Combline 구조를 이용한 적층 LTCC 대역통과 필터의 설계 및 제작

안순영, 이영신, 방규석, 김경철, 강남기, 송희석
전자부품연구원

Design and fabrication of multilayer LTCC BPF using Combline structure

S.Y. An, Y.S. Lee, K.S. Bang, K.C. Kim, N.K. Kang, H.S. Song
Korea Electronics Technology Institute

Abstract

In this paper, 2.4 GHz WLAN BPF(Band Pass Filter) using LTCC(Low temperature co-firing ceramic) multilayer technology was simulated and manufactured. A modified λ/4 Hair-pin resonator with shunt-to ground loaded capacitor is used to shorten resonator length and improve circuit Q factor. Proposed BPF has a combline structure. Electro-magnetic Coupling between coupled strip-line resonators is controlled to provide attenuation poles at finite frequencies. The overall size of the filter is 3.2×1.6×1.3㎣. The measured result shows good agreement with simulated data.

Key words : Bandpass Filter, LTCC, Multilayer process, Combline filter, Attenuation pole

1. 서 론

최근 무선 이동통신 부품의 동향은 소형, 경량화를 기본으로 저가의 고성능, 다기능 뿐 아니라 단일 칩 혹은 패키지 내부로의 집적화가 가능한가에 그 핵심이 있다. 급속한 시스템의 소형화에 따라 PCB 기반의 부품 개발은 그 한계를 나타내고 있으며 기판 내부에 수동소자의 집적화가 가능한 LTCC 기술이 SOP(System on Package) 구현의 하나의 대안으로 주목받고 있다. 일예로 GSM 단말기에 채용되는 듀얼밴드(Dual abnd)용 LTCC FEM(Front-end module)의 경우 송수신 SAW 필터가 내장되어 4.5×3.2 ㎟ 크기로 판매되고 있으며 송신용 증폭기 및 주변 매칭용 소자들이 함께 집적되어 단일 송신 모듈로 개발되고 있다. 그러나 LTCC를 기반으로 한 단일 부품들은 선진업체들의 저가공세와 부품 집적화의 추세에 밀려 시장 개척에 어려움을 겪고 있다. 하지만 2.4㎓ 대역의 WLAN 시스템의 경우 적층 LTCC 필터가 주류를 이루고 있으며 향후에도 기판 내부로의 집적화 경향등을 고려해 볼 때 경쟁력을 가지고 있다고 본다.

본 연구에서는 2.4㎓ 대역의 WLAN용 모듈에 사용되는 대역통과 필터를 적층 LTCC 기술로 구현하였다. 일반적인 필터합성법을 통해 2단 대역통과 필터의 LC 등가회로를 추출한 뒤 스트립 라인 구조로 설계된 공진기를 치환하여 기본 회로구조를 선정하였다. 스트립 공진기는 변형된 λ/4 Hair-pin 구조에 부하 캐패시터를 연결시킨 것으로 전체 필터의 구조는 Combline 형태를 띠고 있다. 또한 공진기간 전자계 결합을 이용하여 감쇄극을 형성시켰으며 이를 3차원 구조로 설계하였다. 제작된 적층 대역통과 필터는 3.2×1.6×1.3 ㎣ 크기로 설계치와 측정치가 유사한 경향성을 보였으며 우수한 저지대역 신호 감쇄 특성을 나타내었다.

2. 실 험

2.1 2단 적층 대역통과 필터의 설계[1]

표 1은 2.4GHz 대역 WLAN용 모듈에 사용되는 대역통과 필터의 설계사양이다.

Table 1. Design specifications of WLAN BPF.

Items	Specifications
Bandwidth(BW)	2400 ~ 2500 MHz
Insertion Loss	2 dB max. (at 25°C)
Attenuation	30dB min (900 MHz) 30dB min (1800 MHz) 20dB min (5000 MHz)
Ripple in BW	0.5 dB max.
VSWR in BW	2.0 max.
Characteristic Imp.	50 Ω

그림 1은 개별 소자로 구성된 일반적인 2단 대역통과 필터의 등가회로이다. 그림에서 보는 바와 같이 필터는 두개의 공진기 및 입출력 커플링과 공진기간 전자기 커플링 회로로 구성되어 있다. 이 때 공진기간 커플링을 이용하여 특정 주파수에서 감쇄극을 형성시켜 설계 사양의 신호감쇄 특성을 맞추게 된다. 필터의 설계는 일반적인 필터합성법을 따랐으며 0.2dB 리플(Ripple) 체비셰프 전달함수를 사용하였다. 대역통과 필터의 중심주파수는 2.45㎓, 설계 대역폭은 200㎒로 하였다. 여기서 설계된 각 소자들의 정수값은 표 2와 같다.[2][3]

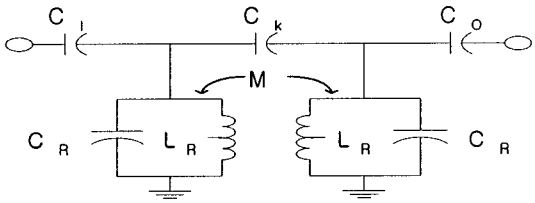

Fig. 1. Schematic of a lumped element equivalent circuit.

Table 2. Component values of lumped element equivalent circuit.

	C_I & C_O	C_K	C_R	L_R	M
Value	0.8 pF	1.3 pF	1.6 pF	1.4 nH	0.37 nH

적층 필터를 설계하기 위해 본 연구에서는 개별 소자로 구성된 공진기를 λ/4길이의 변형된 Hair-pin 타입의 공진기를 이용하여 스트립라인 구조의 분포 소자로 구현하였으며, 또한 공진기 길이를 줄임과 동시에 공진기의 회로 품질계수를 향상시키기 위해 부하 캐패시터(Loading Capacitor)를 연결하여 Combline 형태로 필터를 구성하였다. 그림 2은 ADS를 이용한 설계회로이고 그림 3는 개별소자로 구성된 회로와 비교한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 인덕터간 커플링 값을 맞추기 위해 공진기는 결합선로 부와 단일 전송선로 부로 구성되며 공진기간 커플링은 평행 결합선로의 전자기 커플링과 그림 1에서의 C_K로 구성된다. 또한 종국적인 3차원 구조를 고려할 때 입출력 단에서 발생하는 기생성분도 감안하여 설계하였다. 결과적으로 개별소자의 정수값을 구현하기 위해 결합선로의 선폭은 0.17mm 였으며 선간격은 0.18mm, 결합선로의 전기적 길이는 0.65mm였다. 또한 이 공진기에 연결된 부하 캐패시턴스의 값은 0.98pF이다.

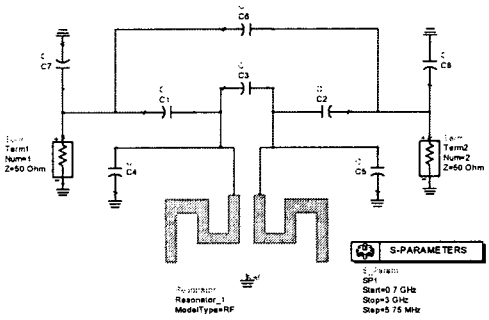

Fig. 2. ADS Schematic using proposed resonator.

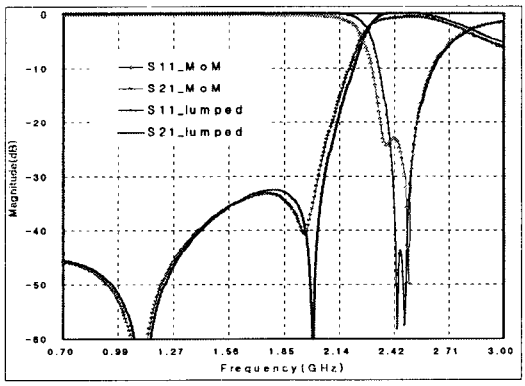

Fig. 3. Simulated result of both equivalent models.

그림4는 제안된 공진기 구조를 이용하여 3차원 회로를 HFSS로 설계한 도면과 시뮬레이션 결과이다.

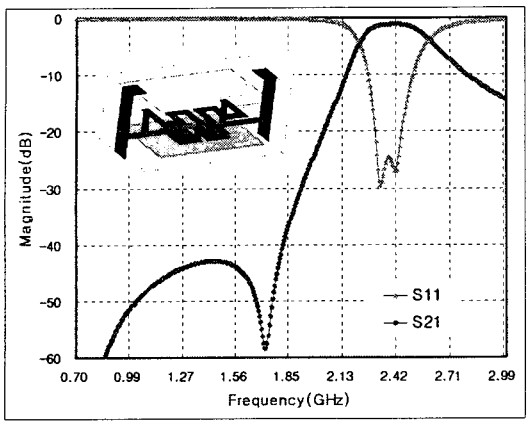

Fig. 4. 3D simulated result using HFSS.

2.2 적층 LTCC 대역통과 필터의 제작

적층 대역통과 필터에 사용한 저온 동시소성용 유전체 재료(TEMEN社의 TM300C)의 유전특성은 유전률이 30, 2㎓에서 유전손실이 0.001이며, 54 ㎛ 두께로 테잎 캐스팅하여 적층공정에 적용하였다. 그림 5는 패턴이 형성된 레이어(Layer)별 적층 개요도이다. 기본적으로 공진기는 스트립라인 구조로 구현되었으며 부하 캐패시턴스가 비아를 통해 공진기와 연결되어 있다. 입출력 단자와 공진기간 커플링 패턴은 전기장의 세기가 큰 부하 캐패시터 쪽에 가깝게 결합시켰다.

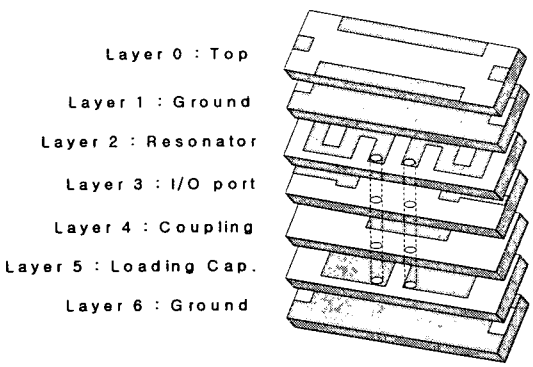

Fig. 5. 3D layer by layer view.

그림 6은 적층 필터의 단면을 나타내고 있으며 개별소자로 설계한 등가회로는 그림에서처럼 3차원 구조로 구현되었다.

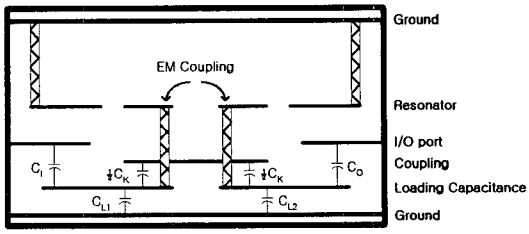

Fig. 6. Cross sectional view.

내부 전극의 경우 은 함량이 80% 이상이 되는 것으로 사용하였다. 적층 부품의 제작에 있어서 내부 전극의 두께는 전극 밀도에 영향을 받게 되는데 본 실험에서는 상대적으로 선폭이 좁은 공진기는 약 15㎛정도였으며 선폭이 넓은 부하 캐패시턴스나 내부 그라운드의 경우 10㎛ 내외의 전극 두께로 구현되었다.

3. 결과 및 고찰

그림 7은 제작된 대역통과 필터의 실물 사진으로 전체 크기는 3.2×1.6×1.3 (W×L×T) ㎣ 이다.

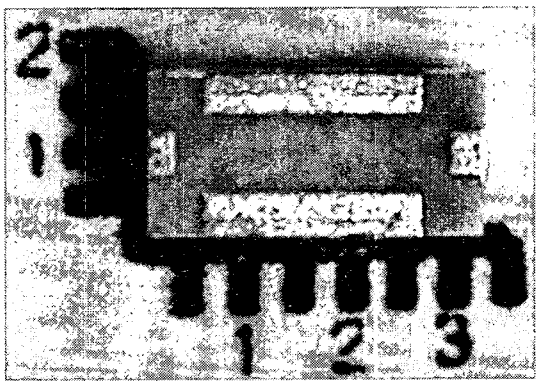

Fig. 7. Photograph of multilayer LTCC BPF.

그림8은 제작된 필터의 통과대역 특성을 나타내고 있으며 그림 9는 6㎓까지의 상향 저지대역 주파수 응답특성까지 보여주고 있다. FR4 기판에 50 Ω 입출력 선로를 구현시켜 필터를 실장한 후 측정하였으며 계측기는 HP8753D를 사용하였다. 그리고 표3에 측정 결과를 정리하였다.

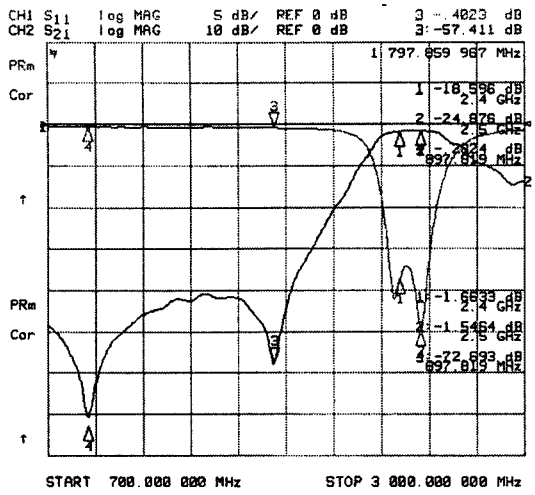

Fig. 8. Pass band characteristics.

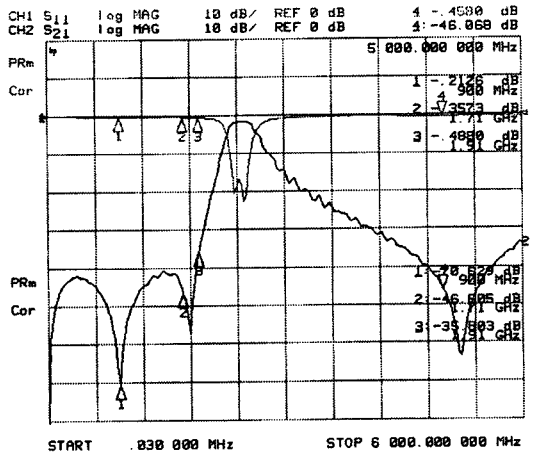

Fig. 9. Stop band characteristics.

Table 3. Measuring results summary.

Items	Measuring data
Bandwidth(BW)	2350 ~ 2530 MHz
Insertion Loss	1.7 dB max. (at 25°C)
Attenuation	65dB min(900 MHz) 35dB min(1800 MHz) 45dB min(5000 MHz)
Ripple in BW	0.5 dB max.
VSWR in BW	1.5 max.

측정 결과에서 보는 바와 같이 통과대역은 VSWR 1.5 기준으로 약 180㎒ 정도였으며 통과대역 삽입손실은 1.5~1.7dB 내외였다. 측정지그와 기판에서의 손실을 고려한다면 실제 필터 자체의 손실은 더 작다고 볼 수 있다. 또한 결과에 나타났듯 저지대역 감쇄특성은 매우 우수한 특성을 나타내었다. 공진기간 전자계 커플링으로 형성된 감쇄극 주파수는 3차원 시뮬레이션 결과 보다 약간 높은 약 1.8㎓로 이는 소성 후 전극의 수축률 및 쉬트의 수직방향 수축이 설계에 적용한 값과 차이가 있기 때문으로 보인다. 그리고 캐패시턴스 커플링을 이용한 입출력 구조에서 형성된 입출력 커플링으로 인해 감쇄극이 약 900㎒에서 발생하여 셀룰라 대역 신호의 통과 억제에도 매우 우수한 결과를 보여주었다. 또한 마찬가지로 5㎓ WLAN 주파수 대역 근방에서 감쇄극이 형성되어 상향 저지대역 특성 역시 우수한 특성을 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 LTCC 기술을 응용한 새로운 구조의 적층 대역통과 필터를 제안하였다. 설계된 필터는 λ/4 Hair-pin 공진기에 변형을 준 구조를 가지고 있으며 부하 캐패시터를 연결하여 제품의 크기를 줄임과 동시에 회로의 품질계수도 향상시켜 전체적인 필터의 주파수 응답특성을 향상시켰다.

제작된 필터는 삽입손실 및 입출력 정합도가 우수한 통과대역 특성을 나타내었을 뿐 아니라 감쇄극을 삽입시켜 저지대역 신호 억제 특성도 매우 우수한 결과를 나타내었다. 제품의 크기는 제품화에 적용 가능한 3.2×1.6×1.3(㎜)로 WLAN 및 Bluetooth 모듈에 적용할 수 있다.

참고 문헌

[1] G. L. Matthaei, L. young, and E. M. T.Jones, Microwave Filters, Impedence-Matching Networks and Coupling Structures. New York:McGraw Hill, 1964.

[2] Jia-Sheng Hong, "Couplings of asynchronously tuned coupled microwave resonators", pp 354-358, IEE proc. Microw. Antennas Propag., Vol. 147, No.5, Oct. 2000.

[3] Albert Sutono, Joy Laskar, W.R. Smith, "Design of Miniature Multilayer On-Package Integrated Image-Rejection Filters", IEEE Transactions on MTT, Vol. 51, N0.1, p.156, 2003