

집적 LC공진 모듈용 평판 유전체의 제조와 물성

박우영*, 김종령*, 안용운*, 오영우*, 김현식**

*경남대학교 재료공학과, **(주)매트론 기술연구소

The Manufacturing and Analysis of Planar Dielectric materials for Integrated LC Resonant Module

Woo-Young Park, Jong-Ryung Kim, Yong-woon An, Young-Woo Oh, Hyun-Sik Kim
Kyungnam University, Mattron**

Abstract

In order to manufacture ceramic capacitors for the industrial electronic parts application using Tape casting method, the dielectric properties as a functions of sintering temperatures and the fabrication conditions of green sheet were investigated to consider the possibility of applications. When the mixing ratio of powder and solvent in slurry was 65:35, the uniform and dense green sheets was obtained. The dielectric constant was increased as the sintering temperature Over 94% of relative density and high were obtained to the specimens sintered at 1000°C. We can find that the device sintered at higher temperature than 1000°C showed the relative density over 94% and the dielectric constant over 2000.

Key Words tape casting, capacitor

! 서 론

최근 전자부품의 소형화와 고효율화의 요구에 따라 수동소자를 평판형으로 집적화하는 연구개발은 상당한 수준까지 도달한 상태이지만, 집적된 수동소자는 통신용 부품용으로 국한되어 응용되고 있어 산업용 기기에 적용하기에는 어려운 상태이다. 즉 현재 개발된 적층형 커패시터나 집적화된 L-C 소자는 GHz 이상의 고주파 대역에서 통신용 부품으로 활용되는 것으로서¹⁾, 제조비용 측면과 적용 기술의 차이에 의해 산업용 전자부품의 수동소자로 응용하기는 것은 불가능하다.

산업용 자동기기 및 전력공급 장치의 소형화와 고효율화를 위해서는 평판형으로 집적화된 형태가 요구되고 있으나 이에 대한 연구성과는 부족한 형편이다. 여기서 평판형의 집적형 수동소자를 설계하기 위해서는 평판 유전체, 자성체, 평판 코일의 설계기술 등이 요구되고 있으며 그 연구도 부분적으로 이루어지고 있다²⁾. 특히 세라믹 커패시터는 최근 LTCC (Low

Temperature co-fired ceramic) 기술에 대한 관심과 연구개발이 활발하게 진행되어, 유전재료와

전극간의 계면특성과 적층기술 및 저온소성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다³⁾.

하지만 세라믹 커패시터는 전압인가 시 발생하는 정전용량의 저하 현상이나 유전율이 최고치를 나타내는 큐리온도의 저온화 및 재현성 있는 유전특성을 나타낼 수 있는 소성조건 확립에 대한 연구과제가 남아 있다. 따라서 본 연구를 통해 평판형 세라믹 커패시터를 제조하기 위한 평판 유전체의 제조조건과 유전특성의 변화를 고찰하고, 유전체의 설계조건에 대해 가변적이고 우수한 유전특성을 나타낼 수 있는 제조공정을 정립하고 그 응용가능성을 파악하고자 한다.

2. 실험

2.1 슬러리 제조

LTCC용 BaTiO₃계 X7R(ULFX7R, Ferro사)을 출발원료로 하여 분말과 용매의 비율 70~60 : 30~40 범위에서 변화시켰다. 이 때 용매는 KEK(Methyl Ethyl Ketone)와 에틸알콜(ethyl alcohol)이 60 : 40 wt%로 혼합한 용액이었다. 그리고 분산제(ceras), 결합제(PVB) 및 가소제(DBP) 등의 바인더는 각각 1 wt%, 6 wt% 및 3 wt% 첨

가하였다. 이 슬러리의 제조조건과 슬러리의 상태에 대해 Table. 1에 간략히 나타내었다.

Table.1 Conditions of slurry and green sheet.

순서	배합비 (분말:용매)	용매(원료 50g)		분산제	결합제	가소제	점도	후막상태
		MEK	에틸알콜					
		60wt%	40wt%	1wt%	6wt%	3wt%		
1	70:30	12.86	8.57	0.5	3	1.5	X	X
2	67.5:32.5	14.44	9.63	0.5	3	1.5	O	△
3	65:35	16.15	10.77	0.5	3	1.5	O	O
4	60:40	19.99	13.33	0.5	3	1.5	X	X

2.2 Green Sheet 제조 및 특성평가

슬러리는 닥터블레이드(doctor blade)에서, carrier film의 진행속도의 차이에 의한 테잎 두께의 영향을 배제하기 위하여 속도는 0.5 cm/sec로 일정하게 조정되었고, 20℃의 건조온도에서 150 μm 시트를 제조하였다. 제조된 그린시트(green sheet)를 2℃/min의 승온속도로 각각 800 ~ 1,200℃에서 2시간 소결하였다. 소결체의 밀도는 아르키메데스법(Archimedes mo)에 의해 측정되었으며, 주사전자현미경(Topcon, Philips)을 이용하여 미세구조 분석을 하였다. 그리고 소결체는 Ag 전극을 silk screen법으로 도포를 한 후 750℃에서 30분간 열처리 한 뒤 LCR meter(HP 4294A)를 이용하여 1KHz ~ 5 MHz의 주파수 범위에서 유전상수와 유전손실 등의 유전특성을 측정하였다.

이와 같은 본 실험의 공정도를 Fig. 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

표 1에서 고상과 용매의 배합비가 70 : 30 wt%인 슬러리의 경우 입자 유동성이 낮은 아주 높은 점도를 나타내었다. 이것은 분말의 높은 비표면적(4.0m²/g)으로 인해 입자의 응집현상이 두드러져 점도가 높은 것으로 사료된다. 이에 반해 60 : 40 wt%의 경우에는 용매의 과다한 첨가로 인해 점도 값이 낮았고 시트의 균열이 발생하였다. 이는 건조 공정 시 sheet내의 서로 다른 건조수축과 시트의 포화와 불포화 영역사이에 큰 응력 차이가 발생하여 시트에 균열이 발생된 것으로 사료되며 소결 시 용매의 증발에 의해 큰 기공이 존재할 가능성이 높다⁴⁾. 그린시트의 두께조절은 점도에 의해 조절될 수 있는데, 점도가 너무 낮으면 탈포 공정에 많은 시간이 소요되어 공 일정한 두께의 그린시트를 제조할 수 없고, 시트의 균열이나 휨 등의 결

함의 원인이 된다⁴⁾. 본 실험에서도 이와 같은 현상이 발견되었다. 반면 2번과 3번의 슬러리 조건에서는 탈포 후 Tape casting에 알맞은 입자 유동성과 점도(3000mPa·s)를 얻었고, 150-170μm의 시트를 얻을 수 있었다. 그러나 배합비 2의 경우에서도 tape casting 후 그린시트는 건조공정 시 다른 건조수축과 시트의 포화와 불포화 영역사이의 응력 차이에 의해 균열이 발생하였다.

Fig. 2는 Green Sheet의 열적 거동을 해석하기 위한 열중량 분석(TGA) 결과를 나타낸 것으로서, 100℃ 이하에서 부착수가 휘발되고, 200℃ ~ 400℃ 사이에서 가소제, 결합제 분산제의 순으로 공정 첨가제가 급격히 소각되고 있음을 알 수 있다. 이 그린 쉬트 내에서 발생하는 유기첨가제들의 빠른 휘발은 기공생성과 균열을 형성할 수 있으므로 공정 첨가제의 소각이 완전히 이루어 질 수 있도록 최대한 승온 속도를 낮추어줄 필요가 있다.

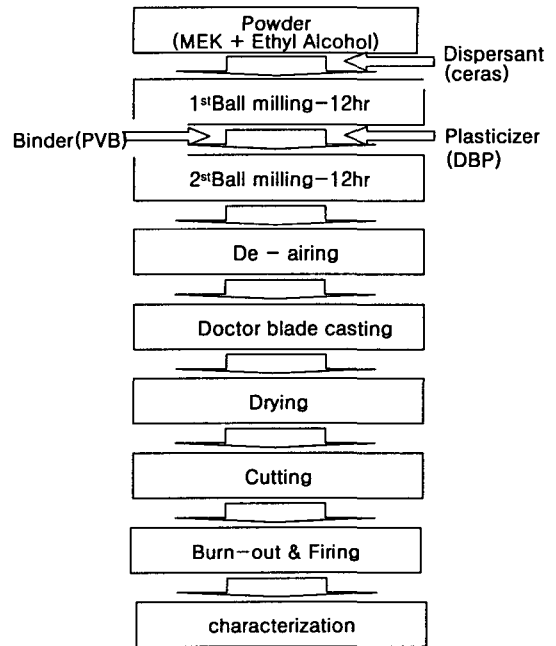


Fig. 1 Experimental procedure.

그리고 400℃ 이후에서는 무계변화가 없는 것으로 볼 때, 분해나 산화 등의 부수적인 반응은 나타나지 않는 것으로 분석된다.

Fig. 4는 소결온도에 따른 소결체의 수축율과 상대밀도를 나타낸 것이다. 1000℃ 이하에서는 용매의 휘발과 입자확산을 통해 sheet의 급격한 수축과

밀도 상승을 동반하여 수축율과 밀도는 급격히 증가하였고, 그 이후로는 작은 폭으로 증가하였다. 평판형 유전체를 단층 또는 다층 형태의 커패시터로 응용하기 위해서는 낮은 치수오차율이 중요한 인자라고 볼 때, 1000°C 이상의 온도에서 열처리하는 것이 재현성 있는 치수와 유전특성이 발휘될 것으로 추정된다.

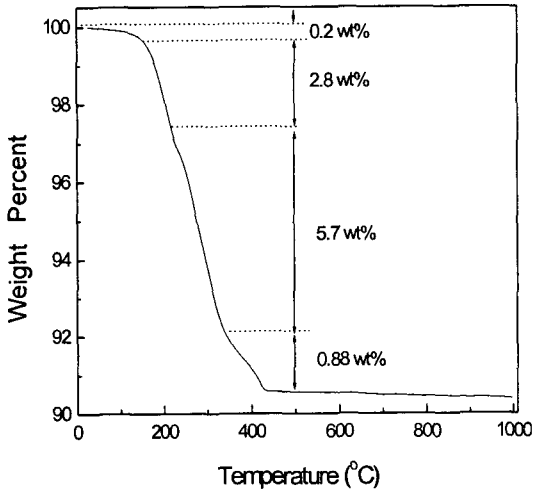


Fig. 2. Thermogravimetric analysis of green sheet

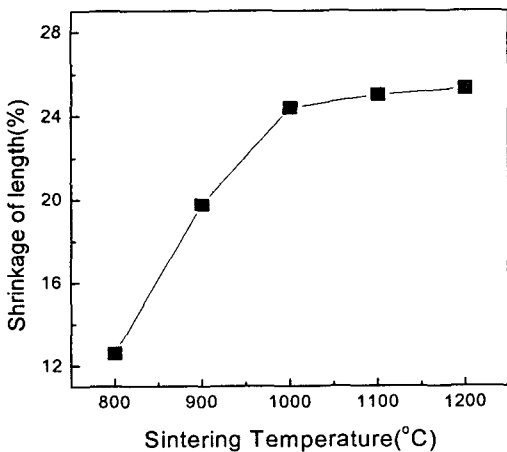


Fig. 3. Shrinkage of length as a function of sintering temperature.

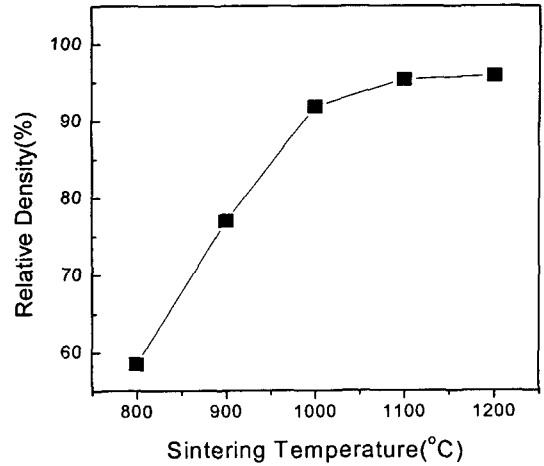
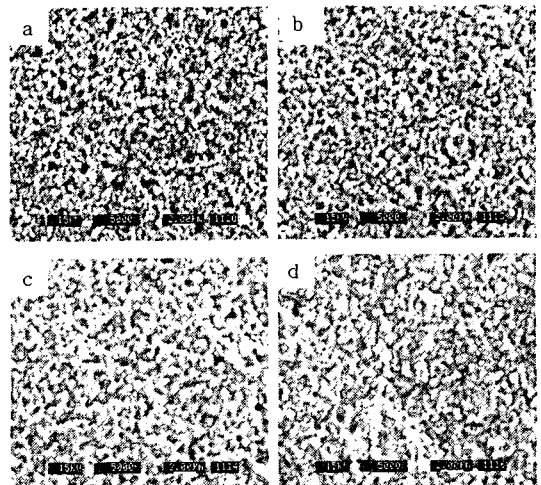


Fig. 4 Relative density as a function of sintering temperature.

Fig. 5는 green sheet 와 소결온도(800-1200°C)에 따른 미세구조의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5-(b)는 Fig. 5-(a) Green Sheet의 미세구조와 비교해 볼 때, 입자 성장보다는 치밀화에 따른 기공의 감소를 확인 할 수 있다. 이는 Fig. 4에서의 소결밀도에서 확인된다. Fig. 5-(c)에서는 입자 사이에 neck이 형성되어 기공이 감소하고 치밀화가 더욱 진행되었고, Fig. 5-(d), (e)에서는 치밀화와 입자성장이 일어나 보다 치밀한 미세구조를 나타내었다.



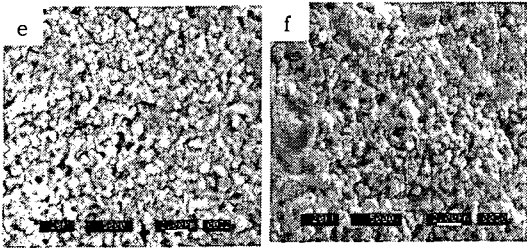


Fig. 5 Microstructure of sheet sintered at (a) Green sheet, (b) 800°C, (c) 900°C (d) 1000°C, (e) 1100°C, (f) 1200°C for 2hr respectively.

이것은 Fig. 3과 Fig. 4의 소결 수축율과 상대밀도 변화에 대한 결과와 일치하는 것이다^{5, 6)}.

그리고 Fig. 5-(f)에서 비정상 결정성장이 일어나 소결온도가 가장 높음에도 1100°C에서의 유전상수와 별다른 차이를 보이지 않았다. 이는 슬러리 분산 안정성을 확보하지 못하여 발생한 응집입자에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 6은 주파수에 따른 소결체의 유전상수와 유전손실을 나타낸 것으로서, 유전상수는 800°C, 1000°C 및 1200°C에서 각각 약 1200, 2100 및 2800 정도로 소결온도의 증가에 따라 선형적으로 증가하여 약 4 MHz 까지 안정한 특성을 나타내었다. 이는 열처리 온도에 따른 소결체의 기공 감소로 인한 상대밀도 변화에 의한 것으로 판단된다. 즉, 수 KHz에서 수 MHz에서의 유전상수는 밀도가 중요한 요소로서 작용을 하고 있으며¹⁾, Fig. 5와 같이 입자 사이즈의 변화와 일치하는 유전특성을 나타내었다. 그리고 약 4 MHz에서 나타나는 공진 현상은 영구 분극의 dipole운동속도가 주파수보다 상대적으로 늦어져 결과적으로 소멸되어 나타나는 현상으로 사료된다.

유전손실은 소결온도가 증가할수록 감소하였다. 일반적으로 유전상수는 소결온도의 증가에 따라 입자성장을 통해 증가하고, 유전손실은 유전상수에 비례하여 증가하지만, Fig 6-(b)에서는 이와 반대의 결과를 얻었다. 이것은 Fig. 5에서 소결온도에 따라 입자성장이 미약하여, 유전손실은 입자 사이즈 효과보다는 Fig. 4의 밀도 변화 더 큰 영향을 받은 것이라고 판단된다. 즉 밀도가 증가함에 따라 유전손실은 감소하게 된 것이다.

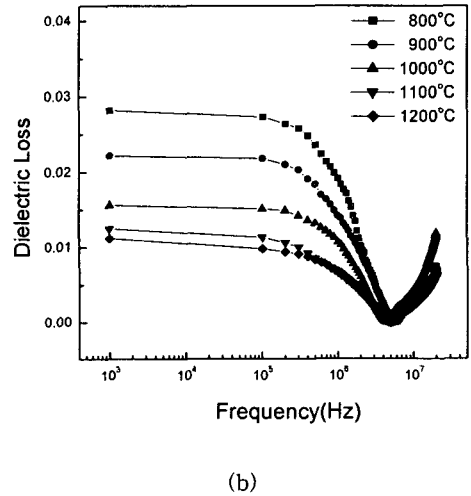
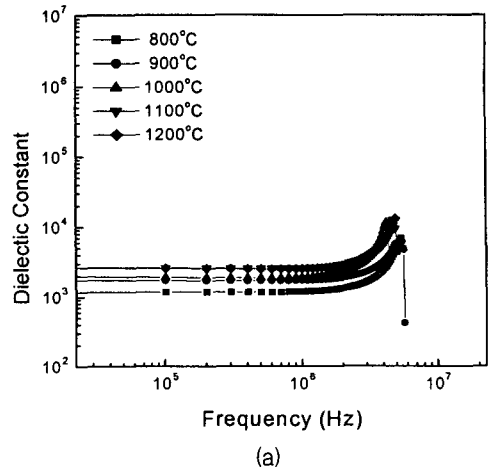


Fig. 6 (a) Dielectric Constant and (b) Loss as a function of sintering temperature

4. 결론

Tape casting 방법을 이용하여 평판형 유전체 제조 시 슬러리 제조와 제조된 유전체의 특성평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Green sheet 특성은 분말과 용매의 배합비 65%-35%에서 가장 우수한 특성을 나타내었다.
2. 1000°C 이상의 소결온도에서 수축율과 밀도 변화가 둔화 되어 평판 유전체 제조 시 특성의 재현성과 평판 유전체의 치수제어가 가능할 것으로 판단되었다.
3. 유전상수는 소결온도의 증가에 따라서 밀도 증가와 입자 성장으로 인해 증가하였고, 유전손실

은 입자 사이즈의 미미한 증가효과 보다 밀도 변화에 더 큰 영향을 받는다.

참고 문헌

- [1] Kim Chul Ho, " 마이크로파 유전체 기관'. 전 기전자재료학회지. Vol 11, No 5, pp 400-406, 1998
- [2] Lingyin Zhao, "Design Considerations for an Intergrated LC Resonant Module"
- [3] 박재환, "LTCC 소재 및 공정 기술 개요" 세라 미스트, Vol 4, No 4, p 41-48, 2001
- [4] 오영제, 정형진 "세라믹스 테이프 캐스팅 성형 기술" 요 업기술학회지. Vol 39, No 1, 1997
- [5] Shin-Ichi-Hirano, "Chemical Processing and Micro- wave Characteristics of (Zr,Sn)TiO₄ Microwave Dielectrics" J. Am. Ceram. Soc, Vol 74(6), p1320-24, 1991
- [6] Rajiv Kudesia, "Effect of La₂O₃/ZnO Additives on Microstructure and Microwave Dielectric Properties of Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO₄ Ceramics", J. Am. Ceram. Soc, 77(12) p3215-20, 1994