Journal of the Microelectronics & Packaging Society
Vol. 14, No. 4, p. 43-48. 2007

마이크로파 소결법을 이용한 LTCC 기판 Post 전극 형성에 관한 연구

김용석* · 이택정 · 유원희 · 장병규 · 박성열 · 오용수
삼성전기, eMD 센터

A Study of Post Electrode Formation by Microwave Sintering in LTCC Substrate

Yong-Suk Kim*, Taek-Jung Lee, Won-Hee Yoo, Byeung-Gyu Chang, Sung-Yeol Park and Yong-Soo Oh
Electro Material & Device Center, Samsung Electro-Mechanics Co., LTD

초 록 : LTCC 기판 제작에 있어서 Post 전극형성은 실제 IC 및 수동부품을 탑재하는 Pad 형성 부분으로 전극 표면의 특성에 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 일반적인 전기로를 이용한 post 전극 소성시 발생되는 문제점들 개선하여 마이크로파 소결을 통한 전극 미세 구조의 치밀화 및 이에 따른 신뢰성 기초 평가를 진행하였다. 일반적인 전기로와 마이크로파 소결 조건에 따른 전극과 LTCC 세라믹 상태를 평가하였다. 또한 과소성 및 탈바인더 공정시 Out gas 불충분에 의한 전극 부풀림 현상을 개선할 수 있는 효과를 얻을 수 있었으며 실제 solder ball 형성후 실장형 전극의 고착강도를 측정한 결과 기존 전기로에 비해서 30% 고착강도가 증가 하였다. 또한 소결시간을 기존 전기로 10시간에 비해 30분 정도에서 소결 공정이 이루어지므로 95% 정도 시간을 단축시킬수 있음을 확인하였다. 이는 소성로 설계를 통한 양산성, 효율성에 크게 증대되리라 예상된다.

Abstract : This study is focused on the effect of the surface properties for the post electrode, which is used in pad formation consisted of SMT such as IC, passive component, combined with fired LTCC substrate, We carried out the surface microstructure of sintered electrode and the basic reliability evaluations with sample fired by microwave sintering to solve the problems occurred in post electrode by electric sintering. We evaluated surface densification status of post electrode according to various conditions of microwave sintering. In additions, it is obtained strong effect on blister improvement of post electrode because of over-sintering and the insufficient out gas in burn out process. As a result of adhesion strength, we confirmed 44.3N/mm^2 in microwave sintering and 34.5N/mm^2 in electric sintering, respectively. This result will be used for the basic reliability test. Finally, microwave sintering seems to be economic in process time with 30 min compared to electric sintering with 10 hr. In terms of Mass production and efficiency, microwave sintering are excepted to be higher than electric sintering

Keywords: Post electrode, Microwave sintering, adhesion strength, blister, LTCC

1. 서 론

전자부품의 정밀화 미세 패턴화를 이용한 소형, 박막 형태의 모듈 및 기판을 시장에서는 요구하고 있다. PCB 기판을 적용시 사이즈의 소형화 및 고주파 영역내에서의 신호손실 및 고온고습과 같은

*Corresponding author
E-mail: yongsuk88.kim@samsung.com

신뢰성 저하와 같은 단점을 안고 있다.[3,9-12] 이를 해결하기 위해서 PCB 대신 세라믹 기판을 사용하게 되는데 세라믹 기판의 주성분은 저온 동시 소결이 가능하도록 Glass 성분이 다량 포함된 세라믹 조성물을 포함하게 된다.[3,12] 현 LTCC 기술에서는 고정세 미세 패턴을 구현하기 위해서 무수축 공법을 적용하여 동시 소성하게 되는데 이는 추후 무수축 제어를 위해 LTCC 적층체 양면에 저온 온도에서도 소결이 일어나지 않으면서 수축 제어가 용이한 알루미나, 지르코니아, 바륨티타네이트 등과 같은 green sheet을 적층, 소결후 제거하게 된다. 제거후에는 LTCC 기판의 상 하부에 SMT을 위한 패턴 형성이 필요한다. 이러한 상하부 SMT를 위한 패턴 형성후 Post 소결공정이 진행한다. 소결공정은 일반적으로 전기로를 이용한 소결을 실시한다. 그러나 이로 인한 소결시 소성후 전극 표면에서 전극의 부풀림, 전극 소성밀도 저하, 전극 및 세라믹 적층체 면의 다공성 발생, 고착강도 저하 등의 문제점이 발생되고 있으며 소결시간 또한 10hr 정도로 많은 공정시간을 필요로 하게 된다.[2,4] 실제 전극 및 세라믹 적층체의 다공성에 의한 소성 치밀성 저하는 밀리미터파 영역에서 Q값 저하 및 유전율, 유전손실, 유전율의 온도계수와 같은 전기적 특성 감소 결과를 가져올 수 있다. 또한 RF 특성 평가시 누설 전류, 노이즈 발생 등으로 인해 RF 특성 감소를 보여 줌으로 소형화, 고집적화가 필요한 모듈 제작시 어려움을 가져 올 수 있다.[6-8] 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 기존의 전기로를 이용한 Post 전극 소결 대신 마이크로파를 이용한 소결 공정을 통하여 전극 표면의 치밀화 정도 및 전극 부풀림의 현상, 간이 신뢰성 테스트시 주로 평가되는 전극의 고착강도에 대해서 연구 하였다.

2. 실험방법

LTCC Green sheet을 재단하여 layer간 신호 연결을 위해 Via 및 전극을 형성한 후 수축율 제어를 위해 LTCC 상하면에 수축율 제어용 알루미나 sheet를 재단한 후 적층을 실시한다. 적층된 Green bar를 단위별 절단후 본 소결을 실시한다. 본 소결후 구속층 제거를 위해 Lapping 공정을 진행하여 이후 소성된 LTCC 기판 상하면에 Post 인쇄를 실시한다. 이때 사용한 페이스트의 특성은 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보듯이 입자크기는 5-7 μm 실버 페이스트를 사용하였다

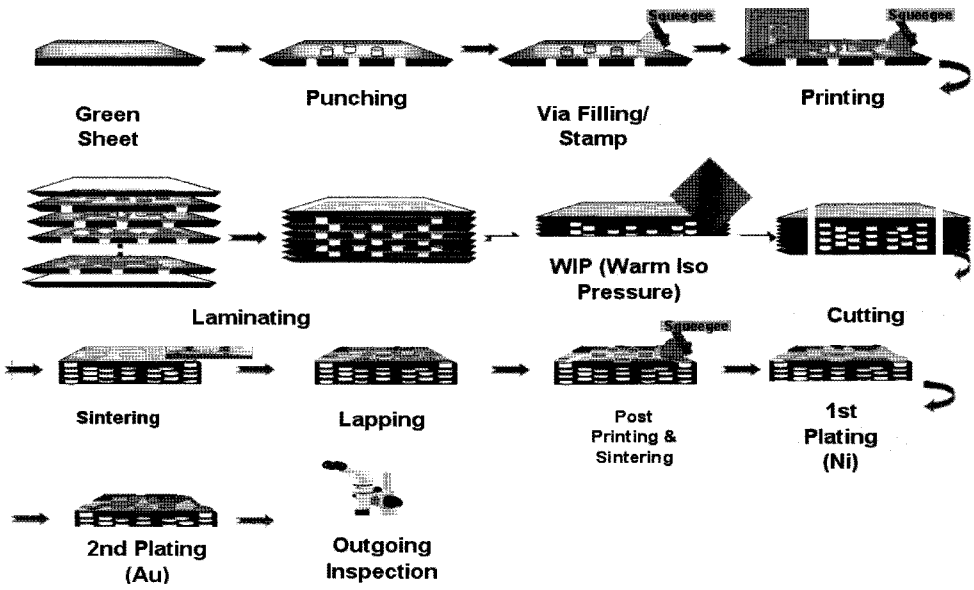

Fig. 1. Schematic flow chart for experimentation.

Table 1. The properties of metal paste used in this study

Component of metal Ag
Contents of metal 86%
Metal partical size 5~7 μm
Paste viscosity 230±35 Pa · s
Resistivity at 10 mm thickness≤3.5 mΩ/□

Post 인쇄후 용매 및 인쇄층 leveling을 위해 130°C에서 20min 건조를 실시한 후 마이크로파 소결로 챔버내에 Susceptor로 알루미나 기판상에 소결용 LTCC 기판을 놓은후 챔버 커버를 닫는다. 소결로 컨트롤러에 입력 전압 1Kw, 승온속도, Target 온도, 유지시간을 입력하여 소성조건을 설정하였다. 소결시 탈바인더가 원활히 되기 위해서 소결로 상부에 후드를 형성하여 챔버내에 gas trap에 의한 소결 mobility 방지를 예방 하였다. 소결이 끝난 시료를 꺼낸후 air gun를 통하여 기판 표면의 오염물질을 제거 하였다. 소결 완료 기판의 미세구조와 소성 치밀화 정도를 평가 하기 위하여 SEM (Scanning Electron Microscope, 주사전자현미경)을 통하여 전극면와 LTCC 세라믹 계면을 관찰 하였다. 이후 Ni 무전해와 Au 도금 공정을 거친후 도금 상태와 전극 부풀림 현상을 관찰하기 위해 광학 현미경을 통하여 동시에 평가하였다. 마지막으로 전극과 세라믹의 밀착력 정도와 계면상태의 반응정도를 고찰하기 위해 전극면에 ¢ 0.6 mm Solder ball을 형성하여 공정온도 260°C에서 터널형 reflow 공정을 통하여 얻은 시료를 채취하여 고착 강도를 평가하였다. 고착강도 평가를 통하여 실제 RF IC 칩, 수동부품, 메모리 칩 등의 실장에 의한 신뢰성 테스트의 기초 평가 자료를 확보 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 소결조건에 따른 표면관찰

Post 전극과 LTCC 세라믹의 표면 구조를 평가하기 위해 소결 공정 조건별 SEM 분석을 실시 하였다. Fig 2는 다양한 소결조건 변화에 따른 Post 전극의 표면을 SEM으로 관찰한 것이다. 650°C~800°C 소결온도 범위을 고려해 볼 때 Post 전극은 저온영역인 650°C에서는 금속입자가 island 형태로 이루어져 미소성 상태로 남아 있음을 확인할 수 있었으며, 고온영역인 800°C에서는 금속 입자가 melting이 되어 응집덩어리 형태로 유지되면서 거대 Pore가 형성 됨을 알 수 있었다. 또한 전극이 덩어리 형태로 유지 됨으로써 부풀림 현상도 동시에 발생 되었다. 반면에 700°C 이상 영역에서 금속입자의 소결이 시작되면서 입자 치밀화가 이루어짐을 확인 할 수 있었다.[1-2)]

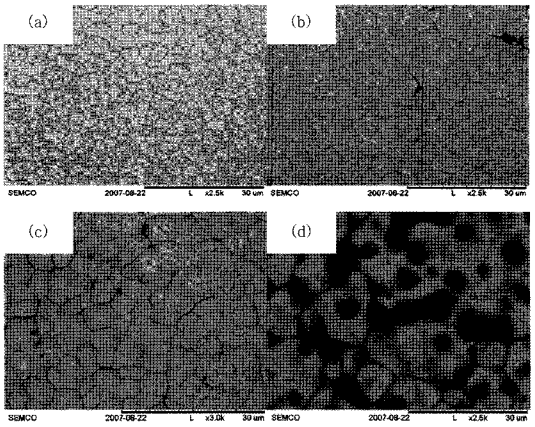

Fig. 2. The SEM image of the surface section with relation to various temperature conditions at 10 min, 50°C/min; (a) 650°C (b) 700°C (c) 750°C (d) 800°C.

입자 크기도 5~7 μm에서 소결후 2~3 μm로 작아짐으로서 표면입자 밀도가 증가함을 알 수 있었다.

마이크로파와 금속전극 반응시 금속에 의한 마이크로파 방해가 의해서 스파크 발생, 미반응 등이 발생할 수 있을 것으로 일반적으로 예상할 수 있으나 본 연구에서 사용되는 전극 페이스트에서는 Ag 입자 뿐만 아니라 유기 바인더, 용매, 분산제 등의 절연 재료들도 다량 포함되어 있어 실제 전극 소결시 방해 반응이 없이 원활하게 소결이 이루어졌으며 오히려 기존 전기로를 이용했을 때보다 소결 반응이 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다. 또한 금속 소결에 의한 탈바인더의 공정시 열에너지의 전달경로가 전기로와 다르게 마이크로파 에너지 전달 메커니즘의 잇점을 이용하여 금속 페이스트 내부에서 외부로 급속하게 유기용매와 바인더 증발 및 반응으로 이루어져 공정상에는 큰 문제점 없이 탈바인더와 본 소결을 동시에 원활하게 진행할 수 있었다.

위와 같이 750°C 온도에서 결정 입자 형성과 동

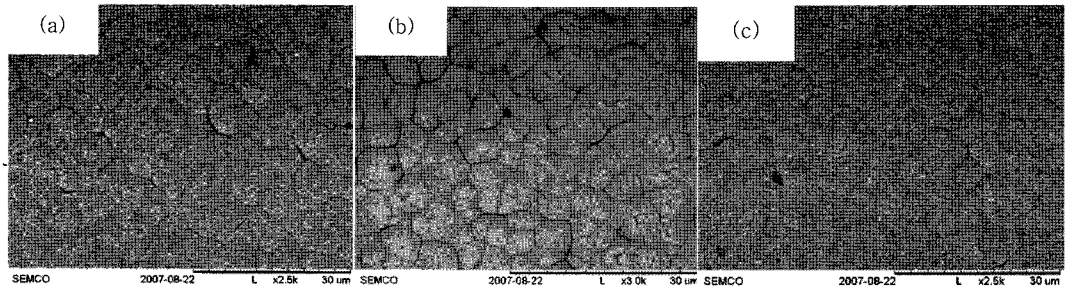

Fig. 3. The SEM image of the surface section with relation to ramping temperature at constant 750°C, 10min (a) 20°C/min (b) 50°C/min (c) 100°C/min

시에 치밀화가 잘 이루어진 결과를 토대로 이 온도 영역에서 상승속도에 따른 입자 성장 효과를 관찰 하였다. Fig. 3과 같이 20°C/min에서는 입자 성장이 원활하게 이루어지지 않고 억제 됨을 확인할 수 있었고 반면에 100°C/min 에서는 빠른 온도 상승으로 인하여 입자 결정상이 소멸됨을 확인 할 수 있었다. 이는 빠른 온도 상승으로 인한 금속 원자간의 열적 활성화 일어남으로써 입자간의 mobility 증가가 급속하게 일어나게 된다. 이로 인하여 탈바인더 및 금속 입자 결정상을 형성하기 위한 조건을 충족시키지 못하는 것으로 판단 된다. 즉 입자 성장속도가 20°C/min 조건에서 마이크로파에 의해 생성되는 플라즈마가 입자 표면을 활성화 시켜 원자 확산에 따른 소결체의 치밀화를 충족시키는 최적 조건임을 예상할 수 있었다. [5, 9]

3.2 소결조건에 따른 전극 부풀림 영향

소결 조건에 따라 크게 발생되는 전극 부풀림 현상을 알아 보기 위해 소결 조건별로 Micro scope를 이용하여 분석하였다.

전극 부풀림 발생은 소결시 전극 표면층의 용융 및 기화가 일어남으로 인해 입자 표면사이의 목(neck) 형성이 원활히 이루어지게 된다. 이는 전극 부풀림 발생이 없어 micro 입자 단위로 소결의 최

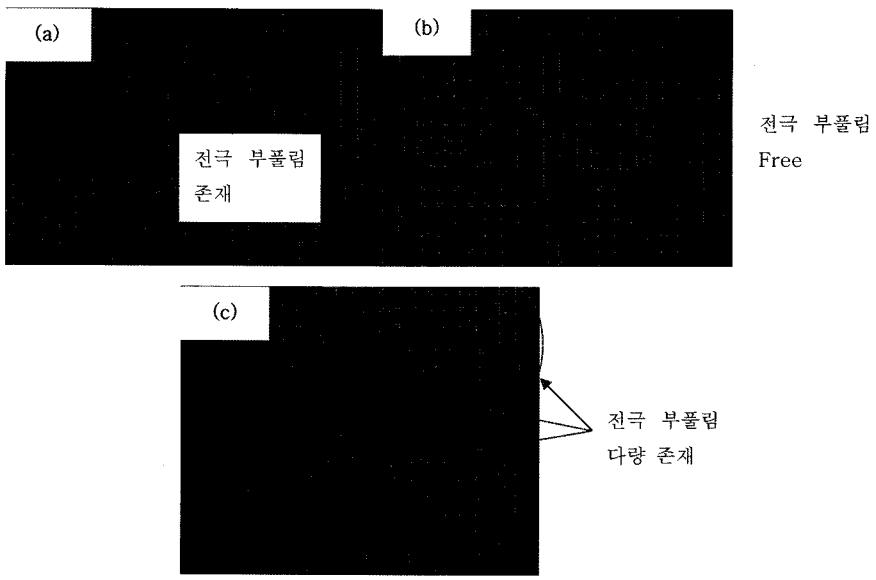

Fig. 4. The micro scope image with relation to ramping temperature at constant 750°C, 10min for effect of electrode surface blister (a) 20°C/min, (b) 50°C/min (c) 100°C/min

적화가 이루어 지게 된다. 만약 목(neck) 형성 부위에 전류와 발열의 집중으로 인하여 국부적으로 입자 사이의 전계 집중화가 발생함으로 전극 부풀림이 발생할 수 있으며 또한 이로 인하여 표면 변형이 발생 할 수 있다. 본 소결조건에 대해서는 원활한 입자 확산에 의한 치밀화 증진에 적합한 상승온도는 Fig. 4와 같이 50°C/min 조건에서 앞에서 설명한 효과의 최적 조건임을 확인 할 수 있었다.[9,11]

3.3 LTCC 기판과 Post 전극과의 고착강도 평가

IC 및 메모리, 수동 부품의 탑재에 의한 신뢰성 평가에 앞서 간이 신뢰성 평가를 위해 LTCC 기판과 Post 전극과의 고착 강도를 평가하였다. 각 소결조건별 10개 시료를 채취하여 평균 고착강도를 측정한 결과 마이크로파 소결법을 이용하여 50°C/min, 750°C, 10min 조건에서 평균 44.3 N/mm^2 값을 보이면 반면, 전기로 소결법을 이용하여 10°C/min, 850°C, 10min 조건에서는 평균 34.5 N/mm^2 값을 보여 주었다. 고착강도가 기존 전기로 소결법에 비해 약 28% 정도 향상 됨을 확인 비교 하였다.

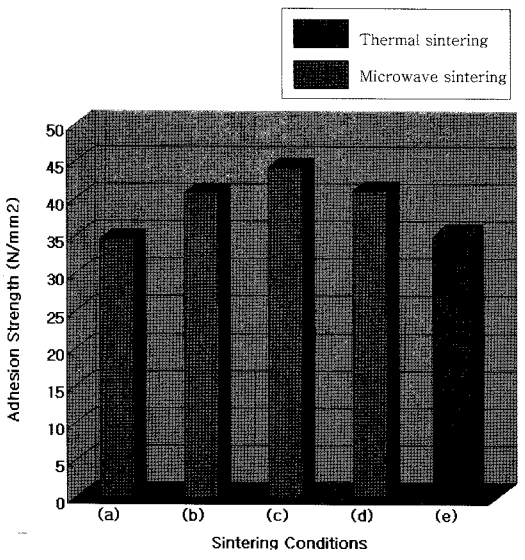

Fig. 5. The adhesion strength by shear test with relation to various sintering conditions in microwave sintering compared with thermal sintering at constant time, 10min (a) 20°C/min, 700°C (b) 20°C/min, 750°C (c) 50°C/min, 750°C (d) 100°C/min, 750°C (e) 10 °C/min, 850°C

이는 LTCC 세라믹과 동시에 Post 전극의 급격한 입자 성장에 의한 치밀화가 동시에 이루어져 표면에 도금성 향상 효과를 가져 오는 것으로 판단된다.[12]

4. 결 론

본 연구에서 RF 모듈 및 패키징에 중요한 LTCC 기판 제작에 있어서 실제 CPU, 메모리 IC, 수동부품 등의 SMT 제작에 중요한 Pad 형성용 Post 전극의 마이크로파 소결 조건에 따른 표면 구조와 고착강도를 평가하여 신뢰성에 미치는 영향을 관찰 하였다. 이미 소결된 LTCC 기판에 평균 입경 5~7 μm의 Ag 금속 입자가 포함된 금속 페이스트를 인쇄하여 마이크로파 소결 조건에 따른 표면 이미지 분석과 shear test를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 마이크로파 소결 조건의 700°C 온도 영역에서 입자 균일화와 치밀화가 이루어져 소결 밀도를 증대하는 효과를 보여 주고 있으며, 이는 전기로 소결시 필요한 850°C 온도영역보다 저온에서 치밀화를 보여 줌으로서 공정 시간을 단축 시킬 수 있는 가능성을 보여 주였다.

2. 전기로 사용시 발생하는 소결후 전극 표면 부풀림 효과를 마이크로파 소결을 통해서 열전달 경로 변경, 즉 전극면 내부에서 외부로 이동 발생하는 효과를 통하여 전극 부풀림 현상을 제거할 수 있었다. 이는 단시간의 고에너지 이동에 따른 입자 치밀화와 냉각이 쉽게 이루어짐으로서 치밀화 지연에 따른 전극 부풀림 현상을 개선할 수 있었다. 이에 따른 최적 조건은 상승속도 50℃/min, 소결 온도 750°C, 유지시간 10min 이다.

3. LTCC 기판에 형성된 Pad와 SMT된 IC, 수동부품과의 밀착력을 평가하기 위하여 Ball shear test를 통하여 고착강도를 평가하였다. 기존 전기로를 사용시 평균 34.5 N/mm^2 값을 보인 반면 마이크로파 소결시 44.3 N/mm^2 로 증가 함으로서 약 30% 고착강도 향상 효과를 보여 주고 있다. 이는 앞에서 평가된 금속 입자 치밀화와 동시에 전극 부풀림 현상이 없이 Flat한 전극표면 특성 유지를 통하여 실제 SMT 된 부품과의 밀착력 증가로 고신뢰성에 영향을 줄 것으로 판단된다.

참고문헌

1. D. H. Kim, S. R. Oh, C. H. Kim, "Densification and grain growth of alumina heated by microwave", J. of the Korean Ceramic Soc., Vol. 29, No. 4, 305-311 (1992)
2. X. Kuang, G. Carotuneto, and L. Nicolais, "A review of ceramic sintering suggestions on reducing sintering temperatures", Advanced performance Mater., 4, 257-274 (1997)
3. T. Rabe, and Wolfgang A. Schiller, "Zero shrinkage of LTCC by self-constrained sintering", Int. J. Appl. Ceram. Technol., 2[5] 374-382 (2005)
4. M. Yoshimura, T. Ohhi. M. Sando, K. Niihara, "Rapid rate sintering of nano-grained ZrO2 - based composites using pulse electric current sintering method", J. Mater. Science letters, 17, 1389-1391 (1988)
5. A. Kaniya, "Observation of sample sintering temperature by the plasma activated sintering furnace", J. Mater. Science letters, 17, 49-51 (1998)
6. W. C. Lee, K. S. Liu, I. N. Lin, "Nonlinear electrical properties of ZnO varistors fast fired by using millimeter wave sintering process", J. Mater. Science, 35, 4841-4847 (2000)
7. E. A. Olevsky, V. Tikare and T. Garino, "Multi-scale study of sintering: A review", J. Am. Ceram. Soc., 89 [16], 1914-1922 (2006)
8. K. Y. Lee, E. D. Case, "Microwave sintering of alumina matrix zirconia composites using a single-mode microwave cavity", J. Mater. Science letters, 18, 201-203 (1999)
9. Y. Fang, M. T. Lanagan, D. K. Agrawal, G. Y. Yang, C. A. Randall, T. R. Shrout, A. Henderson, M. Randall, A. Tajuddin, "An investigation demonstrating the feasibility of microwave sintering of base-metal-electrode multilayer capacitors", J. Electroceramics, 15, 13-19 (2005)
10. A. Bellosi, F. Monteverde, and D. Sciti, "Fast densification of ultra-high-temperature ceramics by spark plasma sintering", Int. J. Appl. Ceram. Technol., 3[1] 32-40 (2006)
11. J. Cheng, D. Agrawal, Y. Zhang, R. Roy, "Development of translucent alumina nitride using microwave sintering process", J. Electroceramics, 9, 67-71 (2002)
12. M. Hagymasi, A. Roosen, R. Karmazin, O. Dernovsek, W. Haas, "Constrained sintering of dielectric and ferrite LTCC tape composites", J. Europ. Ceram. Soc. 25, 2061-2064 (2005)