

科學圖書大庫

窯業原料手冊

譯者 程道腴 潘德華

徐氏基金會出版

序

早在民國五十一年，應聘來華指導陶瓷工業的歐伯聯教授（Prof. Brain O'Brain）給我一本美國窯業雜誌刊出的窯業原料彙編，囑我譯成中文。斯時，中國生產力中心在積極地從事輔導陶瓷工廠，並設立陶瓷訓練所，聘請國外陶藝專家任教。我在譯成後，該中心就連同我譯的陶瓷釉藥及色料手冊，一併出版。

迄今二十多年，此間由於基礎研究和應用研究的輝煌成就，成就了今日的巔峯科技。在材料中，陶瓷材料也和金屬及塑膠材料，鼎立而肩負起科技發展的重任。此處所指的陶瓷材料，在多方面已超過傳統陶瓷範疇。雖然也是無機質的、非金屬的，但決不是天然的、礦物的，而是高純度的工業製品。已經不全是氧化物，而氮、碳、矽、硼等等的化合物，也粉墨登場。也不再是些普通元素的化合物，而稀有元素，竟有後來居上之勢。同時成品的性能上，也獨突地遠超傳統陶瓷成品。但是，無論如何，陶瓷工業中常用的原料製備、成形和燒成三步作業，却仍舊使用，於是也得歸納在陶瓷範圍內，而另名新興陶瓷（New Ceramics）。又其所用的原料，也大異其趣，遂不得不另闢一類曰新興陶瓷原料，加上原有的成為兩大類。准此，二十多年前出版原料彙編，豈只是明日黃花？

本書是依一九八三年元月號的窯業工業雜誌（Ceramic Industry）所載的電子及工業陶瓷與新興陶瓷原料（Materials for Electronic / Industrial and Newer Ceramics）選譯而成。專門名詞，則照正中書局印行國立編譯館編訂之化工、機械、材料等名詞，名山出版之趙敏修主編之地質學名詞辭典及復漢出版社印行吳朗譯編之電學電

子名詞大辭典等書。索引一項，擬便於查閱及節省大校時逐頁標誌之煩，乃將每一名詞各編一號，順序編排。號碼採五位數，首一字代表類別如新興陶瓷原料歸在第一類，而冠以“1”字首，然後順先後依次編號，讀者可照編號依序查閱即可。

程 道 腴 謹識 於加京客寓

目 錄

序.....	I
第一篇 新興陶瓷	1
【 A 】	3
【 B 】	6
【 C 】	16
【 D 】	21
【 E 】	21
【 G 】	22
【 H 】	26
【 I 】	27
【 L 】	31
【 M 】	36
【 N 】	41
【 O 】	42
【 P 】	43
【 R 】	45
【 S 】	47
【 T 】	53
【 Y 】	57
【 Z 】	58

第二篇 傳統陶瓷	61
【A】	63
【B】	83
【C】	104
【D】	138
【E】	145
【F】	147
【G】	156
【H】	162
【I】	164
【K】	171
【L】	175
【M】	193
【N】	208
【O】	217
【P】	219
【Q】	236
【R】	236
【S】	239
【T】	274
【U】	286
【V】	288
【W】	291
【Z】	293

第一篇 新興陶瓷

【A】

10001

鋁氧 (Alumina)，來自鋁礬

分子量 101.9；比重 3.98

一系列純度極高的煅氧化鋁，是由鋁礬硝酸塩衍生而非自氫氧化鋁。由此方法所得的氧化鋁，標準純度為 99.99%，但是。只要在將明礬煅燒之前，反覆地多次重結晶，純度很容易提高。

自明礬衍生的氧化鋁，廣泛地用於製造鈉蒸氣燈用的很透明氧化鋁管；用於傳送敏感光；做為鈉 β -氧化鋁固體電解質的原料，以及YAG為青玉單晶體茁長作業，和需要有無 α -粒子放出規格的電子陶瓷中。

自明礬衍生的各種氧化鋁，均可製出很寬的表面積範圍，自 γ - Al_2O_3 ($140 \text{ m}^2/\text{g}$) 到純氧化鋁 ($1 \text{ m}^2/\text{g}$) 不等，全取決於煅燒的程度。大致而言，凡是由明礬衍生的各種氧化鋁，不同於貝爾法製的氧化鋁，控制其粒度和表面積，不能用球磨機。用於陶瓷級的，都使用一種無沾污反膠聚的方法 (Noncontaminating deagglomeration process)，以縮小膠聚物粒度於極狹窄的範圍內，而得分佈一致。

這一類的氧化鋁，也用於精密的光學的及冶金的實驗室中，以為超微拋光粉末，其具有各種所謂的粒度 (particle size)。其中最平常的為 0.05 微米 (micron, γ -) 及 1.0 微米 (α -)。

茲將代表性自明礬衍生的氧化鋁性質列下：

純 度		99.99% Al_2O_3
Na	<	30 ppm
Pb	<	18 ppm
Si	<	18 ppm
Ni	<	8 ppm
Fe	<	20 ppm
Ca	<	10 ppm
Ga	<	15 ppm

粒 度：

0.15 微米（相當於球徑）

膠聚物大小：

60 % 不到 1.5 微米

表面面積：

$10 \text{ m}^2/\text{g} \pm 1 \text{ m}^2/\text{g}$

% α - Al_2O_3

< 90 %

體密度

0.51 g/cc.

10002

鋁氧，單晶體（Alumina, Single crystal Al_2O_3 ）

分子量 101.9，比重 3.98；熔點 2040°C ；硬度 9 莫氏規格，六面形晶體結構；在 50°C 熱膨脹，平行於 C- 軸者為 6.66×10^{-6} ；垂直於 C - 軸者， 5.0×10^{-6} ；電抵抗率，在 500°C 時為 10^{11} 歐姆公厘；介電常數在 300 mc 以下，平行於 C - 軸者約 10.6，垂直者則為 8.6，介電損失 $\tan \sigma$ ，在 1000 c.p.s < 0.002 ，在 300 mc. < 0.0001 ；紫外綫傳送在 1500 埃時 20 %，紅外線傳送，在 3 微米時為 92 %，在 6 微米時，50 %。

天然的如剛玉，紅寶石和青玉等，其中剛玉為清澈，純度較高的透明晶體；而紅寶石和青玉，其中雜質濃度可高達百分之幾。

合成鋁氧晶體為透明又有色，是碾得很細的 α - 鋁氧粉，用 Vemeull 或火焰熔融法（Vemeull or flame fusion process）製成的。而 α -鋁氧則由提純後鋁明礬，以熱分解法製成，並可任意加所要着色的雜質。

除用作珠寶外，合成 Al_2O_3 晶體在工業中用途很廣，凡要求有高度耐磨耗的，如鐘錶軸承、抽絲模等等。又清澈晶體的紅外線傳遞率（Transmissivity），加上高溫安全性，以致使它能做成價值較高的科技和軍用設備。目前技藝已經可以製出大直徑的窗。這些零件可以密

封於金屬、玻璃或其他陶瓷材料上面。單晶體，鉻處理過的 Al_2O_3 ，稱為合成紅寶石的，用於各類雷射光激升器（Pump）的來源。

10003

銻化鋁（Aluminum antimonide AlSb ）

分子量 148.7，熔點 1080°C ，結晶呈閃鋅礦結構。晶體硬，脆且有金屬外表，其結合鍵（Bonding）大多為單極特性，但也帶些雜極性（Heteropolar）。製法是將純鋁和純銻在 Al_2O_3 坩堝中，共熔於怠性或還原性氣氛下。至於鋁或銻二者在其化合物中溶解度，甚微或無可能。至於這種單晶體製造的技術，是在剛及熔點以上，自熔物表面緩緩地抽出種子晶體來。此法必定是 AlSb 在冷凍時會膨脹的。

AlSb 用於電子方面是一種很好的半導體，其電子能帶空隙為 1.6 eV。大於矽的，如斯，則可用於的較現在更高的溫度之下，用來做整流體或電晶體。正載劑（Carriers）的移動度約 $450 \text{ cm}^2/\text{volt}\cdot\text{sec.}$ ，大致和矽相同。不過， $250 \text{ cm}^2/\text{volt}\cdot\text{sec.}$ 的電子移動度，却低得很多。晶格常數 6.1347×10^8 。

此化合物在潮濕大氣中有分解趨向，所以必定要貯存在乾燥器中。純的試品比較有耐腐蝕性。

10004

鈦酸鋁（Aluminum titanate $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ ）

在 $1260^\circ - 1865^\circ\text{C}$ 安定，但在 $860 - 1260^\circ\text{C}$ 時却不安定，可以被少量的鈦酸鐵或鈦酸錳所還原。此化合物是由 Al_2O_3 和 TiO_2 在 1300°C ，加熱 12 小時而成。此晶體的熱膨脹係數： $a - 8.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ； $b - 18.7$ 及 $c - (-2.8)$ ，其團聚體（Aggregate）（ $25^\circ - 1000^\circ\text{C}$ ）在較高溫度下則減少，在 $1650 - 1700^\circ\text{C}$ 成熟後，可達 $-2 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ 。至於其現示膨脹磁滯環（Hysteresis loop）原因，是內部由於膨脹係數的異向性（anisotropy）引起破碎的結果。此物已經用於耐熱震方面。

【B】

10005

碳酸鋇 (Barium Carbonate BaCO_3)

碳酸鋇可以防止磚、瓦、砌磚水泥、彩陶器和下水道管等，因可溶性硫酸塩類變成不溶解的硫酸鋇，以防止形成皮垢及風化。如斯，則許多不能利用的黏土，都可以用。此物還可減少孔隙度，防止褪色作用。

用於釉和琺瑯內，具有良好的助熔性，使其彈性、光澤、光亮、機械強度及耐有機酸性等，均有改進。

在燒成品中，碳酸鋇用來減低介電損失。

在玻璃中，則改善加工性、降低熔點，除此，還增加生產率。用於冕玻璃及燧石玻璃，乃至壓花玻璃器、電視管、實驗室玻璃器皿以及光學玻璃中，兼顧及其光輝與硬度。碳酸鋇不為爐烟所還原，如此，則玻璃可以在敞口罐中熔融而不致褪色，有較高的介電常數，及對各種玻璃組成有抵抗性。

碳酸鋇用於硬永久磁石心中，可產生最大熔融密度。粒度小的需要徹底地混合，且使磁石更緻密。在某種代表性鋇鐵氧磁體 (Barium ferrite) 混合物中，碳酸鋇約佔 18 % 左右。碳酸鋇用來製造多種鈦酸鋇陶瓷，用於多種電子設備中，其具有高介電常數，良好的壓電強電性質 (Piezoelectric ferroelectric properties)。

碳酸鋇用以減少塊滑石瓷、鎂橄欖石瓷、鋯石瓷及鈦酸塩等的介電損失。

10006

單水化鋇 (Barium Monohydrate, $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

分子量 189.4，全溶於水，這是極高純度鋇的大量來源，用以製造鋇鐵氧磁體磁石。有一專利方法，就是將泥漿狀的單水化鋇和氧化鐵碳酸塩化，以形成 $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 於鐵粒表面，然後將所得的化合物，乾燥，燃燒 1800—2400° F。

10007

錫酸鋇 (Barium Stannate)

錫酸鋇是白色粉末，從一種水液中反應沉澱析出，其化學式： $\text{BaSnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。加熱至 280°C 或更高時，此水化物失去水分，而留下的是無水錫酸鋇 (BaSnO_3 ，分子量 304.06)。此無水化合物，也可以將鋇化合物經煅燒而成——如 BaCO_3 和 SnO_2 。

錫酸鋇用做添加物，以加到鈦酸鋇中，用做陶瓷電容器。錫酸鋇加入鈦酸鋇中，製成的電容器會將居禮點轉移（此點是介電常數對溫度所劃的曲綫的最高介電常數點）到較低溫度，至於移轉多寡，和莫爾添加成直綫商數。一件在室溫下有極高的介電常數的電容器（K—8000—12,000），其組成接近 91 莫爾% BaTiO_3 及 9 莫爾% BaSnO_3 。

10008

鈦酸鋇 (Barium titanate, BaTiO_3)

熔點在 1500°C 以上，此化合物平常由是碳酸鋇和二氧化鈦，經固態反應而生，現廣泛地用於電子工業中。因此物高介電常數。壓電及強電等性能。鈦酸鋇之高介電常數，以及它和別的材料配合，容易改變其各種電的性能，以致特別適用於製造些縮小的電容器。鈦酸鋇的純者，在其居禮點， 130°C 時，會突然地相改變，自正方晶系轉為等軸晶系。

鈦酸鋇的介電常數，在 1 KHz， 25°C 時在 1200 到 1600 之間，當接近居禮點時，增加到 $\sim 10,000$ 。功率因數 (Power factor) 在這種相同的情況下，1.5% 為最大。又因許多種類材料，其介電性質因溫度和電壓而變動很大，但鈦酸鋇則否，除少數例外，可以不用修正而直接就製成介電體。同時其介電常數也容易予以改變，只要和其他材料配合，（如鈦酸塩類，鋇酸塩類及錫酸塩類等）結果而形成固溶液，為缺陷結構或為各成份材料的混合體。藉着這種技術，鈦酸鋇組成可以製造多種介電性不同的介電體——自對電壓和溫度較不敏感而具低分散因數 (Dissipation factor) 的，到因溫度和電壓而有重大改變，且具有高分散因素。至於加到鈦酸鋇的介電質添加物種類和分量，由所期望

的介電性而定。

鈦酸鋇本身的介電和壓電性質，可受它本身的化學量論（Stoichiometry）及微結構，以及能進入固溶液內添加物離子等影響。若有過量的 Ba^{+2} 時，一般都得到一種微細組織的介質（Matrix），顆粒約為 $5 - 10 \mu\text{m}$ 左右。若 Ti^{+4} 過剩時，則顆粒生長較極端，而在可和燒成溫度比擬的溫度下，最後的粗粒大到 $50 - 100 \mu\text{m}$ 。不依化學量論而來的 $\text{BaO} : \text{TiO}_2$ 比率，或者外加雜質的話，燒成結局可能歸入半導性陶瓷類。至於鈦酸鋇的轉移溫度（Transition temperature），可以移動且可下降。 Sr^{+2} ， Zr^{+4} ， Sn^{+4} 和 Hf^{+4} 可將之移到室溫及更低。 Bi^{+3} 和 Pb^{+2} 則會向較高溫度轉移。在室溫下，鈦酸鋇的介質透電率（Permittivity），常數 ~ 2000 ，但可從 ~ 1500 變到 3500 ，視純度及微結構而定。

因任何材料能影響鈦酸鋇晶格的，都會改變其介電性，而重要的是雜質（ SiO_2 ， Al_2O_3 等）。要控制及維持在低程度，這不單對採用的鈦酸鋇而言，同時也對任何一步作業或各組成的製備上，都是如此。一般包括混合，有時煅燒和碾細。做成介電體單元一如機械壓形，擠出衝擊，或者做複層電容器時，薄膜鑄造；乃至熱處理和緻密化作用等。鈦酸鋇坯體，可在 1900° 至 2600°F 之間燒成，全視其組成而變。

複層陶瓷電容器方法，這是製造整塊電容器最普遍化方法，包括加有機黏結劑混合粉料，薄帶鑄造（厚： $\sim 25 \mu\text{m}$ ），電極的絲幕法，薄帶的堆積，割切成層薄帶成單個電容器，黏結劑焚燬，燒成，終端法（termination）及裝膠囊（Encapsulation）。

鈦酸鋇陶瓷製品，均用於水中聲納（Sonar），導向飛彈，感音水雷（Acoustic mine），超音波清除，測量儀器類（缺陷偵測，液平面覺知，厚度計量規）。

10009

鎢酸鋇（Barium Tungstate, BaWO_4 , Barium Wolframite）

分子量 385.36，正方系無色晶體，密度 5.04 g/cc ，微溶於水及溶於稀酸中。熔點未測。

10010

鉛酸鋇 (Barium Zirconate, $\text{BaO} \cdot \text{ZrO}_2$)

鉛酸鋇主要用做添加劑，加到鈦酸鋇及其他鈦酸鹽或鉛酸鹽等介電材料中，以期製成規定電氣性質的介電體。又因此物的耐火性，所以不能單獨使用燒成坯體，正常的只用 8—10%，要看整體組成上的平衡而定，以製成具有介電常數，在其居禮點時自 3000 到 7000 之間。

10011

鋇鉛矽酸鹽 (Barium Zirconium Silicate)

這是合成的雙矽酸鹽，熔點在 1200°C 以上 (見矽酸鋇，合成雙條)。

10012

氧化鈹 (Beryllium Oxide, BeO)

密度 3.03，熔點 2650°C ，市售者有純度達 99.9% 粉末。不透水鈹氧陶瓷，是目前唯一習慣上製造的陶瓷中純度較高者，以符特定條件。至於低純度者則不多，因其熱導率受雜質增多而減低很大。可以用的有三種不同粒度的：最細的是次微米到 1—2 微米，此係用於陶瓷之製作，及 / 或者製造 $\text{BeO} \cdot \text{UO}_2$ 燃料體 (fuel elements)。較粗級的，即 2—8 微米級的，主要用來製造純度自 96% 到 99.5% 的鈹氧瓷。

氧化鈹粉也用做規定粒度分佈的超高密度的顆粒，若摻加樹脂或其他有機物，則可做為極高導熱塗料，及 (或) 為隱蔽化合物 (Potting Compound)。若 BeO 粒選用正確，並正確地混以樹脂時，可增加有機塗料及 / 或隱蔽化合物的熱導率 10 到 20 因數。

做成陶瓷時，氧化鈹有下列各特性：

1. 極高度熱導率，特別在低溫時。
2. 優異電氣性質。
3. 傑出的耐潮濕及耐許多金屬及非金屬腐蝕性。
4. 中上度的強度。

5. 可貴的核能性質，包括特低的熱中子吸收截面。

6. 易用於製各種各樣形狀和大小物體。

鉍氧粒和有機質的型性混合物，封裝在膠囊中備用，但市售者却不多。此混合物比其他裝囊的可塑性組成，具有較高的熱導率，又因有鉍氧關係，處理時必需嚴格規定，因而有限度的用於隔電和導熱的方面。

茲將以相同設備，將鉍氧與其他材料的熱導率的實地試驗結果，分列如下：

氧化鉍的熱導率全靠其純度，這點可以用各種鉍氧瓷製造商所公佈文獻中的數值來證明。

純度由 99 % 增加到 99.8 % 時，結果熱導率上增加率由 10 % 到 15 %。

在應用方面，鉍氧陶瓷不單具某一種性質，而可望具有各性質的配合。

主要用途是在其高度熱導率，即使在最高溫度下，其熱導率高於緻密鋁氧的四倍；自室溫到 500 °C，要高 7—8 倍。此外，它還是優異低介電損失體，其機械性能只略次於緻密的鋁氧瓷而已。鉍氧耐潤濕性特優，所以也耐多種熔化金屬和爐渣的腐蝕。

由於氧化鉍有突出的耐腐蝕性，結果使其在化學上和機械上有了新的用途。茲列舉數例如下：

物理性質

比 重	3.008
熔 點	2650 °C
軟化點	> 2000 °C

熱導率 Btu/hr./ft²/°f/ft. 150

熱膨脹係數/°F

① 212 °F	5.4×10^{-6}
② 932 °F	7.4×10^{-6}
③ 1832 °F	8.9×10^{-6}

機械性質

抗張強度 psi

室 溫	18,000-20,000
1000 °F	5,000
耐壓強度 psi	
室 溫	200,000
2000 °F	60,000
橫壓強度 pei	35,000
彈性模數, psi	40-45

BeO 瓷除用於核子方面之外，還有用於調速器 (Klystron) 和瓷電子管部份品、放射窗、天綫窗、雷達天綫，以及做熔融鈾，鈾和鈾的坩堝等。

至於飛機、火箭和飛彈方面，鈾氧瓷也表示有朝此方擴張其應用之趨勢。

許多零件，在感應電爐石墨模中熱壓成的，有調成漿狀以鑄形，正規的是用乾壓法及擠出法成形。

BeO (鈾氧) 現正使用於原子爐中，因為它的耐火度，高熱導率且能做快速中子的緩衝劑 (Moderator)，使之減速到“熱”的速度 (“Thermal” Speed)。“熱的”中子使融合 U^{235} 作用更加有效。還有它在原子爐中是一個極有效的反射材料 (Reflector material) 因鈾氧與鈾的氧化物有可互換性 (Compatibility)，可用作核燃料單體的介質材料。若和適當的核毒物相混，又可能用在屏隔及控制棒等零件。

BeO 瓷主要市場有：

1. 微波管部品，諸如陽極支撐物、封包物以及太空船螺旋支撐物、集極隔離體 (Collector isolators)、散熱座和窗。
2. 基板、座墊、散熱座以及固態設備包裝。
3. 氣雷射用的鑽及電漿封套。
4. 特別精細迴轉儀 (Gyroscope) 用的支座及平衡圈環。
5. 在核能應用上，可做快中子緩衝劑，反射材料，在核燃料體中，和控制棒中的零件中，做為基質材料。

10013

錫酸鉍 (Bismuth Stannate, $\text{Bi}_2(\text{SnO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

分子量 972，成熟溫度 2100°F 。介電常數在 1 KHz 時 $K = 30$ ，在 1 MHz 時 $K = 34$ ，用於陶瓷電容器中，和別的錫酸鹽一起，做為居禮峰 (Curie peak) 的改良劑。

10014

碲化鉍 (Bismuth tellurid Bi_2Te_3)

分子量 800.98，晶體結構為菱形。熔點 585°C 。 Bi_2Te_3 製法，平常是接近化學量的二元素起反應，而予以定向冷凍。 Bi_2Te_3 是目前已知最佳的熱電材料 (Thermoelectric material)。又因其在接近 100°C 時喪失其半導體性，所以只能用於冷卻的裝置中。晶格常數 10.45×10^{-8} ， $24^\circ 8'$ 。

譜帶分離 (Bond Separation) — ev ($T = 300^\circ\text{K}$) = 0.16 。
遷移率 (Mobility) — ($T = 300^\circ\text{K}$) $\text{cm}^2/\text{volt-sec.}$ — > 580 電子
— > 400 孔洞。

碲化鉍的電阻係數 10^{-3} ohm-cm. ，熱導率是銅的 $1/200$ 。此二者配合則得一種材料，具有高熱電力，約在 $200 \mu\text{v}/^\circ\text{C}$ 。據 Battelle 研究，冷凍機使用碲化鉍為發熱體時，則冷熱間的溫差為 49°C ，這指明是在無負荷的情況下是為佳。至於說純的就表示所製備碲化鉍，具有溫差 68°C 者。

10015

硼 (Boron, B)

原子量 10.811。深灰色菱形晶體，具金屬光澤，密度 $2.34\text{--}2.35 \text{ g/cc.}$ ，或為棕或黑色無定形粉末，密度 $2.37\text{--}2.40$ 。不溶於水。熔點約 2200°C 。

10016

碳化硼 (Boron Carbide, B_4C)