

LTCC 기판의 일 방향 소결

선용빈^{a,*} · 안주환^b · 김석범^b

^a경기대학교 산업정보대학원, ^b경기대학교 재료공학과

Unidirectional Sintering in LTCC Substrate

Yong-Bin Sun^{a,*}, Ju-Hwan Ahn^b, Seuk-Buom Kim^b

^aGraduate School of Industrial and Information Technology,
Kyonggi University, Kyonggi-do 443-760, Korea

^bDept. of Materials Science and Engineering, Kyonggi University,
Kyonggi-do 443-760, Korea

초 록: 이동 통신 기기의 광대역화에 따라 기존의 인쇄 회로 기판에 비해 양호한 전기적 특성과 수동형 부품을 내장할 수 있는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)에 대한 많은 연구 개발이 진행되고 있으나 불 균일한 수축으로 인해 적용에 한계를 보여 왔다. 본 연구에서는 짧은 시간 내에 온도를 균일하게 올릴 수 있는 혼합 가열 방식을 개발하여 하부에서부터 시편의 얇은 층이 순차적으로 소결되도록 하는 일 방향 소결의 조건을 제공하여 시편 상부 표면의 배선 형상이 종래의 전기로 가열보다 안정적으로 형성되는 결과를 얻었다. 기판의 소결 특성, 배선의 전기적 특성, 그리고 배선의 기계적 특성 등을 비교한 결과, 기판의 소형화와 배선의 고밀도화에 전기로 가열 보다 혼합 가열이 적용 가능성이 높음을 알 수 있었다.

Abstract: As mobile communication devices use wide bands for large data transmission, Low Temperature Co-fired Ceramic(LTCC) has been a candidate for module substrate, for it provides better electrical properties and enables various embedded passive devices compared to conventional PCB. The LTCC, however, has applied in limited area because of non-uniform shrinkage. Hybrid heating was developed to raise sample temperature uniformly in a short period of time. This leads to unidirectional sintering which enables sample to be sintered layer by layer from the bottom, resulting in more stable shape of interconnection at the top surface of the sample than conventional electric furnace heating. When sintering properties of substrate and electrical/mechanical properties of interconnection were compared, hybrid heating showed possibility to be applicable to substrate miniaturization and interconnection densification superior to electric furnace heating.

Keywords: LTCC, Hybrid heating, unidirectional sintering, Ag line dielectirc heating

1. 서 론

기판 재료로 사용되는 고온 동시 소성 세라믹은 배선 물질로 고용점의 Mo, W 등을 사용하는데, 높은 비저항으로 인하여 미세 배선이 요구되는 기판

기술에서는 한계가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 전기 전도도가 우수한 Ag 계열의 배선 재료를 사용할 수 있도록 저온 동시 소성 세라믹(LTCC:Low Temperature Co-fired Ceramic) 개발에 많은 연구가 이루어져 왔지만 내부 전극으로 사용

*Corresponding author
E-mail: ybsun@kyonggi.ac.kr

되는 금속의 확산 및 이동(migration)을 최소화하기 위해서는 소결 온도의 범위를 850°C 이하로 낮추어야 하므로 균일한 소결 특성이 반복적으로 얻어지는 데에 어려움이 있었다.

따라서 짧은 시간 내에 온도를 균일하게 올릴 수 있는 방식으로 마이크로파에 의한 가열 방법을 검토하였다.

전도성 또는 자성 세라믹은 상온에서 마이크로파에 의한 유전 가열이 되는 반면, 절연성 세라믹은 상온에서 마이크로파를 투과시키는 것으로 알려져 있다. 그러나, 절연성 세라믹도 임계 온도 이상에서는 마이크로파를 효과적으로 흡수하는데, 이를 자체 발열이라고 한다.¹⁾

그러나 재료의 치수에 따라 마이크로파의 흡수되는 정도가 달라 재료의 열적 평형 상태를 확보하기가 어려워²⁾ 가열판(susceptor) 가열로 재료 내에 온도 구배를 형성하고 임계 온도에 도달하면 자체 유전 가열이 활동하는 혼합 가열 방식을 도입하여 일방향 소결을 유도하였다.

실험 결과는 소결 후 밀도, Ag 패턴의 형상, 전기적 특성, 그리고 배선의 점착력 및 이음성(bondability)에 대하여 혼합 가열과 전기로 가열을 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 LTCC 기판의 제작

실험에 사용된 LTCC 재료는 Dupont 951로 적층 조건 100kgf/cm², 60°C, 5분으로 22층을 적층한 표면에 Ag 페이스트를 스크린 인쇄하여 패턴을 형성하였다. Fig. 1에 보인 것처럼 형성된 패턴은



Fig. 1. LTCC substrate.

QFP(Quad Flat Package)와 BGA(Ball Grid Array) 패키지를 탑재하여 데이지 체인(daisy chain)을 형성할 수 있도록 2 종류로 설계하였고, 패드의 크기-중심 간격은 100 μm-160 μm, 150 μm-240 μm의 두 짝으로 구성하였으며, 선 폭은 80 μm로 통일하였고, 제작된 LTCC 기판의 크기는 21.5*21.5*1.4 mm³이었다.

2.2 LTCC 기판의 소결

전기로 가열은 기판을 첨가제의 연소 없이 분당 0.6°C로 승온하여 850°C에서 10분간 유지한 후에 8시간 동안 노냉 하였다. 혼합 가열은 분당 22°C로 승온하여 850°C에서 10분간 유지한 후에 3시간 동안 노냉 하였다. 온도 측정은 AWS#18 K-형 열전대를 사용하여 시편 위 5 mm 높이에서 분위기 온도를 측정하였다. 혼합 가열의 경우 시편의 첨가제 연소를 전기로에서 분당 2°C로 승온하여 330°C에서 2시간 동안 유지하였다. Table 1에 각 가열 조건을 정리하였다.

사용된 마이크로파 가열 장치(MR-M274)는 주파수가 2.45GHz, 최대 출력이 700W로, 가열 장치 안을 내화 벽돌과 세라믹 섬유재(Kaowool)로 단열하고 중심부에 컵 형상의 가열판을 위치시키고 가열판 컵 바닥에 시편을 위치시켰다. 가열판 컵은 외경 6.5 cm, 높이 3.5 cm, 두께 1.0 cm로 Al₂O₃-SiC 혼합물이다.

2.3 특성 측정

시편의 수축율은 디지털 마이크로미터로 측정하였고, 밀도는 건조 무게, 포수 무게, 그리고 현수 무게를 측정하여 겉보기 밀도를 계산하였다. X-선 회절 분석기(D/Max3C)로 유리질의 결정화를 검토하였고, 시편의 미세 구조를 FE-SEM(JSM-6300)으로 관찰하였다.

Table 1. Heating condition

Heating method	Electric heating	Hybrid heating
Heating rate	850°C/24 hr	850°C/38 min
Burn out	No burn out	330°C/2hr (electric heating)
Sintering	850°C/10 min	850°C/10 min
Cooling	8 hr	3 hr

유전 상수는 임피던스 게인/페이즈 분석기(HP 4914A)로 100MHz와 1GHz에서 측정하였다. 배선의 전기 저항은 HP 4912A로 200 μm 거리에서 측정하였다.

배선의 상부 표면의 상태와 기판의 점착 강도를 측정하기 위하여 스테드 범핑(stud bumping) 기기(K&S 4500-Digital)를 사용하여 패드에 Au 스테드 범프를 형성하여 PTR-1000으로 전단 강도를 측정하고, 그 파단면을 SEM으로 관찰하였다. 전단 강도 측정 조건은 Ag 패드 표면 20 μm 높이에서 5 Kgf, 0.02 mm/s 이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LTCC 기판 특성의 비교

Table 2는 가열 조건에 따른 LTCC 기판의 소결 후 수축률과 밀도를 나타낸 것으로써, 전기로 가열과 비교하여 혼합 가열은 적층 두께 방향인 Z-방향으로 2% 정도 큰 수축률과 0.1 g/cm³ 정도 큰 소결 밀도를 보이고 있어 좀더 치밀화 되었음을 알 수 있었다.

치밀화의 차이가 결정화에 의한 것인가를 검토

하기 위하여 XRD 패턴을 비교한 결과 Fig. 2와 같이 충전제인 α-Al₂O₃ 와 유리질이 일부 결정화된 SiO₂ 계열의 동일한 정점(peak) 들을 보였다.

이러한 치밀화의 차이가 발생한 것은 Fig. 3에서 보인 기지(matrix)의 표면 형상과 연관 지을 수 있는데, 전기로 가열은 분위기 가열에 의해 온도 구배가 밖에서 안으로 형성되는 일체적인 가열 방식으로 외부에서 먼저 형성된 유리질이 내부의 공극을 채우면서 소결이 진행되기 때문에 유리질이 내부로 침투해 들어가 알루미늄이 입자가 표출되는 기지 표면을 보이는 것이다.(Fig. 3-a) 반면에 혼합 가열은 가열판 가열로 시편 내에 온도 구배를 형성하고 임계 온도에 도달하면 자체 유전 가열이 활동하는 일방향 소결의 조건이 형성되어 알루미늄 입자가 유리질에 의한 젖음 현상으로 비교적 치밀하게 아래에서부터 공간을 채우게 되므로 유리질이 상부 표면으로 나오게 되어 매끈한 기지 표면을 보이는 것이다.(Fig. 3-b)

또한 치밀화의 차이에 따른 유전율을 측정한 결과 유의차가 없어 가열 방법에 따른 전기적인 특성이 변하지 않았음을 알 수 있었다.

Table 2. Shrinkage and density

Heating method	Electric heating	Hybrid heating
Average shrinkage(%)	X 15.5±0.5 Y 15.5±0.5 Z 14.5±0.5	15.6±0.5 15.6±0.5 16.5±0.5
Density(g/cm ³)	3.05~3.15	3.15~3.25

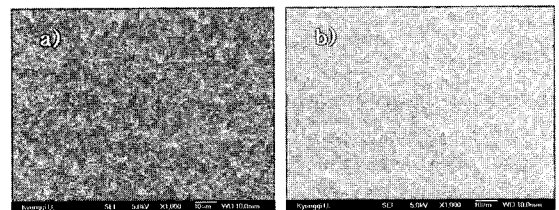


Fig. 3. Surface of LTCC matrix: a) Electric heating b) Hybrid heating.

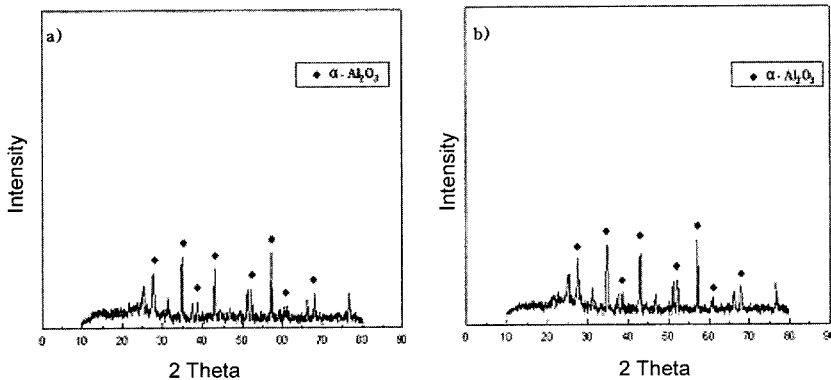
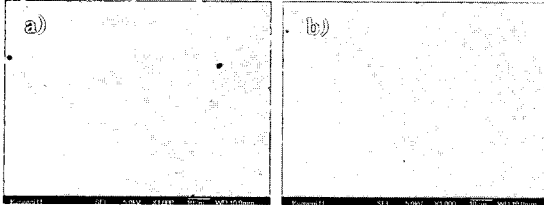


Fig. 2. XRD patterns: (a) Electric heating (b) Hybrid heating.

Table 3. Dielectric constants with frequency

Measuring frequency	100 MHz	1GHz
Electric heating	6.92	6.94
Hybrid heating	6.89	6.94

**Fig. 4.** Grain size on Ag line surface: a) Electric heating b) Hybrid heating.

3.2 배선 형상의 변화

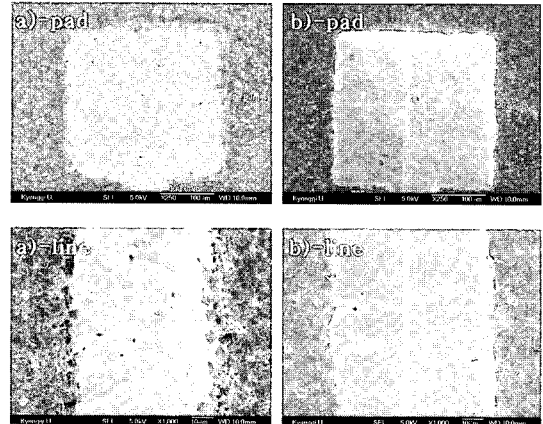
SEM으로 관찰된 Ag 패드와 선 표면의 형상은 전기로 가열의 경우와 비교하여 혼합 가열의 경우가 조대한 입자 크기를 갖는 것을 알 수 있었다. (Fig. 4a-b) 이는 매저 링(measure ring) 측정 결과 전기로 가열은 850°C로 환산이 되어 분위기 측정 값과 같았으나 혼합 가열은 865°C로 환산이 되어 분위기 온도보다 시편의 실질 온도가 높은 것으로 나타나 자체 유도 가열로 인한 온도 급상승(thermal shooting) 현상이 일어난 것을 알 수 있었다.

또한, 혼합 가열의 경우에 Ag 패드와 선의 경계가 보다 명확함을 알 수 있었다.(Fig. 5) 이는 앞서 언급한 혼합 가열이 가열판 가열로 재료 내에 온도 구배를 형성하고 임계 온도에 도달하면 자체 유전 가열로 온도 급상승 현상이 일어나 시편의 가열판 측에서부터 순차적으로 소결되는 일방향 소결 조건이 형성되어 마지막으로 소결이 진행되는 LTCC 상부 표면에 형성된 배선은 안정된 형상을 갖게 되는 것으로 사료된다.

이러한 배선의 형상 차이는 전기 저항값을 측정하여 비교한 결과 예상한 대로 조대한 입자 크기와 명확한 경계의 영향으로 전기로 가열은 90-110 mΩ 범위의 값을 나타냈고, 혼합 가열은 60-80 mΩ 범위의 값을 나타냈다.

3.3 배선의 기계적 특성

배선의 LTCC 기판에 대한 점착성 및 배선 상부

**Fig. 5.** Line clarity on Ag pad & line boundary: a) Electric heating b) Hybrid heating.

에 유리질의 존재 여부를 보기 위하여 pad에 Au 스테드 범프를 형성하여 전단 강도를 측정된 결과 70-80gf의 값을 보여 금 세선의 점착성(adhesiveness) 및 이음성을 확보할 수 있었다.

4. 결 론

혼합 가열의 일방향 소결은 전기로 가열과 같이 LTCC 기판 제작에 적용할 수 있으며, 전기로 가열보다 높은 온도에서도 안정적인 배선의 형상을 얻을 수 있어 전기적인 특성이 우수하며, 배선에 대한 점착력과 금 세선의 이음성(Au wire bonderability) 확보로 부품 실장에도 문제가 없을 것이다.

배선의 균일한 치수 확보는 형상의 재현성과 전기적인 모사실험(simulation)의 정확도를 높게 되는 것으로 지금까지 문제가 되어왔던 기판 수축에 따른 LTCC 적용의 한계를 극복할 수 있어 고밀도의 회로 구현 등 보다 넓은 적용 범위를 찾을 수 있게 될 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어 연구 개발 사업의 일환인 '차세대 소재 성형 기술 개발 사업단'의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. D.E. Clark, W.R. Tinga, and J.R. Laia, Jr., "Micro-waves: Theory and Application in Materials Processing," Ceramic Transactions, 36 pp. 29-43 (1993).
2. H.D. Kimrey and M.A. Janney, "Design Principles for High Frequency Microwave Ceramics," MRS Symposium Proceedings, 124 pp. 367-372 (1988).