

本期內容：電子陶瓷

日期：2007 年 5 月

編寫：何泓儒

吳孟勳



學 術 期 刊  
○ ○ 7 期  
電 子 陶 瓷

## 一、介紹

在材料的領域中，大致可以分成三個部份：金屬、高分子、與陶瓷。陶瓷 (ceramics) 是人類發現的第一個合成材料 (synthetic material)，同時也是發展最久遠的工藝技術。陶瓷的基本定義為「金屬與非金屬的化合物，經人為高溫處理的無機非金屬固體材料」，包括矽酸鹽、氧化物、碳化物、氮化物、硫化物、硼化物等，它有不燃、不生鏽、堅硬、可塑性等優點。早期被拿來製成器皿、藝術品，而今則發展於工業上或高科技的產品，例如太空梭外殼的隔熱片、電磁爐爐板、汽車引擎外殼等。

一般作為器皿或藝術品的陶瓷稱為傳統陶瓷 (classical ceramics) 或貿易陶瓷 (traditional ceramics)，而應用在高科技或工業的陶瓷稱為新陶瓷 (new ceramics)、精密陶瓷 (fine ceramics)、高科技陶瓷 (high-tech ceramics) 或特種陶瓷 (special ceramics)，這兩種陶瓷材料都是無機非金屬材料，不同的地方在於原料、特性、價值、製造條件，採精製的高純度無機材料為原料，利用各種化學或物理方法控制組成及均勻度，再以乾式壓製、鑄漿、或射出成形等方法成形後，經過反應及燒結，使其顯微結構與物性、化性達到一定標準，再經過加工製成成品。具有以下特性：

1. 高彈性係數
2. 高硬度
3. 高壓縮強度
4. 低介電損失係數
5. 具寬廣的熱傳倒係數
6. 低熱膨脹係數
7. 高溶點
8. 具化學穩定性
9. 大量存在地表上
10. 有些陶瓷具超導性

精密陶瓷可分三大類：電子陶瓷 (electronic ceramics)、結構陶瓷 (structural ceramics) 或稱工程陶瓷 (engineering ceramics)、生醫陶瓷 (bioceramics)。其中以電子陶瓷的應用最為廣泛，在電子工業占相當重要的地位，依照工作特性區分為八大類：

### 1. 絕緣陶瓷 (insulating ceramics)：

電子陶瓷最早發展的一支，在電路中作絕緣用，例如高壓電塔上的絕緣礙子。在微電子系統中，主要是用來作為積體電路的基版及封裝，要求的基本條件為高電阻係數、低介電損耗、低介電常數、高熱傳導率以及低熱膨脹係數，氧化鋁 (alumina,  $Al_2O_3$ ) 和氧化鈹 (beryllia,  $BeO$ ) 是最常用的材料。其中氧化鋁具有比高分子更高的熱傳係數及更強的機械強度，通常電路基板的氧化鋁含量在 92% 至 96% 之間。與氧化鈹比較，氧化鈹各方面的特性卻比氧化鋁更佳，氧化鈹的熱傳導比氧化鋁高八倍，介電常數更小，因此產生的電容量小，訊號傳輸速度較快，但缺點為價格昂貴且生產時會產生毒氣。

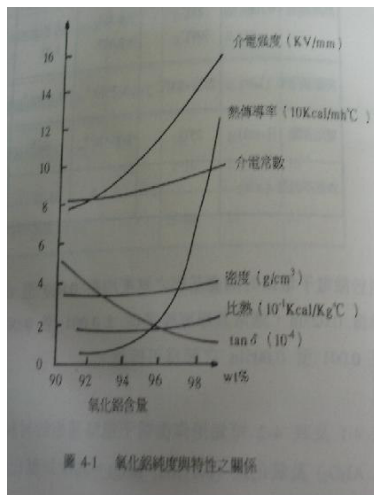


圖 4.1 氧化鋁純度與特性之關係

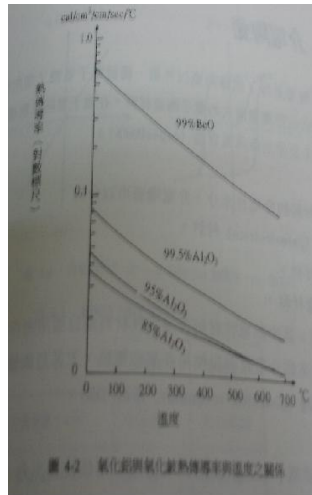


圖 4.2 氧化鋁與氧化鋁熱傳導率與溫度之關係

## 2. 介電陶瓷 (dielectric ceramics):

在電子電路或電機設備中主要用來開發電容器。依照材料的介電性來分，可分為順電性材料、強電性材料、高頻介電材料。由於目前電子元件追求小型化，因此將多層的電容做積層的串連，成為積層電容器，大量的以表面黏著技術(SMT)使用在印刷電路版上，例如利用高頻介電材料製成的高頻共振元件，則運用在大哥大電話，衛星通訊等高頻通訊的領域。

目前一般電子電路所使用的電容器依特性分為三類：

- 第一類：溫度補償型，以順電性材料製成。
- 第二類：高 K 型，以強電性材料製成。
- 第三類：半導體型，可由順電性材料或者強電性材料製成。

順電性材料的主要特性就是介電係數小，因此低損失因數；電容溫度係數小且和溫度呈線性關係，而且溫度係數小，因此適於作為溫度補償型。它的特性穩定，而且容易預知他受溫度影響後的變化，因此常被使用在某些需要高穩定性的電路上。

強電性材料，又稱鐵電性材料，其基本特性和順電性材料完全不一樣。擁有高介電係數，容易受溫度影響且變化為非線性。其與順電性材料的差別列於下表：

	相對介電係數	D-E 關係	電容溫度係數	介電損
順電性	小 (<500)	線性	小	小
強電性	大 (>1500)	非線性	大	大

而強電性材料與順電性材料的最大差異在於其會有自發極化現象，且隨外加電場而改變方向。在電場作用下會產生如磁滯般的電滯現象，當施加電場最大時有一最大極化值，此時除去電場，極化值並不會降為零，而有一殘留極化值存在，此殘留極化值可經由施加一大於矯頑電場的電場予以消除。

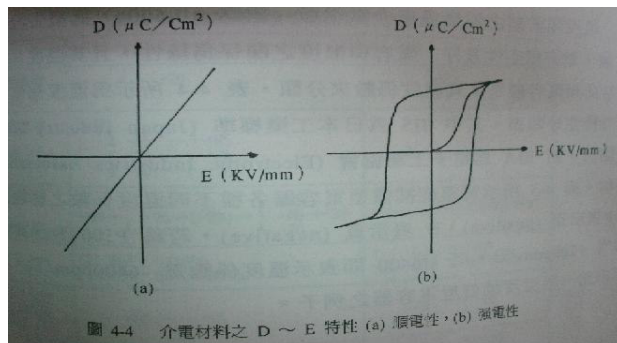
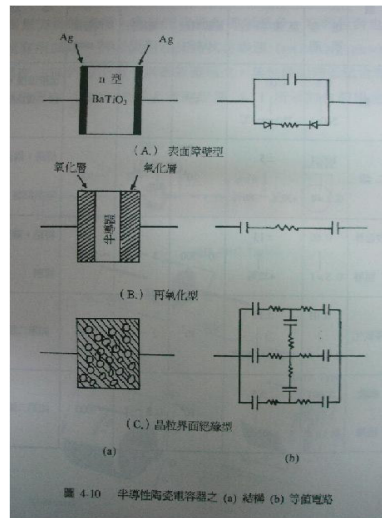


圖 4.4 介電材料之 D ~ E 特性 (a) 順電性, (b) 強電性

半導體材料，以鈦酸鋇 ( $BaTiO_3$ ) 或鈦酸鋇 ( $SrTiO_3$ ) 為原料，加入五價或三價元素可使其具有半導體性。依

照處理方式可分為障壁層型、再氧化型、晶粒界面絕緣型三種基本型態，如下圖為三種型態以及其等價的電路。

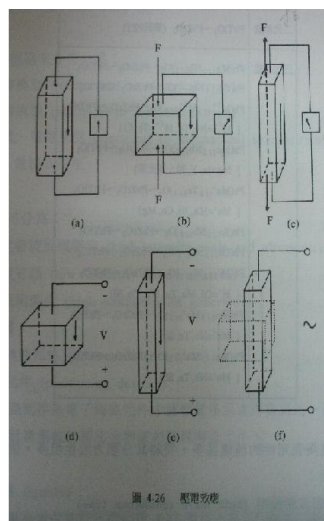


### 3. 壓電陶瓷 (piezoelectric ceramics):

目前用途較廣且產量較大的電子陶瓷元件，除了介電陶瓷以外，就是壓電陶瓷和磁性陶瓷。

壓電現象在 1880 年被發現，是一種機電轉換現象，包括：

1. 正壓電效應 (direct piezoelectric effect): 當一力作用於壓電材料的兩端時，會產生一與力成正比的電荷量或者是電壓，當力的方向相反時，電荷與電壓的特性也會相反。
2. 反壓電效應 (converse piezoelectric effect): 當一直流電場加入壓電材料中，壓電材料的形狀會隨著電場大小而改變，而電場方向改變時，形變方向也隨之改變。若加入的電場為交流電，材料的形變也會隨著交流而改變。



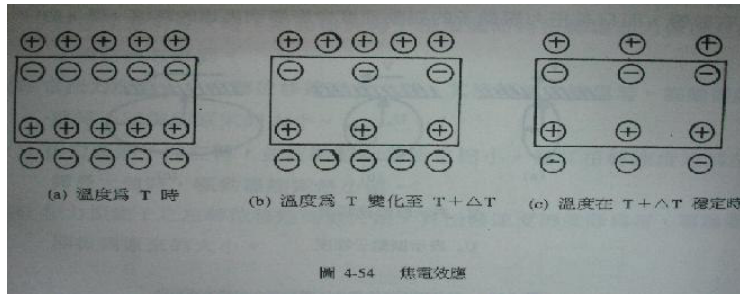
利用它所製成的產品種類相當多，主要應用的材料是 PZT ( $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ )，它可加入不同雜質或者第三成份，來改變特性。瓦斯爐的點火器，揚聲器，超音波震盪器，驅動器，超音波馬達，都是運用機械能與電能的互換特性所製成，此外還可以製成壓電變壓器與濾波器，應用相當廣泛。

#### 4. 焦電陶瓷 (pyroelectric ceramics):

所謂焦電性，指當週遭溫度變化時，材料本身會產生表面電荷而形成電壓或電流來表示溫度變化的一種現象，可以下列方程式表示：

$$\begin{cases} I = Ap(T) \frac{dT}{dt} \\ p(T) = \frac{dP}{dT} \end{cases}$$

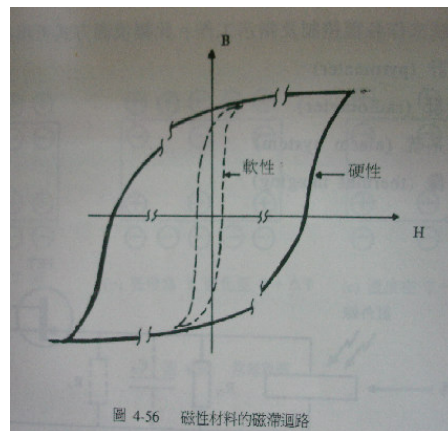
其中 I 為產生的電流，A 為常數，P 為極化量，T 為溫度(K)，p(T) 為材料的焦電係數(pyroelectric coefficient)



具有壓電性的材料通常也具有焦電性，常用來製作焦電性應用元件的是 PZT、PLZT、BaTiO<sub>3</sub> 等。利用陶瓷的焦電特性，可以製成紅外線偵測器，用以高溫計、輻射計、警報系統、與熱影像等用途上。

#### 5. 磁性陶瓷 (magnetic ceramics):

磁性材料根據矯頑磁力可分為「軟」、「硬」兩種，以磁鐵來說，矯頑磁力小的軟磁鐵容易去磁，矯頑磁力大的硬磁鐵則可將它磁化成為永久磁鐵，因此，磁性陶瓷就是可以具有磁性的陶瓷。由於陶瓷所具有的磁性強度是別的材料所沒有的，因此大量被用在製作電感或變壓器的磁蕊，磁性記憶材料(如軟硬碟或磁帶上的塗膜)，各種微波元件，與揚聲器、馬達等等。



#### 6. 電光陶瓷 (electrooptic ceramics) 或透明陶瓷 (transparent ceramics):

電光陶瓷是指具有強電性的陶瓷體，當改變加於其兩端的電壓時，可以控制通過光線的型態，常運用在光學元件上，例如 PLZT (lanthanum-substituted lead zirconate titanate, (Pa, La) (Zr, Ti) O<sub>3</sub>) 可製成透明的陶瓷，透光率達 98%，經過電場極化後，不同極化狀態的光穿過陶瓷時會產生相位差，若配合適當的偏光裝置於光徑中，則在某些相位差時，光線無法通過，某些可大部分通過。由於相位差可靠電場控制，因此電場可以控制光線的穿透率，而成為電光陶瓷。

PLZT 已經有許多應用，如做為相機快門，利用電場控制光線的通過與否，不需如傳統機械快門的複雜，又可作為濾色片、影像儲存元件、影像顯示元件、護目鏡、光調變器，或使光左右掃描的偏光器，用途極廣。



## 7. 半導體陶瓷 (semiconducting ceramics):

一般人都認為陶瓷是絕緣體，其實經過適當的處理，半導體也可以具有半導體的性質。一般半導體的載子通常為電子或電洞，而陶瓷半導體除了電子、電洞，還可以為離子。此外，一般半導體可以製成 pn 接面，但陶瓷半導體只能分別製成 p 型或 n 型半導體，無法製作成 pn 接面。

添加氧化鋅與數種適當物可以製成變阻器，由於它具有吸收突波的特性，可以用來保護電子元件，防止突波的破壞。因為無法製作成 pn 接面，所以無法擔任整流或放大的工作，主要用來製作各種感應器。有些半導體陶瓷的導電性因溫度的不同變化很大，可以用來量測溫度，以 PTC 陶瓷做加熱器具有自動控溫的特能，如陶瓷暖爐，還可以做濕度或氣體感測器，具有元件簡單，但靈敏度高的特性。

## 8. 超導陶瓷 (superconducting ceramics):

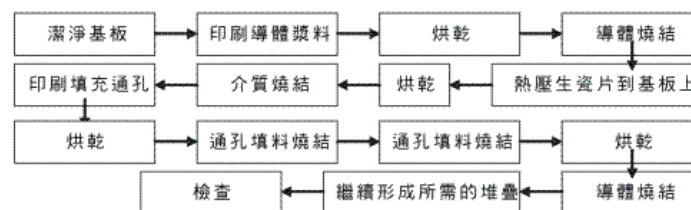
所謂超導現象，是指在某一臨界溫度下物體電阻為零的現象。利用超導現象可以用來作為電力輸送與超導磁鐵之用，雖然許多物質在接近 0K 的溫度都具有超導性，但陶瓷超導體的臨界溫度極高，因此被開發為高溫超導，在液態氮冷卻的情況下就可以呈現超導現象，大幅降低冷卻成本，是最具明星像的超導材料。

## 二、製作技術：

單晶片模組技術尚未實用化之前，被動元件在成本及特性的因素下，無法完全整合於 IC 內，必須利用外接的方式來達到功能模組，但是因為在功能模組上所使用的被動元件數目相當多，容易造成可靠度低、高生產成本及基板面積不易縮小等缺點，所以利用低溫共燒多層陶瓷 (Low-Temperature Co-fired Ceramics; LTCC) 技術來克服上述的缺點。低溫共燒多層陶瓷技術能使得模組縮小及降低成本，可以堆疊數個厚度只有幾微米的陶瓷基板，並且嵌入被動元件以及其他 IC，所以近年來 LTCC 是被動元件產業極力開發的技術，如今成為電子元件積集化、模組化的主要方式。

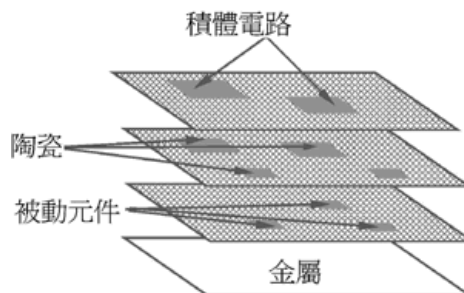
低溫共燒多層陶瓷技術是將陶瓷材料作為基板，將低電容值電容、電阻、耦合等元件埋入多層陶瓷基板中，採用低電阻金屬共燒作為電極，再使用平行印刷來塗佈電路，最後在攝氏 850~900 度中燒結而形成整合式陶瓷元件。

圖1：LTCC生產製程



資料來源：電子時報，2006/2

製圖：盧慶儒、郭致佳



電子元件的模組化已成為產品必然的趨勢，目前可供選擇的模組基板包括了 LTCC、HTCC (高溫共燒陶瓷)、傳統的 PCB 如 FR4 和 PTFE (高性能聚四氟乙烯) 等，但 LTCC 技術生產是目前各業者積極開發的主要目標。

不過由於 HTCC 的燒結溫度需在 1500°C 以上，而採用的高熔點金屬導電性能較差，所以燒結後的收縮並不如 LTCC，但 HTCC 是一種成熟技術，產業界已對材料和技術已有相當的瞭解。在介電損耗方面，RF4 要比 LTCC 來的高，而雖然 PTFE 的損耗較低，但絕緣性卻不如 LTCC。所以 LTCC 比大多數有機基板材料提供了更好地控制能力，在高頻性能、尺寸和成本方面，比較之下 LTCC 比其他基板更為出色。

利用 LTCC 技術開發的被動元件和模組具有許多優點，例如使用導電率高的金屬材料作為導體會提高電路系統的品質；能夠適應大電流且耐高溫，並具備優良的熱傳導性；可將被動元件嵌入多層電路基板中，增加電路的組裝密度，使元件體積縮小；具有較小的熱膨脹係數、較小的介電常數溫度係數，可以製作線寬小於 50  $\mu\text{m}$  的細線結構。

以下是 LTCC 和 HTCC 各項特性的比較：

特點	HTCC	LTCC	優點
材料與技術成熟	○	X	生產效率高
設計週期短	X	○	對設計變化的回應快
開發費用低	X	○	試製成本低
印刷解析度高	X	○	高頻應用
層數不受限制	○	X	能達到最高電路密度
燒結過程	X	○	沿用現有的厚膜材料
技術選擇廣泛	X	○	設計靈活度最大
焊接	○	X	封裝設計簡便
嚴密的技術控制	X	○	提高總生產效率
對晶片引線和表面組裝設備的適應性	○	X	設計的機動性強
翹曲度小	X	○	提供線焊設備生產效率
表面粗糙度小	X	○	高頻性能較好
頂層尺寸穩定程度高	X	○	提高線焊設備生產效率的穩定程度
熱脹係數與氧化鋁或矽的匹配程度佳	X	○	提高組裝能力
熱導率高	○	X	熱特性良好
密封性佳	○	X	提高封裝
導體的電導率高	X	○	採用細線和小空間設計
介質特性控制優良	○	X	電性更相容
機械强度高	○	X	封裝更牢固

### 三、應用

電子記憶體，電腦內部的記憶體，用來存取電腦「立刻」要用的程式或資料。電子記憶體主要的功能分成兩類，一是動態隨機記憶體，強調快速存取，但不能永久記憶；二是非揮發性的唯讀記憶體，擁有永久記憶的功能，卻無法進行快速的存取。由於這兩種功能無法同時兼具，因此學者與科學家無不致力於此，尋求解決的方法。

近年來，電子元件集積度增加，元件尺寸越來越小，過往的技術已面臨困難，尋求新材料又會提高製作的成本，因此開發新的介電材料以及薄膜技術成為努力的方向。介電陶瓷中的強電性材料具有優越的介電性、鐵電性、壓電性及焦電性，配合近年來薄膜製造技術的進步，以可製造出高品質的產品，稱為鐵電薄膜，具有較高的介電係數，可應用於動態隨機記憶體 (Dynamic RAM, DRAM)，而高自發極化值則可應用於非揮發性唯讀記憶體，因此鐵電薄膜為解決的方法找到了一絲曙光。

元件資料的儲存乃是利用強電性材料在極化後仍具殘留極化值，於外加電壓去除後仍能保存原有狀態，因

此利用強電性材料其電滯曲線的一部份—具有電滯現象，可應用於非揮發性記憶元件。依結構可分為兩大類：

第一類是以 MFSFET (Metal-Ferroelectric-Semiconductor Field Effect Transistor) 為基本架構之鐵電非揮發性記憶體 (FET type)。鐵電薄膜位於閘極通道上方，其殘留極化方向的不同會改變閘極通道表面的電荷和電流值，只須偵測電流值的大小進行資料判讀，讀取動作並不會改變資料儲存狀態，所以稱為非破壞性讀取方式 (Non-Destructive Read Out, NDRO)，而且因為讀取方式為非破壞性，因此讀寫時間非常短暫。雖然這種記憶體擁有這些優點，然而存在於介面的氧化與元素擴散等問題，使得在半導體材料上鍍出高品質的鐵電薄膜並不容易。所以除了在鍍膜與製程技術上尋求改進外，另也發展出許多種不同的結構，使得介面的問題得以解決，卻也使得結構更為複雜。

第二類鐵電非揮發性記憶元件是藉著鐵電材料極化方向的不同來作資料的讀寫。當一大於矯頑電壓的電壓外加於鐵電電容時，此薄膜被極化並有一殘留極化值  $D$ ，若選定  $+D$  為 0，則定義  $-D$  為 1。在讀取資料時可外加一正向電壓到記憶元件上，觀察其間電流的差變化，即可得知儲存資料的狀態。這種資料儲存方式，均須對電容施加電壓，這會破壞了原有資料儲存狀態，因此稱為破壞性讀取方式 (Destructive Read Out, DRO)。為了恢復記憶體原先所儲存的資料，必須在讀取後執行重新寫入的動作。

目前在強電性材料的選擇上以 PZT 及 Y1 最被看好，其中 PZT 具有較佳的強介電特性且製程溫度較低，但由於此材料含有鉛的成份易造成設備之污染，且會有漏電流，此外極化疲勞也是應用上需要克服的。Y1 雖然鐵電特性不如 PZT，但沒有疲勞問題，因此兩種材料各有其優缺點。

日本三菱公司以開發出 4Gb 的大容量記憶體，顯示電子記憶體未來可能取代硬碟，成為大容量 IC 記憶體的新寵兒。

除了應用在電子記憶體上，陶瓷也多方面應用於太空科技、生醫等方面，例如人工關節與太空梭外部絕熱片。



人工關節

## 參考資料

科學發展 2004 年 3 月

2006 年 12 月

台大化工系 電子與光電陶瓷研究室

科普知識 [http://www.nsc.gov.tw/\\_newfiles/popular\\_science\\_top.asp](http://www.nsc.gov.tw/_newfiles/popular_science_top.asp)

逢甲大學陶瓷材料實驗室 <http://www.ceramics.fcu.edu.tw/#>

科技網—技術 IT <http://tech.digitimes.com.tw/>

電子陶瓷：入門 吳朗 全欣資訊

電子陶瓷材料 邱碧秀 徐氏基金會