

金属学原理 习题集

陈秀琴 刘 和 编著



上海科学技术出版社

金属学原理习题集

陈秀琴 刘 和 编著

上海科学技术出版社

金属学原理习题集

陈秀琴 刘 和 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 常熟兴隆印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 333,000

1989年11月第1版 1989年11月第1次印刷

印数 1—2,100

ISBN 7-5323-1407-3/TG·49

定价: 4.65 元

序

金属学原理是材料科学及金属材料学的基础课程，内容偏重晶体材料的基本原理和基本规律，初学者对此往往感到概念抽象，难以掌握。经验证明，通过习题有助于对原理的消化融通、巩固深入，对如何与生产实践相结合也起到引导和举一反三的作用。

陈秀琴、刘和两同志与我们数轮共同执教，他们在工作中不断钻研教学内容，与众多同学接触中又深入体会到初学本课程的难点和易于混淆之处，若干年来累积了不少习题，在此基础上又几经精选，数次易稿，编撰成《金属学原理习题集》，由上海科学技术出版社出版。本书内容较全面，具有独特风格。相信他们几年来的勤奋劳动会对金属学的教学作出一定的贡献。

在此书稿付印之际，特誌数语，聊以为序，愿广大读者和我一样，以读此书为快。

徐祖耀

1988年5月1日于上海交通大学

前 言

为了配合高校“材料科学”、“金属材料及热处理”等专业的学生学习“金属学原理”这门重要的专业基础课程，我们在几年教学实践的基础上，参阅了国内外有关材料科学、物理冶金和金属学方面的各类书籍，搜集、整理了这方面有代表性的题目共 450 道，并逐题作解，编成了这本习题集。

全书共十章，为便于学习，章次按国内一般“金属学原理”教材的内容顺序编排。书中第一、二、八、九各章由陈秀琴编写，三、四、五、六、七各章由刘和编写，第十章由两人共同完成。

考虑到在“金属学原理”课程的学习中，对基本概念的牢固掌握与对原理、规律的正确理解和灵活应用有着同样的重要性，我们将每一章的题目分成选择题和解答题两部分，前者供读者自我检验基本概念是否清楚，后者则帮助读者加深和强化对金属学方面的基本理论和一般规律的理解和记忆。最后一章为综合题，用以训练融会贯通地运用所学到的知识。对少量习题，我们给出了解题所用的计算机计算程序。在对金属学理论的描述日趋定量化、计算机的应用日益普及的今天，这仅仅作作为一种尝试，希望能起到抛砖引玉的作用。

本书除可作为有关专业学生的教学参考书之外，亦可供从事这一领域教学、科研工作的教师、科技工作者参考。

限于编者水平，书中可能有错误和不妥之处，恳切希望读者批评指正。

本书在编写过程中，得到了徐祖耀、李朋兴教授的热情指导，两位教授审阅了全书，提出了许多修改意见；陈达、吴建新等同志亦曾给予不少帮助，在此谨致以深切谢意。

编 者
1988年4月

目 录

第一章 晶体结构	
习题.....	1
解答.....	71
第二章 晶体缺陷	
I 点缺陷	
习题.....	7
解答.....	84
II 位错	
习题.....	9
解答.....	88
III 界面	
习题.....	16
解答.....	111
第三章 纯金属材料的凝固	
习题.....	20
解答.....	123
第四章 二元合金及其凝固	
习题.....	24
解答.....	132
第五章 三元合金及其凝固	
习题.....	33
解答.....	149
第六章 固体中的扩散	
习题.....	45
解答.....	161
第七章 金属和合金的塑性变形	
习题.....	50
解答.....	175
第八章 回复和再结晶	
习题.....	57
解答.....	189
第九章 固体中的相变	
习题.....	61
解答.....	195

第十章 综合题

习题.....	68
解答	209
主要参考书	216
附录	
国际单位制常用单位	217
国际单位制中倍数和约数的词头名称	217
单位换算转换因子	218
常用常数	218

习 题 部 分

第一章 晶体结构

一、选择题

1. 图 1-1(a)、(b)分别为两种金属内部原子排列的二维平面图,它们_____。
- A. 属于同一种空间点阵,但具有不同的晶体结构
 - B. 属于不同的空间点阵,且具有不同的晶体结构
 - C. 属于同一种空间点阵,且具有相同的晶体结构

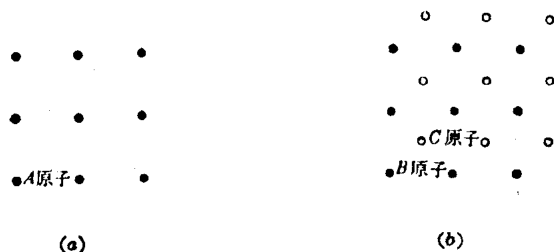


图 1-1

2. 金属的三种常见晶体结构中,_____结构不能称作为一种空间点阵。
- A. 密排六方
 - B. 面心立方
 - C. 体心立方
3. 一块单相多晶体包含_____。
- A. 不同化学成分的几部分晶体
 - B. 相同化学成分,不同结构的几部分晶体
 - C. 相同化学成分,相同结构,不同位向的几部分晶体
4. 图 1-2 为体心立方点阵某晶面的原子排列示意图 (a 为点阵常数),据此可知此晶面的晶面指数是_____。
- A. (111)
 - B. (101)
 - C. (112)
5. 图 1-3 为用吴氏网测定极射赤平投影图上各极点间夹角的示意图,图中 R 、 S 、 K 、 T 各极点分别代表不同的晶面,其中_____。
- A. R 和 T , S 和 K 之间的夹角相等
 - B. R 和 S , S 和 K , T 和 K 之间的夹角相等

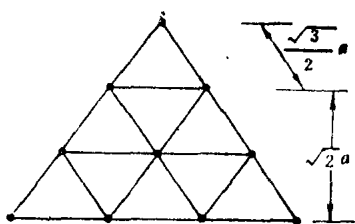


图 1-2

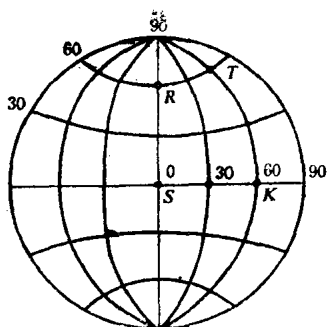


图 1-3

C. R 和 S , S 和 K , T 和 K , R 和 T 之间夹角全都相等

6. 在立方系中点阵常数通常是指_____。

A. 最近的原子间距

B. 晶胞棱边的长度

7. 每一个面心立方晶胞中有八面体间隙 m 个, 四面体间隙 n 个, 其中_____。

A. $m=4$, $n=8$

B. $m=13$, $n=8$

C. $m=1$, $n=4$

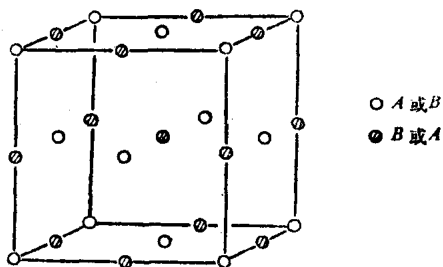


图 1-4

8. 在图 1-4 所示的由 A 、 B 两种原子组成的晶体结构中, 原子的配位数为_____。

A. 4

B. 6

C. 8

D. 12

9. 晶体结构中原子的配位数降低时, 原子半径_____。

A. 收缩

B. 膨胀

C. 不发生变化

10. 晶面间距公式 $d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$ 适用于_____的一切晶面 (h , k , l 为密勒指数):

A. 立方晶系所包含的三种点阵

B. 立方和四方晶系所包含的各种点阵

C. 简单立方点阵

11. 原子排列最密的一族晶面其面间距_____。

A. 最小

B. 最大

12. 已知 Fe-Cr 相图(示意图)如图 1-5, 根据此图可以推测 Cr 的晶体结构为_____。

A. 体心立方

B. 面心立方

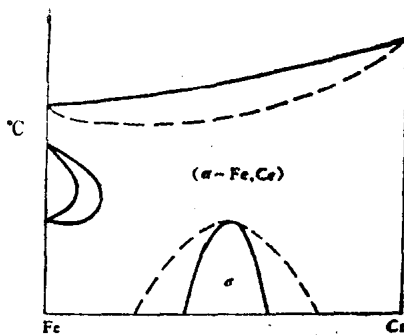


图 1-5

C. 密排六方

13. 在面心立方结构的固溶体合金中,原子的有序化最易在下列成分处出现: $A(at\%)$: $B(at\%)$ 为_____。

A. 1:1

B. 1:2

C. 1:3

14. 氮、氧在金属中一般占据间隙位置,这是因为_____。

A. 金属中间隙半径大于氮、氧原子半径

B. 氮、氧都是气体

C. 氮、氧原子半径较小,能挤入金属中的间隙位置

15. 判断下述说法的正确性:致密度高的密排结构金属作为溶剂形成间隙固溶体时,其溶解度总比致密度低的金属小。

A. 正确

B. 错误

16. 合金相中的间隙化合物一般是指_____。

A. 非金属原子半径 r_x 与过渡族金属原子半径 r_M 之比 $r_x/r_M < 0.59$ 时形成的具有复杂晶体结构的化合物

B. 可作为溶质溶入其它金属的化合物

二、解答题

1-1 将元素周期表内所有元素按金属性强弱分成:(1)金属;(2)非金属;(3)弱金属性元素。

1-2 为什么正交晶系中可有简单正交、底心正交、面心正交、体心正交四种空间点阵,而正方晶系中只有简单正方和体心正方两种点阵类型?

1-3 画出面心立方点阵和体心立方点阵的初基晶胞,求出其基矢及基矢间的夹角。

1-4 画出立方晶系以下晶面及晶向:(130)、(121)、(110)、 $(\bar{3}02)$ 、 $[112]$ 、 $[\bar{2}11]$ 、 $[110]$ 、 $[0\bar{1}1]$ 、 $[312]$ 。

1-5 简单立方晶胞如图 1-6 所示, R 为底面中心。

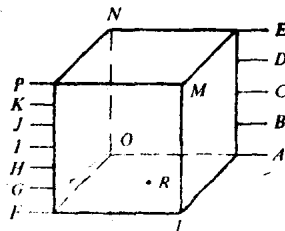


图 1-6

(1) 给出下列晶向指数:

(a) G 到 D

(b) O 到 L

(c) F 到 M

(d) N 到 R

(e) R 到 C

(f) C 到 N

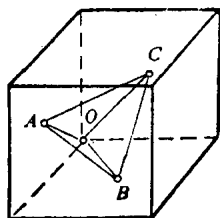


图 1-7

(g) F 到 C

(2) 给出下列晶面指数:

(a) FAN

(b) KFA

(c) HAN

(d) NRC

(e) $NIIC$

1-6 试标出图 1-7 所示 f.c.c 晶胞中四面体 $ABCO$ 的各个面的晶面指数及各棱边的晶向指数 (A, B, C 为三个相邻晶面的面心原子)。

1-7 画出六方晶系的下列晶面和晶向: $(11\bar{2}0)$ 、 (0001) 、 $(10\bar{1}2)$ 、 $(2\bar{1}\bar{1}0)$ 、 $[11\bar{2}0]$ 、 $[0001]$ 、 $[\bar{1}2\bar{1}3]$ 、 $[\bar{1}2\bar{1}1]$ 。

1-8 图 1-8 示出一密排六方晶胞, 试求:

(1) 从底心原子 O 到 $\frac{c}{2}$ 高度原子 A 的方向指数;

(2) 从底心原子 O 到六方体对角原子 B 的方向指数;

(3) 由 $O'MN$ 三个原子构成的晶面的晶面指数。

1-9 铝的原子半径为 0.1431 nm , 原子量为 26.97 , 试计算铝的密度。

1-10 钨具有体心立方结构, 其密度 $\rho = 10.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 原子量为 95.94 , 试求钨的原子半径。

1-11 (1) $\alpha\text{-Fe}$ 的晶格常数为 0.286 nm , 试计算和比较 $[100]$ 、 $[110]$ 、 $[111]$ 方向上的原子密度;

(2) 对晶格常数为 0.362 nm 的铜晶体, 重复上面的问题。

1-12 (1) 计算 f.c.c 金属 (110) 、 (111) 面上的原子面密度 (用 a 表示), 说明哪一个晶面上原子排列较密;

(2) 计算和比较理想 h.c.p ($c/a = 1.633$) 金属 $(10\bar{1}1)$ 面和 (0001) 面上的原子面密度 (用 a 表示);

(3) 比较 f.c.c 的 (111) 和 h.c.p 的 (0001) 面上的原子面密度, 解释结果。是否所有的 f.c.c 和 h.c.p 结构都可得上述结果?

1-13 用 X 射线粉末相机测得钨晶体的衍射线条如图 1-9, 试确定其点阵常数。 ($\text{CuK}\alpha$, $\lambda = 0.1541 \text{ nm}$)

1-14 在 X 射线照相机内用 Mo 特征射线 (波长为 0.0709 nm) 测得银试样 (f.c.c,

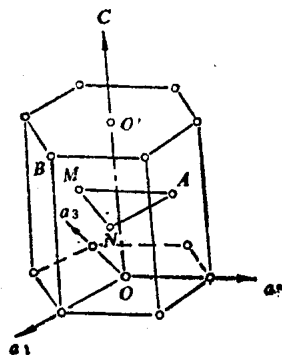


图 1-8

$d_{111} = 0.144 \text{ nm}$) 从室温加热到 800°C 时对 (111) 面的 Bragg 角 θ 减小 0.11° , 已知加热时晶体结构不发生变化, 试计算加热所引起的点阵常数 a 的变化。

1-15 $\gamma\text{-Fe}$ 在略高于 910°C 时点阵常数 $a = 0.3633 \text{ nm}$, $\alpha\text{-Fe}$ 在略低于 910°C 时 $a = 0.2892 \text{ nm}$, 求:

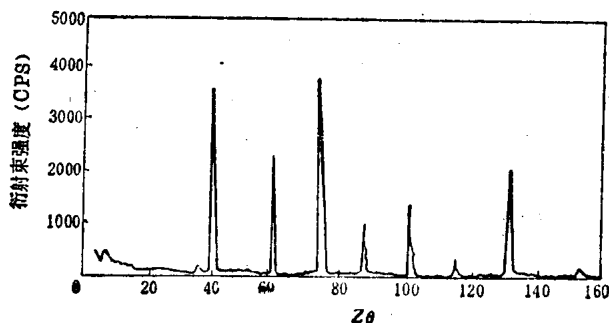


图 1-9

- (1) 上述温度时 $\gamma\text{-Fe}$ 和 $\alpha\text{-Fe}$ 的原子半径 R ;
- (2) $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ 转变时的体积变化率;
- (3) 设 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ 转变时原子半径不发生变化, 求此转变时的体积变化率, 与(2)的结果相比较并加以说明。

1-16 钛冷却到 880°C 发生 $\text{b.c.c} \rightarrow \text{h.c.p}$ 相变时体积收缩了 3.3% , 已知 h.c.p 结构的钛点阵常数 a 为 0.2956 nm , c 为 0.4683 nm , 求: (1) b.c.c 结构的钛的点阵常数;

(2) $\text{b.c.c} \rightarrow \text{h.c.p}$ 转变时原子半径有何变化?

1-17 已知金刚石晶胞中最邻近的原子间距为 0.1544 nm , 试求出金刚石的点阵常数 a , 配位数 P 和致密度 K 。

1-18 (1) 计算 f.c.c 结构的 (111) 面的面间距 (用点阵常数表示);

(2) 从几何关系上验证所得结果;

(3) 欲确定一成分为 $18\% \text{ Cr}$, $18\% \text{ Ni}$ 的不锈钢晶体在室温下的可能结构是 f.c.c 还是 b.c.c , 由 X 射线测得此晶体的 (111) 面间距为 0.21 nm , 已知 b.c.c 铁的 $a = 0.286 \text{ nm}$, f.c.c 铁的 $a = 0.363 \text{ nm}$, 试问此晶体属何种结构?

1-19 写出镍晶体中面间距为 0.1246 nm 的晶面族指数。镍的点阵常数为 0.3524 nm 。

1-20 锌为 h.c.p 结构, 试计算 (001) 和 (103) 面的晶面间距。(Zn : $a = 0.2665 \text{ nm}$, $c = 0.4947 \text{ nm}$)

1-21 试证正交晶系各晶面族的面间距为

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}}$$

1-22 平面 A 在极射赤平投影图中为通过 NS 极和点 $O^\circ N, 70^\circ W$ 的大圆, 平面 B 的极点在 $30^\circ N, 50^\circ W$ 处,

(1) 如何求出 A, B 两个平面间的夹角;

(2) 求出 A 绕 B 顺时针转过 40° 的位置。

1-23 (1) 说明在 f.c.c 的 (001) 标准极射赤面投影图的外圆上、赤道线上和 0° 经线上的极点的指数各有何特点;

(2) 试在上述极图上标出 $(\bar{1}10)$ 、 (011) 、 (112) 极点。

1-24 已知 $\alpha\text{-Fe}$ 与 V_4C_3 (f.c.c) 之间的晶体位向关系为: $[001]_{\text{V}_4\text{C}_3} // [001]_{\alpha\text{-Fe}}$; $(100)_{\alpha\text{-Fe}} // (110)_{\text{V}_4\text{C}_3}$; 且 $d_{100}^{\alpha\text{-Fe}} = d_{110}^{\text{V}_4\text{C}_3}$,

(1) 试用晶胞图表示上述位向关系;

(2) 用 (001) 标准投影图表示上述位向关系。

1-25 (1) 试证: 若 (hkl) 属于晶带轴 $[uvw]$, 则必有 $hu + kv + lw = 0$ 。

(2) 求立方晶系 $(\bar{1}11)$ 和 (110) 面所在晶带的晶带轴, 并在一个立方晶胞中绘出。

1-26 有一圆柱形铝单晶, 经 X 射线测定其 (111) 、 $(01\bar{1})$ 晶面的位向如图 1-10 所示, 今欲沿 $(\bar{2}11)$ 晶面切出一薄片晶体, 请在图中说明切取的位置。

1-27 (1) 算出 f.c.c 和 b.c.c 晶体中四面体间隙及八面体间隙的大小, 用原子半径 R 表示, 并注明间隙中心的座标;

(2) 写出溶解在 γ 铁中的碳原子所处的位置, 若此类位置全部被碳原子占据, 那么试问在这种情况下, γ 铁能溶解多少重量百分数的碳? 而实际上碳在铁中的最大溶解度是多少? 两者在数值上有差异的原因是什么?

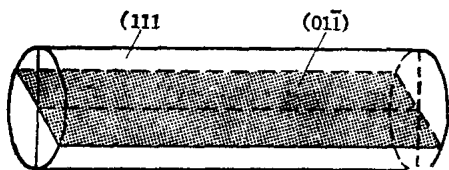


图 1-10

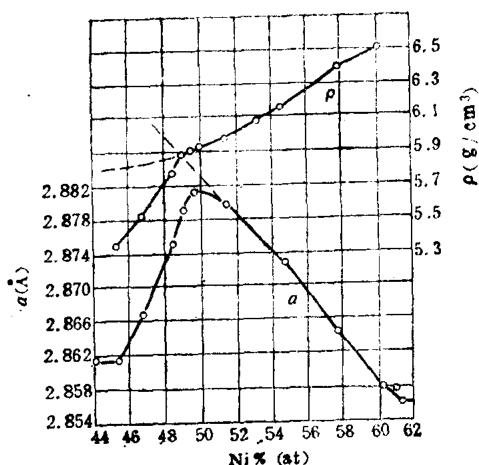


图 1-11

1-28 NiAl 化合物为基的固溶体的点阵常数 a 和密度 ρ 随 Ni 含量的变化如图 1-11 中实线所示, 试对曲线作定性解释。

1-29 (1) 根据下表所给之值确定哪一种金属可作为溶质与 Ti 形成溶解度较大 (例如 10%) 的固溶体:

Ti	h.c.p.	$a = 0.295 \text{ nm}$
Be	h.c.p.	0.228 nm
Al	f.c.c.	0.404 nm
V	b.c.c.	0.304 nm
Cr	b.c.c.	0.288 nm

(2) 计算固溶体中此溶质含量为10% (原子百分数) 时, 相应的重量百分数为多少。

1-30 Cu-Zn 及 Cu-Sn 组成固溶体最多可含多少百分数的 Zn 或 Sn? 若 Cu 晶体中面溶入 10% Zn (原子百分数), 最多还能固溶多少原子百分数的 Sn?

1-31 含 12.3% (wt) Mn, 1.34% (wt) C 的奥氏体钢, 点阵常数为 0.3624 nm, 密度为 7.83 g/cm³, C, Fe, Mn 的原子量分别为 12, 55.84, 54.92, 试判断此固溶体的类型。

第二章 晶体缺陷

I 点缺陷

一、选择题

- 晶体中存在着许多点缺陷, 例如____。
 - 被激发的电子
 - 空位
 - 沉淀相粒子
- 一个不含空位的完整晶体在热力学上是____。
 - 稳定的
 - 不稳定的
- 图 2-1 为晶体中形成点缺陷时的能量分析 (E_D 为点缺陷形成能, n 为点缺陷数, ΔS 和 ΔG 分别为点缺陷形成时引起的熵变和自由能变化, T 为绝对温度), 由图可以看出____。
 - 形成点缺陷时引起的熵的变化使晶体能量增加
 - 形成点缺陷时引起的焓的变化使晶体能量增加
 - 晶体总是倾向于降低点缺陷的浓度
 - 当点缺陷浓度达平衡值 (n_e) 时, 晶体自由能最低
- 在给定的温度 T , 点缺陷的平衡浓度可由公式____ 给出 (式中 A 为常数, E_D 为点缺陷形成能, k 为波尔兹曼常数)。
 - $C_e = AT^{E_D}$
 - $C_e = A[\ln T - \ln E_D]$
 - $C_e = A \exp[-E_D/kT]$
 - $C_e = kT \ln E_D$
- 一个 Schottky 缺陷形成能的数量级是____。
 - 10^{-8} eV
 - 10^{-3} eV
 - 1 eV
 - 10^8 eV
- 金属中通常存在着溶质原子或杂质原子, 它们的存在____。
 - 总是使晶格常数增大

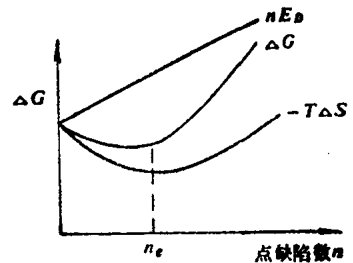


图 2-1

- B. 总是使晶格常数减小
C. 可能使晶格常数增大,也可能使其减小
7. 晶体中产生一个空位或间隙原子时,____。
A. 晶体体积 V 增加了一个原子体积,点阵常数 a 不变
B. V 和 a 都有变化,其中一个空位引起的体积膨胀小于一个原子体积
C. 间隙原子引起的体积膨胀比空位引起的体积膨胀小
8. 金属中点缺陷的存在使电阻____。
A. 增大
B. 减小
C. 不受影响
9. 空位在____过程中起重要作用。
A. 形变孪晶的形成
B. 自扩散
C. 交滑移
10. 金属的自扩散的激活能应等于____。
A. 空位的形成能与迁移激活能的总和
B. 空位的形成能
C. 空位的迁移能

二、解答题

2-1 纯金属晶体中主要的点缺陷类型是什么?试述它们产生的可能途径。

2-2 由 600°C 降低至 300°C 时,锆晶体中的空位平衡浓度降低了六个数量级,试计算锆晶体中的空位形成能。(波尔兹曼常数 $k = 8.617 \times 10^{-5} \text{eV/K}$)

2-3 铝的空位形成能(E_f)和填隙原子形成能(E_i)分别为 0.76eV 和 3.0eV ,求在室温(20°C)及 500°C 时铝中空位平衡浓度与填隙原子平衡浓度的比值,并讨论所得结果(假定空位形成时振动熵的变化与填隙原子形成时振动熵的变化相等)。

2-4 银的空位形成能为 1.1eV ,试计算 600°C 和 300°C 时 1cm^3 银晶体中所包含的平衡空位数(银的密度为 10.5g/cm^3 ,原子量为 107.9)。

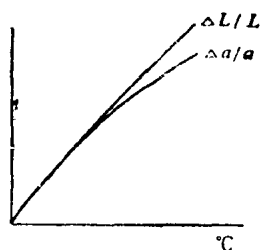


图 2-2

2-5 图 2-2 为某晶体的长度(L)和晶格常数(a)随温度的变化曲线,

(1) 说明为何高温时 $\Delta L/L > \Delta a/a$ 。

(2) 证明在较高温度时晶体中的平衡空位浓度与晶体长度

及晶格常数的关系可表示为: $C_v = 3 \left(\frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta a}{a} \right)$

(3) 试述一种实验测定较高温度下晶体中平衡空位浓度的

方法。

2-6 钨在 20°C 时每 10^{23} 个晶胞中有一空位,从 20°C 升温到 1020°C ,点阵常数膨胀了 $4 \times 10^{-4} \%$,而密度下降了 0.012% ,求钨的空位形成能及形成熵。

2-7 设晶体中有 N 个原子, N' 个间隙位置, n 个原子脱离原位移动到点阵间隙处形成

Frankel 缺陷, 试推导等温等压下 F 缺陷的平衡浓度表达式。

2-8 在溶有少量置换型溶质原子的金属晶体中, 若溶质原子可以与空位结合, 其结合能为 E_b , 试证:

(1) 在溶质原子最近邻点阵位置的空位浓度为晶体中其它区域的 $\exp\left[-\frac{E_b}{kT}\right]$ 倍;

(2) 整个晶体中空位热平衡浓度为

$$C_v^0 = A \exp\left(-\frac{E_v}{kT}\right) \left[1 - ZC_s + ZC_s \exp\left(-\frac{E_b}{kT}\right)\right]$$

其中 C_v^0 是空位热平衡浓度(原子百分数), E_v 是纯金属(溶剂)的空位形成能, C_s 为溶质原子的浓度(原子百分数), Z 为点阵配位数。

II 位 错

一、选择题

1. 判断下述说法的正确性: 一个位错环不可能处处都是螺位错, 也不可能处处都是刃位错。

A. 正确

B. 错误

2. 一个右螺位错, 若把位错线的正向定义为原来的反向, 此位错_____。

A. 仍为右螺位错

B. 变成左螺位错

3. 晶体中柏氏矢量不是任意的, 而是点阵的平移矢量, 这是因为_____。

A. 我们把晶体作为连续弹性介质处理

B. 晶体实际上是不连续的

4. 假设有一块不含位错的完整晶体(晶体 1)与另一块含有位错, 且位错线终止于其外表面的晶体(晶体 2)粘合在一起, 如果这两块晶体粘合后的位向是等同的, 则_____。

A. 晶体 2 中的位错线将终止在两块晶体的粘合处

B. 位错线将消失

C. 位错线将终止于粘合后的晶体的外表面上

5. 两根具有反向柏氏矢量的刃位错在被一个原子面相隔的两个平行滑移面上相向运动以后, 在相遇处_____。

A. 相互抵消

B. 形成一排空位

C. 形成一排间隙原子

6. 在一块晶体中有一根刃位错线 P 和一根相同长度的螺位错线 Q , 比较两者的能量, 有_____。

A. $E_P > E_Q$

B. $E_P < E_Q$

C. $E_P = E_Q$

7. 有两根右螺位错线, 各自的能量都为 E_1 , 当它们无限靠近时, 总能量为_____。

- A. $2E_1$
- B. 0
- C. $4E_1$

8. 位错受力(运动)方向处处垂直于位错线, 在运动过程中是可变的, 晶体作相对滑动的方向_____。

- A. 亦随位错线运动方向而改变
- B. 始终是柏氏矢量方向
- C. 始终是外力方向

9. 计算位错受力的表达式 $f = \tau b$ 中, τ 是指_____。

- A. 外力在滑移面的滑移方向上的分切应力
- B. 外加切应力
- C. 外力在位错线运动方向上的分切应力

10. 一块晶体中含有一个位错环, 如图 2-3 所示, 若位错环向晶体一角运动(运动过程中环的半径保持不变)直至全部移出晶体, 晶体外形将_____。

- A. 无任何变化
- B. 沿滑移面在柏氏矢量方向产生一个台阶

11. f.c.c 晶体中 Frank 不全位错最通常的运动方式是_____。

- A. 沿 $\{111\}$ 面滑移
- B. 沿垂直于 $\{111\}$ 的棱柱面滑移
- C. 沿 $\{111\}$ 面攀移

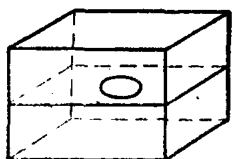


图 2-3

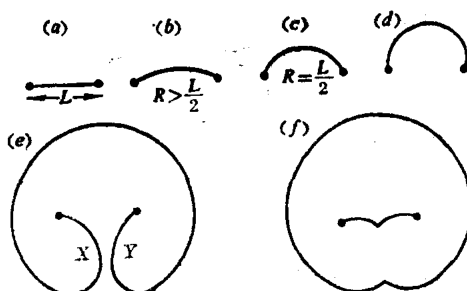


图 2-4

12. Frank-Read 位错源开动过程如图 2-4 中 a, b, c, d, e, f 所示, 位错源开动过程中所需的最大切应力_____。

- A. 对应于 b, 且正比于 L
- B. 对应于 c, 且正比于 L^{-1}
- C. 对应于 d, 且正比于 L^{-1}
- D. 对应于 e

13. 假设有一晶体的自由表面交截 Frank-Read 源, 自由表面恰好交截掉源的一半, 这个源仍然能产生位错, 则开动这个源所需的应力_____。