

2016 年研究生入学考试专业课资料

Graduate Entrance Examination

北京科技大学

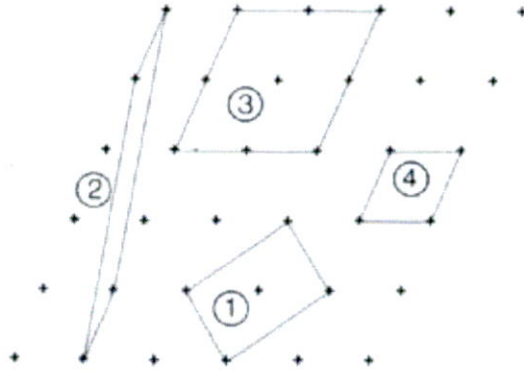
材料科学基础题库

GEE 考试专业课内部复习材料

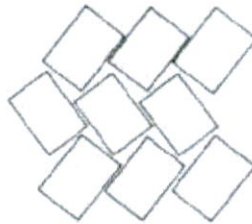
学府考研高端辅导专业定制

第1章 晶体学

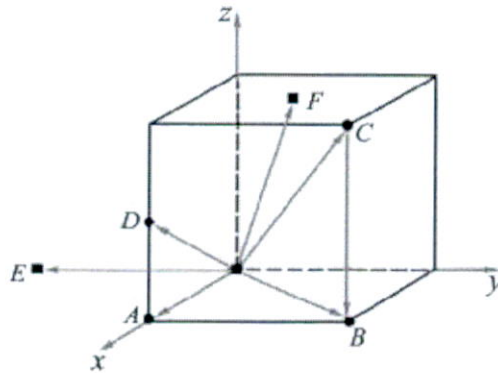
- 1) 怎样由晶体结构抽象出空间点阵?
- 2) 下面给出二维点阵中的几个单胞, 计算各单胞包含的点数, 指出哪些胞是初基单胞。



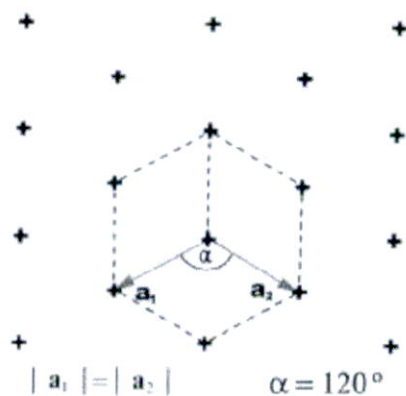
- 3) 下图是无限大二维图案的一部分, 请抽象出点阵; 画出其结构基元; 说出它属于哪一种布拉菲点阵; 用对称元素符号标出对称元素所在的位置。



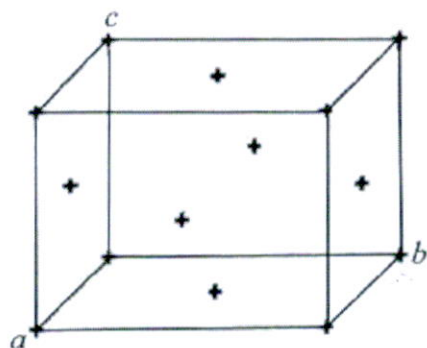
- 4) 画出一个 fcc 的底心单胞, 它属于一种立方系的布拉菲点阵吗? 为什么?
- 5) 确定下图给出的方向的密勒方向指数



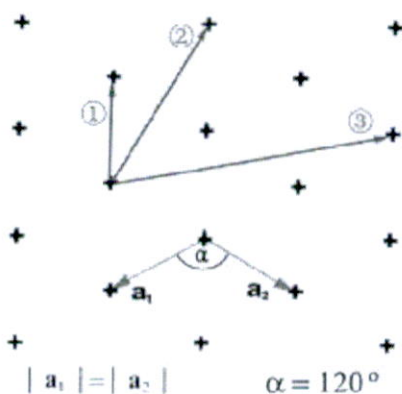
- 6) 设下面的二维点阵是无限大的, 用对称元素符号标出对称元素所在的位置。



- 7) 下面给出的单胞，三个轴长不等： $a \neq b \neq c$ ；三个轴相互垂直。它属于什么布拉菲点阵？在其中画出 P 单胞，这个 P 单胞属于什么布拉菲点阵？为什么不把这种点阵归属 P 单胞所属的布拉菲点阵？

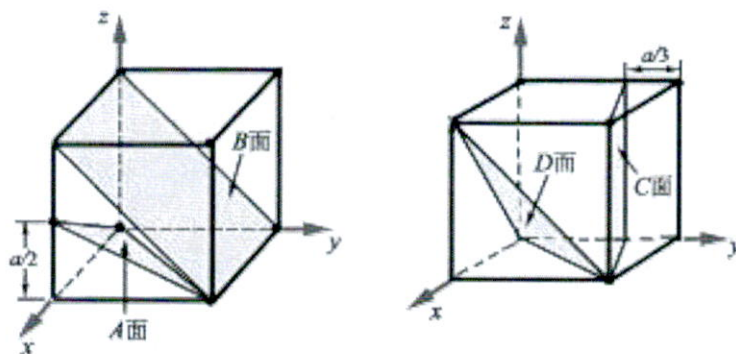


- 8) 标出下图中的①、②和③方向的方向指数（用三轴坐标及四轴坐标标出）。



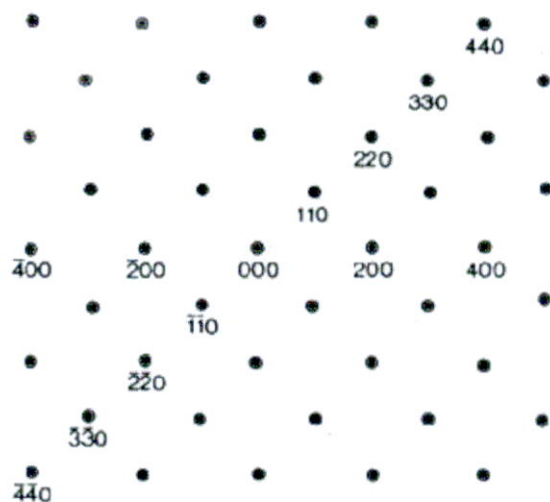
- 9) 正点阵与倒易点阵的点阵常数（带*号表示）之间的关系是什么。正点阵与倒易点阵所属晶系相同还是不同？正点阵与倒易点阵所属布拉菲点阵相同还是不同？

10) 确定下图的面 (A、B、C 和 D 面) 的面指数。

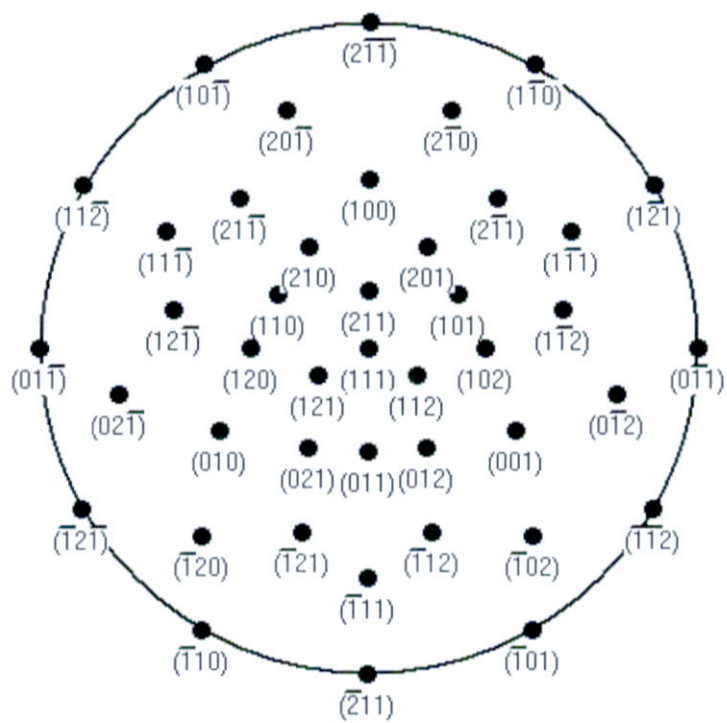


11) 倒易点阵的消光 (不出现的倒易点) 规律, 对于 fcc 点阵什么? 对于 bcc 点阵是什么?

12) 补上下列倒易点阵中没有标出指数的阵点的指数。这个倒易面对应正点阵的晶带轴指数是什么? 正点阵属于什么布拉菲点阵?



12) 下图是立方系的 (111) 标准极射赤面投影图。画出 $[010]$ 、 $[1\bar{1}1]$ 及 $[11\bar{2}]$ 晶带。用对称元素符号标出二次对称轴。三次对称轴及四次堆成轴的位置。



第3章 晶体结构

- 1) 单原子堆垛的晶体可能最大的体密度、最大的面密度和最大线密度是多少(以原子半径为单位表示)? 最紧密堆垛时的配位数是多少?
- 2) 原子半径是怎样定义的? 为什么它随配位数减小而减小?
- 3) 为什么单原子堆垛的晶体最密排的体密度不能为 1? 都可能存在的哪些间隙位置?
- 4) 把半径为 0.04 nm 和 0.07 nm 的杂质分别引入 Ca 晶体, 这两种情况下有多少杂质原子能放入这个结构中? (答案以钙原子倍数表示)
- 5) 什么是鲍林规则规则, 它对研究离子晶体结构有何意义? 举例说明。
- 6) 根据离子电荷和离子半径推测 CsCl、NiO 离子化合物的晶体结构。证明您的选择。
- 7) 计算白石英中 O-Si-O 的键角。说明你计算的依据。
- 8) 根据离子半径估计 FeO 的晶体结构。 $r_{\text{Fe}^{2+}} \approx 0.087\text{nm}$, $r_{\text{O}^{2-}} \approx 0.132\text{nm}$ 。
- 9) 计算 CsCl 的堆垛密度。 $r_{\text{Cs}^+} \approx 0.165\text{nm}$, $r_{\text{Cl}^-} \approx 0.181\text{nm}$ 。
- 10) 化物结构的一般特征是什么? 若氧离子按密排立方堆垛, 金属离子和氧离子的配位数都是 6, 金属离子处在什么位置? 如果金属离子和氧离子的配位数都是 4, 则金属离子处在什么位置? 为什么?
- 11) 硅酸盐结构的特点是什么? 为什么硅酸盐结构的键性不是纯离子键? 为什么硅酸盐结构是比较开放的?
- 12) 氢原子溶解在铁中形成什么类型固溶体? 它应存在于点阵的什么位置? 为什么?
- 13) 碳溶入 fcc 铁(在钢中称为奥氏体)和 bcc 铁(在钢中称为铁素体), 你估计碳在这两种结构中存在什么位置? 并预期在哪一种结构中溶解度较大?
- 14) 说明影响金属键固溶体固溶度的因素。对于离子键晶体也适用吗?
- 15) 什么是同素异构性和多形性?
- 16) 什么是准晶? 准晶结构的特点是什么?

第4章 非晶态与半晶态

- 1) 晶态与非晶态在结构上的差异特点是什么?
- 2) 玻璃态转化温度的定义是什么? 这个临界温度与晶体的结合键赠读有何关系? 试推测金属 Cu, SiO₂, 聚氯乙烯何者玻璃化温度最高、何者最低?
- 3) 用什么参数描述非晶态结构? 示意画出在晶态具有 bcc 结构的材料处于气态、晶态和液态的径向分布函数图。
- 4) 形成氧化物玻璃的查卡里阿森规则是什么?
- 5) 什么是玻璃的网络形成体和网络修饰体? 纯的 SiO₂ 玻璃与加入 CaO 的 SiO₂ 玻璃, 哪种玻璃的玻璃化温度高? 为什么?
- 6) 示意画出聚聚三氟氯乙烯、聚乙烯醇的单体结构。并计算其单体分子量。
- 7) 热固性 (TS) 聚合物与热塑性 (TP) 聚合物的相对分子的表述有何不同? 一个 TS 聚合物工件重 150g, 其相对分子量为多大? 同样, 一个 TP 聚合物工件重 150g, 能否知道其相对分子质量? 为什么?
- 8) 什么数均相对分子量和重均相对分子质量? 二者何者大? 什么是聚合度分散度?
- 9) 聚丙烯的数均分子量是 1 000 000 g/mol。计算数均聚合度。
- 10) 什么是聚合物的构型? 重要的异构体类型有哪些?
- 11) 比较下面两对聚合物, 每对中哪一个是更好的玻璃形成体? 为什么?
 - a. 全同立构[C₂H₃(CH₃)], b. 间同立构[C₂H₃F];
 - a. 无规立构[C₂H₃(CH₃)], b. 全同立构[C₂H₃Cl]。
- 12) 什么是聚合物的构象? 怎样利用无规行走模型来描述无规线团构象大分子柔性链两个端点之间的距离?
- 13) 聚(苯乙烯-丁二烯)交替聚合物, 其均相对分子量为 1 350 000 g/mol。确定每各分子中苯乙烯和丁二烯的平均数目。
- 14) 含 60% (重量) 乙烯和 40% (重量) 丙烯的交联共聚物具有类似天然橡胶的弹性性质, 确定这种聚合物中两种单体的分数。
- 15) 解释为什么聚合物的晶化倾向随分子量增加而降低。
- 16) 聚丙烯在室温晶态结构属于单斜晶体, 点阵常数是 $a=0.666\text{ nm}$, $b=2.078\text{ nm}$, $c=0.650\text{ nm}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=99.62^\circ$, $\gamma=90^\circ$, 密度是 0.946 g/cm^3 。确定每晶胞中单体的数目。
- 17) 尼龙 6,6 材料的密度与结晶度的关系如下表所列:

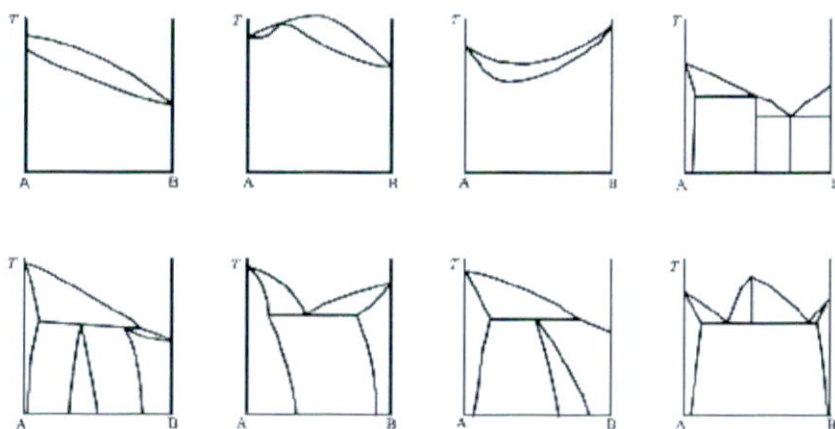
| 密度 ρ (g/cm^3) | 结晶度 (%) |
|-------------------------------|---------|
| 1.188 | 67.3 |
| 1.152 | 43.7 |

- a. 计算尼龙 6,6 全部为晶态以及全部为非晶态时的密度。
- b. 计算结晶度为 55.4% 时的密度。
- 18) 构成液晶态的结构单元购有哪几种? 特点是什么?
- 19) 按液晶结构的堆成性和有序性, 液晶可以分成几类? 在结构上各有什么特点?
- 20) 热致液晶和溶致液晶各是如何形成的? 为什么这两种方法都可以形成液晶?
- 21) 以“是”或“否”填充下列表格中的空档。

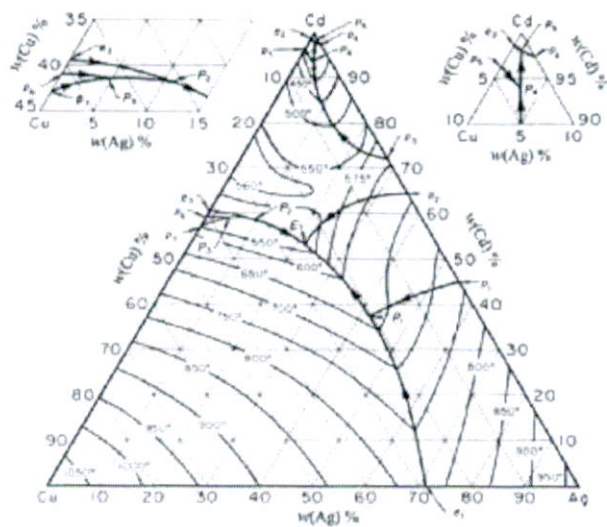
| | 位置 LRO | 位置 SRO | 取向有序 |
|----|--------|--------|------|
| 晶体 | | | |
| 液晶 | | | |
| 玻璃 | | | |
| 液体 | | | |

第5章 相图

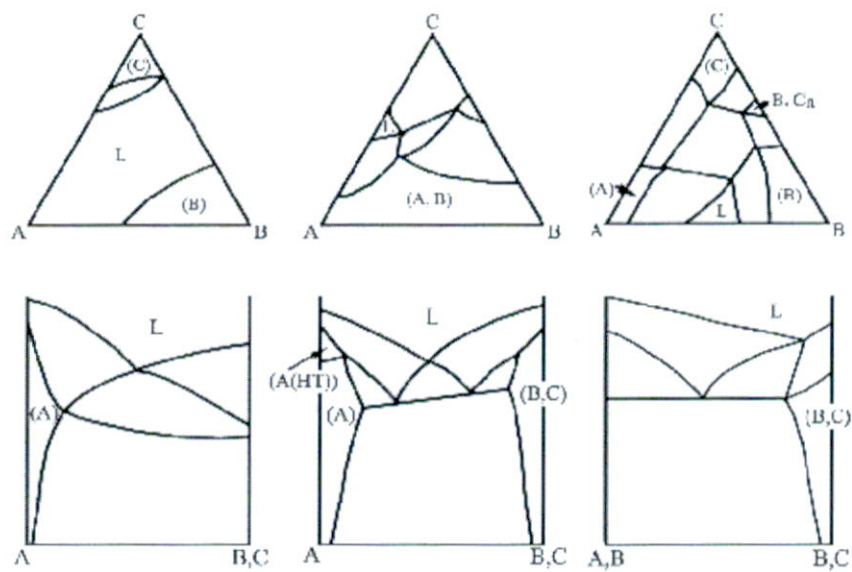
- 1) 什么是相图？为什么主要讨论恒压相图？
- 2) 什么是相率？二元系恒压相图相平衡最大的的相数目是多少？
- 3) 二元相图有哪些类型三相平衡？
- 4) 杠杆定律是根据什么原理导出的？是不是杠杆定律只能计算平衡相的相对量？为什么？
- 5) 指出下列二元相图中的错误。并说明错误的原因。



- 6) 三元系恒压相图相平衡最大的的相数目是多少？有哪些类型四相平衡？
- 7) 从下面的 Cu-Ag-Cd 三元相图的液相面投影图指出该相图发生的各个四相反应温度（估计）及反应式。



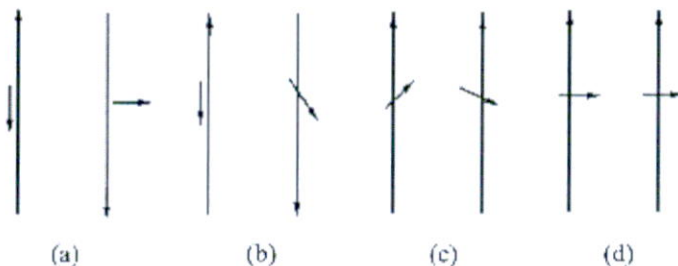
- 8) 下图是 Cu-Ni-Zn 的一个垂直界面的一部分，填上各相区所含的相；判别各三相反应的类型，写出其反应式。



- 11) 相平衡（包括亚稳平衡）的判据是什么？稳定相平衡的判据是什么？
- 12) 规则溶体模型与理想溶体模型有何异同？
- 13) 怎样利用各个温度下的自由能曲线作出相图？其原理是什么？
- 14) 对于规则溶体，二元系发生溶解度间隙的必要条件是什么？
- 15) 为什么出现稳定化合物的体系会出现液、固最高共熔点？

第6章 有序介质中的点缺陷和线缺陷

- 1) 说明空位（以及自间隙原子）出现平衡浓度的原因。为什么空位的平衡浓度比自间隙原子的平衡浓度大很多？
- 2) 在 Cu 中空位形成能约为 $83\ 600\ \text{J/mol}$ ，在接近熔点温度（ $1356\ \text{K}$ ）的空位浓度是室温（ $298\ \text{K}$ ）空位浓度的多少倍？在接近熔点温度时空位的平均距离是多大（以原子直径表示）？
- 3) 什么是弗兰克缺陷？什么是肖脱基缺陷？
- 4) 用 Kröger-Vink 符号写出 YF_3 加入萤石（ CaF_2 ）形成点缺陷的可能反应式。若实验知道产生间隙氟离子，示意画出部分 CaF_2 晶体结构（包含一个 YF_3 ）。在立方单胞内， Ca^{2+} 处在顶角及面心位置， F^- 处在 Ca^{2+} 的四面体中心。
- 5) 写出 CaF_2 形成弗兰克缺陷和形成肖脱基缺陷的反应式。从教材该处的资料查出生成各种缺陷的形成能，计算室温（ 25°C ）及 1500°C 各种缺陷的平衡浓度。若 CaF_2 晶体中含 0.5% 的 YF_3 杂质，问在这两个温度下热缺陷和杂质引起的缺陷（非禀性缺陷）何者占优势？
- 6) 描述向错和位错的 Volterra 模型。二者的主要区别是什么？
- 7) 位错的柏氏矢量守恒包含什么概念？
- 8) 一个位错环能否为纯刃位错？能否为纯螺位错？
- 9) Ni 的柏氏矢量长度为 $0.250\ \text{nm}$ ，若 Ni 的点阵常数为 $0.3536\ \text{nm}$ ，已知 Ni 的晶体结构属于立方系，确定其布拉菲点阵。
- 10) 位错能量是怎样定义的？位错能量与弹性模量及布氏矢量有何关系？
- 10) 为什么位错与应力场会有交互作用？它以什么形式表现出来？写出应力场是位错受力的表达式。
- 11) 平行的刃型位错和螺型位错，它们的应力场有没有交互作用？混型直位错可以把它看作是刃型位错分量和螺型位错分量叠加的根据是什么？
- 12) 一根弯曲位错的应力场对位错自身有没有交互作用？表现为什么？
- 13) 靠近自由表面的位错受到映像力的原因是什么？你想象靠近母体与以弹性模量比母体高的相界面的位错会不会受力，为什么？受力的方向是什么？
- 14) 为什么过饱和空位会使刃位错受力？这个力的大小和方向是什么？过饱和空位会使螺位错受力吗？
- 15) 如下的位错对（每个位错的柏氏矢量大小相同），它们之间有没有交互作用？如果有，交互作用力的方向是什么？哪一对位错的交互作用力最大？哪一对位错的交互作用力最小？为什么？



- 16) 位错运动与晶体宏观变形有什么关系？晶体应变速率与位错密度有何关系？
- 17) 说明在位错附近产生科垂尔气团及史诺克气团的原因？为什么这些气团对位错运动产生

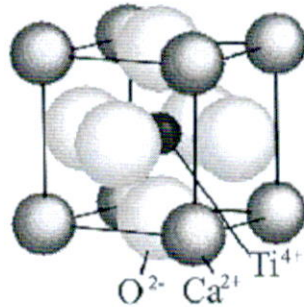
阻力？这些阻力大小与位错运动速度有何关系？

18 位错交割产生弯结或是割阶的判据是什么？位错交割对位错运动有何影响？

19 控制位错攀移速度的过程是什么？为什么位错攀移一般是高温行为？

20 什么是位错运动的晶格阻力（P-N 力）？为什么柏氏矢量方向通常是密排方向？而滑移面通常是密排面？

21 CaTiO_3 晶体结构，确定这一化合物最低能量柏氏矢量方向和大小。



22 为什么很难获得没有位错的晶体？有哪些途径使晶体产生位错？有哪些可以使位错增殖的源？

23 位错塞积群在平衡时各位错（包括领头位错）受力多大？写出受力的式子。位错塞积对材料的机械性能有何影响？

24 fcc 结构晶体中的可能稳定存在的堆垛层错（也是一种面缺陷）矢量有哪些？各层错的边缘是什么样的位错？

25 什么是扩展位错？为什么有些 fcc 晶体中存在扩展位错？扩展位错的宽度与层错能有何关系？

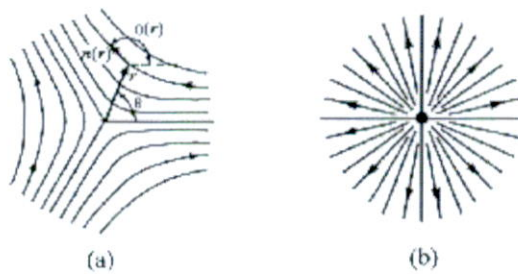
26 层错能大小对材料的形变行为、形变组织、回复过程都有什么影响？

27 为什么 bcc 结构晶体会不一定遵守临界分切应力定律？

28 离子晶体中位错有何特点？

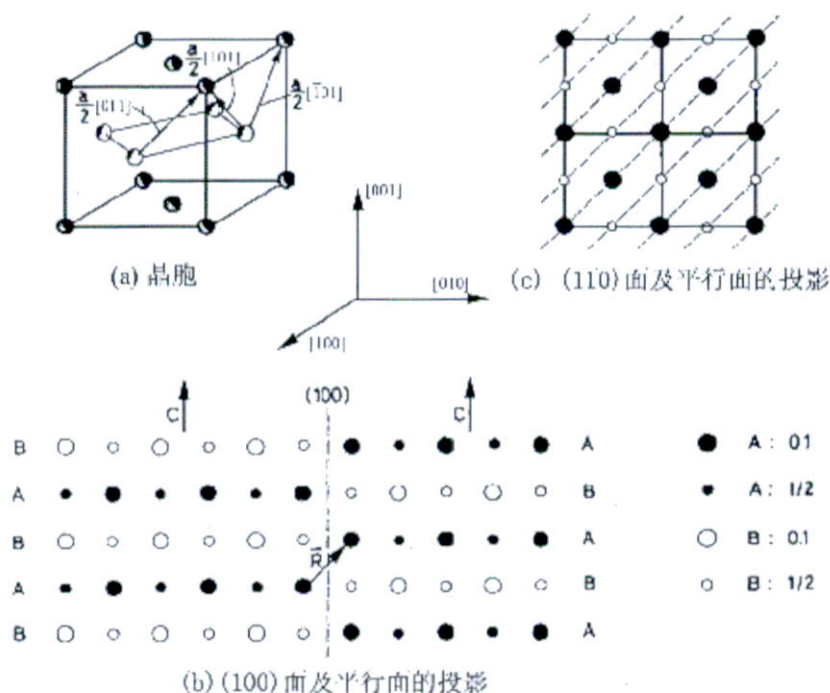
29 为什么晶体中难以存在向错？

30 在液晶中向错强度 s 是如何定义的？用弗兰克-纳巴罗回路定出下面两种液晶的指向矢场分布的向错强度 s 。



第7章 面缺陷和体缺陷

- 1) γ_s 极图是怎样作出来的？什么是 Wulff 定律？怎样根据 γ_s 极图得出平衡条件下晶体的外形？
- 2) 为什么悬浮在空气或油中的水滴倾向为球形？
- 3) 怎样估算材料不同晶面作为表面的表面能？晶体的表面是密排面的表面能比表面是非密排面的表面能高还是低？为什么？
- 4) 对于给定材料，你估计表面能和晶界能何者高？给出解释。
- 5) 什么是平移界面？都包括哪些类型界面？
- 6) 下图是 CuAu I 结构的晶胞、(110)面（包括其平行面的投影）、
 - a. 指出可能产生 APB 的平移矢量。
 - b. 若 APB 是(010)面，它们是保守的还是非保守的 APB？为什么？
 - c. 若 APB 是(110)面，它们是保守的还是非保守的 APB？为什么？



- 7) 描述晶界需要几个宏观自由度？它们都是什么？
- 8) 什么是倾转晶界？什么是扭转晶界？
- 9) 小角度晶界主要由一组或多组位错排列组成，位错间距与晶界两侧的取向差有何关系？为什么说小角度晶界是 $\epsilon=1$ 的邻位晶界？
- 10) Frank-Bilby 公式的意义是什么？它有什么不足之处。
- 11) 如何估算小角度晶界的界面能？它随取向差如何变化？是不是取向差相同，界面能就相同？
- 12) 什么是重合位置点阵？对于立方系点阵，怎样寻找重合位置点阵？重合位置点阵对讨论晶界结构有什么意义？
- 13) 两个穿插点阵获得同一个 ϵ 值的重合位置点阵，它们之间的变换矩阵 A 是否惟一的？举

例说明。

- 14 什么是 DSC 点阵？为什么邻位晶界引入的次位错的布氏矢量要是 DSC 点阵的平移矢量？
 - 15 什么是 O 点阵？它与重合位置点阵有何关系？O 点阵对讨论晶界（或相界）结构有什么意义？
 - 16 比较获得 O 点阵的 $X_i^{(0)} \odot (I \uparrow A^{\uparrow})^{\uparrow} I b_i^{(L)}$ 式子和 Frank-Billy 公式 $B^L \odot (A^{\uparrow} \uparrow I) P$ ，二者有何关系？说明它们描述晶界结构的异同。
 - 17 为什么会发生溶质在晶界的偏析，这种偏析的偏析大小取决于什么因素？能否用退火的办法消除？
 - 18 晶界迁移率受什么因素影响？
 - 19 什么是共格、半共格和非共格不同相界面？O 点阵理论能否用以讨论相界面结构？
 - 20 什么是两相的取向关系？为什么会出现取向关系？
 - 21 多晶体组织的平衡形貌由什么因素控制？两相之间的润湿角对两相材料的组织形貌有何影响？
-

第8章 固态中原子扩散

- 1) 扩散过程一定需要有浓度梯度存在吗? 扩散一定是原子从浓度高处向浓度低处流动吗?
- 2) 原始成分 $w(C)=0.2\%$ 的碳钢, 在 950°C 渗碳气氛中渗碳, 距表面 0.5mm 处碳浓度达到 $w(C)=0.8\%$ 需要保温多长时间? (在此温度碳的扩散系数为 $1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, 工件尺寸比 0.5mm 大得多, 工件可视为无限大)
- 3) 在 500°C 和 600°C 下 Cu 在 Al 中的扩散系数分别为 $4.8 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ 和 $5.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 。问在 600°C 扩散获得与 500°C 扩散 10 小时大约相同的效果, 应该保温多长时间?
- 4) Kirkendall 效应说明什么问题? 为什么 Kirkendall 效应能间接证明扩散机制是原子与空位换位机制?
- 5) 为什么发生上坡扩散? 在什么条件下会发生上坡扩散?
- 6) 扩散系数近似看作与浓度无关时, 扩散方程通常有哪几种解? 它们各自使用的条件是什么?
- 7) 说明间隙原子扩散与置换原子扩散的扩散激活能含义的区别。
- 8) 为什么刚从高温淬火到某一低温的金属的扩散系数要比原来放置在此温度的金属的扩散系数大很多?
- 9) 为什么多晶体的扩散系数比单晶体的扩散系数大? 它们之间的差异在低温大些还是在高温时大些? 为什么?
- 10) 离子晶体中扩散有哪些不同与金属晶体扩散的特点?
- 11) 不同电价的离子杂质对离子晶体扩散有什么影响? 为什么少量这样的杂质会使低温时的扩散系数大幅度增加?
- 12) 在玻璃中扩散机制是空位机制, 但其扩散激活能不像金属晶体扩散激活能那样包含空位形成能, 为什么?
- 13) 什么是渗透率? 它的大小与材料的结构有什么关系? 举出一些例子说明。
- 14) 在二元合金的渗层中为什么不会出现两相区? 如果已经存在两相区, 扩散时这个两相区会发生怎样的变化? 为什么?
- 15) 影响扩散系数的主要因素有哪些?

第九章 形变

1. 细铜棒两端固定, 从 100°C 冷却到 0°C , 问发生的内应力有多大? 铜的热膨胀系数 $=1.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 弹性模量 $E=1.103 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 。
2. 板材轧制时, 设弹性变形量从表面到中心是线性的。(a)压下量不大时, 表面仍处在弹性范围, 画出加载及卸载时从表面到中心的应力分布; (b)表面发生了塑性形变, 但中心仍处于弹性范围, 画出加载及卸载时从表面到中心的应力分布。
3. 体心立方晶体可能的滑移面是 $\{110\}$ 、 $\{112\}$ 及 $\{123\}$, 若滑移方向为 $[1\bar{1}1]$, 具体的滑移系是哪些?
4. 铜单晶表面平行于 (001) 面, 若晶体可以在各个滑移系滑移, 画出表面出现的滑移线的痕迹, 求出滑移线间的角度。若铜晶体表面平行于 (111) 面, 情况又如何?
5. 铝的临界分切应力为 $2.40 \times 10^5 \text{ Pa}$, 当拉伸轴为 $[001]$ 时, 引起屈服所需要的拉伸应力是多大?
6. 一个简单立方晶系的双晶, 它们滑移系为 $\{100\} \langle 100 \rangle$, 双晶体的取向及力轴取向如图 9-84 所示, 问哪一个晶体首先滑移? 在哪个滑移系滑移?

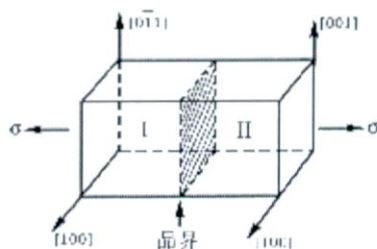


图 9-84

7. 面心立方晶体拉伸时, 力轴处在 $[001]$ 及 $[110]$ 组成的面上, 它的等效滑移系有几个? 是哪些?
8. 面心立方晶体拉伸时, 力轴为 $[1\bar{1}0]$, 写出滑移的等效的滑移系。
9. 面心立方晶体沿 $[131]$ 轴拉伸, 确定如下滑移系的分切应力: $(111)[0\bar{1}1]$ 、 $(111)[10\bar{1}]$ 、 $(111)[1\bar{1}0]$ 。拉伸应力为 $6.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。
10. Mg 可在 $\{10\bar{1}0\}$ 及基面间交滑移, 又可在 $\{10\bar{1}1\}$ 及基面间交滑移;
 - (a) 以一单胞表示出这两种交滑移的可能性。
 - (b) 在 $(10\bar{1}0)$ 及 $(10\bar{1}1)$ 间能否交滑移? 说明之。
11. 分析单晶体拉伸时所发生的转动方向, 说明原因。
12. 示意画出单晶的应力-应变 (τ - γ) 曲线, 并表出各阶段。铝 (层错能约为 200 mJ/m^2) 和不锈钢 (层错能约为 10 mJ/m^2) 哪一种材料形变第 III 阶段开始得更早? 这两种材料滑移特征有什么区别?
13. 一个圆柱形面心立方单晶, 晶体的原始取向是 $[517]$ 平行于圆柱中心轴线。(a) 在 (001) 标准极射赤面投影图上标出加载轴线的起始位置; (b) 开始滑移的滑移系是什么? (c) 确定第一次超射的加载轴线位置。(d) 在这一阶段形变中, 晶体转动角度有多大? (e) 计算在第一次超射时的切应变量。

- 14 面心立方金属孪生的 K_1 和 K_2 都是 $\{111\}$ ，在一个特定的 $\{111\}$ 面，例如 (111) 面有几种产生孪晶的方法，写出它们的 η_1 的方向指数。
- 15 计算 Be 和 Zr 孪生时的切应变量。Be 和 Zr 的孪生元素如下：
 Be: $c/a=1.5847$, $K_1=\{10\bar{1}2\}$, $K_2=\{\bar{1}012\}$
 Zr: $c/a=1.589$, $K_1=\{11\bar{2}2\}$, $K_2=\{11\bar{2}4\}$
 若 Be 和 Zr 晶体表面是基面，孪晶的宽度为 h ，求表面浮凸的高度是多少？
- 16 $c/a=1.800$ 的 hcp 金属，它最可能的滑移系是什么？如图 9-85 的三种取向及加载方式，确定哪一种方式会产生滑移，哪一种方式会产生孪生（只考虑 $\{10\bar{1}2\}$ 的孪生）。

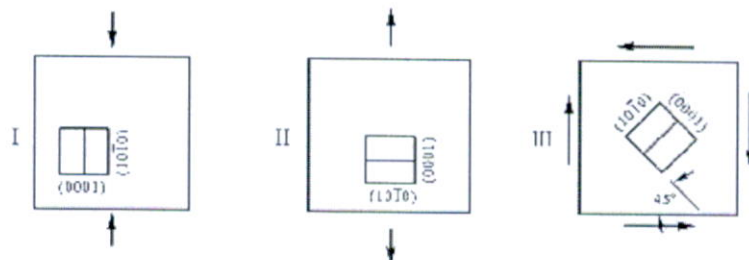


图 9-85

- 17 画出立方系 $(100)[001]$ 轧制组织的 (100) 极图的示意图。
- 18 画出铝的 $[100]$ 拔丝织构及铁的 $[110]$ 拔丝织构的反极图。
- 19 对低碳钢测得不同晶粒大小的下屈服点数据如下：
- | $d/\mu\text{m}$ | 250 | 111 | 37 | 18 | 10 | 6.9 | 5.4 | 3.0 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| σ_s/MPa | 103 | 131 | 193 | 207 | 275 | 303 | 341 | 428 |
- 问 d 和 σ_s 间是否符合 Hall-Petch 关系？用最小二乘法求出 Hall-Petch 关系中的常数。
- 20 讨论形变带、过渡带、扭折带、显微带 (MB)、切变带的基本含义及它们间可能的联系与差异。
- 21 使聚合物试样瞬时发生 0.4 的应变并保持试样处于该变形状态。初始应力为 5MPa，经过 50s 后应力衰减为 2MPa。试估算该聚合物在 $t=10\text{s}$ 时的应力。
- 22 解释聚合物在单向拉伸时细颈截面保持基本不变的现象。
- 23 解释聚合物中的银纹与裂纹的差异。
- 24 聚合物中的织构与晶体中的织构有何不同？

第十章 相变的基本原理

1. 由内耗法测出 Fe_3C 在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的平衡溶解度为

$$C \approx 0.736 \exp\left(-\frac{4850}{T}\right)$$

其中 $T(\text{K})$ 为温度。求在 627°C Fe_3C 的颗粒半径为 10nm 、 100nm 以及 1000nm 时它在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度。问颗粒的曲率半径多大才对溶解度有实质性的影响。 $\alpha/\text{Fe}_3\text{C}$ 的界面能为 0.71J/m^2 ， Fe_3C 的摩尔体积为 $23.4\text{cm}^3/\text{mol}$ 。

2. 纯金属同素异形转变 $\alpha \rightarrow \beta$ 在某一过冷度下两相体积吉布斯自由能差为 $7 \times 10^5 \text{kJ/m}^3$ ， α/β 界面能为 0.6J/m^2 。若忽略形核的应变能，求形成球状、立方体以及直径(D)和厚度(t)比 (D/t) 为 20 的圆盘状核心的临界核心尺寸和临界核心形成功。
3. 导出二元合金中母相 α 和析出相 β 均为理想溶体以及规则溶体的相变总驱动力和形核驱动力 (以 J/mol 表示)。设原始成分为 x_0 ，在脱溶温度 α 相平衡成分为 x_α ，脱溶物核心成分和 β 相平衡成分近似相等为 x_β ，交互作用系数为 Ω 。
4. 本题讨论符号和上题相同，现讨论 α 和 β 均为理想溶体的情况。在 600K ， $x_0=0.1$ ， $x_\alpha=0.02$ ， $x_\beta=0.95$ ， α/β 界面能为 0.5Jm^{-2} ，两相偏摩尔体积同为 $10^3\text{m}^3/\text{mol}$ 。
 - (1) 求相变总驱动力和形核驱动力 (以单位体积的吉布斯自由能表示)
 - (2) 求均匀形核的临界核心尺寸 (球状)。
 - (3) 脱溶后，脱溶粒子间距为 50nm ，问粒子平均半径为临界核心半径 r^* 的多少倍?
 - (4) 转变前后总吉布斯自由能降低多少? 还有多少以界面能形式保留下来?
5. Al-Mg 置换固溶体，估计溶质原子 Mg 产生的错配应变能，以 J/mol 和 eV/原子 表达。说明你估算时所用的假设。 Al 的原子半径为 0.143nm 、切变模量 $G=2.5 \times 10^{10}\text{Pa}$ ， Mg 的 a 轴长 0.32nm 。
6. 设母相和析出相的切变模量 G 相同，母相是各向同性连续介质。若形成共格的核心，导出球状和圆盘状核心长大丧失共格时的尺寸的表达式。
7. $\text{Al}[\text{Ag}]$ 和 $\text{Al}[\text{Cu}]$ 合金中，从以 Al 为基的固溶体中分别析出富 Ag 和富 Cu 的析出物。 Al 、 Ag 和 Cu 的原子半径为 0.143nm 、 0.144nm 和 0.128nm 。若简单地由原子半径估计错配度 δ ，并简单地认为析出物的非共格界面能为 0.5Jm^{-2} ，共格界面能为 0.05Jm^{-2} 。 Al 的切变模量 $G=2.6 \times 10^{10}\text{Pa}$ ，又设析出物的切变模量和 Al 的相同，估计这两种析出物丧失共格的尺寸。
8. α 为母相， β 为析出相， α/β 界面能为 0.5Jm^{-2} ， α/α 界面能为 0.6Jm^{-2} 。
 - (1) 求 β 相在 α 相界面上形核 (双球冠状) 的接触角 θ 以及在界面上形核的 $f(\theta)$ 因子。
 - (2) 利用第 4 题中数据的结果，设 α 相界面厚度 δ 和晶粒直径 D 之比 $\delta/D=10^{-5}$ ，求 $\ln(I_2/I_3)$ 。(I_2 和 I_3 分别为在界面和在晶粒内形核的形核率)
9. γ 相晶粒直径为 1mm ，晶界厚度为 1nm ，在 1000K 析出 α 相， γ/α 非共格界面能为 0.5J/m^2 ，共格界面能 0.05J/m^2 ， α 相在 γ 晶界上接触角为 60° ，形核驱动力 $\Delta G_v^* = 5 \times 10^8 \text{J/m}^3$ ， α 和 γ 相的摩尔体积约为 10^{-5}m^3 。问若在晶内以共格圆盘状 (直径 D 和厚度 t 之比 $D/t=10$) 均匀形核以及在晶界上非均匀形核 (双球冠状，界面都是非共格)，哪一种情况的形核率大?
10. 利用第 4 题的结果，设母相 (fcc 结构) 的 $G=5 \times 10^{10}\text{Pa}$ ， $\nu=0.3$ ，最近邻原子间距 0.14nm 。若在刃位错上形核，如果简单地假设核心是圆柱状，长度为直径的两倍，又设位错密度为 10^6cm^{-2} (简单地认为都是刃位错)，位错线上每原子面包含 10 个原子，大约估计 $\ln(I_{\text{位错}}/I_{\text{均匀}})$ ，求核心临界直径。
11. 纯铁发生 $\gamma \rightarrow \alpha$ 多形性转变，界面是非共格的，估计在 1150K 以及 900K 时 α/γ 界面迁

移速度。晶界扩散激活能近似为 120kJ/mol, 原子间距 ϵ 0.248nm。

$$\Delta G^{\alpha\beta\gamma} = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (\text{J/mol})$$

其中系数:

| 温度范围/K | A | B | C | D | E |
|-------------|----------|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| 740<T≤860 | -269693 | 1294.373 | -2.288242 | 1.7794×10^{-3} | -5.156663×10^{-7} |
| 860<T≤940 | 5442896 | -24104.31 | 40.02958 | -2.953537×10^{-2} | 8.167968×10^{-6} |
| 940<T≤1080 | 243631.7 | -932.2832 | 1.350039 | -8.736977×10^{-4} | 2.126265×10^{-7} |
| 1080<T≤1240 | 587297 | -1967.562 | 2.473726 | -1.382798×10^{-3} | 2.898708×10^{-7} |

12. $w(\text{C})=0.25\%$ 的 Fe-C 合金, γ 相在 800°C 保温析出 α 相, α 相只在 γ 相的晶界形核, 很快形核位置饱和, 即 α 铺满了所有 γ 相的晶界, 再增厚长大。 α/γ 界面是非共格界面, γ 相的晶粒直径为 0.04mm, 平衡成分为 $C(\gamma)=0.32\%$; $C(\alpha)=0.02\%$ 。在 800°C 时, 碳在 $\gamma(\text{Fe})$ 中的扩散系数为 $1.34 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$, α 长大时以 γ 相中浓度梯度为线性近似, 求平衡时 α 相的厚度以及达到平衡时的时间 (忽略形核饱和的时间)。

13. 锰在 282°C 时 $\beta \rightarrow \alpha$ 等温转变的转变量摩尔分数 x 和转变时间的关系如下所列

| x | 0.04 | 0.18 | 0.49 | 0.89 |
|--------------|------|------|------|------|
| t/s | 1260 | 2000 | 2820 | 3900 |

假设转变动力学服从 Avrami 关系, 求出其中指数 n , 并推断可能的形核及长大的方式。

14. 当转变时间很短时, Avrami 方程可作怎样的简化?

(1) 若形核都是在晶粒角上, 并且假设晶核都是在转变开始瞬间形成, 形核位置饱和, 核心以恒速长大, 以简单的模型, 利用 Avrami 简化式子, 证明指数 $n=3$ 。

(2) 若在晶界形核, 并且假设晶核都是在转变开始瞬间形成, 形核位置饱和, 核心以恒速长大, 以简单的模型, 利用 Avrami 简化式子, 证明指数 $n=1$ 。

15. A-B 二元系, 富 B 的 β 相颗粒分布在 α 相中, 颗粒尺寸不均匀, 平均半径为 $0.1 \mu\text{m}$ 。 α/β 界面能为 0.5J/m^2 , 在 1000K, 在 α 相中扩散系数为 $10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$, 两相的摩尔体积近似为 $2 \times 10^{-7} \text{m}^3$, 在 1000K, α 相和 β 相的平衡浓度分别为 2% 和 90%。

(1) 在此时, 半径为 $0.05 \mu\text{m}$ 及 $1.5 \mu\text{m}$ 的颗粒的界面移动速度是多大?

(2) 求平均半径从 $0.1 \mu\text{m}$ 长大到 $0.3 \mu\text{m}$ 所需要的时间?

第十一章 凝固

- 1) 为什么在有过冷度下才能凝固?
- 2) 按经典形核理论, 临界核心半径和临界核心形成功与过冷度有什么关系? 为什么一般凝固过程很难获得较大的过冷度?
- 3) 非均匀形核与均匀形核的临界核心半径哪个大? 为什么?
- 4) 为什么非均匀形核的临界核心形成功比均匀形核的小? 核心与形核的靠背间的润湿角如何影响形核功?
- 5) 固相/液相间的界面的结构是怎样影响核心长大机制的?
- 6) 凝固的平衡分配系数定义是什么? 分配系数的大小对核心长大的形貌有什么影响?
- 7) 合金凝固的非平衡杠杆定律导出的条件是什么? 这一规律有什么用途?
- 8) 为什么合金凝固的晶体前沿会发生溶质原子的重新分布? 发生组分过冷的条件(粗略地看, 即界面失稳的条件)是什么?
- 9) 讨论凝固时晶体界面移动速度 R 与界面前沿的温度梯度 G_L 对凝固组织的影响。
- 10 共晶组织形貌主要有哪些? 决定共晶组织形貌的主要因素是什么?
- 11 片层状共晶的片层间距与凝固的过冷度有何关系? 解释这一关系的原因。
- 12 什么是伪共晶? 什么是离异共晶? 说明它们产生的条件。
- 13 描述包晶组织的特点。为什么很难获得包晶凝固后的平衡组织?
- 14 描述典型的铸锭的宏观组织。说明产生这样的组织的原因。如何控制柱状晶区的大小?
- 15 合金凝固可能产生哪些偏析? 在工业应用上能否消除宏观偏析? 怎样在凝固过程控制宏观偏析?
- 16 估计 1cm^3 的铜在熔点温度含 10 个原子和 60 个原子的原子团数目。液态下铜原子体积为 $1.6\lambda 10^{-29}\text{m}^3$, σ_{SL} 为 0.177Jm^{-2} , $T_m=1356\text{K}$ 。
- 17 镍的平衡熔点为 1728K , 固相的 $V_S=6.6\text{cm}^3/\text{mol}$, 液/固相界面能 $\gamma=2.25\lambda 10^{-5}\text{Jcm}^{-2}$, 如球形粒子半径是 1cm 、 $1\geq\text{m}$ 、 $0.01\geq\text{m}$ 时, 熔点各降低多少? 设 $\Delta H=18066\text{J/mol}$ 。
- 18 镍在获得过冷度为平衡熔点(K)的 0.18 倍时均匀形核, 问在大气压下的平衡熔点温度下能均匀形核所要求的压力多大? 凝固的体积变化为 $\Delta V=0.26\text{cm}^3/\text{mol}$ 。
- 19 为什么 r_{\max} 会随过冷度 ΔT 而变?
- 20 证明无论对非均匀形核和均匀形核下式均成立: $\Delta G^* \propto \frac{1}{2} V^* |\Delta G_V|$
- 21 金的 $T_m=1336\text{K}$, $\gamma_{SL}=0.132$, $\gamma_{LV}=1.128$, $\gamma_{SV}=1.400\text{Jm}^{-2}$, 其中下标 S 、 L 分别表示固相和液相, V 表示气相。说明金可在 T_m 以下熔化。(熔化潜热为 $1.2\lambda 10^9\text{Jm}^{-3}$)。
- 22 证明熔化熵 $\Delta S=4R$ (R 为气体普适常数) 时固液界面以粗糙界面最稳定, 设 $\xi=0.5$ 。
- 23 图 11-58 给出简化的 Al-Cu 相图, $T_m(\text{Al})=660^\circ\text{C}$, 共晶温度 $T_E=546^\circ\text{C}$, 铜在铝中的最大溶解度 $w(\text{Cu})=5.65\%$, 共晶成分 $w(\text{Cu})=33\%$, 固、液相线均为直线。液相中铜的扩散系数 $D_L=3\lambda 10^{-9}\text{m}^2\text{s}^{-1}$, 设合金在无对流的条件下凝固, 液/固界面是平面的, 界面推移速度为 $5\geq\text{ms}^{-1}$
 - a) $w(\text{Cu})=0.5\%$ 的 Al-Cu 合金在平稳态下凝固时界面温度是什么? 扩散层(即溶质富集的特征距离)厚度是多大? 为了保持平面界面, 根据组分过冷判据估算液相温度梯度应为多大。
 - b) 如合金成分为 $w(\text{Cu})=2\%$, 和前面的条件相同, 回答 a) 中的各个问题。
 - c) 如合金成分为 $w(\text{Cu})=2\%$, 固相无扩散, 液相充分混合, 画出凝固后固相的成分分布, 在固相百分比是多少时出现共晶组织?

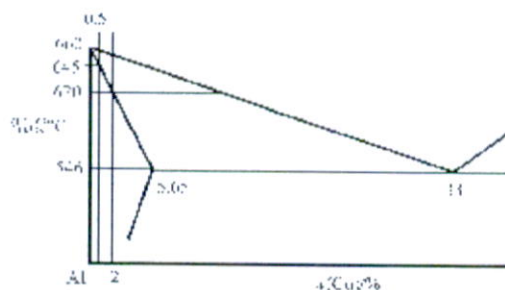


图 11-58

- 24 如果界面前沿温度梯度很低，碳在 δ 铁中扩散很快（能完成包晶反应），画出 $w(C)=0.25\%$ 的 Fe-C 凝固界面附近的组织示意图。若温度梯度很大，界面是稳定的，设所有液、固相线都是直线，忽略固相中的扩散，并且液相完全均匀混合，画出组织分布图，并定量地说明各种组织的相对量。
- 25 图 11-59 给出 Pb-Bi 二元相图。若 $w(Bi)=20\%$ 合金定向凝固，设固相无扩散，液相完全混合，求共晶体的量。

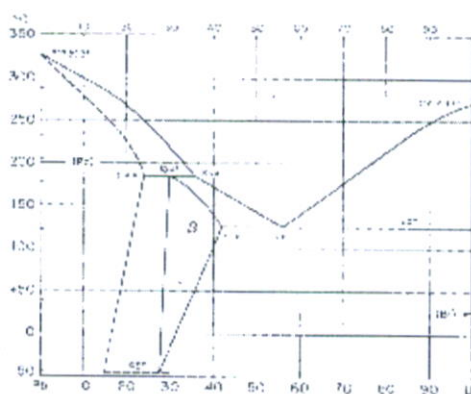


图 11-59

- 26 如片层状和棒状共晶两相的中心间距相等，并且两种形貌的共晶中的比界面能相等。证明存在一个相体积百分数的临界值，大于这个临界值则形成棒状组织，否则为片层状组织。
- 27 含硅的低合金钢锭，存在枝晶偏析，枝晶臂距是 $500\mu m$ 。在 $1200^\circ C$ 下扩散退火，问偏析振幅减小到原来的 10%，应保温多长时间？设 $1200^\circ C$ 下碳在奥氏体的扩散系数是 $2.23 \times 10^{-6} cm^2 \cdot s^{-1}$ ，硅的扩散系数是 $7.03 \times 10^{-11} cm^2 \cdot s^{-1}$ 。
- 28 聚合物结晶与金属结晶有何相似之处和主要差异？
- 29 利用示差扫描量热法研究聚对二甲酸乙二酯在 $232.4K$ 的等温结晶过程，由结晶放热峰测出如下数据。

| | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 结晶时间 t/min | 7.6 | 11.4 | 17.4 | 21.6 | 25.6 | 27.6 | 31.6 | 35.6 | 36.6 | 38.1 |
| 结晶度 $\rho/\%$ | 3.41 | 11.5 | 34.7 | 54.9 | 72.7 | 80.0 | 91.0 | 97.3 | 98.2 | 99.3 |

求出 Avrami 动力学公式中的时间指数 n 和结晶常数 Z 。

第十二章 固态转变

12-1. A-B 二元系固态完全互溶 (α 相), 并存在溶解度间隙, 间隙的 $T_c=800\text{K}$ 。在 550K 的摩尔分数 $x_B=0.4$ 时, 自由能成分曲线 $d^2G/dx^2=95.32\text{J}$, 测得在该成分下

$$D_A^{AB}=9 \times 10^{-12} \text{cm}^2/\text{s}, D_B^{AB}=2 \times 10^{-12} \text{cm}^2/\text{s}。若调幅分解的 $\lambda_m=100\text{nm}$, 问以多大的冷却速度$$

从高温 850K 冷却下来才可以避免在 550K 发生调幅分解?

12-2. 根据马氏体转变 Bain 机制, 奥氏体 (A) 转变为马氏体 (M) 时, 面心立方晶胞转变为体心立方晶胞, 并沿 c_M 方向 [001] 收缩 18%, 而沿 a_{1M} 和 a_{2M} 方向 (原奥氏体的两个相互垂直的面对角线方向, [110] 和 [110]) 分别膨胀 12%, 如图 12-38 所示。已知 FCC 的 $a=0.3548\text{nm}$ 。

①求钢中 A-M 时的相对体积变化。

②由于体积变化而引起的长度方向上的相对变化又为多少?

③若钢的 $E=200\text{GPa}$, 则需要多大拉应力才能使钢产生①所得的长度变化?

12-3 什么是平面不变应变? 什么是点阵不变应变? 它们在马氏体转变中其何作用?

12-4 块状转变与马氏体转变的主要差异是什么?

12-5. 纯金属在不同温度加热后在水中淬火, 它的电阻率比缓慢冷却时的高 ρ_0 , ρ_0 正比于空位浓度。

①如果忽略了淬火过程中消失在阱中的空位, 根据图 12-114 的实验数据求出空位形成能。

②该金属经 700°C 加热淬火并在不同温度恒温退火后, 测得电阻变化 ρ/ρ_0 (ρ_0 是淬火后电阻的增加值, ρ 是退火后的电阻和不经淬火的电阻差) 数据如下: $\rho/\rho_0=2 \times 10^{-2}$ 时, 在 165°C 及 140°C 退火分别需要保温时间为 17.65min 和 61.76min; $\rho/\rho_0=5 \times 10^{-2}$ 时, 在 165°C、140°C 及 118°C 退火分别需要保温时间为 13.24min、46.16min 及 167.65min, 求出电阻回复的激活能。

③这种金属的自扩散激活能有多大?

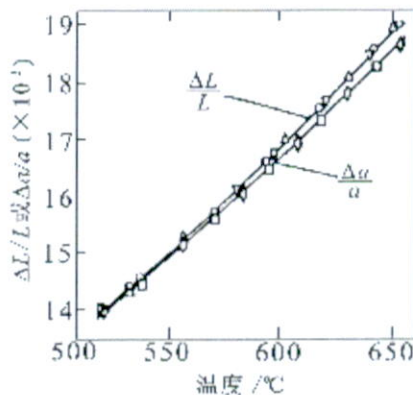


图 12-114

12-6. 如图 12-115 所示, 1 个单晶体经弯曲后, 估计导致弯曲的同号刃位错的总柏氏矢量的大小。求这些位错的位错密度。(设单个位错的柏氏矢量为 b)

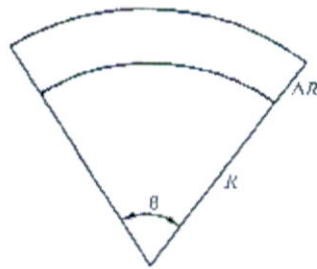


图 12-115

12-7. 多边化后形成的亚晶界包含 n 个刃位错，亚晶间的取向差为 10^{-3} 弧度。设多边化前位错间无交互作用，问多边化后释放了多少能量（以百分数表示）。（晶界能 $E_B = E_0 \theta (A - \ln \theta)$ ，设其中 A 等于 0.5）。

如果 2 个这样的亚晶界合并形成 1 个新的亚晶界，问取向差加大多少？合并前后释放能量多少？

12-8. 经大形变量的冷加工的铜块，储存能为 $2\lambda 10^6 \text{ J/m}^2$ ，大角度界面能的典型值为 0.5 J/m^2 。

如果按照经典的均匀形核理论，形成再结晶临界晶核尺寸有多大？若储存能主要由位错贡献，建立位错密度和临界核心尺寸的关系。如果形成 1 个半径为 2nm 的核心，要求形核处的位错密度多大？评论经典形核的可能性。（ $G \approx 4 \times 10^{10} \text{ Pa}$ ， $b \approx 0.25 \text{ nm}$ ）

12-9. 厚度为 40mm 厚的铝板，轧制成一侧为 20mm 另一侧仍保持为 40mm 的楔形板，经再结晶退火后，画出从 20mm 的一侧到 40mm 一侧的截面的组织示意图。并说明。

12-10. 厚度为 $5 \times 10^{-4} \text{ m}$ 的铁硅合金板，其中的晶粒已穿透合金板的厚度。一个表面为 $\{110\}$ 在板面上截面为圆形的圆柱体晶粒，被表面为 $\{100\}$ 的基体所包围，若 $\{100\}$ 表面能比 $\{110\}$ 表面能高 0.1 J/m^2 ，大角度晶界能为 0.5 J/m^2 ，估计圆柱体晶粒能长大的最小半径。

12-11. 高纯度铜经冷加工后，其屈服强度提高 4 倍，经不同温度再结晶退火，获得 50% 再结晶的时间 t 和退火温度的关系如下：

| 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 50 | 80 | 110 | 140 | 170 |
|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 时间 t/min | 1.47×10^8 | 2.8×10^6 | 1.02×10^5 | 5.93×10^3 | 5.07×10^2 |

它们符合 $\ln t = A + B/T$ 关系。其中 A 和 B 为常数， T 是热力学温度。

上述材料制成电器元件分别在 100°C 及 140°C 下工作，若零件设计时要求强度为完全再结晶时的强度，并且用的安全系数为 2，求元件的寿命。（性能恢复大体正比于再结晶量）。

12-12. 下面是在不同温度下保温晶粒长大实验所测得的数据，如果忽略了晶粒开始长大时的尺寸，问晶粒移动速度是否和驱动力成正比。求出晶界迁移的激活能。

| 保温时间/h | | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 |
|---|------------------------|------|-----|-----|-----|
| 平均 晶粒 尺寸 $/10^{-3} \text{ cm}$ | 475 $^{\circ}\text{C}$ | 1.1 | 1.5 | 2.1 | 3.0 |
| | 500 $^{\circ}\text{C}$ | 1.6 | 2.2 | 3.2 | 4.5 |
| | 600 $^{\circ}\text{C}$ | 2.8 | 3.9 | 5.5 | 7.8 |
| | 650 $^{\circ}\text{C}$ | 3.3 | 4.7 | 6.6 | 9.4 |