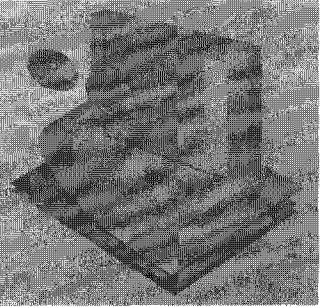


## LTCC용 세라믹스 기술 및 시장 동향



여동훈 책임연구원 (한국세라믹기술원 바이오IT융합센터) | 홍연우 선임연구원 (한국세라믹기술원 나노IT융합센터)

## 1. 서론

LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술은 저온소결과 전기전도도 특성이 우수한 Ag, Cu 전극을 사용하여 고주파 부품의 소형화, 고성능화, 복합화에 폭넓게 응용되고 있으나, 본 기술을 적용한 제품들은 이동통신 단말기의 다기능화, 소형화, 박형화가 급진전됨에 따라 제품의 Life cycle이 짧아지고 기존 생산품들의 가격은 하락하고 있는 추세이다. 그동안 국내 중소기업들은 LTCC 완제품 생산에만 주력하여 왔으나, 최근 들어 제품 사이즈의 박형화, 소형화 추세에 따라 고난이도의 공정기술과 관련된 특성들이 요구되고 있어 기존의 소재 및 공정 기술로는 한계에 이르렀으며 한층 업그레이드된 공정 및 소재 개발이 필요한 실정이다. 그리고 다층 기판 제조 시 가격 및 생산성에서 장점을 가지고 있는 유기물계 저유전율 저손실 소재들이 출시되고 있어 LTCC 기술을 적용하여 고주파 모듈에 응용하는 분야에서는 그 확장성이 제한받고 있다.

급격하게 변화하는 기술의 흐름 속에 LTCC 기술이 가장 많이 응용되고 있는 고주파 분야에서 LTCC 기술을 위협하는 요소도 있지만 자동차용, 반도체 치구용 등으로 그 적용범위를 새롭게 확장해나가는 요인도 공존하고 있어 LTCC 기술이 나아갈 방향을 제고할 필요가 있다.

본고에서는 이러한 추세에 따라 고집적 모듈 제작에 유용한 기술인 LTCC 소재 · 공정 기술 동향 및

응용분야를 살펴보고 향후 전개 방향에 관해 고찰하고자 한다.

## 2. 주요 기술 개발 동향

LTCC 소재 기술 개발 동향은 세라믹 기판 및 패키지 내에 회로 집적도는 높아지면서 두께는 얇아지는 추세로 개발 경쟁이 가속화되고 있어 이에 따른 층간의 I/O 수 및 비아홀 수가 급증함에 따라 세라믹 기판이 받는 응력이 증가하게 되어 고강도 소재에 대한 수요가 증대되고 있다. 따라서 최근 강도와 화학적 내구성이 우수한 것으로 알려진 Anorthite계 [1], Diopside계 [2], Cordierite계 [3, 4]와 같은 결정성 유리를 사용한 조성에 대한 많은 연구가 진행되었다. 세라믹 기판 내에 많은 수동소자들이 내장될 경우 고주파 대역에서 소자들 간 불필요한 공진이 발생하여 특성이 저하하게 되는데 이를 방지하고 전송 속도를 높이기 위해서는 기존에 사용되고 있는 유전율 7~8 조성 보다 낮은 유전율 소재들의 필요성이 증가하고 있다. 또한 기존 이동통신 주파수 대역으로 사용되고 있는 900 MHz, 1.8 GHz, 2.4 GHz, 5.7~5.8 GHz 외에 근거리 통신용으로 60 GHz 대역에서 홈 멀티미디어 및 자동차 충돌방지용 레이더 등의 응용을 위한 기술개발이 이루어지고 있어 초저손실 소재 개발에 대한 필요성도 함께 요구되고 있다. LTCC 소재의 경우 주파수 대역이 높아질수록 유전손실이 증가하는 경향을 보이고 있기 때문에 초고주파 대역에

서 유전율이 낮으면서 유전손실 특성이 우수한 LTCC 소재가 요구되고 있다. 다양한 소자들을 세라믹 기판 내에 실장하기 위해서는 다양한 종류의 유전율 소재가 필요하며, 특히 커패시터를 실장하기 위해서는 기존의 많은 연구가 진행되어온 중유전율 소재로는 적용이 어려우므로 100 이상의 고유전율 소재 개발에 대한 요구가 커지고 있다.

이동통신 단말기 시스템이 다중대역에서의 고속의 대용량 자료전송 및 다양한 부가기능들이 요구되면서 필터(Filter), 다이플렉스(Diplexer), 멀티플렉스(Multiplexer), 밸런(Balun), 커플러(Coupler)와 같은 RF 소자들의 적용은 증가하고 있으나, 단말기 시스템의 면적과 두께는 줄이고 있어 많은 부품들을 고밀도로 실장할 수 있는 내부실장(Embedded)에 대한 중요성이 높아지고 있다. 수동소자들을 소형화된 모듈에 구현하여 실장면적을 줄이고 패키징 비용을 절감할 수 있는 SoP(System on Package) 형태의 기술 요구가 증가하고 있는 상황이다. 즉, 단일 반도체 기판 위에 여러 반도체를 실장하고 이를 연결하는 Multi-chip 모듈 수준의 SoC(System on Chip) 기술은 다수의 수동소자로 주변회로를 반도체 기판에 구현하는데 제한적인 반면 세라믹으로 구성된 다층기판 패키지 내에 수동소자를 집적시키는 SoP 기술의 중요성은 증가하고 있다.

LTCC 기술의 응용분야는 부가가치가 높은 다양한 고집적 모듈, 반도체 치구용 등으로 확장되고 있

다. 생산성 확보를 위한 그린시트 대면적화, 반도체 웨이퍼의 대구경화, 고속화, 미세 패턴화 추세에 따라 대면적 세라믹 기판 적용을 위한 대면적 그린시트의 수축률 편차 제어, 층간 적층 정밀도 확보, 미세 패턴화, 미세 비아홀 형성 및 충전 등의 공정기술 개발이 요구되고 있다 [5]. 예를 들면, 12" 반도체 DRAM용 측정 치구인 스페이스 트랜스포머의 경우 세라믹 기판의 경우 비아홀 수가 수십만 개에 이르고 이들 비아홀 중 한 개라도 연결이 되지 않으면 불량으로 처리되므로 그린시트 층간 정밀도 확보, 미세 비아홀에 충전된 도체 전극의 소성과정에서 수축거동 제어 그리고 세라믹 기판의 소성 후 수축률을 일정하게 제어하는 것은 매우 중요하다. 그러나 세라믹스의 가장 큰 단점인 소성 시 발생하는 13~17%에 이르는 소성 수축률이 생산현장에서 발생하는 불량율의 가장 큰 원인이 되고 있다. 이에 따라, 출발 원료의 입도 균일성, 슬러리의 분산성 확보 및 그린시트의 균일성, 물성 제어를 통한 수축률 편차 제어는 후막공정 기술의 기본적이면서 핵심요소 기술이라 할 수 있다. 세라믹 기판의 소성 중에 X, Y-방향으로의 소성 수축을 억제하는 구속력을 가함으로써 수축이 Z-방향으로만 일어나게 하는 방법으로 층간 패턴의 적층 정밀도를 확보하는 무수축 소성기술 [6,7]이 대면적 세라믹 기판 구현에 적용되고 있다. 스크린 프린팅법을 이용한 회로 선폭과 선간 거리는 인쇄 스크린 #500을 사용하여 Line/Space = 30

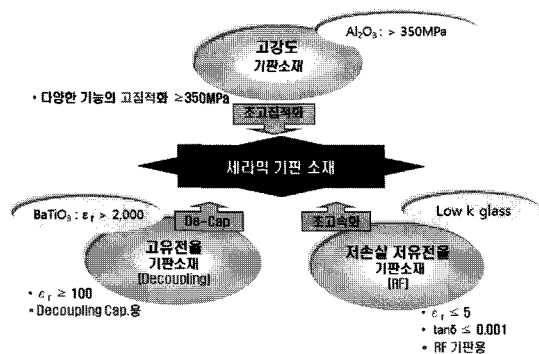


그림 1. LTCC 소재 개발 방향.

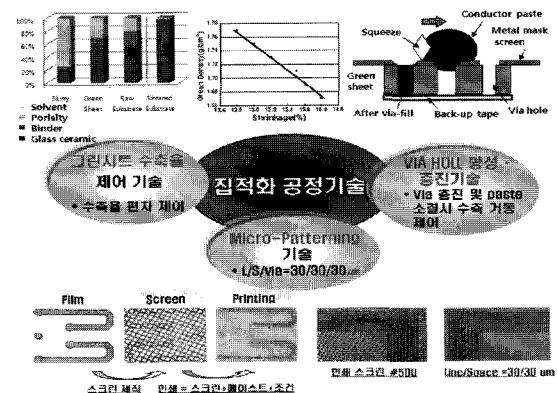


그림 2. 고집적 세라믹스 기판 제조 공정기술 개발 방향.

μm/30 μm 패턴 구현이 가능한 공정기술이 개발되었으나 패턴이 얇을수록 불량률이 증가하므로 국내 산업계에서는 80~100 μm가 주로 사용되고 있다.

### 3. LTCC 기술의 응용 분야

LTCC는 Ag, Cu 전극을 사용하므로 저저항 구현이 가능하고 기존의 수동부품들의 소형화, 경량화, 복합화를 실현하기 위해 기판, 모듈 등으로 폭넓게 응용되고 있다 [8]. LTCC 기술을 적용한 응용 부품은 그림 3과 같이 고신뢰성을 기반으로 하는 자동차, 의료용 모듈 및 기판, Power FET, 전력용 퓨즈 등의 고출력분야, Power Amp, ASM, FEM 등의 고주파 분야, 그리고 최근 주목을 받고 있는 반도체 치구류인 스페이스 트랜스포머 및 LED 패키지, 다양한 세라믹 패키지, 적층 부품류 등으로 구분할 수 있다.

자동차에서 연비, 안전 및 편의성 증대를 위해 전자제어 시스템이 차지하는 비중이 급격히 높아지고 있어 회로배선의 증가와 더불어 고신뢰성 확보를 위해 통합모듈에 의한 시스템 제어로 기술개발이 진행되고 있다. 따라서 전자회로 부분과 기계적인 부분을 하나의 모듈로 통합하는 것과 전자제어부가 엔진룸 부근에 위치하고 있어 고내열성 및 모듈의 소형화에 대한 필요성이 증대되고 있다.

LTCC는 고집적, 고내열성을 확보할 수 있으며 소

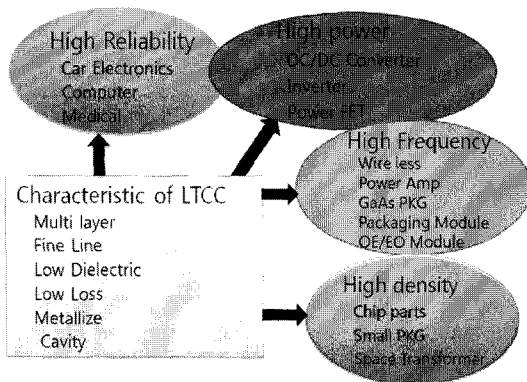


그림 3. LTCC 기술을 적용한 응용 분야.

형화, 경량화가 용이한 장점이 있어, LTCC 기술을 적용한 ECU (Electronic Control Unit) 모듈, EPS (Electronic Power Steering) 모듈, MAP (Manifold Absolute Pressure) 센서 모듈 등에 대한 개발이 진행되고 있으며, 전자제어 시스템 개발이 일부 대기업에서 진행되고 있다. Bosch사는 각종 전장용 모듈 및 기판으로 EPC 모듈을 생산하고 있으며, 일본의 Murata 등은 수년전부터 이에 관련한 연구개발을 진행해오고 있다. 향후 수요가 증대할 것으로 예상되는 하이브리드 자동차에 적용할 경우 연비 개선 효과도 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 이외에도 기존에 널리 사용되는 PCB 기판에서 회로의 집적도가 높고 고내열성 특성이 요구되는 의료용, 각종 정밀 전자제어용 기판 등으로 LTCC 기판이 확대 적용되고 있다.

RF/Wireless 분야에서는 단말기용 부품인 적층 필터 및 안테나, ASM (Antenna Switch Module), FEM (Front End Module)이 가장 많이 적용되고 있으며, 최근 들어 정밀 공정기술과 초고주파 설계기술을 적용하여 30 GHz 이상의 초고주파 대역용 다층 세라믹 기판에 다수의 MMIC와 필터 등 수동소자를 내장하는 세라믹 패키징 기술들이 개발되고 있다. 이외에도 mm파 대역 응용부품으로 대용량 초고속 무선 Personal Area Network용 60 GHz WPAN 모듈, 차량 충돌사고 방지 및 자동 주행을 위한 77 GHz 자동차 레이더 시스템 모듈 등이 개발되고 있어 향후 시장을 형성할 것으로 예측된다. 군사 및 위성분야용으로 고가이면서 대형사이저인 Waveguide 모듈도 개발되고 있으며 방위산업 분야와 의료용 등의 분야는 미국이 세계시장을 주도하고 있다.

그동안 일본으로부터 전량 수입에 의존해오던 반도체 측정 장비인 Probe Card에 장착되는 12" 반도체 메모리용 스페이스 트랜스포머가 최근 국내에서 개발되어 사업화가 진행 중에 있다. 이 제품은 LTCC 소재의 열팽창계수가 반도체 웨이퍼인 Si와 유사한 점과 패턴의 복잡화에 따라 미세 패턴 구현 등 집적화가 용이하고 사용 주파수 대역의 상승으로 인한 고주파대역에서 손실 특성이 우수한 세라믹스를 사용하여 12" 사이즈의 대면적 그린시트 20층 이상을



적층하여 소성하는 고난이도 공정기술을 적용한 제품이다.

#### 4. 후막 공정 장비 인프라 현황

최근 산업의 융복합화가 활기를 띠고 있고 수요산업의 Life-Cycle이 갈수록 짧아지고 있어 세라믹 소재설계-제조공정-제품평가-신뢰성에 이르기까지 전주기(Full-Cycle) 인프라를 구축하여 소재개발 후 제품적용까지의 기간을 단축시키는 것이 경쟁력의 핵심요소로 부각되고 있다. 따라서 세라믹 공정을 크게 설계, 공정, 소재의 각 단계별로 구분하고 공정 및 평가의 일괄라인을 구성하여 다양한 테스트를 통한 제품화 시 문제점 파악 및 피드백을 통한 품목별 맞춤형 사업화 서비스를 제공하기 위하여 한국세라믹기술원에서는 세라믹소재종합센터사업을 2010년부터 3년간 수행하고 있다. 주요 내용으로는 세라믹 소재 개발 후 제품 적용까지의 첨단공정 장비를 One-Stop Total Solution 형태로 제공하기 위해 후막공정, 유리공정, 극한세라믹공정, 박막공정의 인프라를 한국세라믹기술원에 구축하고 있으며, 특히 1차년도인 2011년 상반기에 12" 다층 세라믹 기관 제조가 가능한 후막공정 전장비들을 Set-up하여 본격적인 서비스를 시작하게 된다. 이 인프라가 구축되면 한국세라믹기술원은 기존에 보유하고 있는 각 센터들과 연계가 가능해져 소재 업체 및 부품 업체 사이에서 제품의 설계, 제조, 시험, 평가, 신뢰성 구축 등 세라믹 소재에서 제품화에 이르는 전주기적 지원시스템

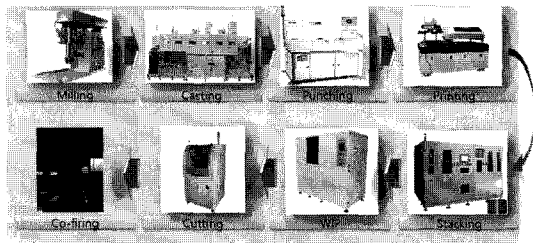


그림 4. 세라믹소재종합센터구축사업 후막공정 인프라.

이 갖추어져 소재의 사업화를 지원하는 체계가 구축된다.

강릉과학산업단지 내에 위치한 강원세라믹신소재지원센터에는 세라믹 신소재 원료산업 기반, SoP 용 세라믹 부품소재산업육성 기반 장비인 대형 CIP 등 93종 106대, SoP 특화장비 20종 (신뢰성 평가 10종, 시제품 생산 10종)이 구축되어 있다. 이러한 인프라들은 강릉과학산업단지 내 입주하고 있는 기업들이 활용할 수 있도록 지원체계를 갖추고 있다. 최근 강릉과학산업단지 내 세라믹 신소재관련 기업들의 입주가 꾸준히 증가하여 54개 업체에 이르고 있으며 지속적인 기업유치를 위한 노력들이 이루어지고 있어 입주 업체들은 증가하리라 예상된다.

#### 5. 결론

LTCC 기술의 시장성이 계속 확대되려면 소형화, 저가화 및 생산성 확보를 위한 소재·공정기술 개발을 통한 제품의 경쟁력 확보가 필수적이며, LTCC 기술을 이용한 사업화 추진을 위해서는 신규 아이템 개발이 중요한 요소로 부각되고 있다.

최근 들어 개별 기술 영역인 IT, BT, NT 기술들이 융합됨으로써 그동안 넘지 못했던 기술적 한계를 극복하고자 하는 기술간 융합화가 새로운 흐름으로 자리잡아가고 있다. 이러한 기술적 흐름에 따라 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 기술간 융합을 고부가가치 산업의 첨단기술로 인식하여 융합기술 개발을 통해 미래의 핵심기술을 확보하고자 노력하고 있다. 이러한 융합기술로의 발전은 어느 정도 성숙된 기술을 바탕으로 다른 기술이 융합되어 가는 형태로 발전해야 시장도 쉽게 창출되며 기술의 검증도 쉬워지기 때문이다. 따라서 지금까지 기술의 발전 속도나 복잡화 및 소형화를 주도해온 IT부품 기술은 이들 융합기술의 중심에 있으며, 또한 IT부품 기술의 중심에는 세라믹스 소재, 부품 및 모듈화 기술이 있다. 기존의 IT 중심의 세라믹스 관련 부품 및 소재 개발에서 IT를 기반기술로 한 BIT, NIT, EIT, EvIT로의 융합기술 관련 부품소재 개발로 연구개발 분야를 확대할 필요성이 커지고 있다. 그동안 확보한 세라믹

기반의 소재·공정 기반 기술을 한 단계 더 향상시킨 부품 및 시스템 응용 기술로 연결함으로써 시너지 효과를 극대화할 수 있을 것이다.

세계 시장을 석권하고 있는 일본의 선진업체들은 부가가치가 낮은 품목들은 생산을 중단하고 고부가가치 신규 아이템 개발을 적극적으로 추진하고 있으며, 중국의 LTCC 기술은 시작단계이지만 국내 엔지니어들이 중국에 가서 국산 설비들을 중국에 Set-up 하고 있어 갈수록 기술격차는 좁혀질 것으로 예측된다. 국내 업체들은 당장의 제품화를 위한 공정기술이나 설계 기술 개발에 편중되어 있어 장기적인 관점에서 연구개발 및 아이템 도출에는 소홀했던 것이 사실이다. 향후에는 보다 개방적이고 적극적인 자세로 산학연과 기술 정보 공유 등을 통해 기술력을 높여야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] K. C. Gupata, et al, "Microstrip Lines and Slotlines", Artech House, Inc., pp.107-109, 1996.
- [2] H. Yue, et al, "Dielectric Constant and Loss Tangent Measurement Using a Stripline Fixture", IEEE Trans. CPMT-Part B, vol.21, no.4, pp.441-446, 1998,
- [3] B. C. Wadell, Transmission Line Design Handbook, Artech Hounse, Inc., pp.98-99, 1991.
- [4] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley & Sons, Inc., pp.154-157, 1998.
- [5] 小林吉伸, "LTCC基板の製造技術とトラブル対策", サイエンス&テクノロジー株式会社, pp. 29-39, 2006.
- [6] Frans P. Lautzenhiser, 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
- [7] 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

- [8] Takashi Yamamoto, Technologies & Applications of Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics, pp. 172-174, 2005.

## 담당위원



성명 : 여동훈

◆ 학력

- 1990년 성균관대학교 공과대학 전기공학과 공학사
- 1992년 성균관대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1993년 - 1997년 한국과학기술연구원 위촉연구원
- 1998년 - 2000년 The Pennsylvania State Univ. Post-Doc.
- 2000년 - 2003년 (주)한원마이크로웨이브 연구소장
- 2004년 - 현재 한국세라믹기술원 바이오IT융합센터 책임연구원



성명 : 홍연우

◆ 학력

- 1996년 경북대학교 공과대학 무기재료공학과 공학사
- 1998년 경북대학교 대학원 무기재료공학과 공학석사
- 2004년 경북대학교 대학원 무기재료공학과 공학박사

◆ 경력

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