

(b)是 $\Omega = 0$ 的情况，曲线也是U形。

(c)是 $\Omega > 0$ 情况。自由能-成分曲线有两个最小值，即E和F。在拐点 $\left(\frac{d^2G}{dx^2}\right)_q$ 和r之间的成分内，曲率 $\frac{d^2G}{dx^2} < 0$ ，故曲线为W形。在E和F之间成分范围内的体系，都分解成两个成分不同的固溶体，即固溶体有一定的溶混间隙。

的成分内，曲率 $\frac{d^2G}{dx^2} < 0$ ，故曲线为W形。在E和F之间成分范围内的体系，都分解成两个成分不同的固溶体，即固溶体有一定的溶混间隙。

个成分不同的固溶体，即固溶体有一定的溶混间隙。



# 厦门大学 2011 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题

## 材料科学基础部分

### 1. 名词解释

#### (1) 孪晶

##### 【考查重点】

这是第三章界面中孪晶界的考点，考生应掌握孪晶的概念。

##### 【答案解析】

孪晶：指两个晶体（或一个晶体的两部分）沿一个公共晶面构成镜面对称的位向关系，这两个晶体就称为“孪晶”。

#### (2) 布拉格定律

这是考察平时的知识积累，属于材料研究者必须懂的知识，可以作为入学考试试题。

布拉格定律用公式表达为： $2d\sin\alpha = n\lambda$ （ $d$  为平行原子平面的间距， $\lambda$  为入射波长， $\alpha$  为入射光与晶面之夹角）。

#### (3) 晶带定律（晶带方程）

##### 【考查重点】

这是第二章晶带的考点，考生应理解晶带定律的含义。

##### 【答案解析】

晶带轴  $[uvw]$  与该晶带的晶面  $(hkl)$  之间存在以下关系： $hu + kv + lw = 0$

凡满足此关系的晶面都属于以  $[uvw]$  为晶带轴的晶带，故此关系式也称作品带定律。

### 2. 原子间的结合键共有几种？各自的特点如何？

##### 【考查重点】

这是第一章原子间的键合的考点，考生应掌握其分类与各种键合的特点。

##### 【答案解析】

(1) 金属键：基本特点是电子的共有化，无饱和性又无方向性，因而每个原子有可能同更多的原子相结合，并趋于形成低能量的密堆结构。当金属受力变形而改变原子之间的相互位置时不至于破坏金属键，这就使金属具有良好的延展性，又由于自由电子的存在，金属一般都具有良好的导电和导热性能。

(2) 离子键：正负离子相互吸引，结合牢固，无方向性和饱和性。因此，其熔点和硬度均较高。离子晶体中很难产生自由运动的电子，因此它们都是良好的电绝缘体。

(3) 共价键：共价键有方向性、饱和性。共价键的结合极为牢固，故共价晶体具有结构稳定、熔点高、质硬脆等特点。共价结合的材料一般是绝缘体，其导电能力较差。

(4) 范德瓦耳斯力：范德瓦耳斯力是借助微弱的、瞬时的电偶极矩的感应作用，将原来具有稳定的原子结构的原子或分子结合为一体的键合。它没有方向性和饱和性；其结合不如化学键牢固。

(5) 氢键：氢键是一种极性分子键，氢键具有方向性和饱和性，其键能介于化学键与范德瓦耳斯力之间。

### 3. 为什么密排六方结构不能称作为一种空间点阵？



【考查重点】

这是第二章空间点阵的考点，考生应该掌握空间点阵的含义，以及其与晶体结构的区别。

【答案解析】

空间点阵中每个阵点应具有完全相同的周围环境。密排六方晶体结构位于晶胞内的原子具有不同的周围环境。若将晶胞角上的一个原子与相应的晶胞之内一个原子共同组成一个阵点，这样的出的密排六方结构应属简单六方点阵。

4. 石英 ( $\text{SiO}_2$ ) 的比重为 2.65。请计算下列问题。

(1)  $1\text{m}^3$  石英中分别有多少个硅原子与氧原子？

(2) 当硅与氧的半径分别为  $0.038\text{nm}$  与  $0.114\text{nm}$  时，其堆积密度为多少(假设原子时球形的)？

【考查重点】

这是一个简单的基础题，但考生须了解比重的概念。

【答案解析】

$\text{SiO}_2$  的比重即  $\text{SiO}_2$  的密度与水的密度之比，即  $\text{SiO}_2$  的密度为  $2.65\text{g/cm}^3$

(1)

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M} = \frac{2.65 \times 1 \times 10^6}{60} = 0.4417 \times 10^5 \text{ mol}$$

$$N_{\text{Si}} = n N_A = 0.4417 \times 10^5 \times 6.023 \times 10^{23} = 2.66 \times 10^{28} \text{ 个}$$

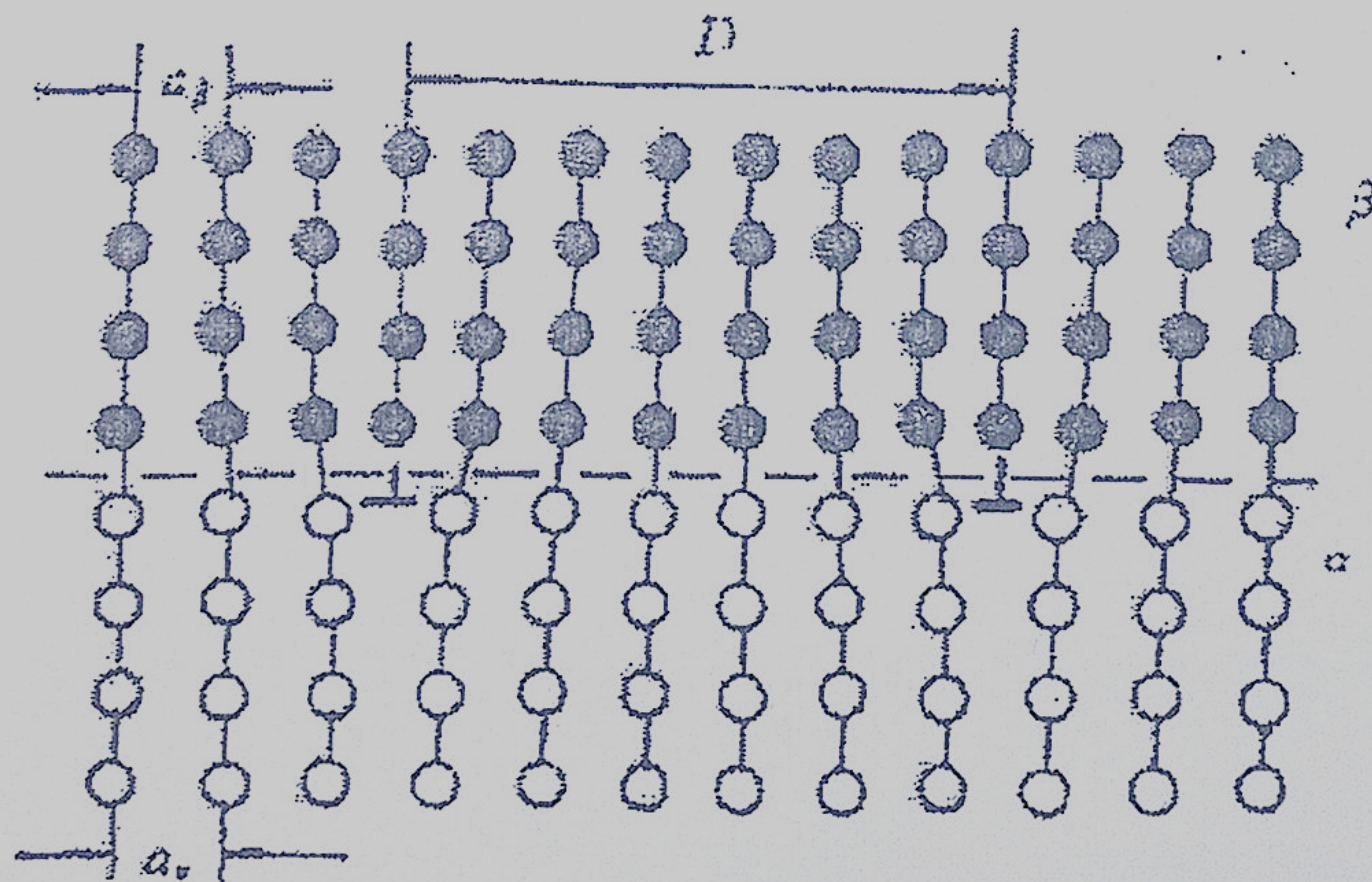
$$N_{\text{O}} = 2N_{\text{Si}} = 5.32 \times 10^{28} \text{ 个}$$

(2)

$$K = \frac{V_0}{V} = \frac{N_{\text{Si}} \left[ \frac{4}{3} \pi R_{\text{Si}}^3 \right] + N_{\text{O}} \left[ \frac{4}{3} \pi R_{\text{O}}^3 \right]}{(1 \times 10^9)^3}$$

$$= \frac{2.66 \times 10^{28} \times \frac{4}{3} \pi \times 0.038^3 + 5.32 \times 10^{28} \times \frac{4}{3} \pi \times 0.114^3}{(1 \times 10^9)^3} = 0.336$$

5. 如图，在界面处如果两种晶格的原子间距差别较大，则两相原子在界面处只能部分吻合，每隔一定的距离  $D$  由一个位错来松弛晶格失配产生的应力，形成半共格界面。已知两种晶格的原子间距分别为  $a_\alpha$  和  $a_\beta$ ，请计算位错的距离  $D$  为多少？该位错为哪种类型的位错？



$a_\alpha > a_\beta$



### 【考查重点】

这是第三章半共格相界的考点，考生应该抓住所有知识点，遇到这样的题，没熟悉知识点的，也应该根据位错的基础知识，分析考题。

### 【答案解析】

$$\text{错配度 } \delta = \frac{a_\alpha - a_\beta}{a_\alpha}$$

$$\text{位错距离 } D = \frac{a_\beta}{\delta}$$

相当于有一个多余的半排原子面，该位错为刃型位错。

6. 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，设计了如下实验：厚 0.25mm 的金属薄膜（面积 1000mm<sup>2</sup>）的一端（A 端）在对应温度下始终保持间隙原子的饱和溶解度，另一端（B 端）为间隙原子浓度为零。测得下列数据：

| 温度 (K) | 薄膜的 A 端间隙原子的溶解度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 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。

### 【考查重点】

这是第四章菲克第一定律以及扩散激活能的考点，考生应掌握它们所涉及的公式，理解其意义。

### 【答案解析】

设间隙原子通过薄膜的速率为  $v$ ，则单位面积单位时间的流量  $J = \frac{v}{A}$ ，由菲克第一定律：

$$J = -D \frac{\partial \rho}{\partial x} \approx -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x}$$

$$D = -J \frac{\Delta x}{\Delta \rho} = -\frac{v \Delta x}{A \Delta \rho}$$

$$A = 1000 \text{ mm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2, \Delta x = 0.25 \times 10^{-3}$$

$$D_{(1223K)} = -\frac{0.0025 \times 0.25 \times 10^{-3}}{10^{-3} (0 - 14.4 \times 10^3)} \approx 4.34 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{(1136K)} = -\frac{0.0014 \times 0.25 \times 10^{-3}}{10^{-3} (0 - 19.6 \times 10^3)} \approx 1.78 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

设  $D$  符合 Arrhenius 定律，即

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

$$\frac{D_{(1223K)}}{D_{(1136K)}} = \frac{4.34 \times 10^{-8}}{1.78 \times 10^{-8}} = \frac{\exp\left(-\frac{Q}{8.314 \times 1223}\right)}{\exp\left(-\frac{Q}{8.314 \times 1136}\right)}$$

$$Q = 1.2 \times 10^5 \text{ J/mol}$$



7. 六方晶系的滑移系通常是什么, FCC 晶体的滑移系是什么? 从晶体滑移角度上分析, 为什么 FCC 晶系的多晶体塑性变形能力通常比六方晶系的多晶体的变形能力大。

【考查重点】

这是第五章滑移的考点, 考生应该掌握晶体结构中一般的滑移系, 以及滑移与塑性变形能力的关系。

【答案解析】

滑移系是由一个滑移面和此面上的一个滑移方向合起来的, 滑移面和华裔方向通常是金属晶体中原子排列最密的晶面和晶向。因为原子密度最大的晶面其面间距最大, 点阵阻力最小, 因而容易沿着这些面发生滑移; 至于滑移方向为原子密度最大的方向是由于最密排方向上的原子间距最短, 即位错  $\bar{b}$  最小。所以六方晶系的滑移系通常是: 滑移面为  $\{0001\}$ , 滑移方向为  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ ; FCC 晶体的滑移系通常为: 滑移面为  $\{111\}$ , 滑移方向为  $\langle 110 \rangle$ 。

每一个滑移系表示晶体在进行滑移时可能采取的一个空间取向。在其他条件相同时, 晶体中的滑移系越多, 滑移过程可能采取的空间取向便越多, 滑移容易进行, 它的塑性便越好。据此, 面心立方的滑移系共有  $\{111\}_4 \langle 110 \rangle_3 = 12$  个; 而密排六方晶体的滑移系仅有  $(0001)_1 \langle 11\bar{2}0 \rangle_3 = 3$  个。由于 FCC 滑移系数目比六方晶系的多, 所以 FCC 晶系的多晶体塑性变形能力通常比六方晶系的多晶体的变形能力大。

8. 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?

【考查重点】

这是第六章纯晶体的凝固的考点, 考生应理解均匀形核中的重要概念和公式, 以及能量条件的分析。

【答案解析】

半径为  $r^*$  的晶核称为临界晶核,  $r^*$  为临界半径。

它的物理意义: 由  $\Delta G-r$  曲线可知,  $\Delta G$  有最大值; 当晶胚的  $r < r^*$  时, 则其长大将导致体系自由能的增加, 故这种尺寸晶胚不稳定, 难以长大, 最终熔化而消失。当  $r \geq r^*$  时, 晶胚的长大使体系自由能降低, 这些晶胚就称为稳定的晶核。因此临界晶核是晶胚可以长大的半径最小的晶核。

$r^*$  与过冷度的定量关系:  $r^* = \frac{2\sigma \cdot T_m}{L_m \cdot \Delta T}$ , 即临界半径由过冷度  $\Delta T$  决定, 过冷度越大,  $r^*$  越小, 则形核的几率增大, 晶核的数目也增多。

9. 试画出下列 2 张二元系统的草图:

- (1) 一种物质的熔点 (或凝固点) 随着另一种物质 (杂质) 的加入而降低;
- (2) 一种物质的熔点 (或凝固点) 随着另一种物质 (杂质) 的加入而升高。

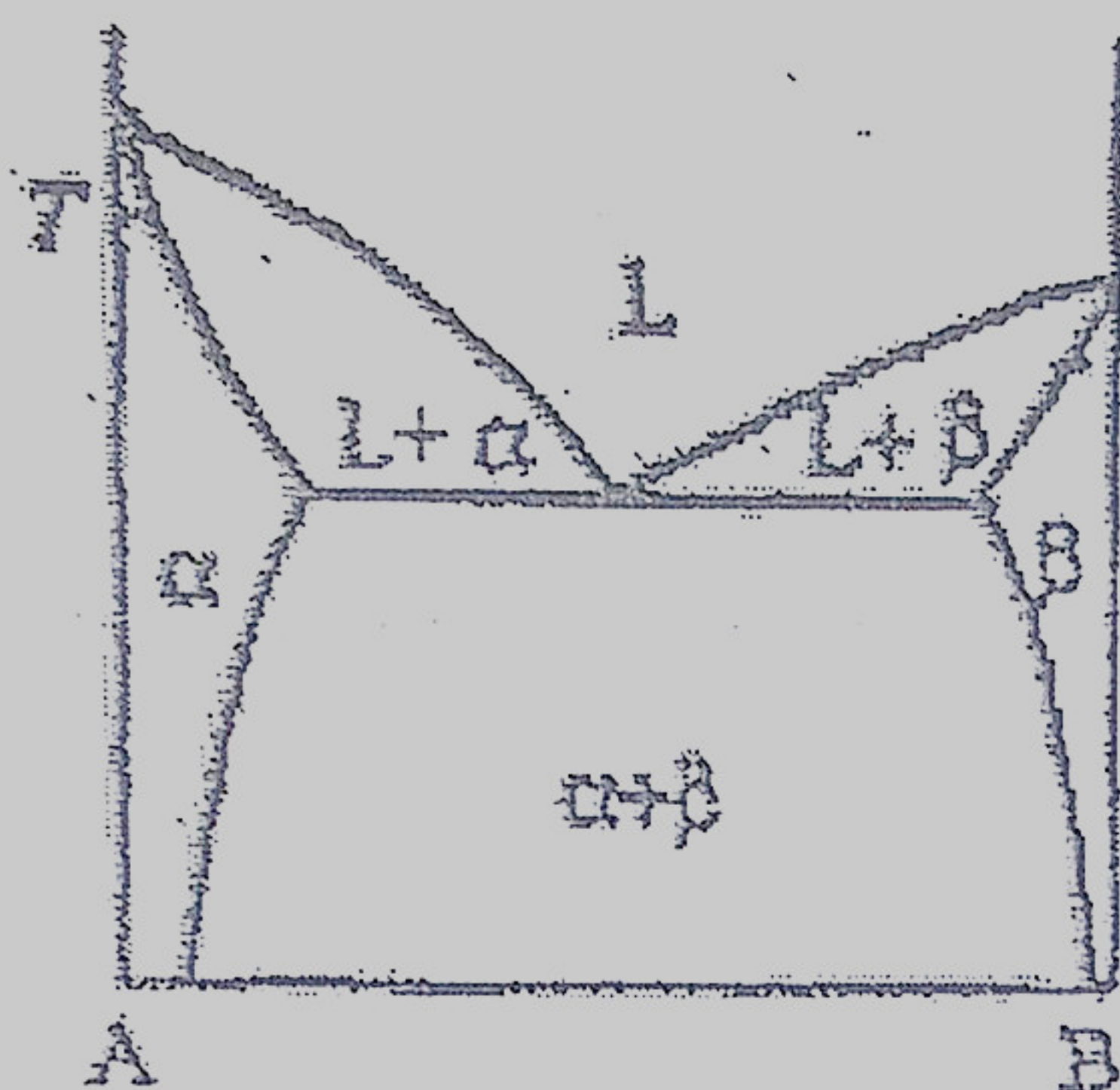


【考查重点】

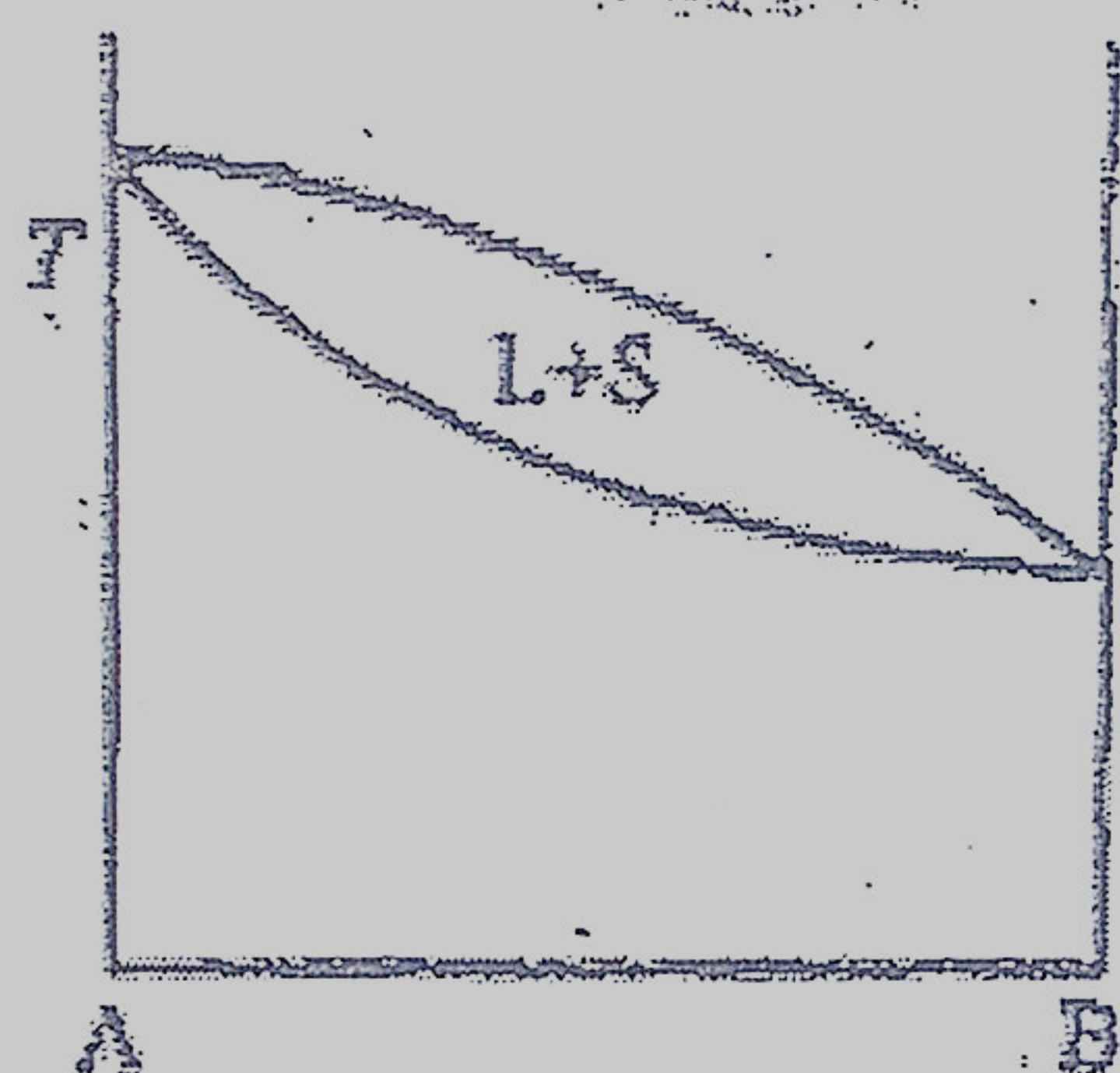
这是第七章二元相图分析中匀晶相图和共晶相图的考点,考生应该重点掌握这些相图的分析方法、它们的特征转变。

【答案解析】

(1) A、B 两组元的混合使合金的熔点比各组元低。



(2) B 的熔点 (或凝固点) 随 A 的加入而升高



10. 在室温 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) 下对铅板进行轧制, 请问这个加工过程是冷加工还是热加工, 为什么? (铅的熔点是  $327.50^{\circ}\text{C}$ )

【考查重点】

这是第五章热加工与冷加工的考点。

【答案解析】

所谓热加工是指在再结晶温度以上的加工过程, 在再结晶温度以下的加工过程成为冷加工。铅的再结晶温度低于室温, 因此在室温下对铅进行加工属于热加工。

11. 某三元合金 K (含 A、B、C 组元) 在温度为  $t_1$  时分解为纯组元 B 和液相, 两个相的相对重量为  $W_B/W_L=2$ , 液相中 B 的含量百分比为 40%。已知合金 K 中 A 组元和 C 组元的重量比是 3, 试求合金 K 的成分。

【考查重点】

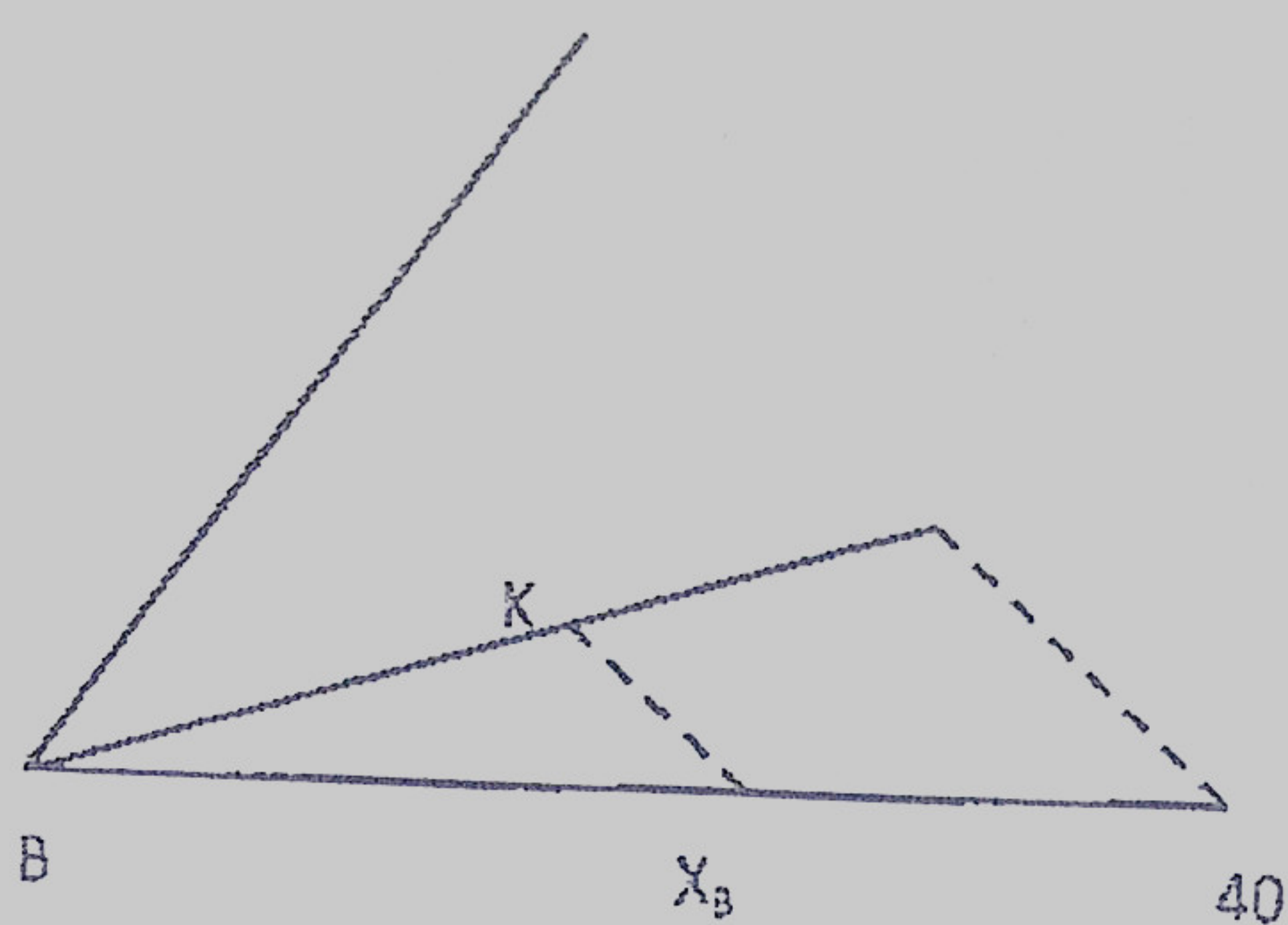
这是第八章杠杆定律的考点, 考生应理解并会用杠杆定律。

【答案解析】

由已知条件作图

2218 = 18 - 0.1  
24 = 318





温度  $T_1$  时组元 B、液相 L 和合金 K 应在一条直线上，则由杠杆定律可得：

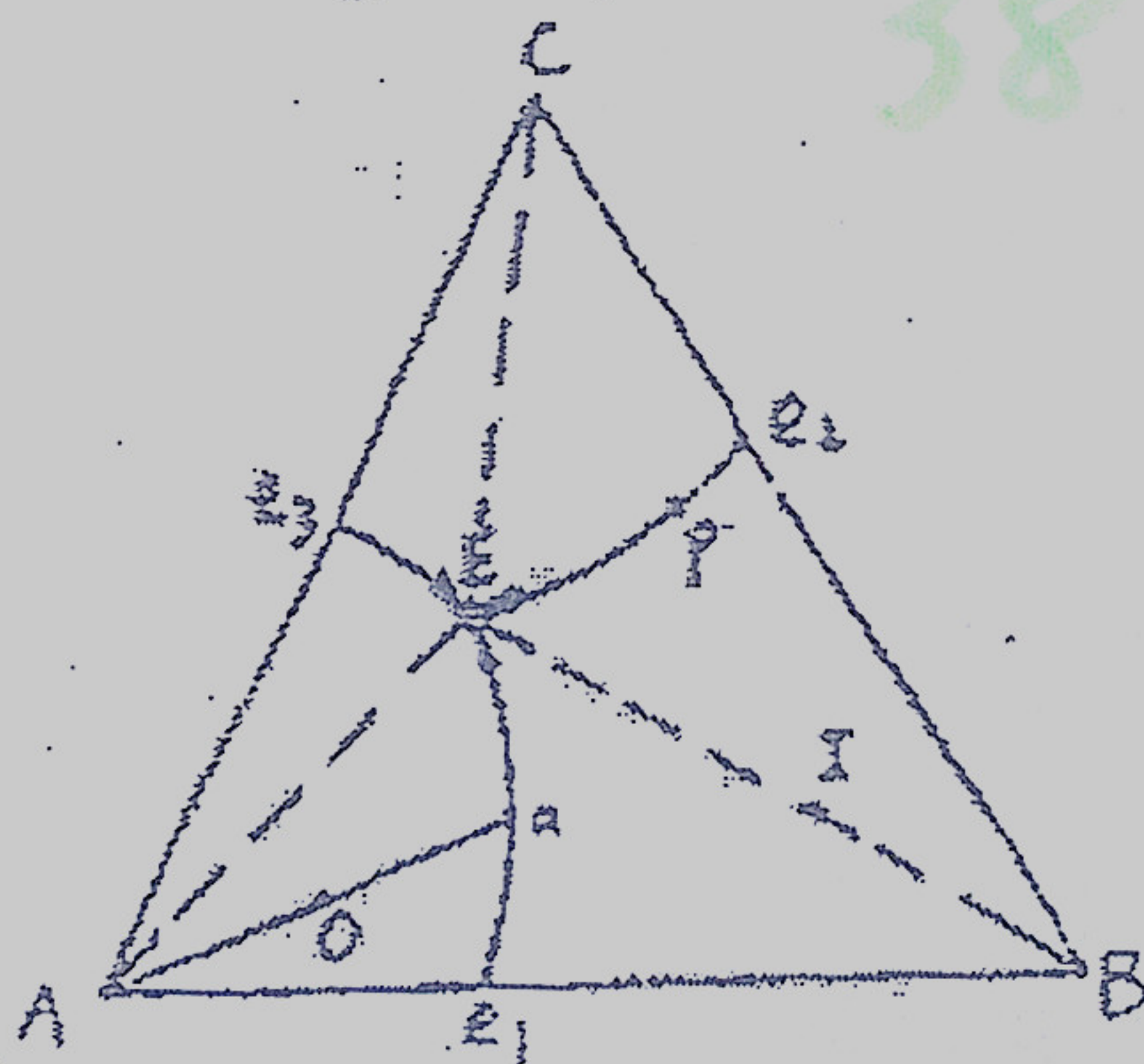
$$\frac{w_B}{w_L} = \frac{x_B - 0.4}{1 - x_B} = 2$$

$$x_B - 0.4 = 2(1 - x_B), x_B = 80\%$$

合金 K 中  $w(B) = 80\%$ ，又已知： $w(A) + w(C) = 100\% - 80\% = 20\%$  和  $w(A) = 3w(B)$ 。  
由此解得：A、C 的质量分数分别为 15% 和 5%。

即合金 K 成分为：A、B、C 的质量分数分别为 15%，80%，5%。

12. 如图三元相图，请说明 O 成分的合金从液相缓慢凝固到固相的组织形成顺序，假设冷却过程足够慢得到的是平衡组织。



### 【考查重点】

这是第八章固态互不溶解的三元共晶相图的考点。

### 【答案解析】

O 成分的合金从液相缓慢凝固到固相的组织形成顺序如下：

液相  $\rightarrow$  凝固出初晶 A  $\rightarrow$  进入 L+A+C 三相平衡区  $\rightarrow$  发生  $L \rightarrow A+C$  共晶转变，形成两相共晶 (A+C)  $\rightarrow$  发生四相平衡共晶转变  $L \rightarrow A+B+C$ ，形成三相共晶 (A+B+C)，继续冷却时，合金不再发生其他变化。其室温组织是初晶 A+两相共晶 (A+C)+三相共晶 (A+B+C)。

13. 材料设计：某种材料可以通过掺杂 Mo 来提高材料的硬度，由于国外专利垄断的原因，国内计划尝试寻找的掺杂以避免专利壁垒。请给出一些替代掺杂元素的方案，并给出方案的制定依据。



【考查重点】

这是一道综合题，考察考生如何综合运用知识。

【答案解析】

可以从两个角度来选择替代掺杂的元素：

从元素周期表出发，选择与 Mo 性能相近的元素，比如 Cr、W、Re，或者选择与 Mo 晶体结构相似的元素。

从材料强化的角度来考虑，弥散强化，固溶强化，掺杂微小粒子。

C：存在于所有的钢材，是最重要的硬化元素。有助于增加钢材的强度猜测它可以用于其他材料的强化；

Cr：增加耐磨损性，硬度；

Mn：重要的元素，有助于生成纹理结构，增加坚固性，和强度、及耐磨损性；

Ni：保持强度、抗腐蚀性、和韧性；

Si：有助于增强强度；

Wu：增强抗磨损性。



# 厦门大学 2012 年招收攻读硕士学位研究生入学考试试题答案解析

科目代码: 829

科目名称: 材料科学基础

招生专业: 材料物理与化学、材料学、材料加工工程、材料工程(专业学位), 核科学与工程、光伏工程

考生须知: 答案必须使用墨(蓝)色墨水(圆珠)笔, 不得在试卷(草稿)纸上作答; 凡未按规定作答不予评阅、判分。

40

## 一、名词解释

### (1) 螺型位错

【考查重点】:

这是第三章位错的基本类型和特征的考点, 考生应掌握几种位错类型的定义。

【答案解析】:

位错线附近的原子按螺旋形排列的位错称为螺型位错。

### (2) 共晶转变

【考查重点】:

这是第七章共晶相图及其合金凝固的考点, 考生应理解并掌握共晶转变的概念。

【答案解析】:

在液相可无限互溶的两组元同时结晶出两个固相的转变称为共晶转变。

### (3) 非均匀形核

【考查重点】:

这是第六章形核的考点, 考生应掌握非均匀形核的概念。

【答案解析】:

非均匀形核(异质形核、非自发形核): 新相优先在母相中存在的异质处形核, 即依附于液相中的杂质或外来表面形核。

### (4) 扩散激活能

【考查重点】:

这是第四章扩散激活能的考点, 考生应掌握扩散激活能的概念。

【答案解析】:

间隙扩散时溶质原子跳跃所需额外的热力学内能, 该迁移能等于间隙原子的扩散激活能。



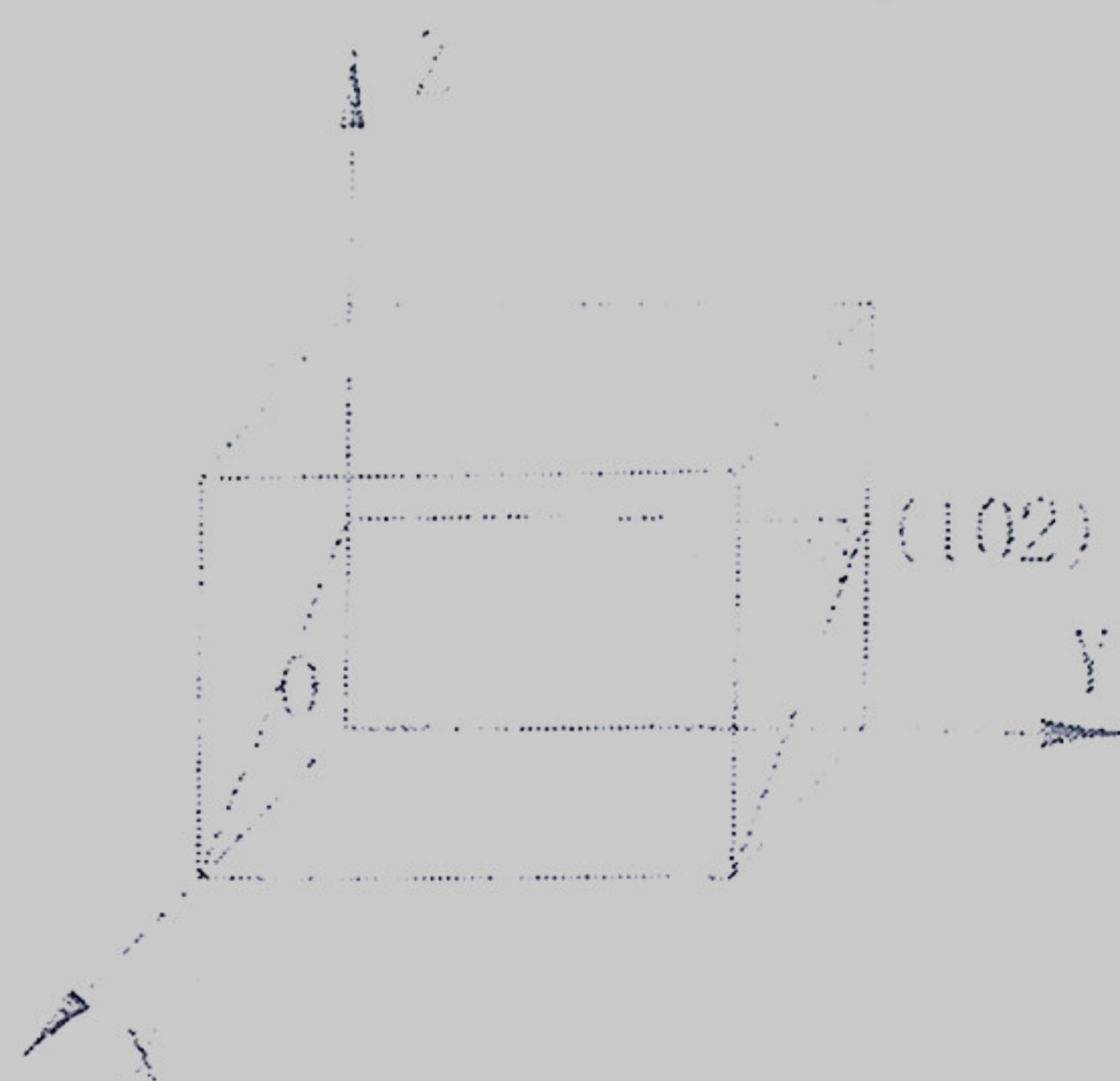
二、在立方晶系中，有一晶面在 x 轴的截距为 1，在 z 轴的截距为 1/2，且平行于 y 轴。求此晶面指数，并画出此晶面。

【考查重点】：

这是第二章晶向指数和晶面指数的考点，考生要掌握并会计算和画出给出的晶面。

【答案解析】：

(1) 晶面指数为 (102)。如图所示

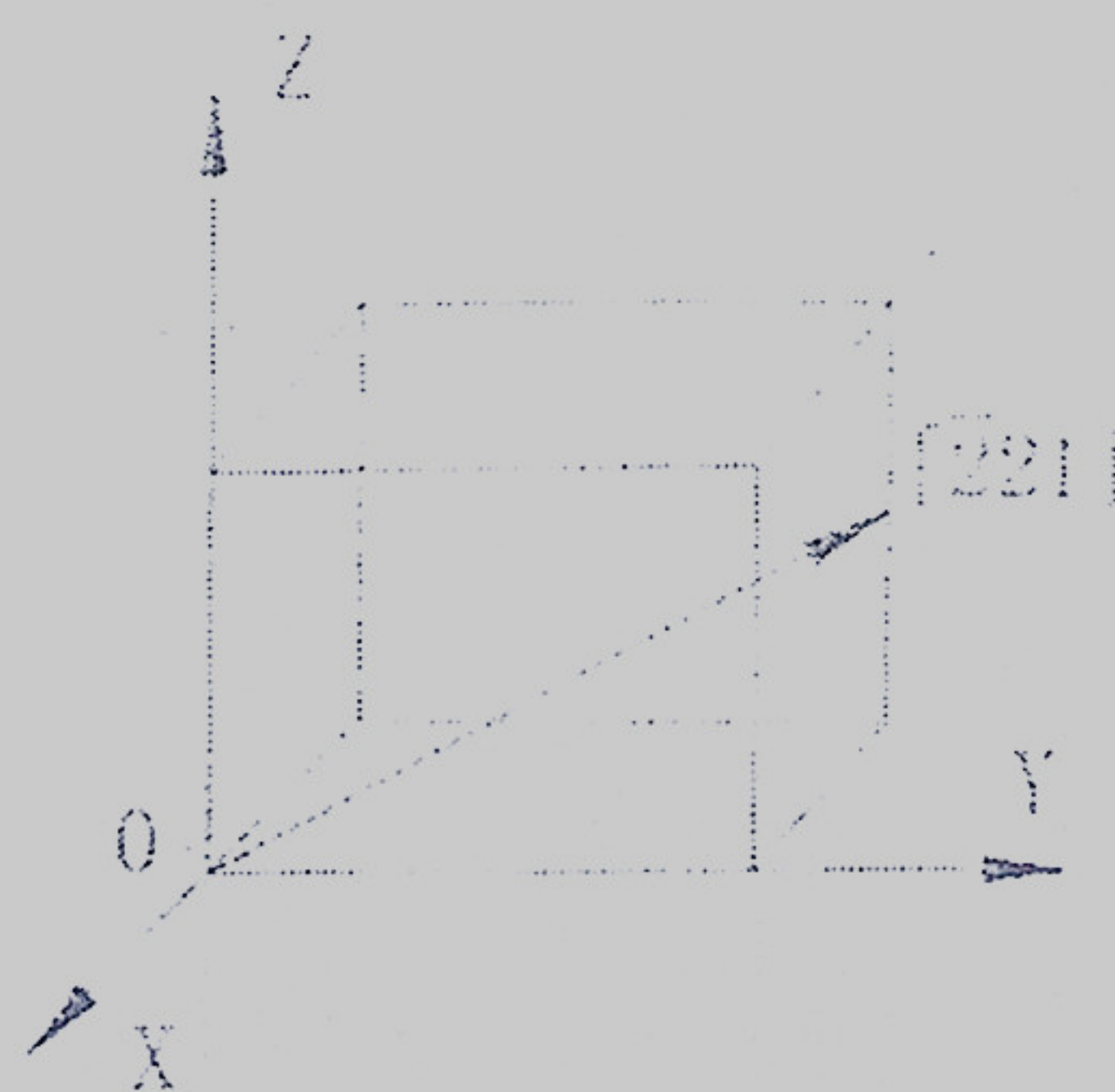


$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

(2) 设此晶向轴的晶向指数  $[uvw]$ ，则  $u:v:w = \begin{vmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} = -2:2:1$

故此晶向指数为  $[\bar{2}21]$

此晶向指数如下图所示



912°C

三、纯铁在 912°C 存在  $\alpha\text{-Fe (bcc)} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe (fcc)}$  的结构转变。假设原子的半径为  $R$ ，并且在转变过程中原子半径不变，请计算含  $N$  个铁原子的纯铁块体在这个转变过程中的体积变化。

【考查重点】：

这是第二章三种典型的金属晶体结构的考点，考生应理解并掌握这三种晶体结构、晶胞中的原子排列，并会相关计算。



【答案解析】:

对于  $\alpha$ -Fe (bcc) 的晶胞, 则晶格常数为  $a_1 = \frac{4}{3}\sqrt{3}R$

则晶胞的体积为  $V_1' = a_1^3 = \left(\frac{4}{3}\sqrt{3}R\right)^3$

一个体心立方晶胞实际拥有的原子数为 2 个, 则 N 个铁原子的纯铁块的体积为  $V_1$ , 则

$$\frac{V_1}{N} = \frac{V_1'}{2}, \quad V_1 = \frac{N}{2} \cdot \left(\frac{4}{3}\sqrt{3}R\right)^3$$

对于  $\gamma$ -Fe (fcc) 的晶胞, 转变前后原子的直径不变, 仍为 R, 则晶胞的晶格常数为

$$a_2 = 2\sqrt{2}R$$

则面心立方晶胞的体积为  $V_2' = a_2^3 = (2\sqrt{2}R)^3$

一个面心立方体结构的晶胞实际拥有的原子数为 4 个, N 个铁原子的铁块的体积为  $V_2$

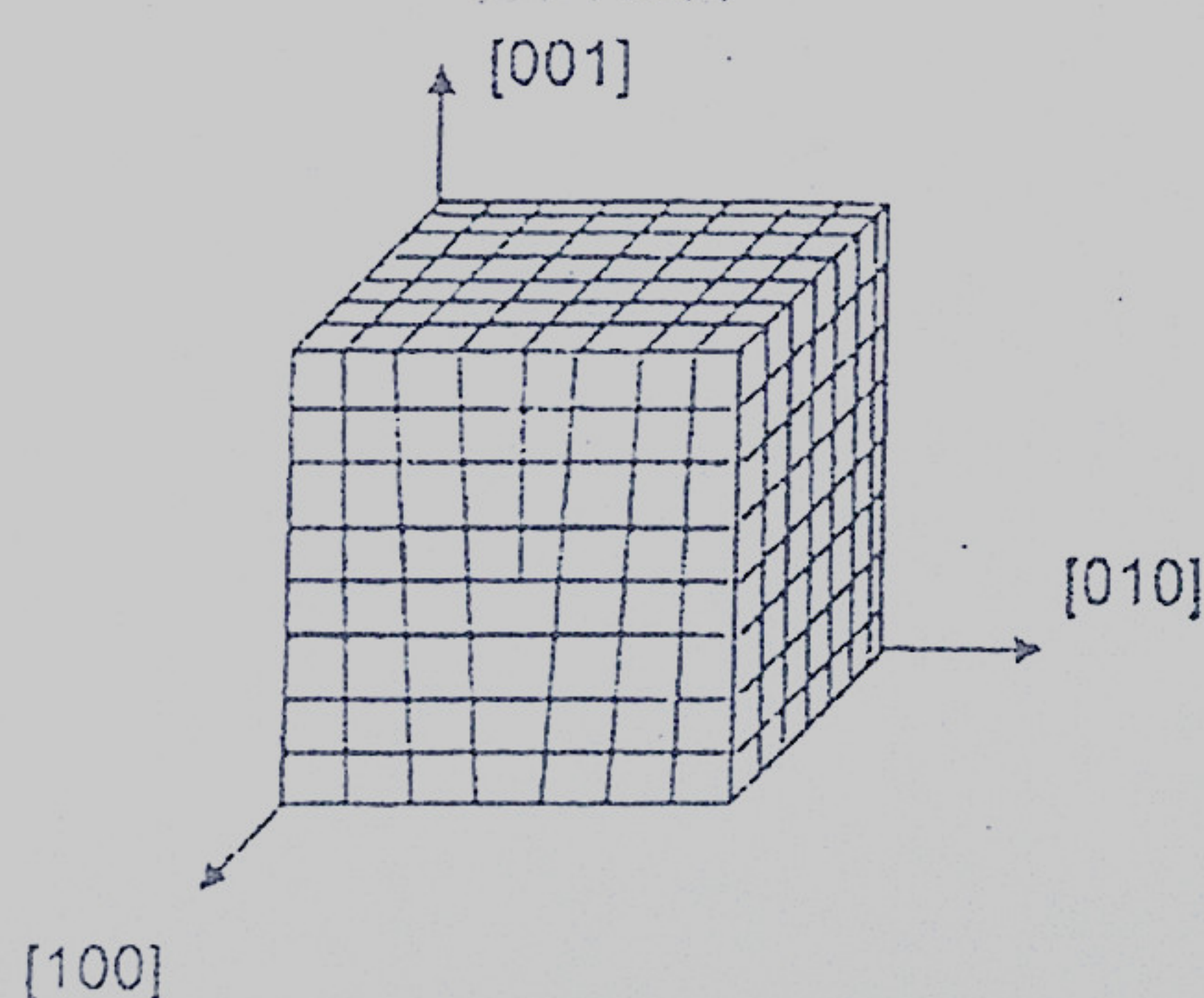
$$\frac{V_2}{N} = \frac{V_2'}{4}$$

$$V_2 = \frac{N}{4} \cdot (2\sqrt{2}R)^3$$

故这个转变体积中体积的变化量为

$$V_2 - V_1 = \frac{N}{4} \cdot (2\sqrt{2}R)^3 - \frac{N}{2} \cdot \left(\frac{4}{3}\sqrt{3}R\right)^3$$

四、根据如下含位错的晶体的示意图, 判断该位错是属于什么类型的位错? 请写出位错的柏氏矢量。该晶体受到沿  $[010]$  方向的拉应力作用时, 该位错将发生什么样的运动。



【考查重点】:

这是第三章位错的考点, 考生应该理解并掌握位错基本类型和特征, 以及位错柏氏矢量的表达、位错的运动等。

【答案解析】:

问一:

由图可以看出, 多一半原子面, 故为刃型位错; 柏氏矢量为  $a[010]$ 。



问二:

刃型位错在[010]方向上的拉应力作用下,位错将受到大小为 $\sigma b$ 方向向下的力的作用,故位错线将向下攀移。

五、有两种材料的扩散系数分别为  $D_1 = D_{10} \exp(-83700/RT)$  和  $D_2 = D_{20} \exp(-251000/RT)$ , 请计算当温度从 298K 升高到 873K 时,两种扩散系数的变化,并分析对不同激活能,温度对扩散系数的影响程度。

【考查重点】:

这是第四章扩散系数的考点,考生应掌握扩散系数的计算方法。

【答案解析】:

由阿累尼乌斯方程  $D = D_0 \exp(-\frac{Q}{RT})$

得:

$$\frac{D_{873K}}{D_{298K}} = \exp\left[\frac{-83700}{8.314} \left(\frac{298-873}{873 \times 298}\right)\right]$$
$$= 4.6 \times 10^9$$

$$\frac{D_{873K}}{D_{298K}} = \exp\left[\frac{-251000}{8.314} \left(\frac{298-873}{873 \times 298}\right)\right]$$
$$= 9.5 \times 10^{28}$$

对于温度从 298K 提高到 873K,扩散速率  $D$  分别提高于  $4.6 \times 10^9$  倍和  $9.5 \times 10^{28}$  倍,显示出温度对扩散系数的重要影响,当激活能越大,扩散速率对温度的敏感性越大。

六、将一根高碳钢长棒与纯铁棒对焊起来组成扩散偶,试分析在扩散偶中碳浓度分布随扩散时间的变化规律,并画出分布曲线的示意图。

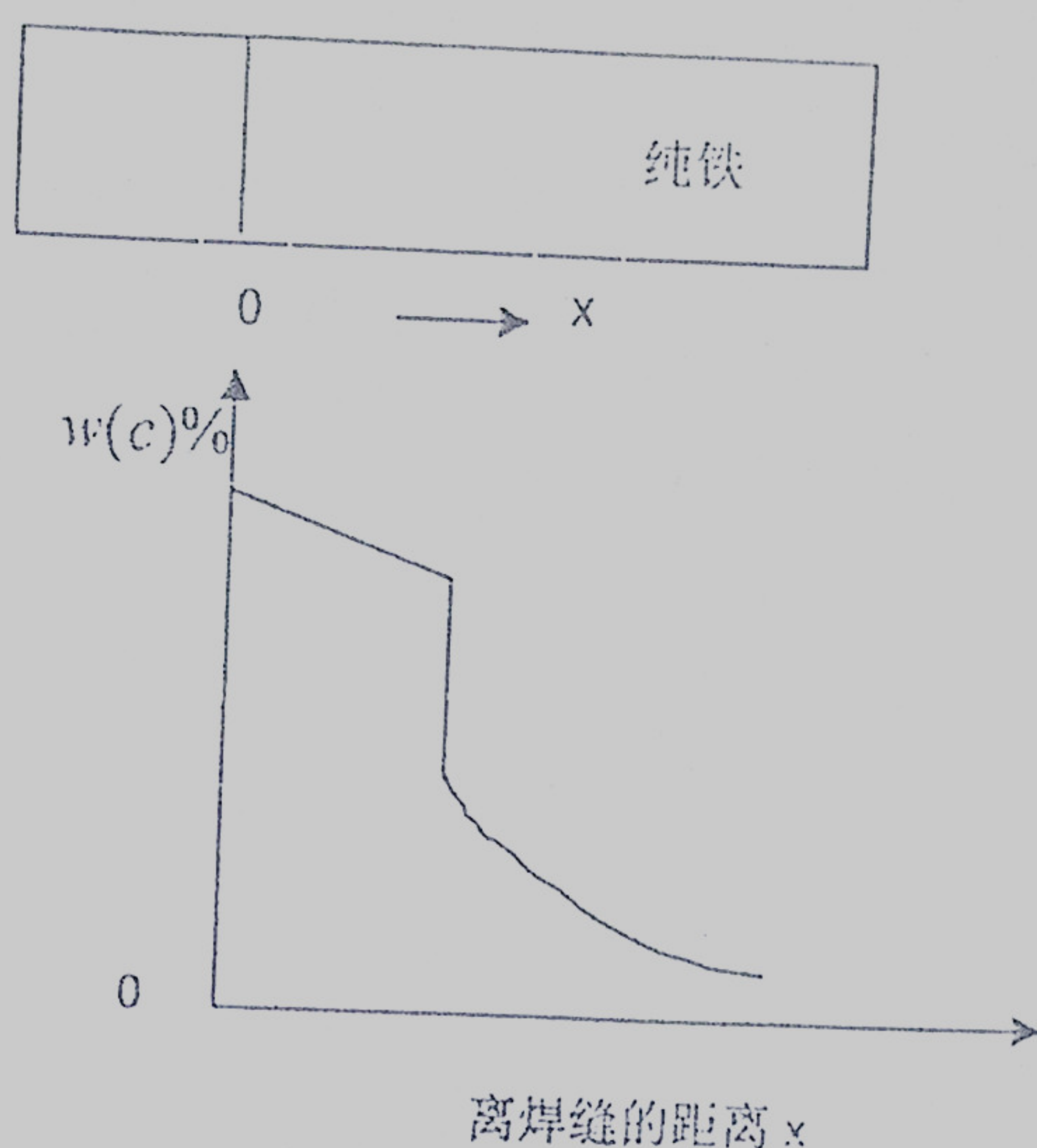
【考查重点】:

这是第四章表象理论的考点,考生应该理解并掌握扩散偶中扩散物质浓度随时间、空间的变化方式。

【答案解析】:

高碳钢和纯铁焊接起来组成扩散偶,碳将经焊缝进入纯铁内,发生反应扩散,在纯铁内部形成的渗层组织(中间相或固溶体)且渗层组织中不存在两相混合区,在相界面上的浓度是突变的。分布如下图所示:





七、如果某晶体在 $[010]$ 方向施加了  $147\text{MPa}$  应力后滑移系  $(110)[111]$  正好开始滑移，请问临界分切应力为多少？

【考查重点】：

这是第五章晶体的塑性变形的考点，考生应该理解滑移的临界分切应力的概念，并会计算其临界分切应力。

【答案解析】：

设  $\phi$  为滑移面法线与外力  $F$  中心轴的夹角， $\lambda$  为滑移方向与外力  $F$  的夹角，则有

$$\cos \phi = \frac{[010] \cdot [110]}{|010| |110|}$$

$$= \frac{1}{1 \times \sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\cos \lambda = \frac{[010] \cdot [111]}{|010| |111|}$$

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

$$\text{则临界分切应力 } \tau_c = \sigma_x \cdot \cos \phi \cos \lambda = 147 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} \text{MPa} \approx 60 \text{MPa}$$

八、分析纯金属生长形态与温度梯度的关系。

【考查重点】：

这是第六章结晶动力学及凝固组织的考点，考生应理解并掌握纯晶体凝固时的生长形态与温度梯度的关系，学会分析。

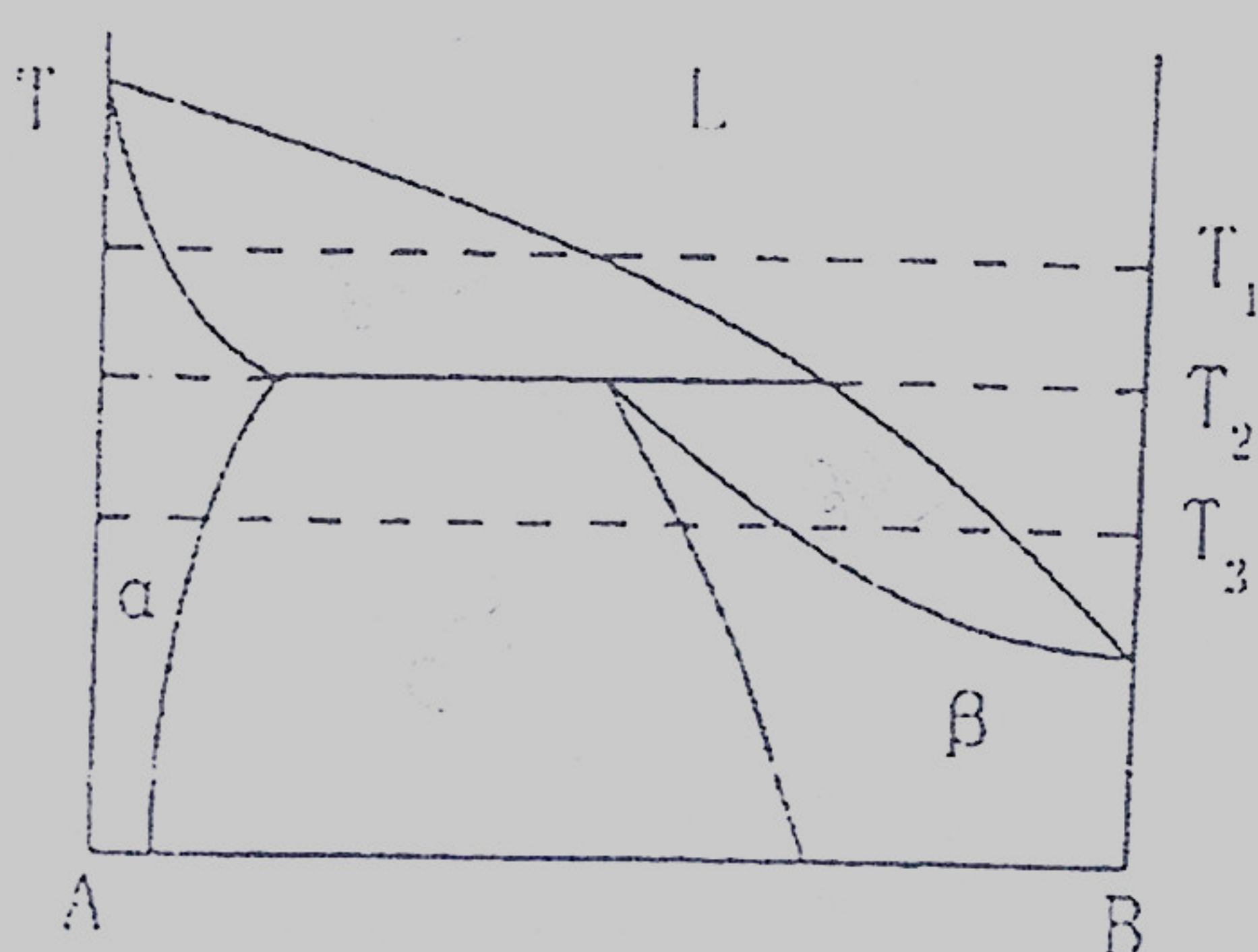


【答案解析】:

在正温度梯度的情况下, 结晶潜热只能通过固相而散出, 相界面的推移速度受固相传热速度所控制, 晶体的生长接近于平面状向前推移, 这是由于温度梯度是正的, 当界面上偶尔有突起部分, 而伸入温度较高的液体中时, 它的生长速度就会减缓甚至停止, 周围部分的较凸起部分大而会赶上来, 使凸起部分消失, 这种过程使得液固界面保持平面状态。

在负温度梯度时, 相界面上产生的结晶潜热可以通过固相也可以通过液相而散失, 相界面的推移不止由传热速度所控制, 在这种情况下, 如果部分的相界面生长凸出, 到前面的液体中, 则能处于温度更低的液相中, 使得凸出部分的生长速度增大而进一步的伸向液体中, 在这种情况下, 液固界面将以树枝状生长。

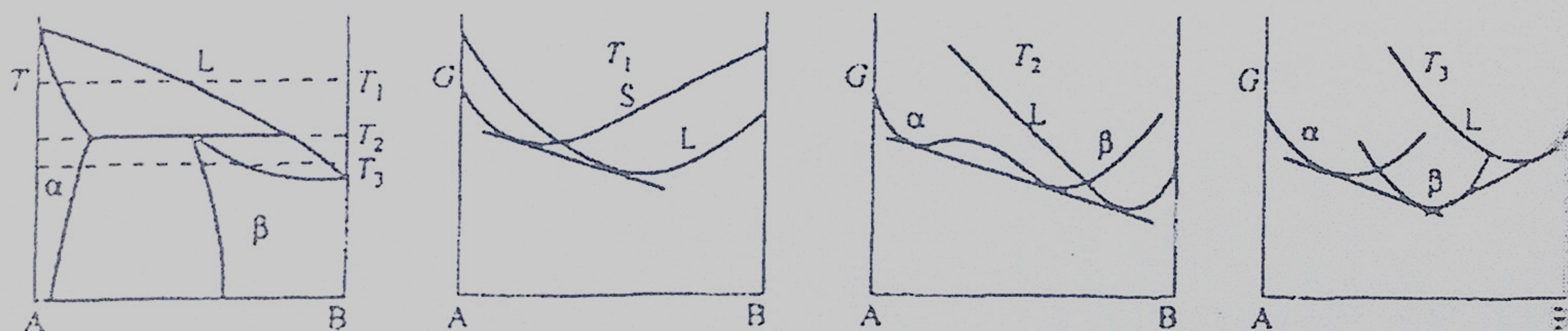
九、根据图中所示的包晶相图, 分别画出  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  温度下的自由能-成分曲线。



【考查重点】:

这是第七章混合物的自由能的考点, 考生应该理解并掌握自由能成分曲线与相图的互推。

【答案解析】:



$$f = 3 - 2 + 1 = 2$$

十、三元匀晶相图中, 如果是一个两相区, 根据相律, 该相区的自由度是多少? 如果一个合金成分位于该相区, 如何知道两相的成分和含量?

【考查重点】:

这是第六章相律和第八章重心定律的考点, 考生应该掌握相律以及重心定律的应用, 会根据不同的相图进行分析。



【答案解析】:

问一:

有相律可知

$$f = c - p + 1 = 3 - 2 + 1 = 2$$

即自由度为 2

问二:

杠杆定律与重心定律的综合应用

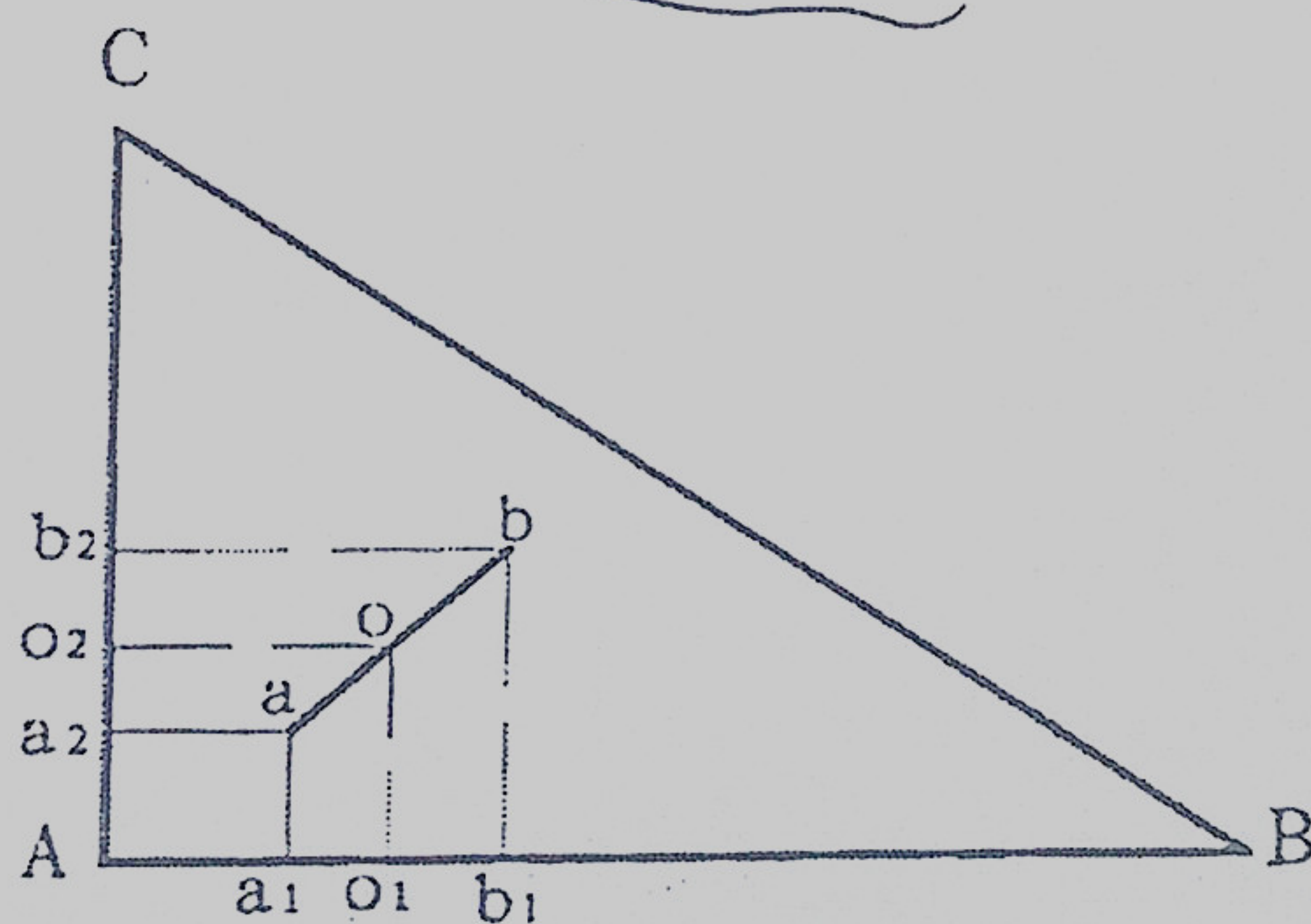
### (1) 直线法则

在一定温度下三组元材料两相平衡时, 材料的成分点及其两个平衡相的成分点必然位于成分三角形内的一条直线上

如下图所示, 设在一定温度下成分点为  $o$  的合金处于  $\alpha + \beta$  两相平衡状态,  $\alpha$  相及  $\beta$  相的成分点分别为  $a$  和  $b$ 。由图中可读出三元合金  $o$ ,  $\alpha$  相及  $\beta$  相中 B 组元含量分别为  $Ao_1$ ,  $Aa_1$  和  $Ab_1$ ; C 组元的含量分别为  $Ao_2$ ,  $Aa_2$  和  $Ab_2$ 。由含量关系可推导出解析几何中三点共线的关系式:

$$\frac{Aa_1 - Ab_1}{Aa_2 - Ab_2} = \frac{Ao_1 - Ab_1}{Ao_2 - Ab_2} \quad \text{由此可证明 } o, a, b \text{ 三点必在一条直线上。同样可证明; 以}$$

等边三角形作成分三角形时, 上述关系依然存在。



共线法则的导出

### (2) 杠杆定律

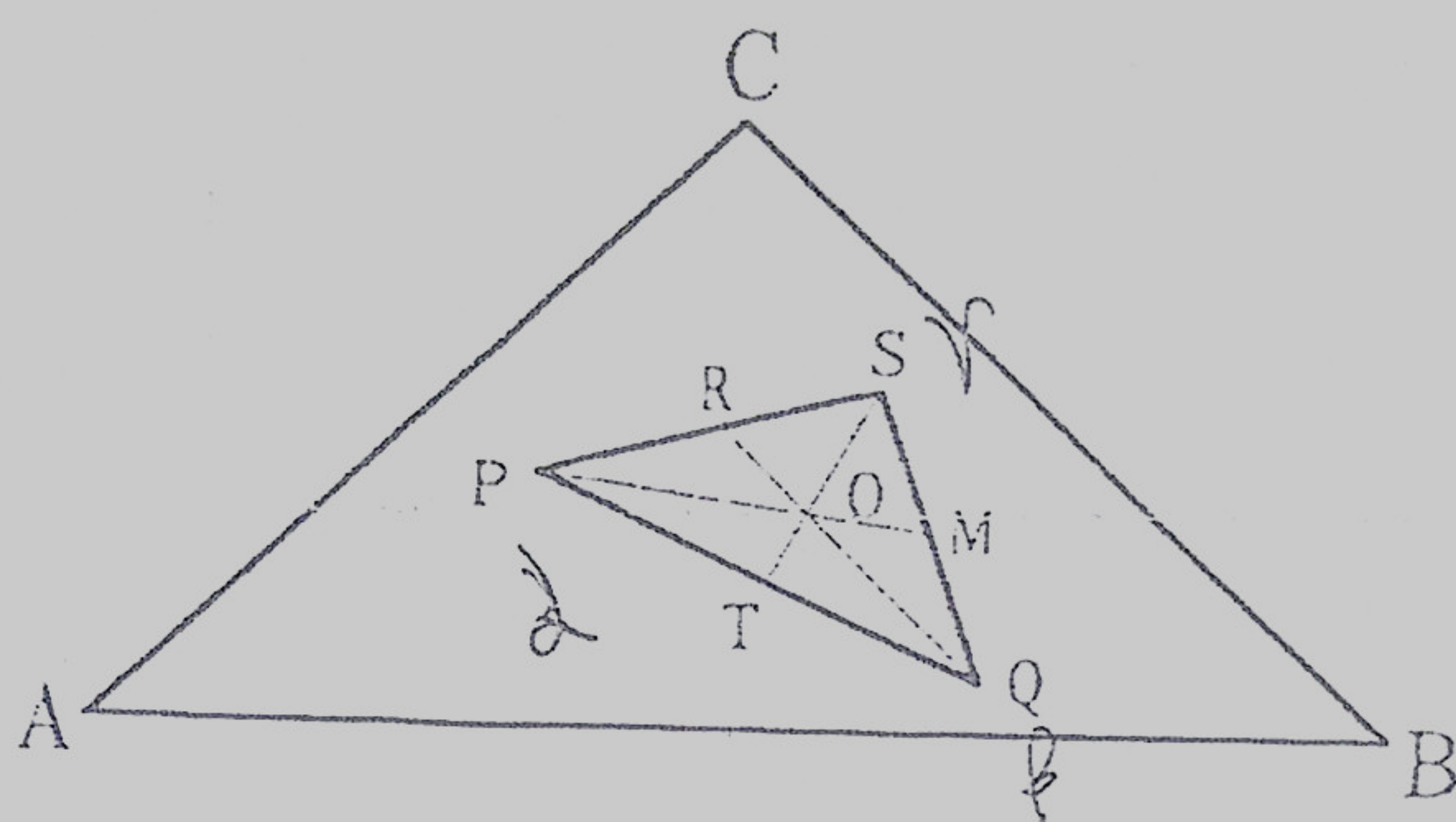
由前面的推导中还可推出:  $w_\alpha = \frac{Ab_1 - Ao_1}{Ab_1 - Aa_1} = \frac{o_1b_1}{a_1b_1} = \frac{ob}{ab}$ 。

### (3) 重心定律

当一个相完全分解成三个新相, 或是一个相在分解成两个新相的过程时, 研究它们之间的成分和相对量的关系, 则须用重心定律。



合金成分点应位于三个平衡相的成分点所连成的三角形内。



重心定律

合金成分O，三相 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 成分分别为P、Q、S，则由杠杆定律可以得到各相的质量

分数为： $w_\beta = \frac{OR}{QR}$ ,  $w_\alpha = \frac{OM}{PM}$ ,  $w_\gamma = \frac{OT}{ST}$ 。O点正好位于成分三角形PQS的质量重心。

47

十一、某工厂用以冷拉钢丝绳将一大型钢件吊入热处理炉内，由于一时疏忽，未将钢丝绳取出，而是随同工件一起加热至 $860^\circ\text{C}$ （该温度高于钢丝绳的再结晶温度），保温时间到了，打开炉门，要吊出工件时，钢丝绳发生断裂，试分析原因。

【考查重点】：

这是第五章再结晶的考点，考生应该理解和掌握再结晶热处理的意义。

【答案解析】：

冷拉钢丝绳系经大变形量的冷拔钢丝绞合而成。加工过程的冷加工硬化使钢丝的强度、硬度大大提高，从而能承载很重的工件。但是当将其加热至 $860^\circ\text{C}$ 时，其温度已远远超过钢丝绳的再结晶温度，以致产生回复再结晶现象，加工硬化效果完全消失，强度、硬度大大降低。再把它用来起重时，一旦负载超过其承载能力，必然导致钢丝绳断裂事故。

十二、(a) 已知液态纯镍在 $1.1013 \times 10^5 \text{Pa}$ （1个大气压），过冷度为 $319^\circ\text{C}$ 时发生均匀形核。设临界晶核半径为 $1\text{nm}$ 。纯镍的熔点为 $1726\text{K}$ ，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 $1726\text{K}$ 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 $\Delta V = -0.26 \text{cm}^3/\text{mol}$  ( $1\text{J} = 9.87 \times 10^5 \text{cm}^3 \text{Pa}$ )。

【考查重点】：

这是第六章均匀形核的考点，考生应该掌握均匀形核中的能量变化和临界晶核，并会分析和计算。



【答案解析】: (a) 由于  $r^* = -\frac{2\sigma}{\Delta G_f} = \frac{2\sigma \cdot T_m}{L_m \cdot \Delta T} = \frac{2\sigma \cdot T_m \cdot V}{\Delta H_m \cdot \Delta T}$

因为凝固,  $\Delta G_f = \frac{L_m \cdot \Delta T}{T_m}$

$$\sigma = \frac{r^* \Delta G_v}{2} = \frac{r^* \Delta H_m \Delta T}{2VT_m} = \frac{1 \times 10^{-7} \times 18075 \times 319}{2 \times 1726 \times 6.6}$$

$$= 2.53 \times 10^{-5} J/cm^2 = 0.253 J/m^2$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\sigma^3 T_m V_s}{3\Delta H_m^2 \Delta T^2} = \frac{16 \times 3.14 \times (2.53 \times 10^{-5})^3 \times 1726^2 \times 6.6^2}{3 \times 18075^2 \times 319^2}$$

$$= 1.06 \times 10^{-18} J$$

(b) 镍在  $1726-319=1407K$  发生均匀形核时, 需要的过冷度为 319. 想要在 1726K 发生均匀形核, 为此必须增加压力。

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H}{T\Delta V}$$

对上式积分:

$$\int_{1.013 \times 10^5 Pa}^{P'} dP = \int_{1407K}^{1726K} \frac{\Delta H}{T\Delta V} dT$$

$$P - 1.013 \times 10^5 = \frac{\Delta H}{\Delta V} \ln \frac{1726}{1407} = \frac{18075}{0.26} \times 9.87 \times 10^5 \times \ln \frac{1726}{1407}$$

$$= 140213.549 \times 10^5$$

$$\Rightarrow P = 140213.549 \times 10^5 + 1.013 \times 10^5 = 140214.562 \times 10^5 Pa = 14.02 GPa$$