

## Multichip module 개발을 위한 LTCC 및 LTCC-M 기술

박성대, 강현규, 박윤휘, 문제도

대우전자 정밀부품 사업부 L-PROJECT Team

### LTCC and LTCC-M Technologies for Multichip Module

Seong-Dae Park, Hyun-Gyu Kang, Yun-Hwi Park, Je Do Mun

L-Project team, Precise Component Business Division, Daewoo Electronics Co. Ltd.

(1999년 8월 4일 접수, 1999년 8월 25일 게재승인)

**초 록** : 저온동시소성 또는 금속상 저온동시소성 기술은 세라믹 다층멀티칩 기술의 하나로 이 기술을 이용한 모듈은 일반 전기 부품, 고주파 및 자동차 전장에 적용되기 시작하였다. 고온동시소성 기술과 비교하여 저온동시소성 기판의 소성은 그 온도가 1000°C 이하에서 이루어지므로 전기전도도가 높은 금, 은, 구리 등의 금속을 이용하여 내부 전극을 형성할 수 있다. 금속상 저온동시소성 기술은 소성 후의 치수안정성 (x-, y- 방향으로 수축률 0.1 % 이하)의 장점으로 모듈 내부에 수동소자를 내장할 수 있으며, 이러한 장점은 전기적 특성의 향상과 신뢰성 증가를 가져온다. 모듈의 열팽창계수 및 유전율은 조성이나 소성조건을 바꾸어 조절이 가능하다. 본 기술해설에서는 저온동시소성 또는 금속상 저온동시소성 기술에 관한 소개와 장점에 대하여 설명하였다.

**Abstract** : LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) or LTCC-M (Low Temperature Cofired Ceramic on Metal) technology is one of MCM-C (Multichip Module on Ceramic) technologies and becomes to be widely used in consumer, RF and automotive electronics. As green sheets for LTCC are cofired below 1000°C in comparison with those for HTCC (High Temperature Cofired Ceramic), high conductivity metal traces such as gold, silver and copper can be used. The dimensional stability in LTCC-M technology enables embedded passives to be integrated inside modules, which enhances the electrical performance and increases the reliability of the modules. Coefficient of thermal expansion and dielectric constant can be controlled by changing composition and heating profile for cofiring. In this technical review, LTCC and LTCC-M technologies are introduced and advantages of those technologies are explained.

### 1. 서 론

현재의 전자 패키징 기술 동향은 신호 처리의 고속화, 회로의 고집적화, 제품의 고신뢰성 및 가격 경쟁력 확보를 추구하고 있다. 칩의 고집적화가 이루어지면서 칩 크기의 증가와 신호 처리 속도의 증가는 모듈 전체의 기능에 대하여 패키징에 의하여 제약 받는 정도에 이르렀다. 패키징의 종류로 실장되는 칩의 수에 따라 단일 칩 패키징과 MCM(multichip module) 패키징으로 나눌 수 있으며, 패키징 형태에 따라 SIP(Single-In-Line Package), DIP(Dual-In-Line Package), PGA (Pin Grid Array), QFP (Quad Flat Package), BGA (Ball Grid Array) 등으로 나눌수 있고 사용

되는 재료에 따라 플라스틱 패키징과 세라믹 패키징으로 나눌 수 있다. 최근 능동소자의 집적화 뿐 아니라 모듈 내부에 수동 소자를 집적하는 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이는 수동소자의 집적화에 따른 납점(solder point)의 감소와 납점으로부터의 전파방사(radiation)에 의한 손실의 감소 및 기생 인덕턴스 요소의 감소 등 기능상의 장점과, 공정의 단순화 및 원가절감과 신뢰성 향상의 효과를 함께 추구할 수 있기 때문이다. 본 고에서는 최근 파워모듈, RF 모듈 및 자동차 전장 분야로의 응용 연구가 활발히 진행되고 있는 저온동시소성 세라믹(LTCC) 및 금속상 저온동시소성 세라믹(LTCC-M) 기술과 내장형 수동소자(embedded passive)의 개발 상황을 소개한다.

Table 1. Comparison of multi-chip module technologies

	MCM-L	MCM-C (HTCC)	MCM-C (LTCC)	MCM-C (LTCC-M)	MCM-D	MCM-D (silicon)
Substrate	Organic	HTCC	LTCC	Metal/ceramic	Metal/ceramic	Silicon
Thermal Conductivity (w/mk)	0.1	15-20	2	Depending On metal	0.15	0.15
Dielectric constant	3.0-5.0	7-10	5-8.0	5.7-7	2.4-4.0	3.5-4.0
Integrated components	Very limited	Limited on top surface	Yes	Yes	Yes (high cost)	Yes (high cost)
Via diameter ( $\mu\text{m}$ )	200	125	125	125	25-75	15
Set up and Tooling cost	Low	Medium	Medium	Medium	High	High

## 2. LTCC 및 LTCC-M(Low Temperature Cofired Ceramic on Metal)의 특징

LTCC 기술은 단일칩 패키징과 MCM 기술에 응용이 가능한 기술로서 단일칩 패키징 중 세라믹 패키징의 경우 CSP (chip scale package) 혹은 BGA (ball grid array) 기판에 사용되며, MCM의 경우는 MCM-C (multi-chip module on ceramic)의 기판 재료로 응용될 수 있다. MCM은 칩이 실장 되어지는 기판 재료에 따라 MCM-L(multichip module on laminated dielectric), MCM-D (multichip module on deposited dielectric), 그리고 MCM-C로 분류될 수 있다. 각각의 MCM 기술에 대한 특징을 Table 1에 나타내었다.<sup>1)</sup>

MCM-C의 경우는 알루미늄 계통의 HTCC (high temperature cofired ceramic)가 주류를 이루었으나, 80년대 이후 LTCC에 관한 연구가 활발해지면서 이를 이용한 상품화된 제품이 나오기 시작하였다. HTCC 및 LTCC는 기존의 후막 기술과 다층기판 소성 기술 및 전금속을 사용하여야 하는데, 이에 따른 내부 전

자 패키징 기술이 결합된 기술로서, HTCC의 경우는 소성 온도가 1500°C 이상에서 이루어지므로 내부 전극 재료로 W, Mo 등의 고융점 금속을 사용하여야 하는데, 이에 따른 내부전극에 의한 저항의 증가와 기판의 온도 상승 및 알루미늄 기판 자체의 비교적 높은 유전상수에 의한 고주파 회로나 고속 디지털 회로에서의 신호 지연 등의 단점을 안고있다. 세라믹 기판 위의 금속도선을 통하여 신호가 전달될 때 신호 전달 속도의 지연 시간은 다음과 같이 표시할 수 있다.<sup>2)</sup>

$$T_d \propto \sqrt{\frac{\epsilon_r}{C}} \quad (1)$$

$T_d$  : 신호 전달 지연 시간,  $\epsilon_r$  : 유전상수,  $C$  : 광속

따라서 유전상수의 값이 작을수록 신호지연시간이 짧아지므로 기존의 알루미늄(유전상수 9-10) 보다 낮은 유전상수를 갖고 있는 glass-ceramic을 사용하는 경우 신호 지연이 적게 된다. Glass-ceramic 계통의 저온 소성 특성을 이용한 LTCC는 소성시 어느 일정 온도에서 핵이 생성, 성장하여 결정화되는 결정화 유리로서 일반적인 유리에 비하여 높은 강도를 지닌 기계

적 성질이 우수한 재료이다. 이 glass-ceramic의 또 다른 장점은 소성이 1000°C 이하에서 이루어지므로 Cu, Au, Ag 같은 전기전도도가 좋은 저융점 금속을 사용할 수 있다는 점이다. Table 2에 LTCC 및 HTCC에 사용되는 전극 재료용 금속들의 전기 전도도 및 융점을 비교하였다.<sup>3)</sup>

Table 2. Electrical resistivities and melting points of various metals

Metal	Electrical resistivity (10 <sup>-8</sup> Ωm)	Melting point (°C)
Au	2.255	1064
Ag	1.617	961
Cu	1.712	1084
W	5.39	3422
Mo	5.47	2623

LTCC 모듈은 세라믹 충전재(filler) 및 glass-ceramic의 구성 비율을 조절함으로써 원하는 열팽창 계수로의 조절이 가능하며, 이 같은 열팽창 계수의 조절은 고주파 회로에서 다음과 같은 장점을 지니게 된다. 고주파 회로의 마이크로웨이브 필터 등에 많이 사용되는 공진형 회로에서 중요한 인자 중 하나가 공진주파수의 온도계수  $T_f$  이다. 이 온도계수는 사용온도에 따라 최소화시켜야 하며 다음과 같은 식으로 나타내질 수 있다.

$$T_f = \Delta f / (f_0 \Delta T) \quad (2)$$

$\Delta f$ : 주파수 변화폭,  $\Delta T$ : 온도 변화폭

이 식은 다음과 같이 근사식으로 표현이 가능하다.<sup>4)</sup>

$$T_f = -1/2 T_k + TCE \quad (3)$$

$T_k$ : 정전용량의 온도계수

$TCE$ : 열팽창 계수

따라서 이 식에서 알 수 있듯이 열팽창계수를 조절함으로써  $T_f$  값을 최소화 시킬 수 있다.

고주파 회로에서 검토 되어야 하는 다른 중요한 사항은 전기적 손실로서, 이 손실은 제품의 성능 및 이동통신기기 등에 응용시 전지의 수명과도 직접 연관이 있는 것이다. 전기 손실은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$1/Q = 1/Q_m + 1/Q_d \quad (4)$$

$Q$ : 품질계수(quality factor),

$Q_m$ : 금속도선의 품질계수

$Q_d$ : 유전체의 품질계수

Glass-ceramic의 경우  $Q_d$ 는 1000 이상이 가능하며, 일반 PCB에 사용되는 FR4가 40인 것과 비교하면 이동통신기기에의 응용에서 LTCC가 우수한 장점을 갖고 있음을 알 수 있다.<sup>5)</sup> 또한 LTCC의 경우 다른 MCM 기판에 비하여 신뢰성이 우수하다. 고온 고습의 (85°C, 85RH) 환경하에 Dupont사의 그린시트와 일반적으로 HIC에 사용되는 알루미늄 및 폴리머 계열의 FR-4의 유전상수, 유전손실, 신호감쇄를 Table 3에 정리하였다.<sup>6)</sup> 본 표에서 알 수 있듯이 고온고습 시험을 받은 기판 가운데 FR-4가 알루미늄 혹은 Dupont 시트보다 물성치의 변화가 가장 심함을 알 수 있다. 신호감쇄 측면에서 살펴보아도 세라믹 및 glass-ceramic 계가 FR-4/Cu계의 경우보다 우수함을 알 수 있다.

LTCC-M은 위에서 설명한 기본적인 LTCC

Table 3. Changes in material properties after high temperature and humidity test (85°C, 85RH / 5GHz)

	Green Sheet (951 Green tape <sup>TM</sup> /6142 Ag)	Alumina (96% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / 6160 Ag)	FR-4/Cu
Dielectric constant	0.8 %	0.8 %	4.5 %
Dissipation factor	10 %	N/A	60 %
Attenuation	10 %	15 %	55 %

의 장점을 가지고 있으며 다음과 같은 특징이 있다. (1) 금속 기판을 사용함으로써 동시 소성 시 금속판에 의하여 그린시트의 수축을 1% 이하로 억제 할 수 있다. 기존의 LTCC에서는 x-, y-방향으로 수축이 적어도 10% 이상 일어나는데 반하여, LTCC-M의 경우는 초기의 스크린 인쇄로 정해진 패턴의 치수 변화가 x-, y-방향으로 거의 없으므로 ( $<0.1\%$ )<sup>7)</sup> 소성후 내장형 소자 형성 및 층간 정렬에서 기존의 LTCC 보다 우수하다. (2) 금속 재료가 LTCC를 지지하여 주므로 같은 두께의 LTCC에 비하여 기계적 성질이 우수하다. (3) 열적 특성면에서 LTCC의 열전도도가 2 - 6 W/mK로 일반 알루미늄에 비하여도 떨어지는데 반하여, LTCC-M의 경우는 금속 기판의 열적 특성에 의하여 LTCC 자체보다 열전도 특성이 우수하다. (4) 금속 기판 전체를 전기적인 접지면으로 사용할 수 있고 회로로부터 방사되는 전파를 흡수하여 노이즈를 줄일 수 있어 전기적 성질이 우수하다.

LTCC 및 LTCC-M은 다층기판 내부에 수동소자를 내장(embedding)할 수 있다. 수동소자를 내장함으로써 다음과 같은 특징이 있다. 소자간의 거리가 근접하여지므로 이에따른 신호처리 시간이 짧고 도선 길이에 의한 인덕턴스를 줄일 수 있다. 표면 실장에 의해 납점이 많아지는 경우 이 부위에서 새로운 인덕턴스를 형성하게 되고, 납점들이 주위의 신호들을 흡수하게 되어 고주파 회로나 고속 디지털 회로에 노이즈가 발생하게 되지만, 소자들을 기판 내부에 내장함에 의하여 이와 같은 노이즈의 발생을 막을 수 있다. 또한 표면 실장 부품의 숫자가 감소함에 따른 공정의 단순화와 신뢰성 증가의 효과를 가져 올 수 있다. LTCC-M의 경우는 위에서 명시한 바와 같이 x-, y-축 방향으로 수축이 거의 없으므로 스크린 인쇄에 의하여 정하여진 내장형 소자의 크기가 그대로 유지될 수 있는 치수 안정성이 뛰어나므로 내장형 소자 개발에 있어서 LTCC에 비하여 큰 장점을 가지고 있다.

### 3. LTCC-M 재료 및 제조 공정

LTCC-M에서 사용되는 재료는 크게 결정화 유리(crystallizable glass)계, 유리/충전제계, 세라믹/충전제계의 3가지 형태로 구별할 수 있다. 조성 설계의 경우 충전제의 양 및 성분은

원하는 유전상수와 열팽창계수에 따라서 아래에 제시한 식들을 참고로 하여 조성 설계를 한다. Maxwell에 의하면 기저상(matrix phase) 내의 분산상(dispersed phase)을 구형이라고 가정할 때, 복합체의 유전상수  $\epsilon_c$ 는 식 (5)와 같다.<sup>8)</sup>

$$\epsilon_c = \frac{V_m \epsilon_m \left( \frac{2}{3} + \frac{\epsilon_d}{3\epsilon_m} \right) + V_d \epsilon_d}{V_m \left( \frac{2}{3} + \frac{\epsilon_d}{3\epsilon_m} \right) + V_d} \quad (5)$$

: 기저상의 유전상수

: 분산상의 유전상수

$V_m$ : 기저상의 부피 분율

$V_d$ : 분산상의 부피 분율

Turner에 의하면 복합체의 부피 팽창 계수  $\alpha_c$ 는<sup>8)</sup> 식 (6)으로 주어진다.

$$\alpha_c = \frac{\alpha_1 K_1 v_1 + \alpha_2 K_2 v_2 + \dots}{K_1 v_1 + K_2 v_2 + \dots} \quad (6)$$

$\alpha_i$ :  $i$  상의 부피 팽창 계수

$v_i$ :  $i$  상의 부피분율

$K_i$ :  $i$  상의 bulk modulus

그러나 승온속도, 소성온도, 소성온도 유지시간 등 실제 열처리 조건에 따라 결정상의 종류, 양, 소성을 및 결정화 정도에 따른 소결 상태가 달라지므로 원하는 물성치를 갖게 하려면 위의 식 이외에 실제의 열처리 조건을 찾아야 한다.<sup>9,10)</sup> Table 4에 특허로 발표된 여러 성분계를 나타내었다.

LTCC-M의 제조 공정은 그린시트 제조, 비어-홀 펀칭, 비어-홀 filling, 내장형 소자 스크린 인쇄, 적층, 금속기판 부착 및 동시소성 순으로 진행되며, 이 중 그린시트 제조에 사용되는 테이프 캐스팅(tape casting) 및 페이스트 제조 공정에 대한 설명은 다음과 같다.

테이프 캐스팅 공정은<sup>11, 12, 13, 14, 15)</sup> 세라믹 분말과 유기물 성분으로 구성된 얇은 성형체를 연속적으로 제조하는 방법으로, 세라믹 분말에 용매, 가소제, 결합제 및 분산제 등의 유기물 첨가제를 혼합하여 만들어진 슬러리를 일정두께로 조절, 유출시키면서 필름 위에 치밀하고 유

Table 4. Glass-ceramic system developed by various institutes

Company	Matrix	Filler
Asahi Glass	BaO-Alumino-Borosilicate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Forsterite
Du Pont	Alumino-Borosilicate	Proprietary
Fujitsu	Borosilicate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
IBM	Cordierite	None
	$\beta$ -Spodumene	None
Matsushita	MgO-CaO-Alumino-Borosilicate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Murata	BaO, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	None
NEC	Pb-Borosilicate	(1) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Pb-Borosilicate	(2) Cordierite
	Pb-Borosilicate	(3) SiO <sub>2</sub>
Toshiba	BaO, SnO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	None
Hitachi	Pb-Alumino-Borosilicate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaZrO <sub>3</sub>

연한 그린시트를 제조하는 공정이다. 일반적으로 0.01~1.2mm 정도 두께의 얇은 그린시트를 제조하며, 이 그린시트는 필름 위에서 분리하여 용도에 따라 각개 또는 적층하여 사용한다.

테이프 캐스팅 방법에는 닥터 블레이드(doctor blade)법, 칼렌더(calender)법 및 압출법 등이 있고, 이 중에서 닥터 블레이드법이 가장 일반적인 방법이다. 닥터 블레이드법을 이용한 공정에서는 세라믹 분말에 용매(비수용성) 또는 수계(수용성) 용매를 가하고, 결합제와 가소제, 분산제 등을 첨가하여 혼합함으로써 현탁된 슬러리를 만든다. 슬러리 내에 포함되어 있는 기체를 제거하기 위해 탈포(de-foaming)를 실시한 후 캐스터에 장착된 필름을 일정속도로 움직이면서 닥터 블레이드 장치에 부어 넣으면, 필름과 일정높이를 갖도록 조절된 블레이드의 날에서 유출됨과 동시에 이동하는 필름 위에 얇은 테이프가 성형된다. 이 테이프는 건조공정을 거치면서 치밀하고 유연성 있는 얇은 그린시트가 된다.

닥터 블레이드법에 의한 테이프 캐스팅의 특징을 요약하면 다음과 같으며, 이러한 장점 때문에 현재 광범위하게 사용되고 있다.

- ① 닥터 블레이드의 높이 조절에 의해 일정한 두께의 그린시트를 용이하게 제작할 수 있

다.

- ② 그린시트가 유연성이 있어 취급 및 가공이 용이하다.
- ③ 그린시트를 적층하는 것이 가능하여 다층기판의 제작이 용이하다.
- ④ 건식 가압 성형법에 비해 충전밀도가 높다.
- ⑤ 비교적 저온에서 소성이 가능하다.

테이프 캐스팅 기술을 이용하여 세라믹 제조에 응용되는 분야를 보면 전자기용 세라믹 기판, IC용 세라믹 패키지, 다층 세라믹 패키지, 다층세라믹 회로기판 및 적층 세라믹 콘덴서, 각종 칩 부품의 제작 등에 이용되고 있다.

LTCC-M 기술에 사용되는 후막 공정은 기존의 HIC 기술에 사용되는 스크린 인쇄 방법을 사용하며, 저항, 캐패시터, 인덕터 등을 내장하여 다층으로 적층할 수 있으므로 회로의 고집적화를 이룰 수 있다는 장점 때문에 현재 널리 각광받고 있다. LTCC-M의 전도체(conductor)로 일반적으로 사용되는 Ag, Au, Ag/Pd 페이스트는 glass-ceramic계의 그린시트와 동시소성을 거쳐야 하므로 열팽창계수를 비롯한 각 특성의 부합성(compatibility)이 가장 중요하다고 할 수 있다.<sup>16, 17)</sup> 페이스트는 기능을 부여하는 기능상(예를 들면, Ag, Ag/Pd, Cu, Au, RuO<sub>2</sub> 등), 접합용 유리질, 인쇄성을 부여해주는 유기용매(vehicle) 및 분산제로 이루어진

다.<sup>18)</sup> 이러한 구성 성분을 일정시간 혼합하여 균일하게 분산시킨 후, 3-roll mill을 통해 응집체를 분쇄하면 일정한 점도를 갖는 페이스트가 만들어진다. 기존의 HIC의 경우 기판 자체가 소성된 알루미늄인데 반해, LTCC-M의 그린시트는 흡습성이 있기 때문에 페이스트의 조성결정에 이와 같은 특징을 고려하여야 한다. 또한 페이스트 중의 용제가 그린시트의 결합체와 반응할 수 있으므로 이에 대한 고려도 함께 하여야 한다. 위의 방법으로 제조된 페이스트는 일반적으로 스크린 인쇄 방법으로 기판에 도포되어 소성을 거쳐 일정한 회로를 형성하게 된다. 전도체 페이스트로 사용되는 것으로 Ag, Ag/Pd, Au, Ag/Pt 페이스트 등이 있는데, 내부 전도체용으로 주로 Ag가 많이 쓰이고 있으나 소성후 표면 전도체용으로는 습기에서의 Ag migration 문제 때문에 주로 Ag/Pd 또는 Au 제통이 많이 사용된다.

#### 1) Ag/Pd

현재 사용하고 있는 Ag/Pd 전도체는 일부 수동 소자들을 기판 위에 표면실장(surface mounting)하기 위하여 사용되는 전도체로서, 내부 전극에 사용되는 Ag에 비하여 전기전도도는 떨어지지만 납땀시 Ag leaching 현상이 적으므로 모듈의 표면 전극으로 많이 사용되어진다. 동시소성 이후 표면전극을 인쇄하여 2차 소성을 거치면 표면 전극이 형성되며, 기존의 HIC 등에서 요구하는 특성과 같이 납땀성, leaching resistance, 접합강도 등이 우수해야 한다.

#### 2) Au

Au는 주로 패키지 구현시 IC의 wire bonding pad용으로 사용되며, 높은 전도도와 신뢰성, wire bonding 강도가 주요 특성으로 요구된다. 동시소성시와 2차소성시 모두 적용 가능하나, 동시소성시에는 그린시트와의 수축을 정합이 요구된다.

#### 3) 비어(via)

비어는 위, 아래 층을 전기적으로 연결시켜주는 역할을 하는 것으로 LTCC와 LTCC-M 계의 수축 특성을 고려하여 비어 부분에서 회로의 끊김이 발생하지 않도록 조성 설계를 하여야 한다. 또한 비어 위, 아래 층으로 연결되어지는 전도체가 Ag와 Au인 경우 Kirkendall void

과에 의한 회로의 끊김이 발생하지 않도록 완충 작용을 하는 중간층을 형성하거나 혹은 조성 설계를 통하여 전이금속성 비어 페이스트를 만들어 이러한 동공현상을 억제하여야 한다. LTCC-M의 경우 그린시트는 두께 방향으로만 수축하므로, 비어 페이스트가 모든 방향으로 수축할 때 비어와 전도체 사이에 공간이 생기게 되어 회로의 끊김이 발생할 수 있다. 따라서 그린시트 내부 유리의 전이온도보다 다소 높고, 소성온도에서 결정화되지 않는 비정질 유리를 약 30-75% 정도 함유하는 페이스트를 사용한다.<sup>19)</sup>

### 4. 내장형 수동소자(embedded passive) 개발

일반적으로 각 회로에서 요구하는 수동 소자의 허용편차는<sup>20)</sup> 다음 Table 5와 같다. 내장형 소자의 허용편차는 후막공정 및 다층 세라믹 소성 기술의 한계에 의하여 결정되어 지고 이를 극복하기 위하여는 그것에 상응하는 원가 상승이 있으므로 원하는 허용편차와 제조 원가와의 절충을 취하여야 한다. MCM 모듈 개발에 있어서 현재의 연구 동향은 가능한 많은 수동 소자를 모듈 내부에 내장하려는 방향으로 연구가 진행되고 있다.<sup>21)</sup> 이 경우 전 절에서 언급한 바와 같이 개별소자를 SMD 형태로 실장하는 경우와 비교하여 납점의 감소에 의한 신뢰성 향상, 제조 공정의 단순화, 납점에 의한 회로간의 간섭현상의 감소, 납점에서의 기생 인덕턴스를 감소시키는 등의 효과가 있다.

저항 페이스트는 전도성 성분인 RuO<sub>2</sub>, 절연상인 유리질, 온도계수 보완재(TCR modifier)로 이루어진다.<sup>22)</sup> 알루미늄 기판상에 회로를 구현하는 HIC 등과는 달리 LTCC-M에서는 저항체가 그린시트 사이에 내장되며 그린시트와 동시소성을 거쳐야 하므로 공정조건에 상당히 민감하며, 그린시트의 조성 및 반응정도에 따라 상당히 다른 결과가 나올 수도 있다.<sup>23, 24)</sup> 즉 저항체의 특성은 RuO<sub>2</sub>의 모양 및 입도 분포, 유리질의 입자크기, 그린시트와의 반응 관계, 압력 분포 등 여러 요소에 의하여 결정되어지므로 이러한 재료 특성과 공정 조절에 주의를 요한다. 저항 페이스트는 전도성 성분과 절연성 성분의 상대적인 비율에 따라 수십 Ω/sq.에서 수 MΩ/sq.까지의 시트저항(Rs, sheet resistance)을 구현할 수 있다.<sup>25)</sup> 요구

특성으로는 TCR (Temperature Coefficient of Resistance), VCR(Voltage Coefficient of Resistance), STOL (Short Term Overload Voltage) 등이 있으며 신뢰성 시험 항목을 모두 거쳐야 한다. 현재 내장형 저항체 기술은 전 세계적으로 기존의 HIC용 저항체에 비

제 양과 정전용량 관계, 전극과 그린시트 상호간의 반응에 관한 고찰 등이 수반되어야 한다.<sup>26, 27, 28)</sup> 캐패시터의 경우는 저항보다는 압력 분포에 더 민감하며 내장되는 위치에 따라 값 자체의 변화가 있으므로 이에 대한 고려를 하여 위치를 정하여야 한다.

인덕터의 경우는 형상에 따라 loop, mea-

Table 5. Requirement for embedded passives<sup>20)</sup>

Application		Value range	Tolerance (%)	Other requirement
Digital application	Decoupling capacitors	0.01 - 0.1 $\mu$ F	10 - 20	Low series inductance
	Pull-up/down resistors	1 - 30 $\Omega$	10 - 20	
	Terminating resistors	20 - 100 K $\Omega$	1 - 10	
	Capacitors	10 - 100 pF	10 - 20	
	Filter resistors	1 - 10 M $\Omega$	20	
Analog and Mixed-signal application	Resistors	10 - 100 M $\Omega$	1 - 10	Tightly matched ratios
	Signal capacitors	10 pF - 10 nF	5 - 10	Tightly matched ratios
	Decoupling capacitors	0.01 - 0.1 $\mu$ F	10 - 20	
	EMI filter capacitors	1 - 10 nF	10 - 20	
	Choke inductors	1 - 10 $\mu$ H	10 - 20	
RF and Microwave application	Signal inductors	1 - 20 nH	1 - 10	High Q and self-resonant frequency
	Signal capacitors	1 - 20 pF	5 - 10	High Q and self-resonant frequency
	Decoupling capacitors	0.01 - 0.1 $\mu$ F	10 - 20	Low series inductance
	Choke inductors	1 - 10 $\mu$ H	10 - 20	High Q and self-resonant frequency
	Terminating resistors	20 - 100 $\Omega$	1 - 10	
	Signal resistors	10 - 1 $\Omega$	1 - 10	Tightly matched ratio

해 기술이 완전히 확립되어 있지는 않은 상태이며, 허용편차를 줄이고, 재현성 및 신뢰성을 향상시키려는 연구가 계속 진행되고 있다.

캐패시터(capacitor) 제조에 있어서는 유전체 내부의 pin hole 방지, 소결을 위한 소결조

nder, spiral 형태가 있으며 품질계수, 코일 저항에 따른 최대 전류, 인덕터와 접지면과의 거리 및 코일 내부 선간의 거리에 따른 기생 정전용량에 의한 자가공진주파수(SRF, self resonant frequency) 등을 고려하여 인덕터

의 형태 및 주변회로를 설계하여야 한다. 일반적으로 내장에 의하여 인덕터 소자의 크기가 작아지는 경우 SRF의 값은 커지지만 저항 증가에 의한 품질계수값은 작아지므로 이와 같은 저항 증가를 최소화 시키면서 내장형 인덕터를 개발하여야 한다.

## 5. 업계 동향

LTCC를 이용한 MCM-C의 연구 및 생산은 크게 두가지 형태로 이루어 지고 있다. 첫째는 기존에 상품화되어 생산되어지는 그린시트 및 페이스트를 이용하여 MCM-C를 구현하는 것이며, 둘째는 자체적으로 주어진 목적에 맞게 그린시트 및 페이스트를 제조하여 MCM-C를 구현하는 형태로 나누어 진다. 그린시트의 경우 Dupont, Ferro 등이 LTCC용 그린시트를 상품화하여 판매하고 있는데, Ferro의 경우는 calcium borosilicate 계통의 "A6 그린시트"를, Dupont의 경우는 유리와 충전재의 복합체 형태로 알루미늄과 열팽창 계수가 비슷한 "851 Green Tape™"와 glass-ceramic과 충전재의 복합체 형태로 열팽창 계수가 851 Green Tape 보다 낮은 "951 Green Tape™"를 개발하였다. 그리고 각각의 그린시트 시스템에 적합한 전도체 페이스트를 함께 개발하여 그린시트와 함께 판매하고 있다. 내장형 수동소자의 경우 일부 상품화된 LTCC용 저항 및 캐패시터 페이스트와 개발 단계의 페이스트가 보고되어 있다.

IBM 및 Dupont의 경우 constrained sintering 개념을 도입한 소성시 수축이 없는 LTCC 공정에 관한 특허를 갖고 있으며, 이 개념(그린시트 적층시 위아래로 알루미늄 그린시트를 적층하여 소성시키고 소성 후 알루미늄 제거)을 이용하여 Matsushita에서 플립 칩 본딩(flip chip bonding)과 결합된 기술을 발표한 바 있다.<sup>29)</sup> 자동차 전장용으로 여러 저항을 내장한 ABS용 모듈을 개발하는 분야와 통신 분야의 경우, 각각의 층에 유전상수가 다른 층들을 함께 적층하여 층마다 원하는 목적에 맞는 기능을 갖게, 가령 안테나, 듀플렉서, 링 레조네이터 등을 제작하여 함께 일체화시킴으로써 모듈을 좀더 소형화시키는 연구 등이 진행되고 있다. Table 6에 업체별 응용분야에 대하여 정리하였다.

최근에는 통신 관련 선진 업체들이 상호협력

을 통하여 이동통신 부품의 표준화에 박차를 가하고 있으며, 이 가운데 Nokia, Ericsson, IBM, Intel, Toshiba 등이 참여하고 있는 BlueTooth (<http://www.bluetooth.com>) 소자의 경우는 이 소자가 갖고 있는 장점(RF기술을 이용한 이동통신 단말기 및 전자기기간 데이터 전송 : 2.45GHz에서 동작)과 시장성으

Table 6. Research area of various institutes in LTCC technology

Company	Application
IBM	Green sheet using cordierite MCM-C for main frame computer
Siemens	LTCC for automotive engine controller
Heraeus	Green sheet using BaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> system Car electronics
Hughes	32 bit signal processor
Motorola	Component for telecommunication
Hitachi	RF component (PAM)
Sharp	RF component

로 인하여 부품제작 업체로부터 많은 관심을 끌고 있다.<sup>30)</sup> 이 소자의 구현을 위하여 LTCC 및 LTCC-M 기술을 이용한 모듈제작에 관한 연구가 점차 확대되어지고 있다. 이러한 빠른 선진업체들의 대응에 반하여, 국내의 LTCC를 이용한 모듈 제작기술은 아직 초동 단계에 있다고 할 수 있다. 국내에서도 학계에서는 오래전부터 LTCC 재료에 대한 연구가 진행되어 오고 있으나 본격적인 모듈로서의 상품으로 개발된 것은 거의 없다. 그러나 통신시스템의 사용주파수가 더욱 고주파화 되어감에 따라 저손실, 고신뢰성의 LTCC계에 대한 관심과 필요성이 국내에서도 점차 부각되고 있다. 이러한 추세에 발맞추어 고등기술연구원과 대우전자는 TV 및 통신용 모듈, RF 모듈 제작에 LTCC-M 기술을 적용하는데 공동연구를 진행하고 있다. Fig.1은 개발품의 일례로서 TDX(time division exchange), FLC(fiber loop carrier) 등에





Fig. 1. Module for subscriber line card fabricated by using LTCC-M technology (size 62x16mm)

사용될 수 있는 가입자 모듈로서 LTCC-M과 플립 칩 본딩 기술을 이용하여 구현한 모듈이다.

## 6. 결론

본 기술해설에서는 LTCC-M을 중심으로한 MCM-C에 관하여 설명하였다. 서론에서 언급한 바와같이 각각의 MCM 기술의 장단점이 있으므로 기판 선정시 사용하는 목적에 맞는 기능과 경제성을 파악하여 선정하여야 할 것이다. LTCC-M 혹은 LTCC 기술은 단일칩 패키징과 MCM의 기판에 응용이 가능하다. 일반 MCM-L에 사용되는 FR-4에 비하여 고주파 특성, 열적 특성 및 신뢰성이 우수한 장점을 갖고 있다. 또한 이 기술은 칩을 실장하지 않더라도 레조네이터, 듀플렉서, RF 필터 등의 기능성 수동 부품 제작이 가능하며, 원하는 특성에 맞게 유전상수를 조절하고 층간에 요구하는 부품을 내장함으로써 여러가지 기능을 가진 모듈로 구현할 수 있어 제품의 소형화에 기여할 수 있다. 일반 MCM은 수동소자가 모듈 내부에 실장됨에 의한 신호처리 시간의 단축, 표면의 수동소자 부품의 실장을 위한 납점 감소에 따른 신뢰성 증가, 공정의 단순화 및 전체 조립 공정의 감소, 납점으로부터의 전파방사에 의한 손실의 감소, SMD 부품 자체가 갖는 기생요소에서 오는 기능 저하가 없다는 등 여러가지의 장점을 갖고 있다. 또한, 기판 자체의 작동 온도가 150°C 이상인 경우 FR-4의 낮은 유리전이온도에 의하여 기판의 사용이 제약을 받는데 반하여, LTCC 및 LTCC-M의 경우 작동온도는 기판이 아닌 실장되어진 칩의 사용온도에 따라 제약을 받으므로 온도안정성이 우수하다. 이와 같

이 LTCC 또는 LTCC-M은 기존의 FR-4 또는 알루미늄 기판 보다 여러 기능적인 면에서 우수한 장점을 갖고 있으므로 향후 여러 응용 분야에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

현재 LTCC 및 LTCC-M 기술은 성장기에 있는 기술로서 여러분야에서 적용이 되어지고 있다. 그러나, 이 기술의 응용범위가 고주파 및 고기능화 모듈로 확대되어지고 재료가 가지고 있는 특성을 살리기 위하여, 다양한 주파수 대역에서의 소자특성을 예측할 수 있는 특성 라이브러리의 구축, 신뢰성 있는 품질과 경쟁력 있는 제조원가를 갖는 LTCC 그린시트의 생산, RF 부품 적용시 내부 소자들간의 간섭이나 접지면의 영향을 평가하기 위한 시뮬레이션 기법의 개발, 더욱 향상된 허용편차를 갖는 내장형 저항, 캐패시터, 인덕터의 개발 등의 노력이 필요하다.

지속적인 신재료 개발과 공정기술 향상이 진행되고 있으므로 이러한 요구사항들은 머지않아 극복될 것이며, 따라서 LTCC 및 LTCC-M은 고주파, 파워, 전장 모듈 및 패키징 분야에서 매우 유용한 기술로 자리잡을 것이다.

## 참고 문헌

1. S. Turvey, "Ceramic materials in an evolutionary trend", *Advancing microelectronics*, **23**, 13 - 15 (1996)
2. R. R. Tummala, E. J. Rymaszewski and A. G. Klopfenstein, *Microelectronics packaging handbook Part III*, Chapman & Hall, New York (1997)
3. *Handbook of chemistry and physics*, 75th edition, CRC press
4. A. J. Moulson and J. M. Herbert, *Electroceramics*, Chapman & Hall, London (1993)
5. D. L. Wilcox, Sr., R.F. Huang and D. Anderson, *Proceedings of international symposium on microelectronics*, 17 - 23, Philadelphia, Pennsylvania (1997)
6. D. I. Amey and S. J. Horowitz, *The international journal of microcircuits and electronic packaging*, **20**, 403 (1997)

7. A. N. Prabhu, U.S. Patent 5,277,724 (1994)
8. W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann, "Introduction to ceramics", John Wiley & Sons, New York (1976)
9. J. S. Thorp, M. Akhtaruzzaman, E. A. Logan "The dielectric properties of glass-ceramic on metal substrates for microelectronics packaging", *J. Materials Science*, **26**, 5367 - 5374 (1991)
10. G. Patridge, C. A. Elyard and H. D. Keatman "Glass ceramic materials for use in substrate and packaging applications", *Glass technology*, **30**, 215 - 219 (1989)
11. 한문희, 안영수, "Tape Casting 공정에 대하여," *요업기술*, **10**, 152 - 161 (1995)
12. James S. Reed, *Principles of Ceramics Processing (2nd edition)*, Wiley-Interscience, 525, New York (1995)
13. Rodrigo Moreno, "The Role of Slip Additives in Tape Casting Technology: Part I- Solvents and Dispersants," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **71**, 1521 - 1530 (1992)
14. Rodrigo Moreno, "The Role of Slip Additives in Tape Casting Technology: Part II- Binders and Plasticizers," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **71**, 1647 - 1655 (1992)
15. Edmond P. Hyatt, "Making Thin, Flat Ceramics - A Review," *Ceramic Bulletin*, **65**, 637- 638 (1986)
16. S. Vasudevan, "The effect of Processing Parameters and Surface Roughness of Conductor Traces on the Microwave Properties of LTCC Structure", *Proceedings of the International Symposium on Microelectronics*, 40-44, Minneapolis, Minnesota (1996)
17. Heiko Thust, Karl-Heinz Drue, Torsten Tholemann, "Performance of Buried Resistors in Green Tape 951", *Proceeding of the International Symposium on Microelectronics*, 48 - 53 (1997)
18. P.J. Holmes, R.G. Loasby, "Handbook of Thick Film Technology", Chapter 1., Electrochemical Publication Ltd., Glasgow (1976)
19. A. N. Prabhu, B. J. Thaler, U.S. Patent 5,581,876.
20. R. C.Frye, "Passive components in electronic applications: requirements and prospects for integration", *Microcircuits & electronic packaging*, **19**, 483 - 490 (1996)
21. R. C. Frye, "Integrated passive components : technologies, materials and design", *The international journal of microcircuits and electronic packaging*, **20**, 578 - 586 (1997)
22. J. S. Shan, W.C. Hahn, "Material Characterization of Thick Film-Resistor Pastes", *IEEE transactions on componenets, hybrids and manufacturing technology*, Chmt-1, No 4, 383 (1978)
23. H.T. Sowhill, A.L. Eutice, S.J. Horowitz, J.Gar-El and A.R. Travis, "Low Temperature Co-fireable Ceramics with Co-fired Resistors", *Proceedings of the 1986 international symposium on microelectronics*, 473 - 486 (1986)
24. S. Vasudevan and A. Shaikh, "Shrinkage Matched Cofireable Film Resistors for LTCC", *Proceedings of electronic components and technology conference*, 612 - 616 (1994)
25. P.J. Holmes, R.G. Loasby, "Handbook of Thick Film Technology", Chapter 7., Electrochemical Publication Ltd., Glasgow (1976)
26. Y. Baba, H. Ochi and S. Segawa "High reliability internal capacitor of LTCC", *IEEE Transactions on components, packaging and manufacturing technology*, **18**, 170 - 173 (1995)
27. L. Drozdyk "Capacitors Buried in Green Sheet", *Proceeding of the International Symposium on*

- Microelectronics, 209 - 214 (1993)
28. R. Wahlers, D. Dychala, C. Huang and S. J. Stein "Low firing temperature capacitor tape materials", Proceeding of the International Symposium on Microelectronics, 232 - 237 (1993)
29. M. Itagaki, Y. Bessho, K. Eda and T. Ishida " A zero X-Y shrinkage low temperature cofired ceramic substrate using Ag and AgPd conductors for flip-chip bonding", Proceeding of the International Symposium on Microelectronics, 55 - 59, Minnesota (1996)
30. *Advancing Microelectronics*, 26, No.2, 33-34 (1999)