HTCC 기술

글 _ 이명렬
㈜ 아모엘이디

1. 서론

HTCC(High Temperature Co-fired Ceramic)은 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)과 더불어 전자패키징에서 다기능, 고신뢰성 회로기판 및 복합 module을 실현할 수 있는 기술이다. 이 기술은 적층 세라믹 기술(MLC, Multi-Layer Ceramic)로 불리기도 하는데 얇은 세라믹 시트를 적층하여 3차원 부품으로 만들 수 있는 유력한 기술이다.

HTCC는 알루미나(alumina)에 SiO_2-MgO-CaO 등 flux를 소결조제로 첨가하여 세라믹 시트를 만들어 여기에 인쇄된 전극과 함께 적층하고 소결하여 제품을 만드는 기법이다. 여기서 소결조제는 유전체 물질의 치밀화와 금속전극과 세라믹 사이의 접착력을 높이기 위해 사용된다. 이 HTCC 기술은 1980년대 초 IBM에서 메인프레임 컴퓨터에서 사용하기 위해 개발되었는데, 테이프캐스팅으로 만든 33층의 세라믹과 Mo 전극으로 금속피복(metallization)을 한 패키지를 동시에 소성하여 100개의 bipolar chip용 하우징 용으로 처음 제작한 것이 HTCC의 효시이다[1].

이 기술은 개발될 당시에는 다양한 용도에서의 개발과 보급이 예상되었으나 알루미나의 소성온도가 높아(1600℃) 내부전극용으로 고융점 금속전극을 사용하는데 이 재료의 전기저항이 금(Au)의 약 4배 정도 높아 다른 패키징 기술에 비해 전기적 손실이 있다. 그래서 특별한 신뢰성이 요구되는 분야에만 제한적으로 사용되거나 기존의 수지 다층기판 대체 용도에 사용되었을 뿐, 경합기술인 LTCC의 성장에 가려 그 시장이 초기의 기대만큼 확장되지는 않았다.

그러나 최근 들어 반도체, 이동통신과 LED 등의 시장이 크게 팽창함에 따라 LTCC로는 구현할 수 없는 차별화된 적용분야인 고온성질, 내화학성, 높은 열전도도, 기계적 강도 등이 요구되는 분야에서 HTCC의 용도가 확대되고 있다. 또한 세라믹 전자부품의 소형화, 저가격화, 다기능화를 실현해 내는 수단으로 기판이나 3D 부품형태 등 여러 분야에서 LTCC 기술과 함께 상호보완적으로 활용되고 있다.

향후에도 이러한 HTCC 패키지 제품들은 고신뢰성이 요구되는 응용분야인 국방용 전자, 적외선 센서,우주항공분야, 통신용 광전 하우징(optoelectronics housing), 의료용 multichip기기 등 고부가가치 산업으로 응용분야가 확대되는 추세이다. 본 고에서는 이와 같은 잠재력을 지

Table 1. 적층 기판으로 HTCC와 LTCC 기술 비교

	HTCC	LTCC
기본재료	Alumina, AlN계	Al_2O_3+glass
소성온도	>1,500℃	<1,000℃
소결분위기	환원(H_2)	Air(Ag) / 환원(Cu)
도체재료	W, Mo, Mn	Ag, Cu, AgPd, Au
내화학성	Good	Not good
Conductor resistivity inside	>10 mOhm/sq	>5 mOhm/sq
Thermal conductivity	20 W/mK	3 W/mK
CTE (coefficient of thermal expansion)	6 ppm	3-8 ppm
Mechanical Strength	>350MPa	<200MPa
Brazing Strength	>50N/mm²	>30N/mm²
RF performance	Good	Very good
Integrated Resistors	Not possible	Possible

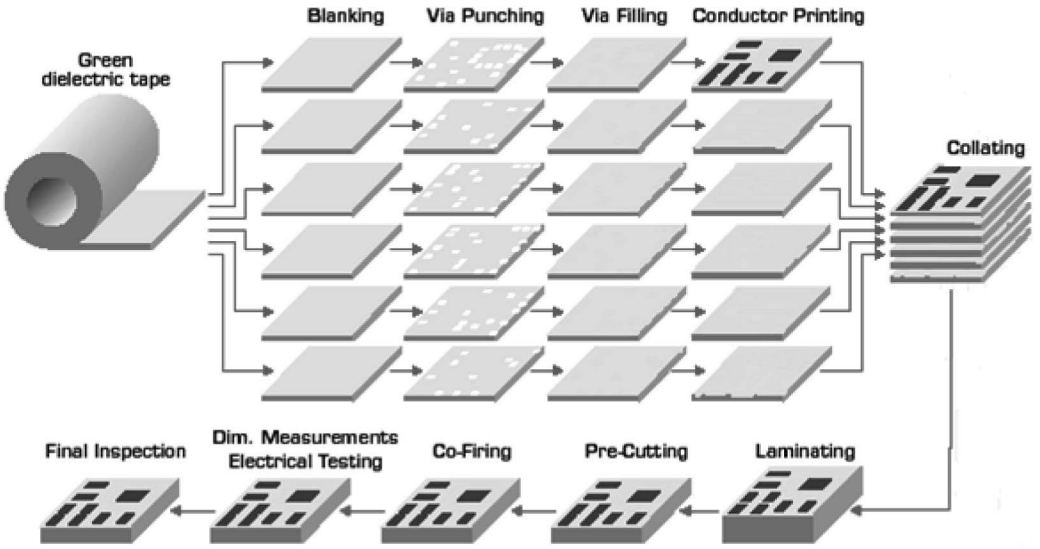

Fig. 1. HTCC 제조공정 (Courtesy of Semiconductor Enclosures Inc)[2].

닌 HTCC 기술의 개요, 응용 및 수요분야, 제품 등에 대하여 알아보고 HTCC 기술을 발전시키기 위한 필요한 요소를 알아 보고자 한다.

2. HTCC 기술의 이해

HTCC는 Al_2O_3(Alumina) 등을 주성분으로 내부 전극을 W 또는 Mo, Mn계와 같은 고융점 금속을 내층 배선 및 층간 통전용(via)으로 사용하여 수소나 질소 또는 혼합형으로 환원분위기에서 약 1,500℃ 이상에서 동시 소성하는 세라믹 기술이다. 반면에 LTCC는 Al_2O_3 재료에 Glass 분말이나 저온소결 첨가제 등을 첨가하고 내부전극 및 통전용 전극으로 Ag계 또는 Cu계를 사용하여 1,000℃ 이하에서 동시 소성하는 기술이므로 서로 구분이 된다. Table 1은 HTCC와 LTCC의 중요한 특징을 비교한 것으로 사용목적에 따라 각기 장점을 선택하여 사용할 수 있다. 특히, HTCC는 LTCC로는 얻을 수 없는 고강도, 내화학성, 열전도도 등의 장점이 있으므로 이런 특성을 LED 실장용이나 반도체 packaging용 기판, Probe card 등 분야에서 활용하려는 시도가 많이 이루어지고 있다.

Table 2. HTCC Packaging 기술의 장단점

장점	• Robust and proven technology • Automated production systems • Mechanically & thermally superior to LTCC • Cost effective (use non-noble metal pastes) • Optimum Reliability (Hermetic reliability) • Design Freedom (3D design flexibility) • Terminal Density (circuit density) • Metal Brazing • Superior protection for semiconductors in harsh environments • Easy integration into metal housing due to matched TCE
단점	• Cannot incorporate embedded resistors • Loss at high frequencies • Limited dielectric constant, CTE

보통 알루미나를 주성분으로 하는 이 HTCC는 세라믹과 금속도체 패턴이 세라믹과 전극 인쇄, 적층 및 동시 소결에 의한 일체화 공정을 거치므로 기밀성이 좋은 고품위 패키지를 만들 수 있다. 이 기술의 핵심은 소성되기 전의 얇은 세라믹시트(그린시트)를 이용하여 여기에 전극인쇄, 가공, 펀칭 및 전극채움 등의 기법으로 3차원 구조의 복잡한 평판이나 cavity 구조를 비교적 저가로 구현할 수 있게 하는 공법이다. 그러나 소성전의 시트를 다루기 때문에 제조공정에서 한 공정이라도 잘못 관리되면 시트의 변형으로 인한 치수 불균일, 전극간 연결 불안, 층간 분리로 인한 밀폐성 손실, 패키지의 기하학적 구조에 따른 적층밀도의 차이 때문에 소결 후 휨 발생 등의 수리가 불가능한 불량이 발생할 수 있다. Fig. 1은 일반적인 HTCC 제조공정을 나타낸 것이다. 이 HTCC 제조공정은 LTCC와 거의 유사하며 앞에서 언급한 것처럼

Table 3. Technical Performance[3)]

Technical Characteristics	PCB	LTCC	HTCC	Si
Guaranteed Life time (in years)	3	>20	>20	>20
Volume resistivity in Ohm*m (RT)	$\geq 10^{11}$	$>10^{12}$	$>10^{12}$	10^{6}
Break down voltage in V/μm	40	>40	15	-
Thermal Coefficient of Expansion(TCE) x,y	16	6	7	3
TCE z < tg	60 (290 z>tg)	6	7	3
Flexural Strength in MPa		210	350	100
Thermal Conductivity in W/mK (RT to 400C)	0.1	3	20	125
Conductor Resistance in Ohm/square	<1	<5	<15	<30
Dielectric constant, 1MHz	4.7	7.85	9.8	12.0
Dielectric Constant, 10GHz	-	7.83	9.0	-
Loss Tangent, 1MHz	0.025	0.002	0.0004	-
Loss Tangent, 10GHz	0.020	0.005	0.001	-
Line Pitch	200	200	200	2
Integration of Passive components	L	L, R, C	L	L, R, C
Water absorption in%	≤0.3	0	0	0
Hermeticity in Torr	$>10^{-3}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$

사용하는 그린시트 재질과 내부 및 통전용 전극재료가 다를 뿐이다. 이 제조공정은 시트조성 및 제작방식, 공정 진행 중 시트변형을 방지하기 위한 지그류 운용, 관통전극 정렬(align)을 위한 가이드핀 운영이나 화상적층기법, 층간 분리(delamination) 억제를 위한 전극매칭, 적층 압력과 가압방식, 소결공정의 환원가스 가습방식, 전해나 무전해 도금방식 등 여러 공정변수를 HTCC 제조사에 따라 각기 보유공정과 제품규격에 맞추어 설계 성능이 구현되도록 최적화하여 제조하고 있다.

HTCC 공정은 제품의 사용용도에 따라서 Fig. 1의 동시소성 공정 이후에 도금 공정이나 브레이징 공정이 추가되기도 한다. 소성 후 도금은 보통 Ni-Au 층으로 하는데 소성된 고융점 금속의 젖음성이 좋지 않으므로 wire-bonding이나 soldering 특성을 향상시키기 위해 적용된다.

HTCC는 보통 리드(Lead)나 핀(Pin)을 가진 적층형 세라믹으로 만들어진 미세전자회로(microcircuits)로 쓰이거나 밀폐형(hermetic) 구조로 링형 프레임이 부착된 형태로 사용된다. 세라믹 미세전자회로는 금속하우징 안에 집적되기도 하는데 회로가 인쇄된 기판과 외부와 연결된 케이블 하네스(harness)와의 안정된 인터페이스 역할을 하거나 하우징 내부에 패키징되는 민감한 반도체와의 전기 입출력용 터미널 역할로 쓰인다.

이 HTCC 패키징 기술의 장점을 Table 2에 나타내었다. HTCC 패키징 기술은 견고하고 기밀성이 검증된 기술인 동시에, 밀폐신뢰성이 가장 우수하며, 회로 밀도가 높고, 탁월한 3D 설계유연성, 우수한 열방출 능력, 내열성 및 내화학성, 높은 기계적 강도를 가지고 있으며 가벼운 편이면서 가혹한 주변 환경에서 반도체와 같은 민감한 기기(device)를 보호할 수 있는 능력이 좋다. 다만 LTCC와 비교하여 내부저항을 형성하기 어렵고, 유전율에 한계가 있으며 큰 고주파 손실 등의 약점을 가지고 있다.

Table 3은 기존의 PCB 기술, 세라믹기판 표면에 전극을 형성하는 Thick film 기술과 3D 전극형성기술인 HTCC 및 LTCC, 그리고 반도체 공정인 Si 기판 기술의 특징을 비교한 것이다. 일반적으로 디자인 검증, proto 샘플제작에 필요한 마스크 및 금형제작 그리고 특성시험을 포함한 초기 개발비용(NRE cost)은 PCB의 경우가 100이라고 하면 thick film의 경우 500, HTCC/LTCC가 1000-1500, Si wafer 공법이 25000 정도로 추산할 수 있다. 관점을 좁혀 LTCC와 HTCC만을 비교한다면 HTCC 기술은 경합기술인 LTCC 기술에 비해 공정비용은 비슷하며 전극재와 시트재료의 차이로 재료비에서 유리한 측면이 있다. 다만 패키지 내부에 L, R, C 성분을 구성할 수 있는 LTCC 공법에 비해 L 성분만 구현이 가능하므로 3D 패키징의 유연성에서는 불리한 편이다[3)].

HTCC 기술은 가장 값싼 기판제작 기술인 PCB 공법에 비해서 사용수명, 열적 기계적 특성, 흡습율 및 밀폐성에서 우수하다. 따라서 HTCC 세라믹기판 기술은 고신뢰성이 요구되는 분야에서 경제적인 솔루션이다. 전자기기의 작동 파워나 동작 온도가 높아짐에 따라 열 특성이 잘

제어되는 세라믹 기판 기술을 선택하여야 하며, 기기의 동작 주파수 증가에 따라서도 RF 기능의 수동집적이 가능하고 열관리 기술이 조합되는 세라믹 기술을 사용하는 것이 타당하다.

3. HTCC 기술의 응용분야

Fig. 2는 HTCC 분야의 선도업체인 일본 Kyocera사 홈페이지에서 소개하고 있는 HTCC 기술로 제조된 부품군을 나타낸 것이다[4]. 자료를 찾아보면 이 회사는 HTCC 및 Ceramic 분야의 기술선도업체로 홈페이지에 소개된 분야인 Probe card, Image sensor, LED package, SMD 용, MEMS 및 Fiber Optic용 기판 이외에도 우주항공, 위성통신, 의료용 등의 특수한 분야의 HTCC 기술 및 경험을 가지고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 HTCC 기술이 적용된 제품은 IT산업, 자동차산업, 전자산업, 반도체산업, 의료 바이오산업, 군사용 등에서 그 용도에 따라 다양하게 응용되고 있다. Table 4에 산업분야에 따른 대표적인 HTCC 응용제품을 정리해 보았다. 전자 및 IT 산업에서 HTCC 제품은 이동통신용 모듈 제조용 HTCC 기판으로 쓰이거나, HTCC 패키지 기술을 기반으로 한 MCM(multichip module) 및 CSP(chip scale package) Type의 기판, Image Sensor용 기판 등에 이용되고 있다. 또한 고열전도성을 가진 재료인 CuW나 BeO를 히트싱크로 브레이징하여 붙여서 전력소자용 기판으로 쓰이기도 하며, 밀폐 특성을 이용한 다양한 패키지에 응용되고 있다.

Table 4. HTCC 응용제품 예

산업	용도	응용제품
IT, 전자	Package용	Crystal/Oscillator/SAW packages, Ceramic/Metal package, Hybrid packages Optical Package, Power dissipation package, Sen sor packages, LED packages, Monolithic microwave hybrid technology
	HTCC 대응	Amp housing, Custom pin grid array(PGA), High Frequency Feedthroughs, Leadless chip carriers(CLCC), Multichip module(MCM),Pad array carriers (BGA), Quad Flatpacks(QFP), Quad No lead(QFN)
	Optoelectronics	CMOS, CCD, Infrared, ultraviolet image sensor
	저항용	고데기(curling), 인두기(soldering iron), PTC, Bidet, Plasma reactor
자동차	전장	Power electronics PCB, LED lamp, Honeycomb, PTC heater, 이온발생기, Glow Plug, 등
반도체	설비용	Probe Card, ESC, Susceptor, Boat, Tube, Chuck 등
바이오	인체용	생체재료, 인공골재, 덴탈부품

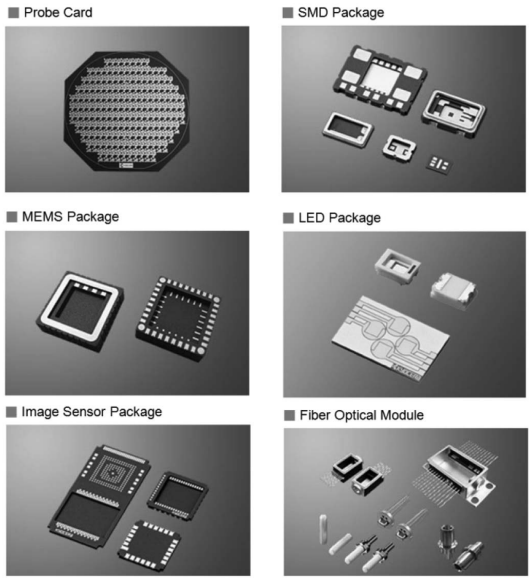

Fig. 2. HTCC 응용제품 (Kyocera사 Homepage)[4].

특히 최근에 부상하고 있는 LED 산업에서도 고전류를 인가할 수 있는 조명용 High Power LED가 시장이 급성장함에 따라 이 고휘도 Chip을 패키징할 수 있는 기판으로서 열전도도가 좋은 HTCC 기판이 소성된 세라믹에 전극을 피복한 기판과 더불어 널리 적용되고 있다.[5] 특히 LED 패키징용 HTCC 기판은 캐비티 구조를 형성할 수 있어 봉지재 공간을 형성하거나 벽면을 활용하여 LED 빔의 반사갓 기능을 부여할 수 있으며 내부전극 회로를 활용하여 하부 패드전극과의 회로설계와 방열구조를 최적화할 수 있는 장점이 있다.

또한 반도체 산업에서는 반도체 검사용 Probe Card, 정전척용 기판 등에 고부가가치 HTCC 제품이 사용된다.[6] 그리고 자동차에서는 HTCC 기술의 신뢰성, 열적 특성을 이용하여 ABS (Antilock Brake System)와 ECU (Engine Control Unit) 등의 회로용 기판이 기존의 수지계 기판을 대체하여 LTCC 기판과 함께 적용되고 있으며, 의료 분야에서도 이미지센서용 모듈과 진단용 CT (computed tomography) 등으로 응용 분야가 넓어지고 있다.

광응용 패키지나 정전척 등에서 HTCC 기술은 밀폐성과 편평도, 사용온도 영역에서의 안정된 특성 등이 이용된다. HTCC 적용분야의 확대는 이 기술의 특징인 가격

대 성능비, 디자인용이성, 내환경성, 밀폐성, 강도, 기계적이나 열충격 저항성, 표면의 편평도, 열방출 능력 등 재료나 설계측면에서 여러가지 장점이 있어서 가능하다.

4. HTCC 시장 및 요소 기술

휴대전화로 상징되는 IT 시장의 급성장에 따라 HTCC 기술은 고주파 특성과 저항실장 등 3차원 부품구현이 유리한 LTCC 시장의 압도적인 성장세에 눌려 상대적으로 시장규모가 위축되었다. 또한 기존 HTCC로 주로 구현되던 Probe card도 HTCC보다 Si과 열팽창계수 차이가 작은 LTCC재료의 설계가 가능하다는 이유로 대체가 검토되고 있기도 하다. 그러나 앞 장에서 언급한 것처럼 HTCC의 강도, 내화학성, 내충격성, 열전도도 등의 재료 고유특성이 필요한 응용분야는 LTCC로 대체가 어려우므로 RF 패키징용 뿐만 아니라 많은 시장이 아직 남아있다고 할 수 있다.

국내 HTCC 시장은 Kyocera, NTK, Shinko 등 일본업체가 시장을 장악하고 있는데 이는 국내세라믹 업체와의 기술격차에 기인한다고 생각된다. 부품소재 특히 파인세라믹 분야에서의 일본기업들의 기술은 2차 대전 때 항공기, 함정과 육상과의 무선통신을 구현한 데서 알 수 있듯이 통신용 세라믹 부품소성이나 정밀 가공기술이 이미 세계 최고수준이었다고 볼 수 있다. 이런 역사적 배경을 가지고 일본기업은 종합세라믹 전자부품업체로 성장하였거나 칩부품, 기판, 프루브 카드, 정전기척 등 전문아이템을 가진 기업별로 세계시장을 지배하고 있다.

그러므로 상대적으로 늦게 파인 세라믹 분야에 진입하였고, 세라믹소재 산업이 국가적 과제로서 선정되지 못한 우리 세라믹 기업과는 상당한 기술력 차이가 존재하며 이를 극복하고 세라믹 및 HTCC 분야에서 경쟁력을 높이기 위한 방안을 점검해 보아야 한다. 전자산업 특히 반도체, 휴대전화, 가전 등 국내 기업이 세계적으로 성장함에 따라 여기에 소요되는 세라믹 칩부품을 생산하는 몇몇 업체는 어느 정도 기술경쟁력을 확보하였다고 할 수 있다. 그러나 아직도 고도의 공정제어기술이 필요한 정밀한 세라믹기판을 제조하는 국내업체는 아직 없으므로 기술개발이 더 필요한 실정이다.

HTCC 기술은 소재, 공정, 설계 및 측정, 양산기술로 구분할 수 있으며, 각 요소 기술을 모두 확보하여야 선진기업과 경쟁이 가능한 다양한 분야에 적용이 가능하다. HTCC용 소재는 일본 Kyocera의 경우 Alumina계를 유전율이나 주파수 특성에 따라 4-5종류, AlN 계 및 Mullite 계 세라믹과 W, Mo, CuW 등 전극재를 제품 사용용도에 따라 달리 적용하고 있으나[4] 국내에서는 이 정도 원천 소재를 가지고 관리하고 있는 기업은 없는 실정이다. 또 이 회사는 기판 공정기술의 경우에도 관통전극 축 정렬능력, 제품의 치수정밀도, 편평도 관리 및 기판품질 재현 수준이 최상위급으로 평가할 수 있으나 우리나라 HTCC 업계와는 시트제작과 관리, 시트가공기술, 공정진행 중 관리 등 각 기본 기술분야에서 제조기술력의 차이가 있는 것이 사실이다. 공정 진행 중 미리 절단하여 소성하는 칩부품과는 달리 HTCC 기판은 개별소자들이 배열된 판상 형태로 소결되어 고객에게 전달되는 제품이므

Table 5. HTCC 기술분야별 요소기술

소재기술	Alumina 조성 (백색 및 유색), 내부전극(W, Mo), Via용 전극, Coating 전극 각 전극재료와 기지(matrix)와의 매칭, 표면조도
공정기술	환원소성기술, 세라믹 적층 및 정렬기술, 공정지그관리, 전극해상도, Via-fill기술, 전극-세라믹부착력, 전해 및 무전해 도금기술, 전극표면조도, 편평도(coplanarity), 수축율, 선진사 Benchmarking, 공정검사 기법
양산 및 표준화	BBT(bare board test, Open/Short), Leak test, 공정 및 검사 표준화, 전극산화관리, 전극 및 기판반사율
설계 및 측정	응력 및 열해석, Design Rule 설정[7], 측정기준 설정, 공정진행치수, 전극부착력 측정관리, 신뢰성시험 및 평가 기술

Table 6. Perspectives and Challenges[3]

Opportunity	Challenge	Technical Requirements
Biotechnology, Chemical sensors	Lab on Chip, Integrated fluidic, integrated reactors and sensors	Chemical performance Biocompatibility Fluidic interfaces
Heterogeneous Integration	High pin count, QFP, LGA, BGA	Flatness, CTE matching of Ceramic to PCB,
System in Package	3D interconnection, Passive integration, thermal management	New and adapted materials, New and adapted processes
MEMS Packaging (Micro Electro Mechanical Systems)	3D integration, hermeticity, Wafer level packaging	CTE matching of Ceramic to Si, No XY shrinkage
MOEMS Packaging (Micro Optical Electronic Machines)	Integration of optical and electrical conductors	no XY shrinkage, excellent planarity and accuracy
Energy efficiency	High power/high complexity Integration	High currency conductor, Micro cooler, high temp.

로 소결된 개별소자의 치수 정확성은 기본이며 기판의 전면적에 대하여 누적치수 공차가 극소하면서 편평도 등의 기판특성이 잘 관리되고, 통전특성과 같은 기판의 전기적 기능확보도 매우 중요하다.

Table 5는 HTCC의 제조에 필요한 요소기술을 정리해 본 것이다. 예를 들면 12인치 Wafer의 반도체를 검사할 수 있는 프루브 카드를 만들기 위해서는 성형, 적층, 인쇄, 소결 등 세라믹 전 공정에서의 기본기술이 성숙되어 있어야 하며 한편으로는 대형 세라믹 기판을 만들 수 있는 설비가 갖추어져야 한다[6].

Table 6은 적층 세라믹 기술의 전망과 도전에 대해 정리한 것이다. 장차 Biosensor, System in package 기술의 발전에 따라 여기에 대응하는 HTCC 기술은 화학적 기능 뿐 아니라 생체적합성 등의 부가적인 요소가 필요하며, 미세전자기기(MEMS) 분야에서는 무수축 기술, 편평도 및 고도의 치수정밀성이 요구될 것으로 예측할 수 있다. 모든 응용분야에 적합한 최선의 재료는 없으므로 성능요구사항, 제작의 용이성, 가격을 고려하면서 타당성을 함께 평가하여 가장 적합한 기술방식을 선정해야 할 것이다.

5. 맺음말

나날이 발전하는 산업에 있어서 전자부품은 제품의 가격, 품질 및 성능을 결정하는 핵심요소로 전자제품 제조원가의 많은 부분을 차지하고 있으며, 부가가치가 높은 기술집약 제품이다. 이러한 전자부품 중 특히 세라믹 부품을 제조하는데 필요한 HTCC 기술은 현재뿐만 아니라 미래 성장산업인 바이오, 환경에너지, 우주 산업에서도 계속 주요한 비중을 차지할 것으로 보인다.

그런데 HTCC 기술은 개발이 필요한 하이테크 기술분야는 초기 투자비가 들고, 기술을 개발하여 이미 세계시장을 선점한 선진사와 시장을 다투기 위해서는 어느 정도 숙성시간이 필요한데 국내에서는 이를 조정할 수단이 없어 개별 기업의 자체 노력만으로 HTCC 부품 기술개발을 진행하고 있는 형편이다. 오랜 역사와 전통을 가진 선진기업과 HTCC 기술 격차를 줄이고 수요산업의 외국기술 의존도를 줄여 경쟁력을 높이려면 산업계, 학계, 연구기관 등이 서로 협조하여 공동연구를 통하여 기본 HTCC 요소기술을 인내심을 가지고 꾸준히 발전시켜야 할 것이다.

또한 일본과는 달리 대기업의 참여가 없이 중견기업 위주로 이루어지는 국내 HTCC 기술 개발이 성과를 거두려면 개별기업이 사명감을 가지고 체계적이고 지속적으로 기술을 개발하고 양산품질을 확보하려는 노력이 필요하다. 또 수요대기업과 부품을 공동개발 하거나 국가과제를 편성하는 등의 국내 HTCC 기술의 자립도를 높일 수 있는 정책수단도 아울러 모색하여야 한다. 이를 통해 선진사와 대등한 제품력을 가진 세라믹 업체가 출현하여 국내 수요기업의 요구에 대응하여 HTCC 기술을 발전시켜 감으로써 최종 제품의 기능과 품질을 더욱 진보시키는 밑거름이 되기를 기대한다.

참고문헌

1. Alex E. Bailey, Ceramics and Glasses handbook, Chap 3, page 3.10-3.17.
2. Presentation자료, www.semiconductorenclosures.com.
3. Franz Bechtold, "A comprehensive Overview on Today's Ceramic Substrate Technologies", 17th European microelectronics and packaging conference, 2009. 6, Via electronics.
4. Kyocera 홈페이지 자료, www.kyocera.co.kr.
5. 김종배, "LED의 이슈 및 기술동향," 전자통신동향분석, 제24권 6호, 2009.12, page 61-76.
6. 박윤휘, 유수현, "대면적 고정밀 LTCC 다층기판기술 개발 동향 및 산업적 응용전망", 세라믹코리아, 통권 280호, 2011. 9.
7. General Ceramics, HTCC design guidelines, http://hccindustries.com/files/HCC-HTCC-Design-Guide.pdf.

이 명 렬

- 1984년 서울대학교 금속공학과 학사
- 1986년 서울대학원 금속공학과 석사
- 1994년 서울대학원 금속공학과 박사
- 1986년~1994년 한국과학기술연구원
- 1994년~1999년 한보철강 연구소
- 2000년~2008년 ㈜ 아모텍 전무이사
- 2009년~현재 ㈜ 아모엘이디 대표/연구소장