

새로운 LTCC 조성물 개발 동향

글 _ 이효중, 손석호
(주)알엔투 테크놀로지

1. 서론

그동안 LTCC (저온 동시 소성 세라믹, Low Temperature Co-fired Ceramic) 조성 시스템은 낮은 소결 온도에서의 치밀화를 목적으로 결정질 세라믹 충전재 (일반적으로 알루미나) 외에 낮은 Tg(유리 전이 온도)를 갖는 다양한 종류의 유리 프리트를 50 Vol% 이상 혼합하여 구성되어 왔다. 이로 인해 소결 온도를 900°C 이하로 낮출 수 있어, 용점은 낮으나 전기 전도도가 탁월한 Ag(은)를 세라믹과 함께 소성하여 전극으로 이용할 수 있게 되었고, Ag(은) 전극의 고주파 대역에서의 우수한 전기적 특성으로 말미암아 RF 선단의 부품 (듀플렉서, ASM, FEM 등)이나 Bluetooth 모듈 등의 MCM 용 (Multy Chip Module) 다층 세라믹 기판으로 사용되어 왔다.

또한 Si, SiGe, GaAs 등의 반도체 소자와 열 팽창 계수가 유사하다는 장점을 이용하여, 다층 세라믹 기판 상에 반도체 Bare Die를 바로 실장하는 WLP(Wafer Level

Package)용 패키지 기판으로 사용되어 왔다. 최근에는 자동차용 전장 부품의 WLP와 SMD 공정을 위한 정밀 Top Patterning의 요구에 따라 LTCC 기판의 장점 중 하나인 ZST 공법(Zero Shrinkage Technology, 무수축 공법)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

그러나 소결 온도를 낮출 목적으로 첨가되는 유리 성분으로 인해, 필연적으로 열 전도도가 알루미나 기판에 비해 낮아지므로, 고 발열 소자를 탑재하는 모듈에는 Al₂O₃를 기반으로 하는 HTCC (High Temperature Co-fired Ceramic) 기판이 여전히 상용되고 있다. 최근에는 LTCC 소재의 많은 장점에도 불구하고, 낮은 항절 강도가 패키지 기판으로서 LTCC의 사용에 제약으로 작용하고 있다.

특히 최근 이슈가 되고 있는 전자 기기의 슬림화 추세에 따른 부품 및 패키징 기판의 저배화 요구에 있어서 다층 세라믹 기판의 강도가 큰 문제로 부상되고 있다.

일예로 슬림화 경쟁이 갈수록 심화되고 있는 스마트

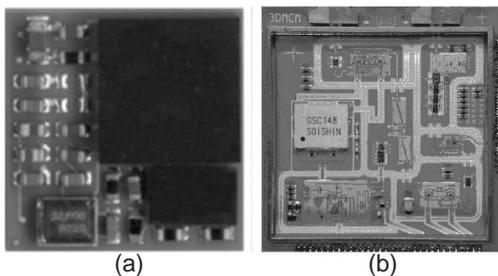


Fig. 1. LTCC 응용 소자; (a) MCM (블루투스 모듈, LG 이노텍), (b) MWU (30GHz 송수신 모듈, EADS GmBH).

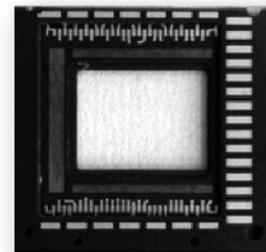


Fig. 2. 스마트 폰용 고 해상도 카메라 모듈 기판.

Table 1. 상용 LTCC 소재의 조성 및 물성

LTCC Suppliers	Products (composition)	Dielectric constant (ϵ)	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Thermal expansion coefficient ($\text{ppm}/^\circ\text{C}$)	Thermal conductivity ($\text{w/m} \cdot \text{K}$)	Flexural strength (MPa)
Asahi glass	Al_2O_3 35wt% + Forserite 5wt% +BSG 40wt%	7.4	$>10^{14}$	5.9	4.2	235
Kyocera	BSG+ SiO_2 + Al_2O_3 +Cordierite	5.0	$>10^{14}$	4.0	2	190
	Diopside Crystallized glass+ Al_2O_3	9.4	$>10^{14}$	8.5	4.1	400
Dupont	Al_2O_3 + CaZrO_3 +Glass	7.8	$>10^{12}$	7.9	4.5	200
Sumitomo metal ceramics	($\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$) glass 60wt%+ Al_2O_3 40wt%	7.7	$>10^{14}$	5.5	2.5	196
NEC	(PbO-BSG) glass 45wt% + Al_2O_3 55wt%	7.8	$>10^{14}$	4.2	4.2	300
Hitachi	($\text{BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}_2$)+ Al_2O_3 + ZrSiO_4	7.0	$>10^{13}$	5.5	1.7	200
Matsushita	(PbO-BSG) 45wt% + Al_2O_3 55wt%	7.4	$>10^{12}$	6.0	3.0	260
IBM	Cordierite crystallized glass	5.0	-	-	3.0	210
NGK	$\text{ZnO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (Cordierite system)	5.0	5×10^{15}	3.0	3.0	200
Murata	$\text{BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	6.1	$>10^{14}$	8.0	2.0	200
Heraeus	Al_2O_3 + $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	8.0	$>10^{12}$	-	3.0	250
Reference	Si	-	10×10^6	3.5	170	-

폰의 경우, 더욱 더 얇아지는 카메라 모듈용 패키지 기판은 강도와 관련된 신뢰성 문제를 심각하게 겪고 있는 상황이다.

본 기고에서는 LTCC 산업에 있어서, 고신뢰성 소재의 실현을 위한 조성 개발 동향을 중심으로 새로운 LTCC 소재에 대한 시장의 요구 사항에 대해 살펴보고자 한다.

2. LTCC 소재 Review

2.1. 기존의 상용 LTCC 소재

LTCC는 1,350°C 이상인 일반적인 세라믹 기판용 소재의 소결온도를 Ag 전극의 용점이하로 낮춘 세라믹 소재에 기반을 두고 있다.

가장 일반적인 방법은 Al_2O_3 등의 결정질 세라믹 충전재에 Glass 기반의 지지체를 혼합하는 것이며, 이 때 혼합하는 유리의 특성에 따라 다음과 같이 구분 지을 수 있다.

- 1) 비 반응성 비정질계
- 2) 반응성 결정계

3) 2차상 석출형 결정계

Dupont(미국)사의 DP951 모델로 가장 널리 상용화된 비 반응성 비정질계 LTCC 소재의 경우 저유전율의 borosilicate glass ($\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-R}_2\text{O}$, R은 알칼리(토) 금속 Li, Na, K, Ca 등)와 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 충전재의 혼합물이며, 1980년대 슈퍼 컴퓨터의 MCM (Multi-Chip Module: 복수의 베어칩을 기판에 직접 탑재하여 기능을 하나로 모은 모듈)용으로 개발되었다. Borosilicate glass는 최초 이화학 용 glass로 개발되어 화학적 내구성이 높고 glass의 열팽창 계수는 3-4ppm/°C로 낮다.

Glass 분말만을 소성하면 열팽창계수가 높은 cristobalite 결정이 석출되지만, alumina filler와 함께 소성하면, 소성 중에 alumina의 일부가 glass matrix 내부로 확산되어 cristobalite의 석출을 억제함으로써 저 열팽창을 유지할 수 있게 된다. 소성 중에 glass는 결정화되지 않으므로 응력이 걸린 상태에서 재 가열하면 변형이 발생되지만 소결 중 중력에 의해 Warpage가 제거되는 특성 또한 가지고 있다.



그러나 Tg를 낮추어 이러한 응력 회복 효과를 높이기 위해 첨가되는 PbO 성분으로 인해 현재는 사용의 제약 을 받고 있기도 하다.

두 번째로 반응성 결정계 유리는 소결 중 Glass와 충전재인 Al₂O₃가 반응하여 Glass가 결정화되는 기구이며, 반응상에 따라 다양한 특성의 LTCC를 구현할 수 있는 장점이 있는 반면, 결정화 온도와 Ag 소결 개시점의 차 이에 의해 상호간의 소결 수축을 불일치가 나타나기도 한다. Heraeus(독일)사의 X-200 모델로 알려진 대표적인 조성으로는 RO-Al₂O₃-2SiO₂가 (R: 알카리 토류 금속, Ca, Sr, Ba) 석출되는 결정성 유리과 Al₂O₃ 충전재의 복합재 료이다. Ca의 경우에는 anorthite 결정이, Ba의 경우에는 celsian 결정이 석출되며, Ca > Sr > Ba의 순으로 중(重) 원소일수록 유전율, 열팽창계수가 증가한다.

Borosilicate glass계와 마찬가지로 alumina filler가 중 요한 역할을 하는데, glass만 소성하면 wollastonite (CaO-SiO₂) 등의 결정이 석출되지만, alumina와 복합화 함에 따라서 alumina의 일부가 glass 내부로 확산되어 장석계 의 결정이 석출된다. 또한, glass내부에 alumina성분이 없는 경우에도 glass와 alumina filler의 계면에서 결정화 반응이 일어나서 anorthite가 석출된다. 이 경우에는 glass와 filler의 접착강도가 높기 때문에 고강도의 재료를 얻을 수 있다.

마지막으로 열처리(소결) 시 Glass 자체의 반응에 의 해 2차 결정상이 석출되는 Glass는 이를 제어함으로써 기존의 LTCC 소재가 갖지 못한 특성이 발현되며, 이에 대한 자세한 내용은 다음 절에 설명하기로 한다.

2.2. 초 고강도 LTCC 소재

기존의 LTCC 소재의 문제점 중 하나는 기판이나 부 품의 형상을 유지시켜 주고, 기계적 물성을 향상시키는 역할을 충전재가 담당하고, 첨가된 유리 성분이 소결 온 도를 낮추는 역할을 각각 담당하는 과정에서 첨가된 Glass 로 인해 기판의 강도와 더불어 신뢰성이 저하되는 것이다.

최근에는 충전재와 혼합하는 유리 성분을 결정화시켜 강도와 유전 특성을 동시에 향상시키는 방법에 대한 연 구가 심도 있게 진행되고 있다. 현재 출시된 LTCC 소재

중에서 기존의 LTCC 소재의 강도를 훨씬 상회하는 재 료로서, Kyocera (일본) 사가 보유한 GL 950 모델은 3 점 항절 강도가 400 MPa을 나타내어 기존 alumina 기반 의 HTCC 재료를 대체할 수 있을 것으로 전망되고 있다. 이 재료는 유리 자체의 출발 조성이 diopside 상으로 (CaO · MgO · 2SiO₂) 결정화되는 계로 알려져 있다.

단순 diopside 조성만으로도 유리화가 가능하나, 결정 성이 매우 강하기 때문에 양산에는 어려움이 많다. 그러 나 강도가 높고 유전손실(tanδ)이 낮아 고주파수영역에서 사용되는 부품에 적합하다. Alumina 또는 다른 결정질 세 라믹을 충전재로 사용하며 장석계 glass 세라믹스와는 달리 glass 내부로 충전재의 일부가 확산되지는 않는 장 점을 가지고 있다.

Kyocera의 등록 특허 (일본 특허 3904838)에서 Diopside 조성으로 소결온도 900°C에서 강도 400 MPa의 결과가 실시예에 언급되고 있어 상용화된 GL 950의 조 성을 이것으로 유추할 수 있다.

또 다른 결정화 방법으로는 유리 성분에서 Diopside가 결정화되고, 첨가된 충전재인 Al₂O₃와 유리가 반응하여 Anorthite 결정(CaO · Al₂O₃ · 2SiO₂) 동반하여 석출시 키는 시스템이 있다.

상기 조성의 장점으로서는 출발 조성의 성분 에 따라 생 성되는 결정상의 분율을 조절할 수 있고, CaO 첨가에 의 해 초기 유리 용해 온도를 낮출 수 있다는 것이다. 또한 분산 강화의 목적으로 TiO₂ 등의 핵 생성제를 첨가한 경 우 400 MPa 이상의 강도를 나타내는 Diopside+Anorthite 혼합 결정상을 갖는 LTCC 조성물에 대한 연구 결과도 발표되고 있다.

2.3. 고 열팽창 계수 LTCC

LTCC 소재의 가장 큰 특징은 Si 등의 반도체 소자와 유사한 3~5 ppm/°C의 열팽창 계수를 가지고 있어 WLP 를 통해 별도의 하우징 없이 능동 소자를 기판상에 수납 할 수 있다는 점이다. 그러나 능동 소자를 탑재한 SoP 형 태의 LTCC 패키징 기판은 또 다른 One Chip Module로 서 FR-4 소재의 PCB 기판에 표면실장이 되는 경우가 대 부분이다.

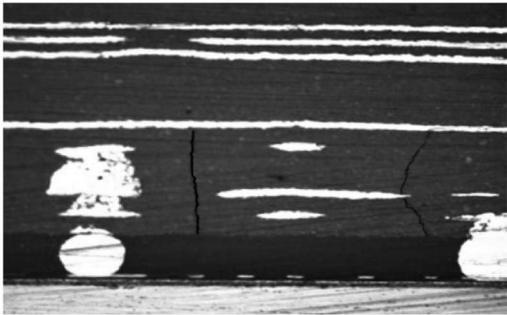


Fig. 3. 온도 Cycle 시험에 의해 파손된 PCB상에 실장된 LTCC 모듈.

날로 경박화 되고 있는 패키징 기판의 현실로 볼 때, 강도가 낮은 LTCC 기판이 열 팽창 계수가 크게 다른 PCB에 접합되어 지속적인 온도 변화에 의한 열 수축-팽창 응력을 받을 경우 심각한 신뢰성 문제가 발생할 수 있다. (Fig. 3 참조)

현재 일본에서 개발되고 있는, FR-4의 열팽창계수와 (15ppm/°C) 근접한 물성을 갖는 LTCC 소재는(HiTcE[®]) 1.2 mm 두께의 패키지 기판으로 제작하여 -40~+125°C의 열 사이클 시험을 할 경우 70% 누적 고장율이 4,000 사이클로 보고되고 있다. 이는 동일 두께의 Al₂O₃ 기판의 4 배에 달하는 수명이다. 상기 고 열팽창 계수 소재는 다음 표에서 보는 바와 같이 강도와 탄성 계수가 낮음에도 불구하고 PCB와의 수축-팽창 정합만으로도 이러한 우수한 신뢰성을 나타내고 있다.

특히 이 소재의 경우 실장 밀도를 높이기 위하여 BGA를 이용한 Flip Chip 형태의 표면 실장이 많아지는 시장에서 위력을 발휘할 것으로 기대가 된다.



Fig. 4. Glass free LTCC 조성의 미세 구조(875°C 소결).

Table 2. 고 열팽창 LTCC 소재의 물성

소재	유전율 (k)	CTE (ppm/°C)	Flexural Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)
Al ₂ O ₃	9.8	7.1	400	310
HiTcE LTCC	5.3	12.3	170	74

2.4. Glass Free LTCC 소재

RF 여파기나 정전 용량이 비교적 작은 온도 보상형 High Q 캐패시터 소자용 재료로 사용되는 LTCC 소재는 그 특성상 높은 품질 계수와 우수한 온도 안정성이 요구된다. 특히 부품의 소형화와 정전 용량의 향상을 위해서는 일반적인 LTCC 소재의 유전율을 훨씬 상회하는 유전율이 필요하다.

상기 3가지 요건을 충족시키기 위한 LTCC 소재로서는 우수한 유전 특성을 갖는 결정질 세라믹이 별도의 유리 성분의 첨가 없이 낮은 온도에서 소결되는 것이 바람직하다.

현재 이러한 Glass Free LTCC 소재는 BaO · TiO₂ · (Nb_{4-x}Ta_x) · O₁₀ 계열의 치환형 결정질 세라믹이 상용화 되어 있다.

상기 소재는 결정질 자체로 1,150°C에서 완전 치밀화가 가능하며, 특히, 소결 조제로서 B₂O₃, ZnO, V₂O₅ 등을 소량 첨가함에 따라 900°C 이하에서 Ag 전극과 동시 소성이 가능하다.

유전 특성을 저하하는 유리 성분이 포함되지 않으므로, 품질계수(Qxf₀)가 30,000 이상이며, 유전율은 40~42 사이의 값을 나타낸다. 특히, Nb와 Ta의 치환 비율에 따라 공진 주파수의 온도계수(TcF)를 "0" ppm/°C으로 제어할 수 있는 장점이 있다.

3. 결론

2011년 현재 3조원 이상으로 예상되는 LTCC 관련 소재, 부품 및 기판 시장의 80% 이상을 점유하고 있는 일본 업체의 경우, 이동 통신 부품에 주력해 오던 Murata는 스미토모의 차량용 LTCC 사업부를 인수하여 자동차 전장용으로 LTCC 사업을 전개하고 있으며, 패키지 기판에 주력해 오던 Kyocera의 경우 12 인치급 대형 MEMS

프로브 카드용 MST로 사업을 전환하여 불황에서의 활로를 개척하고 있다.

또한 자동차 전장용 LTCC 모듈을 주로 생산하는 독일의 Bosch사의 경우 세계 3위의 시장 점유율을 나타내고 있으며, 최근 77 GHz 자동차 충돌 방지 LTCC 모듈을 상용화한 바 있다.

본격적인 유비쿼터스와 디지털 컨버전스 시대에 돌입한 현재, 초소형의 다기능 이동 통신 기기에 적용되는 LTCC 관련 부품 및 패키징 기관의 가능성은 앞으로도 무궁할 것으로 예상이 된다. 그러나 기존의 소재 기술로는 향후 도래할 시장의 요구에 부응하는 데에 한계가 있음이 자명하다.

기기의 슬림화에 따른 고 강도 LTCC 소재의 경우 이미 선진사에서는 개발이 완료되어 상용화가 이루어지고 있고, 차량 전장용의 고 신뢰성-정밀 기관을 위한 무수축 공법 또한 보편화되어 있어, 이미 LTCC 관련 기술은 무한 경쟁에 돌입했다 하더라도 과언이 아닐 것이다.

앞으로도 저 탄소 녹색성장을 위한 LED용 패키징 소재로 사용될 고 열전도도, 고 반사율 LTCC 소재의 개발은 곧 현실로 다가올 것이다.

참고문헌

1. Advanced IC Packaging Markets and Trends, Electronic Trend Publications, Inc., 2004.
2. High-Density Packaging (MCM, MCP, SIP): Market Analysis and Technology Trends, The Information Network, 2005.
3. R. R. Tummala, *et al.*, "The SOP for Miniaturized, Mixed-Signal Computing, Communication, and Consumer Systems of the Next Decade," *IEEE Trans. Advanced Packag.*, **27** [2] 250-67 (2004).
4. P. E. Garrou, *Multichip Module Technology Handbook*, McGraw-Hill.

5. R. R. Tummala *et al.*, *Ceramic Packaging Technology, Microelectronics Packaging Handbook*. New York: Van Nostrand, 1988.
6. Y. Imanaka, "Multilayered Low Temperature Co-fired Ceramics (LTCC) Technology", Springer (2005).
7. 山本孝 "LTCC의 기술과 응용", 시에엠시 출판 (2005).
8. W.K. Jones *et al.*, "Chemical, Structural and Mechanical Properties of LTCC Tapes", *The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging*, **23** [4] 469-73.
9. 일본특허 제3904838호.
10. 대한민국 특허 출원 10-2010-0002759.
11. Advanced LTCC Technology, Navian Marketing Report, 2002 & 2008.

손석호



- 1994년 연세대학교 금속공학과 학사
- 1997년 연세대학교 금속공학과 석사
- 1999년 LG 금속 부설 연구소 주임 연구원
- 2002년 (주) MRW 선임 연구원
- 현재 알엔투 테크놀로지 연구소장

이효종



- 1989년 서울대학교 금속공학과 학사
- 1991년 서울대학교 금속공학과 석사
- 1996년 서울대학교 금속공학과 박사
- 1996년 서울대 신소재 공동 연구소 Post-Doc.
- 1999년 (주)유유 신소재 연구소 연구소장
- 2002년 (주) MRW 연구소장
- 현재 알엔투 테크놀로지 대표이사