

陶瓷材料概論

上 冊

W. D. 金格里 等著
陳 皇 鈞 譯



曉 園 出 版 社
世 界 圖 書 出 版 公 司

陶瓷材料概論

上册

W. D. 金格里 等著
陳 皇 鈞 譯

曉園出版社
世界图书出版公司
北京·广州·上海·西安

陶瓷材料概論

下 冊

W. D. 金格里 等著

陳 皇 鈞 譯

曉 園 出 版 社

世界圖書出版公司

北京·廣州·上海·西安

陶瓷材料概论 上册

W. D. 金格里 等著

陈皇钧 译

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所行 各地新华书店经售

*

1995 年 5 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1995 年 5 月第一次印刷 印张: 18

印数: 0001-500 字数: 40 万字

ISBN: 7-5062-1835-6/T·6

定价: 30.00 元 (WB9409/1835)

世界图书出版公司向台湾晓园出版社购得重印权限国内发行

陶瓷材料概论 下册

W. D. 金格里 等著

陈皇钧 译

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所行 各地新华书店经售

*

1995 年 5 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1995 年 5 月第一次印刷 印张: 13.5

印数: 0001—500 字数: 30 万字

ISBN: 7-5062-1836-4/T·7

定价: 23.00 元 (WB9409/1836)

世界图书出版公司向台湾晓园出版社购得重印权限国内发行

譯 序

隨著科技進步，材料在一切工業上的重要性日益提高；為能充分利用材料的性能，以適應各項工業需要，工程師對所採用的材料必須有深入認識與體驗。陶瓷是繼金屬、塑膠之後的第三材料，也是建立高科技時代的新材料盟主。太空梭能自由進出大氣層，是拜陶瓷隔熱片之賜；現在，甚至連引擎、骨骼、牙齒等均可用陶瓷來製造。俗話說：「萬丈高樓平地起」，工程師與科學家欲瞭解陶瓷的奧秘，進而設計或發覺更優秀而有用的陶瓷，非得先具備紮實的基礎知識不可。

W. D. Kingery 等三人合著的這本「陶瓷材料概論」堪稱是經典之作，早經國內外各大學採為教材。原書由基礎原理開始，針對陶瓷的構造、性質及應用做深入淺出的說明。全書內容之豐富，讀者從目錄就可見一斑，在此不予贅述。然原書各章列論詳實，尤其多了原著者積畢生精力之研究成果，實不愧為一本難得的好教材。

譯者不揣謏陋，以公餘時間，歷一年又三月有餘將原書譯成中文，期以為國人所用。書中的專有名詞，皆以教育部頒訂之「材料科學名詞」為憑，不足者及新名詞才參酌國內出版之中文書籍和期刊。

承蒙晚園出版社鼎力協助，本書得以順利出版，於此致上萬分謝忱。由於原書厚達千餘頁，為讓本書及早和讀者見面，於今先出上冊，下冊可望在明年三月出版。本書編校雖力求完美，然譯者才疏學淺，誤謬之處必不可免。尚祈各位專家、先進不吝指正，是幸。

陳皇鈞 謹誌

1987, 11, 1 於台北

第二版序

自第一版發行迄今，不覺中已過了近十五年，我們很慶幸，在這段時間裡，本書的內容和解說方式普遍為大家所接受。然由於近年來在新陶瓷製品與新製程的認識、控制及開發等方面均有長足進展，我們不得不修訂本書，並介紹很多新的題材。

這些新進展包括：對非晶質固體的結構與結構缺陷的特性有深一層瞭解；對表面與界面的本質有較深入的認識；確認旋節分解是正統成核的一種替代方式；確認相分離是一種很普遍的現象；玻陶材料被開發出來；對燒結現象的若干細節有更清楚的認識；掃描式及穿透式電子顯微鏡被開發出來，用以觀察顯微組織；對破壞應力與熱應力有充分的瞭解；以及新開發的各式各樣的電子、介電及磁性陶瓷。以上這些新進展所涵蓋範圍之廣大，其實已超出一位教科書作者的能力限度。

由於物理陶瓷學的題材增多，又逢最近有許多談論陶瓷製造方法的書籍出版 [F. N. Norton, *Fine Ceramics*, McGraw-Hill, New York (1970); F. H. Norton, *Refractories*, McGraw-Hill, New York (1961); F. H. Norton, *Elements of Ceramics*, second ed., Addison Wesley Publ. Co. (1974); F. V. Tooley, ed., *Handbook of Glass Manufacture*, 2 Vols., Ogdan Publ. Co. (1961); A. Davidson, ed., *Handbook of Precision Engineering*, Vol. 3, *Fabrication of Non-Metals*, McGraw-Hill Publ. Co. (1971); *Fabrication Science*, Proc. Brit. Ceram. Soc., No. 3 (1965); *Fabrication Science*, 2, Proc. Brit. Ceram. Soc., No. 12 (1969); Institute of Ceramics Textbook Series: W. E. Worrall, 1: *Raw Materials*; F. Moore, 2: *Rheology of Ceramic Systems*; R. W. Ford, 3: *Drying*; W. F. Ford, 4: *The Effect of Heat on Ceramics*, Maclaren & Sons, London (1964-1967), *Modern Glass Practice*, S. R. Scholes, rev. C. H. Green, Cahnners (1974)]，我們不得不汰舊換新，把第一版中與製造方法有關的論述刪除。只是很遺憾，目前尚無一本專門討論陶瓷製造方法而較完備的教科書，可推薦給讀者。

目前，人們對原子層次和簡單的相之組合體的結構已研究到一極高的境界（本書不擬詳細介紹，因為這已超出本書範圍），但還是有很多大家都感興趣的領域才剛起步不久。其中之一是（就陶瓷學而言，可能是最重要的一個），氧化物系統中

的晶格缺陷及雜質和差排、材料表面、晶界之間的交互作用。其次是，原子（或分子）的規律化及集結化對陶瓷固溶體及玻璃結構的安定性之影響。第三個則是以鑑別在多相多元系統中所發現的複雜顯微組織之方法（不單是用簡單的模型去評估）。除這些外，本書也討論另一些新開發的陶瓷學領域。我們殷切期望，本書所帶給讀者的不僅是書中現有的知識，應該還包括對讀者更進一步擴充這些知識的鼓勵作用在內。

W. D. KINGERY
H. K. BOWEN
D. R. UHLMANN

譯 序

隨著科技進步，材料在一切工業上的重要性日益提高；為能充分利用材料的性能，以適應各項工業需要，工程師對所採用的材料必須有深入認識與體驗。陶瓷是繼金屬、塑膠之後的第三材料，也是建立高科技時代的新材料盟主。太空梭能自由進出大氣層，是拜陶瓷隔熱片之賜；現在，甚至連引擎、骨骼、牙齒等均可用陶瓷來製造。俗話說：「萬丈高樓平地起」，工程師與科學家欲瞭解陶瓷的奧秘，進而設計或發覺更優秀而有用的陶瓷，非得先具備紮實的基礎知識不可。

W. D. Kingery 等三人合著的這本「陶瓷材料概論」堪稱是經典之作，早經國內外各大學採為教材。原書由基礎原理開始，針對陶瓷的構造、性質及應用做深入淺出的說明。全書內容之豐富，讀者從目錄就可見一斑，在此不予贅述。然原書各章列論詳實，尤其多了原著者積畢生精力之研究成果，實不愧為一本難得的好教材。

譯者不揣謏陋，以公餘時間，歷一年又三月有餘將原書譯成中文，期以為國人所用。書中的專有名詞，皆以教育部頒訂之「材料科學名詞」為憑，不足者及新名詞才參酌國內出版之中文書籍和期刊。

承蒙晚園出版社鼎力協助，本書得以順利出版，於此致上萬分謝忱。由於原書厚達千餘頁，為讓本書及早和讀者見面，於今先出上冊，下冊可望在明年三月出版。本書編校雖力求完美，然譯者才疏學淺，誤謬之處必不可免。尚祈各位專家、先進不吝指正，是幸。

陳皇鈞 謹誌

1987, 11, 1 於台北

第二版序

自第一版發行迄今，不覺中已過了近十五年，我們很慶幸，在這段時間裡，本書的內容和解說方式普遍為大家所接受。然由於近年來在新陶瓷製品與新製程的認識、控制及開發等方面均有長足進展，我們不得不修訂本書，並介紹很多新的題材。

這些新進展包括：對非晶質固體的結構與結構缺陷的特性有深一層瞭解；對表面與界面的本質有較深入的認識；確認旋節分解是正統成核的一種替代方式；確認相分離是一種很普遍的現象；玻璃材料被開發出來；對燒結現象的若干細節有更清楚的認識；掃描式及穿透式電子顯微鏡被開發出來，用以觀察顯微組織；對破壞應力與熱應力有充分的瞭解；以及新開發的各式各樣的電子、介電及磁性陶瓷。以上這些新進展所涵蓋範圍之廣大，其實已超出一位教科書作者的能力限度。

由於物理陶瓷學的題材增多，又逢最近有許多談論陶瓷製造方法的書籍出版 [F. N. Norton, *Fine Ceramics*, McGraw-Hill, New York (1970); F. H. Norton, *Refractories*, McGraw-Hill, New York (1961); F. H. Norton, *Elements of Ceramics*, second ed., Addison Wesley Publ. Co. (1974); F. V. Tooley, ed., *Handbook of Glass Manufacture*, 2 Vols., Ogden Publ. Co. (1961); A. Davidson, ed., *Handbook of Precision Engineering*, Vol. 3, *Fabrication of Non-Metals*, McGraw-Hill Publ. Co. (1971); *Fabrication Science*, Proc. Brit. Ceram. Soc., No. 3 (1965); *Fabrication Science*, 2, Proc. Brit. Ceram. Soc., No. 12 (1969); Institute of Ceramics Textbook Series: W. E. Worrall, 1: *Raw Materials*; F. Moore, 2: *Rheology of Ceramic Systems*; R. W. Ford, 3: *Drying*; W. F. Ford, 4: *The Effect of Heat on Ceramics*, Maclaren & Sons, London (1964-1967), *Modern Glass Practice*, S. R. Scholes, rev. C. H. Green, Cahnners (1974)]，我們不得不汰舊換新，把第一版中與製造方法有關的論述刪除。只是很遺憾，目前尚無一本專門討論陶瓷製造方法而較完備的教科書，可推薦給讀者。

目前，人們對原子層次和簡單的相之組合體的結構已研究到一極高的境界（本書不擬詳細介紹，因為這已超出本書範圍），但還是有很多大家都感興趣的領域才剛起步不久。其中之一是（就陶瓷學而言，可能是最重要的一個），氧化物系統中

的晶格缺陷及雜質和差排、材料表面、晶界之間的交互作用。其次是，原子（或分子）的規律化及集結化對陶瓷固溶體及玻璃結構的安定性之影響。第三個則是用以鑑別在多相多元系統中所發現的複雜顯微組織之方法（不單是用簡單的模型去評估）。除這些外，本書也討論另一些新開發的陶瓷學領域。我們殷切期望，本書所帶給讀者的不僅是書中現有的知識，應該還包括對讀者更進一步擴充這些知識的鼓勵作用在內。

W. D. KINGERY
H. K. BOWEN
D. R. UHLMANN

目 錄

第 I 部份 緒 論	1
第一章 陶瓷製程與製品	3
1.1 陶瓷工業	3
1.2 陶瓷製程	4
1.3 陶瓷製品	13
參考文獻	17
第 II 部份 陶瓷固體的特性	19
第二章 晶體結構	23
2.1 原子結構	23
2.2 原子間鍵結	34
2.3 固體內的原子鍵結	38
2.4 晶體結構	43
2.5 離子的群集與 Pauling 法則	52
2.6 氧化物結構	58
2.7 矽酸鹽結構	66
2.8 粘土礦物	70
2.9 其它結構	74
2.10 多態性	76
參考文獻	83
習 題	83
第三章 玻璃的結構	87
3.1 玻璃之形成	87
3.2 玻璃結構之模型	90

3.3 氧化物玻璃的結構	95
3.4 玻璃的次顯微組織特徵	104
3.5 氧化物系統中的混溶間隙	111
3.6 綜 論	116
參考文獻	117
習 題	117
第 四 章 結構的缺陷	119
4.1 原子缺陷所採用的符號	120
4.2 缺陷反應式的寫法	123
4.3 固溶體	124
4.4 Frankel 缺陷	132
4.5 Schottky 缺陷	136
4.6 有序 - 無序變態	138
4.7 缺陷的聯心	141
4.8 電子結構	144
4.9 非計量型固體	149
4.10 差 排	154
參考文獻	164
習 題	167
第 五 章 表面、界面與晶界	169
5.1 表面張力與表面能	169
5.2 彎曲的表面	176
5.3 晶 界	179
5.4 晶界的電位與電荷	183
5.5 邊界應力	189
5.6 邊界上的溶質偏析與相偏析	192
5.7 表面與界面的結構	195
5.8 潤濕與相之分佈	200
參考文獻	204
習 題	205

第六章 原子的遷移..... 207

6.1 擴散與 Fick 定律.....	209
6.2 熱激活過程.....	217
6.3 擴散係數的命名及意義.....	222
6.4 溫度與雜質對擴散的影響.....	224
6.5 多晶質陶瓷中的擴散.....	228
6.6 差排、邊界與表面擴散.....	238
6.7 玻璃中的擴散.....	247
參考文獻.....	252
習題.....	252

第Ⅲ部份 陶瓷顯微組織之發展..... 255

第七章 陶瓷的相平衡圖..... 257

7.1 Gibbs's 相律.....	257
7.2 一元相圖.....	259
7.3 製作相平衡圖的方法.....	263
7.4 二元系統.....	265
7.5 二元相圖.....	270
7.6 三元相圖.....	281
7.7 相的成份與溫度間之關係.....	287
7.8 Al_2O_3 - SiO_2 系統.....	290
7.9 MgO - Al_2O_3 - SiO_2 系統.....	292
7.10 非平衡相.....	296
參考文獻.....	301
習題.....	302

第八章 相變態、玻璃生成與玻璃..... 305

8.1 變態動力學理論.....	306
8.2 旋節分解.....	307
8.3 成核.....	312
8.4 晶體成長.....	320

8.5	玻璃形成	330
8.6	成份的影響、熱傳導及玻璃中的析出反應	334
8.7	膠態色體、感光玻璃及光色玻璃	345
8.8	玻陶材料	347
8.9	玻璃中的相分離	354
	參考文獻	358
	習題	358
第九章 固態反應		361
9.1	異質性反應動力學	361
9.2	一平直邊界層內的反應物傳輸	364
9.3	流體系統內的反應物傳輸	381
9.4	顆粒系統內的反應物傳輸	393
9.5	結晶質陶瓷中的析出反應	409
9.6	非等溫過程	420
	參考文獻	423
	習題	424
第十章 晶粒成長、燒結與玻(璃)化		427
10.1	再結晶與晶粒成長	427
10.2	固態燒結	446
10.3	玻(璃)化	466
10.4	液相燒結	474
10.5	加壓燒結(熱壓法)	475
10.6	次要現象	477
10.7	燒製收縮	480
	參考文獻	486
	習題	486
第十一章 陶瓷材料的顯微組織		489
11.1	顯微組織的性狀	489
11.2	定量分析	495
11.3	三軸白陶瓷體	503

11.4	耐高溫材料	510
11.5	粘土製品的顯微組織	519
11.6	釉與琺瑯	520
11.7	玻 璃	523
11.8	玻陶材料	526
11.9	電陶瓷與磁性陶瓷	530
11.10	磨 料	534
11.11	水泥與混凝土	538
11.12	幾種特殊的陶瓷	540
參考文獻		545
習 題		545
索 引		549

目 錄

第 IV 部份 陶瓷材料的性質 549

第十二章 熱性質 551

12.1	緒 論	551
12.2	熱容量	553
12.3	晶體的密度和熱膨脹	556
12.4	玻璃的密度與熱膨脹係數	562
12.5	複合材料的熱膨脹	569
12.6	熱傳導過程	576
12.7	單相結晶質陶瓷中的聲子	581
12.8	單相玻璃中的聲子導熱	588
12.9	光子導熱	591
12.10	多相陶瓷的導熱行爲	597
	參考文獻	605
	習 題	606

第十三章 光學性質 609

13.1	緒 論	609
13.2	折射率與色散	620
13.3	邊界反射比與表面光澤	626
13.4	乳白性與半透明性	628
13.5	吸收與顏色	637
13.6	應 用	648
	參考文獻	659
	習 題	660