

# 전자세라믹을 이용한 전자부품 및 원료 합성 방법



윤중락 연구소장 (삼화콘덴서공업(주) 연구소)

## 1. 서론

세라믹 (Ceramic)이란 비금속 무기 화합물 소재를 열처리한 것을 총괄하여 부르는 말로써 전통세라믹과 파인세라믹으로 분류할 수 있다. 파인 세라믹은 "고순도 정제 또는 합성분말을 이용하여, 정밀히 제어된 화학조성과 성형, 소성공법에 의해서 제조된 특정 기능을 발휘할 수 있는 고정밀 재료로써 IT, BT, ET 등 전 산업 분야에 폭 넓게 사용되는 소재이다. 그림 1은 파인 세라믹의 기

능과 용도를 나타낸 그림으로 구조와 기능으로 크게 분류할 수 있으며 기능적 측면에서는 열적 특성, 기계적 특성, 광학적 특성, 전자기적으로 구분된다. 응용 분야로써는 전기, 전자, 정보통신 분야, 의료, 에너지, 항공 우주 분야에 적용되고 있으며 녹색 기술, 첨단 융합 산업의 구현의 핵심 소재로써 21세기 융합산업혁명 소재로 재조명 받고 있다. 세라믹을 응용 산업으로 분류하면 전자세라믹, 에너지·환경 세라믹, 기계·구조 세라믹, 바이오 세라믹, 전통 세라믹으로 분류할 수 있다. 대표적인 에너지·환경 세라믹 소



그림 1. 파인 세라믹의 기능과 용도.



재료는 단열소재, 열전소재, 연료전지, 이차전지 소재 등이 있으며 기계·구조 세라믹으로는 자동차, 정밀기계, 항공우주 산업에 적용되는 고강도, 내열, 내식 소재가 있다. 바이오 세라믹 소재는 기능성 임플란트, U-Healthcare 확대로 생체분자 분리/정제, 바이오 진단용 센서 등에 적용이 확대되고 있다.

전자세라믹은 전기, 전자 기술 분야인 디스플레이, 반도체, 무선통신기술 등에 사용되는 주요 핵심 소재 및 부품으로써 전기·전자적 성질을 이용한 것이다. 국내 전자세라믹 산업은 '90년대 중반 이후 가장 큰 폭으로 수요가 증대되었으며 국내시장은 연평균 10% 이상의 성장률을 기록하며 세계시장(연평균 6% 이상)의 2배로 급성장하고 있다. 전자세라믹 산업의 국내수요는 연평균 10~18%로 성장하여 2008년 3조 6천억 원에 이르렀고 국내 전자세라믹 시장의 약 60%를 수입에 의존하고 있다. 통신용 IT 부품의 경우 고주파화, 경박 단소화, 멀티칩 모듈화가 요구되고 있으며 이에 대응하여 신소재 개발이나 새로운 공정 기술이 진행되고 있다. 전자세라믹은 성능에 따라 유전성, 자성, 압전성, 전도성, 절연성 등을 이용하며 특히, 최근에는 센서 및 소재 분야에서 나노테크놀로지가 주목 받고 있으며 나노 현상을 해석하거나 소재를 나노화하여 새로운 기능을 부여하고 시스템 융합화하려는 요구가 증대되고 있다. 최근 전자세라믹의 발달은 스마트폰과 같은 모바일 IT기기에 사용되는 부품의 80% 이상을 차지할 정도로 핵심적인 역할을 하고 있다. 본고에서는 차세대 IT 부품 핵심소재인 전자세라믹을 이용한 부품 기술 및 전자세라믹 원료 제조공정에 대하여 기술하고자 한다.

### 1.1 전자세라믹 범위와 분류

전자세라믹은 차세대 IT 부품소재의 70%를 차지하며, 국가 성장 동력산업인 디스플

표 1. 대표적인 전자세라믹 개발 방향.

구분	현재 기술	개발 방향	
전자세라믹 소재	유전체/박막	· High-k · 저온공정기술 · Low loss, low leakage	· 초고직접화, 초고속화 · 저전력, 저온공정 · 초소형화, 조경량화
	압전체	· MEMS, 소형화 · 초정밀 미세가공 · 고성능, 대변위 · 무연계 친환경화	· 초소형화, 직접화 · 다기능화 (E-harvesting, Multi-functional sensor), 복합화 · 고성능화, 지능화 · 저전력
	자성체	· 마이크로/나노자성체 · GMR, TMR · Reproducibility · 초상자성효과 · Gbit MRAM	· 고밀도, 고성능 · 저전력, 대용량화 · 고감도화, 고집적화 · High speed MRAM · Spintronics

레이, 이동통신, 메카트로닉스 (자동차, 로봇) 산업의 핵심소재로서 연평균 20% 이상 성장하고 있다. 전자세라믹은 전자적, 전기적, 자기적, 광학적, 화학적, 반도체 및 열적 기능을 이용한 것으로 전기에너지를 운동에너지로 변환하는 압전성, 전력, 전자기기 및 도체에서의 전류를 막기 위해 사용되는 절연체, 절연체에 자기장을 걸어주면 재료의 결정구조에 유전성이라 부르는 전기분극 현상이 발생하는 유전체, 물질을 자계 중에 놓으면 자기모멘트가 자장의 방향에 평행 또는 반평행으로 배향하는 것에 의해 자화 (Magnetization)하는 자기적 성질이나 자기 현상을 이용한 자성체, 환경 변화에 따라 전기 저항이 변화하는 반도체 세라믹이 있다. 표 1에 대표적인 전자세라믹의 현재 및 향후 요구되는 기술을 정리하였다. 최근에는 현재의 실리콘 반도체에 비하여 가격이 싸고 투명하면서 우수한 전기적 특성을 발현 할 수 있는 첨단 반도체 세라믹에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 첨단 반도체 세라믹은 본래 투명하면서 전도성을 갖는 성질을 이용한 투명 전극 소재를 이용한다. 2000년대부터 N형 반도체 세라믹인 ZnSnO, InGaZnO 등을 이용한 TFT 제작이 보고되었다. 최근에는 박막 기술의 발달에 기인하여 SiC, ZnSe, ZnO, GaN 등은 단파



장 (청색, 자외선) 발광소자의 소재로 연구되고 있으며 일본 동경공대는 p-SrCu<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/n-ZnO p-n 접합구조로 자외선 영역의 EL을 구현하기도 하였다. P형 반도체 세라믹 개발을 통한 투명 CMOS, 투명 스마트카드, 투명 백색 LED 등이 개발될 것으로 예상된다. 미국의 NSF, DARFA, HP, 일본의 Sony, Canon, 토판, 샤프, 히타치, DNP 등의 산업체에서 산화물 반도체 기반 터치패널, 투명전자소자, 고정밀 디스플레이 및 광소자에 대한 원천기술 확보 및 개발에 주력하고 있다.

### 1.2 정보통신 기기에 적용되는 세라믹의 종류

전자세라믹의 특성을 향상시키기 위하여 새로운 물리현상을 이용한 신재료 개발이나 새로운 프로세스 기술에 의한 정밀 제어된 소재 개발이 진행되고 있으며 다양한 요구 특성을 만족하기 위하여 융복합이 진행되고 있다. 특히, 모바일 IT의 경우 얇으면서도 제한된 공간 내에 새로운 기능을 추가하여야 하므로 복합 세라믹 부품류의 채택 및 기술적 진화가 급속히 진행되고 있다. 그림 2에 스마트폰에 적용되는 전자 부품을 나타내었으며 표 2에 정보통신 분야에 적용되는 대표적인 부품을 정리한 것으로 국내시장이 2010년 18,447억 원에서 2020년에는 27,082억 원으로 증가될 것으로 예상되며 세계시장은 2010년 336억 달러에서 2020년에는 492억 달러로 예상된다.

대표적인 부품의 기술 동향 및 특성을 정리하면 표 2와 같다.



그림 2. 스마트폰에 적용되는 전자세라믹 부품.

표 2. 정보통신기기에 적용되는 전자부품.

정보통신	모바일 IT	· SAW필터, TCXO (온도보상형 수정발진기), 마이크로파용 유전체 필터, 노이즈 제어시트, MLCC, 칩 인덕터 기타
	표시 디스플레이	· 디스플레이유리, 평면디스플레이유리, 디스플레이형광체, PDP Rib, 압전트랜스 기타
	광부품과 광통신	· 광학렌즈, 반도체용 렌즈, 각종발광체, 광 화이버, 광 화이버 증폭기, 광통신 커넥터용 지르코니아 페룰 기타
	컴퓨터	· 다층세라믹 회로기판, 세라믹패키지, 반도체디바이스용 질화알루미늄기판, 방열기반용 탄화규소 기타
	OA기기	· 저온소성 세라믹스 다층기판을 이용한 하이브리드 IC, 잉크젯프린터 헤드, 열프린터 헤드, 박막자기 헤드 슬라이더용 세라믹스재, 상변화형 광디바이스, 기타
	가전기기	· PTC 써미스터, 입계절연형 콘덴서/바리스터, 원동세라믹스 콘덴서, 권선 칩인덕터, 트랜스코어, 편향 요크용 페라이트코어, 기타
	오디오	· 자기헤드(페라이트), 자기테이프, 적층형 세라믹 스피커, 기타
디지털 정보기기	· 압전자이로, 초음파모터, 적층칩 LC 필터, 단결정 사파이어 기판, 스위칭 전원용 소형전원 트랜스, 기타	

#### 1.2.1 적층 칩 세라믹 커패시터 (Multilayer Ceramic Chip Capacitor, MLCC)

최근 전자기기의 다기능화 소형화 추세가 진행됨에 따라 정보통신 IT기기의 소형화와 성능향상도 빠르게 진행되고 있으며 수동부품의 기술개발 경쟁이 가속화되고 있다. 최근 유전체층과 내부전극층의 박층화에 기반한 고용량제품 개발이 급속히 진행되고 있다. 그



림 3은 적층 칩 세라믹 커패시터 구조를 나타낸 그림으로 세라믹 유전체와 전극층이 적층된 구조로써 Ni 전극을 이용한 MLCC의 경우 유전체로는  $\text{CaZrO}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ 계가 주로 사용되고 있다. 적층 칩 세라믹 커패시터의 용량은 유전율과 유효전극 면적, 유전체두께 그리고 적층수에 의해 결정됨을 알 수 있다.

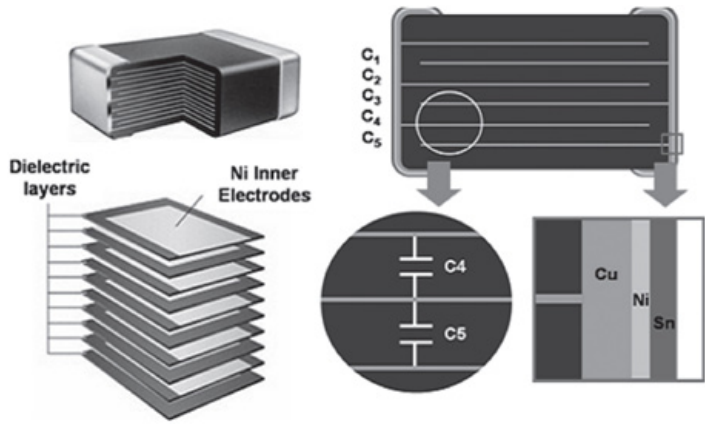


그림 3. 적층 세라믹 커패시터 구조.

칩 크기와 유전체가 결정된 상태에서는 유전체 두께와 적층수가 고용량을 구현하는데 있어서 핵심 설계요소가 된다. 이에 따라 유전체층의 박층화가 유전체재료 개발과 함께 적층 칩 세라믹 커패시터 기술개발에 중요한 요소로 작용하고 있다. 유전체를 박층화기술은 나노 분말 합성 기술 및 후막기술을 이용하여 유전체층 두께 약  $0.6 \mu\text{m}$ , 내부전극층 두께  $0.5 \mu\text{m}$  수준이 개발, 적용되고 있다. 유전체의 두께가  $0.6 \mu\text{m}$ 까지 접근함에 따라 사용되는 유전체 분말의 입자 크기 또한 점차 작아지고 있다. 현재 양산에 적용되는 최소 입자크기는 약  $150 \text{ nm}$  수준이며  $80 \text{ nm}$  크기의 유전체 원료가 검토 되고 있다. 고용량 적층 칩 커패시터에서 유전체 층에서 신뢰성 확보하기 위해서는 4~5개 이상의 입자 (Grain)가 형성되어야 하므로 나노 입자의 적용이 필요하며 나노 분산과 균일한 혼합을 위한 공정기술의 개발이 뒤따라야 한다. 제조공정 측면에서는 내부 전극 인쇄기술, 적층 기술이 필요하여 급속온 소성 (Rapid sintering) 기술, 열처리 기술, 신뢰성 평가 기술이 요구된다.

**1.2.2 적층 칩 인덕터 기술**

칩 인덕터는 전자기기의 디지털화, 고주파 및 소형 경량화, EMI대책의 필요 증가에

따라서 적용 영역이 증가되고 있다. 스마트폰에서 사용되는 칩 인덕터는 스마트폰 종류에 따라 다르나 적층형 세라믹 칩 인덕터가 세트당 10~20개, 적층형 페라이트 비드가 4~8개, 권선형 세라믹 칩인덕터가 2~6개, 적층형 파워 인덕터 10~20개씩 사용된다. 적층형 세라믹 인덕터는 페라이트 인덕터와 세라믹 인덕터가 있는데 페라이트 인덕터는 주로 저주파수 대역에서 광범위한 용량을 구현하는데 사용되고 세라믹 인덕터는 고주파수 대역에서 회로 설계용으로 많이 적용되고 있으며 최근에는 직류중첩 특성과 직류저항값이 낮은 칩 파워 인덕터의 수요가 증가하고 있다. 파워 인덕터는 DC-DC 인버터와 연결되는 부품으로써 기존 권선형에서 적층형 파워인덕터로 개발되고 있다.

그림 4는 적층 칩 인덕터의 주요 구조로써 페라이트 재료와 내부전극으로 구성되어 있으며 고주파 인덕터의 경우 페라이트 대신 저유전율을 가지는 유전체를 사용한다. 적층형 인덕터에 사용되는 소재는 내부전극으로 사용하는 은 (Ag)의 용점을 고려하여 Ni-Zn-Cu계 페라이트에 저온 소결 조제나 글래스를 첨가한 조성을 사용한다. 최근 사용량이 급격히 증가하고 있는 칩 파워 인덕터용 소재는 직류 중첩 특성의 향상을 위하여 미



세구조 치밀화, 결정립의 크기, 자구의 미세화에 영향을 주는 입계 제어 등이 필요하다. 제조공정 측면에서는 분말을 분산시킨 슬러리의 균일성 및 안정성을 확보하기 위하여 적절한 분말 크기를 가지면서도 분말 입도 분포가 좁은 것이 필요하다. 특히, 내부전극과 동시 소성할 때 내부전극과 세라믹층 간의 계면에서 수축률 차이로 인한 잔류 응력에 의해 인덕턴스 (L) 및 품질계수 (Q)의 저하가 발생할 수 있으므로 그린시트 및 내부전극의 설계가 중요하다. 일반적으로 품질계수를 높이기 위하여 내부 전극 두께를 높게 형성하는 방법을 적용하고 있으나 전극과 세라믹 계면에서의 응력에 의해 설계치 대비 낮은 인덕턴스 및 품질 저하가 발생하거나 De-lamination에 의한 불량률이 증가한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 그림 4의 제조 공정에서 내부전극, 비아 홀 형성, 적층 공정에서 드라이 (Dry) 방식과 습식 (Wet)의 장점만을 취합하여 제조하는 경우도 있으며 최근에는 그린시트 표면에 레이저를 조사한 후 형성된 패턴 형상에 내부전극을 채워 넣는 방식도 개발 진행 중에 있다.

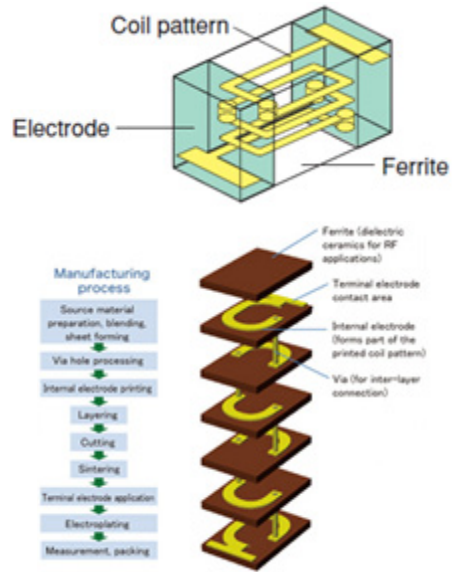


그림 4. 적층 칩 인덕터 구조 및 제조 공정도.

### 1.2.3 박형 압전스피커

최근 디스플레이 기술이 OLED TV, Tablet PC, 스마트 폰과 같이 다양한 기능을 가지면서 박형의 요구에 따라 박막형 스피커의 요구가 증가되고 있다. 오디오 분야에 적용되는 대부분의 스피커는 동작 원리에 따라 다이내믹형과 콘덴서형으로 구분된다. 다이내믹형은 콘형, 돔형, 리본형으로 구분되며 콘덴서형은 동작 방식에 따라 압전형, 정전형으로 세분화된다. 그림 5에 대표적인 다이내믹 콘형과 압전 콘덴서형의 스피커 구조를 나타내었다. 압전 스피커형은 기존 VCM (Voice Coil Motor) 스피커의 한계를 극복하고 두께가 1 [mm]인 제품이 상용화되기 시작하였으며 소형, 저전력에 대한 장점이 있는 반면 저 음역 대역 특성 저하, 높은 구동

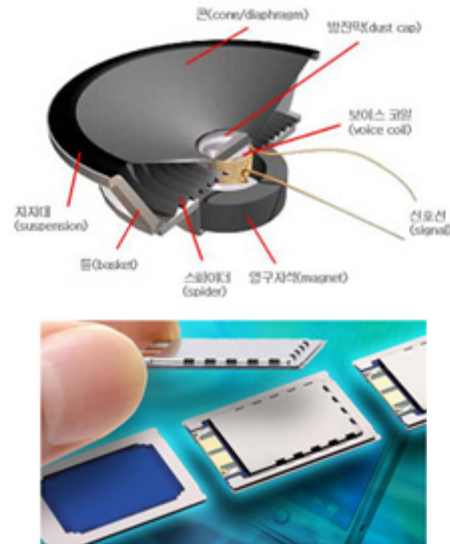


그림 5. 다이내믹 콘형과 압전 콘덴서형 스피커 구조.

전압 및 경제성에서 해결해야 할 문제가 있지만 다이내믹 스피커를 대체해 나아갈 것으로 전망된다. 압전 스피커의 대표적인 구조는 그림 5와 같이 압전 세라믹 진동판, 멤브레인 및 하우징으로 구성되며 압전 세라믹



진동판은 인가된 전압을 기계적 진동으로 변환 시키는 역할을 하며 단층형과 적층형으로 나누어진다. 멤브레인은 압전진동판의 진동에 따라 변형되어 진동을 댐핑(Damping)시켜 소리를 형성하는 역할을 하며 폴리머 또는 폴리머와 금속의 복합층으로 제조된다. 압전 외국의 경우 Murata, Taiyo Yuden, TDK (일본), Sonitron (벨기에)이 선도하고 있으며 국내 경우에는 이노칩, 아모텍, 삼화콘덴서에서 개발 진행 중에 있으며 ETRI, 전자부품연구원, 한국세라믹 기술원에서 연구가 진행되고 있다.

## 2. 전자세라믹 분말 제작 방법

전자세라믹 원료 분말 제조공정 표 3과 같이 크게 고상반응 공정, 액상 반응 공정 및 기상 반응 공정으로 분류할 수 있다. 고상반응공정은 대량의 세라믹 분말을 제조할 수 있는 방법으로써 원료에 따라 밀링 미디어로 스틸 혹은 세라믹 볼을 분말과 함께 엔지니어링 플라스틱 또는 지르코니아로 만들어진 용기 안에 넣고 고속으로 회전시켜 혼합, 밀링한 후 하소 공정을 통해서 분말을 제조한다. 밀링 시 유기 첨가제나 밀링 미디어로부터 나오는 불순물들이 제조된 세라믹 분말 내에 존재할 수 있기 때문에 고순도의 세라믹 분말을 합성하는데 제한 요건이 있다.

액상반응공정은 대표적으로 화학침전법 (Conventional Chemical Precipitation Method) 수열 합성법 (Hydrothermal Method), 졸-겔 합성

표 3. 대표적인 세라믹 원료 분말 제조공정.

대분류	세분류	내용(범위)
고상 반응 공정	기계적 밀링 (Physical Milling)	고에너지 기계적 밀링 (High Energy Mechanical Milling Method)
액상 반응 공정	화학적 습식 공정 (Chemical Wet Process)	공침(Co-precipitation) 솔-겔(Sol-gel) 중화반응(Neutralization) 가수분해(Hydrolysis) 수열합성반응(Hydrothermal/Solvothermal Reaction)
	물리적 습식 공정 (Physical Wet Process)	분무열분해(Spray Pyrolysis) 분무건조(Spray Drying) 동결건조(Freeze Drying)
기상 반응 공정	화학적 기상 반응공정 (Chemical Vapor Process)	고주파 플라즈마 화학공정 (High-frequency Plasma Chemical Process)
	물리적 기상 반응공정 (Physical Vapor Process)	열증착법 (Thermal evaporation) 펄스레이저 증착법 (Pulsed Laser Deposition)

법 (Sol-Gel Synthesis Method)이 있다. 수열합성법은 균질한 수용액이나 전구체 현탁액을 승온, 승압하여 세라믹을 합성하는 방법으로 저비용으로 낮은 온도에서 작은 결정립 크기와 나노 크기의 세라믹 분말을 만들 수 있는 장점이 있다. 졸-겔 합성법은 금속 산화물들의 가수분해 및 축합 반응을 통하여 얻어진 겔을 열처리하여 유기성분을 제거하고 금속 산화물을 얻는 방법으로써 분말의 우수한 전기적 물성과 높은 화학적 순

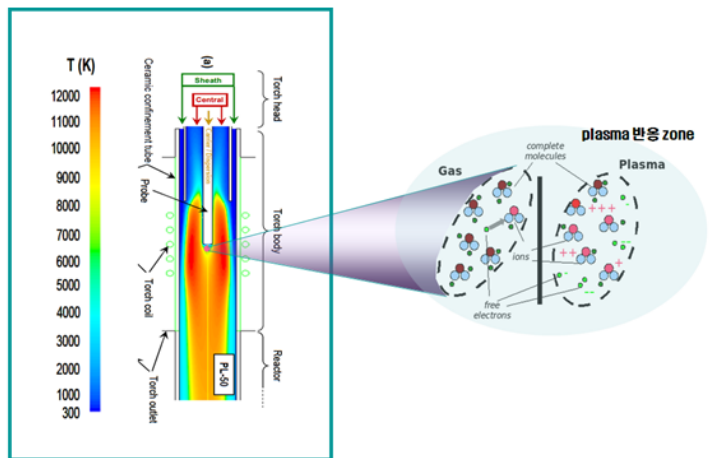


그림 6. 유도 자기장을 이용한 고온 플라즈마 장치.



도를 얻을 수 있어 응용 영역이 확대되고 있다. 기상반응공정은 대표적으로 가열 증발 응축법 (Inert Gas Condensation), 연소합성법(Combustion Synthesis), 고주파 플라즈마 이용한 화학적 합성법 (High Frequency Plasma Chemical Process)이 있다. 기상 반응공정은 원료가 기상으로 전환되어야 하기에 고용점을 갖는 원료와 증기압이 낮은 원료를 사용할 수 없고 배치 (Batch) 형식으로써 대량 공정 적용이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 가스증발 응축법은 용점이 낮고 증기압이 높은 소재를 진공 배기 (불활성 가스, He, Ar, Xe, Ne)된 챔버 안에서 가열 증발시키고 진공 배기된 챔버 내에 이송가스 챔버의 한 공간에 액체질소로 냉각된 냉각봉을 설치하여 두 지점간의 온도차에 의한 열영동력에 의해 나노 입자를 냉각봉에 응축시키는 원리로서 순도가 우수하고 입자가 균일하며, 사용 원료의 제한이 적다는 장점을 가지고 있다. 고주파 플라즈마에 의한 합성법은 그림 6과 같이 유도 자기장을 발생시킨 플라즈마 고온 영역의 중앙에 원료 (전구체)를 주입시켜 순간 증발을 유도하고 증발된 원료들을 플라즈마 토치의 시스 (Sheath)가스로 주입된 산소가스와 반응하여 나노 금속 산화물을 만드는 원리이다. 주로 평균 입도가 20~100 nm 크기의 고순도 나노 입자에 제조에 적용되며 연속 공정이 가능하고 고부가가치 응용에 적용되고 전자세라믹용 부품인 MLCC용 유전체에 구형 나노 글래스 제조에 사용되고 있다.

### 3. 결론

전자세라믹을 이용한 IT용 전자 부품의 수요는 급격히 증가하고 있는 고기능, 박막화에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 전자세라믹 소재의 나노화, 원료 균일화 및 제조 공정에 대한 기술 개발이 급격히 진행되고 있으며 이와 관련한 기술 개발 및 연구가

활발히 진행되고 있다. 최근 첨단 전자세라믹에 대한 연구 및 산업 수요가 증가되고 있으며 이에 대한 연구를 통하여 센서, 차세대 디스플레이 소자, 차세대 반도체등의 영역이 확대 될 것으로 예상된다.

### 참고 문헌

- [1] 중소기업청, "2013 전자세라믹 산업 로드맵", 2013
- [2] 위성권 "MLCC 제품 개발 동향", 세라미스트 제 14권 1호, 2011
- [3] 윤중락, 김민기, "세라믹 커패시터용 유전체 재료 및 기술동향", 전기전자재료 제23권 제 12호, 2010
- [4] 신호순, 여동훈, "후막기술동향과 후막기술의 다양한 전개", 세라미스트 제 14권 1호, 2011.
- [5] 여동훈, 이준석, "칩 페라이트 소재 · 부품의 기술 및 시장 동향" 전기전자재료 제 24권 제 9호, 2011.
- [6] 양우석, 김혜진, 이재우, 김중대, "초소형 음향소자의 기술 및 산업 동향", 전자통신동향 분석 제 25권 제 5호, 2010.
- [7] Yasuharu Onishi, Jun Kuroda, Yukio Murata, Motoyoshi Komoda, Nozom Toki, Yasuhiro Sasaki, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, "The Development of Ultra Thin Speakers for Mobile Phones" Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, 23-27, 2010.
- [8] 재료기술연구소, 소재기술백서 2011년.

### 제자약력



성명 : 윤중락

◆ 학력

- 1991년 명지대학교 공과대학 전기공학과 공학사
- 1993년 명지대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 1999년 명지대학교 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1994년 - 1996년
- 1996년 - 현재

한국쌍신전기 선임연구원  
삼화콘덴서공업(주) 연구소장  
연구소장