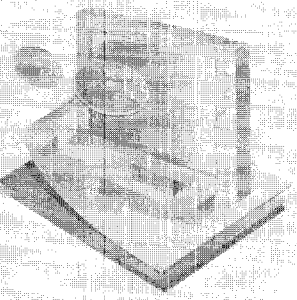


# 차세대 세라믹 패키징 재료 개발 동향



여동훈 책임연구원, 신효순 선임연구원, 홍연우 선임연구원 (한국세라믹기술원 바이오IT융합센터)

## 1. 서론

정보통신기술의 발전에 따라 시스템의 다기능화 고기능화 소형화에 대한 요구에 부응하기 위하여 단품 위주의 부품단위에서 다양한 기능들이 융복합화 되는 추세로 발전하고 있다.

부품들을 반도체 기술에 의하여 One Chip화하여 실장면적을 줄이고 고속 동작이 가능하며 소비전력도 억제할 수 있을 것으로 여겨졌으나, 반도체 기술을 이용하여 Active칩이 차지하는 실장면적은 현저히 줄일 수 있지만, 시스템 보드의 60% 이상을 차지하는 수동부품들을 반도체칩 내 내재화하는 것에 대한 충분한 해결책을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 하나의 패키지 안에 원하는 마이크로프로세스 등 능동부품과 여러 개의 수동부품들을 3차원적으로 패키징할 수 있는 실장기술들에 대한 필요성이 증대되고 있다.

수동부품들이 소형화되면서 모듈화가 급속히 진행되고 있으며 집적도가 점점 높아지는 경향이 정보통신분야 부품의 중요한 트렌드 중 하나이다. 패키징 기술에서도 두께를 줄이고 성능을 향상시키기 위해 많은 부품들을 고밀도 실장할 수 있는 내부실장(Embedded)의 중요성이 높아지고 있어 현재는 부품들의 내부실장 기술을 포함하여 패키징 기술이라 한다. 이러한 추세에 따라 모듈과 패키징 기술 간의 구분이 모호해지고 있다.

수동소자 (R, L, C)와 개별부품들을 하나의 기판

내에 내장화하여 고밀도 실장할 수 있는 유용한 기술이 LTCC (Low Temperature Cofire Ceramic)이다. LTCC 기술은 반도체에 비해 공정이 간단하며 고적층 및 Multi-level Cavities 형성이 가능하고 모듈 내부에 수동소자들을 3차원적으로 집적화 하는 것이 용이하여 [1], 현재는 LTCC가 Embedded의 유일한 대안이 되고 있다. 특히 습기, 열, 기계적 충격 등에 강하여 고신뢰성을 확보할 수 있어 각종 장치들의 고내열성 및 고신뢰성이 요구되는 분야에서 PCB를 세라믹으로 대체하기 위한 시도들이 이루어지고 있다. 반면에 고온(900°C)에서 열처리하는 과정에서 발생하는 수축률은 단점이라 할 수 있다. 최근 들어 내장소자의 고집적화 기술, 고밀도 실장 대응 기술 개발의 중요성이 부각되면서 LTCC 기술의 장점은 부각시키고 단점을 해결하기 위한 재료기술과 공정 기술 개발이 필요하다.

본고에서는 이러한 추세에 따라 차세대 패키징에 유용한 기술인 LTCC 소재 및 공정기술에 관해 살펴보고자 한다.

## 2. LTCC 재료 기술 개발 동향

### 2.1 LTCC 유전체 재료

LTCC 소재는 저유전율을 갖는 글라스와 필러를 섞어서 사용하는 글라스/세라믹 Composite 소재들이 많이 실용화되어 사용되고 있다. 가장 널리 사용되는 것은 보로실리케이트계 유리에 알루미늄 등이



표 1. 선진사 LTCC 소재 특성 비교.

	조성	소결온도 (°C)	열팽창율 ( $\times 10^{-6}/K$ )	유전율	곡강도 (MPa)	제조사
결정화 Glass	Cordierite계 ZnO-MgO-SiO <sub>2</sub>	900-1000	2.2~3.5	4.9~5.6	170	NTK
	Cordierite계	850-1000	2.4~5.5	5.3~5.7		IBM
Glass + Filler Composite	SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 계+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1000	4.0	5.6	240	후지통상
	PbO-SiO <sub>2</sub> -CaO계+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	900	4.2	7.5	300	NEC
	CaO-Al <sub>2</sub> O-SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 계+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	880	5.5	7.7	200	佳金 ceramics
	MgO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 계+SiO <sub>2</sub>	850-900	3~7.9	4.2-5	150	Hitachi
	Glass+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CaZrO <sub>3</sub>	850	7.9	8.0	210	Dupont
	Cordierite계+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	850-900	7.0	7.8	250	일본시멘트
	SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 계+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 2MgO-B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	850-900	6.0	6.5	200	旭硝子
비 Glass	BaSn(BO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	960-980	8.5	8.5	170	도시바
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaO-SiO <sub>2</sub> -MgO-B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	950	8.7	6.7	250	태양유전
	BaO-SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaO-B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 계	950-1000	8.0	6.1	200	Murata
	SiO-SiO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	900	6.0	8.1	300	Hitachi metals

표 2. 현재 상용화되어 시판되고 있는 대표적인 LTCC 소재.

제조사	Ferro	NEG	NEG	NEG	DuPont
모델명	A6	MLS-1000	MLS-41	MLS-22	9599
Dielectric Constant	5.9	7.8	17	7.6	7.8
품질특성 (Q)	500	500	400	200	400
Bending Strength (MPa)	-	274	250	280	270
Thermal Expansion ( $\times 10^{-7}/K$ )	-	60.5	79	54	60
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.8	3.39	4.35	3.12	2.45
Particle Size D <sub>50</sub> (μm)	-	1.8	2.2	2.4	2.0

필러로 적용된 조성으로 일본이 가장 앞선 기술력을 보유하고 있으며 소재에서 집적화 모듈까지 일괄연구체제를 갖춘 기업들이 세계 시장을 주도하고 있다. 대표적인 기업으로는 Murata, Hitachi-Metal, NGK, Kycera 등이 있으며, 대표적인 소재 전문기업으로는 NEG, AGC, Yamamura 등이 있고 이들이 세계 LTCC 업체들에 원천소재를 공급하고 있다. 표 1은 해외선진기업들에서 개발되어 적용되고 있는 LTCC 소재 종류 및 특성을 나타내었다. 표 2는 상용화되어 시판되고 있는 대표적인 LTCC 소재들을 나타내었다. 미국 Ferro社의 A6가 대표적인 저손실 소

재이며 NEG社의 MLS-1000은 강도값이 280 Mpa 이상을 나타내고 있어 고강도 소재로 국내업체들이 주로 적용하고 있다. 그리고 NEG社의 MLS-41은 유전율이 높은 소재로 필터, Embedded Cap.용 소재로 적용이 가능하고, Dupont社의 9599는 세계적으로 널리 사용되어온 상용소재이나 Pb가 함유되어 있어 최근 들어 Non-Pb계로 대체되고 있어 생산량이 줄어들고 있다.

모듈이나 패키징의 고집적화가 급격히 진행됨에 따라 세라믹 패키지 내에 회로 집적도는 높아지면서 두께는 얇아지는 추세이고 이에 따른 층간의

Interconnection 숫자가 급격히 증가하고 있어 고강도 소재에 대한 수요가 증대되고 있다. LTCC에 사용되는 유리는 결정화하지 않는 유리 (비결정성 유리)와 결정화하는 유리 (결정성 유리)로 나뉜다. 결정화하지 않는 유리를 사용할 경우 패키지 소재의 강도는 유리의 강도에 전적으로 의존하기 때문에 강도를 높이는데 한계가 있다. 결정성 유리는 알루미늄이나 실리카를 기반으로 하는 화합물로 강도와 화학적 내구성이 우수한 것으로 판단되며 많은 연구가 진행되었다. 대표적인 결정상은 Anorthite계 [5], Diopside계 [6], Cordierite계 [7,8]가 있으며 고강도이면서 내화학성이 뛰어난 유리로 알려져 있다.

Anorthite는 Ca-Al-Si-O계 조성으로써 일본의 NEG社가 일찍부터 연구를 진행하여 사업화가 이루어졌다. 이 소재는 Boron의 함량이 적은 조성이며 결정상의 제어를 위한 다양한 첨가제를 제어하는 것이 조성기술의 핵심이다. 이와 같은 상용 제품이 고강도에 대한 시장 요구와 결합하여 급격히 국내외 소재 시장을 흡수하였다. 국내에서도 위의 대표적인 결정계에 대한 문헌 조사를 바탕으로 각 결정상에 대한 고강도 조성 개발을 진행한 바 있으며 그 결과 시제품 단위 또는 초기 적용단계에 도달한 중소기업이 있다.

NEG社가 판매하고 있는 재료인 MLS-22의 경우 표2와 같이 제시되었으나 실제 샘플 측정 결과 3점 곡강도 측정에서 350 MPa 정도의 강도값을 나타내며 유전율 8.2, 품질계수 500 정도의 전기적 특성을 가진다. 그러나 결정화 유리의 특징인 소결온도 영역에서 결정의 생성 반응이 동반되므로 소결 진행온도 구간이 짧아서 소결성의 제어가 까다로운 것으로 알려져 있다. 국내 중소기업인 (주)씨모텍과 SCC (주)에서도 NEG社와 비슷한 Anorthite계 원료 조성을 각각 개발하여 비슷한 수준의 강도와 유전특성을 확보하였으며 이들 소재들 역시 소결온도에서 소결 거동이 약간의 차이를 보이고 있다.

수동소자들을 기판 내부로 내장화하기 위해서는 소자들 간에 Cross Talk과 같은 불필요한 공진이 발생하여 특성을 저해하는 경우가 있기 때문에 기존에는 유전율이 7~8 정도 재료가 대부분이었으나 최근에는 이보다 낮은 값의 유전율을 갖는 소재들의 필

요성이 증대되고 있다.

최근 60 GHz 주파수 대역이 넓은 대역폭으로 주파수를 할당하는 것이 가능하고, 고속 대용량의 정보 전송이 가능하다. 또한 파장이 5 mm 정도로 짧아 원거리 전송이 불가능하여 간섭이 발생하기 어렵고 근거리 통신용으로 활용이 용이하다. 홈 멀티미디어의 무선인프라 등과 같이 초고속 무선데이터전송용, 자동차 충돌 방지용 레이더 등으로 응용을 위한 기술 개발이 이루어지고 있다. 이러한 밀리미터파 초고주파대역에서는 손실 특성이 중요하므로 LTCC 소재 적용이 필수적이므로 이에 대한 소재개발이 필요한 실정이다. 지금까지는 주로 1~2 GHz 정도 고주파 영역에서 소재 적용이 이루어져 왔으며, 60 GHz 대역에 적용 가능한 초저손실 소재 개발과 관련된 연구결과나 보고된 소재개발 내용은 아직 전무하므로 이에 대한 대처가 필요한 실정이다. ETRI에서 해외 선진사 LTCC 재료를 수입하여 40 GHz 송수신모듈을 구현한 바 있으나 도금이 불가능하여 전극으로 Au를 사용하여 인쇄공정에서 가격이 수백만원대에 이르는 문제점이 발견되었고 강도 특성이 또한 취약하여 공정에서 불량이나 다수 발생하는 문제점이 발견되었다.

시스템 패키징은 작은 부피 내에 시스템의 기능들을 얼마나 집적할 수 있는지가 중요한 요소이므로 Chip 및 기판 내에 형성된 스트립라인 공진기, 인덕터, 커패시터 등의 내장소자의 소형화와 특성향상이 필요하므로 각각의 소자들을 내장하기 위해 요구되는 재료 물성은 다르다. 고기능의 소자들을 효율적으로 집적하기 위해서는 그림 1과 같이 유전율이 서로 다른 재료의 동시소성기술이 중요하다.

이러한 이종재료 접합을 위해서는

- ① 소성수축율이 적합할 것
- ② 열팽창계수가 비슷할 것
- ③ 소성시 조성 간에 상호확산 작용이 적을 것과 같은 특성이 필요하다.

이종재료 간의 열팽창계수의 차이가 크면 이종재료 간에 Crack 등이 발생할 수 있다. 상호확산 작용이 전혀 일어나지 않게 하는 것은 매우 어렵지만 확

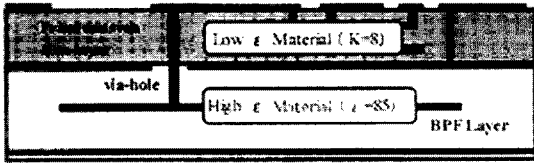


그림 1. 이중재료의 동시소성 개념도.

산이 가능한 적으면서 확산하여도 영향이 적은 조성을 선택해야 하는데 이를 위해 글라스 조성을 적용하는 경우가 많으며 가능하면 구조성이 같은 재료를 사용하는 경우에 위의 세 가지 특성을 만족하기가 용이하다.

## 2.2 전극재료

LTCC는 유전체와 더불어서 전극과 동시소성이 이루어지며 LTCC 전체의 손실은 그림 2에서와 같이 유전체에 의한 손실과 전극에 의한 손실로 구분할 수 있다. 이중에서 도체에 의한 손실 저하가 상당한 비율을 차지하며 주파수 대역이 높아질수록 그 값은 증가한다. 유전체 재료의 Q값은 높을수록 좋고 도체재료는 유전손실이 적은 Ag, Cu 등을 사용한다.

고주파영역에서 도체손실을 저감하기 위해서는 도체저항을 낮출 필요가 있다. 고주파에서는 도체

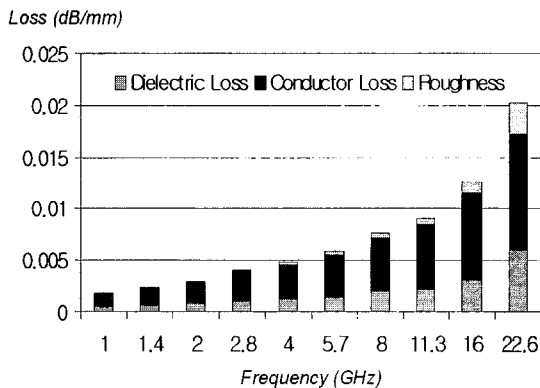


그림 2. 주파수 대역에 따른 LTCC Loss.

내부의 인덕턴스가 증가하기 때문에 도체층의 표면에만 전류가 흐른다. 이 전류가 흐르는 부분의 두께는 표피두께 (Skin Depth)라고 한다. 그림 3은 각종 도체 종류에 따른 주파수와 표피두께와의 관계를 나타내고 있다. 표피두께는 아래식과 같은 관계가 있고 자성을 가지지 않는 재료의 경우 고체저항이 작고 주파수가 높아짐에 따라 표피두께는 얇아지는 경우가 있다.

$$\delta_m = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_r \mu_0 f}}$$

$\rho$ : 도체의 저항 ( $\times 10^{-8} \text{cm}$ )

$\mu_0$ : 자유공간의 투자율 ( $4\pi \times 10^7 \text{H/m}$ )

$\mu_r$ : 투자율(비자성체의 경우는 1)

f: 주파수

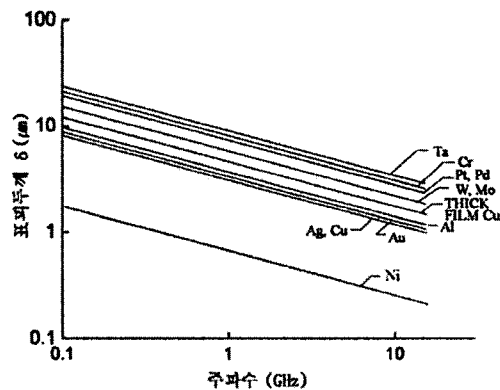


그림 3. 각종 도체종류에 따른 주파수와 표피두께의 관계.

LTCC 도체는 후막법으로 제작되고 있기 때문에 도체내부에는 공극 등의 결함이 형성되기 쉽다. 또한 도체 페이스트 중에 집착강도 촉진을 위해 첨가된 무기재료 성분의 영향으로 측정 저항치는 재료 물성치에 비해 크게 된다. 후막법으로는 도체의 표면 거칠기가 비교적 크기 때문에 도체의 길이가 길게 될수록 불필요한 전계집중이 발생하는 곳이 증가하고 전송손실이 크게 된다. 이 때문에 도체 재료에

표 3. 페이스트에 요구되는 품질.

LTCC 공정	페이스트에 요구되는 품질	문제발생에 대한 대책
인쇄	인쇄 후에 그린시트가 신축 혹은 변형하지 않을 것	수지 용제 선택
	페이스트 점도변화가 없을 것	용제 분산재 선택
	인쇄 눈막힘이 없을 것	금속분말조립 (粗粒) 제거
	인쇄두께 요구	페이스트 속의 금속분말량, 입도분포조정
	인쇄패턴의 단면형상	수지, 분산재 금속분말조정
소성	인쇄패턴의 파인화	금속분말 수지 분산재
	기판휨	금속분립도 분포조정 수지량
	기판 갈라짐	수지량, 분해성 금속분말량
	적층면의 벗겨짐	수지량, 분해성
기판	비아홀의 보이드	금속분말량 입도분포 분말형상 첨가제
	전기저항	금속분말 형상/량

내재된 결함을 매우 작게 하고 도체 자체의 저항을 작게 하는 것이 손실 저감에는 중요한 요소이므로 전극 재료 선정 및 페이스트 제조 공정 확립이 중요하다.

LTCC와 Ag 전극간의 문제는 화학적 Compatibility 문제, Inter-diffusion 문제, 소결성의 차이로 발생하는 문제 등으로 구분할 수 있다. 내부전극은 유전체 조성상 산화환원이나 박리 등의 문제가 없어야 하며, 통상 12~17% 정도 수축되는 유전체 층과의 동시 소성 과정에서 기계적인 문제가 없어야 한다. 따라서 LTCC 재료와 전극간의 화학적 매칭을 고려하는 것이 필요하다. 특히 집적도가 높아지는 추세이므로 그린시트 층간을 연결하는 비아홀의 사이즈가 작아지면서 갯수가 증가하고 있어 비아홀을 전극으로 충전하는 과정에서 많은 불량 발생하고 있어 이 부분에 대한 기술력 확보가 필요하다. LTCC 페이스트에 요구되는 품질 및 품질달성을 위한 조건을 표 3에 정리했다.

스크린 프린팅 방식으로 구현 가능한 Line/Space는 현재 80/80  $\mu\text{m}$  정도 수준이지만 향후에는 스크린 프린팅 기술의 고도화를 통해 Line/Space를 40/40  $\mu\text{m}$  정도로 개선할 필요가 있다. 그러므로 이를 뒷받침할 수 있는 재료의 개선이 요구된다. 전극 입자의 분산성 향상 및 페이스트 내에 포함된 다양한 유기 첨가제의 최적화와 개선 등이 필요할 것이다.

### 3. LTCC 공정기술 개발 동향

LTCC 기술은 소자와 회로가 인쇄된 세라믹 그린시트들을 적층하고 비아 홀과 측면 Interconnection을 구성하여 회로를 3차원적으로 연결한 후 이를 1000  $^{\circ}\text{C}$  이하의 온도에서 동시소성하여 다층회로 구조를 얻는 공정기술이라 할 수 있다. 그림 4에서 LTCC 공정기술의 변화 추이를 나타내었으며, 집적도가 점점 높아짐에 따라 그린시트 두께는 점점 얇아지고, 회로인쇄를 위한 Line/Space, 비아 홀 크기는 점점 미세화되는 추세로 진전되고 있다.

LTCC 회로 구현에 있어서 그린시트 층간을 비아홀을 이용하여 연결하며 마이크로스트립 라인을 이용한 매칭과 기능성 회로를 구현하게 되므로 정밀한 소성수축을 제어가 매우 중요하다. 그러나 세라믹스 기판의 가장 큰 단점 중의 하나가 소성시 일정하게 수축률을 제어하는 것이다. 수축율의 차이는 기판의 크기가 커짐에 따라 전체 소성수축 변화량이 더 커지게 되므로 이러한 수축률 조절이 더욱 중요하게 된다. 이러한 수축률 편차 문제를 해결하고자 LTCC 다층 기판에 무수축소성법을 구현하기 위해 다양한 방법들이 시도되고 있다.

무수축 소성 기술은 소성 중에 X, Y-방향으로의 소성 수축을 억제하는 구속력을 가함으로써 수축이 Z방향으로만 일어나게 하는 방법으로 층간 패턴의

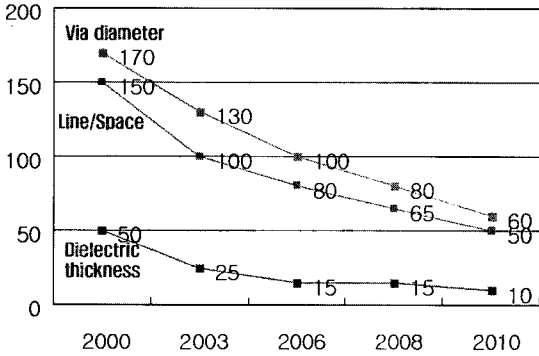
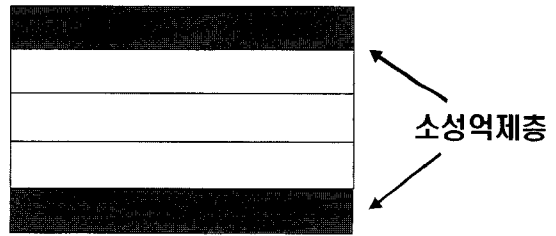


그림 4. LTCC 공정기술의 변화 추이.

$Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  등을 사용하여 900 °C에서 동시소성하는 경우 양쪽의  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ 가 소성 억제층으로 작용하여 소성이 일어나지 않고 표면의 마찰력에 의해 LTCC 층의 소성 시 X-, Y- 방향으로의 수축을 억제하는 효과를 나타내어 무수축 소성 기판을 구현할 수 있다. 그러나 이 경우에는 소성 후 소성 억제층을 제거해야 하는 번거로움이 있다. 또한 LTCC층의 두께가 두꺼울 경우에는 그림 6(b)와 같이 Edge Curvature가 발생하므로 이를 해결하기 위해 그림 7과 같이 Load를 가할 경우 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 이때 Load값이 너무 클 경우에는 시편이 Deformation되므로 적절한 Load값을 인가하는 것

Align 정밀도가 우수하고 고밀도 3차원 회로 구현이 가능하여 제품 설계시 설계 자유도가 높아진다. 또한 평탄성이 우수한 대면적의 세라믹 기판을 구현할 수 있다.

그림 5는 대표적인 무수축 소성법인 가압 무수축 소성법을 나타내고 있다. 소성이 진행되는 동안 외부에서 압력을 가해줌으로써 X-, Y- 방향으로 수축을 억제하고 Z축 방향 수축을 극대화하는 방법으로 외부에서 가압하기 위한 별도의 시설이 필요하다. 이러한 번거로움을 해결하고자 외부에서 힘을 가하지 않고 LTCC 양쪽에 LTCC보다 소성온도가 높은



(a) 구속소결 모식도

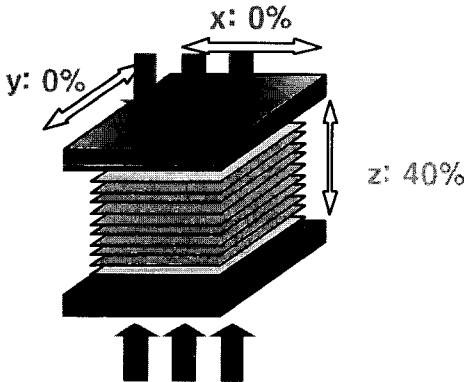
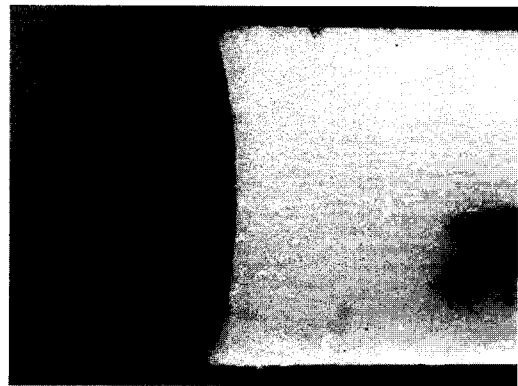


그림 5. 가압 무수축 소성.



(b) Edge Curvature

그림 6. 구속소결법 모식도 및 Edge Curvature.

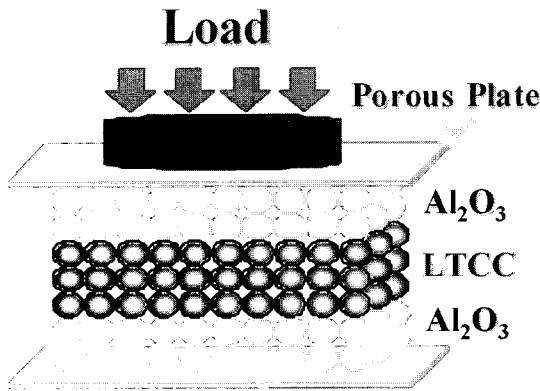


그림 7. Load를 인가한 구속소결 모식도.

이 중요하다.

Cavity 구조와 같은 공간이 있는 제품은 Cavity 있는 부분은 압력이 가해지지 않기 때문에 Cavity가 있는 경우에는 새로운 방법의 기술개발이 필요하므로 삼성전기 등 국내 기업 및 연구소에서 세라믹 재료 및 공정기술 개발을 진행하며 Self Constrain [9], Internal Constrain [10]법 등을 활용하여 다양한 시도들이 이루어지고 있어 새로운 공정기술 확보가 가능하리라 예측된다.

#### 4. 결론

정보통신 산업의 급격한 발달과 함께 다양한 기능들을 집적하여 하나의 모듈이나 패키지로 통합하는 방향으로 기술개발이 진행되고 있어 핵심부품들을 3차원으로 고집적화 하는 기술 확보가 전자산업의 경쟁력을 확보하기 위해서는 결정적인 요인이다. 향후 LTCC는 낮은 가격으로 수동부품들을 3차원으로 집적화하는 기술로써 반도체 패키징과의 융합화가 진행되리라 예측된다. 하루가 다르게 진보하고 있는 기술발전 흐름에 보다 능동적으로 대처하기 위해 회로에서부터 소재까지 다양한 분야의 협동연구와 미래를 위한 선행개발을 과감히 추진하고 집중적이고 지속적인 연구개발이 이루어져야 차세대 패키징 핵심기술의 확보가 가능할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] Takashi Yamamoto, Technologies & Applications of Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics, 2005. 172-174
- [2] D. I. Amey and J. p. Curilla, "Microwave Properties of Ceramic Materials", Proc. Electronics Components and Technology Conf., 1991, pp. 267-272
- [3] T. C. Edwards and M. B. Steer, Foundation of Interconnt and Microstrip Design, John Wiley & Sons, Ltd, 2000, pp.126-127
- [4] G. Zou, et al, "Characterization of Liquid Crystal Polymer for High Frequency System-in-a-Package Applications", IEEE Trans. Advances Packaging, vol.25, no.4, 2002, pp.503-508
- [5] K. C. Gupata, et al, "Microstrip Lines and Slotlines", Artech House, Inc., 1996. pp.107-109,
- [6] H. Yue, at al, "Dielectric Constant and Loss Tangent Measurement Using a Stripline Fixture", IEEE Trans. CPMT-Part B, vol.21, no.4, 1998,pp.441-446
- [7] B. C. Wadell, Transmission Line Design Handbook, Artech Hounse, Inc., 1991. pp.98-99
- [8] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc., 1998, pp.154-157
- [9] Frans P. Lautzenhisser, Edmar M. Amaya, J. Thomas Hochheimer, ?Methods for making and using self-constrained low temperature glass-ceramic unfired tape for microelectronics", U. S. Pat. No. 2004/0159390 A1, 2004. 8. 19
- [10] Carl Baasun Wang, Kenneth Warren Hang, "Tape Composition and process for internally constrained sintering of low temperature co-fired ceramics", U. S. Pat. No. 6776861 B2, 2004. 8. 17

저자약력



성명 : 여동훈

◆ 학력

- 1990년 성균관대 전기공학과 공학사
- 1992년 성균관대 대학원 전기공학과 공학 석사
- 1996년 성균관대 대학원 전기공학과 공학 박사

◆ 경력

- 1993년 - 1997년 한국과학기술연구원 위촉연구원
- 1998년 - 2000년 The Pennsylvania State Univ. Post-Doc.
- 2000년 - 2004년 (주)한원마이크로웨이브 연구소장
- 2004년 - 현재 한국세라믹기술원 미래융합세라믹 본부 바이오IT융합센터 책임연구원



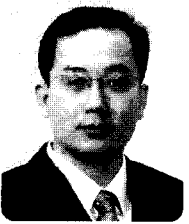
성명 : 신효순

◆ 학력

- 1991년 경북대 무기재료공학과 공학사
- 1993년 경북대 대학원 무기재료공학과 공학석사
- 1997년 경북대 대학원 무기재료공학과 공학박사

◆ 경력

- 1997년 - 1998년 New York State College of Ceramic(Alfred) Post-Doc
- 1998년 - 1999년 한국과학기술연구원 Post-Doc
- 1999년 - 2000년 경원웨어라이트공업 책임연구원
- 2000년 - 2005년 삼성전기(주) 책임연구원
- 2005년 - 현재 한국세라믹기술원 바이오IT융합센터 선임연구원



성명 : 홍연우

◆ 학력

- 1996년 경북대 무기재료공학과 공학사
- 1998년 경북대 대학원 무기재료공학과 공학석사
- 2004년 경북대 대학원 무기재료공학과 공학박사

◆ 경력

- 2005년 - 2007년 (주)아모텍 책임연구원
- 2007년 - 현재 한국세라믹기술원 바이오IT융합센터 선임연구원

