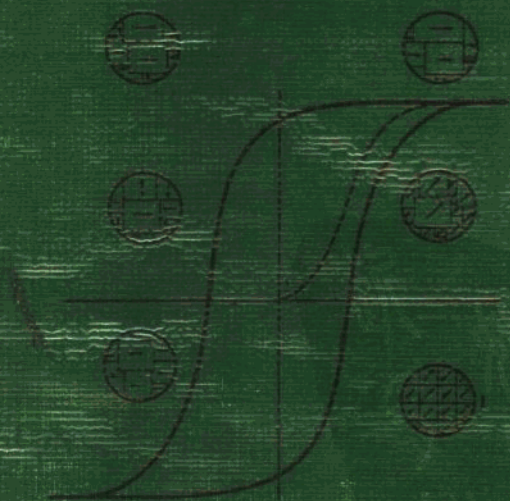


材料科學問題詳解

上 冊

THE SCIENCE AND ENGINEERING OF MATERIALS

DONALD R. ASKELAND



曉園出版社

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，晚園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。晚園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

材料科學問題詳解

(上册目錄)

第一章	材料概論.....	1
第二章	原子結構.....	3
第三章	原子排列.....	13
第四章	原子排列中的缺陷.....	45
第五章	材料內的原子運動.....	63
第六章	機械試驗與機械性質.....	81
第七章	固化與晶粒尺寸強化.....	101
第八章	固化與固溶強化.....	119
第九章	變形、應力硬化及蠕變.....	137
第十章	固化與散佈強化.....	155
第十一章	利用相變態與熱處理產生散佈強化.....	179

第一章 材料概論

1. Al_2O_3 固體強度高、堅硬且耐磨，為何不用 Al_2O_3 作為製造鐵鎚的材料？

解 因為 Al_2O_3 的耐震性不佳，且脆性較高故不適合做鐵鎚的材料。

2. 聚乙烯是一種價廉的材料，也容易成型。為何不用聚乙烯作紙夾？

解 因為聚乙烯的強度較低，不適合做紙夾。

3. 將下列材料依金屬、陶屬、聚合物或複合材料作區分。

黃銅 氯化鈉 環氧樹脂 混凝土 鋼筋混凝土 鉛-錫鉛料 鎂合金
金 玻璃纖維 橡膠 瀝青 碳化矽 石墨

解 金屬有黃銅、鉛-錫鉛料、鎂合金。

陶屬有氯化鈉、碳化矽、石墨。

聚合物有環氧樹脂、橡膠、瀝青。

複合材料有混凝土、鋼筋混凝土及玻璃纖維。

4. 作為下列的應用，在選材時，何種機械性質或物理性質最為重要？

汽車的曲柄軸 精煉廠傳輸熱氣體與流體的管路 可處理的飲料用罐
在精煉中容納液態銅的爐襯 汽車的車軸 燈泡內的燈絲

汽車的擋風玻璃 剪刀 電視機的螢幕

解 汽車的曲柄軸的疲勞壽命最為重要。

精煉廠傳輸熱氣體的流體管路耐高溫（潛變）的性質最為重要。

可處理的飲料用罐及在精煉中容納液態銅的爐襯的導熱性要極低。

汽車的車軸的抗拉強度要高以承受車的載重。

燈泡內的燈絲的熔點需高，其發光力要強。

汽車的擋風玻璃的光的穿透性要強。

剪刀的刀刃的硬度要強。

電視機的螢幕光學的顏色及其他穿透性各種光學特性極重要。

5. 略述可用來生產下列產品的材料製造技術之種類。

汽車引擎之外殼 磚 紙夾 扳手 合板 塑膠玩具
塑膠水管 鋼質傳送齒輪

解 汽車引擎的外殼用鑄造法製造。

磚是利用燒結法製造的。

紙夾是利用彎曲成型製造的。

扳手用鑄造法成型再由熱處理得高強度。

合板是利用膠黏鍵結接合製造而成。

塑膠玩具是利用塑模製造而成的。

塑膠水管是利用旋彎成型及擠製、真空成型等製造而成。

鋼質傳送齒輪是利用切削、熱處理之機械加工製造而成。

6. 鑄造是否為生產下列材料與產品之良好方式？若鑄造並非良好的選擇，請解釋其原因。

鋁 鈹 鎢 鈦 氧化鋁 碳化矽 玻璃 鋁箔

解 鋁、鈹、鈦可用鑄造生產。

鎢、氧化鋁及碳化矽的熔點太高，不適合鑄造

玻璃不希望其中產生氣泡，故鑄造亦不佳。

鋁箔希望很薄，故軋製是更好的方法。

第二章 原子結構

1. 鎂的原子序為 12，它共有三種同位素：78.7 % 的 Mg 原子含有 12 個中子，10.13 % 含有 13 個中子，11.17 % 含有 14 個中子。試求鎂的原子量。

$$\begin{aligned}\text{解 } M &= 0.787 \times (12 + 12) + 0.1013 \times (12 + 13) + 0.1117 \\ &\quad \times (12 + 14) \\ &= 24.3247 \text{ g/g}\cdot\text{mole}\end{aligned}$$

2. 鉻的原子序為 24，它共有四種同位素：4.31 % 的 Cr 原子含有 26 個中子，83.76 % 含有 28 個中子，9.55 % 含有 29 個中子，且 2.38 % 含有 30 個中子。試求鉻的原子量。

$$\begin{aligned}\text{解 } M &= 0.0431 \times (24 + 26) + 0.8376 \times (24 + 28) + 0.0955 \\ &\quad \times (24 + 29) + 0.0238 \times (24 + 30) \\ &= 52.0569 \text{ g/g}\cdot\text{mole}\end{aligned}$$

3. 鎵的原子序為 31，原子量為 $69.72 \text{ g/g}\cdot\text{mole}$ ，它共有二種同位素 Ga^{69} 與 Ga^{71} ，試求各種鎵的同位素之含量百分比。

$$\begin{aligned}\text{解 } M &= 69.72 = 69 \times x + 71 \times (1 - x) \\ \Rightarrow x &= \frac{71 - 69.72}{2} = 0.64 = 64\% \\ 1 - x &= 0.36 = 36\% \\ \text{故 } \text{Ga}^{69} &\text{ 佔 } 64\%, \text{Ga}^{71} \text{ 佔 } 36\%.\end{aligned}$$

4. 銅的原子序為 29，原子量為 $63.54 \text{ g/g}\cdot\text{mole}$ ，它共有二種同位素 Cu^{63} 與 Cu^{65} ，試求各種銅的同位素之含量百分比。

$$\begin{aligned}\text{解 } M &= 63.54 = 63 \times x + 65 \times (1 - x) \\ \Rightarrow x &= \frac{65 - 63.54}{2} = 0.73 = 73\%\end{aligned}$$

$$1 - x = 0.27 = 27\%$$

故 Cu^{63} 佔 73%， Cu^{65} 佔 27%。

5. 一原子的 N 殼中最多能容納多少個電子？如果一元素的 K 、 L 、 M 及 N 殼中的所有能階都正好填滿，則該元素的原子序為何？

解 N 殼中電子最多有 $2 + 6 + 10 + 14 = 32$ 個

K 、 L 、 M 、 N 殼中電子共有

$$2 + 8 + 18 + 32 = 60 \text{ 個}$$

故原子序為 60。

6. 一原子的 O 殼中最多能容納多少個電子？如果一元素的 K 、 L 、 M 、 N 及 O 殼中的所有能階正好填滿，則該原子的原子序為何？

解 O 殼中電子最多有 $2 + 6 + 10 + 14 + 18 = 50$ 個

K 、 L 、 M 、 N 、 O 殼中電子共有

$$2 + 8 + 18 + 32 + 50 = 110 \text{ 個}$$

故原子序為 110。

7. 銦的原子序為 49，除了 $4f$ 能階之外其他的內部能階都已填滿。試由原子結構來決定出銦的價數。

解	$1s$	$2s$	$2p$	$3s$	$3p$	$3d$	$4s$	$4p$	$4d$	$4f$	$5s$	$5p$
銦	2	2	6	2	6	10	2	6	10	×	2	1
	$K: 2$											
	$L: 8$											
	$M: 18$											
	$+ N: 18$											
	46											

故尚存 3 個電子排入 $5s$ 及 $5p$ ，故知銦的價數為 3。

8. 鉍的原子序為 78，它在 $5d$ 能階中只有 9 個電子，並且在 $5f$ 能階中沒有電子，請問在鉍的 $6s$ 能階中有幾個電子？

解 鉑

$$5s \quad 5p \quad 5d \quad (5f=0)$$

$$K : 2$$

$$O : 2 + 6 + 9 = 17$$

$$L : 8$$

$$M : 18$$

$$N : 32$$

$$60$$

$$60 + 17 = 77$$

而鉑的原子序為 78, ($78 - 77 = 1$) 故知尚有一個電子存入 $6s$ 能階中。

9. 不參照週期表而逕由電子結構來判定原子序為 54 的元素是強陰電性、強正電性，抑或是惰性。注意， $4f$ 能階內沒有電子。

解

	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p
	2	2	6	2	6	10	2	6	10	0	2	6
累計	2	4	10	12	18	28	30	36	46		48	54

原子序 54 恰填滿 $5s$ 及 $5p$ 軌域，故知其為惰性。

10. 對於原子序為 35 的元素，重做第 9 題。注意，所有的內部能階均已填滿。

解

	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p
	2	2	6	2	6	10	2	5
累計	2	4	10	12	18	28	30	35

原子序 35 時 $4p$ 尚缺 1 電子即填滿，故知其為強陰電性。

11. 對於原子序為 20 的元素，重做第 9 題。注意， $3d$ 能階內沒有電子。

解

	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p
	2	2	6	2	6	0	2	0
累計	2	4	10	12	18	18	20	

原子序 20 填滿 $4s$ 軌域而 $4p$ 軌域中沒有電子，故為強正電性。

12. 你認為鉑與銣何者較穩定？說明你的理由。

解 銣較活潑，即銣較穩定。因為鉑較銣在 $4d$ 軌域中多了 5 個電子可吸

助維繫價電子於核心附近。

13. 銀與金的結構類似，你認為何者較穩定？說明你的理由。

解 金較穩定。

因金填滿了 $4d$ 、 $4f$ 及 $5f$ 軌域而銀僅填滿了 $4d$ 軌域對於維繫價電子於核心附近的能力，金較強，故金較穩定。

14. 請問 100 g 的鋁中共有多少原子？如果所有的價電子都能攜帶一單位電荷，試求 100 g 的鋁中有多少這種電荷載體 (carriers)？

$$\text{解 } N = \frac{m}{M} \times N_A = \frac{100}{26.98} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$= 2.2313 \times 10^{24} \text{ 個原子}$$

鋁每個原子有三個價電子。故共有

$$3 \times 2.2313 \times 10^{24}$$

$$= 6.6939 \times 10^{24} \text{ 個電荷載體。}$$

15. 假設 100 g 的矽中有 5×10^{10} 個電子能自由運動。(a)能自由運動的電子佔價電子總數的比例為何？(b)必須破壞的共價鍵之比例為何？(平均而言，每一個原子有一共價鍵而每一共價鍵有二個電子)。

$$\text{解 原子數} = \frac{m}{M} \times N_A = \frac{100}{28.09} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$= 2.1431 \times 10^{24} \text{ 個}$$

$$\text{價電子數} = 4 \times \text{原子數} = 4 \times 2.1431 \times 10^{24}$$

$$= 8.5724 \times 10^{24} \text{ 個}$$

$$(a) \text{ 比例} = \frac{5 \times 10^{10}}{8.5724 \times 10^{24}} = 5.833 \times 10^{-15}$$

$$(b) \text{ 共價鍵共有 } 2.1431 \times 10^{24} \text{ 個}$$

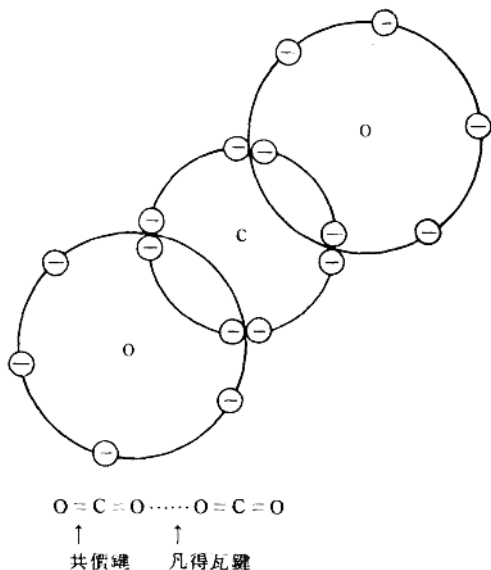
$$\text{須破壞之共價鍵數為 } \frac{5 \times 10^{10}}{2} = 2.5 \times 10^{10} \text{ 個}$$

$$\text{故比例} = \frac{2.5 \times 10^{10}}{2.1431 \times 10^{24}} = 1.168 \times 10^{-14}$$

16. 繪出一個類似圖 2-9 或圖 2-12 的圖形，來說明你所認為的二氧化

碳 (CO_2) 之原子排列與鍵結。注意，原子間的鍵結可能有一個以上的共價鍵。

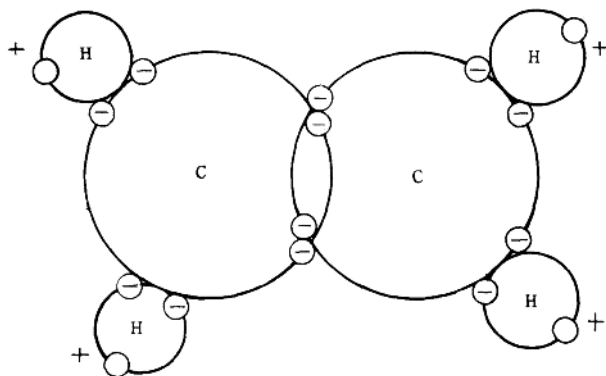
解



碳四周共有四個共價鍵，氧有兩個共價鍵，故每個碳周圍接著兩個氧，每個二氧化碳之間靠凡得瓦鍵維持。每一個二氧化碳之 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ 成線性排列。

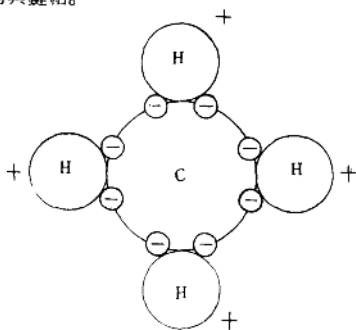
17. 繪出一個類似圖 2-9 或圖 2-12 的圖形，來說明你所認為的乙烯 (C_2H_4) 之原子排列與鍵結。

解 分子間靠凡得瓦鍵維持，成平面結構。每個 C 有四個共價鍵，每個 H 有一個共價鍵。



18. 繪出一個類似圖 2-9 或圖 2-12 的圖形，來說明你所認為的甲烷(CH_4)之原子排列與鍵結。

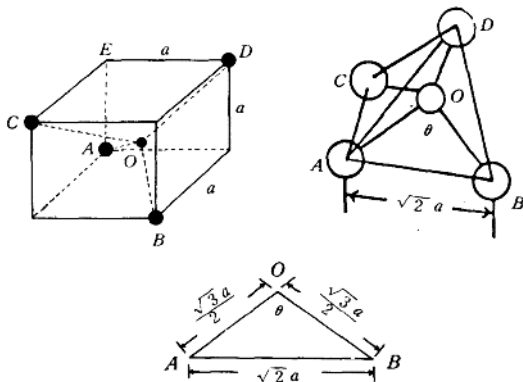
解



分子間靠凡得瓦鍵維持，分子為四面體結構，C 有四個共價鍵，每個 H 有一個共價鍵。

19. 試求矽的四面體結構中兩共價鍵間正確的夾角。

解



$$AB = \sqrt{2}a$$

$$\begin{aligned} OA = OB &= \frac{1}{2} \times \text{對角線長} = \frac{1}{2} BE \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2}a \end{aligned}$$

應用餘弦定律於 $\triangle OAB$ 。

$$(\sqrt{2}a)^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a\right)^2 - 2\left(\frac{\sqrt{3}}{2}a\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}a\right)\cos\theta$$

$$\Rightarrow \cos\theta = \frac{2 - \frac{3}{4} - \frac{3}{4}}{-2 \times \frac{3}{4}} = -\frac{1}{3}$$

$$\Rightarrow \theta = 109^\circ 28'$$

20. 除了矽之外，你認為那些元素也具有相同的四面體結構。

解 碳、鎢、錫、鉛與矽相同，同為 IVA 族，具有四個價電子，也具有四面體結構。

21. 當鎂與硫做離子性結合時，所形成的化合物之化學式為何？

解 為 MgS 。

因為Mg有2個價電子，易失去2個電子。硫有6個價電子，易獲得2個電子。

22. 當鉍氧化時，所形成的離子性化合物之化學式為何？

解 為BeO。

因鉍有兩個價電子，易失去2個電子。氧有六個價電子，易獲得2個電子。

23. 當鎂與氟反應時，所形成的離子性化合物之化學式為何？

解 為 MgF_2 。

因為鎂有2個價電子易失去2個電子。

氟有7個價電子易獲得1個電子。

24. 當鋅氧化時，所形成的離子性化合物之化學式為何？

解 ZnO 。

因為鋅有2個價電子，易失去2個電子。

氧有6個價電子，易獲得2個電子。

25. 離子化合物NaCl受到一外加電壓作用時，你認為 Na^+ 離子或 Cl^- 離子何者能輕易地在晶體內移動，或不易移動？說明你的理由。

解 Na^+ 及 Cl^- 都不易移動，因為整個離子的運動不及電子移動來得容易。

但單就 Na^+ 與 Cl^- 二者比較，則因為 Na^+ 之半徑小，質量輕，而較 Cl^- 容易移動。

26. 有時硫的行為像6價的元素，而有時却像4價元素。請解釋這種行為的原因。

解 硫的最外層軌域為 $3s^2 3p^4$ 與氫結合成 H_2S 時硫接受2個電子，因硫外層有6個價電子故為6價。

與氧結合時產生 SO_2 ，此時硫供給4個電子，因硫外層 $3p^4$ 的電子能階提昇至 $3d^4$ 而形成外層僅4個電子，故為4價。

27. 圖 2-18 繪示三種材料——金屬、離子晶體與以 Van der Waals 鍵結合的材料之能量-距離曲線 (energy-separation curves)。試指出三條曲線各代表何種材料。

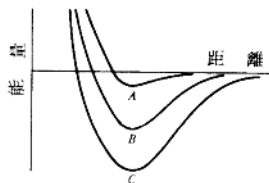


圖 2-18 習題 2-27 的能量——距離曲線

- 解 A 曲線束縛能最小為凡得瓦鍵材料。
 B 曲線束縛能中等為金屬鍵材料。
 C 曲線束縛能最大為離子鍵材料。

第三章 原子排列

1. FCC 鋁的原子半徑為 $1.243 \text{ \AA}$ 。試求鋁的(a)晶格參數及(b)密度。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad a_0 &= \frac{4r}{\sqrt{2}} = \frac{4 \times 1.243 \text{ \AA}}{\sqrt{2}} \\ &= 3.516 \text{ \AA} = 3.516 \times 10^{-8} \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b)} \quad \rho &= \frac{4 \times M}{a_0^3 \times N_A} = \frac{4 \times 58.71}{(3.516 \times 10^{-8})^3 \times 6.02 \times 10^{23}} \\ &= 8.977 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

2. BCC 鎢的原子半徑為 $1.371 \text{ \AA}$ 。試求鎢的(a)晶格參數及(b)密度。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad \text{(a)} \quad a_0 &= \frac{4r}{\sqrt{3}} = \frac{4 \times 1.371 \text{ \AA}}{\sqrt{3}} \\ &= 3.1662 \text{ \AA} = 3.1662 \times 10^{-8} \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b)} \quad \rho &= \frac{2M}{a_0^3 N_A} = \frac{2 \times 183.85}{(3.1662 \times 10^{-8})^3 \times 6.02 \times 10^{23}} \\ &= 19.244 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

3. BCC 鉬的晶格參數為 $3.1468 \text{ \AA}$ 。試求鉬的原子半徑。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad a_0 &= \frac{4r}{\sqrt{3}} \\ \Rightarrow r &= \frac{\sqrt{3}}{4} a_0 = \frac{\sqrt{3}}{4} \times 3.1468 \text{ \AA} \\ &= 1.3626 \text{ \AA} \\ &= 1.3626 \times 10^{-8} \text{ cm} \end{aligned}$$

4. FCC 金的晶格參數為 $4.0786 \text{ \AA}$ 。試求金的原子半徑。

$$\text{解} \quad a_0 = \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow r &= \frac{\sqrt{2}}{4} a_0 = \frac{\sqrt{2}}{4} \times 4.0786 \text{ \AA} \\ &= 1.422 \text{ \AA} \\ &= 1.422 \times 10^{-8} \text{ cm}\end{aligned}$$

5. 鉻的晶格參數是 $2.8844 \text{ \AA}$ ，密度為 7.19 g/cm^3 。試由適當的計算來決定鉻的結構是 SC, BCC 或 FCC。

$$\begin{aligned}\text{解 } \rho &= \frac{n \times M}{(a_0)^3 \times N_A} \\ \Rightarrow n &= \frac{\rho a_0^3 N_A}{M} = \frac{7.19 \times (2.8844 \times 10^{-8})^3 \times 6.02 \times 10^{23}}{52} \\ &= 1.9975 \div 2 \\ &\text{故爲 BCC 結構。}\end{aligned}$$

6. 鈹的晶格參數是 $3.8902 \text{ \AA}$ ，密度為 12.02 g/cm^3 。試由適當的計算來決定鈹的結構是 SC, BCC 或 FCC。

$$\begin{aligned}\text{解 } \rho &= \frac{n \times M}{a_0^3 N_A} \\ \Rightarrow n &= \frac{\rho a_0^3 N_A}{M} = \frac{12.02 \times (3.8902 \times 10^{-8})^3 \times 6.02 \times 10^{23}}{106.4} \\ &= 4.0038 \div 4 \\ &\text{故爲 FCC 結構。}\end{aligned}$$

7. 鎳具有面心斜方結構，其中每個格子點有二個原子。其晶格參數為 $a_0 = 4.526 \text{ \AA}$ ， $b_0 = 4.520 \text{ \AA}$ ， $c_0 = 7.660 \text{ \AA}$ ，原子半徑為 $1.218 \text{ \AA}$ 。試求鎳的(a)晶格參數及(b)密度。

$$\begin{aligned}\text{解 (a) 晶格參數即爲 } a_0 &= 4.526 \text{ \AA} \\ b_0 &= 4.520 \text{ \AA} \\ c_0 &= 7.660 \text{ \AA} \\ \text{堆積因子} &= \frac{4 \times \left(2 \times \frac{4}{3} \pi r^3\right)}{(a_0 \times b_0 \times c_0)} = \frac{8 \times \frac{4}{3} \pi \times (1.218 \text{ \AA})^3}{(4.526 \text{ \AA}) \times (4.52 \text{ \AA}) \times (7.66 \text{ \AA})}\end{aligned}$$