

# 나노분산 및 무소결 저온 공정에 의한 3-D Integration Ceramic 기술

글 \_ 김종희  
한국세라믹기술원

## 전자산업 기술의 Mega Trend와 세라믹 소재

현재 전자산업 기술의 Mega Trend는 급속한 Digital Convergence에 의해서 실현을 눈앞에 두고 있는 Ubiquitous 환경과 이 환경 속에서 응용가능성이 점차 커지면서 그 영역을 넓혀가는 BT-NT-ET-IT의 융합기술로 대변될 수 있을 것이다. 이러한 유비쿼터스와 융합기술 환경 하에서는 모든 정보와 멀티미디어가 언제, 어디서나 24시간 끊임 없이 서비스가 가능하여 지며 이를 위해서는 항상 다양한 정보 및 서비스의 송신 및 수신이 동

시에 가능한 휴대 단말기가 필요하게 될 것이다.

이러한 차세대 휴대 단말기는 현재 휴대폰의 전화기능, 카메라, DMB 이외에도 Mobile Internet, Health care 서비스, Home network 등 더욱 다양한 서비스가 가능해야 할 것이다. 그러기 위해서는 단말기의 일정한 volume내에 현재 보다 훨씬 많은 기능의 탑재가 필수적이며, 이에 단말기내의 부품 실장밀도의 급격한 증가가 요구되고 있다. 현재의 최대 부품 실장밀도를 50개/cm<sup>2</sup> 정도로 보고 있는데, 위에 언급된 유비쿼터스 및 융합기술 환경을 만족시키기 위해서는 현재의 100배에 해당하는 5000개/cm<sup>2</sup>가 요구되는 것으로 알려져 있다.

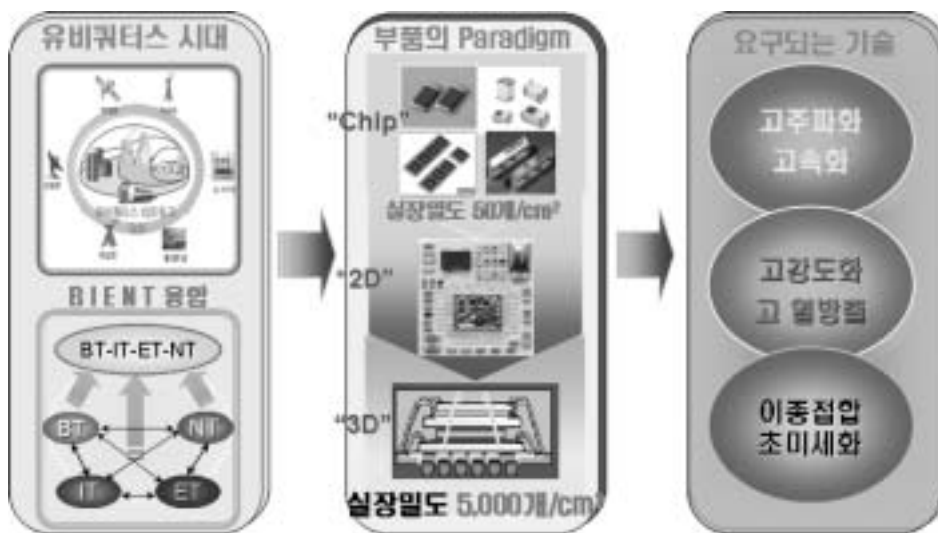


Fig. 1. 전자산업 기술의 Mega Trend 및 부품의 새로운 paradigm.

부품의 고밀도 집적에 대한 요구는 부품업체 뿐만이 아니라 기관업체 및 반도체 업계도 같이 깨닫고 있는 상황에서 모든 업체는 지금까지의 2차원적인 실장이 아닌 3차원 실장이라는 새로운 패러다임을 제시하고 있다. 또한 각 업체가 수동부품과 능동부품의 실장을 별개로 추진해오던 것을 수동 및 능동부품을 하나의 패키지 내에 실장 가능한 시스템 패키징 또는 시스템 integration을 추진하고 있다.

이러한 3-D 시스템 integration을 실현하기 위해서는 새로운 소재 및 공정에 대한 원천기술 개발이 요구된다. 우선, 모든 부품이 휴대단말기 내에 장착되어 무선기능에 대응가능하여야 하므로 고주파에서 작동이 되어야 하는 특성이 요구되며, 수 Mbps 이상의 고속에서 작동하여야 한다. 또한 패키징의 I/O의 증가에 대응하기 위한 기관의 고강도가 요구되며, 높은 I/O에 의한 발열이 큰 기술적 이슈가 되어 고방열 특성의 소재가 절실히 요구되고 있다. 그리고 다양한 기능의 부품을 내장(embedded)시켜야 하므로 서로 다른 소재를 접합시켜야 하는 요구가 있으며, 고밀도 실장을 위해서는 전극 패터닝의 L/S도 현재의 PCB 및 LTCC기술에서 100 $\mu$ m 내외에 머무르고 있으나 향후에는 20 $\mu$ m 내외의 초정밀 패터닝이 필요하게 될 것이다.

현재 사용되고 있는 PCB의 소재는 epoxy계의 FR-4가 사용되고 있으나 위에 언급한 고주파특성 중 유전손실이 매우 큰 이유로 향후 5GHz 이상 수십 GHz대 영역에서의

사용에 제한이 있다. 그러나 세라믹 소재는 대부분의 polymer 소재에 비해 1/20 정도의 낮은 유전손실 값을 보이고 있어 향후 확대되는 고주파화에 적합한 소재로 평가되고 있다.

3-D integration을 위해서는 다양한 기능의 부품이 embedded되어야 하는데 현재사용되고 있는 단일부품들, 예를 들어, capacitor, inductor, 저항, varistor 및 각종 필터 류 등의 70% 이상이 세라믹소재로 제조되고 있다. 이러한 상황에서 3-D integration용 내장소자의 소재로서 다양한 세라믹소재간의 이종접합을 이용한다면 다양한 소자의 내장기술 개발이 가능 할 것이다. 또한 강도 면에서도 기존의 polymer 소재보다 강하여 고강도가 요구되는 패키징에서는 현재도 LTCC 소재가 선호되고 있는 실정이다. 또한 세라믹 소재 중에는 polymer와 비교하여 매우 높은 열전도도를 갖는 소재들이 있어 이를 기관화하여 사용한다면 고방열에 대한 좋은 해결책이 될 수 있을 것이다.

이상과 같이 세라믹 소재의 다양한 특성은 3-D integration을 실현하는데 요구되는 여러 조건들을 만족시킬 수 있는 소재로서 평가되고 있다. 현재에도 일부의 고주파영역의 복합부품 및 다양한 패키지에는 LTCC가 사용되고 있으며, 그 사용범위를 단순한 기관이 아닌 3-D embedded PCB용 소재로까지 넓히는 것을 목표로 많은 부문에서 세라믹 소재 및 공정연구가 행하여지고 있다.



전자세라믹 소재의 원천적 문제점 및 해결방안



## 전자세라믹 소재의 원천적인 문제점

앞에서 부품의 새로운 paradigm인 3-D integration의 실현을 위해서 세라믹 소재의 다양한 유용성이 충분히 언급되어 졌다. 그러나 세라믹 소재의 이러한 유용성에도 불구하고 현재 활발한 실용화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 여기에는 세라믹소재가 가지고 있는 몇 가지의 원천적인 문제점에 기인하고 있다.

첫째 대부분의 세라믹소재를 이용한 부품제조에는 수백°C에서 수천°C에 이르는 고온에서 처리함으로써 밀도를 높이고 소재로서의 특성을 얻으며 형태를 유지하는 소결공정이 필수적이다. 이러한 소결공정을 거치면 세라믹 body는 약 13% 이상의 수축이 발생하게 되어서 3-D 구조상의 복잡한 패턴 및 via-hole 등의 alignment에 치명적인 문제가 야기되고 있다. 또한 고온에서 행해지기 때문에 polymer를 비롯한 다양한 다른 세라믹 소재 간의 접합이 매우 어렵다. Polymer는 350°C 이상에서는 분해되어 특성을 유지 못하며, 다른 종류의 세라믹 소재간의 접합에서도 통상의 소결온도에서는 분자간의 확산에 의해서 접합부의 화학적 조성이 변화하는 결정적인 문제가 있다.

또한 세라믹 소재는 경도 및 강도 면에서는 타 소재와 비교해 월등히 우수한 특성을 보이나 취성(brittleness)이 매우 커 충격에 약하다는 근본적인 단점을 가지고 있다. 고로 부품의 집적도가 급격히 높아져서 고강도의 소재가 필요한 차세대 휴대단말기에서는 휴대하는 특성 때문에 강도이외에 낙하 시험 등 여러 충격환경에서도 잘 견딜 수 있는 소재특성이 요구되고 있다. 즉 I/O수가 증가하면서 기판 등의 고강도가 요구되는 조건에는 만족할 수 있으나, 세라믹 소결체 내부의 여러 결함에서 기인되는 crack 전도에 의한 파괴는 휴대용이라는 향후의 기기의 특성에 대응하는 데 큰 단점으로 작용하고 있다.

현재까지의 성형, 전극형성 및 편칭 등 세라믹 가공공정의 정밀도는 100 $\mu\text{m}$  내외 인 반면 향후 요구되는 3-D integration 기술에서는 30 $\mu\text{m}$  정도의 초정밀 공정이 요구되고 있다. 예를 들어, 전극형성 기술은 통상 스크린 프린팅에 의하여 이루어지고 있으며, 편칭도 최소 50 $\mu\text{m}$

내외의 via-hole이 적용되고 있다. 또한 세라믹 성형은 sheet 성형은 수 $\mu\text{m}$  내지 그 이하까지 가능하게 개발은 되었으나 이는 극히 일부의 부품에만 활용되고 있다. 이와 같이 세라믹 소재의 여러 유용성에도 불구하고 언급되어진 4가지의 결정적인 문제점 때문에 세라믹소재의 활용범위가 한정되어지고 향후 3-D integration 기술에서도 하나의 후보 소재에 머무르고 실용화가 늦어지고 있는 현실이다.

앞에서 언급되어진 바와 같이 세라믹 소재가 원천적으로 가지고 있는 4가지 문제점의 해결방안으로는 무소결, resin 함침 및 초미세공정의 세 가지 요소를 동시에 가능하게 하는 기술이라는 결론이 유도되었다. Fig. 1에서 이러한 개념을 schematic하게 설명하였다.

먼저 첫 번째 개념인 (a)에서는 세라믹 분말을 가능한 최고밀도 충전하는 것이다. 이때의 방법론은 크게 두 가지를 제시한다. 하나는  $\Phi m$  model에 의한 multi-modal packing이다. 여러 가지 크기의 분말을 적당한 분율로 혼합하여 충전을 요구하는 것으로 이미 수십 년 전부터 수 cm에서 수백  $\mu\text{m}$ 의 분말을 사용, 충전율을 향상시키는 연구가 진행되어 온 바가 있으나 수  $\mu\text{m}$ 에서 수 nm의 경우에는 진행된 연구가 매우 적은 것으로 알려져 있다. 이러한 multi-modal packing 연구를 하기 위해서는 선택된 소재의 다양한 분말 모양과 크기를 얻어야 할 것이며 특히 분말의 모양은 구형이어야만 모델링이 가능할 것으로 보인다. 그러므로 이러한 연구가 수행되기 위해서는  $\Phi m$  model에 의한 가장 좋은 조건의 분말의 형태 및 크기를 모델링하고 선택되어진 소재의 분말합성 방법을 다양하게 연구하여 분말의 모양과 크기의 variation을 가지고 가야 할 것이다.

이때 사용될 수 있는 고밀도 충전을 위한 공정으로 본 과제에서는 현재 사용되는 후막공정 이외에 초미세공정이 가능한 공정들인 Ink-jet printing 및 Aerosol deposition에 의한 Direct writing방법 등 세 가지의 공정을 고려하고 있다. 후막공정은 wet-type process로 slurry가 아닌 paste 형태로 분말을 분산시키고 이를 인쇄에 의해서 적층하는 방법이며 이때의 paste에는 최소한의 바인더만이 포함되어져야 할 것이며 solvent의 건조에 따라서 다양

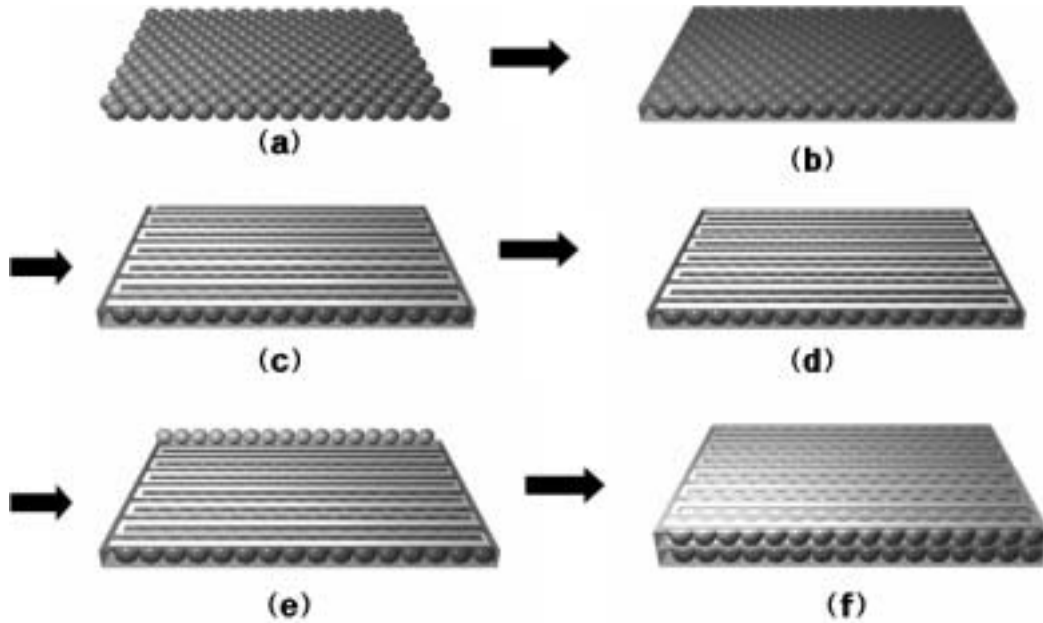


Fig. 1. 도출된 3-D integration 소재의 원천기술 개념도

- (a) 무소성을 위한 초고밀도 세라믹 충전체층 형성. (최대 충전밀도 60v/o이상)
- (b) resin의 infiltration에 의한 세라믹층 고착(plasticity 부여)
- (c) 층 표면에 나노 전극물질 direct writing.(20um의 초정밀 공정)
- (d) 저온에서 동시에 resin curing 및 나노 전극 소성(350°C이하 공정)
- (e) 이종소재의 초고밀도 세라믹 충전체층 형성(상온공정)
- (f) 저온열처리에 의한 이종소재 접합.

한 세라믹 body의 내부구조가 형성되므로 매우 심도 있는 연구가 요구될 것이다. Ink-jet은 많은 부문에서 초정밀성형에 활용하려 다양한 연구가 진행되고 있으며 이때의 Ink를 고분산 기술을 이용하여 제조하는 기술과 jetting에 대한 공정연구가 요구된다. Aerosol deposition은 일단 상온에서 고속으로 분사된 um 크기의 분말이 일정한 조건에서 치밀한 세라믹 조직을 이루는 공정으로 보고되고 있으며, 또한 조건의 변화에 따라서는 치밀하지는 않지만 highly packing된 후막을 얻어지는 것으로도 보고되어 있다. 그리고 polymer도 유사하게 highly packing된 후막이 얻어지고 있어 이런 점을 이용한 고밀도 충전을 시도하려 한다. 이 방법은 nozzle에 의한 분사이므로 정밀한 성형이 가능하다는 이점이 있어 본 과제의 개념에 접근되어 있는 방법이라고 사료된다.

또 하나의 고밀도 충전을 위한 방법론은  $\Phi m$  model에 의해서 multi-modal packing된 세라믹 body에 선택된

세라믹 소재의 precursor solution을 제조하여 세라믹 body 내에 함침시키고 이를 저온에서 열처리하여 기존의 세라믹 body에 존재하는 capillary 또는 pore를 수십 나노 크기의 세라믹 분말로 채움으로써 좀 더 packing density를 향상시키는 효과를 얻으려는 방안이다. 이를 위해서는 다양한 precursor에 대한 기초연구가 요구되며 열처리 온도와 생성된 입자의 크기 조절에 관한 연구도 필요할 것이다.

두 번째 개념인 (b)에서는 앞에서 얻어진 고밀도로 packing된 세라믹 body에 3-D integration에 요구되는 전자기 특성을 최대한 만족하는 polymer resin을 infiltration시킴으로써 세라믹 body의 분말 간에 bonding을 부여하는 과정이다. 이 연구는 얻어진 세라믹 body의 내부 구조에 쉽게 infiltration이 될 수 있는 polymer resin의 처리도 요구되며, 이 때의 공정방법도 앞에서 언급한 정밀 공정에 의하여 행하면 함침된 부위와 안 된 부위간의



결합력의 차에 의해서 또 다른 가공도 가능하리라고 사료된다.

(c)에서는 resin이 함침된 body 상에 전극을 patterning 하는 개념인데 이 때의 전극은 나노 금속 분말로 제조된 ink를 jetting함으로써 얻으려 하고 있다. 나노금속 분말을 사용하는 이유는 정밀패턴을 얻으려는 목적이외에 전극의 처리온도를 기존의 소결조건과 달리 350°C 정도까지 내려서 저온 열처리에 의해서 치밀한 전극층을 얻으려는데 더 큰 목적이 있다. 그러므로 은 전극의 열처리 온도 조절 기술의 개발이 필수적이다.

(d)에서는 얻어진 layer를 저온에서 열처리함으로써 infiltration된 resin의 curing과 나노 전극의 치밀화를 동시에 얻으려는 과정이다. 이 개념에서는 resin과 나노 금속분말의 치밀화 특성을 matching하는 연구가 심도 깊게 이루어져야 할 것이다.

(e)에서는 앞에서 얻어진 고화된 layer상에 다른 이종소재를 같은 방법으로 packing하고 resin과 전극을 동시에 열처리 하면 (f)와 같이 이종소재도 고온의 소결공정 없이 접합이 가능할 것이다. 또한 Ink-jet이나 다양한 박막 공정을 이용하여 얻어진 layer 상에 저온에서 기능성 세라믹 박막 또는 후막이 형성되면 이를 embedded된 소자로 사용가능하리라 본다. 이 때의 기능성 박막은 resin 및 전극금속의 열처리온도 이하에서 증착이 이루어져야 한다는 조건이 매우 critical 하다.

이러한 세라믹 소재의 원천적인 문제점을 해소하기 위한 개념으로는 앞에서 언급된 세라믹 소재의 고온에서의 소결공정을 없애면 수축에 의한 alignment의 문제점이나 확산에 의한 이종소재의 결합을 해결할 수 있으며, 세라믹 소재에 plasticity를 부여한다면 충격에 대응하는 소재가 될 수 있을 것이다. 또한 수  $\mu\text{m}$ 까지 가공이 가능한 공정기술이 개발된다면 초정밀 가공이 가능한 소재로서 활용이 가능 할 것이다. 이러한 접근 개념을 통해 세라믹 소재의 원천적 문제점을 해소하는 해결방안을 제시할 수 있다.

소결공정을 생략하기 위해서는 일단 세라믹 분말의 충전밀도를 가능한 한 높게 하고 plasticity를 부여하기 위하여 polymer resin을 첨가할 수 있을 것이다. 또한 이러

한 충전밀도를 높이고 resin을 첨가하는 공정을 미세하게 행할 수 있는 초미세 공정으로 한다면 세라믹 소재가 matrix로서 세라믹 소재의 특성을 유지하고 적은 량의 resin이 함유되어 강도와 충격에 강한 ductile하면서 미세 성형이 가능한 소재개발이 가능할 것이다. 이와 같이 언급된 세 가지, 초고밀도 충전, resin 함유 및 초정밀 공정이 동시에 개발 가능하다면 세라믹 소재가 원천적으로 가지고 있던 단점이 동시에 해결되는 결과를 얻을 수 있을 것이다. 특히 이러한 개발이 실용화에 성공한다면 세라믹 소재가 단지 3-D integration소재로서만이 아니라 더욱 많은 응용이 가능하여 세라믹 소재 활용범위의 획기적인 전개가 이루어 질 수 있을 것이다.

이상과 같은 개념을 갖고 필자는 '07년도부터 소재원천기술개발사업으로 "나노분산 및 무소결 저온소성 3 Ceramic 기술"이라는 Title을 갖는 과제를 수행하고 있으며 진정한 3-D Integration을 현실화하기 위해서 다음과 같은 추진전략을 이용하여 진행하고 있다.

본 과제의 추진전략은 과제도출과정에 언급되어 있듯이 개발내용의 원천성이 강조되고 있다. 고로, 현시점에서 전자 세라믹소재의 원천적인 문제점인 소성수축, 이종접합 불가, 세라믹 취성 및 후막공정에 의한 미세공정 불가 등 4가지의 단점을 동시에 해결하는 기술을 개발함으로써 그 원천성을 갖는다. 이러한 개념에서 이 과제 추진 상에서 부각되어야 할 key word는 무소결, 초미세공정 및 plasticity 부여 등 3가지 요소이다.

무소결에 대한 개발전략은 세라믹 분말의 최대 고밀도 충전함으로써 60vol%를 실현하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해서는 고밀도 충전을 위한 학문적인 연구가 먼저 이루어져야 할 것이며 현재 제안되는 theory로서는 1960대에 미국을 중심으로 수 cm 크기의 입자에 대한 최대 충전밀도를 구하는 연구가 진행된 바 있다. 본 과제에서는 이 이론을 현재 주로 사용되는 세라믹 분말 크기인 nm에 이르는 범위에 적용하여 보고 이 이론에 수정을 하여 나뉠대로의 theory를 도출 할 계획이다. 또한 이러한 이론을 기초하여 여러 경우의 분말의 형태와 크기에 변화를 가지고 가는 simulation작업을 통하여 각 공정에 맞는 분말의 모델링을 이루어 갈 계획이다.

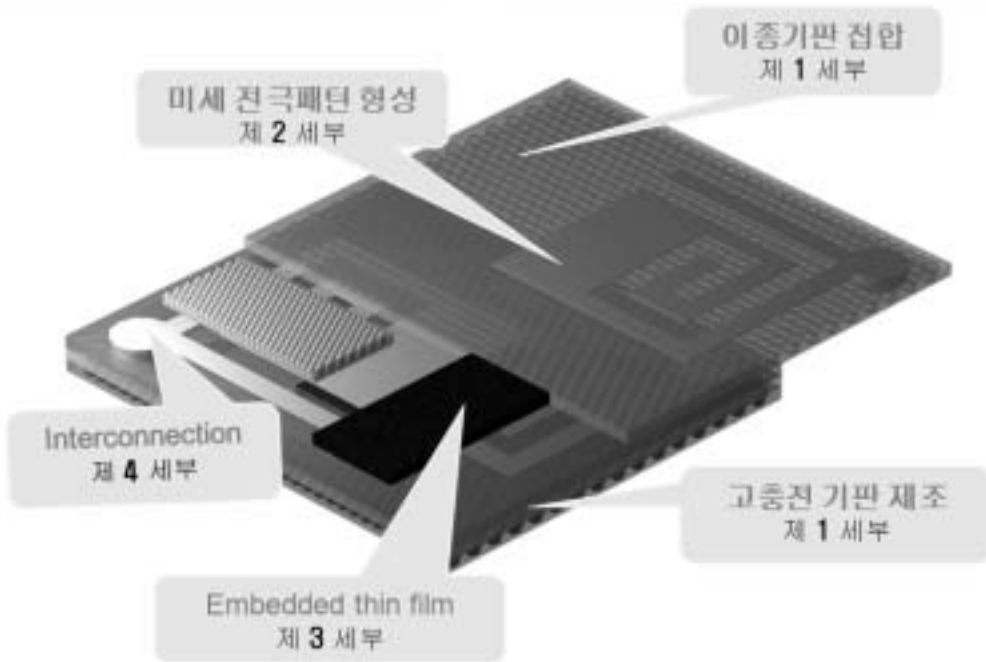
또 다른 무소결에 대한 개발 전략은 고밀도 충전에 의해서 얻어진 세라믹 layer에 충전율을 더욱 향상시키기 위하여 현재 많은 연구가 이루어지고 있는 precursor 기술을 이용하는 것이다. Precursor가 함유된 solution을 앞의 고밀도 충전 과정에서 어느 정도의 고밀도가 얻어진 세라믹 body에 이 precursor solution을 body의 분말간의 공간에 infiltration 시킴으로써 충전율을 향상시키는 개념이다. 이 때 생성되는 분말의 입도는 기존 body에 있는 수십  $\mu\text{m}$ 에서 수 백 nm에 이르는 것과는 달리 수  $\mu\text{m}$  ~ 수십 nm 크기의 입자가 형성될 것으로 예상하고 있다.

초미세공정은 앞에서 언급된 무소결을 위한 공정 이외에 본 과제의 실용화는 차세대 3-D integration에 적용되어야 하므로 미세 전극형성 및 내장(embedded)소재의 형성에도 활용이 되어야 한다. 이를 위해서는 최대 고밀도 충전을 위한 공정으로부터 저온에서 수 십  $\mu\text{m}$ 의 L/S를 갖는 전극형성과 embedded용 후막 및 박막의 미세가공이 가능할 수 있는 공정을 선택하였다. 그 결과 Aerosol Deposition, Wet process 및 Ink jet print 공정을 선택하였다. 이와 같이 다양한 공정을 선택한 이유는 본 과제의 개발은 아직 수행된 사례가 거의 없는 상태에서 여러 방법에 의해 시도함으로써 개발의 risky한 면을 줄이는 효

과도 고려하였다. 또한 각 공정들은 향후의 중요한 공정으로 평가되고 있으며 이 과제를 통하여 새로운 연구개발을 이룰 수 있다는 면에도 또 다른 의미가 있을 것으로 사료된다.

Plasticity부여에 대한 개발은 낮은 유전손실과 낮은 유전율을 가지는 열경화성(thermoset) resin을 선택하여 앞 공정에서 얻어진 고밀도 충전된 세라믹 body에 함침(infiltration)시키는 공정이다. 이 공정에서는 세라믹 body에 plasticity만을 부여하는 것이 아니라 세라믹 입자 간의 bonding에도 크게 기여 할 것으로 사료된다.

이상과 같이 3가지의 원천성 요소를 만족시키는 연구개발은 크게 5개의 개념으로 정리될 수 있다. 그 개념들은 분말함성, 고밀도충전 기구연구, 초미세공정에 의한 세라믹 layer 형성, precursor infiltration 및 resin infiltration이다. 이 개념들과 상관관계를 그림 1-8에 정리하였다. 이러한 원천기술 개발전략의 도출개념 하에서 본 과제의 개발내용을 크게 4개의 세부내용으로 나누었다. 그 세부 개발내용들은 다음과 같다. 초고밀도, 초고농도 하이브리드 세라믹 잉크기술, 다기능 세라믹 박막의 내장화 기술 및 층간 interconnect용 소재 및 미세화 기술로 나누었으며 순서에 따라 제 1,2,3 및 4 세부과제로 명명



하였다.

제1세부과제인 초고밀도 충전에 의한 무소성 세라믹 기술은 본 과제의 중심에 있으며 초고밀도 충전에 의한 3-D integration 기판을 제조하는 소재 및 공정기술을 개발하는 과제로서 도출개념에서 언급된 분말합성, 고밀도 충전기구 연구, 3종의 미세공정에 의한 고밀도충전 세라믹 layer형성 및 precursor와 resin infiltration 등 5개 전제개념에 대한 개발을 수행하는 과제이다. 이 과제는 총괄연구기관인 한국세라믹기술원이 담당하게 되며, 3,4차년도에는 타 세부과제에서 개발된 내부전극, 내장 후/박막 및 interconnection용 via 등을 당 과제에서 개발된 기판 상에 integration하는 개발까지 포함하게 되어 각 세부과제와 1세부과제 간의 긴밀한 협조가 요구되고 있다.

제 2세부 과제인 초고농도 하이브리드 나노분산 잉크 소재기술은 ink jet printing 기술을 이용하여 3-D integration의 내부전극 형성을 주된 개발내용으로 하고 이 기술을 이용하여 고유전을 및 저항 내장 소재도 ink jet에 의해서 후막도 형성하는 기술이다. 특히 내부전극은 향후 20~30 $\mu$ m의 미세한 선폭과 선 간격이 요구되고 있으며, 금속 함유량을 최대로 하는 초고농도 ink를 개발하여 최소한의 저항을 유지하는 기술도 요구되는 상황이다. 또한 전극금속을 나노화하고 적절한 분산을 함으로써 350 $^{\circ}$ C 이하의 저온에서 금속의 치밀화가 이루어지도록 하는 연구는 전체 과제에서 매우 중요한 연구개발 포인트이다. 이 과제는 화학연구원 소자나노재료 연구센터가 수행하게 된다.

제 3 세부과제인 다기능 세라믹 박막의 내장화 기술은 다양한 박막 형성공정을 이용하여 본 과제의 중요한 조건인 350 $^{\circ}$ C 이하의 저온에서 matching용 capacitor의 내장을 위한 저유전을 박막과 decoupling capacitor과 센서

등의 내장을 위한 고유전을 박막 제조가 주된 개발내용이 된다. 이러한 저온성막 공정을 개발함으로써 당 과제의 resin상에 박막 형성이 가능하게 되며, 이 기술이 개발에 성공하게 되면 그이외의 다양한 응용이 가능하리라 사료된다. 제 3 세부과제는 한국과학기술연구원의 박막 재료연구소가 수행하게 된다.

제 4세부 과제인 층간 interconnect용 소재 및 미세화 기술은 3-D integration을 위한 interconnection을 개발하는 과제로서 층간을 연결해 주는 via를 형성하고 그 안에 350 $^{\circ}$ C 이하의 저온에서 치밀화가 가능한 via. fill 전극소재를 개발하는 것이 주된 연구개발 내용이 될 것이다. 이러한 개발을 위해서는 제 1 세부에서 얻어지는 기판에 대한 개발과 긴밀한 관계를 유지하여야 할 것으로 보인다. 이 과제는 전자부품연구원의 패키징 센터가 추진하게 된다.

## 감사의 글

본고는 지식경제부 소재원천기술개발사업으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

### ●● 김종희



- 1993 동경공업대학 무기재료공학과 공학박사
- 1986 University of Washington 공학석사
- 1975 한양대학교 재료공학 학사
- 1979~1984 국방과학연구소 연구원
- 1989~1991 한국 뉴세라믹연구소 선임연구원
- 1995~2004 삼성전기 연구임원(상무)
- 2004~현재 한국세라믹기술원 미래융합세라믹본부 본부장