

精密陶瓷之應用

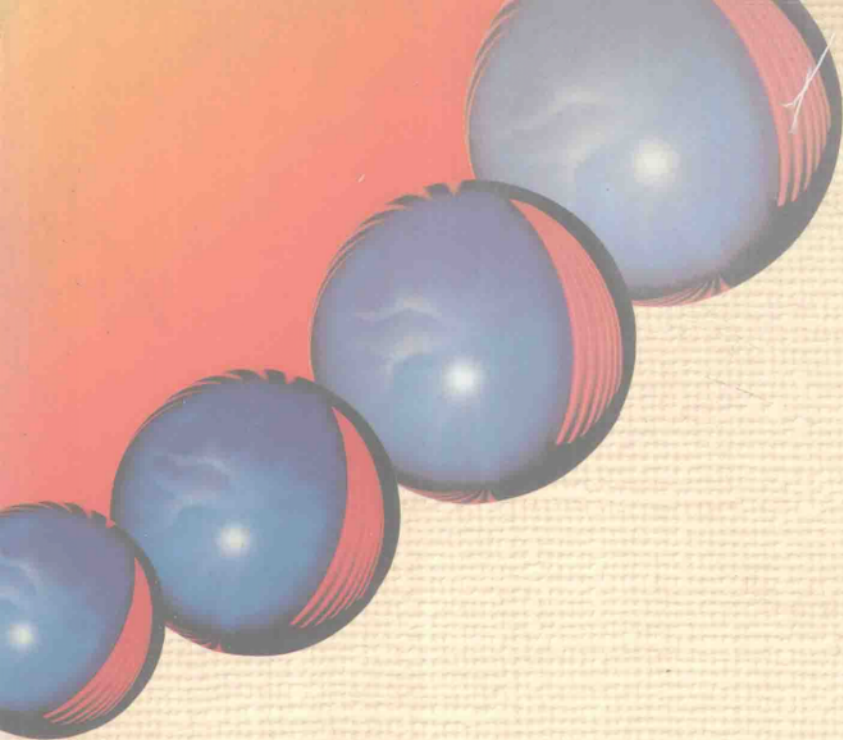
曹靜廣 編譯
汪仁雄



機械技術雜誌社 印行



全華科技圖書股份有限公司 經銷





機械技術出版社

精密陶瓷之應用

出版者 機械技術出版社

地址 / 台北市龍江路76巷20-8號4樓

電話 / 5 0 6 4 0 1 8

郵政帳號： 0763030-7 號

發行人 林 永 憲

印刷者 豪邦彩色印刷有限公司

行政院新聞局核准登記證

局版台業字第三五三三號

總經銷 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2F

電話 / 5 0 7 1 3 0 0 (總機)

門市部 全友書局 (黎明文化大樓7樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

初版 81 年 12 月

定價 / 新台幣 350 元

版權所有 翻印必究

圖書編號

序言

精密陶瓷 (Fine Ceramics) 具有質輕、強度高、耐熱性佳、耐藥品性及熱膨脹係數小的優點，因此常被用於精密機器上，其加工時不似一般金屬加工件會導致應力集中、且加工處不易產生毛角或毛邊，不僅在機械上，於電子、醫用零件等多方面之應用亦逐漸擴展。

精密陶瓷之定義為「與陶瓷器、瓷金、板玻璃、耐火磚瓦等傳統陶瓷有所差異，運用精選原料，添加適當添加物，並經嚴格管理程序，使其具備微細構造及高度機能的陶瓷，即稱為精密陶瓷」。其形態有結晶體、薄膜、纖維狀、多孔性，狀態則可分為燒結體、單結晶、水熱合成品、結晶化玻璃狀態等，對於追求高精度的現代工業提供了最佳材料。

本書特邀國內傑出學者編譯而成，以兩章豐富而完備的內容介紹炙手可熱的精密陶瓷。第一章詳述各形態陶瓷的製造方法、加工技術；由基礎調製、成形進入燒結、被覆、放電、蒸著等多種製造法，並就超音波、雷射加工等熱門新技術配合精密陶瓷加以敘述說明。

第二章針對精密陶瓷的應用，就運輸、通訊、電腦、能量、醫學、機械、建築等多方面系統深入詳述。

本書付梓歷經嚴縝的計劃排定、審校及多方面的配合，然錯誤仍在所難免，期望您在吸收本書專業知識之餘能不吝對我們提出指正，謝謝。

編輯部 謹識

八十一年十二月

何謂精密陶瓷

材料依其所構成物質之特徵而分類為金屬材料、有機材料、無機材料等3種。

其中，以鐵為中心之金屬材料為第二次世界大戰後復興之支柱，而以塑膠為中心之有機材料則提供一高度經濟成長，此二者則成為材料之兩大支柱。

另一方面，無機材料可分類為陶瓷及無機聚體，前者雖較具歷史，唯其加工及成形法之發展均較其他材料為遲。但是，陶瓷中之一羣所謂精密陶瓷者，則於最近數年來甚受矚目而成為第三支柱，而其相關技術之進步，亦相當驚人。

精密陶瓷之所以受到如此重視其理由如下：

第1，自從石油危機以來，各國之產業結構已邁向知識密集型附加價值高之多種少量生產之領域，而精密陶瓷則正合此者。

第2，所謂之新興工業如航空、太空、省能源、核子、資訊、電子、生物工學、海洋開發等之產業，則須有一機能性較高之材料，精密陶瓷內則存有多種素材可適合此等需求。

第3，可將材料微細構造及性質之關係明確化之材料科學，則因物性測定用機器之進步而更趨發達，更可期待高機能性素材之問世。

而於談到精密陶瓷則可分為兩方面加以探討。一為陶瓷之歷史，一為聚體之裝置位置。前者其技術發展可分類成三個時期，第1期為由古代到1900年為止之所謂“Keramos”時代。Keramos為希臘語，意指燒結凝固製品，為一將自然出產之原料成形，以小型爐燒結凝固作成古代陶器之時代。第2期為1901年到1940年前後，即所謂之“矽酸鹽工業時代”，使用自然出產之原料，以工業上的手法製作陶瓷器抑或玻璃、燒結體、耐火物等物品，而其技術仍係以經驗為主。

第3期為1941年到目前為止之所謂“新陶瓷時代”，此時期則依材料科學之發展及其應用，高機能性材料之設計及製造急速進展，除了以往之矽酸鹽系材料外，氧化物、碳化物、氮化物、硼化物、矽化物等自然界不存在之材料亦相繼出現，此外為提高素材之機能，除了燒結體外，另亦出現了經過精密控

制後所產生之單結晶、粉體、薄膜、纖維、多孔質體等。於此初期，生成材料因製造技術尚未趨成熟，而無法發揮所期待之機能，此時期之製品則視為新陶瓷，之後經由製造技術之改良而得之製品則視為精密陶瓷。唯兩者基本上並無甚大差異。

因此，精密陶瓷，係使用高純度之人工原料俾控制其微細結構，必要時可加以適當之添加物，經由控制良好過程而可製作出一高機能性陶瓷。

而以後者之立場視之，則因現存聚體之分類甚為重要，所有之聚體可分成三大類。

第1類為主鏈具有由碳原子所形成之鏈狀結構，依鏈之長度及架橋之長度而決定有機聚體之一羣，其代表性者有聚乙烯及苯乙烯樹脂，耐熱性不佳為其缺點，亦多具有柔軟性。

第2類為主鏈含有碳以外之原子，側鏈可含有有機物之一羣，其代表性者有矽氧烷、二氧磷基腈（Phosphonitrile）系者，較第1類具耐熱性，且多具有柔軟性。

第3類和前2類相異，為具有高度凝集網目結構之無機化合物之一羣，其代表性者有鑽石、碳化矽、氮化矽等，融點高且安定，雖硬但脆為其缺點，新陶瓷均屬此類。

而將精密陶瓷和聚體同時考慮係自1970年以後，其目的為欲於其他領域內聚體間改善其脆性。

本書敘述精密陶瓷之製造及系統上之應用，均由富有實際經驗者所執筆。

本書第1章係針對原料之調製及配合、單結晶、燒結體、結晶化玻璃、薄膜、纖維、多孔質體之製造方法及加工技術加以敘述。

第2章則以所獲得之素材如何應用於運輸、通訊、電腦、能量轉換系統上加以敘述。

本書所述之精密陶瓷技術及應用，相信有助於初學者、現場技術者之了解。

目 錄

〔前言〕何謂精密陶瓷

Part 1. 精密陶瓷之製造及加工技術

原料之調製及配合

①精密陶瓷之原料及概要

②原料之化學合成

(1)合成反應之形態及特徵

(2)微粒子原料

(3)異方形狀粒子

③成形用原料

(1)粉粒體原料之調製

(2)成形促進劑

精密陶瓷之製造方法

燒結體之製造方法

①成形法

(1)加壓成形

(2)可塑成形

(3)澆鑄成形

②燒結法

(1)無加壓燒結

(2)加壓燒結

單結晶之製造方法

①精密陶瓷之單結晶材料

②單結晶合成法

(1)氣相法

(2)溶液法

(3)熔融法

(4)固相法

結晶化玻璃之製造方法

①結晶化玻璃之概要

②玻璃結晶化(失透)之形態

③結晶化玻璃之製造

(1)製造原理

(2)製造過程

④基本成份及核形成添加劑

⑤特殊結晶化玻璃

(1)方向性結晶化玻璃

(2)透明結晶化玻璃

(3)加工容易之結晶化玻璃

(4)其他

薄膜之製造方法

①薄膜之定義及應用

②製造法之概要

③PVD

(1)真空蒸著

(2)分子線晶膜術

(3)離子電鍍

(4)活性化化學蒸著

(5)空心陰極放電

(6)飛濺被覆

④CVD

(1)電漿CVD

(2)MOCVD

⑤噴霧法

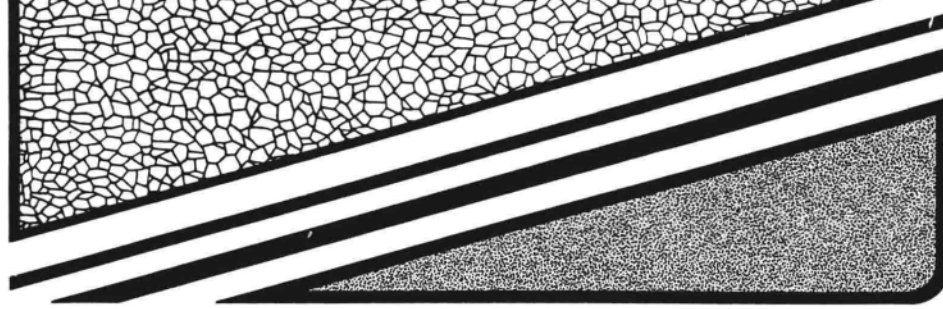
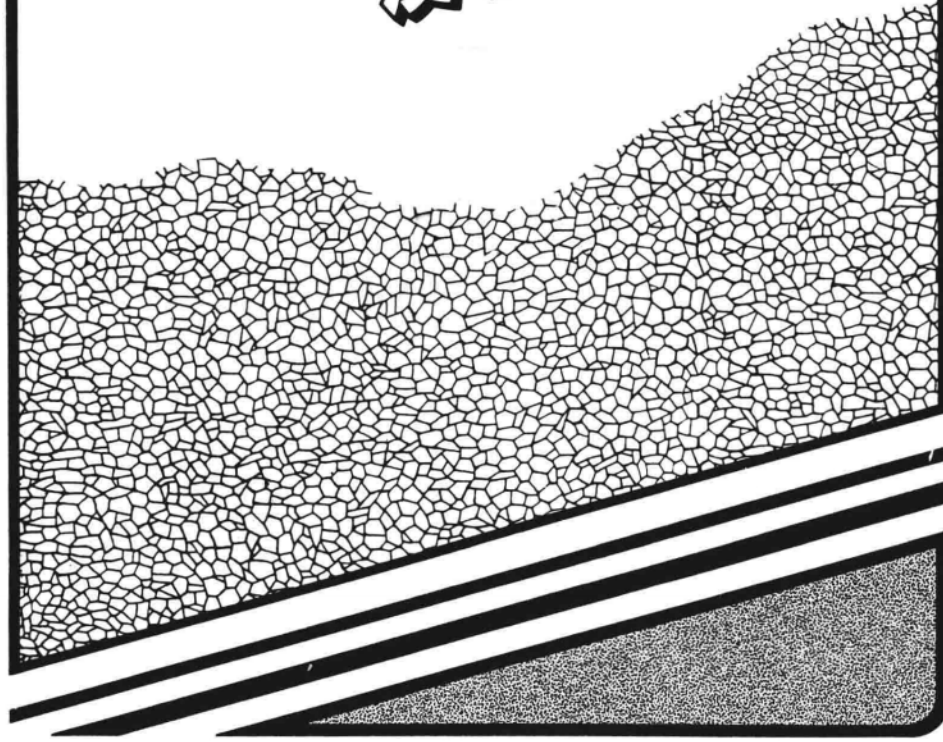
⑥塗敷法	67	爲能適用於放電加工	128
纖維的製造方法	69	①放電加工及加工原理	129
①精密陶瓷纖維	69	②雕刻放電加工	131
②玻璃質纖維	71	③線切割放電加工	133
(1)玻璃纖維	71	④非導電性材料之放電加工	133
(2)高矽酸質纖維	71	雷射加工之應用	136
(3)矽酸鋁質纖維	71	(1)陶瓷之雷射加工特性	138
(4)光纖維	73	(2)加工實例	138
③結晶質纖維	75	(3)雷射切斷及破裂發生領域	139
(1)原形纖維	75	Part 2. 精密陶瓷在各種系	
(2)微粒子纖維	77	統上之應用	140
(3)鬚晶	80	運輸系統上之應用	141
多孔質體之製造方法	86	①構造用陶瓷之應用	141
①多孔質體之概要	86	②汽車上之應用	142
②精密陶瓷過濾器	86	(1)目前之應用例	142
(1)蜂巢狀陶瓷過濾器	88	(2)研究開發中之應用例	145
(2)泡沫狀陶瓷過濾器	89	③汽車以外之應用例	147
(3)陶瓷過濾器	91	④精密陶瓷應用上應注意事項	149
(4)陶瓷膜	93	⑤功能性陶瓷之應用	150
精密陶瓷的加工技術	96	⑥汽車引擎控制系統之應用	151
加工法之概要	97	(1)三元觸媒系統	151
陶瓷及金屬間材料特性之比較	97	(2)稀薄燃燒系統	155
主要加工法之概略	100	(3)爆震控制系統	158
①加工法之基本觀念	102	⑦懸架控制系統上之應用	160
②展望及其說明	102	(1)光斷續方式	160
精密陶瓷加工論	107	(2)超音波方式	161
研磨加工之特性及應用	108	⑧其他之應用	161
①研磨工具	108	(1)加熱器	161
②研磨加工之加工形態	110	(2)車輛周邊監視裝置	163
③依研磨施予鏡面加工	112	(3)雨滴感測雨刷	164
④研磨條件	112	(4)太陽電池發電系統	164
⑤研磨加工之基本事項	112	通訊、電腦系統上之應用	167
⑥有關研磨加工法之新跡象	118	①積體電路	167
超音波加工法之新嚐試	119	②振動器、振盪器、陶瓷過濾器。	168
①超音波加工的一般常識	120	③電波吸收體	169
②振動器、振幅擴大器之尺寸求法	121		
③新超音波加工法	123		

④永久磁鐵	169	(2)機械床台、支柱	231
⑤電容器	169	(3)進刀裝置	232
⑥電阻器	170	(4)軸頭裝置	236
⑦雷射	170	(5)治具裝置	239
⑧磁帶	171	(6)其他之應用例	239
⑨光纖	172	③精密測定機	241
(1)光纖之概要	172	建築材料上之應用———	242
(2)公共通訊系統	175	①高溫高壓蒸汽鍋爐(auto clave) 處理之	
(3)電力保護控制系統	177	矽酸鹽材料	242
(4)工廠內之資訊系統	179	(1)ALC	243
(5)光映像傳送系統	180	(2)彩色板	245
(6)光纖傳送之電腦系統	185	(3)矽酸鹽板	245
能量轉換系統上之應用———	192	(4)矽鈣板	246
①化學電池材料	192	(5)矽酸鹽保溫材	247
②發熱體材料	194	(6)Xonotlite系矽酸鹽建築材料	248
③MHD發電材料	198	(7)載體	248
④太陽能發電系統	202	②矽酸鈣水和物	249
(1)太陽電池	202	(1)Tobermorite	250
(2)太陽電池晶胞模組行列	210	(2)C-S-H及Tobermorite	256
(3)太陽能發電系統	214	(3)Xonotlite	256
醫學上之應用———	216	③矽酸鈣水和物之合成	258
①醫學上用陶瓷之種類及特徵	216	(1)水熱反應及機構	259
②整形外科・傷害外科領域內之臨床應用	218	(2)11 Å Tobermorite溶液之生成	261
③耳鼻喉科領域內之臨床應用	221	(3)Xonotlite之合成	265
④齒科、口腔外科領域內之臨床應用	222	(4)Topotactic水熱反應	266
⑤臨床應用之問題及展望	225	(5)瞬間昇溫昇壓合成法	267
機械、精密系統上之應用———	228	④材料及矽酸鈣水和物	267
①有關工程用陶瓷	228	(1)Tobermorite系材料	268
②機械、精密系統上之應用	230	(2)Xonotlite系材料與多孔質組織	269
(1)工作母機之構成	230		



PART 1

精密陶瓷之製造 及加工技術



原料之調製及配合

①精密陶瓷之原料及概要

精密陶瓷材質之一般特徵爲，脆性、高硬度、高溫安定性、和其他材料比較，原料會直接影響製品之形狀及品質細微組織，故原料調製之問題具有甚大之意義，須視爲製造過程之一而重視之。即使同一化學組織之製品，依形狀、微細組織、性能及使用目的、其製造過程亦異，另亦因製造過程之不同，須選擇不同之原料調製技術。

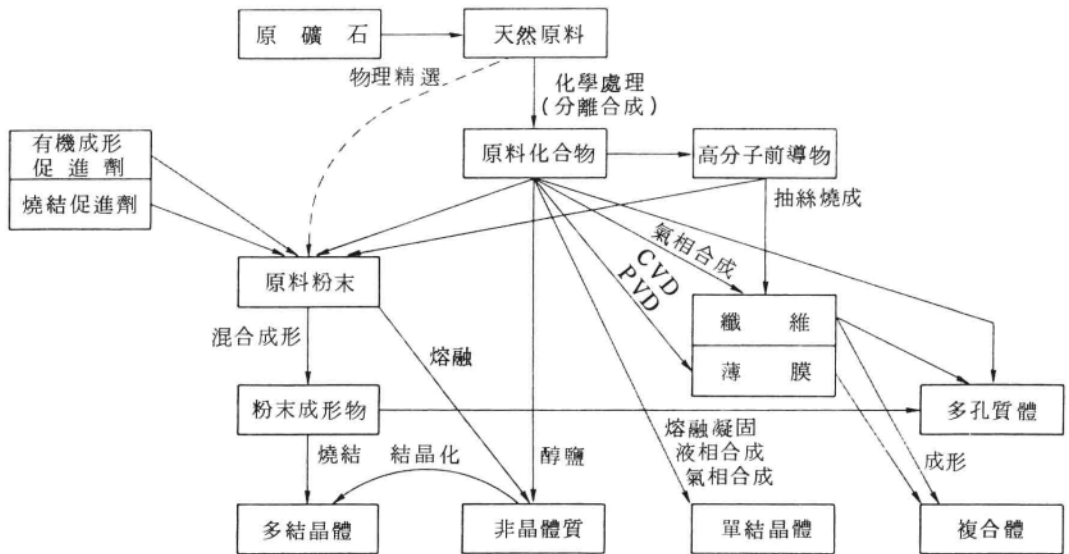
精密陶瓷之各種形態及其相對應之原料製造、過程間之關係如圖(一)所示，另外，精密陶瓷之各種性質，除了化學組織外，其和結晶構造及微細組織間之關係則如圖(二)所示。

精密陶瓷和陶瓷之不同點在於，使用高純度之原料。亦有使用天然原料（如使用高鋁紅柱石、賽龍（Sialon）等，而一般大多使用無機工業化學上之高純度人工合成化合物。特別是應用電氣、磁氣性質之機能性陶瓷，當成份略爲變動及有微量之不純物存在時均會影響製品之性能，故於陶瓷之整個製造過程上，須注意防止不純物之混入俾免遭受污染。

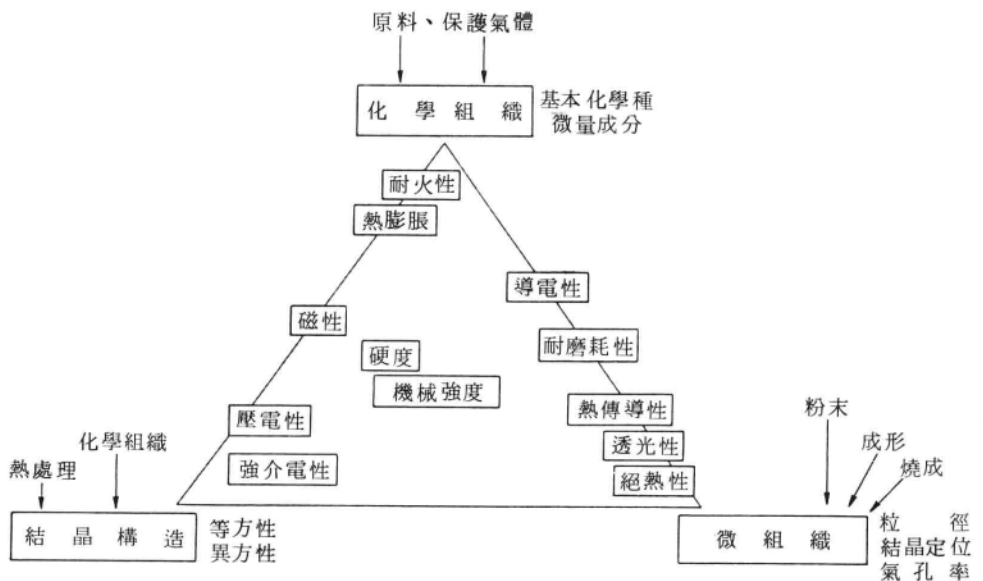
另外，亦因目的不同而於種類及添加量上須注意，因此添加化合物是否平均分佈爲原料調製成敗之關鍵所在。各種之強介電體陶瓷、陶瓷半導體、磁性材料、單結晶、光通訊用玻璃纖維等，其高純度化及微量成分之控制等均係決定製品進步與否之主要因素。

另一方面，除了最使構造用精密陶瓷感到困擾的強度及安定性之外，因係

以氧化物、氮化物、碳化物等為主要原料，故均成為陶瓷組織微細瑕疵及小傷痕和脆性破裂之發生來源，而為降低強度之主因，故原料之粒度、化學組織等之均勻性影響製品之性能甚大。如引擎等工程用陶瓷則須一具有可靠性之強度，故製造的先決條件在於如何確保原料的均勻性。

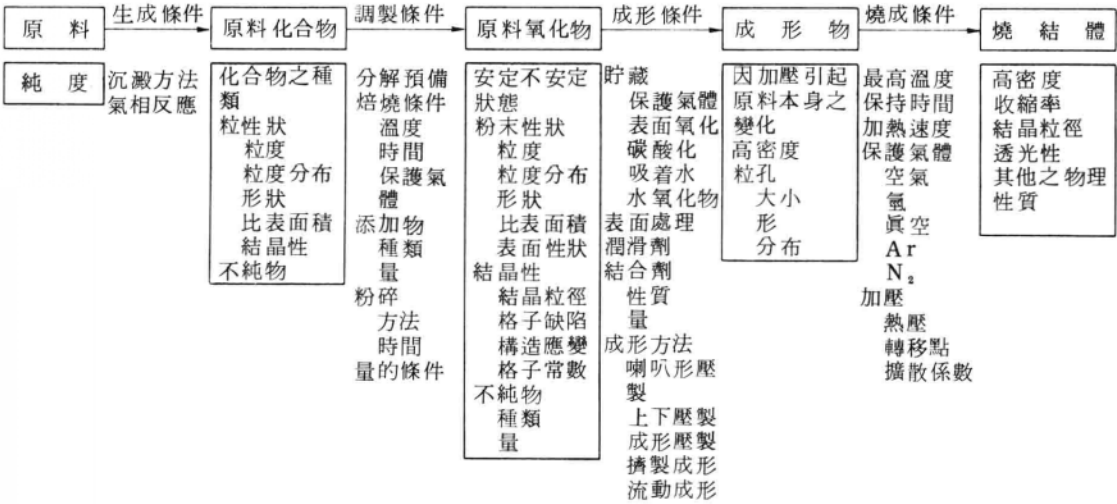


圖(一) 依原料別所對應各種精密陶瓷之製造過程



圖(二) 決定精密陶瓷性質之因素

一般燒結用粉末原料，除了純度、粒度外，粉體之性能會直接影響製品之品質，同時此係依原料前導物（Precursor）之粒徑及處理條件而決定。圖(ㄇ)所示為於製造過程中影響氧化物陶瓷性質之因素。單獨微粒子原料之調製，問題癥結在於燒結促進劑之選擇及均勻配合，粉末原料之管理為精密陶瓷製造技術中最重要之一環。



圖(ㄇ) 於製造過程中影響氧化物陶瓷性質之因素

2原料之化學合成

(1)合成反應之形態及特徵

精密陶瓷用原料合成反應之形態及特徵如表(一)所示。

不論任何一種反應，除了表(一)所示之化合物以外者亦可廣泛地應用。氧化物原料其熱分解為基本反應，約適用於所有氧化物系精密陶瓷之原料製造上。

至於固體反應，則被利用於含有 2 種以上陽離子之複氧化物之合成上，而合成強磁性鐵氧磁體等之尖晶石化合物及介電體、壓電體用之鈦酸鈣 (CaTiO₃) 構造之化合物。而此等則當作原料，除了依各個氧化物之粉末外，另亦有利用碳酸鹽、硝酸鹽、硫酸鹽、有機酸鹽、氫氧化物等而施予熱分解及固相反應之組合者。

複鹽之熱分解及共沉法（物質未達飽和溶解度時亦和其他之沉澱物一起沉澱者）、醇鹽法、利用噴霧法之熱分解，因具有異種陽離子之混合故比較均勻，同時分解生成時之氧化物其反應為活性等特點，故廣泛地應用於一定化學組織比之原料調配上。

表(-) 精密陶瓷原料之合成化學反應

原始相	名 稱	反 應 例
固 相	熱 分 解	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{PbTiO}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbTiO}_3$
(固·固)相	固體反應	$\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{MgAl}_2\text{O}_4$ $\text{BaCO}_3 + \text{TiO}_2 \rightarrow \text{BaTiO}_3$
	碳 化	$\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{SiC}$
(固·液)相	電 弧 法	$\text{Al} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ (球狀微粒子)
(固·氣)相	氮 化	$\text{Si} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$ (α · β 型混在)
	還原氮化	$\text{SiO}_2 + \text{C} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$ (α 型)
	共 沉 法	$(\text{TiCl}_4 + \text{BaCl}_2) + (4\text{NH}_4\text{OH} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) \rightarrow (\text{TiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{BaCO}_3) \downarrow$
液 相	醇 鹽 法	$\text{Ba}(\text{OCH}_3)_2 + \text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4 \rightarrow \text{BaTiO}_3$
	加水分解	$\text{ZrOCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2$
	噴 霧 法	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fl}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow (\text{Mg}_{0.5} \cdot \text{Mn}_{0.5})\text{F}_2\text{O}_4$
氣 相	氣相氧化	$\text{Zn}(\text{g}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZnO}$
	氣相熱分解	$\text{CH}_3\text{SiCl}_3(\text{g}) \rightarrow \text{SiC}(\beta\text{型微粒子})$ $\text{TiCl}_4(\text{g}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{TiO}_2$
	氣相反應	$\text{TiCl}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2 \rightarrow \text{TiC}$ $\text{SiCl}_4 + \text{NH}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$

特別是醇鹽（酒精之水酸基之氫以金屬置換之化合物，亦謂之醇化物），當和水接觸時則急速加水分解而變成，氫氧化物，引起成份金屬離子之分離而得一甚佳且不易獲得之混合金屬氫氧化物。而利用加熱處理水溶液之加水分解法，為一適合於 Zr（鋯）、Hf（鈦）、錫等高原子價之金屬氧化物上，而於水溶液中則以溶膠之形態（為以顯微鏡無法看到之分子較大之粒子，分散於液體內時呈現一流動性之狀態），賦予一氧化物之超微粒子。

碳化物原料，係利用氧化物粉末之碳直接碳化反應，用於碳化矽（SiC）以外之碳化鈦（TiC）、碳化鋯（ZrC）等大部份碳化物原料之合成上，此外利用氯化性之鹵素合成物及氫化合物之氣相熱分解、氣相反應等以氣相製造之方法亦十分普遍。

至於氮化物則有金屬之氮化、氧化物之還原氮化及氯化性氯化物及氨之反應等，此為如引擎零件用等氮化矽陶瓷之原料合成之基本反應。

原料氣相合成之延續為利用氣相析出緻密之層或容積（Bulk），此種氣相反應謂之化學氣相沉積法（CVD=Chemical Vapor Deposition），用於製造氧化物、碳化物或氮化物等之薄膜、被覆、積體等之陶瓷。另外，石英系光纖之製造，係依此方法將二氧化矽（SiO₂）及二氧化鍺（GeO₂）直接製成原料棒，再拉出纖維⁽¹⁾。利用醇鹽之方法，除了上述之粉末合成外，亦應用於未經熔融處理低溫下之玻璃合成及陶瓷纖維之製造上⁽²⁾。

另外鹽基性氯化鋁及醋酸氧化鋯之溶膠等，均為高分子性而具抽絲性，利用加熱分解或反應，變成 Al₂O₃（氧化鋁）、ZrO₂ 或 SiC，以此當做前導物

(Precursor)，而分別獲得多結晶纖維。為耐火絕熱材料及複合陶瓷之原料(3)。

(2)微粒子原料

陶瓷之製造，利用粉體原料者甚多，具有脆性、硬質、高融點特點之陶瓷固體，為賦予一固定之形狀，很多均採和以往之陶瓷器相同之製造過程，「即粉體之調製」→「成形」→「燒結使之緻密化」，由此而製得者，在以前則謂之陶瓷。

如上述，原料之粉末特性會直接影響成形工程、燒結工程，進而決定性地影響完成品之顯微構造，而左右其特性及品質。表□所示為粉體之一般特性。

欲將高融點之高純度物質使之成為燒結體陶瓷時，則微粒子之粉末為不可欠缺者。當粒子直徑愈小時，粉末粒子於高溫時互相燒結之傾向則愈大，即使是高融點之物質，利用微細化於較低溫下亦可使之緻密化。

粒徑一般係使用 $1\mu\text{m}$ 左右者，構造用高強度陶瓷，亦利用 Submicron 之超粒子。為獲得一具有均勻組織及微細組織之燒結體所須要之粉末原料，除了須為一高純度、均勻組織之微粒子外，粒子亦須為一獨立且具球狀者，同時粉徑分佈範圍須狹小。

表□ 陶瓷粉體之特性

化學組成	純度 (99 % ~ 99.99 %)
礦物組成	非化學量論性 (氧化、還原)、微量成分 (種類、量)
一次粒子	單相及多相 結晶性、缺陷之種類及量 粒徑分佈 粒徑 ($0.01\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$) 粒子形狀 (球、板、針、纖維)
凝集狀態	凝結 (Aggreate) 和凝聚 (Agglomerate) 強度、大小、形狀、密度
表面性狀	比表面積、吸着、偏析
粉末特性	Stickiness 和 Glidability, Bulk Density

鹽類及金屬氫氧化物之熱分解，利用煅燒使氧化物合成時，基鹽之化學純度、基鹽之種類及形狀均影響生成物之粉末性狀。即使同一基鹽，會因沉澱及析出條件、脫水乾燥方法等基鹽之生成條件而影響所生成氧化物之粉末性狀。

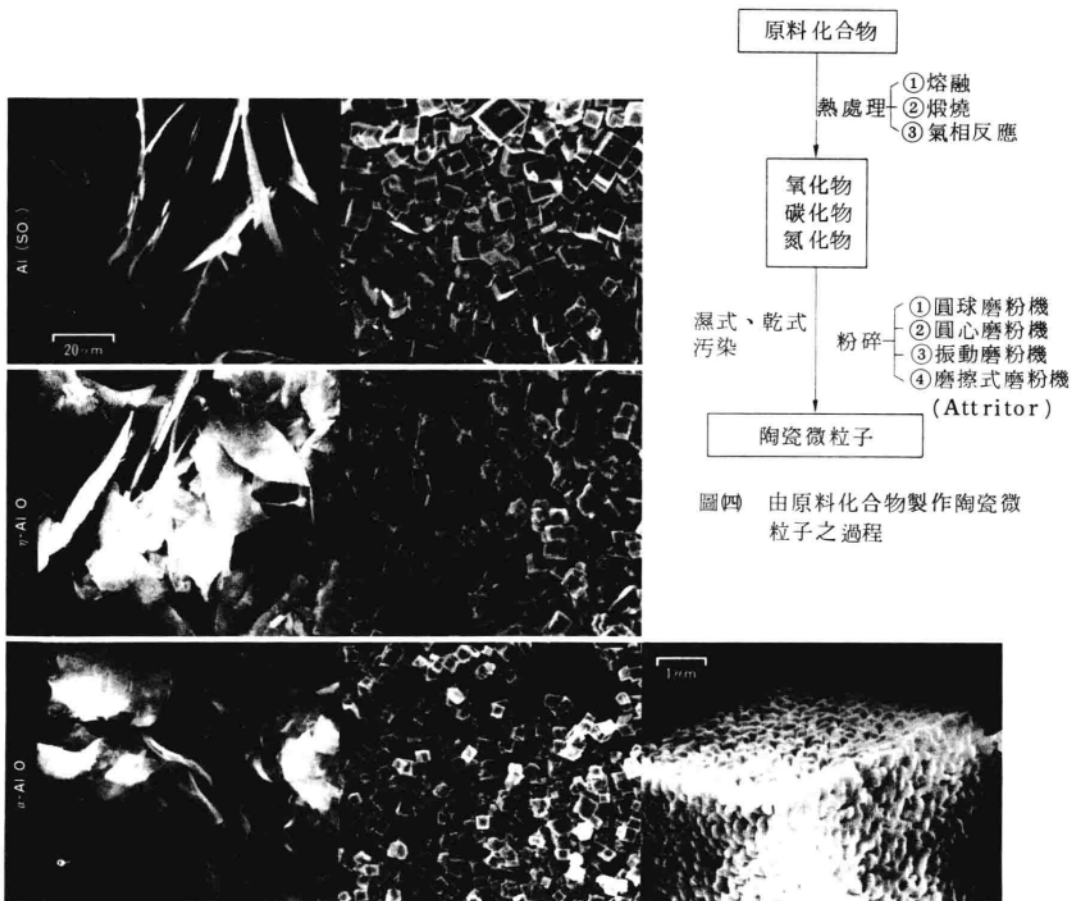
照片 1 所示為以硫酸鋁製成氧化鋁之例^(4,5)。二次粒子為微細 1 次粒子之凝集所成，一次粒子之大小、二次粒子之強度等係依基鹽及煅燒之溫度而決定。二次粒子亦可以原狀使用，若用於燒結體上時則須施予機械磨碎處理。

圖四所示為將由原料化合物製作陶瓷微粒子之調製過程。為避免磨碎時不純物之混入及不均勻化，粉碎處理有維持最小限度之必要，一般係選擇基鹽之種類而求得最佳煅燒溫度。此外磨碎處理亦利用內襯有橡膠之磨粉機，和被磨碎物相同性質之粉碎介質 (如研磨石) 等以避免污染。

最近，應用日趨活躍之氧化鋯陶瓷（Zirconia Ceramics）用原料之製造，則以煨燒方法取代以往之氫氧化物沉澱，利用加熱加水分解於生成二氧化鋯（ ZrO_2 ）超微粒子後，再施予煨燒之方法已逐漸成為主流。此係將水溶性鹽類之水溶液或氫氧化物懸濁液於適當條件下施予 $100\sim 300^{\circ}C$ 之熱處理，而於液體內賦予一氧化物結晶之超微粒子^(6,7)。若控制條件，則可得約 $100\text{ \AA}$ 之獨立單結晶超微粒子及 Submicron 之球狀凝集粒子。

照片(二)及照片(三)分別為依此而得之 ZrO_2 微粒子，及市面上販賣之精密陶瓷用含有 $3\text{ mol \% } Y_2O_3$ 之氧化鋯粉末之電子顯微鏡照片。(b)係由微細均勻之獨立化粒子所形成，為一成形性、燒結性均佳之粉末。

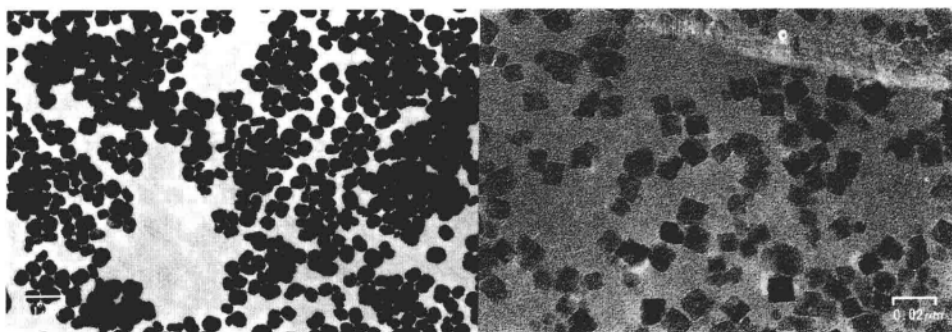
超微粒子之合成技術受到矚目之一者為醇鹽之應用。醇鹽易溶於酒精內，同時和水會激烈反應，成為金屬之氫氧化物或含氫氧化物之超微粒子。對於含有2種以上之金屬離子之氧化物粉末及微量成分均勻分配微粒子之合成而言，為一甚佳之方法⁽⁸⁾。最近則利用此方法，而得一粒徑分佈範圍狹小之球狀凝



照片(二) 具有各種形狀硫酸鋁及其熱分解生成氧化鋁之二次粒子

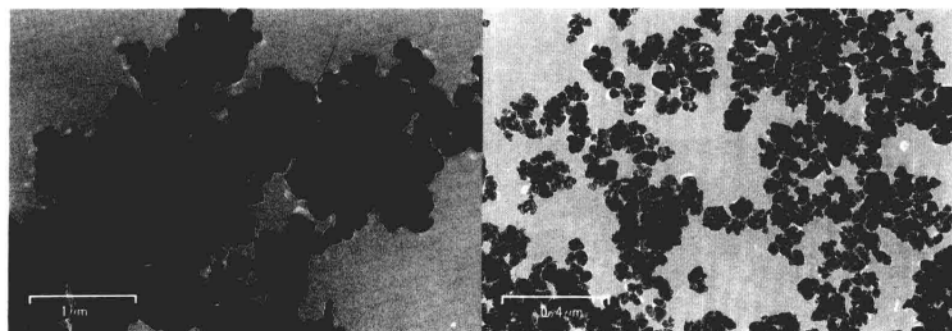
(a) 利用液內造粒所得之 ZrO_2 凝集粒子

(b) $\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$ 固溶體超微粒子



照片(ㄅ) 利用加水分解法所獲得粒徑均勻之 ZrO_2 微粒子

(b) 微細均勻之獨立化粒子



照片(ㄅ) 市面上之 ZrO_2 微粉末 (含有 3mol % Y_2O_3)

集粒子，亦即單分散球狀粒子⁽⁹⁾。

於氣相中高溫合成之生成物以相互獨立之浮游狀態將此冷却搜集之方法，可獲得一未凝集之甚佳球狀微粒粉末。如於電漿 (Plasma) 之高溫氣流內，導入金屬氯化物等之氯化性化合物，而合成氧化物、碳化物、氮化物等之 Sub-micron 粒子粉末⁽¹⁰⁾。此外，利用金屬鹽之溶液以噴霧狀使之高溫熱分解，亦可得一球狀微粒子粉末。

(3) 異方形狀粒子

均勻直徑之球狀微粒子粉末為一獲得緻密燒結體之最基本條件，另一方面，具有異方性（意指依結晶軸之不同而具有相異性質之特性）形狀粉末粒子之應用亦開始逐漸受到矚目。於此，須有一能促進結晶異方成長之合成法，此則可利用氣相或液相。氣相合成可得各種金屬之氧化物、碳化物、氮化物等之鬚晶 (Whisker)，而能發揮金屬複合強化劑之價值。