

2.4 GHz 대역 2012 사이즈 적층 LTCC 대역통과 필터의 설계 및 제작

이영신 · 송희석 · 박종철

전자부품연구원

A 2012 Size Multilayer LTCC BPF for 2.4 GHz Band

Y.S. Lee, H.S. Song, and J.C. Park

Korea Electronics Technology Institute

초 록: 본 연구에서는 LTCC(Low Temperature Co-firing Ceramic) 기술을 기반으로 한 적층 공정을 이용하여 최근 시장 수요가 증가하고 있는 2.4 GHz ISM(Industrial Science and Medical) 대역의 대역통과 필터를 제작하였다. 또한 제안된 설계방식은 사이즈의 초소형 필터의 구현이 가능케 하였다. $\lambda/4$ 공진기의 한쪽에 부하 캐패시터를 적절히 형성시켜 공진기의 길이를 짧게 하는 효과와 더불어 공진기의 Q값과 저지대역 감쇄특성을 향상시킬 수 있었다. 제안된 필터는 결합 스트립 공진기의 커플링 계수와 외부 단자 Q(Qe)값을 요구 사양에 맞게 최적화하여 이를 3차원 구조로 설계하였다. 제작된 대역통과 필터는 시뮬레이션을 통한 설계 값과 잘 일치하는 경향성을 보여주었다.

Abstract: A very small size 2.4 GHz ISM band BPF(Band Pass Filter) is realized using LTCC Multilayer technology. Proposed design method enables to achieve BPF size $2.0 \times 1.2 \times 0.8 \text{ mm}^3$. A $\lambda/4$ resonator with shunt-to-ground loaded capacitor is used to shorten resonator length, achieving higher quality factor. Also this resonator enables BPF to improve out-of-band rejection. Coupling coefficients between coupled strip-line resonators and external quality factor (Qe) of a resonator are derived and applied to the filter design. The measured results show good agreement with simulated data.

Keywords: Band pass Filter, LTCC, Coupled strip-line Resonator, Coupling coefficient, External Q

1. 서 론

최근 고주파용 필터와 관련하여 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 공정을 활용하는 경우, 초전도체(Superconductor) 혹은 강유전체(Ferroelectric) 등의 재료를 이용하는 경우, 그리고 PBG(Phonic Band Gap) 구조를 응용한 설계기법 등을 활용하는 분야에서 많은 연구 성과들이 나오고 있다. 이러한 기술들은 부품의 소형화, 모듈내로의 집적화, 신뢰성, 저비용 등 고주파 부품의 기본적인 요구에 부응하려는 다양한 시도들이라고 볼 수 있다. 그러나 아직까지 실제 제품 적용으로의 기술적 진전은 더딘 것이 사실이다. 반면 공정

기술의 측면에서 LTCC 기술은 단일 패키지 및 기판 내부에 소자들을 집적하는 SOP(System On Package) 기술에 가장 빨리 접근하고 있으며, 낮은 공정비용 및 부품 소형화에도 많은 장점을 가지고 볼 수 있다.

본 연구에서는 LTCC를 응용한 모듈 가운데 부품 집적도가 가장 높은 통합 송수신 모듈의 시장 수요가 상당히 진전되고 있는 2.4 GHz ISM 대역에서 사용하는 대역통과 필터를 초소형(2012 사이즈)으로 구현하였다. 필터의 소형화를 위해 고유전율의 LTCC 유전체 재료를 이용하였으며, 단락된 $\lambda/4$ 공진기를 2단으로 설계하였다. 논문에서는 고유전율 재료의 기판 특성을 평가하고, 설계에

적용한 공진기 구조에 대한 소개 및 이를 이용한 필터의 설계와 제작에 관하여 논의하였다.

2. 실험방법

초소형 사이즈의 대역통과 필터를 SMD(Surface Mount Device) 형태로 구현하기 위해서는 공진기의 길이를 줄이기 위해 고 유전율의 재료가 필요하며 본 연구에서는 TEMEN 社의 T300S 저온소성 유전체 세라믹 재료를 선정하였다. 유전체 기판 및 도선의 고주파 응답 특성을 측정하여 유전율, 유전손실, 선로의 전극손실 등을 유도하였다. 필터 설계는 일반적인 대역통과 필터 설계 합성법을 기초로 결합 공진기(Coupled Strip line Resonator) 구조에서 커플링 계수(Coupling Coefficient)와 단자 부하 품질계수(Qe)를 유도하여 특성을 최적화하는 방식으로 이루어 졌으며, 설계 툴(Tool)은 Ansoft 社의 HFSS 5.0과 Agilent 社의 ADS 2000을 이용하였다. 설계된 필터의 제작은 일반적인 적층 공정을 이용하였다. 유전체 쉬트(Sheet)는 50 μm 두께로 제작하여 각각의 쉬트에 후막인쇄를 통하여 패턴을 구현했으며 제작된 샘플은 소성 후 외부 단자와 접지면을 사이드 프린팅(Side printing)하였다. 측정은 측정 지그를 제작한 후, HP 社의 8510C 넷업 분석기로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 T300S로 구현된 기판의 고주파 특성을 평가하기 위한 마이크로 스트립(Micro-strip) 공진기를 보여주고 있다. 유전율 측정과 기판의 유전손실 및 전극손실의 측정은 Series gap 공진기와 Ring 공진기를 활용하였으며¹⁾ 측정은 6 GHz까지 하였다. 그림 2는 측정된 사용 기판의 유전특성 및 고주파 신호손실 특성을 보여주고 있다. 기판의 유전율은 설계 주파수 대역에서 약 33정도였으며, 기판의 무부하 Q값(Unloaded Quality factor)는 500정도였다. 또한 후막 인쇄된 은전극과의 동시 소성 후 기판의 신호손실은 약 0.002 dB/mm 였다.

앞서의 재료특성은 필터 및 공진기의 설계에 적용되었다. 설계에 있어서도 필터의 소형화를 위해 $\lambda/4$ 단락 선로를 2단으로 구현한 공진기 구조를 채택하였으며, 또한 필터의 저지대역 감쇄특성을 향

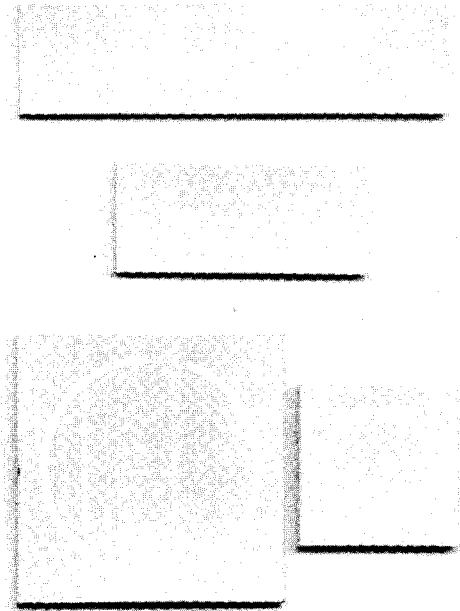


Fig. 1. Microstrip resonators for substrate measurement.

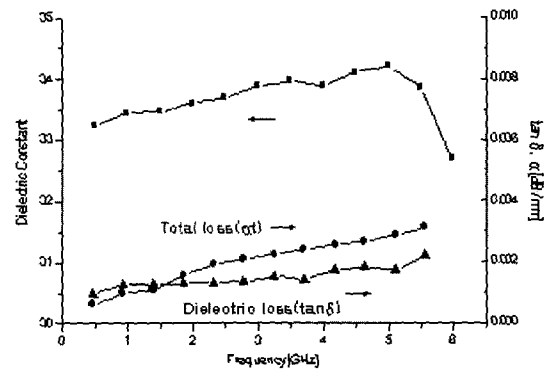


Fig. 2. RF properties of the employed LTCC substrate.

상시키기 위하여 공진기의 결합 캐패시턴스(Capacitance)를 증가시킴으로써 전파상수(Propagation constant)의 증가에 따라 진행파가 위상속도 지연(Phase velocity degradation: Slow-wave) 특성을 갖도록 공진기를 설계하였다. 본 연구에 적용한 공진기는 공진기에 부하 캐패시턴스가 걸려있는 구조로서 선로의 전기적 길이를 짧게 하는 효과를 주어 소형화에 유리할 뿐 아니라, 공진기의 Q값도 향상시키는 장점도 가지고 있다. 그림 3의 (a), (b)는 제안된 공진기와 등가회로를 보여주고 있다. 일반적으로 $\lambda/4$ 공진기는 기준공진 주파수

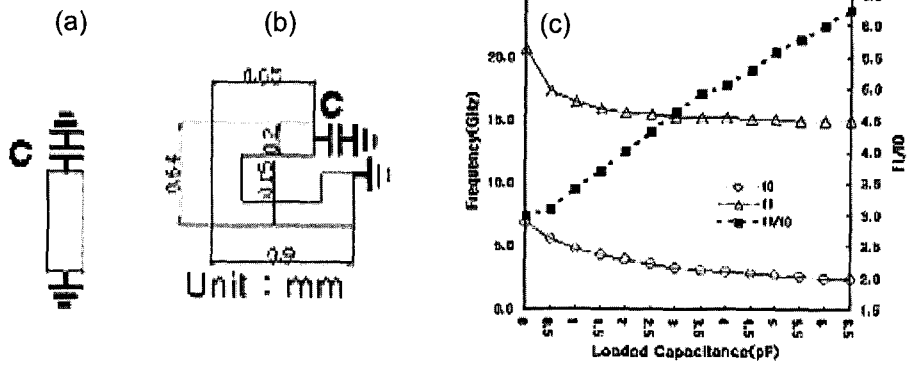


Fig. 3. (a) Equivalent circuit, (b) simple layout, (c) simulated resonant frequencies and the ratio of the first spurious resonant frequency to the fundamental one against the variation of the loading capacitance.

의 3배되는 주파수에서 첫 번째 하모닉 성분이 나타나지만 제안된 공진기의 경우 1차 하모닉(Harmonic) 성분의 주파수가 부하 캐패시터의 용량에 따라 높아지는 경향을 보였으며, 이에 따라 필터의 저지대역 감쇄특성을 향상시킬 수 있었다. 그림 3의 (c)는 제안된 공진기의 주파수 성분들을 나타내고 있는데, 부하로 걸린 캐패시턴스 값의 변화에 따른 기준 공진 주파수 및 1차 하모닉의 주파수와 두 주파수 성분의 비(Ratio)를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 부하가 거의 없는 경우에는 1차 하모닉 성분의 주파수가 이론과 유사한 특성을 보이거나 부하 캐패시턴스의 증가에 따라 주파수가 증가함을 알 수 있다.

요구되는 삽입손실등의 설계 사양과 앞서 측정된 재료의 유전특성 등을 고려하여 대역통과 필터는 2단(2pole) 공진기로 구성하였으며 설계 주파수는 중심주파수가 2.45 GHz이고 중심주파수 대비 5%의 통과대역(Fractional bandwidth)을 가지도록 하였다. 0.1 dB 통과대역 리플(Ripple)을 갖는 2단(n=2) 체비셰프(Chebyshev) 형태의 저역통과 필터를 이용하였으며, 일반적인 정규화 저역통과 필터의 설계를 적용하면 저역통과 필터 각 소자들의 값은 $g_0=1, g_1=0.8431, g_2=0.6220, g_3=1.3554$ 가 된다. 이 값을 이용하여 대역통과 필터를 설계하기 위해 결합 스트립 공진기의 커플링 계수와 단자부하 Q 값을 계산하면, $M_{12}=0.07, Q_{e1}=Q_{e2}=16.862$, 이것

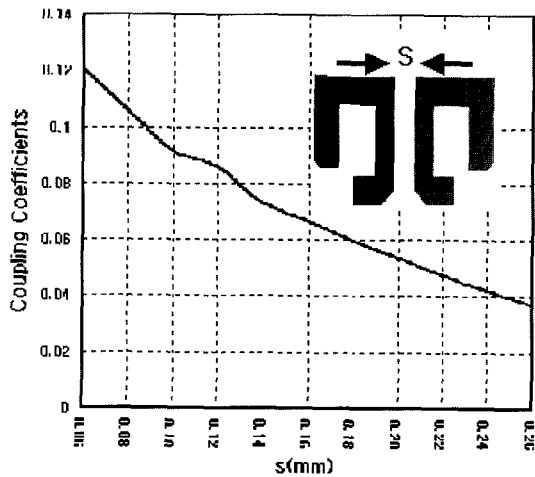


Fig. 4. Coupling coefficient curve.

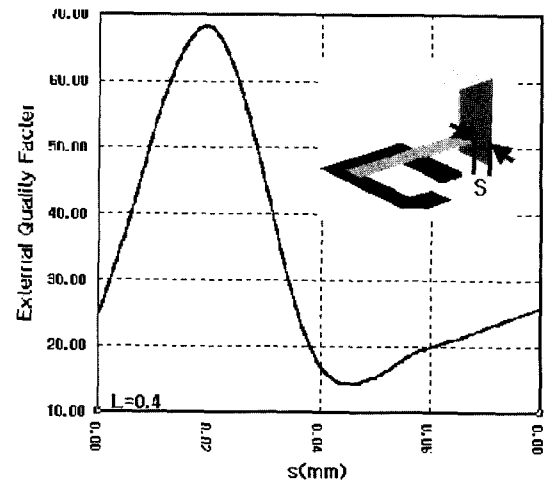


Fig. 5. External quality factor curve.

다. 여기서 M_{12} 는 두 공진기 간 커플링 계수이고 Q_{e1} 과 Q_{e2} 는 각각 입출력 단자에 결합된 공진기의 Q_e 값이다^{2,3)}.

계산된 커플링 계수와 Q_e 값을 구현하기 위해 3차원 구조 시뮬레이션(Simulation)을 수행하였다. 그림 4는 두 공진기 간 커플링 간격(s)의 변화에 따른 커플링 계수를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 공진기 간 커플링 간격이 약 0.14 mm에서 원하는 커플링 계수를 얻을 수 있었다. 그림 5는 입출력 단자에서 외부 단자는 고정시키고 내부 입출력 선로의 위치를 외부단자의 한쪽 끝에서부

터 이동시키면서 Q_e 값을 추출한 것이다. 그림에서 이동간격(s)이 약 0.04 mm에서 16.8정도의 Q_e 값을 얻었다.

그림 6은 시뮬레이션에 적용한 대역통과 필터의 모델을 보여주고 있고, 그림 7은 설계된 필터의 적층 개요도이다.

그림 8는 제작된 대역통과 필터를 보여주고 있으며, 필터의 사이즈는 $2.0 \times 1.2 \times 0.8 \text{ mm}^3$ 이다.

다음의 그림 9는 제작된 필터의 통과대역(Pass band) 특성과 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 시뮬레이션은 유전체의 재료특성만 고려되었고

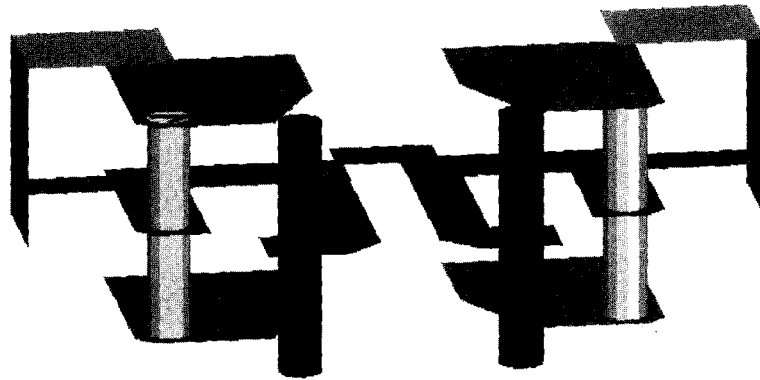


Fig. 6. Simulation model using HFS.

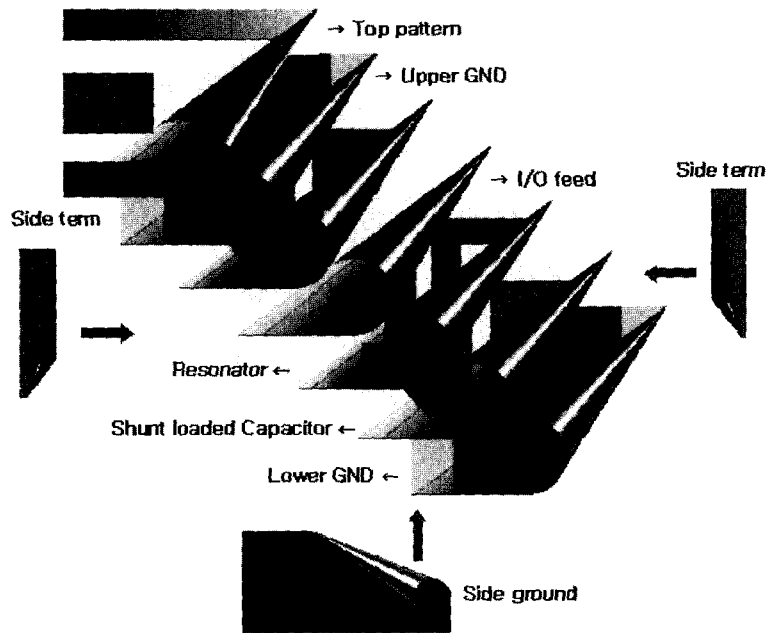


Fig. 7. Exploded view of the LTCC BPF.

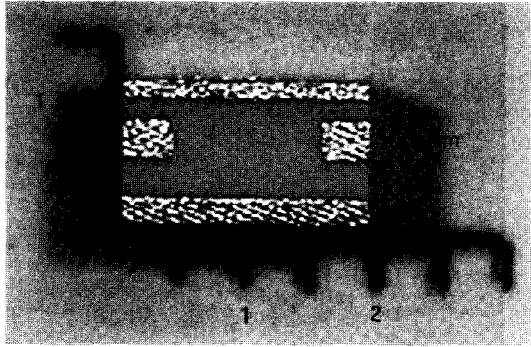


Fig. 8. Physical view of the 2012 size LTCC BPF for ISM band.

Table 1. Comparison with measured results

Items	Design spec.	Measured data
Center Frequency (fo)	2450 MHz	
Bandwidth (BW)	fo ± 50.0 MHz	fo ± 45 MHz
Insertion Loss in BW	2.0 dB max.	Typical 3.0 dB
	-15 dB min. at 2100 MHz	-20 dB min. at 5000 MHz
Attenuation	-20 dB at 2100 MHz	-30 dB at 5000 MHz
	0.6 dB max.	Typical 0.5 dB
Ripple in BW	2.0 max.	<2.0

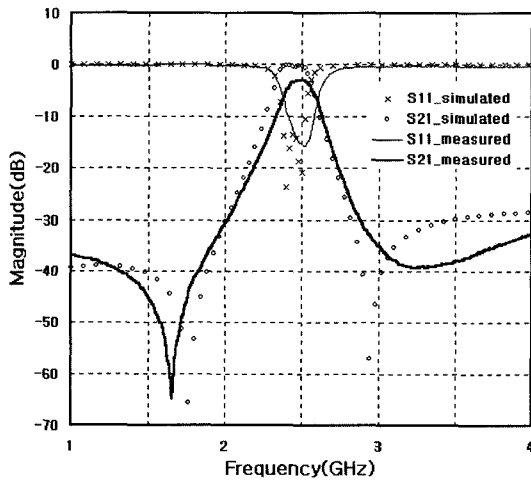


Fig. 9. Pass band characteristics.

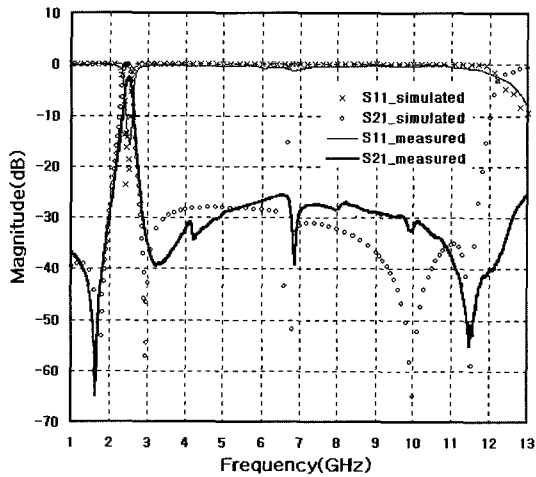


Fig. 10. Stop band characteristics.

전극의 특성은 이상적인 조건으로 하였다. 그림 10은 필터의 광대역(Wide band) 특성을 나타내고 있는데, 시뮬레이션과 측정치의 저지대역 특성이 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있으며 설계, 제작된 필터의 저지대역 감쇄특성이 우수함을 보여주고 있다. 표 1에서는 설계 사양과 제작된 필터의 주파수 응답 특성을 비교하였다.

측정된 결과는 요구사양에 대부분 만족하나 삽입손실이 다소 컸음을 알 수 있다. 따라서 향후 전극과 세라믹 기판간의 정합성(matching), 사용 전극의 은 함량에 따른 전기전도도, 재료의 유전손실 등 공정 조건 및 사용 재료의 튜닝(Tuning)이 요구된다고 볼 수 있다⁴⁾.

4. 결 론

본 연구를 통하여 최근 수요가 점차 증가하고 있는 2.4 GHz ISM 대역의 대역통과 필터를 개발하였으며, 적층 LTCC 기술의 활용으로 대역통과 필터의 소형화를 꾀할 수 있었다. 제작된 필터는 2012 사이즈의 칩 형태로 시장의 부품 소형화 요구에 부응한다고 볼 수 있다. 중심주파수 대비 5% 통과대역을 가지는 필터의 설계 파라미터들을 최적화하기 위해 공진기의 Qe 값과 커플링 계수를 계산하였으며, 또한 회로의 Q와 저지대역 감쇄특성이 우수한 공진기를 설계, 제안하였다. 제안된 공진기 구조를 이용하여 필터의 3차원 구조를 설계하였으며, 제작된 적층 LTCC 대역통과 필터는 시뮬레이션 예측과 유사한 경향성을 보였으며, 특히 저지대역 신호감쇠 특성이 우수함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 이영신, 김경철, 박성대, 박종철, LTCC 기판 시스템의 고주파 특성 비교, 마이크로 전자 및 패키징학회지, 9(3), 7-12, (2002).
2. R.J. Camerson, General Coupling Matrix Synthesis Methods for Chebychev Filtering Functions, IEEE trans. on MTT, 47(4), 433-442 (1999).
3. J.S. Hong, Couplings of asynchronously tuned coupled microwave resonators, IEE proc. Microw. Antennas Propag., 147(5), 354-358 (2000).
4. 유찬세, 조현민, 박종철, 도체 페이스트의 메탈함량 및 입자크기에 따른 스트립라인 레조네이터 특성 연구, 2002년 한국 마이크로전자 및 패키징 학회 추계 기술 심포지움 Poster 발표자료 (2002).