

온간 정수압 공정 조건에 따른 LTCC sheet의 수축률

정명식¹, 윤여환¹, 임성한², 윤성만³, 오수익[#]

Influence of WIP conditions on dimensional change of LTCC sheet

M. S. Jeong, Y. H. Yoon, S. H. Rhim, S. M. Yoon, S. I. Oh

Abstract

LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) has been successfully applied to ceramic substrates for circuits and microfluidic systems and has proven its superior performance in a variety of applications. The prediction of shrinkage in LTCC process is an important for dimensional control of micro LTCC products which has influences on electronic characteristics. For avoiding the unpredictable shrinkage of LTCC during the sintering which makes accurate placement of the circuit devices difficult, pre-processes such as WIP (Warm Isostatic Pressing) and lamination must be modified. The objective of the present investigation is to establish a proper WIP conditions for near net shape fabrication of LTCC products. This paper discusses the influence of WIP conditions on the dimensional change of LTCC sheet. In the investigation, it is shown that the shrinkage values of sheets depend on WIP conditions and sheet directions. This work is a quantitative evaluation of the effect of WIP pressure on shrinkage of LTCC sheet. Additionally, the results show anisotropic shrinkage behaviour of sheet during LTCC process.

Key Words : LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic), WIP (Warm Isostatic Pressing) condition, shrinkage value

1. 서론

최근 정보 통신 산업의 비약적인 발전으로 microelectronic 제품시장은 매우 빠르게 커지고 있다. 점차 높아지는 고객의 요구를 충족시키기 위해 전기 전자 제품은 점점 소형화 경량화되는 추세이다. 이에 대응하여 3차원의 회로 구현을 통하여 부품의 고기능화와 집적화를 이룰 수 있는 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic)기술이 전자 제품의 패키징에 많이 사용되고 있다 [1-2].

또한 LTCC 시트는 우수한 화학적, 기계적 특성을 가지고, 적층 공정을 통하여 3차원의 형상을 구현 할 수 있는 장점으로 인해 그 응용 분야가 micro sensor, micro fluidic system, bio-medical system

등으로 다양하게 확대되고 있다[3-4]. 이에 따라서 LTCC device의 형상과 치수를 더욱 정교하게 제어 하는 것이 중요한 문제로 부각되고 있다.

LTCC 제품은 다양한 공정을 거쳐 제작 되므로 제품의 형상이나 전기적 특성 등이 각 공정의 공정 변수에 영향을 받게 된다[5]. 따라서 원하는 특성을 얻기 위해서는 안정된 공정 기술이 요구된다. 하지만 대부분의 연구에서는 테이프 캐스팅에 사용한 재료의 혼합비나, 동시 소결을 위한 소결 온도 등에 대한 연구가 대부분이다[6-7]. 지난 연구[5]를 통하여 LTCC 공정 중 적층 및 소결 공정 변수가 세라믹 유전체의 전기적 특성에 미치는 영향을 알아 보았다. 그 결과 적층 압력과 소결 온도가 높아 질 수록 유전율이 증가하는 것을 확인 하였다.

1. 서울대학교

2. 한국기술교육대학교 기계정보공학부

3. ㈜아이엘텍

교신저자: 서울대학교 기계항공공학부

E-mail: sioh@snu.ac.kr

이번 연구에서는 LTCC 공정과 동일한 공정 조건 하에서 온간 정수압 (Warm Isostatic Pressing) 공정 변수에 따른 LTCC 시트의 수축률을 살펴 보았다. 또한 각 방향에 따른 수축률 측정을 통하여 테이프 캐스팅 공정으로 제작된 시트의 비등방성 수축을 확인 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시트 제조

Table 1: Characteristic of ceramic/glass powder

Characteristic	Specification
Ceramic material	Al ₂ O ₃
Glass material	SiO ₂ / B ₂ O ₃ / BaO
Powder density	2.7 g/cm ³
Average particle size	2.39 μm (D ₅₀)

그린 시트의 제작에 사용한 slurry는 세라믹/글라스 파우더(K6A, Thinkcera, D₅₀: 2.39 μm)와 유기 결합제를 45 : 55 (w%) 비율로 혼합한 뒤 24시간동안 볼 밀링을 통하여 혼합하고 탈포 시켜 만들었다. 글라스/세라믹 파우더의 조성은 Table 1과 같다.

유기 결합제로는 PVB (Polyvinyl Butyral), DOP (Dioctyl Phthalate), Fish-oil이 각각 결합제(Binder), 가소제(Plasticizer), 분산제(Dispensing Agent)로 사용되었다.

탈포 과정을 거친 슬러리(Slurry)로 Figure 2(a)의 콤마 블레이드(Comma Blade) 방식의 테이프 캐스팅 장비를 이용하여 그린 시트를 제조하였다. 캐스팅 공정을 통하여 제작된 그린시트는 170mm x 170mm의 면적을 가지고, 초기 두께 200 μm였다. 실험에 사용한 시편은 커팅 공정을 이용하여 60mm x 60mm 의 크기로 제작하였으며, 수축률 측정의 편의성과 정확성을 위하여 비아 홀 펀칭(Via-Hole-Punching) 공정을 이용하여 시트의 각 모서리 부분에 측정지점을 표시 하였다.

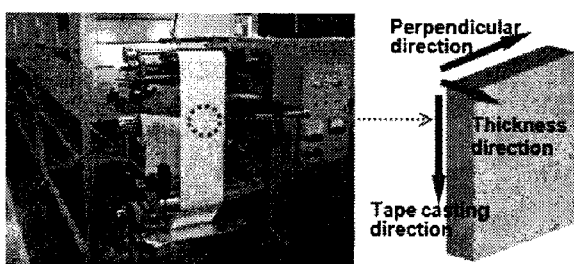
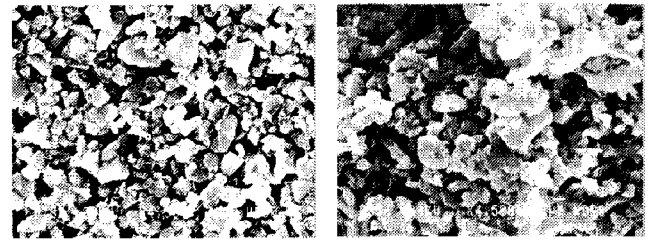


Fig. 2 (a) Tape casting machine
(b) Direction of LTCC sheet



(a) Top surface (b) Cross section
Fig. 3 SEM view of LTCC green sheet

2.2 온간 정수압 공정 및 소결 공정

압력과 온도는 적층 공정 시, 그린 시트의 물리적 특성을 결정하는 기본 매개변수이다. 특정 압력 이상에서는 그린 시트의 층간 접착 강도가 더 이상 증가하지 않으나, 온도가 증가 할수록 시트의 인장강도는 감소하고 신장도는 증가하는 성향을 보인다 [8]. 그러므로 온간 정수압을 받는 그린 시트의 경우에는 시트의 밀도가 적층 압력의 영향에 의해 변화 될 수 있고, 이는 소결 제품의 특성에 영향을 미칠 것이다[5].

온간 정수압 공정에서 압력이 시트의 형상과 치수 변화에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 온도를 70°C로 유지시킨 상태에서 압력을 각각 100, 200, 300, 400, 460 kgf/cm²로 변화 시켜, 시트의 수축률을 측정하였다. 이때 압력을 가하는 시간은 10분으로 고정하였다. 본 실험에서는 LTCC 공정 과정과 동일하게 벨트 퍼니스(Belt Furnaces)를 이용하여 시편을 소결하였다. 이 때 소결 프로파일의 최대 소결 온도를 890°C로 고정시켰으며 온도 상승 속도는 6°C/min로 해주었다.

2.3 측정 및 분석

LTCC 시트의 비등방성 수축률을 확인 하고자 Fig. 2 (b)와 같이 각 방향에 따라 수축된 양을 측정하였다. 시트의 두께 방향(Thickness direction) 수축량은 DIGIMICRO STAND (MS-4G, Nikon Ltd., accuracy 1μm)을 이용하여 측정하였고, 테이프 캐스팅(Casting direction)과 수직 방향(Perpendicular direction)의 수축량은 DYNASCOPE (Vision Engineering Ltd., accuracy 1 μm)을 이용하여 측정하였다. 그린 시트와 소결된 시편의 미세 구조는 FE-SEM(JEOL Ltd., Japan, Model JSM-6700)를 이용하여 관찰하였다. LTCC 시트의 수축률은 테이프 캐스팅 후 제작된 그린시트와 WIP와 소결 공정을 거친 시편을 측정하여 각각을 비교 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

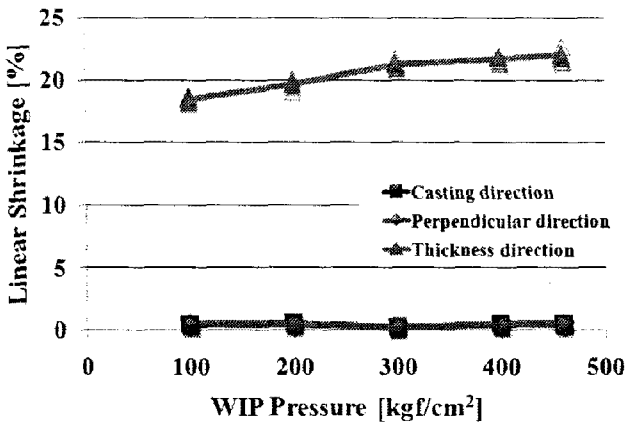
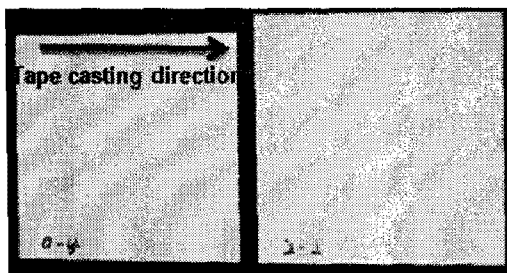


Fig. 6 The WIP shrinkage values in each direction as a function of WIP pressure

Figure 6 은 WIP 압력의 증가에 따른 각 방향의 수축률을 정량적으로 나타낸 그래프다. 두께 방향의 수축률은 WIP 압력이 증가 할수록 18.44% ~ 21.98%로 증가 하였다. 그러나 캐스팅 방향과 수직 방향의 경우, 어떠한 압력 조건에서도 WIP 공정에 의한 치수 및 형상 변화가 거의 없음을 확인 할 수 있었다. 또한 WIP 공정 후의 그린 시트의 무게 변화는 없는 것을 확인하였다. 이는 그린 시트가 Fig. 3과 같이 다공질 재료이므로 적절한 온도와 압력 하에서 유기 재료의 유동이 발생하기 때문에 발생한 결과라고 보인다.

LTCC의 수축률은 WIP 공정 조건에 의해 상당한 영향을 받는다. Figure 5은 WIP 공정을 거친 시편과 그렇지 않은 시편의 소결 후의 모습을 보여주는 사진이다. WIP 공정을 거치지 않은 시편은 WIP 공정을 거친 시편에 비하여 길이 방향, 즉 캐스팅 방향과 수직 방향에서 보다 큰 수축이 나타났음을 확인 할 수 있다. 그러나 두께 방향의 총 수축률은 WIP 공정을 거치지 않은 시편이 가장 작은 값을 가지는 것을 확인 하였다.



(a) Without WIP Process (b) With WIP process

Figure 5: Digital image of sintered sheet

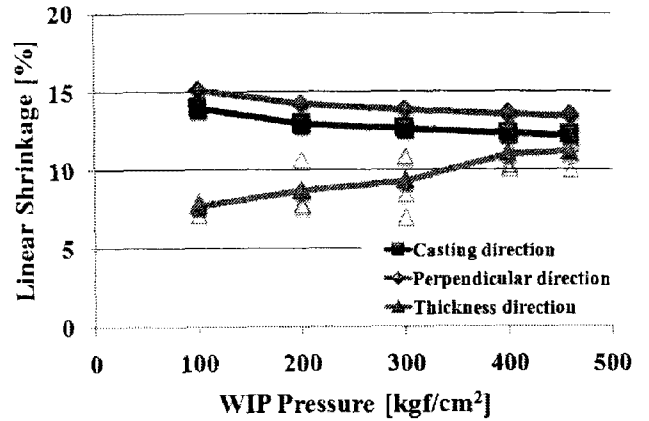


Fig. 7 The sintering shrinkage values in each direction as a function of WIP pressure

Figure 7은 소결 공정에 의한 수축률을 WIP 압력 조건에 대하여 나타낸 그래프이다. WIP 압력이 증가 할수록 캐스팅 방향과 수직 방향의 수축률은 감소하는 경향을 보였으며 이와는 반대로 두께 방향의 수축률은 증가 하는 것으로 나타났다. 또한 각 방향의 수축률의 차이가 나타났으며 이를 Fig. 8에 나타내었다. Figure 8에서 알 수 있듯이 캐스팅 방향과 수직 방향의 수축률의 차이는 WIP 압력과 무관하게 1.2 % 정도로 거의 일정하였으며 길이 방향과 두께 방향의 수축률 차이는 WIP 압력이 증가할수록 점차 감소하여 400kgf/cm² 압력 이상에서는 캐스팅 방향과 두께 방향의 수축률 차이가 거의 나지 않음을 확인 하였다.

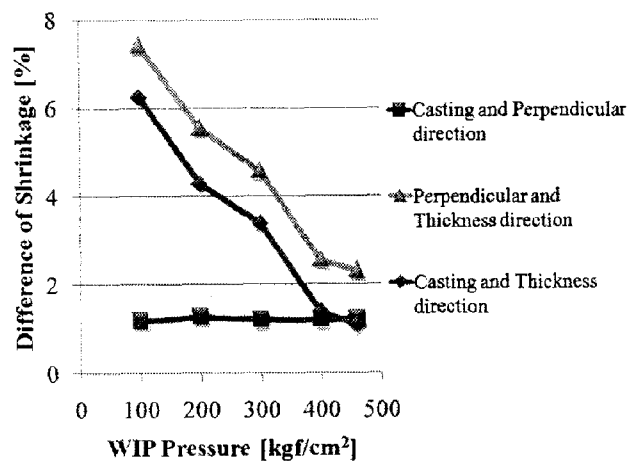


Fig. 8 The difference of shrinkage values in each direction as a function of WIP pressure

Table 2: Shrinkage values of sample without WIP process

Direction	Linear shrinkage [%]
Tape casting	19.11
Perpendicular	20.49
Thickness	15.25

WIP 공정을 거치지 않은 시편의 소결 후의 수축량을 Table 2에 나타내었다. 두께 방향의 수축률이 길이 방향에 비해 약 5%정도 작게 나타났으며 캐스팅 방향과 수직 방향의 수축률의 차이도 나타나는 것을 확인 하였다. 길이 방향의 수축률 차이는 테이프 캐스팅 공정의 영향으로 보이며, 제품 설계 시 이 차이를 고려 한 설계가 필요하다고 생각된다.

Figure 9는 테이프 캐스팅 공정을 거쳐 제작된 그린 시트와 WIP와 sintering 공정을 모두 거친 후의 시편의 길이를 비교하여 총 수축량을 계산한 것이다. 이 경우 두께 방향의 수축률이 길이 방향의 수축률보다 큰 것을 확인 할 수 있다.

Figure 7과 Table 2 에서 알 수 있듯이, 소결 공정의 영향만을 고려할 경우 길이 방향의 수축률이 두께 방향의 수축률 보다 더 크다. 하지만 WIP와 같은 가압 공정을 추가하였을 경우, 압력에 의한 영향으로 발생하는 두께 방향의 수축률이 길이 방향의 수축률에 비해 매우 크기 때문에 시편의 총 수축률에서는 두께 방향이 더 크게 나타나게 되는 것이라 생각 된다.

적층(Stacking) 공정을 거쳐 Multi layer로 생산되는 LTCC micro device의 용량이나, Micro-fluidic system의 채널의 깊이 등은 두께 방향의 형상 및 치수 변화를 고려한 설계가 요구됨으로 이에 대한 고찰이 필요할 것으로 보인다.

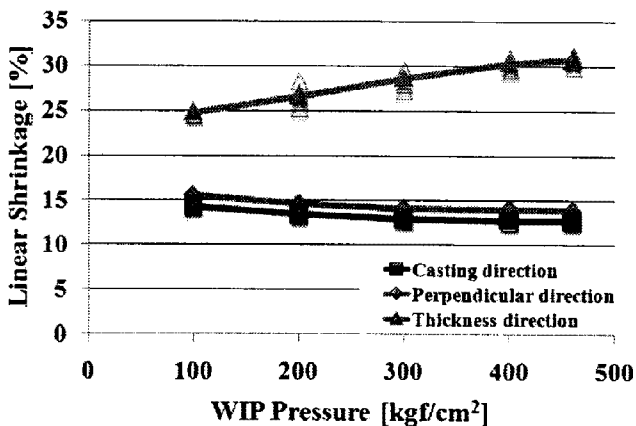


Fig. 9 The total shrinkage values in each direction as a function of WIP pressure

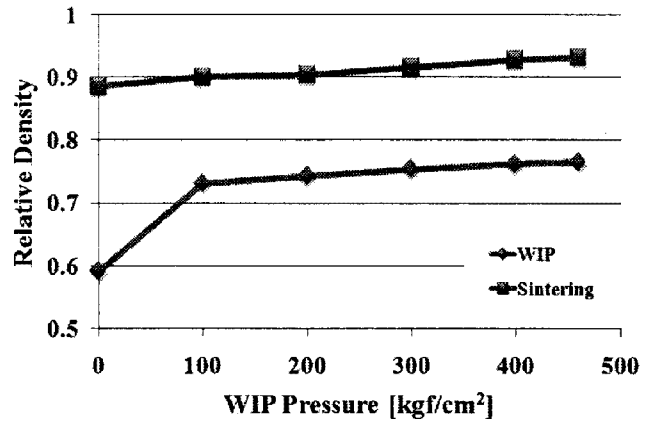


Fig. 10 The relative density of samples after WIP and sintering process as a function of WIP pressure

WIP 압력에 따른 상대 밀도와 밀도 변화율을 Fig.10 과 Fig.11에 각각 나타내었다. 보다 높은 WIP 압력을 가해준 시트가 동일한 소결 과정을 거쳤을 경우 더 치밀화 되는 것을 확인 하였다. Figure 11의 WIP 공정에 의한 그린 시트의 밀도 변화율을 보면 WIP 압력에 대해 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 Fig. 11의 아래쪽 그래프에서 볼 수 있듯이 WIP 압력이 200kgf/cm² 이상인 경우, 소결 공정에 의한 밀도 변화는 1% 이하로 WIP 압력에 관계 없이 거의 동일하게 증가한다. 이 결과는 소결 공정 후 최종적으로 생산되는 제품의 밀도를 WIP 공정 후의 밀도를 통하여 어느 정도 예측 할 수 있다는 것을 보여 준다.

Figure 12는 소결 공정 후의 세라믹 시트 단면의 미세구조를 관찰한 사진으로써 WIP 압력이 높은 쪽이 기공의 양이 더 적음을 볼 수 있다.

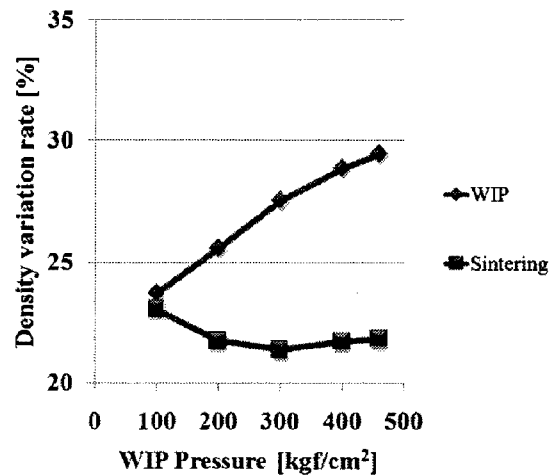
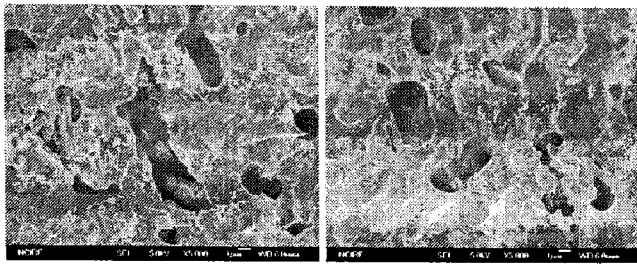
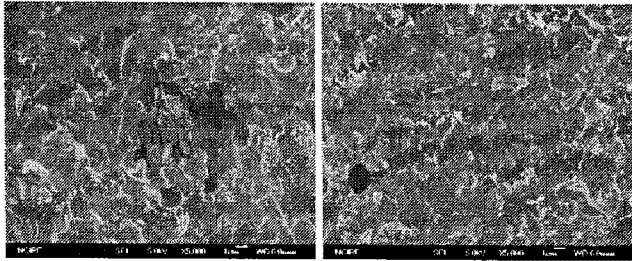


Fig. 11 The density variation rate of samples after WIP and sintering process



(a) Without WIP process (b) 100kgf/cm²



(c) 300kgf/cm² (d) 460kgf/cm²

Fig. 12 SEM image of sintered ceramic sheet

4. 결 론

Micro LTCC device의 정교한 치수 및 형상의 제어를 위하여 LTCC 공정 중 WIP 공정 조건의 영향을 살펴 보았다. WIP 공정에 의한 시트의 수축은 두께 방향으로만 나타났으며, 길이 방향의 수축은 거의 없었다. 소결 공정에 의한 수축은 WIP 압력이 증가 할수록 길이 방향은 감소 하였으며 두께 방향은 증가 하였다. 또한 길이 방향의 수축률이 두께 방향의 수축률보다 모든 압력 조건에서 크게 나타났으며 이러한 수축률의 경향은 WIP 공정을 거치지 않은 시편에서도 동일하게 나타났다. 초기 그린 시트와 WIP, 소결 공정을 거쳐 얻은 시편을 비교한 총 수축률에서는 두께 방향의 수축률이 더욱 크게 나타났다. LTCC 제품의 생산시 WIP 공정변수에 대한 영향력과 각 방향에 따른 수축률을 고려한 설계가 더욱 정확한 형상과 치수 제어를 하는데 도움이 될 것이다.

WIP 압력에 따른 상대 밀도의 변화는 WIP공정에 의한 밀도의 변화가 소결 공정에 의한 밀도 변화 보다 컸으며, WIP 공정에 의한 밀도 변화는 가해진 압력에 비례하여 나타났고 소결 공정에 의한 밀도 변화는 WIP 공정에서 일정 압력 이상을 가해진 시편의 경우 증가량이 거의 같음을 확인 하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] S. H. Rhim, S. W. Baek, S. I. Oh, 2006, Micro Via-Hole Punching of LTCC-PET Double Layer Sheets, *Key Engineering Materials*, pp.509~512.
- [2] H. Jantunen, T. Kangasvieri, J. Vahakangas, S. Leppavuori, 2003, Design aspects of microwave components with LTCC technique, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol23, 2541~2548.
- [3] L. J. Golonka, T. Zawada, J. Ladojewski, H. Roguszcak, M. Stefanow, 2006, LTCC Microfluidic System, *Applied ceramic technology*, Vol.3(2), 150~156.
- [4] K. A. Peterson, K. D. Patel, C. K. Ho, S. B. Rohde, C. D. Nordquist, C. A. Walker, B. D. Wroblewski, M. Okandan, 2005, Novel Microsystem Application with New Techniques in Low-Temperature Co-Fired Ceramics, *Applied ceramic technology*, Vol.2(5) pp. 345-363.
- [5] 정명식, 황상현, 정형욱, 임성한, 오수익, 2007, LTCC 공정 중 적층 및 소결이 유전율과 회로 형상에 미치는 영향, *한국소성가공학회지*, 제 16권, 제5호, pp. 396~400
- [6] B. H. Jun, S. J. Hwang, H. S. Kim, 2005, Glass-ceramic for low temperature co-fired dielectric ceramic materials based on La₂O₃-B₂O₃-TiO₂ glass with BNT ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol.25(3), pp. 3187-3193.
- [7] H. Birol, T. Maeder, C. Jacq, P. Ryser, 2005, Investigation of interaction between co-fired LTCC components, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 25, pp. 2065-2069.
- [8] Gardner, R. A, Nufer, R. W., 1974, Properties of Multilayer Ceramic Green Sheet, *Solid State Technology*, 38-43.