

LTCC 공정 중 적층 및 소결이 유전율과 회로 형상에 미치는 영향

정명식¹, 황상현¹, 정형욱², 임성한³, 오수익[#]

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

Abstract

LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) has been emerged as a promising technology in packaging industry. In this technology the lamination and the sintering process are very important because they change the permittivity of ceramics and the dimension of metal pattern which have influences on electric property. In this paper we studied on influence of the permittivity and the dimension change by lamination pressure and sintering temperature of LTCC process. As a results, permittivity increase along with increasing of lamination pressure and 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].

LTCC 공정을 이용하면 3차원적인 회로 구현이 가능하므로 수평적으로 회로를 구현하는 PCB (Printed Circuit Board) 기판에 비하여 월등히 높은 집적도와 우수한 전기적 특성을 갖는 집적기판 제작이 가능하지만 안정된 공정기술 없이는 설계자가 요구하는 전기적 특성을 보장 할 수 없

게 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 공정을 거치면서 세라믹 유전체의 유전율과 금속 회로의 치수가 변화되어 나타나는 결과라고 생각 할 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[2-3]. 유전율과 회로 형상을 예측하기 위해서는 각각의 공정 조건들이 유전율과 회로 형상에 미치는 영향에 관한 연구가 필요하다.

1. 서울대학교

2. ㈜아이엠텍

3. 한국기술교육대학교 기계정보공학부

교신저자: 서울대학교 기계항공공학부

E-mail:sioh@snu.ac.kr

본 연구에서는 LTCC 공정과 동일한 공정조건 하에서 적층압력과 소결온도 변화에 따른 세라믹 유전체의 유전율 및 금속 회로의 치수 변화를 살펴 보았다. 유전율은 유전체의 기공율에 큰 영향을 받으므로[4] 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 그린시트는 세라믹 파우더와 유기 결합제를 볼 밀링을 통하여 혼합하고 탈포시킨 뒤, 컴마 롤 방식의 tape casting 공정을 이용하여 제작하였다. 세라믹 파우더는 Al_2O_3 와 SiO_2 가 주성분이고 여기에 B_2O_3 와 BaO 가 소량 첨가되었으며, 유기 결합제는 PVB (Polyvinylbutyral), DOP (Dioctyl Phthalate), Fish-oil 이 각각 결합제, 가소제, 분산제로 사용되었다. 금속 전극은 은 페이스트를 사용하여 스크린 프린트 방식으로 Green sheet 에 인쇄하였다.

2.2 적층 및 소결

적층 압력에 따라 유전체의 유전율 및 금속전극의 형상 변화를 관찰하기 위해서 온간 정수 압력(WIP)을 115, 230, 460 kgf/cm^2 로 변화시켜 주었다. 이 때 적층 온도는 $70^\circ C$ 이고 적층 시간은 15 분으로 고정하였다.

적층 된 시편의 소결 온도에 따른 영향을 관찰하기 위해서 소결 profile 의 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(Ag) 전극을 입혀서 1MHz 에서 RCL METER (PM6306, FLUKE)를 이용해 용량을 측정하여 구했다.

세라믹 시트의 두께는 DIGIMICRO STAND (MS-

4G, Nikon)를 이용하여 측정했고, 가로와 세로의 치수는 DYNASCOPE (Vision Engineering)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)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) 을 이용하여 관찰 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유전율

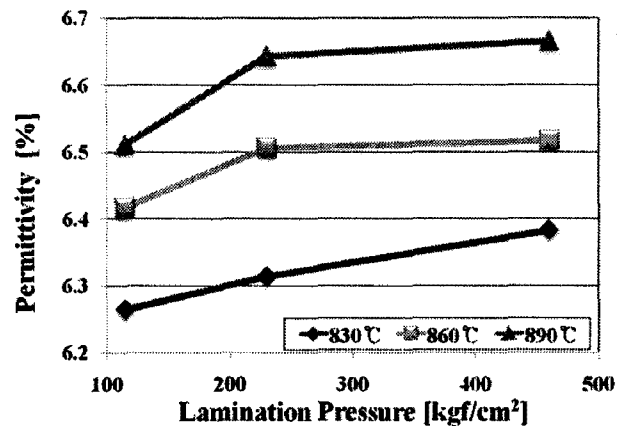


Fig. 1 Permittivity change by lamination pressure and sintering temperature

Fig.1 은 유전체의 유전율과 적층압력, 소결온도와의 관계를 나타낸 그래프이다. 적층 압력과 소결온도가 높을수록 유전체의 유전율이 증가한다는 것을 알 수 있다. 측정된 유전율은 6.2 에서 6.7 사이로 이는 LTCC 제품 설계 당시 사용한 예상 유전율 6.2 와 차이를 보인다. 또한 유전율의 변화는 적층 압력보다는 소결 온도에 더 크게 영향을 받는 것도 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[4-5], Wiener 는 유전체의 유

전율과 기공율의 관계를 실험적인 결과로부터 도출해 그 관계를 $K_m = \{K_t / (1 + 1.5P)\}$ 와 같이 제시하기도 하였다. 여기서 K_t 는 이론적인 유전상수 값이고 K_m 은 측정된 유전상수 값이며, P 는 기공율을 나타내는 값이다.[5]

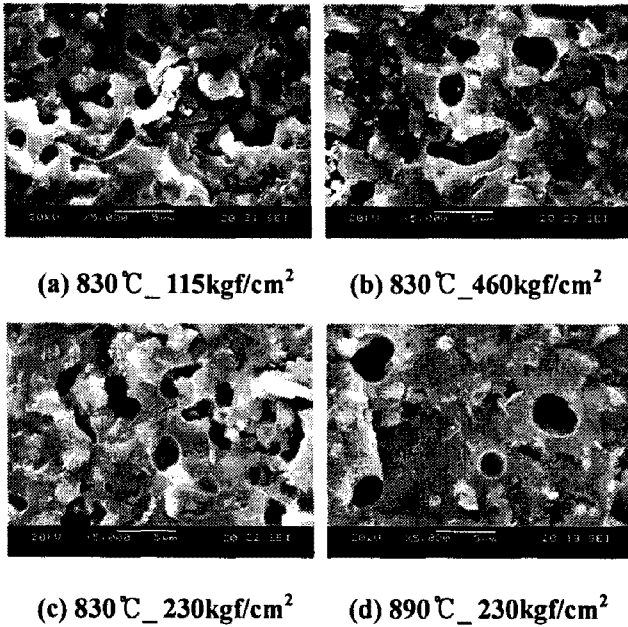


Fig. 2 SEM image of sintered ceramics

적층 압력과 소결온도를 높였을 경우 시편이 보다 치밀화되어 기공율이 낮아지는 것으로 생각된다. Fig.2 는 유전체의 소결 후 단면의 미세구조를 관찰한 것으로 적층 압력과 소결 온도가 높을수록 더 적은 양의 기공을 포함하고 있는 것을 볼 수 있다.

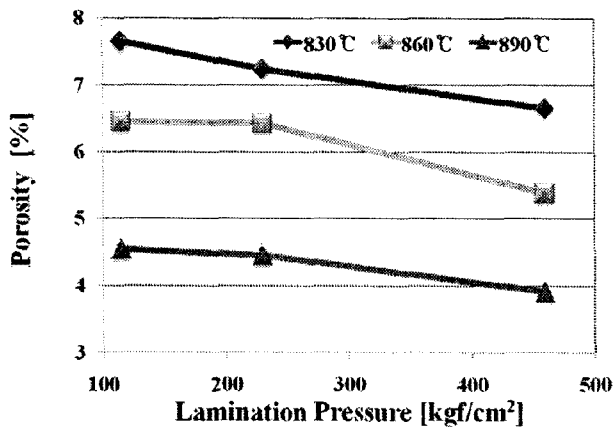


Fig. 3 Porosity change by lamination pressure and sintering temperature

기공율과 공정변수의 정량적인 관계는 Fig. 3 에 나타내었다. 적층 압력과 소결 온도에 따라 시편의 기공율이 달라 지는 것을 확인할 수 있으며 기공율 변화는 적층 압력 보다는 소결온도 변화에 더 민감한 것을 볼 수 있었다.

3.2 용량 측정

1x1, 1.5x1.5, 2x2 mm 크기의 금속 전극을 갖는 커패시터를 설계해 용량을 측정하고 이를 예상 용량과 비교해 보았다. 아래층 전극의 경우에는 적층 오차를 고려하여 윗 전극 보다 폭을 100 μ m 더 크게 설계 하였다. 예상 유전율은 설계에 사용하는 세라믹의 유전율인 6.2로 가정했고, 세라믹 층의 두께는 약 50 μ m이나 제반 공정이 완료되면 커패시터 부근의 세라믹 시트 두께가 경험적으로 약 50% 가량 줄어든다고 알려져 있어 커패시터 사이의 거리를 25 μ m로 가정했다. 모든 공정을 마친 후 측정된 금속 전극 사이의 거리 또한 약 24 μ m 정도로 예상한 거리와 거의 일치 하였다. 각각의 경우 예상되는 커패시터의 용량은 2.2, 4.94, 8.78 pF 이다.

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

Table1 은 소결온도 860 $^{\circ}$ C에서 적층 압력을 달리 했을 경우 측정된 용량값을 보여 준다. 이 결과는 예상 용량 값과 10~30% 정도 차이를 보였다. 이는 공정 조건에 따른 유전율의 변화 및 금속 전극의 치수 변화를 고려하지 않아 발생한 것으

로 보인다. 적층 압력 조건에 따른 유전율 변화와 금속 전극의 치수변화를 고려하여 계산한 커패시터의 용량을 Table 2 에 나타내었다. 세라믹 유전체의 유전율의 변화와 금속 전극의 치수 변화를 고려하여 커패시터의 용량을 계산한 경우 측정 용량과 10% 이하의 차이를 보였다. 금속 전극의 치수는 공정을 진행시켜 측정한 결과와 설계 시 예상한 치수가 6~7% 정도 차이를 보였다. 이 경우 금속 전극의 치수 변화는 적층 압력과는 무관하게 거의 동일한 값을 보였다.

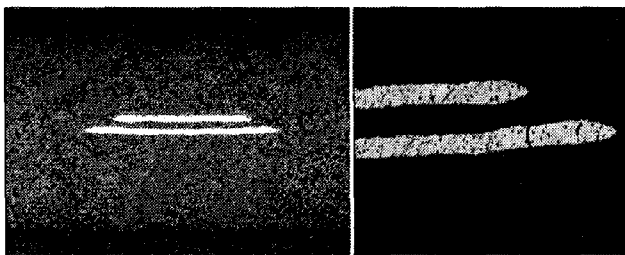


Fig. 4 Optical image of specimen cross section

Fig. 4는 금속 전극의 단면을 광학 현미경으로 찍은 사진이다. 우측에 있는 사진에서 금속 전극의 camber가 보이는데 이것은 세라믹 파우더와 금속 전극 간 수축율의 차이로 인하여 나타난 현상으로 보인다[6].

4. 결론

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

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% 이하로 오차를 보이는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구에 도움을 주신 한국생산기술원 주관의 Milli-Structure 사업단 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Wang, 2002, Research of LTCC/Cu, Ag multilayer substrate in microelectronics packaging, *Mat. Sci. Eng.*, Vol. 94, pp. 48~53.
- [2] A. W. Tavernor, 1999, Improved Compaction in Multilayer Capacitor Fabrication, *J. Eu. Ceram. Soc* Vol.19, pp. 1691~1695
- [3] 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.
- [4] E.S. Kim, 2003, Porosity dependence of microwave dielectric properties of complex perovskite (Pb0.5Ca0.5)(Fe0.5Ta0.5)O3 ceramics, *Mat. Che. Phys.*, Vol. 79, pp. 213~217
- [5] A. J. Bosman and E. E. Havinga, 1963, Temperature Dependence of Dielectric Constant of Cubic Ionic Compounds, *Phys. Rev*, Vol. 294, pp. 1593~1600.
- [6] 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.