

材料科学与工程系列教材

根据1998年教育部颁布本科最新专业目录编写

赵 品 宋润滨 崔占全 主编
谢辅洲 主审

材料科学基础教程习题及解答

(修订版)

哈尔滨工业大学出版社

材料科学与工程系列教材(一)

材料科学基础教程 习题及解答(修订版)

赵品 宋润滨 崔占全 主编
谢辅洲 主审



哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨

图书在版编目(CIP)数据

材料科学基础教程习题及解答/赵品等主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2005.9(修订版)

材料科学与工程系列教材(一)

ISBN 7-5603-1878-9

I. 材… II. 赵… III. 材料科学-高等学校-解
题 IV. TB3-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 028787 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号

邮 编 150006

传 真 0451-86414749

印 刷 哈尔滨市龙华印刷厂

开 本 开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 260 千字

版 次 2005 年 9 月第 2 版 2005 年 9 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-1878-9/TB·35

印 数 4 001~9 000

定 价 17.00 元

修订版前言

本书是赵品等主编的《材料科学基础教程》的配套习题课教材。内容包括书中各章习题及补充习题的详细解答,共计 378 道大题。习题及补充习题的解答均采用多种形式,突出重点,有助于对《材料科学基础教程》一书中基本理论及重点、难点的掌握。

为保证知识体系的完整性及学生考研的具体需求,本书在初版的基础上精选和补充了大量课外习题和两套硕士研究生入学考试模拟试题及 2005 年燕山大学硕士研究生入学考试真题,并给出详细解答。凡超出本书范围的习题均加“※”标注,以便于教学。

本书既可作为“材料科学基础教程”课程的配套习题课教材,又可作为材料科学与工程各专业学生考研必备用书。

全书共分十四章,其中第一、二、六、七章、附录、模拟试题 I 和硕士研究生入学考试试题由燕山大学赵品编写;第三、四、五、八章和模拟试题 II 由哈尔滨理工大学宋润滨编写;第九~十四章由燕山大学崔占全编写。全书由哈尔滨工程大学谢辅洲主审。在本书的编写中参考了兄弟院校考研试卷及习题并得到了材料科学与工程系列教材编审委员会的大力支持,一些同仁对本书的编写提出了许多宝贵意见,谨此一并致谢。

虽然编者从事了多年材料科学基础课程的教学工作,但由于时间仓促及水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2005 年 3 月

目 录

习 题

第一章 材料的结构	1
第二章 晶体缺陷	3
第三章 纯金属的凝固	6
第四章 二元相图	9
第五章 三元相图	19
第六章 固体材料的变形与断裂	24
第七章 回复与再结晶	28
第八章 扩 散	31
第九章 金属固态相变	33
第十章 金属材料	36
第十一章 高分子材料	40
第十二章 陶瓷材料	41
第十三章 复合材料	43
第十四章 功能材料	44
硕士研究生入学考试模拟试题 I	45
硕士研究生入学考试模拟试题 II	48
燕山大学 2005 年硕士研究生入学考试试题	51

解 答

第一章 材料的结构	53
第二章 晶体缺陷	64
第三章 纯金属的凝固	78
第四章 二元相图	84
第五章 三元相图	97
第六章 固体材料的变形与断裂	103
第七章 回复与再结晶	117
第八章 扩 散	126
第九章 金属固态相变	130
第十章 金属材料	140

第十一章 高分子材料	151
第十二章 陶瓷材料	153
第十三章 复合材料	155
第十四章 功能材料	157
硕士研究生入学考试模拟试题 I	159
硕士研究生入学考试模拟试题 II	161
燕山大学 2005 年硕士研究生入学考试试题	163

附 录

1. 元素周期表	167
2. 元素的晶体结构	168
3. 离子半径(0.1 nm)	169
4. 原子半径(0.1 nm)	170
5. 常用物理常数表	171
6. 部分常用单位换算	171
参考文献	172

习 题

第一章 材料的结构

1.1 解释下列基本概念及术语

空间点阵, 晶体结构, 晶胞, 配位数, 致密度, 金属键, 缺位固溶体, 电子化合物, 间隙相, 间隙化合物, 超结构, 拓扑密堆相, 固溶体, 间隙固溶体, 置换固溶体。

1.2 氯化钠和金刚石各属于哪种空间点阵? 试计算其配位数与致密度。

1.3 试说明一个面心正方结构等于一个体心正方结构。

1.4 画出面心立方与体心立方的初级晶胞, 求出基矢及基矢之间的夹角。

1.5 纯铁点阵常数 0.286 nm , 体心立方结构, 求 1 cm^3 中有多少铁原子。

1.6 在 $912 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, bcc 铁的单位晶胞的体积为 0.02464 nm^3 。在相同温度时, fcc 铁的单位晶胞的体积是 0.0486 nm^3 。当铁由 bcc 转变为 fcc, 其密度改变的百分比是多少? 已知 Fe 相对原子质量为 55.85。

1.7 $\gamma\text{-Fe}$ 在略高于 $910 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 点阵常数 $a = 0.3633 \text{ nm}$, $\alpha\text{-Fe}$ 在略低于 $910 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, $a = 0.2892 \text{ nm}$, 求:

(1) 上述温度时 $\gamma\text{-Fe}$ 和 $\alpha\text{-Fe}$ 的原子半径;

(2) $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ 转变时的体积变化率;

(3) 如果 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ 转变时, 原子半径不发生变化, 求此转变的体积变化, 与(2)的结果比较并且加以说明。

1.8 在立方系中绘出 $\{110\}$ 、 $\{111\}$ 晶面族所包括的晶面及 (112) 、 $(1\bar{2}0)$ 晶面。

1.9 求金刚石结构中通过 $(0, 0, 0)$ 和 $(\frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4})$ 两点决定的晶向, 并求与该晶向垂直的晶面。

1.10 做图表示出 $\langle 2\bar{1}10 \rangle$ 晶向族所包括的晶向, 并确定 $(11\bar{2}1)$ 、 (0001) 晶面。

1.11 求 (121) 与 (100) 晶面所决定的晶带轴和 (001) 与 (111) 晶面所决定的晶带轴共同构成的晶面的晶面指数。

1.12 在立方系中, 请写出以 $[011]$ 为晶带轴的所有晶面。

1.13 在 (001) 标准极图上指出所有以 $[001]$ 为晶带轴的晶面。

1.14 利用解析几何方法确定立方晶体中, (1) 两晶向夹角; (2) 两晶面夹角; (3) 两晶面所决定的晶带; (4) 两晶向所决定的晶面。

1.15 计算面心立方结构 (111) 、 (110) 、 (100) 晶面的晶面间距和原子密度 (原子个数/单位面积)。

1.16 证明等径刚球最紧密堆积的时候, 所形成的密排六方结构的 $c/a \approx 1.633$ 。

1.17 铜晶体的晶格常数 $a = 0.362 \text{ nm}$, 密度 $\rho = 8.98 \text{ g/cm}^3$, 相对原子质量为 63.55, 试求铜的晶体结构。

1.18 金刚石的晶格常数 $a = 0.3568 \text{ nm}$, 碳的相对原子质量为 12, 试求金刚石的密度 ρ 与碳原子半径 r_{C} 。

1.19 In 具有四方结构, 相对原子质量 $A_r = 114.82$, 晶格常数 $a = 0.3252 \text{ nm}$, $c = 0.4946 \text{ nm}$, 原子半径 $r = 0.1625 \text{ nm}$, 密度 $\rho = 7.286 \text{ g/cm}^3$, 试求 In 单位晶胞拥有的原子数与致密度。

1.20 CaF_2 的密度 $\rho = 3.18 \text{ g/cm}^3$, Ca 的相对原子质量 $A_r = 40.08$, F 相对原子质量 $A_r = 19.00$, 求晶格常数 a 。

1.21 试证明配位数为 8 的离子晶体中, 最小的正负离子半径比为 0.732。

1.22 Cs^+ 与 Cl^- 的相对原子质量分别为 132.9 和 35.45, 离子半径分别为 0.170 nm 和 0.181 nm, 试述 CsCl 晶体结构特点, 属于何种空间点阵? 并求离子配位数、致密度 K 和密度 ρ 。

1.23 纯 ZrO_2 在 1000°C 左右会产生同素异构转变, 由正方晶系变为单斜晶系, 在转变温度附近进行循环加热冷却, 由于体积的突变, 可使 ZrO_2 陶瓷变为粉末。当加入足够量的 CaO , 可与 ZrO_2 完全互溶, 并使 ZrO_2 形成稳定的立方结构, 从室温到熔化前都不发生晶型的改变。生产中加入质量分数为 10% 的 CaO (20 mol%), 这种稳定的 ZrO_2 是一种实用的耐热材料, 若阳离子形成 fcc 结构, 阴离子位于四面体间隙位置, 计算 100 个阳离子需要多少阴离子存在? 四面体间隙位置被占百分数为多少?

1.24 有一种玻璃, SiO_2 的质量分数为 80%, 而 Na_2O 的质量分数为 20%。问形成非搭桥氧离子分数为多少?

1.25 晶态聚乙烯属于体心正交结构, 晶格常数 $a = 0.740 \text{ nm}$, $b = 0.493 \text{ nm}$, $c = 0.253 \text{ nm}$, 两条分子链贯穿一个晶胞。试计算完全结晶态聚乙烯的密度 ρ_c , 若非晶态聚乙烯的密度 $\rho_a = 0.854 \text{ g/cm}^3$, 通常商用低密度聚乙烯的密度 $\rho = 0.920 \text{ g/cm}^3$, 试计算其结晶区体积分数 φ_c 和结晶区的质量分数 w_c 。

1.26 计算面心立方结构的八面体间隙和四面体间隙的间隙半径, 并用间隙半径和原子半径之比 r_B/r_A 表示间隙的大小。

1.27 计算立方系 $[321]$ 和 $[120]$ 的夹角以及 (111) 和 $(1\bar{1}1)$ 的夹角。

1.28* 试证明在立方系中, 晶向 $[hkl]$ 垂直于晶面 (hkl) 。

1.29 已知锡具有体心正方点阵, 其点阵常数 $a = b = 0.58 \text{ nm}$, $c = 0.32 \text{ nm}$ 。试证明:

(1) (201) 晶面不垂直于 $[201]$ 晶向;

(2) 求出与 (201) 晶面垂直的晶向。

1.30 FeAl 是电子化合物, 具有体心立方点阵, 试画出其晶胞, 计算电子浓度, 画出 (112) 面原子排列图。

1.31 合金相 VC, Fe_3C , CuZn , ZrFe_2 属于何种类型, 并指出其结构特点。

1.32 立方系晶体 (001) 标准投影图如图 1-1, 试在 (001) 标准投影图上确定极点: (111) , $(\bar{1}11)$, $(1\bar{1}1)$, $(\bar{1}\bar{1}1)$, (112) , $(\bar{1}\bar{1}0)$ 的位置。

1.33 采用 Cu 的 K_α ($\lambda = 0.154\ 056\ \text{nm}$) 测得固溶渗氮后, 预冷至 $1\ 050^\circ\text{C}$ 水淬的 $0\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 奥氏体不锈钢试样的 X 射线衍射图, 其中奥氏体的衍射峰所对应的 2θ 依次为 $43.28^\circ, 50.48^\circ, 74.10^\circ, 89.90^\circ, 95.12^\circ$, 若 $a = 0.361\ 65\ \text{nm}$, 试求对应这些衍射峰的干涉指数。

1.34 采用 Cu 的 K_α ($\lambda = 0.154\ 056\ \text{nm}$) 测得 $2\text{Cr}13$ 马氏体不锈钢淬火试样的 X 射线衍射图, 测得四个衍射峰所对应的 2θ 依次为 $44.479^\circ, 64.740^\circ, 82.000^\circ, 98.519^\circ$, 试求其晶格常数 a 。

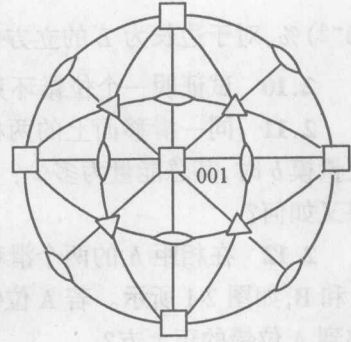


图 1-1

第二章 晶体缺陷

2.1 解释下列基本概念及术语

肖特基空位, 弗仑克尔空位, 刃型位错, 螺型位错, 混合位错, 柏氏矢量, 位错密度, 位错的滑移, 位错的攀移, F-R 位错源, 派-纳力, 单位位错, 不全位错, 堆垛层错, 汤普森四面体, 位错反应, 扩展位错, 表面能, 界面能, 对称倾侧晶界, 重合位置点阵, 共格界面, 失配度, 非共格界面, 内吸附。

2.2 铜的空位形成能 $1.7 \times 10^{-19}\ \text{J}$, 试计算 $1\ 000^\circ\text{C}$ 的时候, $1\ \text{cm}^3$ 铜中所包含的空位数, 铜的密度为 $8.9\ \text{g}/\text{cm}^3$, 相对原子质量为 63.5 , 玻尔兹曼常数 $K = 1.38 \times 10^{-23}\ \text{J}/\text{K}$ 。

2.3 已知 Cu 由 300°C 上升至 $1\ 000^\circ\text{C}$ 时, 晶体中空位平衡浓度升高到了 300°C 时候的 1.36×10^5 倍, 试计算 Cu 晶体中的空位形成能 E_v 。

2.4 已知 Cr 为体心立方结构, 晶格常数 $a = 0.288\ 5\ \text{nm}$, 密度 $\rho = 7.10\ \text{g}/\text{cm}^3$, 相对原子质量 $A_r = 51.996$, 试求 Cr 的 10^6 个阵点中所含的空位数。

2.5 CaF_2 密度 $\rho = 3.18\ \text{g}/\text{cm}^3$, 晶格常数 $a = 0.546\ 3\ \text{nm}$, 已知 Ca 和 F 的相对原子量分别为 40.08 和 19.00 , 试求 CaF_2 单位晶胞内所含肖特基空位数。

2.6 若在 MgF_2 中溶入 LiF, 则必须向 MgF_2 中引入何种形式的空位(阴离子或阳离子)? 相反若要在 LiF 中溶入 MgF_2 , 则要向 LiF 中引入何种形式的空位?

2.7 将质量分数为 10% 的 CaO 加入到 ZrO_2 中, 可形成 CaF_2 型结构, 已知阳离子 Zr^{4+} 半径为 $0.079\ \text{nm}$, 阴离子 O^{2-} 半径为 $0.140\ \text{nm}$, 求在 $1\ \text{m}^3$ 该物质中有多少阴离子空位?

2.8 证明, 用长度-点阵参数法测定某一温度下的空位浓度公式为: $C_v = \frac{\Delta N}{N} = 3\left[\frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta a}{a}\right]$, 式中 a 和 L 分别是某低温下的点阵参数和试样的宏观长度, Δa 与 ΔL 为升温到某一温度下点阵参数和试样的宏观长度的增量。

2.9 温度由 T_1 升到 T_2 , 用 X 射线衍射方法测得点阵参数相对变化 $\frac{\Delta a}{a} = (4 \times$

10^{-4})%, 对于边长为 L 的立方体测得 $\frac{\Delta L}{L} = 0.004\%$, 求 T_2 温度下的空位浓度。

2.10 试证明一个位错环只能有一个柏氏矢量。

2.11 同一滑移面上的两根正刃型位错, 其柏氏矢量为 b , 相距 L , 当 L 远大于柏氏矢量模 b 时, 其总能量为多少? 若它们无限靠近时, 总能量又为多少? 如果是异号位错结果又如何?

2.12 在相距 h 的两个滑移面上, 有柏氏矢量为 b 的两个位错线平行的正刃型位错 A 和 B, 如图 2-1 所示。若 A 位错的滑移受阻, 忽略派 - 纳力, B 位错需多大切应力才可滑移到 A 位错的正上方?

2.13 有一位错塞积群如图 2-2 所示, A、B、C 三根刃位错的柏氏矢量均为 b , 外加切应力为 τ , 试计算三根刃位错的间距和障碍物所受到的力 f 。

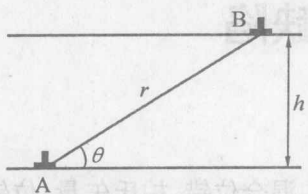


图 2-1

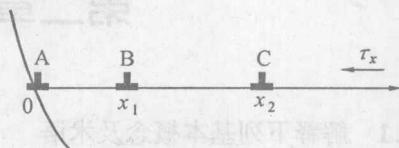


图 2-2

2.14 两位错线互相平行, 柏氏矢量互相垂直的单位位错如图 2-3 所示, 试计算使位错 2 由 $y = a$ 滑移至 $y = \infty$, 外力所作的功。

2.15 如图 2-4 所示的位错环, 说明各段位错的性质, 并且说明刃位错的半原子面的位置。

2.16* 在晶体中平行某原子面插入一方形原子层, 会形成一个间隙位错环; 同样在某原子面抽出一个方形原子层, 亦可形成一个空位位错环。假定这两个位错的位错线方向 t 为顺时针方向, 定出柏氏矢量 b 的方向, 如何利用 t 和 b 的关系来说明一个位错环是间隙的还是空位的。

2.17 证明位错密度 ρ 和弯曲晶体曲率半径 R 的关系为 $\rho = \frac{1}{Rb}$, 其中 R 为曲率半径, b 为柏氏矢量模。

2.18 估算 1 cm 长的刃位错的应变能 ($r_0 = 1$ nm, $R = 1$ cm, $\mu = 5 \times 10^{10}$ Pa, $b = 0.25$ nm, $\nu = 1/3$), 并且指出占一半能量的区域半径。

2.19 如图 2-5, 某晶体的滑移面上有一个柏氏矢量为 b 的位错环, 并受到一个均匀的切应力 τ 。试分析:

- (1) 该位错环各段位错的结构类型;
- (2) 求各段位错线所受力的大小及方向;
- (3) 在 τ 的作用下, 该位错环将要如何运动;
- (4) 在 τ 的作用下, 若该位错环在晶体中稳定不动, 其最小半径应该是多大?

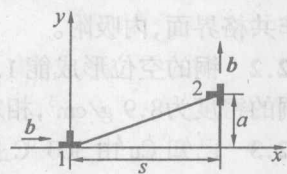


图 2-3

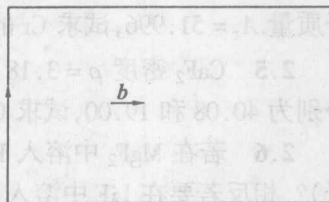


图 2-4

2.20 面心立方晶体中,在(111)面上的单位位错 $b = \frac{a}{2} [\bar{1}10]$, 在(111)面上分解为两个肖克莱不全位错,请写出该位错反应,并证明所形成的扩展位错的宽度可由下式给出

$$d \approx \frac{Gb^2}{24\pi\gamma}$$

2.21 已知单位位错 $\frac{a}{2} [\bar{1}01]$ 能与肖克莱不全位错 $\frac{a}{6} [12\bar{1}]$ 相结合,形成弗兰克不全位错,试说明:

- (1) 新生成的弗兰克不全位错的柏氏矢量;
- (2) 判定此位错反应能否进行;
- (3) 这个位错为什么是固定位错。

2.22 判定下列位错反应能否进行,若能够进行,试在晶胞图上做出矢量图。

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

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

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

2.23 试分析面心立方晶体中,在(111)面上运动的柏氏矢量为 $b = \frac{a}{2} [\bar{1}10]$ 的螺位错受阻时,能否通过交滑移转移到(111)、(11 $\bar{1}$)、($\bar{1}11$)面中的某个面上继续运动?为什么?

2.24 直接观察铝试样,在晶粒内部位错密度为 $\rho = 5 \times 10^{13}/\text{m}^2$,如果亚晶间的角度为 5° ,试估算界面上的位错间距和亚晶粒的平均尺寸(铝的晶格常数 $a = 2.8 \times 10^{-10}\text{m}$)。

2.25 不对称倾侧晶界可以看成由两组柏氏矢量互相垂直的刃型位错 b_\perp 与 b_\parallel 交替排列而成的,试证明两组刃型位错的间距分别为 $D_\perp = \frac{b_\perp}{\theta \sin \phi}$, $D_\parallel = \frac{b_\parallel}{\theta \cos \phi}$ 。

2.26 α -Fe 的晶格常数 $a = 0.28664 \text{ nm}$,两相邻晶粒为倾角 1° 的对称倾侧晶界时,求刃型位错的间距 D 。

2.27 求错配度 $\delta = 0.25$ 的半共格界面的界面位错间距 D 。

2.28 面心立方结构金属 Cu 的对称倾侧晶界中,两正刃型位错的间距 $D = 1000 \text{ nm}$,假定刃型位错的多余半原子面为(110)面, $d_{110} = 0.1278 \text{ nm}$,求该倾侧晶界的倾角 θ 。

2.29 α 、 β 两相合金中,当数量较少的 β 相存在于基体 α 相的晶界上时,呈双球冠形,如图 2-6,若 $\gamma_{\alpha\beta} = \frac{2}{3} \gamma_{\alpha\alpha}$, 求 β 相所张的二面角 δ 。

2.30 已知某面心立方晶体的堆垛层错能 $\gamma = 0.01 \text{ J/m}^2$,切变模量 $G = 7 \times 10^{10} \text{ Pa}$,点阵常数 $a = 0.3 \text{ nm}$ 。试确定 $\frac{a}{6} [11\bar{2}]$ 与 $\frac{a}{6} [2\bar{1}\bar{1}]$ 两个不全位错之间的平衡距离。

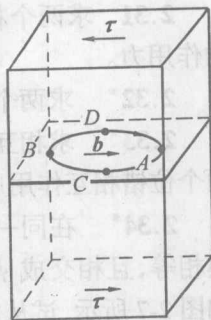


图 2-5

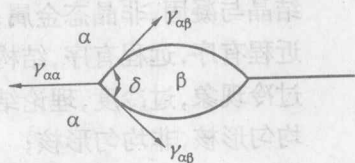


图 2-6

2.31 求两个柏氏模量互相垂直,位错线相互平行的刃位错间的作用力。

2.32* 求两个垂直螺位错之间的作用力。

2.33* 求相互垂直的螺位错与刃位错之间的作用力,并且讨论两个位错相互作用后,会发生什么样的形状变化。

2.34* 在同一滑移面上有两根相互平行的位错线,其柏氏矢量模相等,且相交成 ϕ 角,假定两个柏氏矢量相对位错线呈对称配置,如图 2-7 所示,试从能量角度考虑 ϕ 在什么值的时候这两个位错线相互吸引或者相互排斥。

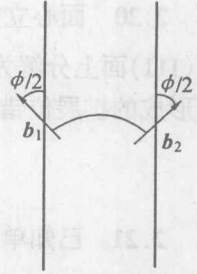


图 2-7

2.35 假设 fcc 金属中的可动滑移系为 $(11\bar{1})[1\bar{1}0]$,

(1) 给出能够造成滑移的柏氏矢量;

(2) 如果滑移是通过单位纯刃位错发生的,给出位错线方向;

(3) 如果滑移是通过单位纯螺位错发生的,给出位错线方向;

(4) 假设作用在 $(11\bar{1})$ 的 $[1\bar{1}0]$ 方向的切应力为 700 kPa,如果这个力作用在:(a)单位刃位错上;(b)单位螺位错上。求单位位错线上所受的力的大小和方向。

2.36 图 2-8 表示两个被钉扎的刃位错 A-B、C-D,它们的长度均为 x ,且具有相同的方向和相同的柏氏矢量,每个位错都可作为弗兰克-瑞德源。

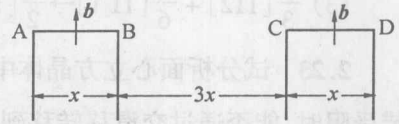


图 2-8

(1) 假定这两个位错正在扩大,试问位错环在相互作用的时候,是将位错运动钉扎住还是形成一个大的位错源?

(2) 如果能够形成一个大的位错源,试问使该位错源开动所需的临界切应力有多大?

2.37 试分析在相交的 $\{111\}$ 晶面上各种不全位错之间可能发生哪些位错反应?上述反应中,哪些反应可以自发进行?

第三章 纯金属的凝固

3.1 解释下列基本概念及术语

结晶与凝固,非晶态金属;

近程有序,远程有序,结构起伏,能量起伏;

过冷现象,过冷度,理论结晶温度,实际结晶温度;

均匀形核,非均匀形核;

晶胚,晶核,临界晶核,临界晶核形核功;

形核率,生长速率;

光滑界面,粗糙界面;

温度梯度,正温度梯度,负温度梯度;

平面状长大,树枝状长大;

活性质点,变质处理,晶粒度;

细晶区,柱状晶区,(粗)等轴晶区。

3.2 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?

3.3 说明过冷度,临界过冷度,动态过冷度等概念的区别。

3.4 试述结晶相变的热力学条件,动力学条件,能量及结构条件。

3.5 若在液体中形成一个半径为 r 的球形晶核时,证明临界形核功 ΔG_c 与临界晶核体积 V_c 之间的关系为 $\Delta G_c = -\frac{1}{2}V_c\Delta G_V$ 。

3.6 铜在 20°C 和熔点之间的热容可用 $C_p = 22.6 + 6.27 \times 10^{-3}T \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 表示,铜的熔化热为 $13\,290 \text{ J}/\text{mol}$,平衡凝固温度为 $1\,356 \text{ K}$,试求在绝热条件下要有多大过冷度, 1 mol 铜才能完全凝固而温度不回升到熔点。解释在实际条件下能否达到这样大的过冷度。

3.7 已知:铝的熔点 $T_m = 993 \text{ K}$,单位体积熔化热 $L_m = 1.836 \times 10^9 \text{ J}/\text{m}^3$,固液界面比表面能 $\sigma = 93 \text{ mJ}/\text{m}^2$,原子体积 $V_0 = 1.66 \times 10^{-29} \text{ m}^3$ 。考虑在 1 个大气压下液态铝的凝固,当 $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ 时,试计算:

(1) 临界晶核尺寸;

(2) 半径为 r^* 的晶核中原子的个数;

(3) 从液态转变到固态时,单位体积的自由能变化 ΔG_V ;

(4) 从液态转变到固态时,临界晶核尺寸 r^* 处自由能的变化 ΔG_r^* (形核功)。

3.8 液态金属凝固时,若过冷液体中形成的晶胚是任意形状的,则体系的自由能变化可以表示为

$$\Delta G = n\Delta G_n + \xi n^{2/3}\sigma$$

式中 n ——晶胚的原子个数;

ΔG_n ——液、固相间每个原子的自由能差;

ξ ——形状因子(即 $\xi n^{2/3}$ 为晶胚的表面积);

σ ——界面能。

试证明

$$\Delta G_c = \frac{4}{27} \frac{\xi^3 \sigma^3}{(\Delta G_n)^2}$$

3.9 (1) 已知液态纯镍在 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (1 个大气压)过冷度为 319°C 时,发生均匀形核。设临界晶核半径为 1 nm ,纯镍的熔点为 $1\,726 \text{ K}$,熔化热 $\Delta L_m = 18\,075 \text{ J}/\text{mol}$,摩尔体积 $V_s = 6.6 \text{ cm}^3/\text{mol}$,计算纯镍的液-固界面能和临界形核功。

(2) 若要在 $2\,045 \text{ K}$ 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 $\Delta V = -0.26 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ($1 \text{ J} = 9.8 \times 10^5 \text{ cm}^3 \cdot \text{Pa}$)。

3.10 试证明:在同样过冷度下均匀形核时,球形晶核较立方晶核更易形成。

3.11 分析纯金属生长形态与温度梯度的关系?

3.12 在同样的负温度梯度下,为什么 Pb 结晶出树枝状晶,而 Si 的结晶界面却是平整的?

3.13 决定晶粒大小(晶粒度)号码的方法已由 ASTM 标准化, $N = 2^{n-1}$ 。式中, N 为在面积 0.0645 mm^2 (在 $\times 100$ 时)内所观察到的晶粒数目; n 值即为晶粒大小号码(晶粒度级别)。试决定图 3-1 中,钨的晶粒大小(ASTM G.S. #)。

3.14 液态金属凝固时都需要过冷,那么固态金属熔化是否会出现过热?为什么?

3.15 简述晶体长大的机制。

3.16 试分析单晶体形成的基本条件。

3.17 铸锭组织有何特点?

3.18 根据凝固理论,试述细化晶粒的基本途径。

3.19 欲获得金属玻璃,为什么一般是选用液相线很陡,从而有较低共晶温度的二元系?

3.20 指出下列概念的错误之处,并更正。

(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,实际液相的温度与熔点之差。

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

(3) 在任何温度下,液态金属中出现的最大结构起伏都是晶胚。

(4) 在任何温度下,液相中出现的最大结构起伏都是晶核。

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

(6) 在液态金属中,凡是涌现出小于临界晶核半径的晶胚都不能成核,但是只要有足够的能量起伏提供形核功,还是可以成核的。

(7) 测定某纯金属铸件结晶时的最大过冷度,其实测值与用公式 $\Delta T = 0.2T_m$ 计算值,基本一致。

(8) 某些铸件结晶时,由于冷速较快,均匀形核率 N_1 提高,非均匀形核率 N_2 也提高,故总的形核率为 $N = N_1 + N_2$ 。

(9) 若在过冷液体中,外加 10 000 颗形核剂,则结晶后就可以形成 10 000 颗晶粒。

(10) 从非均匀形核功的计算公式 $\Delta G_{\text{非}} = \Delta G_{\text{均}} \left(\frac{2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} \right)$ 中可以看出,当润湿角 $\theta = 0^\circ$ 时,非均匀形核的形核功最大。

(11) 为了生产一批厚薄悬殊的砂型铸件,且要求均匀的晶粒度,则只要在工艺上采用加形核剂的办法就可以满足。

(12) 非均匀形核总是比均匀形核容易,因为前者是以外加质点为结晶核心,不像后

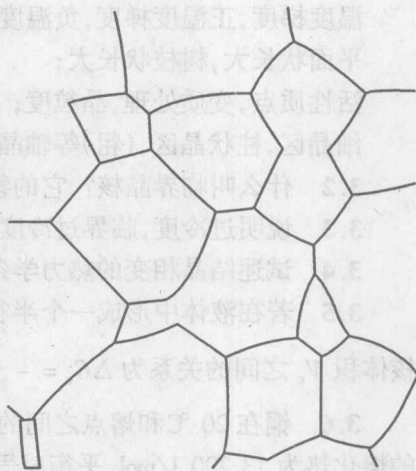


图 3-1 钨的晶粒 $\times 250$

者那样形成界面,而引起自由能的增加。

(13) 在研究某金属细化晶粒工艺时,主要寻找那些熔点低、且与该金属晶格常数相近的形核剂,其形核的催化效能最高。

(14) 纯金属生长时,无论液/固界面呈粗糙型或光滑型,其液相原子都是一个一个地沿着固相面的垂直方向连接上去。

(15) 无论温度分布如何,常用纯金属生长都是呈树枝状界面。

(16) 氯化铵饱和水溶液与纯金属结晶终了时的组织形态一样,前者呈树枝晶,后者也呈树枝晶。

(17) 人们无法观察到极纯金属的树枝状生长过程,所以关于树枝状的生长形态仅仅是一种推理。

(18) 液态纯金属中加入形核剂,其生长形态总是呈树枝状。

(19) 纯金属结晶时,若呈垂直方式生长,其界面时而光滑,时而粗糙,交替生长。

(20) 从宏观上观察,若液/固界面是平直的,称为光滑界面结构;若是呈金属锯齿形的,称为粗糙界面结构。

(21) 纯金属结晶以树枝状形态生长,或以平面形态生长,与该金属的熔化熵无关。

(22) 实际金属结晶时,形核率随着过冷度的增加而增加,超过某一极大值后,出现相反的变化。

(23) 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。

第四章 二元相图

4.1 解释下列基本概念及术语

匀晶转变,共晶转变,包晶转变,共析转变,包析转变,有序-无序转变,熔晶转变,偏晶转变,合晶转变;

平衡凝固,不平衡凝固,正常凝固;

平衡分配系数,有效分配系数;

枝晶偏析,比重偏析,晶界偏析,胞状偏析;

共晶体,稳定化合物,不稳定化合物;

共晶合金,亚共晶合金,过共晶合金,伪共晶,不平衡共晶,离异共晶;

铁素体,奥氏体,莱氏体,珠光体,渗碳体。

4.2 图 4-1 为一匀晶相图,试根据相图确定:

(1) $w_B = 40\%$ 的合金开始凝固出来的固相成分为多少?

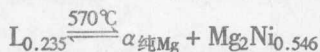
(2) 若开始凝固出来的固体成分为 $w_B = 60\%$,合金的成分为多少?

(3) 成分为 $w_B = 70\%$ 的合金最后凝固时的液体成分为多少?

(4) 若合金成分为 $w_B = 50\%$,凝固到某温度时液相成分 $w_B = 40\%$,固相成分为 $w_B =$

80%，此时液相和固相的相对量各为多少？

4.3 Mg-Ni 系的一个共晶反应为



设对应 w_{Ni}^1 为亚共晶合金 c_1 ， w_{Ni}^2 为过共晶合金 c_2 ，这两种合金中的先共晶相 α 的质量分数相等，但 c_1 合金中的 α 总量为 c_2 合金中 α 总量的 2.5 倍，试计算 c_1 和 c_2 的成分。

4.4 组元 A 和 B 在液态完全互溶，但在固态互不溶解，且形成一个与 A、B 不同晶体结构的中间化合物，由热分析测得下列数据。

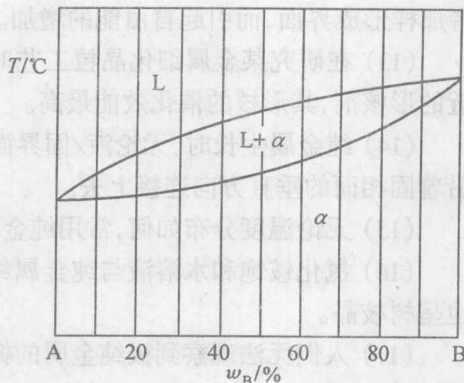


图 4-1 二元匀晶相图

含 B 量 [$w_B/\%$]	液相线温度/ $^\circ\text{C}$	固相线温度/ $^\circ\text{C}$
0	—	1 000
20	900	750
40	765	750
43	—	750
50	930	750
63	—	1 040
80	850	640
90	—	640
100	—	800

(1) 画出平衡相图，并注明各个区域的相、各点的成分及温度，并写出中间化合物的分子式(原子量 $A = 28, B = 24$)。

(2) 100 kg 的 $w_B = 20\%$ 的合金在 800°C 平衡冷却到室温，最多能分离出多少纯 A。

4.5 已知 A(熔点 600°C) 与 B(熔点 500°C) 在液态无限互溶，固态时 A 在 B 中的最大固溶度(质量分数)为 $w_A = 30\%$ ，室温时 $w_A = 10\%$ ；但 B 在固态和室温时均不溶于 A。在 300°C 时，含 $w_B = 40\%$ 的液态合金发生共晶反应。试绘出 A-B 合金相图；试计算 $w_A = 20\%$ ， $w_A = 45\%$ ； $w_A = 80\%$ 的合金在室温下组织组成物和相组成物的相对量。

4.6 参考图 4-2 试求：

(1) 2000°C 时 Al_2O_3 在液体中的质量分数及固体 β 中的固溶度为多少？
20% Al_2O_3 - 80% ZrO_2 陶瓷在 1800°C 时所含相的化学成分为何？

(2) 具有何种成分的 Al_2O_3 - ZrO_2 陶瓷，在 1800°C 时含有 $\frac{3}{4}\alpha$ 及 $\frac{1}{4}\beta$ 。

4.7 图 4-3 为 Al-Si 共晶相图，图 4-4 为 3 个 Al-Si 合金显微组织示意图。试分析图 4-4 中的组织系什么合金(亚共晶、过共晶、共晶)？指出细化此合金铸态组织的可能途径。

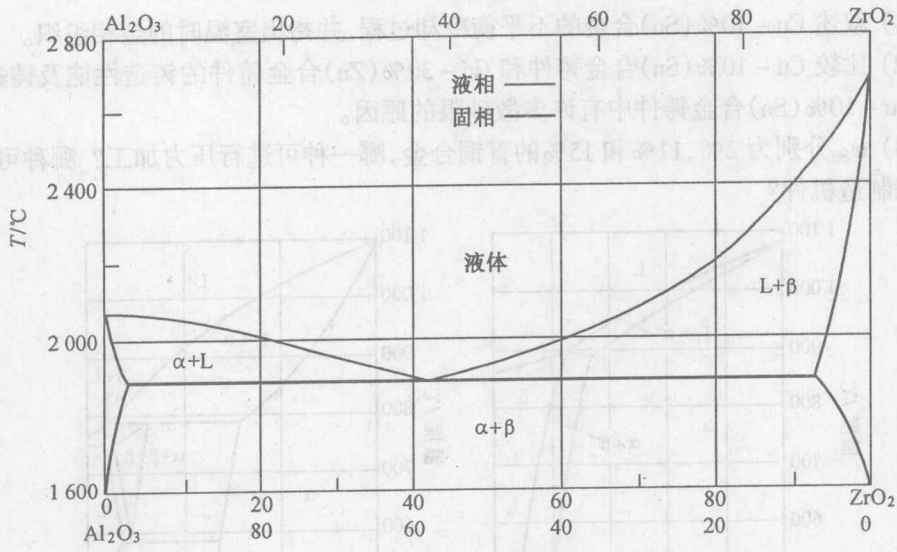


图 4-2 Al_2O_3 - ZrO_2 相图

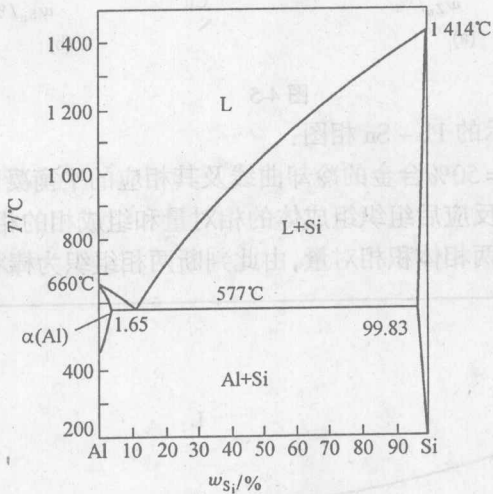
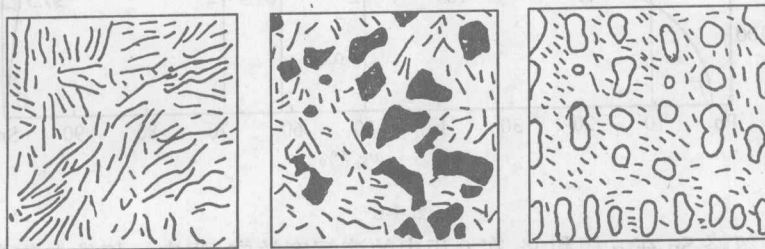


图 4-3 Al-Si 共晶相图



(a) (b) (c)

图 4-4 Al-Si 合金显微组织示意图