

# LTCC에서 세라믹스 후막 공정 기술 동향

신호순 선임연구원 (한국세라믹기술원 나노IT융합센터)

## 1. 서론

이동통신 기술의 발달과 함께 그 수요가 폭발적으로 늘어난 전자세라믹스와 최근 관심을 모으고 있는 반도체 장비용 부품 등에서 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic)는 세라믹스 소재 산업에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 이것은 세라믹스 소재를 후막 형태로 형성하여 적층함으로써 복잡한 회로와 구조 및 형상을 구현할 수 있는 기술로서 다양한 부품의 복합화, 소형화 및 융합화에서 핵심이 되고 있다 [1-3].

세라믹스 후막기술은 전극 재료로서 W이나 Mo 등을 사용하던 HTCC (High Temperature Co-fired Ceramic)에서 시작되어 전극의 저 저항화를 위하여 Ag와 Cu를 사용하는 LTCC로 발전하게 되었다. 이 과정은 전극과의 동시소결을 목적으로 소재의 소결 온도를 저하하기 위한 소재기술의 발달로 인해 가능하였다. 그 이후 세라믹스 후막기술을 대표하는 LTCC는 10년여의 역사를 통하여 ASM, FEM, Bluetooth 모듈 등으로 복합화 되는 이동통신 부품의 핵심으로 발전해 왔다 [4, 5]. 최근 들어 1  $\mu\text{m}$  이하의 초박층 적용을 상품화하는 MLCC (Multi Layer Ceramic Capacitor)와 함께 앞으로의 세라믹 후막 기술을 주도해 나갈 것이다. 특히, MLCC의 초박층 제품화 기술과 이들의 공정 및 장비기술이 LTCC 산업으로 유입되고 있어 그 기술적 진보가 매우 급격하게 일어날 것으로 기대된다.

LTCC 기술은 회로설계기술, 소재기술, 공정기술 및 측정기술로 구성된다. 회로의 설계기술과 측정기술은 각 기업들의 노하우가 쌓이면서 기본적인 기술 확보가 이루어졌다. 물론 새로운 모듈의 설계 및 측정을 세계 최초로 수행하기에는 수요기업과의 협업의 부족과 기술적인 한계를 가지고 있는 것이 사실이다. 소재기술의 경우 고강도 특성 이후에 특별한 기술적 Issue가 부각되지 않고 있어서 초고주파 시장의 급격한 확장 등과 같은 새로운 시장의 변화가 발생하지 않으면 단순히 가격 경쟁에 대응하기 위한 저가화 경쟁 위주의 기술 발전이 진행될 것으로 예측된다. 그러나 공정기술의 경우 다양한 모듈의 개발과 부품의 복합화 등에 따라 많은 기술적 변화와 새로운 시도가 진행되고 있으며, 반도체 장비 등의 분야에서는 대형 기판에 대한 공정기술이 개발되고 있고, 태양전지, 이차전지, 디스플레이 등 타 분야에서 후막기술의 활용이 폭넓게 진행되고 있어서 후막 공정 전반에 대한 동향 및 연구 개발 방향을 예의 주시할 필요가 있다 [6, 7].

## 2. 세라믹스 후막공정기술

세라믹스 후막 공정기술은 수백 nm에서 수백  $\mu\text{m}$  두께의 단일 층 혹은 다층의 세라믹스 막을 형성하고 이를 이용하여 전자기기의 기능성 모듈이나 반도체 장비용 부품 등에 적용하기 위한 각 단위공정 기술을 총칭한다. 그림 1은 LTCC 모듈 제조를 위한 세

라믹스 후막 공정을 단위공정으로 분류하여 모식도로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 공정은 분산과 혼합, 후막성형, 인쇄, Via punching, 압착 및 동시 소결로 분류할 수 있다. 각 공정이 모두 중요하겠지만 첫 공정인 분산과 혼합 공정은 후막 성형에서 균일한 성형을 가능하게 하고 Via punching과 압착 공정에서 Sheet의 성질을 좌우하게 되므로 가장 중요한 공정이다 [8]. 그리고 최종적으로 금속 전극과 동시 소결을 진행함으로써 일체화된 LTCC 소결 제품을 완성하게 된다. 그림 1의 공정도를 바탕으로 각 공정에서의 주요 기술개발 동향과 기술 Issue를 아래 상세히 설명한다.

분산과 혼합 공정은 통상적으로 습식 Milling 공정을 통하여 이루어진다. 그리고 이 과정은 1차 Mill과 2차 Mill로 분리하여 진행하는 것이 일반적이다. 1차 Mill은 원료 Powder, 분산제 및 Solvent 만을 투입하고 진행하는 과정으로 세라믹스 원료 Powder가 Solvent 내에 균일하게 하나하나의 입자로 분산되게 하는 것이 목적이다. 그 후 2차 Mill에서는 Binder, Plasticizer 및 추가 Solvent를 투입하고 Mill을 진행하면 Polymer 들이 입자들 사이에 균일하게 분포하게 하는 것을 목적으로 한다. 이 과정이 동시에 이루어지면 분산이 충분히 이루어지지 않은 상태에서 Polymer들이 Powder를 둘러싸게 되어 입자가 응집된 상태에서 Polymer와 혼합되게 된다. 즉, 세라믹스 입자들이 응집되어 Polymer가 존재하지

않는 경우와 주위에 Polymer가 많이 존재하는 경우가 혼재되어 있는 불균일이 발생하고 응집체가 그대로 남아 후 공정에 많은 영향을 주게 된다. 그러므로 분산은 Sheet의 균일성에 가장 큰 영향을 주는 공정이다.

분산이 중요한 만큼 분산 상태를 정확히 평가하는 것이 중요하다. 그러나 정량화된 분산의 평가 기준은 아직 통용되지 않고 있다. 분산은 Slurry의 농도, 온도, 유지시간 등의 변화에 따라 그 상태가 변화할 수 있기 때문에 정확히 평가하는 것이 더욱더 어렵다고 할 수 있다. 아래 그림 2는 분산의 평가 방법을 모식도로 나타내었다. 그림 2(a)는 침강법으로 슬러리의 세라믹 분말이 용매 내에서 완전 침전된 후 높이를 비교하여 분산성을 비교하는 방법이다. 최종 높이가 낮을수록 분산성이 우수한 것으로 평가하지만 완전 침전까지의 시간이 오래 걸린다는 것이 단점이다. 최근에는 원심방법을 이용하여 짧은 시간에 침강을 유도하는 장치가 나와 있으나 명확한 분산지수로 발전되지는 못하고 있다. 그림 2(b)는 분산된 슬러리의 점도를 측정하는 것인데 측정시의 온도, 습도 및 측정시간에 따라 오차가 발생할 수 있다. 그러나 이러한 여러 가지 단점에도 불구하고 침강법 및 점도측정은 분산의 상대적인 비교 방법으로 널리 사용되어 지고 있다. 그림 2(c)의 표면 거칠기 측정법

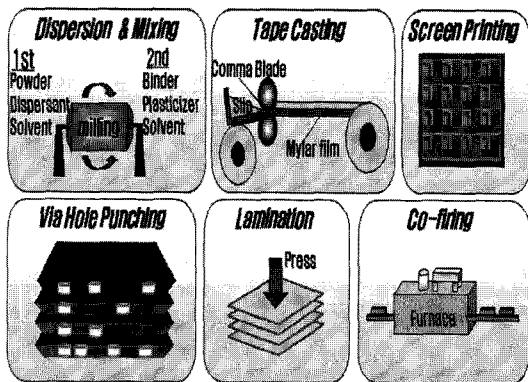


그림 1. LTCC 후막 공정 모식도.

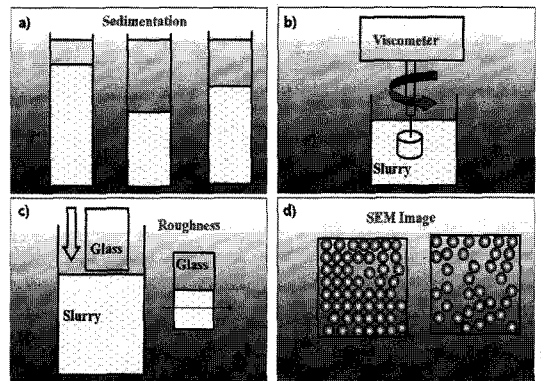


그림 2. 분산성 평가 방법 모식도 (a) 침강법, (b)점도 측정법, (c) 표면 거칠기 측정법, (d) 건조 표면 전자현미경 관찰법 [9].

은 Slide glass에 슬러리를 딥 코팅 (Dip coating)하고 수직으로 유지하여 건조시킨 후 가로 방향의 표면 거칠기를 측정하는 방법이다. 이 방법은 짧은 시간 내에 분산의 상대평가를 위한 정량적인 수치를 제공하지만 건조의 영향이 혼입될 가능성이 있다. 그리고 그림 2(d)는 그림 2(c)의 시편을 주사전자현미경으로 관찰하는 것으로 정성적으로 쉽게 분산의 정도를 비교할 수 있다는 장점이 있다 [9]. 이러한 평가 방법 중 적절한 방법을 선정하여 분산제량, 분산시간, 분산장비의 최적화를 진행해야 한다.

한편 혼합의 과정인 2차 Mill은 균일한 분산이 이루어졌다면 비교적 쉽게 진행될 수 있다. 이 과정에서는 미용해 된 Binder에 의한 문제가 항상 발생할 수 있으므로 Binder의 Filtering 등이 매우 중요한 관리 항목이 된다. 그러나 혼합 공정은 큰 어려움이 없지만 혼합의 조성에서 Binder와 Plasticizer의 비율은 Green sheet의 물성을 좌우하는 매우 중요한 항목이다. 이 글에서는 뒤에서 Polymer 조성에 따른 Sheet의 특성에 관해 상세히 언급할 것이다.

그림 3은 LTCC 후막 공정의 주요 지표인 유전체 층의 두께, 인쇄에서 Line/space 및 Via 직경의 기술 변화 추이를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 주요 지표는 시간이 지남에 따라 점차 작아지고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 현재 최고 수준의 기술은 현장에서 재현성 있게 적용되는 단계는 아니며 약 2006년 기준의 값이 양산에서 최고 수준의 적용 기

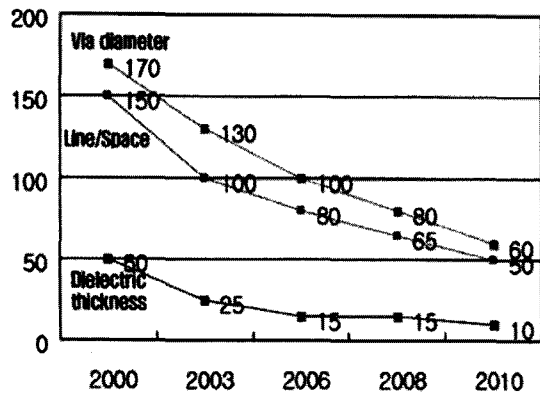
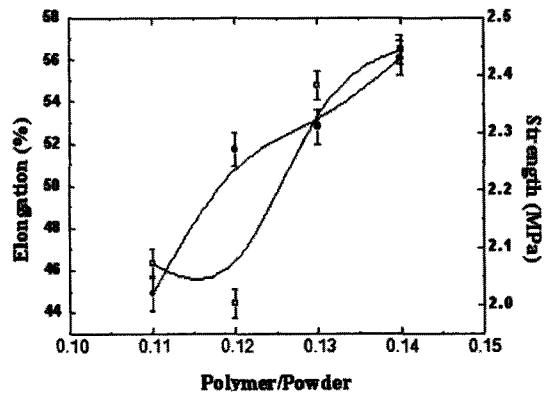


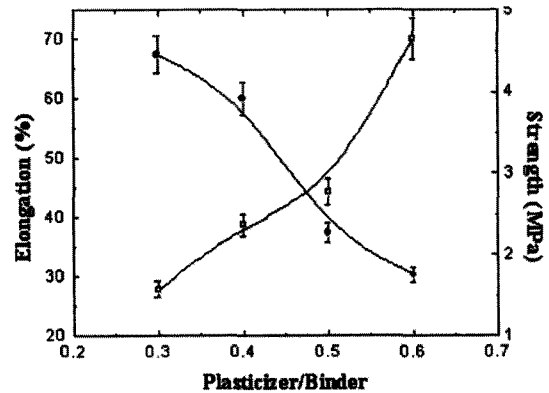
그림 3. LTCC 공정기술의 변화 추이 [10].

술이라 할 수 있다. 유전체 두께의 경우 10  $\mu\text{m}$  이하의 성형 기술은 초박층 MLCC 기술에서 알 수 있는 바와 같이 장비 및 공정 기술이 모두 가능하나 원료인 Glass powder의 입도가 Sub-micrometer까지 작아져야 한다는 소재의 한계를 가지고 있으며, Line/space의 경우 또한 Screen printing 방법만으로는 50  $\mu\text{m}$  이하의 양산화 공정을 진행하기에 한계가 있는 것으로 보인다. 그리고 Via 직경은 Laser 기술의 발전 속도와 양산에서 Laser 펀칭기의 전면도입에 따라 결정되는 상황에 있다.

Green sheet의 특성은 주로 Polymer 조합에 의해



(a)



(b)

그림 4. Green sheet의 물성에 대한 Polymer의 영향 (a) Polymer량의 영향, (b) Plasticizer와 Binder의 비율에 따른 영향.

결정된다. 이것은 분산과 혼합 공정에서 이루어지지만 후공정인 압착, Punching, 적층 등에서 많은 영향을 준다. 그림 4(a)에서는 P/B Ratio(Plasticizer/binder의 비율)를 고정하고 Powder 대비 Polymer 량이 증가함에 따라 Sheet의 인장강도와 연신율은 동시에 증가함을 보여준다. 즉 세라믹스 Powder 대비 Polymer의 비율은 Polymer 특성을 강화하여 인장강도와 연신율의 향상을 가져오는 것으로 알려져 있다. 그림 4(b)는 Polymer 중 그 역할에 따라 구분되는 Plasticizer와 Binder의 비 즉, P/B Ratio에 따라 일정한 Polymer 함량에서 Green sheet의 강도와 연신율의 변화를 비교한 결과로서 Plasticizer의 비율이 증가하면 Sheet의 강도는 급격하게 감소하는 반면 연신율은 급격히 증가함을 알 수 있다. 즉 Sheet의 물리적 특성을 독립적으로 변화시키기 위해서는 Plasticizer와 Binder의 비율이 가장 큰 영향을 미치는 인자임을 확인할 수 있다.

그림 5는 Green sheet의 Polymer량 변화에 따라 펀칭 후 Sheet의 모양을 관찰한 것이다. Mechanical 펀칭에 따라 그림에서 보는 바와 같이 Via가 형성되는 모양이 변화하는데 Polymer 함량이 부족하거나 과다할 경우 Via가 깨끗하게 형성되지 않고 가소성이 부족하여 Sheet 경계면이 부서지거나 연성이 과다함에 의해 Bur가 발생한다 [11]. 대량으로 양산이

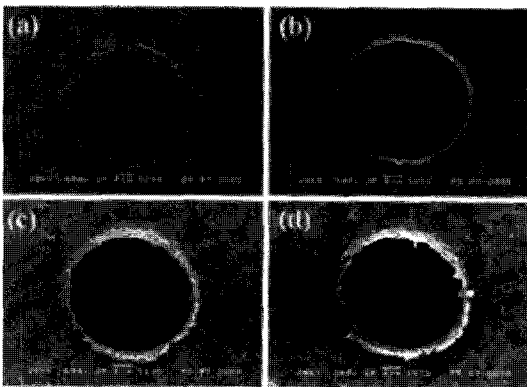


그림 5. Polymer량의 변화에 따른 Sheet 펀칭면의 모양 (a) 8wt%, (b) 10wt%, (c) 12wt%, (d) 14wt% [11].

진행될 경우 Sheet의 물리적 특성을 적절히 제어해야 Via의 균일성을 확보할 수 있고 불량율을 줄일 수 있다.

Sheet를 이용한 적층 공정은 모듈을 제작하기 위해 필수적인 공정이다. Sheet의 안정적인 적층을 위하여 Sheet 간의 접착력에 대한 평가가 매우 중요하다. 그림 6은 두 장의 Green sheet를 길이 65 mm 폭 25 mm로 압착하고 이들을 다시 분리하면서 두 Sheet 사이의 접착력을 수치화 한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 압착 압력이 증가함에 따라 Sheet의 접착력 또한 증가한다. 그림에서 6.6 MPa의 경우 Sheet 간 접착 층의 분리가 관찰되고 8.8 MPa 이상의 조건에서 층간의 분리가 관찰되지 않는다. Sheet 접착력 기준으로 약 0.25 MPa 이상에서 Sheet 사이의 접착은 충분한 것으로 판단되고 이들의 접착력이 충분히 확보되지 않을 경우 Sheet의 Polymer 조성을 변화시킴에 따라 그림 4에서 보는 바와 같이 Sheet 연신율을 향상시킬 수 있고 그 결과 압착 공정에서 Sheet 접착력이 증가하게 할 수 있다.

LTCC는 전극과 유전체 세라믹스의 동시소성 공정에 의해 제품화 된다. 그러므로 이종의 소재를 동시에 소결함에 따라 몇몇의 문제가 발생한다. 대표적으로 수축율의 차에 의한 휨이나 Crack이 발생할 수 있으며 화학적인 반응에 의한 상의 변화가 발생할 수 있다. 최근에는 다양한 소재의 혼합에 의한 기능의 복합화를 추구하는 연구가 진행되고 있으며 이

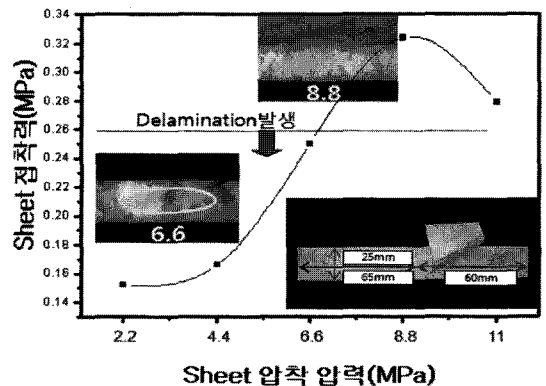


그림 6. Sheet의 압착 압력에 따른 Sheet 접착력.

것은 이종 세라믹스 소재의 동시 소결에 의해 구현 가능하다. 그러나 이종의 세라믹스 소재가 동시에 화학적인 상호 반응이 없고 결합 없이 모듈을 구현 할 수 있는 것은 매우 어려우며 이를 위한 다양한 시도가 진행되고 있다. 아래 그림 7은 이종의 소재를 동시 소결하기 위하여 유전체 Powder와 유전체 Glass로 구성되는 LTCC 소재를 분리하여 이종 소재에 동시에 Infiltration 될 수 있도록 함으로써 이종 소재 간에 발생하는 여러 가지 물질의 부정합에 대한 문제를 해결할 수 있을 것으로 보고 이를 모델화한 것이다 [12]. 이와 같은 방법으로 강유전체 Layer를 복합화 하는 연구가 진행되었으며 일부 결과가 보고 된 바 있다.

### 3. 후막공정기술의 전개

LTCC 기술을 이용한 모듈이 다양한 휴대기기에 적용되는 등 일반화함에 따라 최근 LTCC 기술에 대한 급격한 진보를 위한 동력이 부족한 상황에 있다. 그러나 다양한 분야에서 세라믹스 후막 공정기술 적용이 확대되고 있다. 이차전지에 적용되는 양극제의 후막 코팅기술, PDP 공정의 다양한 후막 형성 기술 및 후막 기술의 태양전지 적용 등이 그것이다.

또한, 후막 형성 공정에 대한 다양한 연구도 진행되고 있다. 기존 Tape casting, Screen printing 및 Off-set 공정 이외에 박막 공정으로 적용되던 Sol-gel 공정이나 Patterning에 주로 적용되어온 Ink-jet이 후막의 형성 공정으로 연구되고 있다. 그리고 상온에서 세라믹스 Powder를 고속으로 분사함으로써 세라믹스 후막을 바로 형성할 수 있는 AD (Aerosol deposition)법 또한 많은 시도가 이루어지고 있다. 표 1은 이들 방법의 장단점을 비교 정리 하였다. 다양한 신기술에 대한 연구가 활발하다는 것은 세라믹스 후막 공정이 많은 분야에 활용될 가능성이 있다는 것을 의미하며 순수한 세라믹 모듈을 제외하면 단일 층 형태로 세라믹스 후막 공정 기술이 적용될 분야는 무한하다고 할 것이다.

세라믹스 후막의 형성에 대한 최신 기술 적용을 다양한 분야에서 진행하면서 산업체로부터 많은 기

술적 요구 및 문의 사항이 있어왔다. 그 핵심은 각 후막 형성 공정기술의 가격 경쟁력, 형성 가능한 막의 두께, 신 기술성 및 양산 기술의 안정성에 대한 상호 비교에 관한 것이었다. 그러나 이들에 대한 명확한 비교 자료를 제시하기는 어렵고 각각의 적용 분야별로 상호 검토를 통하여 세라믹스 후막 형성 방법을 검토해야 한다. 그러나 적용분야에 상관없이 필자의 경험을 바탕으로 표 1에서 언급한 후막 형성 기술을 상호 비교한 결과를 아래 그림 8에 간략히 도식화 하였다. 이 그림에서 보는 바와 같이 각 공정은 가격, 막의 두께, 신 기술성 및 양산 기술의 안정성에서 상호 비교될 수 있으며 후막 세라믹스 공정을 적용하고자 하는 제품이 결정되면 기업의 환경에 적합한 방법을 검토하고 아래 도표를 참고하여 적절한 후막

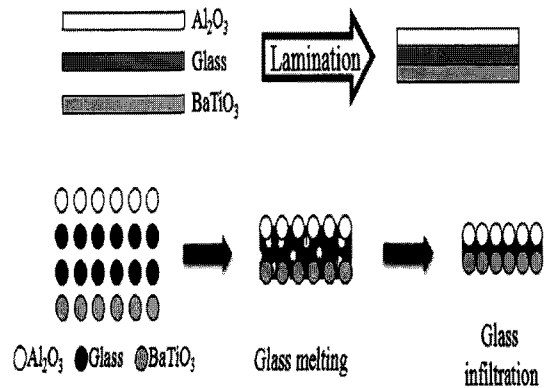
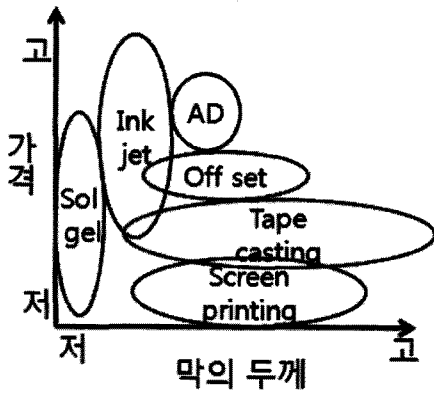


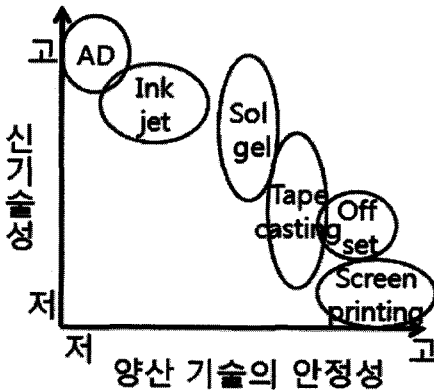
그림 7. Glass infiltration에 의한 이종 소재의 동시 소결 모델 [12].

표 1. 다양한 세라믹스 후막 공정기술의 장단점 비교.

방법	장점	단점
Tape casting	값싸고 안정	기판 위 성형 어려움 (Flexible 가능)
Screen printing	가장 싸고 안정	균일 분산이 어려움
Off-set 인쇄	Set-up 후 대량 생산 장점	장비 Set-up이 어려움
Sol-gel (Spin, Deep, Spray)	얇은 균일 막	두께 증가 난해
Ink-jet	Pattern 형성 가능	두께 증가 난해, 양산 적용사례 부족
AD법	소결 공정 無	양산 기록 없음



(a)



(b)

그림 8. 세라믹스 후막 형성기술의 상호 비교.

형성 방법을 선정하여야 한다.

세라믹스 후막 형성 기술은 다양한 분야에서 적용이 확대될 것이며 그 기본은 LTCC 공정기술의 여러 가지 경험이 바탕이 될 것이다. 세라믹스 소재의 다양한 특성에서 알 수 있는 바와 같이 후막 세라믹스 공정 또한 거의 전 산업 분야 제품에 그 적용이 급격히 증대될 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

LTCC에서 세라믹스 후막 공정 기술은 매우 복잡

하고 다양하게 전개되었다. 초박층 기술이 적용되고 있는 MLCC에서 공정 기술과 장비 기술이 도입되면서 공정기술은 점차 발전하였으며 전자 세라믹스 모듈뿐만 아니라 반도체용 대형 기판과 LED Package 등에 응용이 점차 늘어나고 있다. LTCC에서 세라믹스 후막 공정기술은 분산과 혼합 공정에서 Sheet의 물성 및 균일성이 결정되므로 이를 잘 제어하고 평가하는 것이 후공정 진행에 매우 중요한 기술이 될 수 있다. 현재 기술의 발전 현황은 Sheet의 두께, Line/space, Via 직경 등이 점차 감소함에 따라 새로운 소재 및 공정기술의 적용이 필요한 시점에 있다. 또한, 다양한 분야에서 세라믹스 후막 공정을 필요로 함에 따라 이들에 적합한 새로운 공정 기술로서 Ink-jet, AD법 등이 시도되고 있으며 앞으로 다양한 응용 및 새로운 적용 사례가 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] Y. Higuchi, Y. Sugimoto, J. Harada and H. Tamura, "LTCC system with new high- $\epsilon_r$  and high-Q material co-fired with conventional low- $\epsilon_r$  base material for wireless communications", J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 27, No. 8, p. 2785, 2007.
- [2] C.S. Mart?nez-Cisneros, N. Ib?n?ez-Garc?a, F. Vald?s and J. Alonso, "LTCC microflow analyzers with monolithic integration of thermal control", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 138, No. 1, p. 63, 2007.
- [3] Y. Imanaka, N. Hayashi, M. Takenouchi and J. Akedo, "Aerosol deposition for post-LTCC", J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 27, No. 8, p. 2789, 2007.
- [4] Y. Imanaka, "Multilayered low temperature cofired ceramics (LTCC) technology", Springer, p. 1-5, 2005.
- [5] B. Schwartz, "Microelectronics packaging : II", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol. 56, No. 4, p. 433, 1977.
- [6] H. Tsuneno, "Multilayer technology of circuit board", Research and Development of Ceramic Devices and Materials for Electronics, CMC, 2000.
- [7] C. Makihara, M. Terasawa and H. Wada, "The possibility of high frequency functional ceramic substrate", Ceram. Trans. 97, Am. Ceram. Soc., 1999.



- [8] H.D. Kaiser et. al., "A Fabrication technique for multilayer ceramic modules", Solid State Tech., p. 35-40, 1972.
- [9] H.J. Kwon, H.S. Shin, D.H. Yeo, J.H. Kim and Y.S. Cho, "Evaluation and optimization of dispersion in slurry preparation of commercial LTCC material", J. KIEEME, Vol. 21, No. 4, p. 341, 2008.
- [10] 여동훈, 신호순, 홍연우, "차세대 세라믹 패키징 재료 개발 동향", 전기전자재료 vol. 12, No. 9, p. 30, 2009.
- [11] J.H. You, D.H. Yeo, J.S. Lee, H.S. Shin, H.G. Yoon and J.H. Kim, "Effect of binder content on physical properties of LTCC green tapes", J. KIEEME, Vol. 19, No. 12, p. 1112, 2006.
- [12] U.K. Jang, H.S. Shin, D.H. Yeo and J.H. Kim, "Bonding of different materials using common glass in zero shrinkage LTCC", J. KIEEME, Vol. 19, No. 12, p. 1106, 2006.

담|당|위|원|



성 명 : 신호순

◆ 학 력

- 1991년  
경북대학교 공과대학 무기재료 공학과 공학사
- 1993년  
경북대학교 대학원 무기재료공학과 공학석사
- 1997년  
경북대학교 대학원 무기재료공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1997년 - 1998년 뉴욕주립대(Alfred) Post doc.
- 1998년 - 1999년 KIST Post doc.
- 2000년 - 2005년 삼성전기(주) 책임연구원
- 2005년 - 현재 한국세라믹기술원 나노IT융합센터 선임연구원
- 2008년 - 현재 동양미래대학 겸임교수

