

LTCC-M 기술을 이용한 내부실장 R, L, C 수동소자의 특징 및 LMR용 PAM 개발

김인태, 박성대, 강현규, 공선식*, 박윤휘, 문제도
대우전자 L-Project, 오리온전기 PDP 사업부
(E-mail; kit@mail.dws.daewoo.co.kr)

Characteristics of Embedded R, L, C Fabricated by Using LTCC-M Technology and Development of a PAM for LMR

I. -T. Kim, S. D. Park, H. G. Kang, S. S. Kong, Y. H. Park, and J. D. Mun
L-Project Daewoo Electronics, PDP Division Orion Electronics

1. 서론

통신 기술의 발달은 이동 통신 단말기의 보편화를 유도하였고, 이동 통신과 사무 기기 간 혹은 사무 기기 간(10m 이내)의 무선 통신을 위한 Bluetooth 부품에서 중궤도, 저궤도 위성 등을 이용한 GPS(Global Positioning Satellite), wireless internet 등으로 활용 범위를 점차 확대시키고 있으며, 전송되는 데이터 양이 많아지면서 사용 주파수가 높아지고 이에 따른 고주파 특성이 좋은 부품에 대한 요구가 커지게 되었다. 또한 부품의 소형, 경량화, parasitic effect의 최소화, 신뢰성 증가, noise 특성 향상 등을 위하여 모듈 표면에 실장되는 수동 소자를 내부에 실장하는 연구가 차세대 패키지 기술로서 주목을 받고 있다. 신뢰성이 좋은 세라믹 다층 기판은 HTCC(고온 동시 소성 세라믹), LTCC(저온 동시 소성 세라믹), LTCC-M(금속상 위의 저온 동시 소성 세라믹)으로 나눌 수 있으며, LTCC 및 LTCC-M은 구성재료의 고주파 특성이 우수하며 모듈 내부에 수동 소자를 실장할 수 있고 소성온도가 1000℃ 이하로 전기전도도가 높은 금, 은, 구리 등의 금속을 이용하여 내부 전극을 형성할 수 있어 전극에 의한 저항 손실이 HTCC보다 작다. LTCC-M은 소성 후의 치수안정성을 장점으로 모듈 내부에 수동소자를 보다 적은 편차로 내장할 수 있으므로 전기적 특성과 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

LTCC-M은 금속 기판을 사용함으로써 동시 소성시 금속 판에 의하여 그린시트(green sheet)의 x-, y- 방향으로의 수축을 1% 이하로 억제할 수 있다. 따라서 스크린 인쇄에 의하여 정하여진 내장 소자의 크기가 그대로 유지될 수 있으므로 수동 소자의 내장이 용이하다. 수동 소자를 내부에 넣을 경우 표면 실장 부품의 숫자가 감소함에 따라 공정의 단순화와 신뢰성 증가의 효과를 가져올 수 있다. 또한 소자간의 거리가 근접하게 되어 이에 따른 신호처리 시간이 짧고 도선 길이에 의한 인덕턴스를 감소시킬 수 있다. 또한 LTCC-M은 금속 기판 전체를 전기적인 ground로 사용할 수 있으므로 회로로부터의 radiation을 흡수할 수 있어 noise를 감소시킬 수 있다. 그 밖에 금속의 지지 역할로 기계적 충격에 강한 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 수동 소자 R, L, C에 대하여 내장이 가능한 테스트 패턴을 제작하여 기본 특성을 조사하고 실제 모듈 제작에 응용하고자 하였다.

2. 실험 방법

LTCC-M의 제조 공정은 금속의 준비, 그린시트의 제조, 인쇄 공정, 라미네이션, 그리고 동시 소성으로 이루어진다. 기판의 제조 공정 흐름도는 Fig. 1에 나타내었다. 기본값의 결정을 위하여 수동 소자인 R, L, C에 대하여 Fig.2와 같은 테스트용 패턴을 구상하여 시편을 제조한 후 물성을 측정하였다. 이러한 값을 기초로 하여 LMR(land mobile radio)용 power amplifier module을 제작하였다.

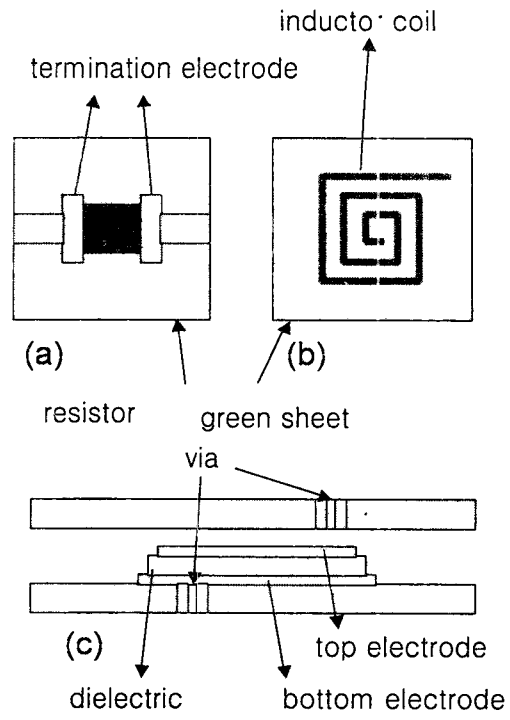
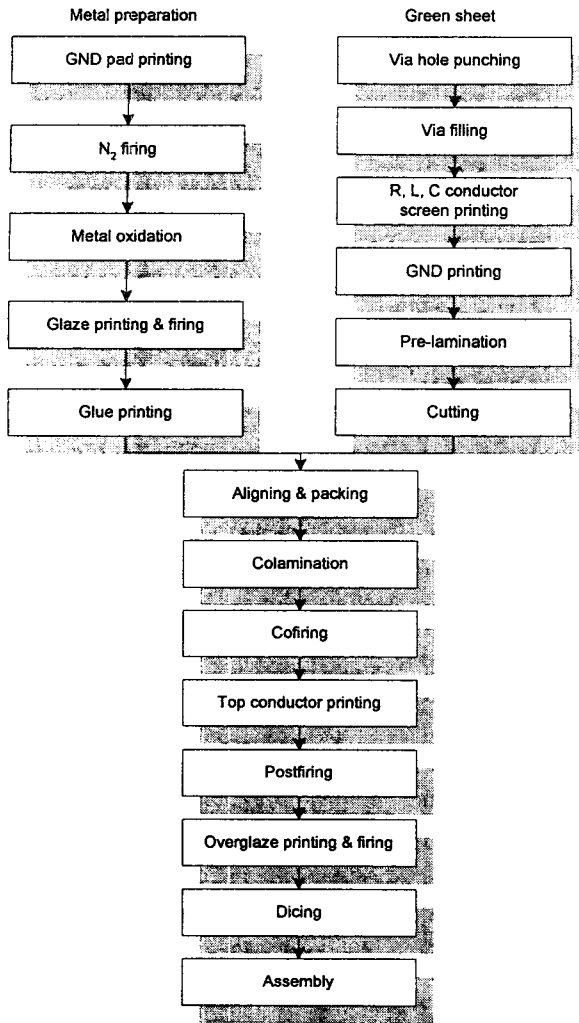


Fig. 2 Schematic diagrams of test patterns. : (a) resistor (b) inductor (c) capacitor (side view)

Fig. 1 Flow chart for LTCC-M substrate fabrication.

3. 결과 및 고찰

3.1 Test Pattern에 의한 실험

3.1.1 금속 기판 Ground

금속 기판을 전기적인 ground로 사용하여 회로 상의 noise 문제를 해결할 수 있다. 이를 위해 금속 기판에 Ag/Pd를 인쇄한 후에 소성하여 그린시트와 연결된 부위를 형성시켰다. 이때 금속 기판 표면이 산화되는 것을 방지하기 위하여 N₂ 분위기에서 소성을 하였다. 약 20 μ m의 두께로 인쇄한 패드(2 \times 2mm)는 소성 후에 모두 10m Ω 이하의 낮은 저항값을 나타내어 그린시트의 상부와 내부로부터 금속간의 ground가 가능하였다.

3.1.2 Resistor

저항 페이스트는 전도성 성분인 RuO₂와 절연상인 glass frit, TCR modifier로 이루어진다. LTCC-M에서의 저항은 그린시트 내부에 내장되어 그린시트와 동시에 소성을 거치므로 공정조건에 상당히 민감하며, 그린시트의 조성 및 반응 정도에 많은 영향을 받는다. 즉 저항의 특성은 RuO₂의 모양 및 입도 분포, 그린시트와의 반응 관계, 압력 분포 등 여러 요소에 의하여 결정되어 지므로 재료 특성과 공정 조건의 조절에 주의를 요한다.

저항값은 전도성 성분과 절연성 성분의 상대적인 비율에 따라 다양한 값의 sheet resistance를 구현할 수 있다.¹⁾ 본 연구에서는 상대적인 비율에 따라 6가지의 형태의 sheet resistance를 갖는 저항체를 구현할 수 있었다. 이들 저항들의 tolerance는 $\pm 10\%$ ~ 20% 로 그린시트에 내장된 경우에 있어서 매우 우수한 결과를 나타내고 있다. 저항값의 편차는 저항 페이스트가 스크린 인쇄된 후의

형상, 소성 중의 그린시트와의 반응, 전극과의 반응 등과 스크린 인쇄 치수 편차에 의해 결정되어진다. 이들 저항의 sheet resistance, tolerance와 thermal aging, thermal cycling, humidity aging 후의 값의 변화 등을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Electrical properties of various resistors.

	Res 1	Res 2	Res 3	Res 4	Res 5	Res 6
sheet resistance	30	60	100	1K	10K	100K
tolerance	±10%	±10%	±10%	±10%	±15%	±20%
thermal aging ¹	< 0.25%	< 0.5%	< 0.25%	< 0.1%	< 0.1%	< 0.15%
thermal cycling ²	< 0.15%	< 0.5%	< 0.2%	< 0.1%	< 0.1%	< 0.15%
humidity aging ³	< 0.15%	< 0.5%	< 0.2%	< 0.1%	< 0.1%	< 0.1%

¹ 125°C for 1000 hours, no load.

² -55°C to 125°C, 20 minutes at temperature, 1000 cycles.

³ 85°C/85% R.H. for 1000 hours, no load.

3.1.3 Inductor

인덕터는 형태에 따라 루프, 너문형, 나선형으로 나누어질 수 있다. 인덕터의 형태와 값을 디자인할 때에는 Q-factor, 코일의 저항에 따른 최대 전류, 자기 공진 주파수 등을 고려하여야 한다. 인덕터를 내장하여 소자의 크기를 작게 하는 경우 자기 공진 주파수의 값은 증가하지만 저항의 증가에 따른 Q값은 감소하게 되는 점이 Table 2 Electrical properties of inductors. 있다.

그린시트 내부에 나선형의 형태로 도선을 인쇄하여 소성한 후에 측정된 인덕턴스는 크기와 회선 수에 따라 10nH에서 60nH의 값을 나타내었으며 ±10%의 우수한 tolerance를 보였다. 측정된 값을 Table 2에 나타내었다.

inductance	10~60nH
line\spacing	200 μ m
tolerance of inductance	±10%
temperature coefficient of inductance	-10% (20~85°C)
high temperature test (125°C, 700hrs)	±5%

3.1.4 Capacitor

커패시터의 제조에 있어서 주의하여야 할 점은 유전체 내부의 핀홀(pin hole) 현상, 소결을 위한 소결조제와 커패시터의 값의 변화, 전극 물질과 그린시트 상호 간의 반응 등이다.²⁾ 커패시터의 경우 저항체보다도 압력의 분포에 더 민감하므로 내장되는 위치에 따라 값 자체가 크게 변화하므로 이에 대한 영향도 충분히 검토되어야 한다. Table 3 Electrical properties of various capacitors.

커패시터의 값은 유전체인 주성분과 소결조제 등의 함유량에 따라 기본적으로 정할 수 있으며, 인쇄 두께, 전극 면적 등의 공정 조건의 조절로 값을 변화시킬 수 있다. 상대적인 구성비와 주성분을 변화시키면서 제조한 3가지의 커패시터의 유전율 등을 측정하여 Table 3에 나타내었다.

	Cap 1	Cap 2	Cap 3
dielectric constant	40	200	560
tolerance	±20%	±15%	±20%
dissipation factor	< 1%	< 1%	< 1%
high temperature test ¹	±5%	±5%	±5%
temperature cycle test ²	±5%	±5%	±5%
temperature-humidity test ³	±5%	±5%	±5%

¹ 125°C for 500 hours, no load.

² -55°C to 125°C, 20 minutes at temperature, 500 cycles.

³ 85°C/85% R.H. for 500 hours, no load.

3.2 모듈에의 응용

테스트 패턴에 의한 작업을 기초로 하여 R, L, C 수동소자가 모두 내장되어 있는 모듈을 제작하였다. 휴대용 무전기 등에 사용될 수 있는 LMR용 power amplifier module(440~470MHz)로서 저항 5개, 인덕터 3개, 커패시터 5개가 내장되어 있고, 표면에 microscrip line이 형성되어 있다. 디자인되어진 목표치에 맞도록 저항은 Res 1

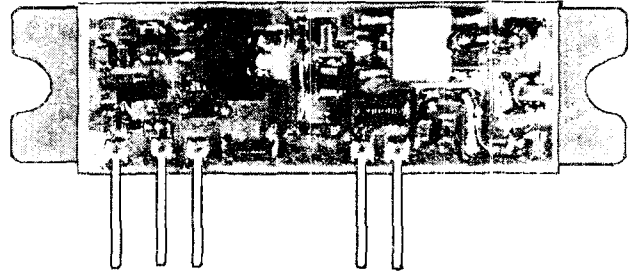


Fig. 3 The power amplifier module for LMR.

과 Res 4가, 커패시터는 Cap 3이 선택되었으며, 공정의 단순화와 다른 수동 소자와의 영향을 최소화하기 위하여 각 수동 소자는 다른 층에 인쇄하였다. 지지 역할을 하는 금속 기판은 ground로 처리하여 noise 특성이 개선되도록 하였다. 제조한 기판에 표면 실장 부품을 장착한 후 모듈로서 제작한 것을 Fig. 3에 나타내었다.

내장된 각 수동소자의 목표치와 측정값을 Table 4에 나타내었다. 저항과 커패시터의 경우 비교적 목표치에 부합하는 소자의 구성이 가능하였으며, 인덕터의 경우 측정 주파수와 차이에 기인한 것으로 주파수가 증가하면 내부 코일의 skin effect에 의하여 인덕턴스가 감소하게 된다.³⁾

제작된 모듈은 사용 주파수인 440~470MHz에서 10mW의 입력전압에 7W의 출력전압을 얻었으며 약 40%의 효율을 나타내었다.

Table 4 The measured values of passive components.

Resistor	R2	R3	R4	R5	R6
Target	2.1k Ω	1.76k Ω	22 Ω	33 Ω	56 Ω
Value	1.88	1.70	22.7	32.1	50.7
Inductor	L1	L2	L3	/	
Target	12nH	4.7nH	27nH		
Value	16.0	8.1	37.7		
Capacitor	C2	C6 // C7	C14 // C15	/	
Target	330pF	660pF	1330pF		
Value	321	627	1253		

Measuring frequency: inductor(1MHz), capacitor(10kHz)

4. 결론

LTCC-M은 소성 후에 x-, y- 방향으로의 수축을 1% 이하로 억제할 수 있어 수동 소자를 내장하는데 매우 유리하며, 금속 기판 전체를 ground로 사용함으로써 noise를 감소시킬 수 있다. 내장된 수동 소자는 테스트 패턴 상에서 10~20%의 변화값을 보였으며 실제 모듈에 적용하여도 목표치에 부합하는 소자 구성이 가능하였다.

수동 소자가 내부에 실장됨으로써 신호 처리 시간을 감소시킬 수 있고, solder point의 감소로 공정을 단순화시킬 수 있을 뿐만 아니라 신뢰성 또한 증가시킬 수 있으므로 향후 RF module 외에 다양한 분야에 응용이 가능할 것이다.

참고 문헌

- 1) P. J. Homes, and R. G. Loasby, "Handbook of Thick Film Technology," Ch. 7, Electrochemical Publication Ltd., Glasgow, (1976).
- 2) Y. Baba, H. Ochi, and S. Segawa, "High Reliability Internal Capacitor of LTCC," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 18, 170-73, (1995).
- 3) J. Müller, Holger Riecke, Torsten Tuschick, "Synthesis of 3D-Inductors with Optimized RF-Performance," Pan pacific microelectronics symposium, Proc. the technical program, Feb, 239~45, (1996).