

후막기술동향과 후막기술의 다양한 전개

글 _ 신효순, 여동훈
한국세라믹기술원 미래융합세라믹본부

1. 서론

세라믹스는 석기시대 돌도끼 빗살무늬토기 등 인류 문명의 시작이며 문명의 도구였다. 중세시대에 들어서면서 도자기로 대변되는 최첨단 기술로 중세 경제의 중심 무역품이었으며 20세기에 들어 도시화에 따른 산업과 도시 건축의 소재였다. 이것이 21세기에 이어져 나노 및 첨단 IT 기술의 핵심 소재가 되고 있다. 세라믹스는 플라스틱과 금속이 외형 위주의 구조물을 구성하는데 비해 첨단 장치 및 부품의 핵심 기능을 발현하는 소재이며 웰빙과 삶의 질 향상을 위한 친환경 친인간적인 소재이다.

최근 1세기 간 첨단 소재인 세라믹스는 소재를 적용하기 위한 공정에서도 많은 변화를 가져왔다. 단순히 bulk 형태의 제품 및 전자소자를 중심으로 발전한 초기의 공정기술과 달리 1940년대부터 시작된 후막공정을 이용한 제품의 출현과 반도체 기술과 함께 급성장한 박막공정이 지금은 보편화된 세라믹스 공정기술로 활용되고 있다. 특히, 후막공정은 기존의 bulk 형태의 제품 및 기능을 빠르게 대체하면서 소형화를 주도하는 기술이 되고 있다.

반도체는 Moore's law에 따라 급격한 집적화가 이루어졌으며 이들은 우리 생활 깊숙이 활용되고 있다. 그러나 전체 시스템의 소형화를 위하여 반도체 레벨의 나노급 공정기술과 더불어 관련 passive 부품 및 세라믹스 소자의 소형화가 또한 이루어져야 한다. 미래의 시스템 소형화를 주도할 기술은 바로 이와 같은 세라믹스 부품 및 소자의 소형화에 의해 이루어지며 그 핵심 기술이 후막 공

정기술이 될 것이다.

후막세라믹 산업은 MLCC(Multi Layer Ceramic Capacitor)와 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)로 대표되는 전자부품산업이 주류를 이루었다¹⁾. 그러나 최근에는 PDP 공정을 필두로 이차전지, 태양전지 등 다양한 부분에 후막 공정기술이 적용되고 있으며 앞으로 그 적용 범위가 더 늘어날 것이다. 이와 같은 관점에서 후막기술의 발전 동향을 간단히 기술하고자 한다.

2. 본론

2.1. LTCC 기술개발 동향

LTCC는 세라믹스 후막기술을 이용하여 다양한 회로 적층체를 구현하는 공정 및 소재를 말한다. 적층형 기판 소재로서 HTCC(High Temperature Co-fired Ceramic)가 후막공정의 초기에 사용되었으며 고주파화에 따른 전극 소재의 저항 증가로 인하여 Ag나 Cu가 전극으로 사용될 수 있는 저온 동시 소결 소재로의 전환이 LTCC의 시초가 되었다²⁾. 현재는 휴대기기용 각종 모듈과 package에 많이 적용되어 상용화된 기술이다.

LTCC는 일본의 Murata사와 Kyocera로 대변되는 세라믹스 대표기업이 기술개발을 주도하였으며 국내에서는 삼성전기(주), LG이노텍(주) 등의 대기업과 몇몇의 중소기업이 연구 개발 및 사업화를 진행하였다. LTCC 기술은 크게 후막 공정기술과 소재기술로 분류할 수 있다. Fig. 1은 LTCC 후막 공정기술의 변화 추이를 보여준다. 그림

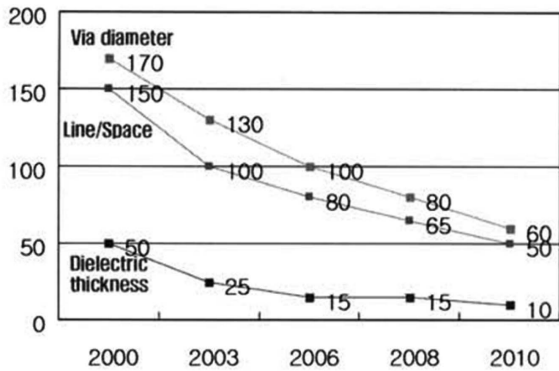


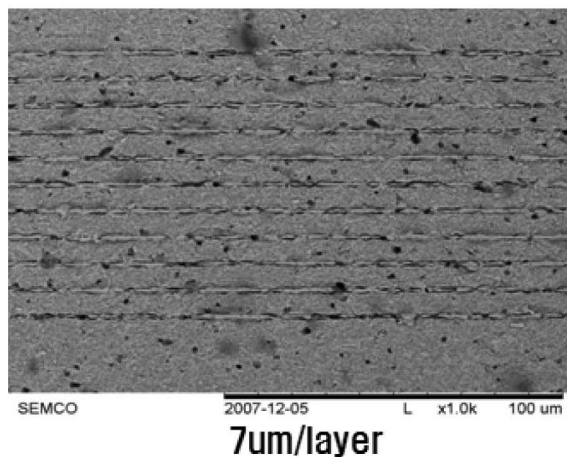
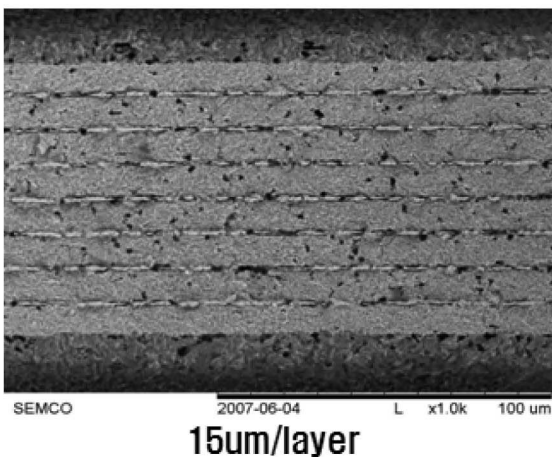
Fig. 1. LTCC 공정기술의 변화 추이.

에서 알 수 있는 바와 같이 via의 크기, line/space 및 유전체 층의 두께는 2000년대 급격히 감소하였으며 이 과정에서 전자부품의 소형화와 집적화를 주도 하였다. 그 결과 현재 최고 기술 수준은 아래 그림과 같이 via 60 μm, line/space 50 μm 및 유전체 두께 10 μm 수준까지 발전하였다. 그러나 현재 국내 양산 기술은 2006년 정도 수준에 머물러 있다. 유전체 층의 두께는 전극의 두께와 직접적으로 연관되기 때문에 RF 모듈 등에서 회로의 저항을 최소화하기 위하여 최소한의 전극 두께가 요구되고 이를 감안하면 유전체 두께의 감소는 어느 정도 한계에 이른 것으로 판단된다. Line/space의 경우 또한 screen printing 기술을 이용할 경우 한계 값에 상당히 접근한 것으로

보인다. 따라서 한계를 극복하기 위한 litho 기술이 최근에 정밀 patterning을 위하여 많이 연구되어 왔다. 한편, via의 크기는 주로 장비에 의존한다. 최근 강력한 레이저 장비가 공정에 도입되면서 LTCC에서 via는 punching의 문제가 아니라 via filling의 문제로 변화되고 있다.

LTCC 소재 기술 또한 2000년대에 많은 발전이 있었다. 주된 연구 방향은 고강도 소재, Pb free 소재, 저손실 소재 및 embedded 소재 등에 대한 것이었다. 이들 중 고강도 소재는 모듈의 고집적화와 고적층화에 따른 모듈 내의 응력이 증가하고 이를 극복하기 위한 소재의 강도 특성에 대한 요구가 증가하였기 때문에 지속적으로 연구되었다. 그 연구 방향은 결정화 glass를 적용하는 방향으로 진행되었으며 일본의 NEG사의 Anorthite상인 MLS-22 소재가 대표적인 고강도 소재로 자리 잡았다³⁾. 일본의 Kyocera사에서는 Cu 전극을 사용하여 환원분위기에서 고강도 소재를 양산에 적용하였고 이들은 3점 곡강도 350 MPa 이상의 높은 값을 나타내었다. Pb free 소재는 고강도화와 동시에 진행되어 고강도 소재 개발시에 Pb 조성이 배제되는 방향으로 연구가 진행되었다. 그 결과 초기에 미국의 Dupont사가 개발한 Pb계 소재를 대체하고 현재 상용 소재는 Pb를 포함하지 않는 것이 대부분이다.

저손실 특성은 세라믹스 기판 소재의 가장 큰 장점 중 하나이며 경쟁기술인 PCB(Printed Circuit Board)에 비하



출처: 삼성전기(주)

Fig. 2. BZN을 이용한 embedded capacitor 제작의 예.

여 이 소재가 제조 단가가 높다는 단점을 가지고 있다. 그러므로 LTCC 소재의 강점을 극대화하기 위해서는 손실을 최소화하기 위한 소재의 개발이 필요하게 된다⁴⁾. 특히, 주파수의 증가에 따라 손실의 문제가 더욱 중요하게 부각된다. 차량충돌방지용 모듈과 PAN 등 수십 GHz 초고주파 대역의 적용을 목적으로 하는 저손실 소재는 몇몇 후보군이 제시되어 있으나 아직 확실한 상용의 소재를 제공하지 못하고 있다. 그 이유는 초고주파 모듈 시장이 급격히 성장하지 않고 있기 때문일 수 있다.

LTCC 소재 중에서 embedded 소재에 대한 연구 분야의 관심은 최근까지 매우 증가되어 왔다. 그러나 상용화에 적용할 만한 결과를 제시해 주지 못하고 있다. Embedded 소재의 주된 요구 특성은 가장 많은 passive 부품이 사용되는 고용량 capacitor에 관한 것이었다⁵⁾. LTCC 모듈화 공정 중에 고용량의 capacitor를 구현하는 것을 목적으로 많은 연구가 진행되었으며 Fig. 2는 유전율 100 수준인 BZN계 소재를 이용하여 LTCC 내에 적층

형으로 embedding한 결과로서 동시소결이 가능하고 이 종소재간의 mismatching에 의한 crack이나 delamination이 없이 균일한 유전층이 형성된 것을 확인할 수 있다.

2.2. MLCC 기술에서 나노기술의 적용

후막 세라믹 기술의 대표적인 제품은 단연 MLCC라고 할 수 있다. 일본의 Murata, TDK, 태양유전, Kyocera 등이 대표적인 글로벌 기업이며 한국의 삼성전기가 2위권에 진입해 있다. MLCC는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 아이폰으로 대변되는 휴대기기에 필수적으로 사용되는 passive 부품이다. 이 부품은 Fig. 3에서 2의 PCB 상에 탑재되며 내부적으로는 μm 단위의 유전층과 전극층이 반복적으로 적층된 구조이고 이 유전체는 5의 전자현미경 사진에서 보는 바와 같이 grain 표면에 shell이 형성되는 나노 단위의 구조 제어를 통하여 특성을 구현한다.

최근 유전층의 두께가 $0.5\mu\text{m}$ 까지 접근함에 따라 사용되는 유전체 powder의 입자 크기 또한 점차 작아지고 있

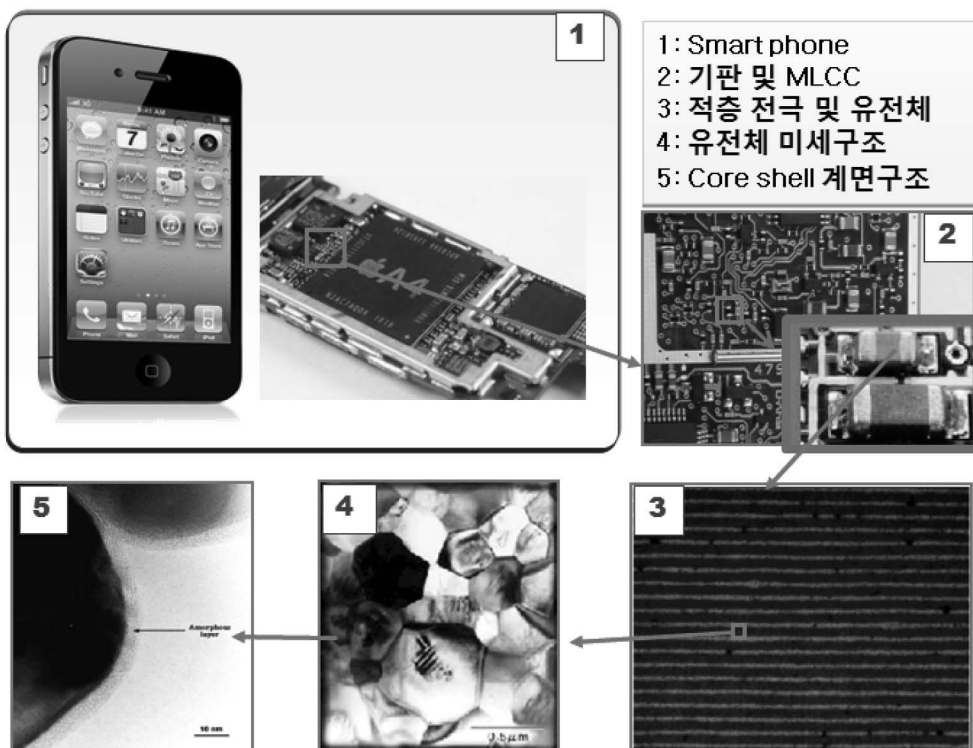


Fig. 3. IT 기기 내부 MLCC의 나노 후막 세라믹 기술.

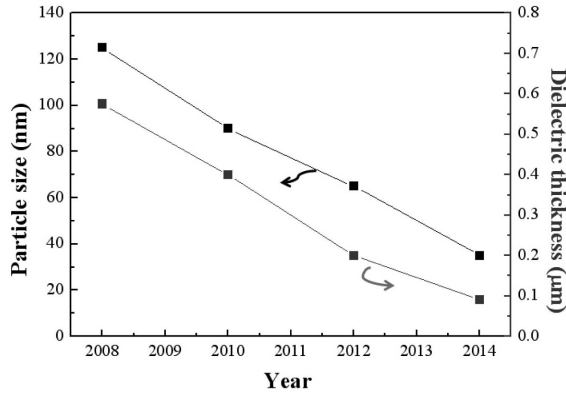


Fig. 4. MLCC에 적용되는 나노 BaTiO₃ powder 로드맵.

다. 현재 양산에 적용되는 최소 입자크기는 약 150 nm 수준이며 100 nm 크기의 BaTiO₃ 입자가 test 되고 있다. Fig. 4는 일본의 powder 업계에서 제시하는 BaTiO₃ 원료 powder의 입자 크기 감소 예측 로드맵이다. 그림에서 2014년에는 40 nm 이하의 원료 powder를 적용하는 실험이 진행될 것으로 예상하고 있다. 즉 초고용량 MLCC를 후막 공정으로 진행함에 있어서 나노 원료가 직접적으로 사용되어야 하는 단계에 이른 것이다. 예를 들어 각 유전체 층이 어느 정도의 균일성을 확보하기 위해서는

4~5개 이상의 particle이 쌓인 성형 후막을 만들어야 하고 이를 만족하기 위해서는 나노 입자의 적용이 필수 불가결 하다.

Fig. 5는 초고용량 MLCC 개발에서의 나노 powder 적용에 대한 전체적인 개념을 모식적으로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 나노 유전체 소재가 적용되면 그에 따른 첨가제 또한 나노 입자의 적용이 필수적이다. 특히, 저온 소성을 위한 나노 glass 입자를 적용하는 경우 나노 glass 입자 기술은 균일성을 확보하기 매우 어렵다. 나노 glass를 사용하지 않는다 하더라도 첨가제는 이미 100 nm 이하 대역의 나노 입자를 주로 사용하고 있다. 그리고 그림에서 보는 바와 같이 BaTiO₃ 나노 입자가 적용될 경우 전극 층 또한 더 얇아져야 하기 때문에 나노 Ni의 적용이 필수적이다.

MLCC에서 나노 size의 원료 적용은 필수적인 과정이 되었다. 그리고 그에 따른 나노 입자의 분산과 균일한 혼합을 위한 공정기술의 개발이 뒤따라야 한다. 물론 이와 같은 극한의 후막 기술이 MLCC 박층화 과정에서 현재와 같은 공정으로 적용될 수 있을지는 많은 의문이 제기 된다. 즉 어느 한계를 넘어서면 박막 기술로 전개되지 않을까 하는 의문은 언제나 중요한 화두였다. 그러나 공정

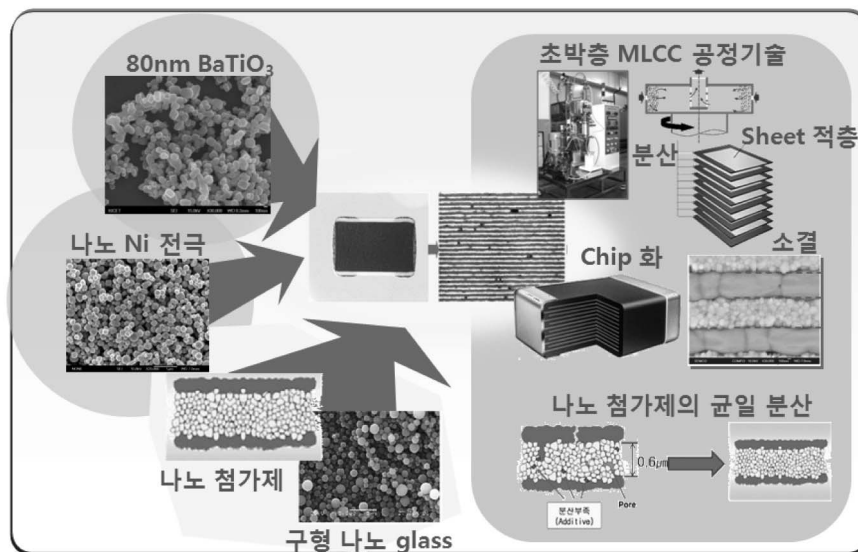


Fig. 5. 초고용량 MLCC의 나노 소재 적용.

단가 등 많은 후막 기술의 장점 덕택에 나노 기술을 적용한 후막공정 고도화는 계속될 것이다.

2.3. 후막세라믹스 기술의 새로운 전개

후막세라믹스 기술은 기존의 tape casting을 이용한 후막의 형성에서 새로운 공법을 적용하는 다양한 시도로 발전하고 있다. 대표적인 방법은 ink-jet을 이용한 후막의 형성이 있는데 최근 printed electronics라는 하나의 새로운 기술 군을 형성하면서 다양한 분야에 적용성을 타진하고 있다⁶⁾. Fig. 6은 ink-jet 방법을 이용한 적층형 모듈의 제조를 위한 개념도이다. 그림에서 각 적층 layer는 유전체 세라믹스를 이용한 ink로서 후막을 형성하고 각 층에 대하여 polymer resin을 jetting 함으로써 세라믹스/polymer 복합체 후막을 형성하는 개념이다. 이와 더불어 각 층에 형성되는 전도성 전극은 나노 금속 ink를 이용하여 회로를 형성하고 각 층간의 interconnection은 via를 통하여 전도성 ink를 충전함으로써 이루어진다. 이러한 적층형 모듈의 제조를 위한 기초적인 기술이 이미 개발되었으며 단가적 측면 등을 고려하여 application을 발

굴해야 하는 단계에 있다.

Ink-jet과 함께 최근 일본을 중심으로 많은 연구가 진행된 후막 형성의 방법으로는 AD(Aerosol Deposition)법이 있다. 이 방법은 sub-micron 크기의 입자를 음속에 가까운 고속으로 분사하여 상온에서 후막 세라믹스를 형성하는 것으로 공정온도가 낮고 후막의 형성 속도가 매우 빠르다는 장점을 가지고 있지만 아직까지는 연구 단계의 기술로써 새로운 적용 사례를 만들어갈 필요가 있다⁷⁾.

이들 신 공정기술 이외에도 전통적으로 많이 사용되어 온 screen printing법과 off-set 방법은 다양한 분야에 적용되면서 발전하고 있다. 이들 방법은 공정 단가가 낮아서 후막을 이용하는 제품의 가격 경쟁력에 도움을 줄 수 있다는 것이 큰 장점이며 최근 mesh의 발전, paste화 기술의 발전 및 인쇄 장비의 개선으로 대형 패널의 저가격 후막 형성 공정으로 그 적용 범위를 넓혀가고 있다. 대표적으로 PDP 산업의 경우 대형 패널에 대한 후막 유전체 층의 형성 공정과 전극의 형성 공정에 이들 방법이 이용되고 있다⁸⁾. 그리고 태양전지 등 차세대 에너지 산업과 RFID 등 미래 정보 산업에서도 screen printing과 off-set

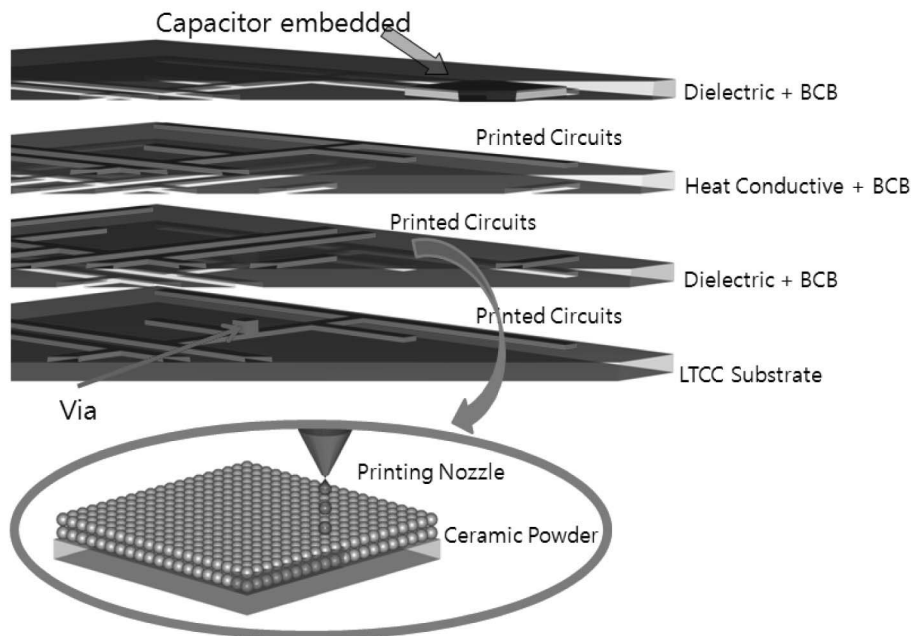


Fig. 6. Ink-jet을 이용한 후막 적층형 모듈의 제조 개념도.

Table 1. 세라믹스 후막 공정 기술의 장단점 비교

방법	장점	단점
Tape Casting	값싸고 안정	기판 위 성형 어려움(flexible 기능)
Screen printing	가장 싸고 안정	균일 분산이 어려움
Off-set 인쇄	Set-up후 대량 생산 장점	장비 set-up이 어려움
Sol-gel(Spin, Deep, Spray)	얇은 균일 막	두께 증가 난해
Ink-jet	Pattern 형성가능	두께 증가 난해, 양산 적용사례부족
AD법	소결 공정 無	양산 기록 없음

방법이 저가격화를 무기로 적용의 폭을 넓혀가고 있다⁹⁾.

Table 1은 대표적인 후막세라믹스 형성 기술에 대한 장단점을 비교한 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 각 공정은 장점과 단점을 분명히 가지고 있어서 이들 방법을 어떻게 적용할 것인가를 검토하는데 있어서 주의할 필요가 있다. 즉 각 제품이 요구하는 후막의 수준과 제품의 단가 및 후막의 요구 두께에 따라 검토할 수 있는 후막세라믹스 형성 방법은 달리 선택되어야 한다.

Fig. 7은 이들 후막 형성 공정을 가격과 막의 두께 관점과 신기술성과 양산기술의 안정성 관점에서 나타낸 그래프이다. 그림에서 표시된 영역은 절대적인 값이 아니며 경험을 바탕으로 대략적인 범위를 표시한 것이다. 이것은 처음 후막 세라믹스를 이용하고자 하는 많은 사람들이 궁금해 하고 비교하고자 하는 대략적인 영역을 표시한 것으로 이를 이용하여 각 공정에 대한 기초적인 비교를 한 후 전문가의 조언을 통하여 원하는 적절한 방법을 설정하는 것이 필요할 것이다.

3. 맺음말

후막세라믹스는 전술한 바와 같이 오랜 기간 동안 세라믹스의 발전과 산업의 요구에 대응하면서 그 유용성을 넓혀왔다. 최근까지 소형화 복합화에 대한 전자산업의 요구를 반영하여 주도적인 모듈화 기술을 이끌어 온 것 또한 산업에서의 중요한 역할이었다. 이제는 bulk 세라믹스 시장이 정체되고 기능성 세라믹스는 후막과 박막 기술을 기반으로 발전되고 있다. 따라서 후막기술은 다양한 세라믹스의 기능을 요구하는 미래 산업의 발전과 더불어 그 적용 범위를 넓혀 나갈 것이다. 이를 반영 하듯이 ink-jet, AD 등의 새로운 방법에 대한 열기가 더욱 증가하고 있으며, 기존 공정들 또한 저가격의 장점을 바탕으로 적용 범위를 넓혀가고 있다. 다양한 후막의 적용에 있어서 이들의 장단점을 정확히 이해하고 최적의 방법을 선정하는 것이 제품 경쟁력의 핵심으로 작용하므로 후막 세라믹스에 대한 활발한 기술적 교류와 이해가 필수적이다.

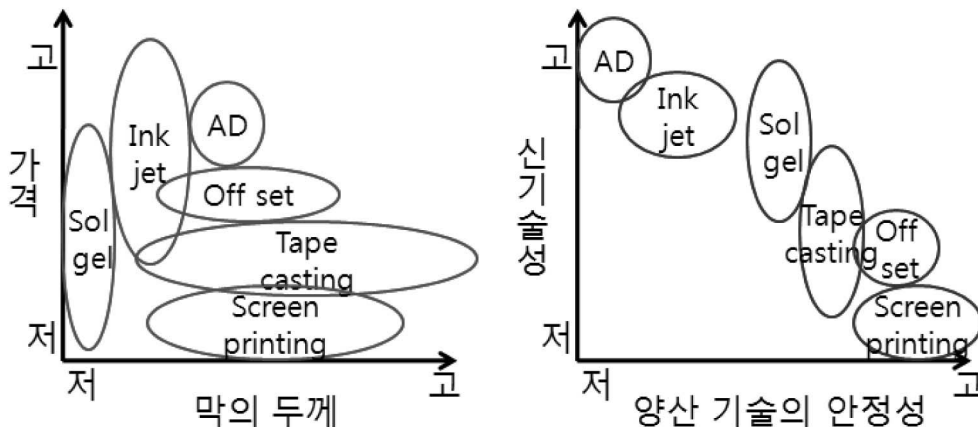


Fig. 7. 세라믹스 후막 성형 기술의 특징 상호 비교

참고문헌

1. 신효순, "LTCC에서 세라믹스 후막 공정 기술 동향", *전기전자재료*, **23** [12] 17-23 (2010).
2. Y. Imanaka, "Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology", pp. 1-14, Springer, New York, 2004.
3. Z. H. Park, H. S. Shin, D. H. Yeo, J. H. Kim, S. Nahm, and S. I. Gu, "Strength Properties of a LTCC Substrate Material with an Anorthite Glass Composition", *J. Korean Phys. Soc.*, **53** [5] 2654-58 (2008).
4. J. Mazierska, M. V. Jacob, A. Haring, J. Krupka, P. Bamwell, and T. Sims, "Measurements of Loss Tangent and Relative Permittivity of LTCC Ceramics at Varying Temperatures and Frequencies", *J. Eur. Ceram. Soc.*, **23** 2611-15 (2003).
5. M. Matters-Kammerer, U. Macke, K. Reimann, R. Pietig, D. Hennings, B. Schreinemacher, R. Mauczok, S. Gruhlke, and C. Martiny, "Material Properties and RF Applications of High k and Ferrite LTCC Ceramics", *Microelectronics Reliability*, **46** 134-43 (2006).
6. N. Ramakrishnan, P. K. Rajesh, P. Ponnambalam and K. Prakasan, "Studies on Preparation of Ceramic Inks and Simulation of Dropformation and Spread in Direct Ceramic Ink Jet Printing", *J. Mater. Process. Tech.*, **169** 372-81 (2005).
7. J. Akedo, "Aerosol Deposition of Ceramic Thick Films at Room Temperature: Densification Mechanism of Ceramic Layers", *J. Am. Ceram. Soc.*, **89** [6] 1834-9 (2006).
8. H. W. Lin, C. P. Chang, W. H. Hwu and M. D. Ger, "The Rheological Behaviors of Screen-Printing Pastes", *J. Mater. Process. Tech.*, **197** 284-291 (2008).
9. S. H. Hong, S. I. Gu, H. S. Shin, D. H. Yeo, J. H. Kim, and S. Nahm, "Synthesis and Low-temperature Sintering of CuInSe₂-CuGaSe₂ Powders", *J. Kor. Phys. Soc.*, **57** [6] 1020-3 (2010).

●● 신 효 순



- 1997년 2월 경북대학교 무기재료공학과 공학박사
- 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 선임연구원

●● 여 동 훈



- 1996년 성균관대학교 전기공학과 공학박사
- 1998년~2000년 펜실베니아주립대학교 Post-Doc
- 2000년~2004년 (주)한원마이크로웨이브 연구소장
- 2004년~현재 한국세라믹기술원 책임연구원