

수동소자 내장형 고주파 적층 모듈 기판의 연구

이우성, 유찬세, 김경철, 박종철
전자부품연구원

Study on the multi-layered Module of embedded passives for high frequency

W. S. Lee, Y.C. Yoo, C.K. Kim, J.C. Park
Korea Electronic Technology Institute (KETI)

Abstract

휴대이동전화의 고성능화, 소형화에 따라서 전자부품들은 고집적화가 요구되고 있다. 이에 따라서 많은 수의 수동부품을 회로 기판 내에 내장화하기 위한 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramic: 저온동시소성)기술이 적용된 부품의 출현이 계속되고 있다. 본 연구에서는 이러한 저온동시소성 기술을 활용하여 제품을 개발하기 위해서 고주파수 대역의 소자의 특성을 측정 하였다. 측정된 소자의 특성을 적용하기 위해서 소자 쿠폰을 제작하였으며 고주파 회로 분석과 시뮬레이션 결과를 통해서 수동소자가 내장된 PAM(전력 증폭기), FBAR용 모듈 기판을 제작하였다.

Key Words : LTCC , Module, embedded passives, LCR

1. 서 론

최근 이동통신 시스템의 소형화를 위한 집적화 기술이 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족하기 위한 방법으로 능동소자의 경우 MMIC 특성 향상을 통한 집적화가 활발히 진행되고 있고 분포소자 및 수동소자의 집적화의 한 방법으로 LTCC 공정을 이용하여 3차원 구조의 부품 및 모듈에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

세라믹 시스템을 이용한 3차원 모듈에는 내장형 수동 소자 이외에 여러 가지 연결선로, via 등이 포함되게 되며 고주파수에서 이러한 성분들은 고주파수에서 하나의 성분을 지닌 부품처럼 동작하게 되어 주파수에 따른 특성을 변화시킨다.

이러한 이유로 고주파수에 적용되는 부품은 HFSS (High Frequency Structure Simulator)나 EM (Electromagnetic) 시뮬레이터를 활용해서 소자의 고주파 특성 값을 예측하기도 한다. 그러나, 사용되는 세라믹과 전도체 전극특성을 모두 시뮬레이터에 반영하는 것은 매우 어려운 상황이다. 따라서, LTCC 모듈의 개발에는 모듈 내에 사용되

는 소자의 쿠폰을 제작하고 소자의 주파수 값들을 추출하며 이 값들을 해석하고 회로에 적용함으로써 모듈 개발에 활용하게 된다.

본 연구에서는 R, L, C 쿠폰을 활용해서 수동소자를 제작하였으며 이렇게 추출된 특성을 통해서 PAM, FBAR용 기판을 제작하였다.

2. 실험

2.1 실험방법

LTCC 기판은 그림 1의 적층공정을 통해 제작을 하였다. 공정에는 원료분말에 바인더 등을 혼합해서 세라믹 테이프를 제조하는 테이프 캐스팅공정과 제조된 테이프에 전극을 형성하기 위한 비아형성, 전도체 전극인쇄, 적층, 절단 등의 후막 인쇄 및 가공 공정, 그리고 850℃의 온도에서 25분간 소결시키는 동시소성 공정을 거치게 된다. 테이프 캐스팅 공정에서는 테이프의 두께를 조절 할 수 있는데 테이프의 두께는 용도에 따라 사용하게 되며 연구에서는 50 μ m, 100 μ m 두께의 세라믹 테이프를 사용하였다. 패턴 형성에는 고정밀 스크린 프린팅 공정을 통해

제5회 일렉트렛트 및 응용기술 연구회

최소 100 μm 의 이상의 선폭을 활용하였으며, 스크린의 유제막은 패턴의 용도의 따라서 구별하여 5-20 μm 의 두께를 사용하였다.

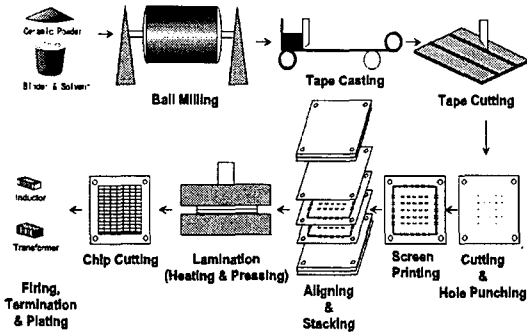


그림 1. LTCC RF 모듈의 제작공정

3. 결과 및 고찰

3-1. 내장형 소자 라이브러리

PCB 기판에서 Chip 소자를 이용한 모듈 구현하는 것은 제한된 용량의 소자를 이용하지만 LTCC의 경우는 용량 설계의 자유가 보장되는 장점이 있다. 그러나 LTCC의 경우 각 소자를 구현함에 있어 3차원 구조 해석에 의한 설계 오차 및 공정 안정도에 따른 공정 오차로 인해 실제 모듈 설계 시에는 미리 설계된 패턴을 이용하여 실제 공정을 통해 제작하고 특성을 측정하여 라이브러리를 구성하고 이 라이브러리를 토대로 하여 설계하게 된다. 본 연구에서도 테이프의 두께 및 패턴의 크기를 변화 시켜 제작·측정하여 라이브러리를 구성하고 실제 모듈 설계에 적용하였다.

사용한 저항 페이스트는 RuO₂를 기본 조성으로 하였고 비저항값은 10, 100, 1k, 1,0k Ω/sq . 이었다. 위의 실험을 통해 2~12 k Ω 의 내장형 저항체를 구현하였다. 인덕터는 Straight, meander, Spiral, multi-layer 형태로 제작된다. 본 연구에서는 각 형태의 기본 구조를 기반으로 반복된 형태의 최종 소자를 구성하여 제작하였다.

캐패시터는 인덕터나 저항에 비해 비교적 구현하기 쉬운 소자이나 회로에 적용되는 비율이 가장 높기 때문에 이에 대한 특성 안정화가 전체 모듈 특성을 제어하는데도 매우 중요하다고 볼 수 있다. 특히 모든 부품들이 고주파수화 됨에 따라 캐패시터도 낮은 주파수 대역에서의 캐패시턴스 값 뿐

아니라 높은 주파수 대역에서의 임피던스 값도 매우 중요하다. 이를 해결하기 위해서는 샘플간의 오차가 최소화 되어야 하며 설계치와 거의 일치하는 패턴을 형성할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 3가지의 패턴을 사용하였다. 그림 2의 (a)는 저용량이며 낮은 기생 인덕턴스 값을 갖는 구조이고 (b)는 고용량이며 면적 활용도가 높은 패턴이며 (c)는 고용량이며 낮은 기생 인덕턴스 값을 갖는 구조이다. 모듈에 사용되는 용량들에 대해 저용량은 (a), 중간 용량은 (b), 그리고 고용량은 (c) 구조를 적용하였고 여러 개를 적층하여 고용량을 형성하였다.

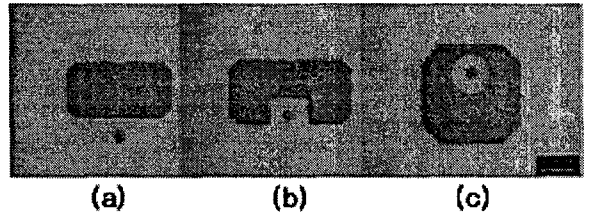


그림 2.. 제조된 내장형 캐패시터

본 연구에서 제작된 캐패시터, 인덕터 및 저항체의 구조도와 등가회로는 그림 3과 같다

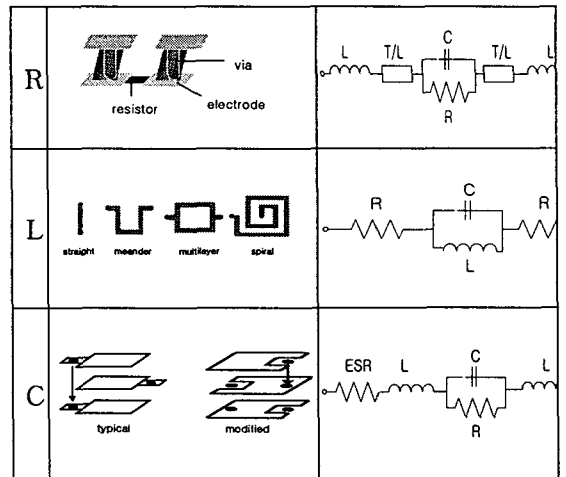


그림 3. 제작된 R,L,C 구조 및 등가회로

3-2. PAM용 수동소자 내장형 모듈제작

PAM (Power Amplifier Module:전력증폭기) 모듈은 통신기기의 송신출력을 기기지국까지 전송하는 부품으로 기판은 MMIC의 열을 방출하는 특성

이 요구된다.

PAM은 MMIC 주변에 입출력 및 인터스테이지 측의 회로 매칭 소자와 스트립 선로로 구성된다. 본 연구에서는 부품수 감소와 소형화의 요구에 대응하기 위해 수동부품을 내장한 구조를 설계하여 초소형화를 위한 설계를 하였으며 열방출을 위해서 MMIC 패드아래 열 비아를 형성하였다.

설계된 LTCC 기판은 $6 \times 6 \times 0.96\text{mm}^3$ 크기이고, 구조는 그림 4와 같다. 설계한 구조는 Signal Ground 층을 기준으로 윗부분을 RF 부분, 아래부분을 DC 부분으로 분리 시켜서 RF와 DC가 격리되도록 하였다.

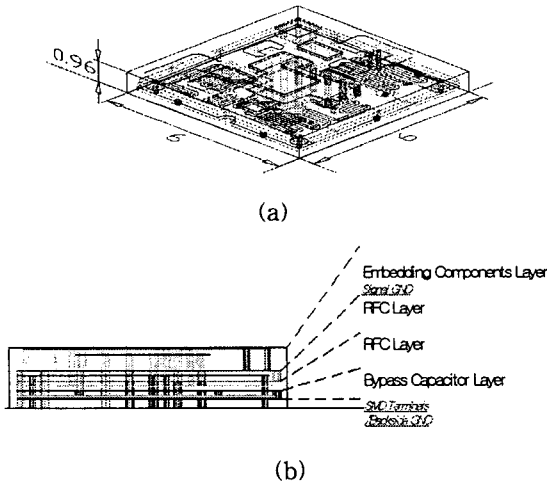


그림 4. 제작된 LTCC 기판의 구조

그림5는 LTCC Substrate와 MMIC를 부착하고 bonding wire가 된 PAM 샘플이며 제작한 PAM의 전체 높이는 MMIC와 bonding wire를 포함하여 1.3mm 이하였다.



그림 5. PAM LTCC 기판(a)과 측정 샘플(b)

3-6. FBAR용 수동소자내장 기판의 제작

FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator)는 압전체 재료를 식각공정을 통하여 제작되는 공진기를 활용한 부품으로서 우수한 RF 특성으로 최근 고주파 부품에 적용하기 위한 활발하게 연구가 되고 있는 부품이다. 본 연구에서는 LTCC 모듈 기술과 접목하여 Tx,Rx의 듀플렉서 모듈에 적용하는 부품 기술에 적용되었다.

LTCC 모듈은 유전율이 7.8인 저온 소성 세라믹 재료와 Ag 전극을 이용하여 FBAR Duplexer 기판과 내장형 인덕터를 설계 제작하였다. 인덕터의 Q값을 향상시키기 위해 기존의 인덕터 패턴과 달리 stripline 구조를 적용하였고 이 과정에서 사용 재료의 유효 물성치를 추출하였다. 유전체의 유전 손실값은 0.003(6GHz)이었고 도체의 전기전도도는 세라믹 기판내에 내장될 경우 $4 \times 10^7 \text{ S/m}$ 정도 되었다. FBAR Duplexer 구조중 Tx 단의 shunt 인덕터를 stripline 구조로 구현하였고 L, C로 구성된 phase shifter 구조를 stripline 으로 설계하여 제작하였다.

그림 6, 7에는 인덕터와 stripline 형태의 phase shifter를 내장한 FBAR Duplexer용 LTCC 모듈의 구조도와 샘플 사진을 나타내었다.

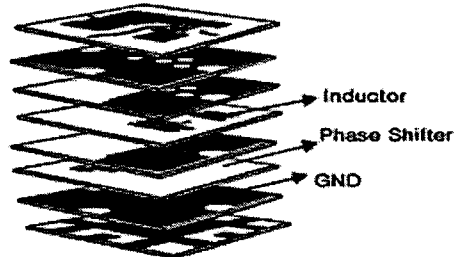


그림 6. FBAR Duplexer의 구조도

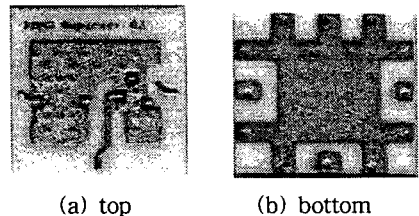


그림 7. FBAR용 LTCC 모듈의 사진

4. 결 론

저손실 특성을 지니는 유전체와 Ag, RuO₂ 페이스트를 이용하여 인덕터와 캐패시터, 저항체의

제5회 일렉트렛트 및 응용기술 연구회

수동소자들을 기판에 제작하여 특성을 평가하였다. 추출된 내장형 수동소자들을 활용하여 PAM의 전력 증폭기에서는 입출력, 인터스태이지 매칭회로의 소자를 내장하여 6×6×1.3 mm³의 모듈을 제작하였으며, FBAR 모듈에는 내장소자 기술이 인덕터와 Phase Shifter에 활용되어 5×5×0.8 mm³ 크기의 LTCC 기판을 제작하였다. 제작된 모듈은 내장형 특성을 활용하여 부품수 저감 및 고집적화의 특징을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] K.H.Drue, H.Thust, "RF-Behavior of Printed Resistors in the Frequency Range up to 6 GHz", ISHM '96 Proceedings, 1996.
- [2] J.Muller, H.Thust, K.H.Drue, "RF-Design Considerations for Passive Elements in LTCC", IHM '94 Proceedings, pp 357-362,
- [3] Y. L. Wang, P. J. Ollivier and M. A. Skurski, "Photoformed Thick Film Materials and Their Application to Fine Feature Circuitry," Proceedings of 2000 International Conference on High-Density Interconnect and Systems Packaging, 579-584 (2000).
- [4] Peter Barnwell, "Microwave MCM-C Utilizing Low Loss LTCC and Photo-patterning Processes," Proceedings of 1999 International Conference on High Density Packaging and MCMs, 237-241 (1999).
- [5] D. I. Amey and S. J. Horowitz, "Tests Characterize High-Frequency Material Properties," Microwaves & RF, Vol.36, No.8 (1997).