

• 全国硕士研究生入学考试 •

胡庚祥《材料科学基础》 真题解析及典型题精讲精练

主讲老师：张卫华



关注考试点官方微博：

<http://weibo.com/kaoshidian>

意见及建议也可发送邮件至：service@kaoshidian.com



客服电话请拨打：

400-6885-365

周一至周日：8:00-24:00

目 录

第一章 原子的结构与键合	(1)
第二章 固体结构	(2)
第三章 晶体缺陷	(6)
第四章 固体中原子及分子的运动	(8)
第五章 材料的形变与再结晶	(12)
第六章 单组元相图及纯晶体的凝固	(16)
第七章 二元系相图及合金的凝固	(19)
第八章 三元相图	(23)



第一章 原子的结构与键合

内容、复习思路

最外层电子结构决定结合键类型(最外层电子得失)

金属键、离子键、共价键、范德华力

化学键(主价键)

物理键(次价键)

	自由电子, 电子得失, 电子成键		
	金属键	离子键	共价键
饱和性	无	无	有
方向性	无	无	有
聚集性	密堆积	高配位数	$8 - N$

1. 物理性能

熔点的高低代表了材料稳定性程度。共价键、离子键化合物的 T_m 较高。

密度与结合键有关。因为金属有较高的相对原子质量,金属键结合没有方向性,原子趋于密集排列,多数金属有高的密度。

导热、导电性、硬度等,因为金属有自由电子,导热、导电性好,硬度不如共价晶体和离子晶体。

2. 力学性能

弹性模量与结合能有较好的相关关系。

强度与原子聚集状态、结合能相关

塑性与原子聚集状态(滑移系)有关

真题精讲:

陶瓷材料的结合键主要为:A. 金属键

B. 离子键

C. 共价键 (深大 12) 指出

下表绘出的四种固态材料中的:1 化学键的类型;2 每种原子或离子的配位数,说明其中那种材料的 3 弹性模量最高,4 延展性最好。(深大 12)

材料	晶体结构	熔点/ $^{\circ}\text{C}$
金属铅 (Al)	fcc	660
氧化镁 (MgO)	氯化钠	2900
碳化硅 (SiC)	金刚石	无熔点, 2500 $^{\circ}\text{C}$ 分解
金属钛 (Ti)	hcp	1668



第二章 固体结构

1. 晶体学基础(空间点阵,晶向和晶面指数)
2. 金属的晶体结构(金属晶体结构,间隙)
3. 合金相结构(固溶体和中间相)
4. 离子晶体结构(离子晶体结构规则,晶体结构)

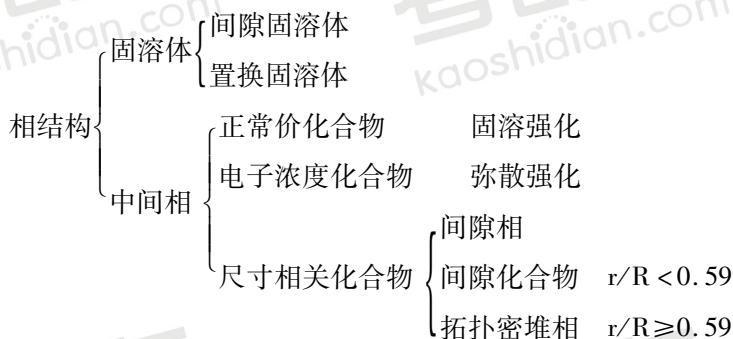
内容、复习思路

1. 晶体是原子、离子的空间长程有序排列。可以用空间点阵、晶胞的概念来简化研究对象。
2. 根据“每个阵点的周围环境相同”和六个点阵参数间的相互关系,可将晶体分为 7 个晶系,14 种布拉菲点阵。

3. 阵点空间排列方式可以用晶向和晶面表示 – 密勒指数。
4. 矢量运算(矢量夹角(面夹角)、面间距)
5. 典型属晶体结构中,面心立方(fcc)、体心立方(bcc)和密排六方(hcp)三种典型结构。

按晶胞来讨论:5 个参量:晶胞原子数,致密度,配位数,4 面体间隙,8 面体间隙

相结构



电负性、电子浓度、原子尺寸 不同金属原子

1. 离子晶体的 Pauling 规则:

负离子配位多面体规则(能量最低)

电价规则(电中性)

负离子多面体共用顶、棱和面的规则(同性相斥)

不同种类正离子配位多面体间连接规则

节约规则。

2. 典型离子晶体:

AB 型(CsCl, NaCl, ZnO)、



AB_2 型(TiO_2 , CaF_2)、

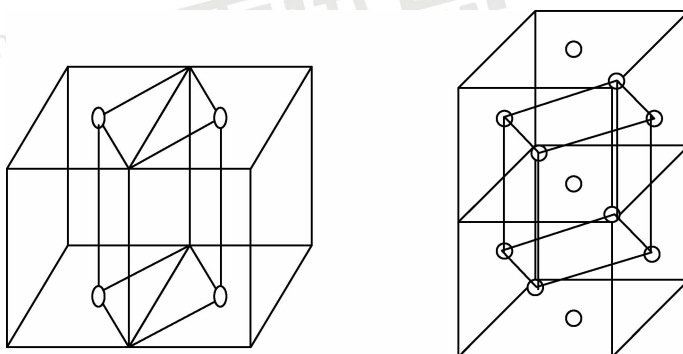
ABO_3 型($BaTiO_3$)

真题精讲

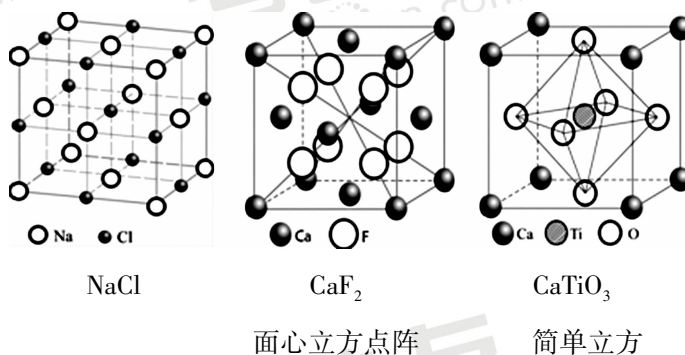
点阵:

为什么十四种布拉菲点阵中不存在底心正方(四方)点阵?(沈工大 08,10,11)

画图说明一个面心正方(四方)点阵可以被 1 个体心正方点阵所代替。(沈工大 10)



分别画出下列离子晶体的布拉菲点阵(下图中的点阵参数均为 $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。(北科大 12)



晶胞

已知某面心立方晶体的晶格常数为 a , 请画出该晶体的晶胞模型, 并分别计算该晶体的致密度、 $\{111\}$ 晶面的原子面密度、八面体间隙半径以及 $\{110\}$ 晶面的面间距。(沈工大 10)

晶面间距修正:

fcc: 当 (hkl) 不全为奇数或偶数时,

bcc: 当 $h + k + l =$ 奇数时,

hcp: 当 $h + 2k = 3n$, 且 l 为奇数时

0.74, 0.903, 0.414, 0.353



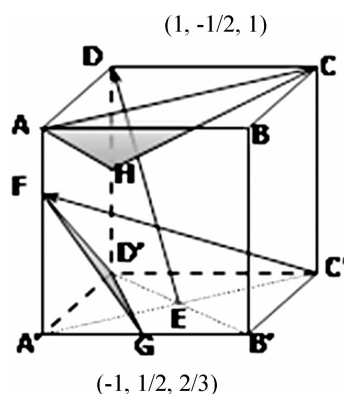
密勒指数:

在单位晶胞中绘出 (011) 和 (101) 晶面, [110] 和 [111] 晶向。(太科大 11)

一个滑移面 (HKL) 和面上的一个滑移方向 $\langle uvw \rangle$ 构成一个滑移系, 它们符合什么晶体学位向关系? 试写出铜单晶体一个滑移面所对应的所有滑移系。(太科大 11)

bcc 结构的单晶体中, (113) 面与 _____ 方向垂直

写出附图的简单立方晶体中 ED、C'F 的晶向指数和 ACH、FGD' 的晶面指数, 并求 ACH 晶面的晶面间距, 以及 FGD' 与 A'B'C'D' 两晶面之间的夹角。(注: G、H 点为二等分点, F 点为三等分点)(西工大 10)



$$\text{对于立方晶系: } d_w = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

$$\cos\phi = \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\sqrt{(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2)}}$$

金属晶胞:

配位数〔沈工大 08〕

致密度。(太科大 08)

多晶型性(沈工大 09, 11)

固溶体(太科大 11), 置换固溶体(沈工大 08, 11)

合金相(河北工大 12)

间隙固溶体(沈工大 07, 09, 10, 11)

间隙化合物(河北工大 10)

晶带, 晶带轴, 晶带定律(沈工大 07, 08, 09, 11, 12)

纯铁在 912°C 时, 由 bcc 结构转变为 fcc 结构, 称为什么转变? 体积会发生怎样的变化?(太科大 08)

$$0.65 - > 0.74, 8.8\%$$

在铁-碳合金中, 奥氏体为面心立方结构, 致密度高, 铁素体为体心立方结构, 致密度低, 为何碳原子在奥氏体中的溶解度远大于在铁素体中的溶解度?(深大 11)

$$0.414, 0.225; 0.155(0.633), 0.291$$

$$\gamma: 2.11\% \quad \delta: 0.09\% \quad \alpha: 0.0218\%$$

纯 Cu 晶体在常温下的点阵常数为 $a = 0.3615 \text{ nm}$: 1. 指出其晶体结构类型和配位数, 2. 简略计算 Cu 原子半径、原子致密度和两类间隙半径, 3. 画出 Cu 原子在 (111) 晶面的分布情况, 并计算其晶面间距和原子在晶面上的致密度。(北科大 12)

$$\text{fcc}, 12, 0.353a, 0.74, 0.577, 0.353$$

中间相:

Cr_{23}C_6 、 CuZn_3 、 Cr_2N 、 Mg_2Sn 化合物中, 哪个属于正常价化合物? 哪个属于电子浓度化合物? 哪个



属于间隙相？哪个属于间隙化合物？（沈工大 08, 12）

当非金属原子和金属原子的半径比_____ 0.59 时，形成具有复杂晶体结构的相称其为_____。（河北工大 11）

在 Fe_4N , Fe_3C , Fe_2B , VC , Cr_7C_3 五种尺寸相关化合物中，那些属于间隙相，那些属于间隙化合物。（沈工大 09）

离子晶体：

在离子晶体中，负离子多面体相互间连接时，_____ 结构最稳定。A 共用顶 B 共用棱 C 共用面 D 不共用（河北工大 12）

	共用一顶	共用二顶(线)	共用三顶(面)
四面体中心距离	1	0.58	0.33
八面体中心距离	1	0.71	0.58



第三章 晶体缺陷

1. 点缺陷 (平衡浓度, 点缺陷的运动)
2. 位错 (类型, 柏氏矢量, 位错的运动, 位错的生成和增殖, 位错反应, 不全位错)
3. 表面和界面 (晶界和亚晶界, 相界)

真题精讲

主要概念:

柏氏矢量 (沈工大 08)

大角度晶界 (沈工大 12)

位错滑移 (沈工大 11)

位错交割, 攀移 (沈工大 07) (沈工大 10)

小角度晶界 (沈工大 12)

位错, 位错密度与加工硬化 (太科大 09, 河北工大 12)

两平行螺型位错, 当柏氏矢量同向时, 其相互作用力: A 为零 B 相斥 C 相吸 (深大 12)

在晶体中形成空位的同时又产生间隙原子, 这样的缺陷称为: A 肖特基缺陷 B 弗伦克尔缺陷 C 线缺陷。 (深大 12)

点缺陷:

某晶体在 600℃ 时的空位平衡浓度是 300℃ 的 106 倍, 试计算该晶体中的空位形成能. ($k = 1.3806505 \times 10^{-23} \text{ J/K}$) (深大 11) $F = U - TS \Rightarrow \Delta F = \Delta U - T\Delta S$

为什么在一定温度下点缺陷具有一定的平衡浓度, 而位错没有平衡密度? (河北工大 11)

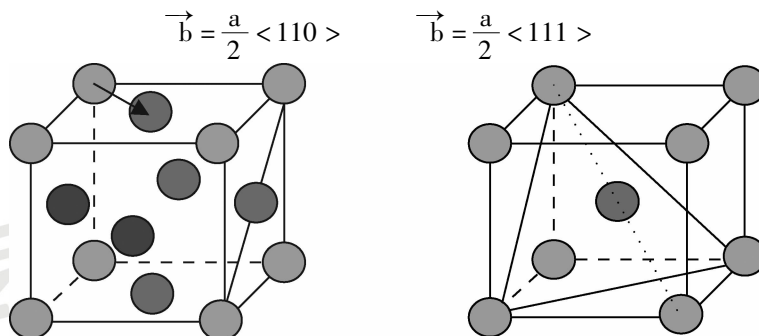
$$C = C_0 e^{-\frac{u_1}{kT}} = C_0 e^{-\frac{Q_1}{RT}}$$

位错类型:

一个环形位错 [可以, 不可以] 各部分均为螺型位错。 (沈工大 10)

位错矢量, 位错能:

请分别绘出 fcc 和 bcc 晶体中的最短单位位错, 并比较二者哪一个引起的畸变较大。 (西工大 10)





位错反应:

全位错_____能够分解为两个不全位错 $\frac{a}{6}[112]$ 和 $\frac{a}{6}[\bar{1}21]$

A. $\frac{a}{2}[101]$

B. $\frac{a}{2}[1\bar{1}0]$

C. $\frac{a}{2}[\bar{1}01]$

D. $\frac{a}{2}[011]$

FCC 晶体中有 $\vec{b}_1 = \frac{a}{2}[\bar{1}01]$ 的单位位错和 $\vec{b}_2 = \frac{a}{6}[12\bar{1}]$ 的不全位错,这两个位错相遇能否发生位错反应?为什么?(河北工大 11)

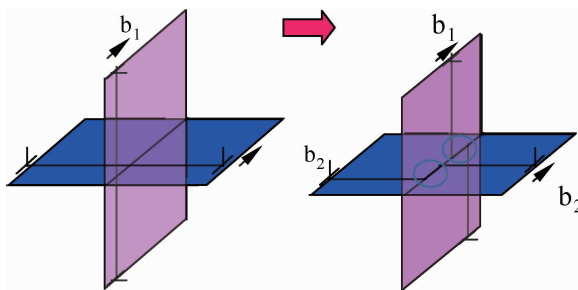
$$\sum b_{\text{前}} = \sum b_{\text{后}}$$

$$\sum b_{\text{前}}^2 \geq \sum b_{\text{后}}^2$$

位错线运动:

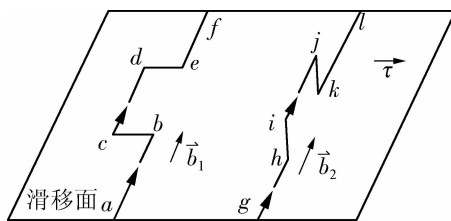
简要分析柏氏矢量互相垂直、位错线互相垂直的两个刃型位错之间的交割行为。

在外加应力作用下,刃型位错除了可以沿其自身滑移面发生滑移外,还可以发生(攀移,交滑移)
(沈工大 10)



割阶、扭折、位错类型:

12. 请判断图示中 b_1 和 b_2 两位错各段的类型,以及两位错所含拐折(bc、de和hi、jk)的性质?若图示滑移面为fcc晶体的(111)面,在切应力 τ 的作用下,两位错将如何运动?(绘图表示)(西工大 10)



请简述位向差与晶界能的关系,并解释原因?(西工大 10)

$$\gamma = \frac{Gb}{4\pi(1-\nu)}\theta(A - \ln\theta) = \gamma_0\theta(A - \ln\theta)$$

界面能通常由两项组成,共格界面能中_____一项较高,它是由_____造成的。(河北工大 10)

点阵畸变:位错和弹性畸变

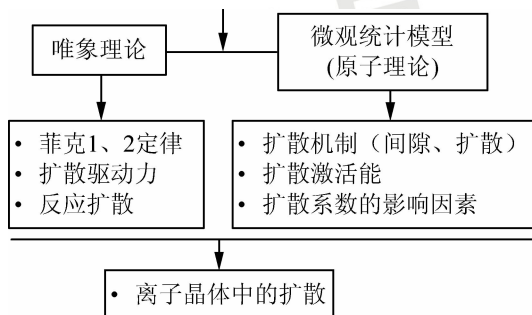
化学键能:断键数目 \times 键能



第四章 固体中原子及分子的运动

内容、复习思路

固体中由构成物质的微粒(离子、原子、分子)的热运动而产生的物质迁移现象称为扩散。



菲克第一定律:

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

J —单位时间单位面积通过物质的量, $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$, $\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$

D —扩散系数, m^2/s

C —溶质浓度, kg/m^3 , mol/m^3

x —扩散距离, m

菲克第二定律:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial J}{\partial x} = \frac{\partial (D \frac{\partial C}{\partial x})}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

(当 D 与浓度无关时)

半无限长杆:

$$\frac{C_{x,t} - C_p}{C_0 - C_p} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = \text{erf}(\beta)$$

$$\beta = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

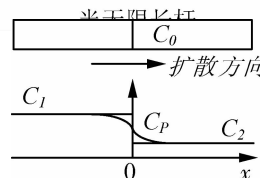
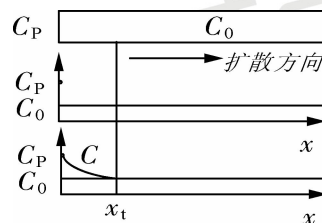
半无限长扩散偶:

$$\frac{C_{x,t} - C_p}{C_0 - C_p} = \text{erf}(\beta)$$

$$C_p = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

β $\text{erf}(\beta)$

β $\text{erf}(\beta)$





0.00	0.0000	0.70	0.6778
0.01	0.0113	0.75	0.7112
0.02	0.0226	0.80	0.7421

真题精讲：

1. 已知碳在 γ -Fe 中扩散时, $D_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $Q = 1.4 \times 10^5 \text{ J/mol}$ 。当温度由 927°C 上升到 1027°C 时, 扩散系数变化了多少倍? ($R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$) (西工大 10)

阿累尼乌斯方程: $D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$

$$D_{927} = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}} = D_0 e^{-\frac{Q}{R(927+273)}}$$

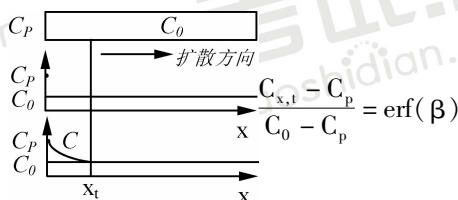
$$D_{1027} = D_0 e^{-\frac{Q}{R(1027+273)}}$$

$$\frac{D_{1027}}{D_{927}} = e^{-\frac{Q}{R(1027+273)} + \frac{Q}{R(927+273)}} = e^{\frac{1.4 \times 10^5}{8.314} \left(\frac{1}{1200} - \frac{1}{1300} \right)}$$

$$= e^{1.08} = 2.945$$

2. 在 870°C 和渗碳 927°C 下分别向含碳量为 0.2% 的碳钢中渗碳, 假定不同温度下 钢表面的碳含量始终维持在 1.2%, 若规定渗碳层深度测量至含碳量为 0.35% 处, 且在不同温度下碳在 γ -Fe 中的溶解度差别忽略不计, 请计算在 927°C 渗碳多少小时后才能达到在渗碳 10 小时的渗碳层深度? (已知 $D_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$, $Q = 140 \text{ kJ/mol}$) (沈工大 07, 10)

β	$\text{erf}(\beta)$	β	$\text{erf}(\beta)$
0.00	0.0000	0.70	0.6778
0.01	0.0113	0.75	0.7112
0.02	0.0226	0.80	0.7421



$$\beta = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

$$\frac{C_{x,t} - C_p}{C_0 - C_p} = \frac{0.35 - 1.2}{0.2 - 1.2} = 0.85$$

$$\beta = 1.0 \Rightarrow \frac{x}{2\sqrt{Dt}} = 1$$

$$D_{870} = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}} = 2 \times 10^{-5} e^{\frac{1.4 \times 10^5}{8.314(870+273)}} = 8 \times 10^{-12}$$

$$D_{972} = 1.61 \times 10^{-11}$$

$$x_{870} = 2\sqrt{D_{870}t_{870}} = 0.0015 \text{ m} = 1.5 \text{ mm}$$

$$t_{927} = \frac{x_{870}^2}{4D_{927}} = \frac{0.0015^2}{4 \times 1.61 \times 10^{-11}} = 5 \text{ h}$$

3. 材料中发生扩散的根本原因是: A 温度的变化, B 存在浓度梯度, C 存在化学势梯度。(深大

12)

$$du = -Fdx$$



$$\therefore v = BF = -B \frac{du}{dx}$$

$$J = nv = -nB \frac{du}{dx} = -nB \frac{dudn}{dn dx}$$

$$du = kT d \ln(\gamma n)$$

$$J = -nBkT \frac{d \ln(\gamma n)}{dx} = BkT \frac{nd \ln(\gamma n)}{dn dx}$$

$$J = -D \frac{dn}{dx}$$

$$D = BkTn \frac{d \ln(\gamma n)}{dn} = BkT \frac{d \ln(\gamma n)}{d \ln n}$$

$$= BkT \left(1 + \frac{d \ln \gamma}{d \ln n} \right)$$

4. 离子化合物中,阳离子比阴离子扩散能力强的原因在于:A 阳离子的半径较小, B 阳离子更易形成电荷缺陷 C 阳离子的原子价与阴离子不同(深大 12)

离子键的结合能远大于金属键

为了保证电中性,必须产生成对的缺陷

扩散离子只能进入具有同样电荷的位置

阳离子的扩散系数通常比阴离子大(在 NaCl 中,氯离子的扩散激活能约是钠离子的 2 倍)

5. 将界面处放置 Mo 丝作为标记的 Cu - Al 组成的扩散偶,置于合适温度下进行扩散, Mo 丝标记将向那个方向运动? 为什么?(河北工大 11)

富铝侧和富铜侧产生空位。

铝原子扩散能力高于铜原子。

富铜侧的空位被迁移过来的铝原子填充,富铝侧的空位来不及被填充,标记面向富铝侧运动,形成柯肯达尔效应。

6. 指出影响晶体中原子扩散的主要因素,并分析这些因素对晶体中原子扩散的影响规律。(沈工大 09,10)(西工大 10)

扩散过程引起的物质流量除了与浓度梯度(和化学位梯度)有关外,另一个重要的因素就是扩散系数。

温度

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}} \propto a^2 PZV \cdot e^{\frac{\Delta G}{RT}}$$

晶体结构(a,致密度)

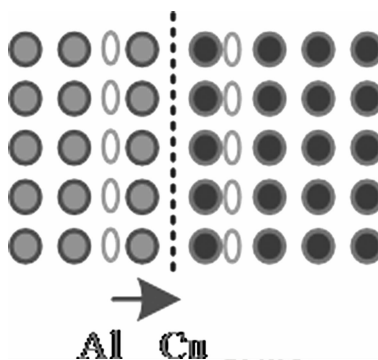
材料的成分(Q,u,互扩散)

$$D_{\text{表面}} > D_{\text{晶界}} > D_{\text{位错}} > D_{\text{晶内}}$$

晶体缺陷(Q)

其他因素(电场、应力场)

$$D = \rho B \frac{du}{dp} = BkT \left(1 + \frac{\partial \ln \gamma}{\partial \ln n} \right)$$





7. 为什么钢铁零件(比如渗碳钢)渗碳时渗碳温度一般不选择在 α 相区而要选择在 γ 相区中进行? (太科大 09, 11)

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}} \propto a^2 P Z_V \cdot e^{-\frac{\Delta G}{kT}}$$

$$J = -D \frac{dn}{dx}$$

D: 温度

晶体结构(a, 致密度)

$$J: dn/dx$$

8. 为何二元系反应扩散后的扩散层组织中不存在两相混合区 (沈工大 09)

9. 向纯 Fe 中渗 N 时, 在渗 N 层中可否出现两相混合区? 为什么? (沈工大 11)

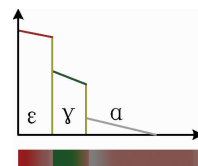
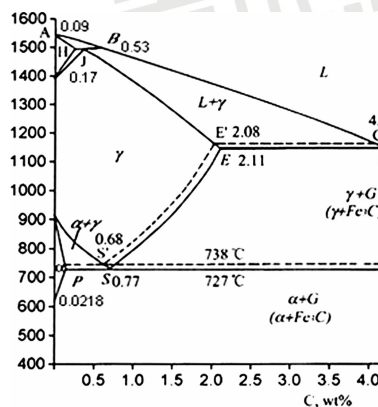
$$J = -nB \frac{du}{dx}$$

$$J = -D \frac{dn}{dx}$$

同相内存在浓度梯度

相间浓度跃变, 对应相的极限溶解度

扩散时, 相界面两边的成分不变, 而是相界面向内迁移, 即相在不断生长。





第五章 材料的形变与再结晶

内容、复习思路 1

1. 塑性变形;
2. 单晶体塑性变形的机制—滑移、孪生、扭折(位错运动);多晶体、合金塑性变形特点;
3. 滑移带、滑移线、滑移系、多滑移、交滑移;
4. 固溶强化、细晶(晶界)强化、弥散(沉淀)强化、形变强化(加工硬化);
5. 纤维组织、形变织构、再结晶织构,残余应力;
6. 回复(低、中、高温)性能变化;
7. 再结晶形核、长大;
8. 再结晶温度,再结晶晶粒尺寸及影响因素;
9. 正常长大、异常长大;

内容、复习思路 2

施密特因子, $M = \cos\phi\cos\lambda$, 滑移系切应力: $\tau = M\sigma_0$

矢量 $[abc]/[pqr]$ 夹角(晶面夹角):

$$\cos\alpha = \frac{ap + bq + cr}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{p^2 + q^2 + r^2}}$$

位错塞积: $\tau = \frac{nGb}{k\pi l}$, 螺形: $k = 1$, 刃型: $k = 1 - \nu$

霍尔—佩奇: $\sigma_s = \sigma_0 + kd^{-1/2}$ 奥罗万机制: $\tau = \frac{Gb}{2R}$

固态相变: $\Delta G = -E_s + \gamma \frac{dA}{dV}$, $\Delta G \leq 0$, $E_s \geq \frac{2\gamma}{\gamma}$

再结晶体积分数: $\phi_R = 1 - e^{-Bt^k}$, $\frac{1}{t} \propto v = Ae^{-\frac{Q}{RT}}$

再结晶速率:

真题精讲:

1. 在 FCC 晶体中,刃形位错 b_1 和螺形位错 b_2 分别位于其滑移面上。已知刃形位错 $b_1 = [\bar{1}01]$, 螺形位错线 $b_2 = [0\bar{1}1]$, 在一个晶胞内画出并标记出这两个位错的滑移面和柏氏矢量。在此晶体的



$[\bar{1}00]$ 方向施加足够大的应力, 哪个位错首先运动? 为何? (河北工大 10)

$$\tau = \sigma \cos \phi \cos \lambda$$

$$\phi = \lambda = 45^\circ, \tau_{\max} = \frac{1}{2}\sigma$$

λ —滑移面, ϕ —滑移方向

2. 已知单晶铝的 $\{111\} \langle 101 \rangle$ 滑移系的临界分切应力为 0.

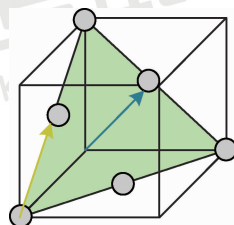
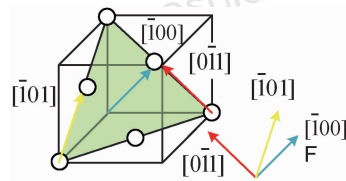
24MPa, 问: (1) 要使 $[\bar{1}11]$ 面上产生 $[101]$ 方向的滑移, 则在 $[001]$ 方向上应施加多大的应力? (深大 11)

矢量 $[abc]/[pqr]$ 夹角 (晶面夹角)

$$\cos \alpha = \frac{ap + bq + cr}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{p^2 + q^2 + r^2}}$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{1}} = \frac{1}{\sqrt{3}}, \cos \lambda = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{6}}\sigma, \sigma = 0.24 \times \sqrt{6} = 0.59 \text{ mpa}$$



3. 面心立方晶体中 (111) 晶面上的 $\frac{1}{2}[\bar{1}10]$ 螺型位错如果滑移过程中受阻时, 将通过交滑移转移到哪一个 $\{111\}$ 晶面上继续滑移? 为什么? (沈工大 09)

滑移带: $hu + kv + lw = 0$

晶带轴: $[1\bar{1}0]$

密排面: $\{1\bar{1}1\}$

只有: $(1\bar{1}1)$

4. 一般地, 纯金属多晶体的强度均高于同类纯金属单晶体, 而且多晶体的晶粒越细, 其强度越高, 试用所学理论加以分析。 (沈工大 09)

为了使多晶体中各晶粒之间的变形得到相互协调与配合, 晶粒须在 5 个滑移系 (包括取向并非有利) 上进行。

晶界上原子排列不规则, 点阵畸变严重, 晶界两侧的晶粒取向不同, 位错运动不能穿越晶界, 在室温下晶界对滑移具有阻碍效应 (晶界强化)。

$$\sigma_s = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

σ_0 —晶内对变形的阻力, 相当于单晶的屈服强度;

K —反映晶界对变形的影响系数;

d —晶粒 (直径) 尺寸, 或层片 (相) 间距;

5. 试用所学基础理论说明可以有效地提高不同材料强度的主要方法以及每种方法所对应的强化机制。

6. 合金化是提高材料强度的一种有效途径, 试运用所学理论分析合金化可以提高材料强度的原因。 (沈工大 11)

固溶强化 (点阵畸变应力场—阻碍位错滑移—合金强化)



细晶(晶界)强化(在室温下晶界对滑移具有阻碍效应)

弥散(沉淀)(相)强化((不可变形相)钉扎位错(可变形相)割阶强化、自由能、内能增加、界面应力场)

形变强化(加工硬化)(割阶钉扎,位错缠结,亚晶)

7. 试述经过冷加工变形的材料在后续退火加热期间发生回复和再结晶的机制。(沈工大 08)

回复是指冷变形后金属在加热温度较低时,原子活动能力不大,金属中的一些点缺陷和位错的迁移,使晶格畸变逐渐减小,内应力逐渐降低的过程。

金属的晶粒大小和形状尚无明显的变化,因而其强度、硬度和塑性等机械性能变化不大,内应力及电阻率等理化性能显著降低。

低温回复—点缺陷的迁移。中温回复:同滑移面的位错分布,高温回复:位错重排—亚晶结构。

再结晶是一种形核和长大过程,即通过在变形组织的基体上产生新的无畸变再结晶晶核,并通过逐渐长大形成等轴晶粒,从而取代全部变形组织的过程。

1. 再结晶温度下,原子活动能力增大,扩散充分。

2. 晶粒外形变化,而晶格类型不变,属于固态相变。

3. 再结晶的驱动力是变形金属经回复后未被释放的储存能(相当于变形总储能的 90%)。

4. 通过再结晶退火可以消除冷加工的影响。

8. 简要说明变形量、退火温度和原始晶粒尺寸对结晶后晶粒大小的影响(河北工大 10)

$$\Delta G = -E_s + \gamma \frac{dA}{dV}$$

a. 变形度大,储存能高,形核率高,晶粒细小(临界变形度 2~10%)。

b. 退火温度:主要改变再结晶速度。

c. 原始晶粒尺寸:晶粒越小,储存能高,晶粒细化。

d. 合金元素和杂质:阻碍晶界移动,增加储存能,有利于晶粒细化。

9. 采用细化晶粒的方法可以强化纯铜,同时提高其韧性,请说明理由。(河北工大 10)

晶界阻碍位错运动,因而晶粒越细小,晶界越多,多晶体的强度就越高(霍尔—佩奇效应)。

因为晶粒越细,单位体积内晶粒越多,形变较均匀,抑制局部应力集中和裂纹的过早产生与发展。

细化的晶粒在提高多晶体强度的同时,也使其塑性与韧性得以提高。

12. 晶体的滑移通常沿着最密晶面和最密晶向发生,为什么?(沈工大 08)

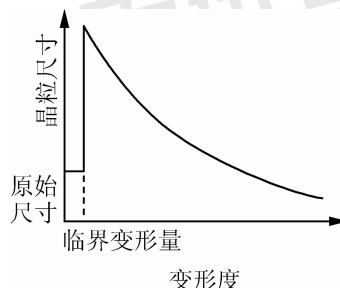
$$\tau = \frac{2G}{1-\nu} e^{-\frac{2\pi d}{(1-\nu)b}} = \frac{2G}{1-\nu} e^{-\frac{2\pi W}{b}}$$

d——滑移面间距

ν ——泊松比

W——位错宽度

W 大,屈服应力小,塑性好, fcc > bcc, 金属 > 共价、离子晶体
密排方向, b 小, 密排面 d(W) 大, 位错易滑移,





沿密排面、密排方向滑移。

13. 具有面心立方结构的晶体比具有体心立方和密排六方结构的晶体易发生滑移,为什么?(沈工大 10)

BCC(12(48)个滑移系):

$(110)_6$ 、 $(112)_6$ 、 $(123)_{12}$, 密排方向 $\langle 111 \rangle_2$,

FCC(12 个滑移系):

$(111)_4$, 密排方向 $\langle 110 \rangle_3$,

HCP(3 个滑移系):

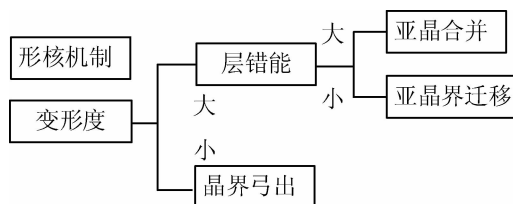
$(0001)_1$, 密排方向 $\langle 110 \rangle_3$

多晶体滑移需要协调变形, ≥ 5 个独立滑移系

14. 经过冷加工变形的材料重新加热时将会发生再结晶,请简要指出相应的再结晶形核机制。

$$\Delta G = -E_s + \gamma \frac{dA}{dV}$$

$$\Delta G \leq 0, E_s \geq \frac{2\gamma}{r}$$



位错解离、多边化→亚晶合并形核、产生大角度晶界 →晶界迁移→亚晶核生长。

位错密度高的亚晶生长快→形成大角度晶界→晶界迁移→亚晶核生长

15. 某合金的再结晶激活能为 250KJ/mol,该合金在 400℃ 完成再结晶需要 1 小时,请问在 390℃ 下完成再结晶需要多长时间。(气体常数 $R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$) (西工大 10)

$$\frac{1}{t} \sim v = A e^{-\frac{Q}{RT}}$$

$$\frac{t_{390}}{t_{400}} = \frac{e^{-\frac{Q}{R(400+273)}}}{e^{-\frac{Q}{R(390+273)}}} = e^{\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{663} - \frac{1}{673} \right)} = 1.96$$



第六章 单组元相图及纯晶体的凝固

内容、复习思路

凝固与结晶:固相析出,结晶析出

相律: $f = C - P + 1 (2)$

均匀与非均匀形核:结构起伏、能量起伏、临界尺寸

临界(形核)过冷度:形核驱动力(体积自由能)

动态过冷度:核心长大驱动力

临界晶核半径:自由能变化的极大值

熔化熵:固液生长界面, ≤ 2 ,粗糙界面, ≥ 2 光滑界面

正、负温度梯度对结晶形态:(正)等温面为固液界面

晶粒尺寸的控制方法:(负)粗糙界面出现枝晶状生长液固相变(核心数目)固相相变(再结晶)

真题精讲:

什么叫临界晶核,并简要说明其尺寸和数量与过冷度的关系(沈工大 11)

通过液态原子的结构起伏、能量起伏形成达到临界晶核 尺寸以上的原子聚集,其后进一步长大是自由能降低的自发过程,从而能够稳定存在一临界晶核

$$\Delta G_v = \frac{L_m \Delta T}{T_m} \quad N \propto N_0 e^{\frac{\Delta G^+ - \Delta E^+}{kT}}$$

$$r^* = \frac{2\gamma}{\Delta G_v} = \frac{2\gamma T_m}{L_m \Delta T} \quad V \propto \Delta T$$

$$\Delta G^+ = \frac{16\pi\gamma^3}{3\Delta G_v^2} \quad Z_v \propto \left(\frac{N}{V}\right)^{3/4} \quad Z_r \propto \left(\frac{N}{V}\right)^{3/4}, Z, \propto \sqrt{\frac{N}{V}}$$

指出在材料凝固过程中可以细化晶粒的主要途径,并说明每种途径可以导致晶粒细化的原因。

(沈工大 07,10)

分析形核率和长大速度对晶粒大小的影响以及细化晶粒的方法(太科大 07)

液固相变(增加晶核数目)

• 大过冷度

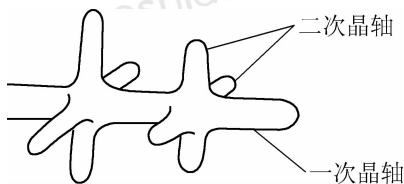
$$N \propto e^{-\frac{\Delta G^+}{kT}} e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

• 形核剂(非均匀形核)

$$\Delta G^+ = \frac{16\pi T_m^2 \sigma^3}{3L_m^2 \Delta T^2} \frac{1}{\Delta T^2}$$



· 振动促进形核



纯金属均匀形核时系统自由能变化 $\Delta G = -V\Delta G_v + \sigma S$, 设结晶时过冷液体中形成半径为 V 的球状晶胚, 求临界形核半径和临界形核功。(太科大 07)

$$\Delta G_v = \frac{L_m \Delta T}{T_m}$$

$$r^* = \frac{2\gamma}{\Delta G_v}, A^* = \frac{16\pi\gamma^2}{\Delta G_v^2}$$

$$\Delta G = \Delta G_v + \gamma \Delta S$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\gamma^3}{3\Delta G_v^2} = \frac{1}{3} A^* \gamma$$

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma$$

$$\frac{d(\Delta G)}{dr} = 0$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi T_m^2 \gamma^3}{3L_m^2 \Delta T^2}$$

试述结晶相变的热力学条件、动力学条件、能量及结构条件(深大 11)

过冷: 液相温度低于其液相线(熔点)的现象和程度

$$\therefore \Delta G_v = \frac{T_m - T_0}{T_m} L_m = \frac{\Delta T}{T_m} L_m \propto e^{-\frac{A^*}{kT}}$$

扩散: 原子扩散几率

液态结构的最重要特征是原子排列为长程无序, 短程瞬间有序, 尺寸不稳定的结构—结构起伏

液态原子能量服从 Maxwell 分布, 有偏离其平均能量的瞬时涨落—能量起伏。

请指出纯组元的凝固过程与固溶体的凝固过程之间存在的主要差异。(深大 12)

纯组元: 能量起伏, 结构起伏

固溶体: 能量起伏, 结构起伏、浓度起伏(溶质扩散与再分配)

请比较纯组元凝固时均匀形核与非均匀形核的主要区别。(沈工大 08)

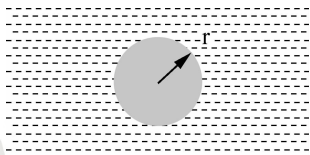
$$\Delta G_v = \frac{T_m - T_0}{T_m} L_m = \frac{\Delta T}{T_m} L_m$$

$$r^* = \frac{2\gamma}{\Delta G_v}, A^* = \frac{16\pi\gamma^2}{\Delta G_v^2}$$

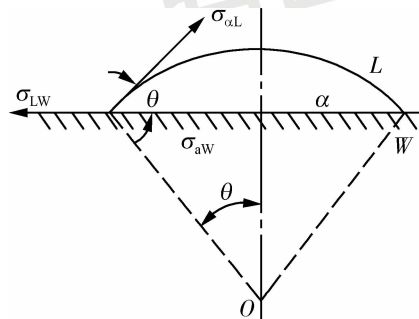
$$r^* = \frac{2\gamma}{\Delta G_v},$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\gamma^3}{3\Delta G_v^2} = \frac{1}{3} A^* \gamma$$

$$\Delta G^* = f(\theta) \frac{16\pi\gamma^3}{3\Delta G_v^2} = \frac{f(\theta)}{3} A^* \gamma$$



$$f(\theta) = \frac{2 - 3\cos\theta - \cos^3\theta}{4} = 0 \sim 1$$





凝固时不能有效降低晶粒尺寸的是那种方法?(深大 12)

- A 加入形核剂,
- B 减小液相的过冷度,
- C 对液相进行搅拌



第七章 二元系相图及合金的凝固

内容、复习思路 1

1. 公切线原理、杠杆定律
2. 成分过冷
3. 平衡分配系数、有效分配系数
4. 匀晶、共晶、包晶相图 (Fe - C 相图)
5. 热力学平衡条件下, 相与组织组成物的相对含量计算
6. 根据相图判断冷却曲线、凝固过程及其组织特点
7. 成分过冷对合金结晶形态的影响,
8. 正常凝固成分分布曲线

内容、复习思路 2

成分过冷判据:

$$\frac{G}{R} < \frac{mC_0(1-k_0)}{k_0}$$

平衡分配系数

$$k_0 = \frac{C_s}{C_L}$$

有效分配系数

$$K_s = \frac{k_0}{k_0 + (1 - k_0)e^{-R\delta/d}}$$

正常凝固溶质分布:

$$C_L = C_0 \left(\frac{L-Z}{L} \right)^{k_0-1}$$

$$C_s = K_0 C_0 \left(\frac{L-Z}{L} \right)^{k_0-1}$$

真题精讲:

1. Mg - Ni 系的一个共晶反应 (570℃) 为: L(20wt% Ni) ? α (Mg) + Mg₂Ni(60wt% Ni), 设 C₁ 为亚共晶合金, C₂ 为过共晶合金, C₁ 合金的 α 总量是 C₂ 合金中的 2.5 倍, 请计算 C₁、C₂ 的成分范围。(沈工大 11)



$$P_{\alpha_{c_1}} = \frac{BC_1}{AB}$$

$$P_{\alpha_{c_2}} = \frac{BC_2}{AB}$$

$$\frac{P_{\alpha_{c_1}}}{P_{\alpha_{c_2}}} = \frac{BC_1}{BC_2} = 2.5$$

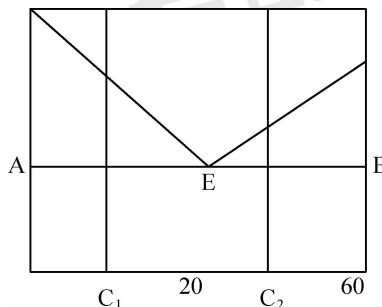
$$\frac{60 - C_1}{60 - C_2} = 2.5$$

$$5C_2 = 180 + 2C_1$$

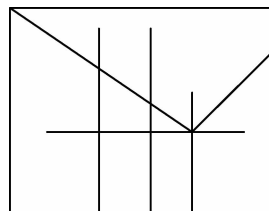
$$\therefore 0 < C_1 < 20\%$$

$$\therefore 36\% < C_2 < 44\%$$

$$C_1 = (5C_2 - 180)/2$$



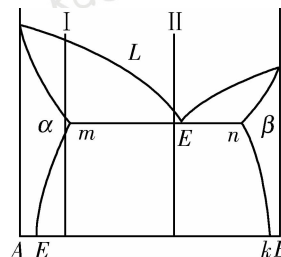
2. 根据下列已知条件画出一个 AB 二元系相图。已知组元 A 和 B 的熔点分别为 900℃ 和 700℃, 含 B 量为 30% 的合金在 500℃ 完全凝固后的平衡组织由 80% 的先共晶(或初晶)α 相和 20% 的共晶体组成, 而含 B 量为 55% 的合金在 500℃ 完全凝固后的平衡组织由 50% 的 α 相和 50% 的 β 相两相组成; 且含 B 量为 70% 的合金在 500℃ 平衡凝固后可得到 100% 的 α + β 共晶体。(沈工大 10)



$$\frac{70 - 30}{70 - x} = 80\%$$

$$x = 20$$

3. 根据如图所示的 A - B 二元相图, 回答下列问题: (沈工大 08)

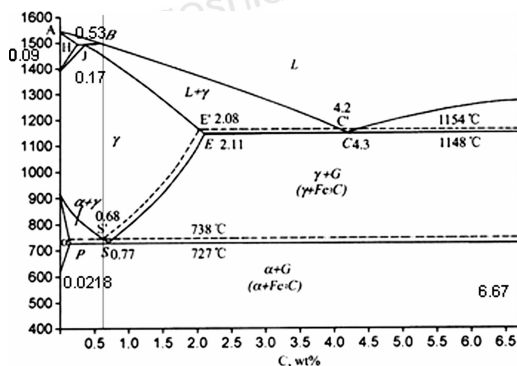


1) 按组织组成物填注该相图中的各个空白相区。

2) 在平衡凝固和非平衡凝固条件下, 合金 I 的室温组织中均可出现 β 相, 请分别指出平衡凝固和非平衡条件下 β 相的形成途径。

3) 指出在平衡凝固和非平衡条件下, 合金 II 的室温组织有何不同

4. 画出以组织组成物标示的 Fe - Fe₃C 相图, 用结晶过程示意图分析 60 钢的平衡结晶过程; 用杠杆定律计算室温下 60 钢的相组成物的相对量和组织组成物的相对量; 写出其上的三相平衡反应式和反应关系, 若为非平衡结晶分析其组织特点。(太科大 09)

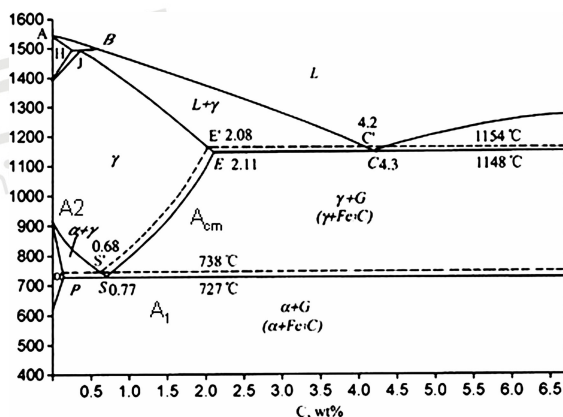




5. 指出二元系中所发生的包晶转变与合晶转变的主要区别。(沈工大 09)

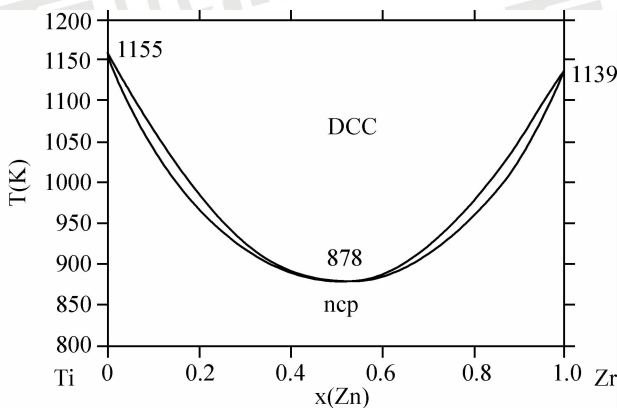
包晶转变	$L + \beta \rightleftharpoons \alpha$	
包析转变	$\gamma + \beta \rightleftharpoons \alpha$	
合晶转变	$L_1 + L_2 \rightleftharpoons \alpha$	

6. 依据 Fe - Fe₃C 相图, 写出 Fe - C 二元合金中可能发生的所有三相恒温转变的类型及相应的反应式。(沈工大 07)

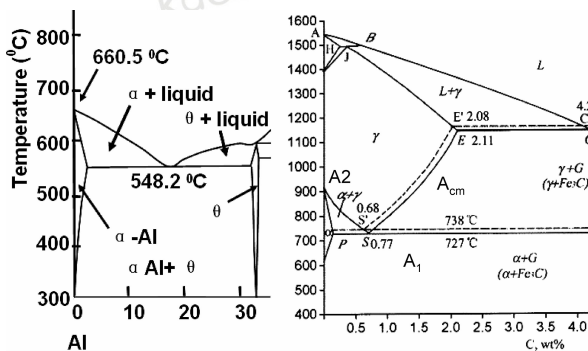


转变类型	反应式	图形特征
共晶转变	$L \rightleftharpoons \alpha + \beta$	
共析转变	$\gamma \rightleftharpoons \alpha + \beta$	
偏晶转变	$L_1 \rightleftharpoons L_2 + \alpha$	
熔晶转变	$\delta \rightleftharpoons L + \gamma$	
包晶转变	$L + \beta \rightleftharpoons \alpha$	
包析转变	$\gamma + \beta \rightleftharpoons \alpha$	
合晶转变	$L_1 + L_2 \rightleftharpoons \alpha$	

7. 示意画出下面的 Ti - Zr 体系中 bcc 和 hcp 相在 1155、1139、1000 和 878K 时的 Gibbs 自由焓 - 成分曲线。(北科大 12)

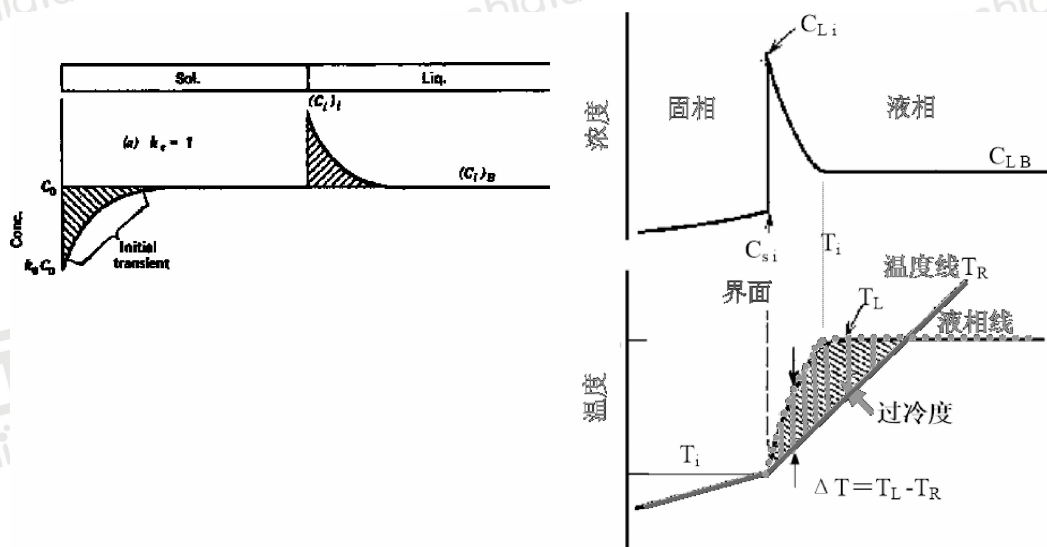


8. 请分析对工业纯铝、Fe - 0.2% C 合金、Al - 5% Cu 合金可以采用的强化机制, 并阐述机理。(西工大 10)





9. 为什么在正温度梯度下固溶体合金凝固后得到树枝状晶,而纯金属得不到?(河北工大 11)





第八章 三元相图

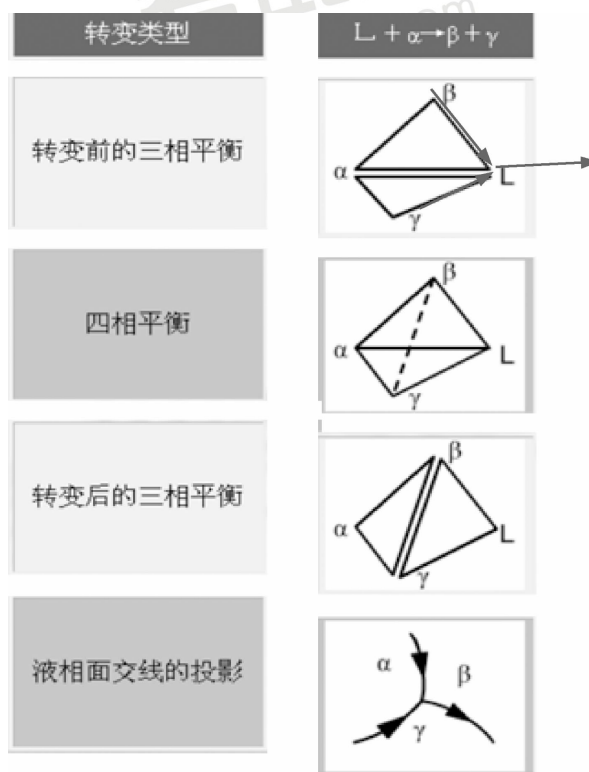
内容、复习思路

1. 连接线、杠杆定律、重心定律
2. 根据匀晶、共晶相图判断冷却曲线、凝固过程及其相组成和组织组成。
3. 热力学平衡条件下,典型相与组织组成物的相对含量计算。
4. 匀晶、共晶相图的等温截面、等比截面。

真题精讲:

在具有包共晶转变的三元相图中, $\gamma + \beta$ 相区与四相平衡平面是_____接触。A 线 B 面 c 点 D 体(河北工大 12)

相律:相邻相数差为 1,面接触,否则,线接触。



平衡条件下, $L + \alpha + \beta \rightarrow \gamma$ 称为_____转变,该四相平衡区在空间上是一个平面三角形, γ 相成分点位于该平面三角形的_____。(河北工大 11)

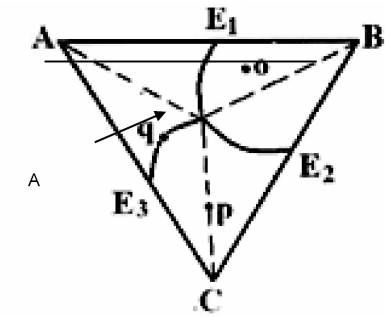
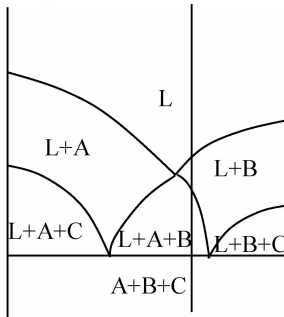
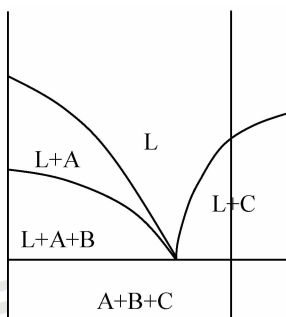


转变类型	$L + \alpha + \beta \rightarrow \gamma$
转变前的三相平衡	
四相平衡	
转变后的三相平衡	
液相面交线的投影	

在常压下,三元合金最多只能存在四个平衡相,在降温过程中可能发生三类四相平衡转变。写出对应的反应式并标注其转变类型。画出相图中对应的四相平衡面的形状并标注反应式中各相的位置。(深大 11)

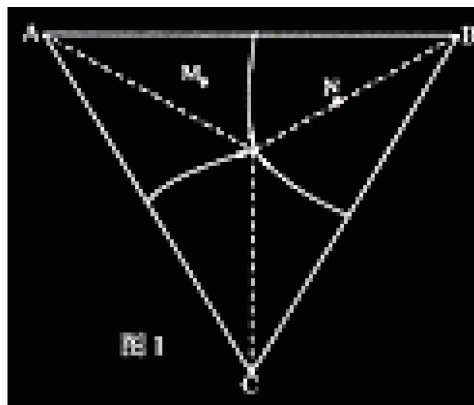
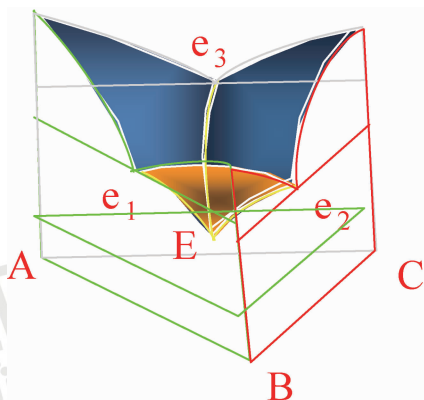
转变类型	$L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$	$L + \alpha \rightarrow \beta + \gamma$	$L + \alpha + \beta \rightarrow \gamma$
转变前的三相平衡			
四相平衡			
转变后的三相平衡			
液相面交线的投影			

图 1 为固态互不相溶的三元相图:1. 分析 P、o 合金的平衡结晶过程及室温组织。2. 写出 q 合金

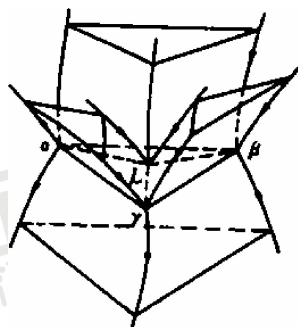




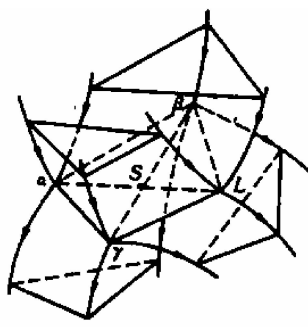
中各组织相对含量的表达式。(太科大 07, 河北工大 11) 图 1 为固态互不相溶的三元相图: 1. 分析 M、N 合金的平衡结晶过程及室温组织。2. 写出 M 合金中各组织相对含量的表达式。(河北工大 11)



一个三元相图的液相面投影如图所示: 1 写出在 E1, E2 点发生反应的反应式; 2 用图形示意表示这两个反应面之上和之下的相区接触关系。(河北工大 10)



(a) $L \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$



(b) $L + \alpha \rightarrow \beta + \gamma$

