

科技用書

陶瓷材料學

潘德華編著

新文豐出版公司印行

中華民國七十二年九月出版

有 著 作 權



翻 印 必 究

科技
用書 陶瓷材料學

精裝一冊定價 400 元

平裝一冊定價 320 元

著作者：潘 德 華

發行人：高 本 釗

直接函
購郵撥：一七一三三四號潘德華帳戶

發行及
印刷所：新 文 豐 出 版 公 司

地 址：台 北 市 雙 園 街 96 號

作者簡介

潘德華 台灣省立工學院化學工程學士
美國密蘇里大學陶業工程碩士
現任 工業技術研究院工程師
私立聯合工業專科學校兼任副教授

著作：

1. 台灣白雲石製造鹽基性磚的操作之變數研究
工程 45 卷 11 期 61 年 11 月
2. 合成堇青石之研製
工程 45 卷 12 期 61 年 12 月
3. 窯業詞彙（與程道映、鄭武輝合譯）
徐氏基金會印行出版 64 年 11 月
4. 絕緣瓷坯體材料及其性質之研究（與楊凱、黃瑞耀、楊
迪平合作）
工業技術 27 期 65 年 5 月
5. 陶瓷實驗與計算
新文豐出版公司印行出版 69 年 9 月
6. 飛灰之陶瓷工業應用研究
台電工程月刊 394 期 70 年 6 月
7. 蛇紋石耐火材料
聯合工專陶瓷玻璃工程學會會刊 3 期 70 年 6 月
8. 氧化鎂—氧化矽系耐火材料之研究
陶業 1 卷 2 期 71 年 4 月
9. 陶瓷試驗與檢查及所用儀器介紹
陶業 2 卷 1 期 72 年 1 月
10. 陶瓷器燒成工程
陶業 2 卷 2 期 72 年 4 月

除以上著述外，較早者如「粉碎時間與窯業成品結構關係之研究」、「鈷六十對窯業原料之影響」曾獲國家長期發展科學委員會甲種研究獎助；1、2 兩項，曾獲中正科學技術講座基金董事會研究獎助。

宋 序

現時材料科學家恒將工程材料分爲三大類：一曰金屬材料、二曰陶瓷材料、三曰有機材料或高分子材料。陶瓷材料居其一，足徵其重要性。益以現正亟謀提升科技，發展新興工業，新的及特殊陶瓷材料更構成當代工程及工業成功之關鍵。

近多年來，國內對於陶瓷材料之研究發展極爲重視，參考資料每多引自國外，而中文書籍幾付闕如，從事是項材料工作人士深感不便。工業技術研究院工程師潘德華女士早歲於美國密蘇里大學專攻陶瓷材料科學，並獲陶業工程碩士學位，回國後即在工業技術研究院聯合工業研究所陶瓷研究室潛心研究達二十年，時有專文發表。近更於公餘、教學之暇，完成「陶瓷材料學」一書之著述，凡十七章，都四十萬言。首先論及陶瓷材料與金屬材料及有機材料在性能上之比較及一般固體結構，繼由簡而繁，由結構、而性質、而製造，作綜合性之論介，內容精湛，實爲從事是項材料研究發展及使用之人士不可或缺之參考。是爲序。

中華民國七十二年六月

宋 光 梁 謹識

中國文化大學華岡教授

中華民國陶業研究學會理事長

程 序

陶瓷之被國人忽視，可能是 Ceramics 直譯有關。而陶瓷向視之爲杯盤磚瓦，乃至花瓶之流。充其量，磚瓦堪稱建築材料而已。豈可與金屬，高分子材料分庭抗禮？時至今日，美國陶瓷材料——矽晶片已將太空梭送入太空，而我國陶瓷尚未列入材料，識者能無慨乎？

回憶二十餘年前，經濟部聯合工業研究所首創我國第一座陶瓷研究室。一方面改良傳統陶瓷，以輔導民營；一方面甄選資送優秀研究人員，先後分赴美日從事於電氣陶瓷、電子陶瓷、耐火材料及高溫特殊陶瓷材料之研究。以期發展新興陶瓷，開拓陶瓷材料領域。更分送至國內外工廠及研究部門參觀實習，以求他山之石。潘女士德華乃其中傑出者之一，在美密蘇里大學攻得碩士學位，專事耐火材料之研究。後又奉部令協助私立聯合工業專科學校創辦陶瓷玻璃工程科，培育基層幹部人才。斯時陶瓷室同人正如金戈鐵馬，氣吞萬里，振興瓷國之雄風，斯其時矣。

至今垂三十年乃難免受陶瓷連不上「材料」之累，而入長門，再誤佳期，如今只想到「萬字平戎策」，藉伸壯懷，遂有潘女士斯作。彼積二十年研究、數年教學之經驗，以淺出深入筆調，爲陶瓷材料學鋪一坦途，爲學子立一標竿。承索序於余。余則因難買相如賦而種書樹，終盼他日陶瓷材料能因此書之出，而能與金屬，高分子三者目之爲材料科學鼎足之一，其又何幸如也。

中華民國七十二年元月

程道腴 謹識

自序

我國旅美物理學家李政道博士，七十二年三月回國，於東京成田機場接受記者訪問時表示，中國人在科技方面，很早就有了高超的發展與成就，在兩三千年前就有了銅器，那是高熱鍊金術的成果；中國瓷器是高度的化工技術。他非常強調中華民族是一個優秀種族，其成就值得驕傲。陶瓷工業是最古老的工業之一。在科技的發展中，國人自有其不朽的貢獻。

以言陶瓷材料，包括陶瓷、玻璃、琺瑯、水泥、耐火材料、切割材料、磁性材料、介電材料，以及超高溫、超硬等材料，是除金屬以外一切無機材料。冶金工業的發展，需要有優良的耐火材料配合；精密機具的生產，需要好的切割工具；化學工業也需要有耐化學作用的陶瓷質容器。在在說明其重要性與依存性。故陶瓷材料實為一切工業的基礎材料。

陶瓷材料既如此之重要，而國內有關此類科技之中文書籍殊少，且多偏重於實務，缺乏理論闡述介紹，使從事於是項材料工作人士，無法深入瞭解，徒知陳陳相因，自難有創新。筆者有鑑於此，經以 Lawrence H. Van Vlack “physical ceramia for Engineers” 為藍本，參以多年實務經驗與研究心得，並近年國內外有關書刊，廣事徵引，期能由淺而深，使能先從較淺顯的具體現象，得到確實的初步概念，然後漸次步入問題重心，獲得陶瓷材料上所必須具備的基本知識。由是而深入堂奧，作進一步的研究發展。

本書共十七章，第一章至第十章為陶瓷材料之基本特質；第十一章至十五章為陶瓷材料之性質與應用；第十六章及第十七章為陶瓷材料之製作工程。各章之後，均附有習題，備讀者自行研習解

答之用。

本書譯名參照教育部民國六十八年十二月公佈，國立編譯館印行出版的「材料科學名詞」；及自然科學文化事業公司出版，石育民、潘朝潤編審的「科技大辭典」為依據，並附原名於譯詞之後。

稿成。承陶學界前輩宋教授光梁先生審閱指正，並賜序文；老長官程主任道腴先生於出國赴加前夕，匆匆賜序，倍增光寵。謹一併敬致仰慕與感謝之忱。

筆者學識譾陋，倉促成書，疏誤掛漏，知所難免，敬請先進與讀者不吝指教！

潘 德 華

七十二年九月於工業技術研究院

目 錄

宋序.....	1
程序.....	2
自序.....	3
第一章 緒論.....	1
1-1 陶瓷材料.....	1
1-2 陶瓷材料與金屬材料.....	1
1-3 陶瓷材料與有機材料.....	2
第二章 原子與原子鍵.....	4
2-1 引言.....	4
2-2 中子、質子和電子.....	4
2-3 原子量和原子序.....	4
2-4 量子數.....	5
2-5 電子組態.....	9
2-6 原子鍵.....	15
2-7 離子鍵.....	15
2-8 共價鍵.....	17
2-9 金屬鍵.....	18
2-10 一級鍵之共存.....	19
2-11 凡得瓦鍵.....	20
第三章 原子之填集.....	24

2 陶瓷材料學

3-1	原子間距離	24
3-2	原子和離子半徑	28
3-3	配位數	31
第四章	晶體構造	37
4-1	結晶系	37
4-2	布拉非空間晶格	39
4-3	立方晶體	39
4-4	六方晶體	45
4-5	其他晶體	46
4-6	結晶方向	48
4-7	結晶面	50
4-8	X光分析	56
第五章	晶體缺陷	60
5-1	引言	60
5-2	相	60
5-3	金屬固溶體	60
5-4	離子化合物之固溶體	64
5-5	晶體欠完美性	65
5-6	點缺陷	65
5-7	線缺陷	69
5-8	間界	74
第六章	陶瓷材料之晶體構造	76
6-1	引言	76
6-2	氯化鉍結構	76

6-3	密集堆積化合物.....	78
6-4	矽酸鹽構造.....	84
第七章	玻璃結構.....	100
7-1	引言.....	100
7-2	玻璃的結構.....	101
7-3	玻璃的組成.....	104
7-4	徑向密度曲線.....	107
7-5	轉變範圍.....	107
7-6	玻璃之結晶作用.....	110
第八章	表面與界面.....	113
8-1	引言.....	113
8-2	表面吸附作用.....	113
8-3	膠質.....	116
8-4	離子交換作用.....	116
8-5	界面能量.....	118
第九章	陶瓷材料之相平衡.....	122
9-1	引言.....	122
9-2	相律.....	122
9-3	相圖.....	123
9-4	二成分系.....	125
9-5	多成分系.....	131
9-6	反應速度.....	137
第十章	陶瓷材料之微結構.....	141

4 陶瓷材料學

10-1	引言	141
10-2	顯微鏡	141
10-3	顆粒的大小	146
10-4	顆粒的成長	147
10-5	顆粒的形狀與分佈	148
10-6	相之量計算	151
10-7	膠質結構	152

第十一章 機械性質與應用 157

11-1	引言	157
11-2	彈性性質	157
11-3	陶瓷材料之強度	160
11-4	結構用材料—建築材料	164
11-5	磨料	166
11-6	晶體之塑性變形	169
11-7	粘性變形	171

第十二章 熱性質與高溫行爲 177

12-1	引言	177
12-2	熱膨脹	177
12-3	熱容量	182
12-4	熱傳導	184
12-5	熱應力	188
12-6	高溫變形	192

第十三章 電和磁性質與應用 195

13-1	引言	195
------	----	-----

13-2	導電性·····	195
13-3	陶瓷導體·····	203
13-4	介電性·····	207
13-5	陶瓷絕緣材料·····	215
13-6	磁性特性·····	219
第十四章 光學性質與行爲·····		229
14-1	引言·····	229
14-2	折射與反射·····	229
14-3	透明度與色彩·····	234
14-4	發光性·····	237
14-5	激動射線·····	239
第十五章 核能應用·····		242
15-1	引言·····	242
15-2	放射性的改變·····	242
15-3	核心陶瓷組件·····	243
15-4	保護罩和廢料處理·····	249
第十六章 陶瓷產品之成形·····		251
16-1	引言·····	251
16-2	原料·····	251
16-3	加壓成形法·····	258
16-4	水塑性成形法·····	266
16-5	泥漿鑄製法·····	267
16-6	膠結作用·····	269
16-7	熔融成形法·····	273

6 陶瓷材料學

16-8 其他成形作業.....	276
第十七章 陶瓷產品之熱處理.....	278
17-1 引言.....	278
17-2 乾燥.....	278
17-3 燒成(燒結).....	283
17-4 徐冷和強化.....	292
17-5 結晶.....	294
附錄一 常數表.....	299
附錄二 陶瓷名詞註釋.....	300
附錄三 常用陶瓷物料.....	320
附錄四 元素表.....	327
附錄五 陶瓷產品之性質.....	334
附錄六 常用重要相圖.....	335
習題解答.....	340
封面題字.....	家父冀白先生手筆

第一章 緒論

1-1 陶瓷材料

陶瓷材料是由藝術和科學結合，所製成有用的無機非金屬固體材料，不僅包括陶器、瓷器、耐火材料、建築材料、磨料、琺瑯、水泥及玻璃；也包括了非金屬質的磁性材料、介電材料、單晶體等等。

陶瓷材料是很多工業的基礎材料，如耐火材料之于鋼鐵工業；磨料之在機械和汽車工業；玻璃在汽車工業以及建築、電子、電機工業；特殊的磁性和電性陶瓷在控制、電腦、和儀器上都是不可缺少的。事實上所有工廠，辦公室和家庭中，多少都用了一些陶瓷類產品。

陶瓷材料是工業的基本材料，它具有不同的性質，來適合不同應用場所。更爲了某種特殊用途的性質要求發展出新型的陶瓷產品。一般陶瓷材料是穩定的、耐熱的、和電及熱不良導性，質硬等之特性。

1-2 陶瓷材料與金屬材料

在元素週期表上（圖 2-1），元素的規則排列很明顯的可區分爲金屬元素和非金屬元素二大類。在金屬元素，因外層電子數較少，很容易失去電子而變成正離子；而非金屬元素則外層電子數較多，不容易失去電子，反而能接受電子變成負離子，當正負離子接近時，則產生電性的吸引，而結合在一起，陶瓷材料就是由金屬元素和非金屬元素共同組成，像 MgO 、 $BaTiO_3$ 、 SiO_2 、及 SiC

2 陶瓷材料學

爲簡單型陶瓷化合物；瓷土，尖晶石，模萊石及非結晶體玻璃等則屬於複雜型陶瓷化合物。

金屬材料僅含金屬元素，即使含有少許非金屬元素，如在鋼鐵中的碳，只是填充，而不起化學性結合，因此金屬材料之結構就比陶瓷材料之結構爲簡單和容易了解。所以，常以研究討論金屬材料之結構，爲探討陶瓷材料結構的前導與範本。金屬材料與陶瓷材料，基本特性不同點有：

(1)金屬材料因其內部價電子較自由，所以有較好的電和熱的傳導性；而陶瓷材料則是一個優良的介電材料。

(2)陶瓷材料是離子結合，自由能較低，所以對化學和熱性比較穩定。

(3)金屬材料有比較高的抗折和抗拉強度，而陶瓷材料的抗壓強度比較高。

金屬和陶瓷材料並無極明顯的界限，有的時候無法絕對區分無機物料爲金屬還是陶瓷材料，如TiC定義爲金屬Ti與非金屬C結合之化合物爲陶瓷材料，然而Fe₃C和SiC是爲金屬互化物(Inter-metallic)抑爲陶瓷化合物呢？一般陶瓷材料是可混入金屬材料領域的。

1-3 陶瓷材料與有機材料

有機材料也是一種比較容易了解的材料，它是由非金屬元素共享電子而成的。凡共享鄰近二個以上原子連續結構的物料，稱爲聚合物。陶瓷材料也可以共享非金屬元素，或半金屬元素的電子爲聚合體；玻璃就是一種高度聚合性的陶瓷材料。

和陶瓷與金屬材料間關係相似，陶瓷與有機聚合物間也是漸進的，矽膠(Silicone)就是其間代表性材料。以其各別典型結構區分，陶瓷與有機材料性質不同處有：

(1)陶瓷和有機材料都比金屬材料之結晶度要低，因為二者具備較大，較複雜的結構。單純離子結合之陶瓷材料，如 CaSiO_3 的結晶度，較複雜網架結構矽酸鹽材料為高。

(2)在一般多原子的有機材料，僅有一個（或二個）鄰近原子共享，因此對溫度之穩定性比陶瓷材料低。

(3)陶瓷材料較有機材料堅硬，而可塑性低。

1-4 相關理論

研究陶瓷物料相關理論，必需有相當理解的，有(1)元素週期表及其排列（圖 2-1）；(2)物質的動力學，特別是溫度升高時，物質內原子熱震動量亦增加；(3)庫倫吸引與排斥理論，如同性電荷相斥，異性電荷相吸；(4)能量穩定關係，物質穩定狀態時能量最低；(5)物質強度，韌性，熱膨脹，電傳導等性質。是本書中所接觸和討論的課題。