

# 陶瓷基板技術與發展趨勢

◆張正興

九豪精密陶瓷公司

總經理

## 摘要

在電子產品朝輕薄短小化與高速化線路設計與元件整合模組化發展趨勢下，陶瓷基板亦朝小型高集積密度、元件功能化及整合模組化發展。

本文將介紹陶瓷基板及製程技術、刮刀成形之關鍵技術及陶瓷基板的未來發展。

## 關鍵詞

陶瓷基板(Ceramic Substrate)、氧化鋁( $Al_2O_3$ )、低溫共燒陶瓷(LTCC)、玻璃陶瓷(Glass Ceramic)、刮刀成形(Tape Casting)、分散劑(Dispersant)、黏結劑(Binder)、可塑劑(Plasticizer)、薄膜基板(Thin Film Substrate)

## 陶瓷基板介紹

基板的主要功能是承載電路而對訊號及電性不具敏感性，因此良好的基板必須具備足夠的機械強度、絕緣性佳、散熱性高。而一般常見的陶瓷基板材料有氧化鋁( $Al_2O_3$ )、堯滑石( $MgO \cdot SiO_2$ )、堯青石(Cordierite)、鎂橄欖石( $2MgO \cdot SiO_2$ )、氮化鋁(AlN)、氮化矽(SiC)及玻璃陶瓷等基板(見表一)。

$Al_2O_3$ 基板成分通常為90%~99.6%

$Al_2O_3$ ，依成分含量的不同而有不同的應用，如厚膜製程用為90%~97%  $Al_2O_3$ ，其中以96%  $Al_2O_3$ 基板最被廣泛選用，而99.5%以上者常被廣泛應用於薄膜製程之產品。

BeO材料具有高熱傳導率、低介電常數，低介電常數利用於高頻大電力元件運作，減少訊號延遲及雜訊，對於高密度線路及小型化之電子元件，提供良好的散熱途徑。但BeO粉末具有毒性，影響人體呼吸器官且目前僅少數廠生產，

表一 一般常見的陶瓷基板材料性質

		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				BeO	MgO · SiO <sub>2</sub>	2MgO · SiO <sub>2</sub>	複合系玻璃陶瓷	AlN	SiC
		90%	96%	99.5%	99.6%						
密度	g/cm <sup>3</sup>	3.65	3.75	3.85	3.92	2.9	2.7	3.0	3.2	3.3	3.1
彎曲強度	Kgf/cm <sup>2</sup>	30	33	38	42	20	13	14	20	30	40
熱膨脹係數	10 <sup>-6</sup> /°C	7.2	7.3	7.5	7.5	8.0	8	10	4.2	4.6	3.7
介電常數	1MHz	8.7	8.7	9.8	10	6.5	6	8	7.5	9	40
介電損失	*10 <sup>-4</sup>	9	2	2	2	2	2	2	30	5	-
體阻抗	Ω.mm	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>13</sup>
介電強度	Kv/mm	15	15	15	15	20	10	10	-	15	-
熱傳導率	W/mK	17	21	23	23	250	2.5	3.3	3	70-260	270

貨源價格高，得來不易，漸漸被MgO，AlN及SiC所取代。

MgO · SiO<sub>2</sub>及2MgO · SiO<sub>2</sub>為早期所使用之基板材料，其優點為電氣性質優良，然其機械性質及熱傳導性差，早已不為人使用。

AlN基板材料不但具高熱傳導率、低介電常數，且其膨脹係數與Si晶片相近，可減少製程中之熱應力所造成之損傷。SiC除了介電常數太高外，亦具有AlN材料優點，可惜兩者粉體原料製作不易，價格高，成型技術未成熟且相容性厚膜材料亦未臻成熟。

低溫複合系玻璃陶瓷基板材料種類相當多，常見者如硼矽酸玻璃、氧化鋁玻璃系、硼酸鈦錫銀系與氧化鋁非玻璃質添加物系等，其介電常數低、高頻訊號傳遞快較無雜訊，熱膨脹係數與Si晶片相近，減少了製程中之熱應力所造成之損傷。此外，該材料可在1000°C以下燒結，可與成熟之厚膜材料同時燒成，在多層陶瓷基板製程上，可選用高傳導率低電阻之導體如Cu、Ag、Au，提高元件之操作功能。惟本材料之介電損失高，熱傳導率低是一致命傷。

## 陶瓷基板製程技術

陶瓷基板製程技術可劃分為配方、

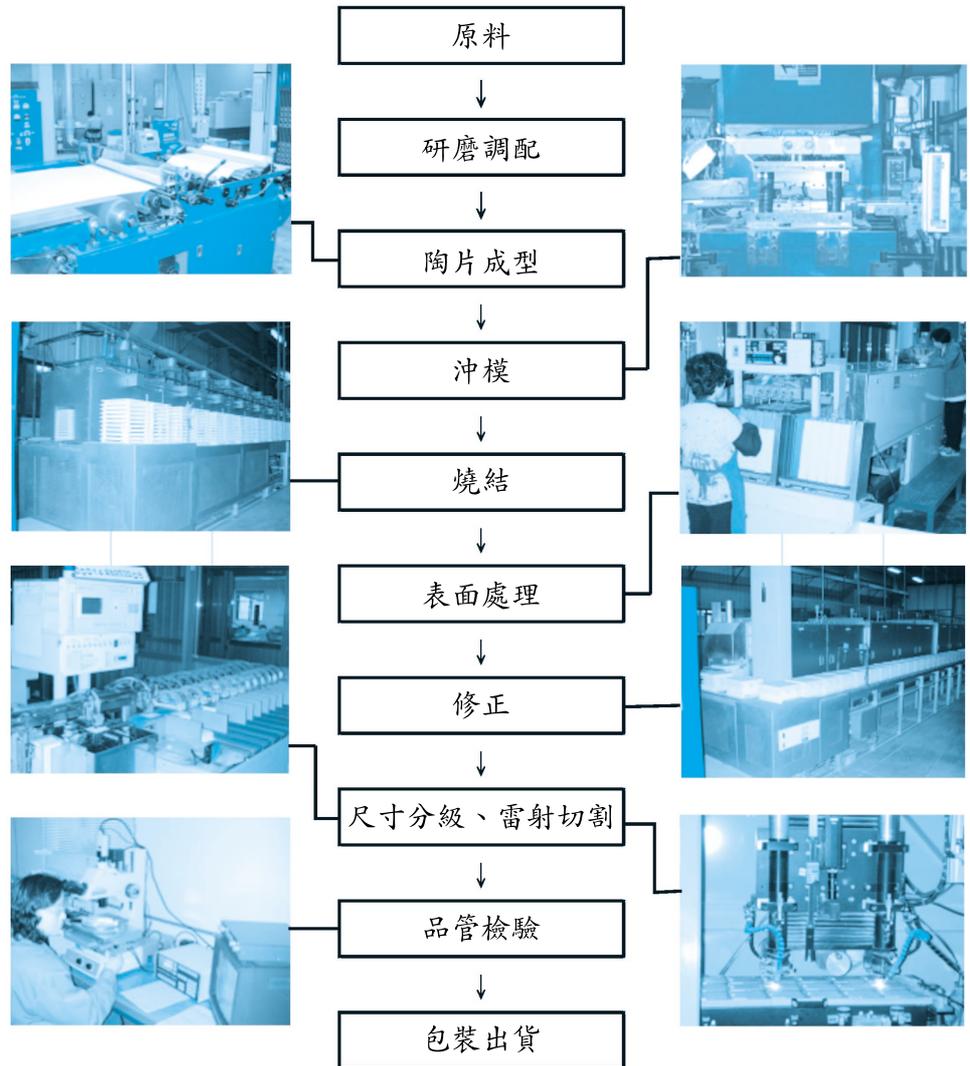
成形技術、模具技術、燒結技術及自動化檢驗技術。然其主要關鍵仍源自於製造生胚之技術，良好生胚性質如下：

1. 表面平滑而緻密，沒有針孔、氣孔及表面缺陷
2. 厚度均勻
3. 不引起伸縮變化
4. 具備適當的強度與柔軟性
5. 切割、沖壓刻痕或沖孔時，不發生龜裂，且斷面平整
6. 若須積層化則生胚之有機配方熱塑性應良好，可積層壓合
7. 孔隙率低，可精密印刷導體
8. 燒結時有機添加物可完全分解
9. 燒成時尺寸收縮安定
10. 與印刷導體收縮率一致
11. 生胚密度均勻，燒成時平整不彎曲

陶瓷基板製程方式很多，但刮刀成形具有大面積連續生產與可輕易控制產品等優越性，而廣受工業界採用。

刮刀成形製程如圖一，其原理即先將陶瓷粉體均勻地分散於有機溶劑或水中，然後將觸變性或牛頓流變之漿料利用精密刮刀均勻塗佈於承載膜上，如圖二，隨即以熱源乾燥，粉體與有機高分子沉澱堆積成可燒結生胚，生胚再經由沖壓打孔或切割以獲得所設計之形狀及

製造流程



▲圖一 刮刀成形製程

大小，然後將生胚投入燒結爐，以高溫燒結成基板。

### 刮刀成形之關鍵技術

#### 一、粉體特性之控制

陶瓷薄片之表面平滑性，隨著粉體顆粒、晶粒大小及組成變化而有明顯影響，其粒徑大小分佈對於刮刀成形漿料之流變性影響更巨，較細小粉體要得到

良好分散性，則所需之分散劑添加量亦隨著增加，其成形之有機添加量相對地提高，不利於燒結及高密度成品之獲得。粒度分佈較寬廣之粉體有利於漿料呈現假塑性流體現象，即漿料隨著剪速率增加而黏度降低，有利刮刀成形，寬廣之粒徑分佈亦容易使漿料之流變均勻性變差，導致胚體密度不均勻，燒結收縮率不一，平整而收縮率均一之基板難獲得，因此適當之粉體粒度大小應謹慎選擇。

## 二、溶劑之配比

溶劑之選用應能溶解黏結劑及塑化劑，並使漿料均質分散其中。溶劑種類可分水性及油性溶劑，水性溶劑系統其揮發速度慢，且需添加較多黏結劑、塑化劑以協助成形，因水含有氫鍵，易因氫鍵作用而產生漿料凝團現象，不易獲得良好的生胚品質。有機系溶劑能彌補此缺點，所以截至目前為止，有機性溶劑系統較廣泛被工業界採用。但油性溶劑亦有其缺點，過高揮發速度將使胚體成形時，表面產生橘子皮或在漿料乾燥過程中，產生氣泡並陷入胚體內，因此油性溶劑匹配於製程中，應謹慎選擇。通常油性溶劑選用兩種以上之溶劑之共沸組成，期能提高分散劑適當溶解度，以增加分散劑吸附於粉體表面機會，而達到分散效果，並穩定均勻揮發，避免漿料發生成分偏析現象。目前有機溶劑以66/34 vol%之MEK/Ethanol或72/28 vol%三氯乙烯/乙醇較常被使用。

## 三、分散劑之選擇

分散劑之加入，吸附粉體表面，利用分散劑所產生之電雙層排斥力或空間排斥力，使粉體在溶劑中有效地均勻分散，一般在水性系統中粉體之分散即利用電雙層排斥效應，而油性系統則以空間斥力較顯著，如何選擇適當分散劑種類及添加量，以應用在不同系統中變得十分重要。粉體愈細小則其分散劑亦須增加，良好的分散效果，其漿料沒有凝團現象，黏度最低、生胚密度高、生胚孔隙率低，自然其生胚強度延展性亦佳，良好的分散劑經多人篩選試用，發現未飽和脂肪酸Ethoxylate或Phosphate Ester等均為良好分散劑。

一般分散劑選用原則，即能溶於溶

劑中，有效地吸附於粉體表面低黏度，並協助陶瓷薄片離型。

## 四、黏結劑之搭配

黏結劑旨在提供生胚強度，避免溶劑揮發後產生龜裂，理想的黏結劑應具備以下性質：

- (1)最低添加量而能得到最高生胚強度。
- (2)燒結熱分解度之殘餘灰分少。
- (3)儲存性穩定良好。
- (4)不與陶瓷粉體起反應。
- (5)成本低。

除此外Binder長鏈分子亦能吸附於粉體表面，協助漿料分散均質性，改善漿料假塑性流特性，使其更利於成形，並防止成形時粉體偏析沉降；另外Binder亦影響生胚乾燥後與承載膜的結合力，適當的結合力能幫助漿料成形時胚體平整性及厚度均勻性，但Binder不能與承載膜起反應，否則離型不易。Binder的添加量不但影響黏度，更影響了生胚強度及延展性，過量的Binder的加入，使粉體間距增加，燒結時無法有效緻密，不但成品密度低且影響成品表面粗度。Polyvinyl·Butyral(PVB)及壓克力系Binder(Acrylic Binder)，均有酸的官能基，經由氫鍵作用強而有力地吸附於 $Al_2O_3$ 及 $BaTiO_3$ 粉體表面上，這兩種Binder是目前最普遍被採用。

## 五、塑化劑之調配

漿料調製加入Binder則黏度太高，須加入適當塑化劑，以使黏度降低而利於刮刀成形，其選用的考慮因素為：能完全溶於溶劑中，並不會與Binder相分離，與Binder匹配能改善分子間聚合狀態降低黏度，並填充於粉體之間，扮演著

觸變時潤滑作用。

塑化劑的添加將有助於Polymer長鏈受塑化劑的電子作用，促使分子鏈相互吸引，則Polymer加熱時分子鏈的熱運動會變得激烈，而削減分子鏈間力的作用，因此間隔亦會擴大，此時塑化劑之分子即會進入分子鏈間，而使分子鏈之分極部分與塑化劑的極性部分產生作用，冷卻後塑化劑仍留在該位置而不變，因而妨害了分子鏈接近，結果分子鏈更容易運動，所以降低了Polymer之Glass Transition Temperature (Tg)而獲得較柔軟的Polymer。因此Polymer Solution中Plasticizer之種類及含量將會影響其Polymer或生胚之Tg及機械性質。

## 未來發展趨勢

在電子產品朝輕薄短小化與高速化線路設計與元件整合模組化發展趨勢下，陶瓷基板亦朝小型化高集積密度、元件功能化及整合模組化發展。未來陶瓷基板材料與技術發展方向如下：

### 一、氧化鋁陶瓷基板方向

#### (1) 薄膜基板開發

薄膜回路用基板應用於高頻通訊模組元件需求成長快速，然其表面粗糙度將嚴重影響線路電阻變化率，以及造成線路短路或無法精確控制電阻值，致使元件之精密度及信賴度打了折扣，若要表面平滑之基板，則常須加以Lapping，如此則成本驟增，因此在製程技術上，微細粉末的選用、成分組成的改良及成形、燒結技術的改善突破為發展方向。

#### (2) 水系刮刀成形技術的開發

傳統陶瓷基板之成形配方均採油系，基於環保及工業安全的考量，未來應開發水性成形製程以取代油性製程，

以減少公害。

### 二、高熱傳導基板材料之研究

雖然AlN及SiC基板已推出，但AlN及SiC粉末成本太高，而且微細粉末之成形技術及燒結技術難度高，因此未來將朝粉末製造、成形技術、燒結技術及相容性厚膜材料方向進行研究開發。

### 三、低溫共燒陶瓷(LTCC)發展

低溫共燒陶瓷基板技術，結合了厚膜式積層陶瓷及高溫共燒陶瓷 $Al_2O_3$ 積層陶瓷優點，不但可將電阻、電容、電感整合共燒於 $1000^{\circ}C$ 以下，使原由二維空間佈線提升為三維空間佈線，增加導線集積密度，尤其以Cu、Ag、Au等高傳導性導體可使訊號傳遞更快速與精確，同時可配合改善之厚膜材料將電容、電阻及電感整合其中，可降低離散元件之使用，降低因SMT製程中離散元件組裝之成本，同時使元件因模組化而提高功能，又能大幅縮小尺寸，更符合輕薄短小之趨勢，如通訊元件Blue Tooth。因此LTCC製程技術之陶瓷材料、相容性厚膜材料及製程技術之開發是近來熱門的趨勢。

## 結論

電子工業日新月異，產品朝小型化、輕量化、高密度化及多功能、高信賴度發展。台灣由資訊強國漸漸的朝通訊大國方向轉型，過去為資訊零組件缺席者，未來應定位為關鍵性零組件之製造及設計者，其中陶瓷基板材料應用於通訊工業之發展開發更形重要。