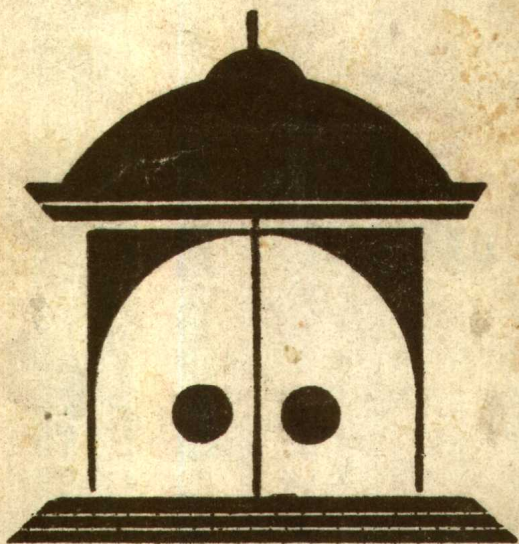


金属学 研究生入学 试题 选

杨紫霞 戴中兴

华中理工大学出版社



JINSHUXUE

华中理工大学出版社

内 容 简 介

本书精选了近年(1980~1985)来金属材料及热处理专业研究生入学的“金属学”试题,共200多题,并作了参考解。目的在于使学生弄清“金属学”中的一些基本概念,从而更牢靠地掌握其基本原理。与此同时,本书还选编了相当一部分需要深入思考的试题和实验题,以加深理解,提高解题能力。

本书是以报考金属材料及热处理、压力加工、铸造、焊接等热加工专业研究生的学生为主要对象,也可供有关专业的大学本科生、研究生、教师及科技工作者参考。

金 属 学

研究生入学试题选编
(附参考解)

杨紫霞 戴中兴 编
责任编辑 漆文琰

华中理工大学出版社出版发行
(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 6.25 字数: 121 000

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数: 1-3 000

ISBN 7-5609-0224-3/TG·6

定价: 1.28元

前 言

本书是将近几年(1980~1985)来金属材料及热处理专业研究生入学的“金属学”试题,根据历届考生存在的问题,并参照当前命题的主要教材《金属学原理》(北京钢铁学院刘国勋主编)及《金属学》(上海交通大学胡赓祥等主编)的系统,选编而成的。按内容将200多道题汇集成11章,对所有题目都作出了参考解。目的在于帮助考生在复习过程中澄清概念、巩固记忆、并启发考生深入思考,以加深理解,从而提高解题能力。

但愿本书对报考热加工专业研究生的青年同志们有所裨益。

在搜集试题的过程中,曾得到北京钢铁学院、浙江大学、山东工业大学、哈尔滨工业大学、华中理工大学、重庆大学等20多所兄弟院校的大力支持,编者在此表示深切的谢意。

全书由张以增教授主审。参加审稿的还有卢光熙教授、谢希文教授、赵子伟副教授、马泗春副教授、胡德林副教授、包永乾副教授、李明生副教授、崔明勋副教授等,编者在此一并致谢。

由于编者学识、能力所限,选编内容不当和谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1987.4.

目 录

第一章	金属及合金的晶体结构	(1)
	参考解	(6)
第二章	固态金属中的扩散	(22)
	参考解	(29)
第三章	金属的凝固	(50)
	参考解	(53)
第四章	二元相图及合金的凝固	(63)
	参考解	(69)
第五章	铁碳相图及碳钢	(84)
	参考解	(85)
第六章	三元相图	(91)
	参考解	(99)
第七章	金属晶体的缺陷	(110)
	参考解	(121)
第八章	金属及合金的塑性变形	(145)
	参考解	(151)
第九章	回复与再结晶	(168)
	参考解	(171)
第十章	固态相变	(179)
	参考解	(182)
第十一章	实验	(192)
	参考解	(193)
参考文献		(196)

第一章 金属及合金的晶体结构

1-1 填空

- (1) 体心立方结构最密排的晶向族为 $\langle 111 \rangle$ 。
- (2) 面心立方结构最密排的晶面族为 $\{111\}$ 。
- (3) 密排六方结构最密排的晶向族为 $\langle 11\bar{2} \rangle$ 。
- (4) 属于立方晶系的空间点阵有 FCC 、 BCC 、 SCC 三种。
- (5) 晶体中共有 14 种空间点阵，金刚石的晶体结构属于 FCC 空间点阵，每个晶胞中的原子数为 8 。
- (6) 对于立方晶系，晶面间距的计算公式为 $d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$ 。
- (7) 常见的密排六方金属中，轴比(c/a)接近于 1.633 的金属是 Mg 。
- (8) $\{110\}$ 晶面族包括 $\{110\}$ 、 $\{1\bar{1}0\}$ 、 $\{011\}$ 、 $\{0\bar{1}1\}$ 等晶面。
- (9) $\{h_1 k_1 l_1\}$ 和 $\{h_2 k_2 l_2\}$ 两晶面的晶带轴指数($u v w$)为 $u = k_1 l_2 - k_2 l_1$, $v = l_1 h_2 - l_2 h_1$, $w = h_1 k_2 - h_2 k_1$ 。
- (10) (110) 和 $(1\bar{1}0)$ 晶面的交线是 $[100]$ ，包含有 (112) 和 $(1\bar{1}2)$ 晶向的晶面是 $\{110\}$ 。
- (11) 面心立方、体心立方、密排六方晶胞的致密度分别为 0.74 、 0.68 、 0.74 。
- (12) 每个体心立方晶胞中的原子数为 2 ，其配位数为 8 ；每个面心立方晶胞中的原子数为 4 ，其配位数为 12 。
- (13) 在一定条件下，铜和铁素体的点阵常数分别为 a_{Cu} 和 a_{Fe} 。

0.362nm和0.286nm, 相应的原子直径为____和____。

(14) 间隙相的形成元素为____, 晶型为____, 例如____; 电子化合物的形成条件为____, 晶型为____, 例如____。

(15) 在正交晶系中, 晶轴的夹角之间的关系是____; 棱边的长度之间的关系是____。

(16) 电子浓度是指____之比, CuZn型超结构的电子浓度等于____, 属于____空间点阵。

(17) 面心立方结构每个晶胞中的八面体间隙数为____, 四面体间隙数为____。

(18) 置换固溶体固溶度的大小受(a)____, (b)____, (c)____, (d)____等因素所控制。

(19) 氯化钠和氯化铯的晶体结构分别属于____和____空间点阵。

(20) 填入适当的相结构名称, 碳钢中的铁素体为____, 高速钢中的VC为____, 不锈钢中的 $Cr_{13}C_6$ 为____, 高镍钢中的FeCr为____, 马氏体时效钢中的MoFe为____, 黄铜中的CuZn为____。

(21) Fe、Ti、Al、Mg、Cu按比重由大到小的顺序排列为____。

(22) 以Fe₃C为溶剂的固溶体称为____。

1-2 名词解释

- | | |
|-----------|------------|
| (1) 空间点阵; | (5) 中间相; |
| (2) 晶体结构; | (6) 间隙相; |
| (3) 晶带轴; | (7) 间隙固溶体; |
| (4) 固溶体; | (8) 有序度; |

(9) 超结构;

(10) 偏聚。

1-3 画出金属双原子结合力、结合能曲线的示意图,并用它简要说明下列问题:

(1) 常用金属在固态下原子总是趋于紧密排列的原因。

(2) 在压缩力、拉伸力作用下,金属弹性变形的实质。

1-4 用X射线测出铜、铁素体及锌的点阵常数分别为 0.362nm 、 0.286nm 及 0.266nm ,而锌的轴比 $c/a=1.86$ 。

(1) 写出上述三种金属的晶格类型。

(2) 从原子排列紧密程度等方面比较上述金属晶体的异同。

(3) 计算上述三种晶体的原子间距。

1-5 在立方晶系的晶胞中,画出 (111) 、 (112) 、 (011) 、 (123) 晶面和 $[111]$ 、 $[101]$ 、 $[11\bar{1}]$ 晶向。

1-6 试在一个立方晶胞中,画出 $[11\bar{1}]$ 晶向,并画出包含此晶向的 (011) 、 (112) 及 (123) 晶面。

1-7 试证明立方晶系的 (111) 晶向垂直于 (111) 晶面。

1-8 求 $[11\bar{1}]$ 和 $(20\bar{1})$ 两晶向所决定的晶面。

1-9 试证明理想密排六方结构的轴比 $c/a=1.633$ 。

1-10 绘图指出面心立方和体心立方晶体的 (100) 、 (110) 、及 (111) 晶面,并求其面间距;试分别指出两种晶体中,哪一种晶面的面间距最大?

1-11 试画出面心立方晶体中 (225) 晶面上的原子排列图。

1-12 列出六方晶系 $\{10\bar{1}2\}$ 晶面族中所有晶面的密勒指数,并绘出 $(10\bar{1}0)$ 、 $(11\bar{2}0)$ 晶面和 $[11\bar{2}0]$ 晶向。

1-13 若采用四轴坐标系标定六方晶体的晶向指数,应该有什么约束条件?为什么?

1-14 在立方晶系中, $(\bar{1}10)$ 、 $(\bar{3}11)$ 、 $(\bar{1}\bar{3}2)$ 晶面是否属于同一晶带? 如果是, 请指出其晶带轴; 并指出属于该晶带的任一其他晶面。

1-15 在正交点阵中, $(\bar{1}10)$ 、 $(\bar{1}\bar{3}2)$ 晶面是否属于同一晶带? 如果是, 请写出晶带轴。

1-16 立方晶系的 $\{111\}$ 晶面将构成一个八面体, 请列出所有这些晶面的密勒指数。

1-17

(1) 求面心立方结构中, 四面体间隙和八面体间隙的半径及其中心位置的坐标。

(2) 求体心立方结构中, 四面体间隙和八面体间隙的半径及其中心位置的坐标。

1-18 已知在 916°C 时, 铁的最近邻原子间距 $d_{\gamma-\text{Fe}} = 0.2578\text{nm}$, $d_{\alpha-\text{Fe}} = 0.2515\text{nm}$, 求

(1) $\gamma\text{-Fe}$ 和 $\alpha\text{-Fe}$ 在此温度时的原子体积(包括间隙)。

(2) 体积变化百分数。

1-19

(1) 铁素体和奥氏体都是碳在铁中的固溶体, 由于碳原子比铁原子小得多, 因此, 可以认为碳原子位于铁的晶体结构的间隙中, 形成间隙固溶体。若已知体心立方结构的填充系数为 0.68, 面心立方结构的填充系数为 0.74, 试问铁素体和奥氏体相比, 哪一个溶解的碳量较多?

(2) 经 X 射线测定, 铁和碳的原子半径分别为 $r_{\gamma\text{-Fe}} = 0.126\text{nm}$, $r_{\alpha\text{-Fe}} = 0.124\text{nm}$, $r_{\text{C}} = 0.077\text{nm}$, 对于钢球模型而言, 奥氏体和铁素体哪个溶解的碳量较多?

1-20 计算并回答下列问题

(1) 设原子为刚球, 其直径不因晶体结构的改变而变, 试计算从 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ 时的体积膨胀率?

(2) 用X射线测得 910°C 时 $\gamma\text{-Fe}$ 的点阵常数为 0.3633nm , $\alpha\text{-Fe}$ 的点阵常数为 0.2892nm , 试计算从 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$ 时的真实膨胀率?

(3) 由(1)和(2)的结果, 说明原子半径随配位数改变的规律。

1-21 已知镉、铟、锡、锑在银中的最大溶解度分别为42%、20%、12%、7% (原子), 试指出它们在银中的溶解度受什么因素控制? 为什么溶解度存在较大差别?

1-22 Mn_{13}C 钢为面心立方结构的单相固溶体, 已知其成分为 $\text{Mn}12.3\%$ (重量), $\text{C}1.34\%$ (重量), 点阵常数 $a=0.3642\text{nm}$, 比重 $\rho=7.83 \times 10^3\text{kg/m}^3$, 试证明碳原子的溶入均为间隙式 (各元素的原子量 $\text{C}=12$, $\text{Fe}=55.84$, $\text{Mn}=54.93$)。

1-23 计算和分析氢、氮、碳、硼在 $\alpha\text{-Fe}$ 和 $\gamma\text{-Fe}$ 中形成固溶体的形式、位置和溶解度。

各元素和固溶体的原子半径如下:

元素和固溶体	氢	氮	碳	硼	$\alpha\text{-Fe}$	$\gamma\text{-Fe}$
$r(\text{nm})$	0.046	0.071	0.077	0.091	0.124	0.126

1-24 指出 $\text{Fe}_{(s)}(\text{C})$ 、 $\text{Fe-2\%Si}$ 、 CuZn 、 Fe_3C 、 TiC 各是什么类型的合金相? 有什么特点? 并比较 $\text{Fe}_{(s)}(\text{C})$ 、 Fe_3C 、 TiC 的形成条件有什么不同?

参 考 解

1-1 填空

(1) $\langle 111 \rangle$

(2) $\{111\}$

(3) $\langle 11\bar{2}0 \rangle$

(4) 简单、体心、面心

(5) 14 面心立方 8个

(6) $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$

(7) Mg

(8) (110) 、 (101) 、 (011) 、 $(\bar{1}10)$ 、 $(\bar{1}01)$ 、 $(0\bar{1}1)$

(9) $u = \begin{vmatrix} k_1 & l_1 \\ k_2 & l_2 \end{vmatrix}, v = \begin{vmatrix} l_1 & h_1 \\ l_2 & h_2 \end{vmatrix}, w = \begin{vmatrix} h_1 & k_1 \\ h_2 & k_2 \end{vmatrix}$

(10) $\{001\}$ $(11\bar{1})$

(11) 74% 68% 74%

(12) 2 8 4 12

(13) $d_{c.c.} = 0.256 \text{ nm}$ $d_{a-a_c} = 0.2477 \text{ nm}$

(14) 过渡族金属和氢、氮、碳、硼等原子半径甚小的非金属元素 体心立方、面心立方、密排六方结构 VC为面心立方结构 电子浓度为一定值 $3/2$ 、 $7/4$ 、 $21/13$ 体心立方、复杂立方和密排六方结构 CuZn为体心立方结构

(15) $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$

(16) 合金中价电子数与原子数 $3/2$ 体心立方

(17) 4 8

(18) 组元的晶体结构 原子尺寸 化学亲和力 原子价

(19) 面心立方 简单立方

(20) 固溶体 间隙相 间隙化合物 拓扑密堆相中的 σ 相 拓扑密堆相中的拉弗斯相 电子化合物 β 相

(21) Cu、Fe、Ti、Al、Mg

(22) 合金渗碳体

1-2 名词解释

(1) 描述晶体排列的、具有相同环境的抽象几何点在三维空间有规则的排列。

(2) 晶体中原子或分子的具体排列情况。

(3) 所有平行于同一直线的晶面的全体称为晶带，这条直线就称为这个晶带的晶带轴。

(4) 溶质原子溶入溶剂中所形成的均一的结晶相。固溶体的晶体结构仍然保持溶剂的晶体结构。

(5) 两组元 A 和 B 组成合金时，除了可形成 A 或 B 为基的固溶体以外，当超过固溶体的溶解度时，还能形成晶体结构不同于该两组元的新相。新相可以有多种类型，但它们在二元相图上所处的位置总是在两个固溶体之间的部位，所以通常把这些合金相统称为中间相。

(6) 间隙相是过渡族金属与氢、氮、碳、硼等原子半径很小的非金属形成的化合物。它的晶体结构比较简单，金属原子往往处于点阵的正常位置，而非金属原子则处于点阵的间隙位置。间隙相的晶体结构与形成它的金属元素的晶体结构不同，并且这种化合物具有简单的分子式，如 M_4X 、 M_2X 、

MX等, 而且 $\frac{r_v}{r_M} < 0.59$ 。

(7) 有些元素如氢、氮、碳、硼、氧等原子, 其半径很小, 当这些元素的原子半径接近于溶剂晶体结构中某些间隙的大小时, 便可处于间隙位置, 形成间隙固溶体。

(8) 有序度是表征固溶体中溶质原子和溶剂原子有序分布的一个参量。通常以 S 表示。

$$S = \frac{v_B - X_B}{1 - X_B} = \frac{v_A - X_A}{1 - X_A}$$

式中,

v_B —— B 原子占据正确位置的几率;

v_A —— A 原子占据正确位置的几率;

X_B —— B 原子在固溶体中的原子百分数;

X_A —— A 原子在固溶体中的原子百分数。

(9) 在较高温度仍能保持短程有序的某些固溶体, 当其成分接近于一定的原子比 (如 AB 或 AB_3)、且温度降至某一临界温度以下时, 可能转变为长程有序结构。长程有序的固溶体在其 X 射线衍射图上会产生外加的衍射条纹, 称为超结构线, 所以, 有序固溶体通常称为超结构或超点阵。

(10) 若同类原子对 (AA 或 BB) 的结合强于异类原子对 (AB) 的结合时, 同类原子倾向于聚集在一起, 这种情况称为偏聚。

1-3 图1-1为双原子模型。曲线 1、2、3 分别表示引力、斥力、合力随原子间距 r 的变化情况。

当合力为零时, r_0 是两个原子的平衡间距。由结合能曲线可知, r_0 处的势能最低, 即处于平衡状态。

(1) 一般认为, 引力是由金属正离子和自由电子间的

库仑引力所产生，斥力是由正离子和正离子、电子和电子间的斥力所产生。引力力图使两原子互相接近，而斥力力图使两原子互相分离。金属原子间为金属键结合，即依靠电子云和正离子之间的库仑引力使之结合在一起，而趋向于紧密排列。

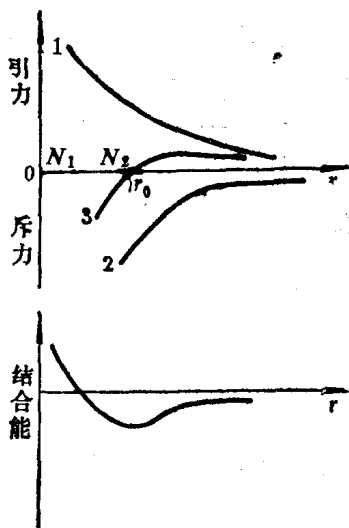


图 1-1

(2) 压缩和拉伸是克服相应的斥力和引力，使原子 N_1 达到新的平衡位置，产生原子间距的变化。当外力去除，由于原子间力的作用（曲线 3）原子又回到原来的平衡位置。这就是弹性变形的物理过程。所以弹性变形的实质是原子间结合力、结合能的标志。

1-4

- (1) 铜：面心立方结构；
- 铁素体：体心立方结构；
- 锌：密排六方结构。

(2) 原子排列特点

每个晶胞中原子位置如图1-2所示。

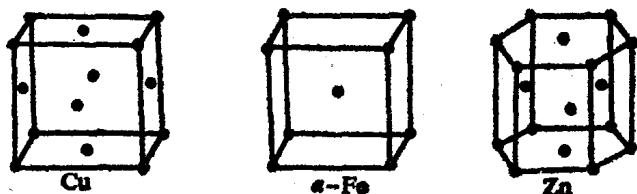


图 1-2

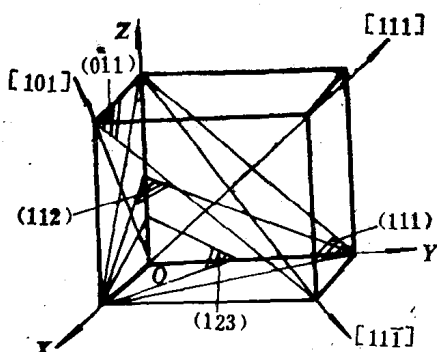


图 1-3

面心立方结构：每个晶胞中，原子数为 4，配位数为 12，致密度为 74%；

体心立方结构：每个晶胞中，原子数为 2，配位数为 8，致密度为 68%；

密排六方结构：每个晶胞中，原子数为 6，配位数为 6+6，致密度为 74%。

(3) 铜： $d = \frac{\sqrt{2}}{2} a = 0.2560 \text{ nm}$

铁素体： $d = \frac{\sqrt{3}}{2} a = 0.2477 \text{ nm}$

锌： $d = a = 0.266 \text{ nm}$ $c = 1.86a = 0.4948 \text{ nm}$

1-5 如图1-3所示。

1-6 如图1-4所示。

1-7 (111)晶向的矢量为

$$[111] = 1a + 1b + 1c$$

若两个矢量的点乘积为零，则两个矢量互相垂直。今取 (111) 面上的任一矢量，例如 $(\bar{1}01)$ ，现求其与 (111) 矢量的点乘积

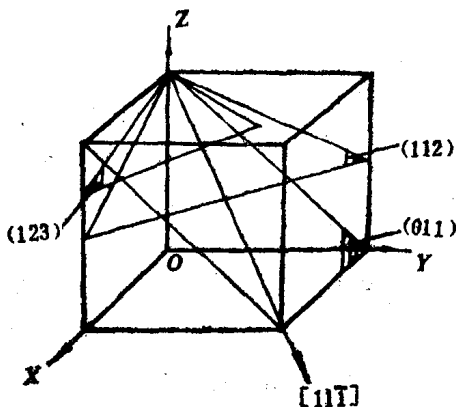


图 1-4

$$[111] \cdot (\bar{1}01) = [1 \times (-1)]a^2 + (1 \times 0)b^2 + (1 \times 1)c^2$$

由于立方晶系中的 $|a| = |b| = |c|$ 代入上式，即得 (111) 与 $(\bar{1}01)$ 垂直。

由此证明， (111) 与 $(\bar{1}01)$ 两者互相垂直。

1-8 因为 $h:k:l = \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 0 \end{vmatrix} = -1 : -1 : -2$

所以 $(11\bar{1})$ 和 $(20\bar{1})$ 两晶向所决定的晶面为 $(\bar{1}\bar{1}2)$ 。

1-9 已知密排六方晶胞内部的原子与端面原子间的关系如图 1-5 所示。图中上、下两个等边三角形的高为 S ，可算

出 $S = \sqrt{\frac{3}{4}} a$ ，而上、下端面中每个原子

与中心原子的距离 d 为

$$d = \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + \left(\frac{2s}{3}\right)^2} = \sqrt{\frac{c^2}{4} + \frac{a^2}{3}}$$

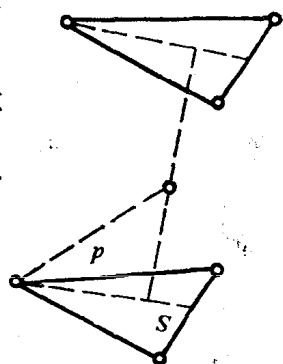


图 1-5

在理想密排六方结构中，同一晶面上最近邻原子和相邻晶面上最近邻原子间的距离应相等，即 $d = a$ ，

$$a^2 = \frac{c^2}{4} + \frac{a^2}{3}, \quad \frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1.633$$

1-10 如图 1-6 所示。

在面心立方晶体中

$$d_{(100)} = \frac{a}{2\sqrt{1^2 + 0 + 0}} = 0.5a$$

$$d_{(110)} = \frac{a}{2\sqrt{1^2 + 1^2 + 0}} = 0.3536a$$

$$d_{(111)} = \frac{a}{\sqrt{1^2+1^2+1^2}} = 0.5774a$$

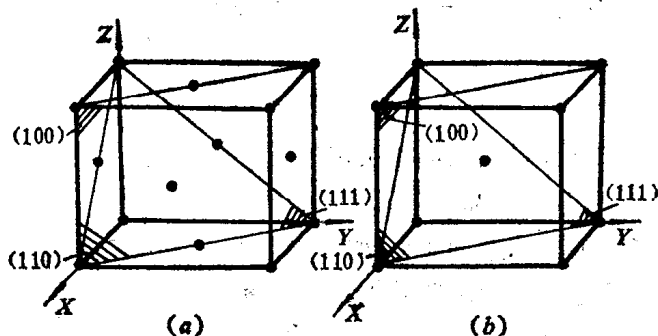


图 1-6

(a) 面心立方结构 (b) 体心立方结构

由上式可知，在面心立方晶体中，面间距最大的晶面是 $\{111\}$ 。

在体心立方晶体中

$$d_{(100)} = \frac{a}{2\sqrt{1^2+0+0}} = 0.5a$$

$$d_{(110)} = \frac{a}{\sqrt{1^2+1^2+0}} = 0.7071a$$

$$d_{(111)} = \frac{a}{2\sqrt{1^2+1^2+1^2}} = 0.2887a$$

可见，在体心立方晶体中，面间距最大的晶面是 $\{110\}$ 。

1-11 (225)晶面上的原子排列规律：

(225)晶面在各坐标上的截距分别为 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{5}$ ，同时扩

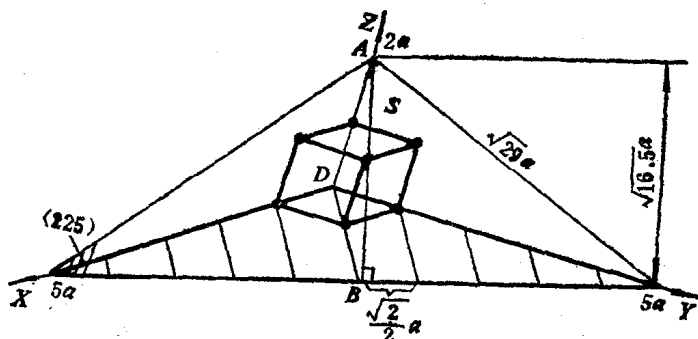


图 1-7

大10倍，则为5、5、2，此面如图1-7所示。

由几何计算得A、B之间的距离S为

$$S = \sqrt{(\sqrt{29}a)^2 - \left(5 \times \frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2} = \sqrt{16.5}a$$

所以，原子的排列如图1-8所示。

1-12 $\{10\bar{1}2\}$ 晶面的密勒指数为 $(10\bar{1}2)$ 、 $(\bar{1}012)$ 、 $(0\bar{1}12)$ 、 $(01\bar{1}2)$ 、 $(\bar{1}102)$ 、 $(1\bar{1}02)$ 。

要求绘出的晶面和晶向如图1-9所示。

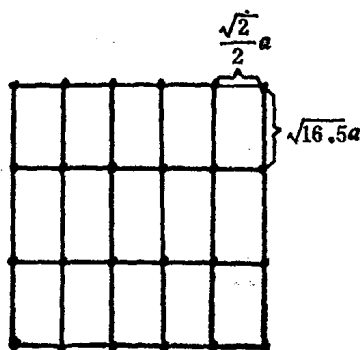


图 1-8

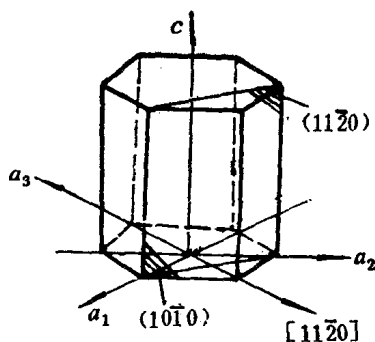


图 1-9