

多層陶瓷模組及元件 製作技術

◆林琤琦

璟濶電子工業股份有限公司

製造處 資深經理

摘要

低溫多層共燒陶瓷製程及材料系統成功的用於開發高頻被動電路中的電感、濾波器、偶合器、天線、平衡/非平衡轉換器及整合被動元件的Bluetooth模組，已成為美日先進大廠重要核心製程技術。

本文將針對低溫多層共燒陶瓷製程、限制收縮低溫共燒陶瓷製程及光感應蝕刻電極製程等製程技術分別作介紹，並提供國內外產品現況以供參考。

關鍵詞

低溫多層共燒陶瓷(Low Temperature Co-fired Ceramics; LTCC)；限制收縮低溫共燒陶瓷製程(Non-Shrinkage Low Temperature Co-fired Ceramics)；光感應蝕刻電極製程(FODEL Process)；厚膜製程(Thick Film Process)

前言

LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics)是一種可低溫燒結之高密度玻璃/陶瓷多層技術，此技術在1980~1990年期間即開發成功，運用於大型電腦之高速傳輸構裝、醫療電子、汽車電子及高可靠度軍事應用。這幾年來由於無線通訊產業蓬勃發展，具有高頻優秀特性之LTCC材料，則被成功的用於開發高頻被

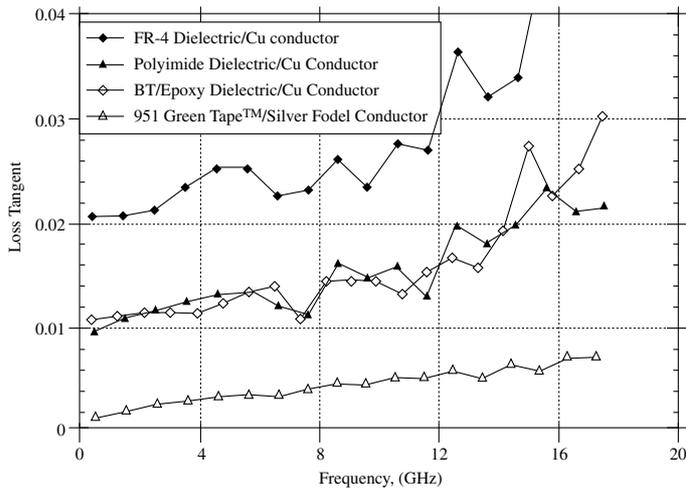
動電路中的電感(Inductor)、濾波器(Filter)、偶合器(Coupler)、天線(Antenna)、平衡/非平衡轉換器(Balun)。另外，LTCC技術也可以整合被動元件，就像晶片整合主動電路是相同的道理，形成混合式訊號RF/Analog/Digital模組，如大哥大手機所使用之PA、VCO、Synthesizer等模組，及最近許多公司競相投入開發之藍芽(Bluetooth)模組。所以，LTCC技術已被美日先進大廠選為公元

表一 各種LTCC材料之比較

Properties	Unit	Du Pont 951	Ferro A6	NEG MLS-1000
Color	----	Blue	White	White
Sintering Density	G/cm ³	3.1	2.5	3.39
Flexual Strength	Kg/cm ²	320	130	274
Young' s modules	Kg/cm ²	152	92	----
Thermal Expansion Coefficient	°C ⁻¹	5.8×10 ⁻⁶	7.0×10 ⁻⁶	6.05×10 ⁻⁶
Dielectric Constant	(1MHz)	7.8	6.5	7.8
Dissipation Factor	(1MHz)	1.5×10 ⁻³	<2×10 ⁻³	1.6 x 10 ⁻³
Volume Resistivity	Ω.cm	>10 ¹²	>10 ¹²	>10 ¹⁴
Thermal Conductivity	W/m.K	3	2	3.1

電阻。其缺點為(1)由於印一層需燒一層，需多次燒結之繁複步驟，(2)因層層印上，每次網印皆有一定之良率，交叉相乘之後，當產品層次太多，最後良率會大幅下降，故有層次之限制，(3)介電層因用網印方式印上，厚度差異較大，厚度不易控制。

高溫共燒技術是在Al₂O₃生胚上經打洞、填孔、印刷金屬線路，將印刷完不同



▲圖一 杜邦951系統和FR4、Polyimide及BT/Epoxy之高頻特性比較

2000年前後的重要核心製程技術。

LTCC技術之由來

厚膜(Thick Film)印刷技術是在已燒結之氧化鋁基板上，利用印刷技術將金屬及介電材料一層層分別印刷上，並分層燒附，由此交叉網印的方式來達到多層之構造，其優點為(1)可在低溫800~900°C燒結，(2)由於低溫燒結可使用高導電性金屬如Ag、Au及Cu，(3)可印刷

圖形之生胚，依序排列後經高溫高壓疊壓，再將生胚與金屬經共燒製程而達緻密化，其優點為(1)多層生胚與金屬一次完成共燒，(2)每層分別製作不受層數限制，(3)介電層厚度容易控制。其主要缺點為(1)Al₂O₃需高溫1600°C燒結，(2)必須使用高溫低導電度之金屬如W、Mo/Mn，以達到共燒之目的，(3)設備投資金額高。而低溫多層陶瓷技術即是綜合上述兩種技術之優點，所開發出之技術。

LTCC材料與技術

LTCC材料組成為玻璃陶瓷或玻璃+陶瓷填充劑，此材料組成可以在800~900°C燒結，因此可以和高導電率之金屬Ag、Au及Cu共燒，一般較大的日本廠商都自行研發材料系統，而商用的材料有Du Pont 951系統、Ferro A6系統及日本NEG MLS系統。其材料之特性如表一所示。

LTCC材料可以使用於高頻無線通訊，最主要是此材料在高頻之特性極佳，圖一為以杜邦951系統和FR4、

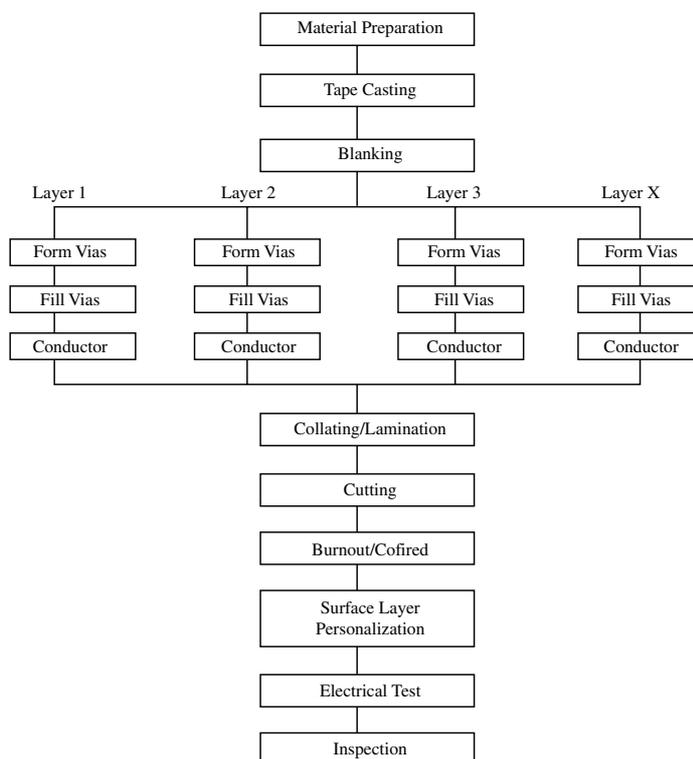
Polyimide及BT/Epoxy之高頻Loss Tangent比較，951系統是所有材料Loss Tangent最低的，隨著頻率之增加，呈現較穩定小幅上升，但其他材料則隨頻率之增加，大幅且劇烈增加，所以，LTCC材料是應用於高頻的最佳材料之一。

陶瓷生胚是將玻璃/陶瓷粉末加上有機Vehicle包含黏結劑、分散劑、可塑劑與溶劑，經球磨混合成之漿料，利用刮刀成形機及適當之乾燥溫度，形成生胚薄片。為達到多層而使上下層電路相連接之目的，每層生胚必須打通孔，通孔形成後再填上金屬油墨，不同層之線路圖案利用印刷技術印上金屬油墨，每一層製作好後，再依照不同層之順序排列，進行高溫高壓疊壓製程，將生胚形成3D的結構。多層陶瓷製程最大好處是其為一種平行製程，在疊壓之前，多層中若有一層製程錯誤，則可以另外製作再予更換，不像厚膜製程，一層印刷錯誤，則整塊必須報廢。整塊之生胚塊製作完成後，必須切割成所需要之尺寸，再進行有機物燒除及共燒製程。如為製作元件，需再進行端銀及電鍍製程，而模組則可再進行印刷電阻等製程，LTCC製程流程圖如圖二所示。

LTCC製程因無層次之限制及可以將被動元件如R、L、C，經由電路設計，內含入LTCC基板中，可以有效的減小元組件之尺寸，達到小型化之功能，所以非常適合用來開發無線通訊用之元組件。

限制收縮低溫共燒陶瓷製程

陶瓷最大特色即在高溫燒結時，為緻密化X、Y、Z軸皆會產生收縮現象，而限制收縮低溫共燒陶瓷製程(Non-



▲圖二 LTCC流程圖

Shrinkage Low Temperature Co-fired Ceramics)就是燒結時限制陶瓷在X、Y軸方向，使其不收縮，所有之收縮量產生於Z軸，其製作流程圖如圖三所示，此製程為杜邦公司的專利，現行使用此製程者須有杜邦公司之專利授權。

限制收縮低溫共燒陶瓷製程又可以分成兩種：(1)Pressureless Assisted Sintering簡稱PLAS，(2) Pressure Assisted Sintering簡稱PAS。PLAS和傳統之LTCC製程比較，在印刷線路之前，步驟是相同的，最大的不同在於疊壓時上下面必須各放置 Al_2O_3 生胚一同疊壓形成三明治結構，由於 Al_2O_3 生胚其燒結溫度為 $1600^{\circ}C$ ，在 $800\sim 900^{\circ}C$ 不會燒結，所以當達 $800\sim 900^{\circ}C$ 共燒溫度時，內部的LTCC材料必須燒結，而XY軸方向受到 Al_2O_3 生胚之限制無法收縮，所以，所有之收縮

表二 LTCC不同製程之比較

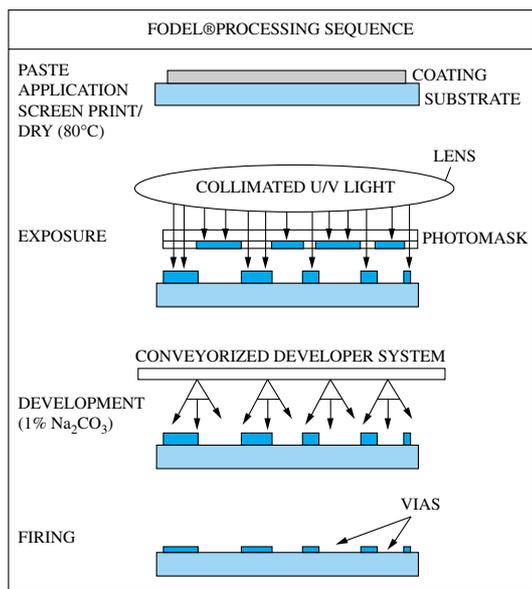
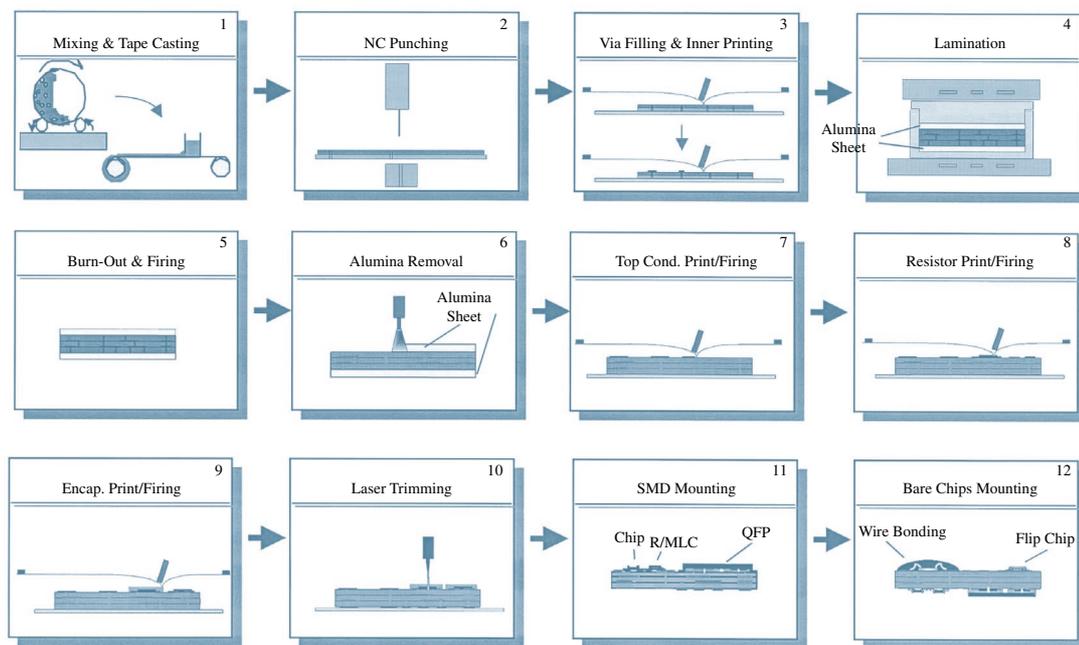
	Free Sintering		Constrain Sintering	
	Post-Fire	Co-Fire	PLAS	PAS
製程特性	先燒結LTCC 基板後再燒結 表面之金屬層	LTCC生胚和表 面金屬層一同共 燒	LTCC生胚上下 疊壓Al ₂ O ₃ 生胚 之三明治結構， 沒有施加壓力下 燒結	LTCC生胚在 可施加壓力之 特殊設計爐子 內燒結
專利狀況	無	無	Du Pont公司擁有 美國專利， 歐洲、日本一些 廠商有專利使 用權	Du Pont公司擁有 美國專利， 歐洲、日本一些 廠商有專利使 用權
基板X-Y收縮率	13~16%±0.5%	13~16%±0.5%	0.1%±0.05%	0.1%±0.05%
基板Z軸收縮率	20~30%±0.5%	20~30%±0.5%	45~50%±0.5%	45~50%±0.5%
基板平坦度	10~50μm/10mm	10~30μm/10mm	<10μm/10mm	10~20μm/10mm
生胚的選擇	無限制	無限制	Pb-free的生胚 使用仍較困難	無限制
內電極	無限制	無限制	高含量Ag很難 和生胚之燒結 收縮配合	高含量Ag較 難和生胚之燒 結收縮配合
外電極	需和基板化性 相容	需和生胚化性及 收縮率相配合	需和基板化性 相容	需和基板化性 相容

量由Z軸產生。此方法燒結後必須將表面之Al₂O₃生胚清除，因此上下表面不可以印刷外電極金屬，外電極金屬必須於燒結後利用厚膜印刷製程產生。PAS則是於共燒時加壓力於生胚塊之表面，需購買特殊設計之燒結爐。LTCC不同製程之比較顯示於表二中。

限制收縮低溫共燒陶瓷製程由於在XY軸幾乎無收縮，所以在相同的工作面積下可以得到較高的單位個數，增加產能，並且降低XY軸收縮所造成的變形量。但由於收縮全由Z軸產生，Z軸收縮量由20~30%增加至45~50%，所以生胚及

金屬膏之特性和一般之LTCC製程需求不同，其需要不同配方材料，不匹配之生胚及金屬膏材料系統容易引起基板燒結時的破裂。另外，限制收縮低溫共燒陶瓷製程在燒結後需將上下面之Al₂O₃生胚清除，因LTCC基板已燒結，在燒結過程中多少會和不收縮之Al₂O₃生胚起物理或化學反應，所以Al₂O₃生胚的清除，也是重要技術之一。另外，限制收縮低溫共燒陶瓷製程無法將外電極一同共燒，因此表面Al₂O₃生胚清除後，需再使用厚膜技術印刷或FODEL製程製作外電極，製程步驟較為繁雜。

◀圖三 限制收縮低溫共燒陶瓷製程



▲圖四 FODEL製作流程圖

光感應蝕刻電極製程

光感應蝕刻電極製程（FODEL製程）技術在1970年代，杜邦公司即開始進行研究，最早應用於 Al_2O_3 基板上，近幾年則應用於LTCC基板上，甚至應用於LTCC

Green Tape系統，但LTCC Green Tape系統技術並不成熟，仍在開發階段。

FODEL製程如圖四所示，先將感光電極塗料印於基板或生胚上，在 $80^{\circ}C$ 左右乾燥後，進行影像曝光處理，一般以UV Light進行，而圖形線寬及線距之解析度是由曝光強度所控制。接下來必須將曝光後之電極圖案影像置於含鹼金屬之溶液中進行顯影處理，顯影後Via或線路之形狀已形成，再進行電極之燒結，一般電極使用Ag金屬，所以其燒結溫度約為 $850^{\circ}C$ 。

FODEL製程最大的好處為可以製作Fine Line、Small Via及Fine Pitch之線路，表三為Thick Film、FODEL及Green Tape三種製程之Line Width、Via Size、Via Pitch及單位面積之金屬密度之比較。FODEL製程可以製作3mil($75\mu m$) Fine Line，3mil Via Size，5mil Via Pitch，並有最高之線路密度，但其缺點和厚膜印刷一樣，必須一層層製作，且分別燒結，有多層的限制，製程較厚膜印刷更

表三 各種製程內部線路之比較

Unit : inch

技術	Line Width	Via Size	Via Pitch	Connectivity (in/sq.in)
Thick Film	0.008	0.01	0.02	50
FODEL	0.003	0.003	0.005	200
Green Tape	0.005	0.005	0.01	100

為繁複。

國內外產品現況

由於Bluetooth的運用將廣泛的裝載於手機、噴墨印表機、筆記型電腦、汽車衛星導航、PDA、MD、DVC、傳真機、數位相機小型記憶卡、PCMCIA卡、掌上型遊戲機、手錶等，無線通訊陶瓷元組件隨著無線通訊市場的急劇擴大呈明顯的成長，目前供應商以美國和日本的製造商為主。元件部份以日商居多，Murata、TDK、Toko、太陽誘電等為主，而模組製造商則以日商日立金屬、Murata及美商National Semiconductor及法商Sorep最具代表。另外，個人行動通訊產品製造商如Motorola、Ericsson及Nokia也自行開發Bluetooth用相關模組。其中Ericsson於去年開發成功Bluetooth Radio Module；Murata也開發出可應用於手機及電腦上14.5mm×11.9mm×2.3mm size；重量1g以下之Bluetooth TM用HIC模組，日立金屬則開發出世界最小5.4×4×1.8mm的超小型天線開關模組。

在國內高頻被動元件僅有璟德電子已大量生產高頻電感0805、0603、0402全規格產品，已開發成功各頻帶之低通及帶通濾波器、耦合器、雙頻耦合器、平衡/非平衡轉換器、雙工器等，並已進入量產階段，對於整合性模組產品也積

極投入開發。而僅有幾家廠商如美磊、奇力新、年程、華新科、達方等有高頻電感產品，其他元件仍在開發中。另外，由於Bluetooth模組興起，多家廠商看好Bluetooth市場潛力，如環隆電氣、信通、台塑、禾伸堂、凱宣、飛元等公司積極投入LTCC模組開發工作。

結語

低溫多層陶瓷技術其特色可使電子產品朝輕薄短小和整合被動元件之多功能趨勢發展，非常適用於開發無線通訊產品。然而低溫多層陶瓷產品是結合電路設計、有機、無機材料系統及製程技術，缺一不可，國內相關技術之人才並不多，且其生產設備並非是已健全之標準機台，所以有意從事開發者須審慎評估。

參考文獻

1. 第一屆國際低溫多層共燒陶瓷技術研討會，1988/5月
2. 工業材料，2000/3月
3. 工業材料，1997/4月
4. Daniel I. Amey, High Frequency Characterization of Advanced Ceramic Materials, IEPS' 96, Austin, Tx., Sept. 29-Oct. 1, 1996
5. Samuel J., Smart Materials for Hybrid Circuits and Ceramic Multichip Modules, Proceedings 1995 Japan International Electronic Manufacturing Technology Symposium, Omiya, Japan, 1995