

## LTCC 공정 중 적층 및 소결이 유전율과 회로 형상에 미치는 영향

정명식<sup>1</sup> · 황상현<sup>1</sup> · 정형욱<sup>2</sup> · 임성한<sup>3</sup> · 오수익<sup>#</sup>

### Influence of Laminating and Sintering Condition on Permittivity and Shrinkage During LTCC Process

M. S. Jeong, S. H. Hwang, H. W. Chung, S. H. Rhim, S. I. Oh

(Received May 10, 2007)

#### Abstract

LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) which offers a good performance to produce multilayer structures with electronic circuits and components has emerged as an attractive technology in the electronic packaging industry. In LTCC module fabrication process, the lamination and the sintering are very important processes and affect the electrical characteristics of the final products because the processes change the permittivity of ceramics and the dimension of the circuit patterns which have influences on electronic properties. This paper discusses the influence of lamination pressure and sintering temperature on the permittivity and the dimensional change of LTCC products. In the present investigation, it is shown that the permittivity increases along with increasing of the lamination pressure and the sintering temperature.

**Key Words** : LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic), Green Sheet, Ceramic, Lamination Pressure, Sintering Temperature, Permittivity

#### 1. 서 론

최근 정보 통신 산업의 발전방향에 따라 전기, 전자 제품은 점점 소형화, 경량화 되고 있는 추세이다. 이에 대응하여 관련 부품들의 고기능화와 집적화가 요구되고 있는 상황에서 콘덴서, 저항, 인덕터의 수동 소자를 단일 모듈로 구현해 집적도를 높이고 부품의 소형화를 가능하게 하는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술이 주목 받고 있다[1~3].

LTCC 공정을 이용하면 Fig. 1과 같이 3차원적인 회로 구현이 가능하므로 수평적으로 회로를 구현하는 PCB(Printed Circuit Board) 기판에 비하여

월등히 높은 집적도와 우수한 전기적 특성을 갖는 집적기판 제작이 가능하지만 테이프 캐스팅(Tape Casting), 비아 홀 펀칭(Via-Hole-Punching), 비아 필링(Via Filling), 스크린 프린팅(Screen Printing), 적층(Lamination), 소결(Co-firing) 등의 공정을 거치게 되므로 각 공정의 공정변수의 영향에 따라 제품의 형상이나 전기적 특성이 변하게 된다. 따라서 안정된 공정기술 없이는 설계자가 요구하는 제품 특성을 보장 할 수 없게 된다.

집적기판에서 커패시터의 용량과 같은 전기적 특성은 유전체로 사용된 세라믹 기판의 유전율과 회로 형상에 많은 영향을 받는다. 생산된 제품의 전기적 특성이 설계한 특성과 다르다면 이는 LTCC

1. 서울대학교

2. ㈜아이엠텍

3. 한국기술교육대학교 기계정보공학부

# 교신저자: 서울대학교 기계항공공학부,

E-mail: sioh@snu.ac.kr

공정을 거치면서 세라믹 유전체의 유전율과 금속 회로의 치수가 변화되어 나타나는 결과라고 생각할 수 있을 것이다.

LTCC 공정에서는 세라믹 기판에 회로를 인쇄하고 다층으로 적층 한 뒤 소결공정을 거쳐 제품을 만들게 되므로 적층 및 소결공정에서 공정 변수의 변화에 따라 유전체의 유전율과 회로를 형성하고 있는 금속의 치수 변화가 나타날 것이라고 생각된다[4~5]. 유전율과 회로 형상을 예측하기 위해서는 각각의 공정 조건들이 유전율과 회로 형상에 미치는 영향에 관한 연구가 필요하다.

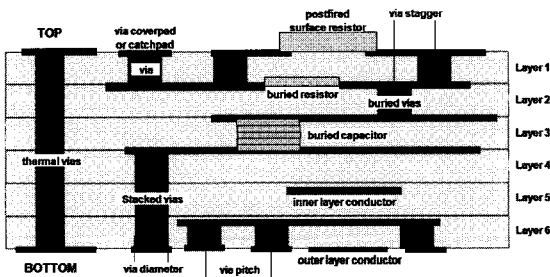


Fig. 1 Schematic of LTCC module

본 연구에서는 LTCC 공정과 동일한 공정조건 하에서 적층압력과 소결온도 변화에 따른 세라믹 유전체의 유전율 및 금속 회로의 치수 변화를 살펴보았다. 유전율은 유전체의 기공율에 큰 영향을 받으므로[6] 공정 변수에 따라 변화하는 기공율을 측정해 유전율과의 상관관계를 알아 보았다.

간단한 커패시터(Capacitor)를 설계하여 생산된 제품의 측정 용량과 설계 시 예상 용량을 비교하고 적층압력에 따라 변화된 유전체의 유전율과 금속 전극의 치수로부터 계산되어 나온 커패시터의 용량을 분석하여 적층압력의 영향을 알아보고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 그린시트의 제조 및 패턴 인쇄

실험에 사용된 그린시트(Green Sheet)는 세라믹 파우더와 유기 결합제를 볼 밀링을 통하여 혼합하고 탈포시킨 뒤, 컵마 룰 방식의 테이프 캐스팅 공정을 이용하여 제작하였다.

그린 시트를 만드는 과정에서 사용된 무기 재료(Inorganic Material)는 저 손실, 고집적도를 구현

하기 위해 글라스/세라믹 혼합물을 사용하였다. 글라스/세라믹 파우더는  $Al_2O_3$  와  $SiO_2$  가 주성분이고 여기에  $B_2O_3$  와  $BaO$  가 소량 첨가 되었으며 이때 사용된  $B_2O_3$  는 열팽창 계수와 화학적 내구성에 영향을 주지 않고 점성을 줄여주는 역할을 한다. 유기 결합제로는 PVB(Polyvinyl Butyral), DOP (Diocetyl Phthalate), Fish-oil 이 각각 결합제(Binder), 가소제(Plasticizer), 분산제(Dispensing Agent)로 사용되었다. 바인더는 재료의 압축 강도를 유지하고 성형성(Formability)을 증가시키는 역할을 하며, 가소제는 슬러리에 유연성을 주기 위하여 사용되고, 분산제는 슬러리의 pH 와 입자 표면의 전하를 조절하고 덩어리진 입자를 분리하는 역할을 수행한다.

금속 전극은 은(Ag) 페이스트를 사용하여 스크린 프린트 방식으로 그린시트에 인쇄하였다. 이때 금속 전극은 각각  $1 \times 1$ ,  $1.5 \times 1.5$ ,  $2 \times 2$ mm 의 면적을 가지도록 인쇄하였다.

### 2.2 적층 및 소결

적층에 필요한 기본적인 매개변수는 압력과 온도이다. 그린 시트 층간의 접착 강도는 특정 압력을 넘어서면 더 이상 증가하지 않으나[7], 적층시 온도가 증가할수록 시트의 인장강도는 감소하고 신장도의 크기는 증가하는 성향을 보인다. 따라서 시트가 온간 정수압(Warm Isotropic Pressure)을 받는 경우에는 가해주는 적층 압력의 영향에 의해서 시트의 밀도가 변화 될 수 있고 이는 소결제품의 특성에 영향을 미칠 것이다[8].

적층압력에 따른 영향을 관찰하기 위해 온간 정수압 공정에서 적층 온도를  $70^\circ C$ 로 유지시켜준 상황에서 압력을 각각  $115$ ,  $230$ ,  $460 kgf/cm^2$  로 변화시켜 유전체의 유전율과 금속전극의 형상 변화를 측정하였다. 이때 적층 시간은 15 분으로 고정하였다.

적층 된 시편의 소결 온도에 따른 영향을 관찰하기 위해서 LCTT 공정의 적정온도 내에서 소결 프로파일의 최대 소결 온도를  $830$ ,  $860$ ,  $890^\circ C$ 로 각각 바꾸어 시편의 소결을 진행하였다. 이 때 온도 상승 속도는 약  $6^\circ C/min$  로 해주었다.

### 2.3 측정 및 분석

유전율 측정은 소결된 세라믹 유전체의 양면에  $600^\circ C$ 에서 은 전극을 입혀서 저주파 영역( $1MHz$ )에서 RCL METER(PM6306, FLUKE 社, Basic accuracy

0.1%)를 이용해 용량을 측정하여 구했다.

세라믹 시트의 두께는 DIGIMICRO STAND(MS-4G, Nikon 社, accuracy 1 $\mu$ m)를 이용하여 측정했고, 가로와 세로의 치수는 DYNASCOPE(Vision Engineering 社)을 이용해 측정하였다. 밀도 측정은 그린 상태에서는 치수와 질량을 직접 측정했으며, 소결 후에는 아르키메데스 방법을 이용해 측정했다. 기공율의 측정은 제작된 시편과 세라믹 파우더의 상대밀도를 이용해 구하였다. 금속 전극의 초기 두께는 Form Talysurf Series 2(Taylor-Hobson 社)로 측정했고, 소결 후 세라믹 유전체와 금속 전극의 두께 등은 전단 후 광학 현미경 사진을 이용해 Image Scope 으로 측정하였다. 소결된 시편들의 미세구조는 주사전자 현미경(Model JSM-5600, JEOL 社)을 이용하여 관찰 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 유전율

Fig. 2는 유전체의 유전율과 적층압력, 소결온도와의 관계를 나타낸 그래프이다. 적층 압력과 소결온도가 높을수록 유전체의 유전율이 증가한다는 것을 알 수 있다. 측정된 유전율은 6.2에서 6.7 사이로 이는 LTCC 제품 설계 당시 사용한 예상 유전율 6.2와 차이를 보인다. 또한 유전율의 변화는 적층 압력보다는 소결 온도에 더 민감하게 나타난다는 것을 알 수 있다.

공정 조건에 따른 유전율 값의 차이는 소결체 내에 존재하는 기공의 영향에 의한 것으로 생각된다. 유전율과 기공율의 관계에 대해서는 많은 연구가 진행 되었으며[6, 9], Wiener 는 유전체의 유

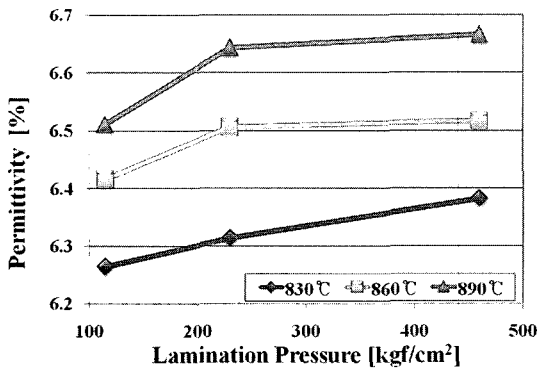


Fig. 2 Permittivity change by lamination pressure and sintering temperature

전율과 기공율의 관계를 실험적인 결과로부터 도출해 그 관계를 식(1)과 같이 제시하기도 하였다 [9]. 또한 Maxwell 은 식(2)와 같이 유전율과 기공율의 관계를 나타내었다.

$$K_m = \left( \frac{K_i}{1 + 1.5P} \right) \quad (1)$$

$$K_m = K_i \left( 1 + \frac{3P(1 - K_i)}{1 + 2K_i - P(1 - K_i)} \right) \quad (2)$$

여기서  $K_i$  는 이론적인 유전상수 값이고  $K_m$  은 측정된 유전상수 값이며,  $P$  는 기공율을 나타내는 값이다.

적층 압력과 소결온도를 높였을 경우 시편이 보다 치밀화 될 수 있어 시편 내부의 기공율이 낮아지는 것으로 생각된다. 이에 따라 유전율은 증가하는 경향을 보인다. Fig. 2 에서 보인 유전율의 변화 양상은 식(1)과 식 (2)를 통해 이론적으로 구한 유전율의 값과 동일한 양상의 변화를 보였다.

Fig. 3 은 유전체의 소결 후 단면의 미세구조를 관찰한 것으로 동일한 소결 온도에서는 적층 압력이 높은 쪽이 기공의 양이 더 적음을 확인할 수 있고, 동일한 적층 압력 하에서는 소결 온도가 높을 수록 더 적은 양의 기공을 포함하고 있는 것을 볼 수 있다.

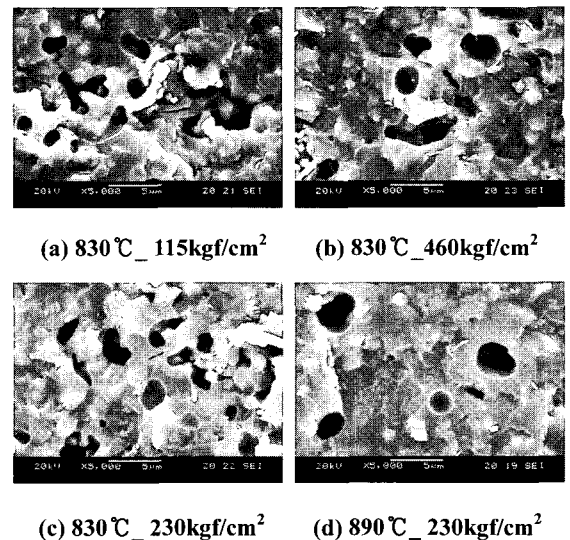


Fig. 3 SEM image of sintered ceramics

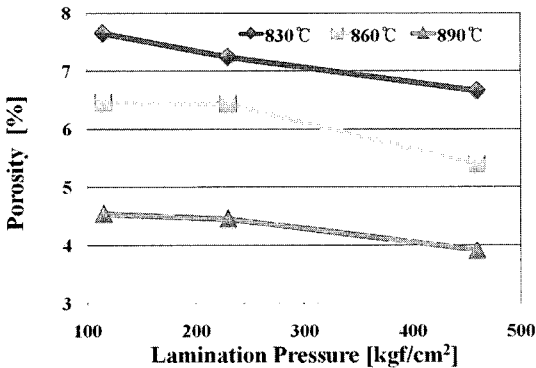


Fig. 4 Porosity change by lamination pressure and sintering temperature

기공율과 공정변수의 정량적인 관계는 Fig. 4에 나타내었다. 적층 압력과 소결 온도에 따라 시편의 기공율이 달라지는 것을 확인할 수 있으며 기공율 변화는 적층 압력 보다는 소결 온도 변화에 더 민감한 것을 볼 수 있었다.

### 3.2 용량 측정

1×1, 1.5×1.5, 2×2mm 크기의 금속 전극을 갖는 커패시터를 설계해 용량을 측정하고 이를 예상 용량과 비교해 보았다.

아래층 전극의 경우에는 적층 오차를 고려하여 윗 전극 보다 폭을 100µm 더 크게 설계 하였다. 예상 유전율은 설계에 사용하는 세라믹의 유전율인 6.2로 가정했고, 세라믹 한 층의 두께는 약 50µm이나 제반 공정이 완료되면 커패시터 부근의 세라믹 시트 두께가 경험적으로 약 50% 가량 줄어든다고 알려져 있어 커패시터 사이의 거리를 25µm로 가정했다. 모든 공정을 마친 후 측정된 금속 전극 사이의 거리 또한 약 24µm 정도로 예상한 거리와 거의 일치 하였다. 각각의 경우 예상되는 커패시터의 용량은 2.2, 4.94, 8.78pF 이다.

Table 1은 적층 조건을 달리하여 적층 시킨 후 860°C의 소결 온도에서 동시 소결 시켜 나온 시편의 용량값을 측정된 것이다. 이 결과는 예상 용량 값과 10~30% 정도로 상당히 큰 차이를 보였다. 이는 공정 조건에 따른 유전율의 변화 및 금속 전극의 치수 변화를 고려하지 않아 발생한 것이라고 생각된다.

적층 압력 조건에 따른 유전율 변화와 금속 전극의 치수변화를 고려하여 계산한 커패시터의 용량을 Table 2에 나타내었다. 이때 커패시터의 용

Table 1 Measured electric capacity values by different lamination pressure

Lamination pressure [kgf/cm²]	Electric capacity [pF]		
115	2.85	5.885	9.923
230	2.77	5.727	9.822
460	2.719	5.672	9.678

Table 2 Calculated electric capacity with changed permittivity and dimension of capacitor

Lamination pressure [kgf/cm²]	Electric capacity [pF]		
115	2.541	5.642	10.191
230	2.576	5.722	10.335
460	2.580	5.731	10.351

량은 식(3)을 이용하여 계산하였다.

$$C(F) = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot \epsilon \cdot \frac{A}{D} \quad (3)$$

여기서  $\epsilon$ 은 세라믹 유전체의 유전율이고  $A$ 는 금속전극의 면적이며,  $D$ 는 금속 전극 사이의 거리를 나타낸다. 세라믹 유전체의 유전율의 변화와 금속 전극의 치수 변화를 고려하여 커패시터의 용량을 계산한 경우 측정된 용량과 10% 이하의 차이를 보였다. 금속 전극의 치수는 공정을 진행 시켜 측정된 결과와 설계 시 예상한 치수와 6~7% 정도 차이를 보였다. 이 경우 금속 전극의 치수 변화는 적층 압력과는 무관하게 거의 동일한 값을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

금속 전극의 단면을 광학 현미경으로 찍은 사진을 Fig. 5에 나타내었다. 우측에 있는 시편 단면의 모서리 부분을 보면 금속 전극의 캠버(Camber)가 보이는데 이것은 세라믹 파우더와 금속 전극 간 수축율의 차이로 인하여 나타난 현상으로 보인다[10].

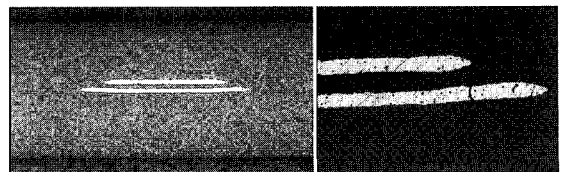
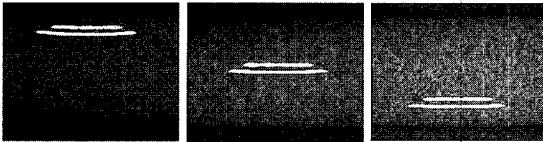


Fig. 5 Optical image of specimen cross section

금속 전극의 적층 위치에 따른 영향을 알아보기 위해 적층 위치를 달리하여 제작한 시편의 단면을 Fig. 6에 나타내었다. 이 경우 전극의 적층 위치와 패턴 사이즈의 변화는 크게 차이가 나지 않는 것을 확인 할 수 있었으며, 다만 Fig. 6의 (a)와 같이 금속 패턴이 위쪽에 있었을 경우 공정을 거치면서 패턴의 휨 현상이 좀 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



(a) top (b) middle (c) bottom  
**Fig. 6 Optical image of specimen cross section by different lamination layer of capacitor**

#### 4. 결 론

LTCC 공정 중 적층 및 소결 공정의 변수 즉 적층 압력과 소결 온도에 따른 세라믹 유전체의 유전율 변화와 금속 전극의 치수변화를 관찰하였다. 적층 압력과 소결 온도가 높아 질수록 유전율이 증가 함을 알 수 있었고, 이는 유전체의 기공율 변화와 밀접한 연관이 있다고 생각된다.

적층 압력의 변화에 따른 커패시터의 용량을 측정하여 설계 시 예상한 용량과의 차이를 알아 보았고, 공정 변수가 고려된 유전율과 금속 전극의 치수로부터 커패시터의 용량을 계산하여 측정 용량과 비교하였다. 설계 시 예상한 용량과는 10~30%의 오차를 보였고, 적층 및 소결의 공정 조건을 고려하여 계산한 용량은 측정 용량에 비해 10% 이하의 오차를 보이는 것을 확인 하였다.

#### 후 기

본 연구에 도움을 주신 한국생산기술원 주관의

Milli-Structure 사업단 관계자 여러분들께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 백승욱, 임성한, 오수익, 2005, LTCC 기판의 미세 비아홀 펀칭 중 공정 변수의 영향 평가, 한국소성가공학회지, 제14권, 제3호, pp. 277~281.
- [2] 신승용, 임성한, 주병윤, 오수익, 2004, 미세 비아홀 펀칭 공정 중 이종 재료 두께에 따른 버 생성, 한국소성가공학회지, 제13권, 제1호, pp. 65~71.
- [3] Y. Wang, 2002, Research of LTCC/Cu, Ag multilayer substrate in microelectronics packaging, Mat. Sci. Eng, Vol. 94, pp. 48~53.
- [4] A. W. Tavernor, 1999, Improved Compaction in Multilayer Capacitor Fabrication, J. Eu. Ceram. Soc Vol. 19, pp. 1691~1695.
- [5] I. S. Cho, 2004, Low-temperature sintering and microwave dielectric properties of BaO·(Nd1-xBix)2O3·4TiO2 by the glass additions, Cer. Int., Vol. 30, pp. 1181~1185.
- [6] E.S. Kim, 2003, Porosity dependence of microwave dielectric properties of complex perovskite (Pb0.5Ca0.5)(Fe0.5Ta0.5)O3 ceramics, Mat. Chem. Phys., Vol. 79, pp. 213~217.
- [7] R. A. Gardner and R. W. Nufer, 1974, Properties of Multilayer Ceramic Green Sheet, Solid State Technology, pp. 38~43
- [8] Y. Oyanagi, 1996, Introduction to Polymer Processing Rheology, Agun, Tokyo.
- [9] A. J. Bosman and E. E. Havinga, 1963, Temperature Dependence of Dielectric Constant of Cubic Ionic Compounds, Phys. Rev, Vol. 294, pp. 1593~1600.
- [10] J. S. Sung, K. D. Koo, 1997, Changes of Camber on Lamination Condition in Alumina/tungsten Cofiring Multilayer Package, J. Kor. Cer. Soc, Vol. 34, pp. 601~610.