



고강도 LTCC 소재



김인태 대표이사 ((주)써모텍)



1. 서론

LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술은 이동통신의 발전으로 통신부품 및 모듈에 주로 적용되었으나 최근에는 자동차 전장부품과 디지털 카메라, 캠코더 등의 소형 전자기기 및 의료기기산업 등으로 확대되어 적용되고 있다.

LTCC 소재의 경우 모바일 기기의 경박 단소화 경향에 따라 고강도 소재에 대한 필요성이 증대되고 있다. 공정기술은 집적도의 향상에 따라 그린시트의 박층화, 패턴의 미세라인 형성기술, 수축률 제어를 위한 소성기술 등이 개발되어 적용되고 있으며 선진 기업들의 경우 생산성 확보를 위한 기판의 대면적화가 추진되고 있다. LTCC는 Ag와 Cu 전극을 사용하고 HTCC (High Temperature Co-fired Ceramic)는 W와 Mo 전극을 사용하므로 소재와 소성온도 및 소성 분위기가 서로 상이하여 그동안 산업계에서는 각 분야별 전문회사가 서로 달랐지만, 최근 들어 이러한 영역 구분이 허물어지고 아이템의 특성에 따라 다양한 전극을 적용하는 경향이 늘어나고 있다. 따라서 최근에는 LTCC와 HTCC를 하나의 단어로 후막 세라믹이라는 용어로 사용되고 있다.

급격하게 변화하는 기술의 흐름 속에 그동안 LTCC 기술이 가장 많이 적용되고 있는 고주

파 분야에서 LTCC 기술을 위협하는 요소도 있지만 자동차용, 반도체 치구용 등으로 그 적용 범위를 새롭게 확장해나가는 요인도 공존하고 있어 LTCC 기술이 나아갈 방향을 재고할 필요가 있다.

본고에서는 이러한 추세에 따라 고집적 모듈 제작에 유용한 기술인 후막 세라믹 기술을 적용한 세라믹 기판 동향 및 응용분야를 살펴보고 본사에서 개발한 고강도 LTCC 소재를 소개하고자 한다.

2. 세라믹 기판 동향

다층형 세라믹 기판은 고신뢰성을 바탕으로 자동차분야의 전장부품, 특히, ABS (Anti-Breake System)와 ECU (Engine Control Unit) 등과 LED와 카메라 모듈용 패키지, 반도체 치구용 기판, 고내열성 기판 등에 주로 적용되고 있다. 1 W 이상의 파워계 LED에는 히트 싱크 탑재 리드프레임을 사용한 PLCC 수지계 패키지 및 메탈 베이스 기판이 사용되고 있지만 3 W 이상일 경우에는 세라믹 기판 적용이 확대되고 있다. 스마트 폰에 장착되는 카메라 모듈용 패키지는 저화소인 경우에는 고분자 화합물이 주로 적용되고 있으나, 800만 화소급 고해상도 카메라 모듈에는 카메라의 해상도 증가에 따라 렌즈에서 감쇄되는 빛의

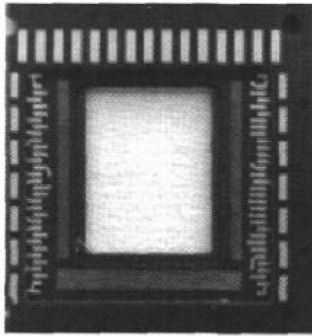


그림 1. 스마트폰 카메라 모듈 패키지.

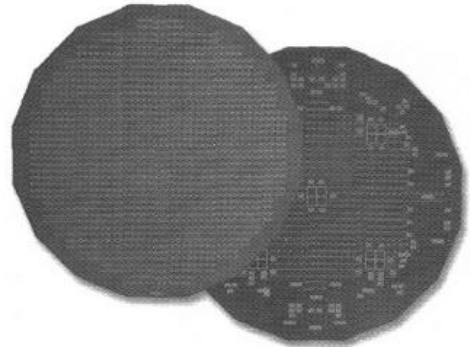


그림 2. 12" DRAM 프로브카드용 세라믹 기판.

양이 최소화 되어야 하며, 스마트폰의 경박화 및 광학 줌, 오토 포커스 등의 기능이 적용되고 있다. FPCB 기판은 변형이 심해 해상도 증가와 작동 중 열 발산이 쉽지 않아 제품의 신뢰성을 저하시킬 수 있으며 다기능화에 따른 기판의 박형화를 필요로 하는 고화소 카메라 모듈 적용에는 문제가 되고 있다. 따라서 기판 강도가 400 Mpa 이상의 세라믹 기판 채용이 확대되고 있다.

또한, 반도체 웨이퍼 검사 장비인 프로브카드 등 반도체 치구용으로 적용 범위가 확대되고 있다. 반도체 웨이퍼가 대구경화되고 칩의 개수가 많아질수록 열팽창계수가 낮아야 하며 반도체 웨이퍼 검사 시 변형이 없어야 하므로 현재는 세라믹 기판 외에는 대안이 없는 실정이다. 프로브 카드용 세라믹 기판은 12" 사이즈의 대면적 크기에 30층 Layer 이상 고적층이면서 백만 개 이상의 비아홀을 서로 연결해야 하는 적층 기술을 요구하고 있어 높은 수준의 다층 세라믹 기판 공정기술이 요구되고 있다. 기판 사이즈가 대면적화됨에 따라 균일성을 갖는 세라믹 기판 제조를 위해서는 한층 업그레이드된 고난이도의 기술이 필요하므로 장기간의 개발기간이 소요된다. 대부분 일본의 NTK, Kyocera 등에서 수입하여 사용하여 국내의 프로브카드 업체들은 개당 80,000불을 호가하는 가격 부담과 함께 적기에 필요한 수량을 조달할 수 없는 이중고를 겪어 왔으나 최근 삼성전기와

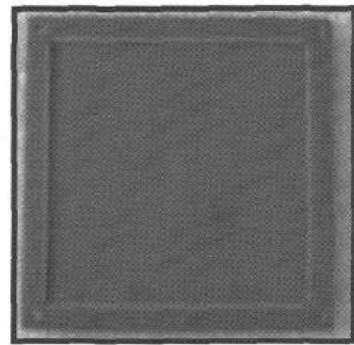


그림 3. 의료용 이미지 센서 모듈.

(주)아이엠텍에서 국산화를 진행하여 국내업체에 공급하고 있다.

최근 급속히 발전하는 전자부품 및 반도체 산업분야에서 공정 조건이 정밀해지고 신뢰성시험 조건이 가혹해지면서 내화학성, 열적 변형 등의 외부환경에 내구성을 보강하기 위해 기존의 금속 및 고분자 재질의 부품들이 세라믹 기판 소재로 전환되어 가고 있는 추세이다. 대형 Chip Size Scale의 장착이 가능하고 열적 Stress에 대한 고신뢰성 등의 장점으로 인해 특정 의료기기 및 고내열성이 요구되는 기판분야로 적용이 확대되고 있다.

3. 고강도 LTCC 소재

현재 고강도 LTCC 소재 및 부품에 대해서



표 1. 일본 Kyocera社의 적층 세라믹스 물성표.

CERAMIC MATERIAL OPTIONS	ELECTRICAL				THERMAL		MECHANICAL		CONDUCTOR MATERIAL	
	Dielectric Constant		Dissipation Factor (x10E-4)		CTE(ppm/K) (RT-400°C)	Thermal Conductivity (W/mK)	Flexural Strength (MPa)	Young's Modulus of Elasticity (GPa)		
	1MHz	2 GHz	1MHz	2 GHz						
Alumina (Al2O3)	A473	9.1	8.5	5	10	6.9	16	400	270	W, Mo, Thin Film
	A440	9.8	-	24	-	7.1	14	400	310	W, Mo
	A443	9.6	-	5	-	6.9	16	450	310	W, Mo
	AO600	9.0	8.8	10	21	7.2	15	400	260	CuW
	AO700	9.4	9.2	6	6	7.2	21	620	315	Mo
AlN	AN242	8.7	8.6	1	170	4.7	150	400	320	W, Thin Film
LTCC	GL940	-	18.7	-	2.5	10.7	3.5	220	168	Ag
	GL950	-	9.4	-	14	8.5	4.1	400	172	Ag
	GL330	7.8	7.7	4	5	8.2	4.3	400	178	Cu
	GL530	4.9	4.9	10	6	5.4	1.4	200	85	Cu
	GL580	6.0	6.0	5	17	7.9	1.5	200	91	Cu
	GL771	5.3	5.2	8	36	12.3	2.0	170	74	Cu

표 2. 일본의 Di계 고강도 LTCC 소재에 대한 특허청구 범위 분석.

구분	특허청구 범위		
	Glass	세라믹 Filler/결정상 (생성상)	특성
誘電体 磁器組成物		Diopside Al ₂ O ₃ 또는 Al을 함유하는 결정상 Diopside Quartz분말 또는 석영유리 Al ₂ O ₃ 또는 Al을 함유하는 결정상 Anorthite (CaAl ₂ Si ₂ O ₈) (Sr, Ca)Al ₂ Si ₂ O ₈ Celsian (BaAl ₂ Si ₂ O ₈) Cordierite (Mg ₂ Al ₂ Si ₅ O ₁₃) Forsterite (Mg ₂ SiO ₄) Spinel (MgAl ₂ O ₄) Willemite (Zn ₂ SiO ₄) Enstatite (MgSiO ₃) Wollastonite (CaSiO ₃) Mullite (3Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂) TiO ₂ 등	유전율 유전손실 등
高周波用 磁器組成物	SiO ₂ , MgO, CaO, Al ₂ O ₃ 등으로 이루어지고, Diopside형 결정상이 석출가능한 결정화 Glass		고주파영역 유전율 및 유전손실 취임강도 등
配線基板		Diopside Quartz분말 Amorphous SiO ₂	유전율 유전손실 열팽창계수 기공율 등

는 일본의 Kyocera社가 가장 뛰어난 기술력을 보유하고 있는 것으로 파악되고 있다. 표 1에 일본 Kyocera社의 적층세라믹스 물성표를 나타냈다. Al₂O₃ 및 AlN은 HTCC이며, LTCC 제품으로는 GL940, GL950, GL330, GL570, GL771가 있다. HTCC 제품을 제외한 LTCC 제품 중에서는 GL950과 GL330의 취임강도가 400 MPa이다. 일반적으로 Cu 전극을 사용하는 LTCC는 소성온도가 Ag 전극을 사용하는 조성에 비해서 높기 때문

에 보다 높은 취임강도 값을 나타낸다. 이는 고온에서 소성하기 때문에 결정화도가 높아지기 때문이다. 즉, Ag 전극 LTCC가 Cu 전극 LTCC 보다 고강도 소재 개발이 어렵다는 것을 의미하며, Ag 전극을 사용하여 400 MPa의 취임강도 값을 나타내는 제품으로는 일본의 Kyocera社가 유일한 것으로 조사되고 있다.

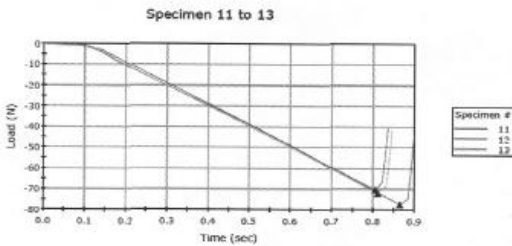
최근 귀금속 가격의 상승이 지속되고 있어 Ag는 1,270 원/g 이고 Cu 전극은 9.5 원/g으로 133배 차이가나며, 향후에도 Ag 가격은 지속적으로 상승이 예상되므로 Cu 전극으로의 전환이 필요한 시점이다. 이러한 추세에 따라 본사에서 개발한 LTCC 조성의 소성온도는 Cu 전극 적용이 가능한 900~950℃이

며, Diopside (Di)계로써 400 MPa 이상의 고강도 LTCC 소재이다. Di계는 고강도 소재에 주로 적용되는 조성계로 표 2는 기존의 Di계 특허를 분석하여 정리하였다. 일본에서 출원/등록된 Di계 고강도 LTCC 소재에 대한 특허청구 범위를 분석해보면 이들 특허는 Glass 조성, 세라믹 Filler, 결정상 (생성상), 특성 등을 권리범위로 설정하고 있으며, 수치한정 요소를 포함하는 개량특허이다. 현재까지 출원/공개/등록된 고강도 LTCC용 Di



표 3. Di계 특허출원/등록 건수.

출원인	건수	출원인	건수
Kyocera	41	아사히글라스	2
일본전기초자	15	파나소닉	2
산요전기	6	무라타제작소	1
태양유전	5	KOA	1
일본복수요업	5	기타	2

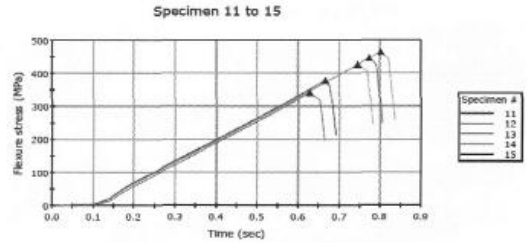


	Width (mm)	Thickness (mm)	Maximum Flexure load (lbf)	Flexure stress at Maximum Flexure load (MPa)
1	3.52	1.47	2,27337	422.04
2	3.59	1.47	6,86164	395.04
3	3.58	1.47	7,03203	401.14
4	3.59	1.46	2,77697	449.18
5	3.57	1.47	6,60977	378.11
6	3.56	1.47	8,41855	462.93
7	3.59	1.47	7,60294	432.50
8	3.60	1.46	6,89338	396.42
9	3.59	1.46	7,85670	453.08
10	3.57	1.45	7,09506	417.14
11	3.60	1.45	7,14710	416.70
12	3.58	1.46	7,67943	455.66
13	3.57	1.47	7,33116	419.38
Maximum	3.60	1.47	8,41855	462.93
Minimum	3.52	1.45	6,60977	378.11
Mean	3.57	1.46	7,32866	423.32
Standard Deviation	0.02329	0.00760	0.49595	28.4140

	Flexure strain at Maximum Flexure load (%)	Flexure stress at Break (Standard) (MPa)	Flexure strain at Break (Standard) (%)
1	0.63	422.04	0.63
2	0.37	395.04	0.37
3	0.70	401.14	0.70
4	0.94	449.18	0.94
5	0.35	378.11	0.35
6	0.43	462.93	0.43
7	0.39	432.50	0.39
8	0.36	396.42	0.36
9	0.41	453.08	0.41
10	0.38	417.14	0.38
11	0.37	416.70	0.37
12	0.41	455.66	0.41
13	0.38	419.38	0.38
Maximum	0.94	462.93	0.94
Minimum	0.35	378.11	0.35
Mean	0.46	423.32	0.46
Standard Deviation	0.19080	28.4140	0.19080

그림 4. 900℃ 산화분위기에서 소성한 시편의 3점 곡강도.

또는 Di-복합결정계 (이하 Di계로 표현) 특허는 일본의 Kyocera, 일본전기초자 (NEG), 산요전기, 태양유전 (타이요유덴), 일본복수요업 (NGK) 등이 출원/등록되어 있으며, 출원/등록된 100여 건의 Di계 특허 중 1/2 이상이 Kyocera가 출원/등록한 것이다. 표 3에 Di계 특허출원/등록 수를 출원인별로 정리하였다. 한편 Kyocera에서는 일본에서 출원한 다수의 특허에 대해서 우선권을 주장하고, 이를 바탕으로 미국에 특허를 출원/등록하고



	Width (mm)	Thickness (mm)	Maximum Flexure load (lbf)	Flexure stress at Maximum Flexure load (MPa)
1	3.61	1.47	7,41678	419.57
2	3.62	1.46	7,82902	424.59
3	3.62	1.46	7,42334	413.14
4	3.60	1.47	7,91908	449.18
5	3.60	1.44	7,10699	420.14
6	3.62	1.47	7,95364	446.70
7	3.62	1.45	7,64307	443.10
8	3.60	1.47	7,14631	402.51
9	3.62	1.45	7,38721	420.32
10	3.60	1.45	7,92773	462.31
11	3.62	1.47	6,06655	342.24
12	3.62	1.47	7,90633	446.03
13	3.62	1.44	7,90466	464.71
14	3.61	1.46	7,65293	427.10
15	3.60	1.46	6,58750	379.03
Maximum	3.62	1.46	7,95364	464.71
Minimum	3.60	1.44	6,06655	342.24
Mean	3.61	1.46	7,44474	424.89
Standard Deviation	0.00941	0.01397	0.54102	32.12417

	Flexure strain at Maximum Flexure load (%)	Flexure stress at Break (Standard) (MPa)	Flexure strain at Break (Standard) (%)
1	0.35	419.57	0.35
2	0.36	424.59	0.36
3	0.34	413.14	0.34
4	0.38	449.18	0.38
5	0.34	420.14	0.34
6	0.38	446.70	0.38
7	0.37	443.10	0.37
8	0.34	402.51	0.34
9	0.35	420.32	0.35
10	0.38	462.31	0.38
11	0.30	342.24	0.30
12	0.37	446.03	0.37
13	0.37	464.71	0.37
14	0.35	427.10	0.35
15	0.31	379.03	0.31
Maximum	0.38	464.71	0.38
Minimum	0.30	342.24	0.30
Mean	0.35	424.89	0.35
Standard Deviation	0.02406	32.12417	0.02406

그림 5. 900℃ 질소분위기에서 소성한 시편의 3점 곡강도.

있다.

본사에서 개발한 Di계 LTCC 조성을 900℃ 산화분위기에서 소결한 후 측정한 3점 곡강도를 그림 4에 나타내었다. 13개 시편의 3점 곡강도 평균값은 422 Mpa를 나타내었으며, 900℃ 질소분위기에서 소결한 15개 시편의 3점 곡강도 평균값은 그림 5에서와 같이 424 Mpa를 나타내었다. 현재 시판되는 LTCC 소재 중에서 가장 강도가 높은 수준은 320 Mpa 정도이나 본사에서 개발한 조성의 강도 특성은 고온에서 소성한 알루미늄 세라믹과 견줄만하다.

그림 6에 질소분위기에서 소성한 시편의 유전특성을 나타내었다. Q는 10 GHz 영역에서 Post Resonator Method로 측정하였으며 소성온도 900~950℃ 영역에서 유전율은

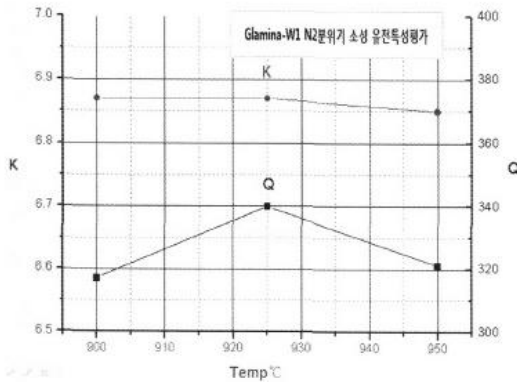


그림 6. 질소분위기 소성한 시편의 유전특성.

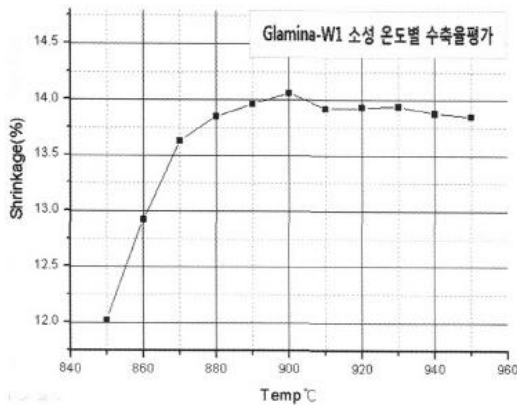


그림 7. 소성온도변화에 따른 수축률 변화.

6.8~6.9, Q는 318~340 GHz의 안정된 유전 특성을 나타내고 있다. 그림 7에는 소성온도 변화에 따른 소성 수축률 변화를 나타내고 있다. 소성온도 880~950°C에서 소성 수축률이 $14 \pm 2\%$ 로 적은 변화를 나타내고 있다. 그림 8은 Dilatometer data로 수축 시작점이 약 650°C로 수축이 초기에 완만히 진행되어 전극과 매칭을 위한 양호한 조건임을 알 수 있다. 그림 9는 Cu 전극과 동시 소성한 시편 사진으로 이때 적용한 Cu 전극은 세라믹 조성에 최적화된 전극은 아니지만 Cu 전극과 양호한 매칭성을 보여주고 있다. 이외에도 Ag 전극과 동시소성을 통한 매칭성도 양호한 결과를 얻었다. 개발된 조성의 내화학성

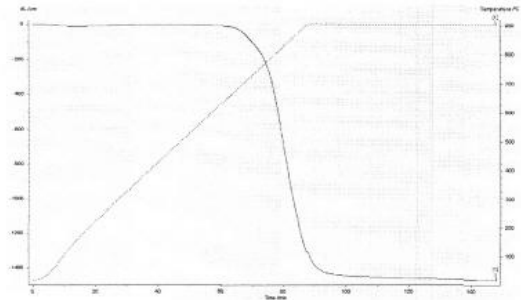


그림 8. Dilatometer data.

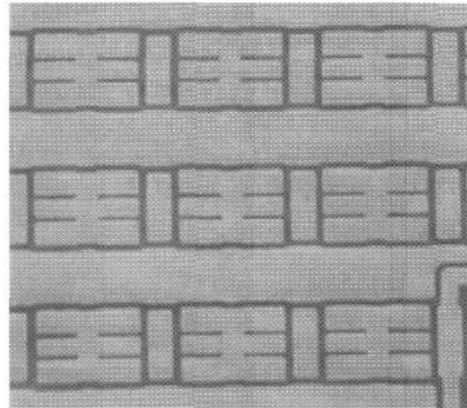


그림 9. Cu 전극과 동시 소성한 시편 사진.

을 측정하기 위해 소성된 Disk type 시편을 HCl 35% 용액 상온에서 2시간 유지한 후 감량 측정하였다. 이후 이 시편을 KOH 50% 용액에서 80°C로 유지한 후 감량을 측정한 결과 산 용액에서 0.005% 감량, 알칼리 용액에서 0.05% 감량, 합계 0.055% 감량으로 매우 양호한 결과를 얻었다.

4. 결론

휴대단말기인 스마트폰 및 각종 반도체용 대면적 세라믹 기판의 핵심부품들은 대부분 수입에 의존하고 있어 이에 대한 해결책이 요구되고 있다. 그리고 LTCC를 포함한 후막 세라믹의 시장성이 계속 확대되려면 소형화,





저가화 및 생산성 확보를 위한 소재, 공정 기술 개발을 통한 제품의 경쟁력 확보가 필수적이며, 후막 세라믹 기술을 이용한 신규 아이템 개발이 중요한 요소로 부각되고 있다.

그동안 국내 업체들은 당장의 제품화를 위한 공정기술이나 설계 기술 개발에 편중되어 있어 장기적인 관점에서 연구개발 및 아이템 도출에는 소홀했던 것이 사실이다. 지금부터라도 보다 개방적이고 적극적인 자세로 장기적인 아이템을 개발하고 고성능의 신소재 개발, 업그레이드된 공정기술 개발을 통해 기술력을 높여야 할 것이다.

저|자|약|력|



성 명 : 김인태

◆ 학 력

- 1981년 서울대학교 공과대학교
요업공학과 공학사
- 1987년 미국 Clemson University
(South Carolina 주립대)
Ceramic Engineering Dept.
공학석사
- 1995년 서울대학교 대학원
무기재료공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1987년 - 1999년 한국과학기술연구원
선임연구원
- 1999년 - 2000년 서울대학교 신소재공동연구소
책임연구원
- 2001년 - 현재 (주)씨모텍 대표이사

