

이종적층 LTCC 기술을 이용한 WLAN용 대역통과 필터 설계

고정호^o, 육종관, 박한규, 김준철*, 이영신*
연세대학교, KETI*
signalko@hanmail.net

Design of BPF for WLAN with Heterogeneous LTCC Materials

Jeong-Ho Ko, Jong-Gwan Yook, Han-Kyu Park, Jun-Chul Kim*, Young-Shin Lee*

Yonsei University, High Frequency Material Center, KETI

Abstract

A multilayer two-stage LC bandpass filter using low-temperature cofired-ceramic (LTCC) is proposed in this paper. The proposed bandpass filter is composed of two ceramic substrates with different dielectric constant instead of single ceramic material from top to bottom layer. The bandpass filter size is 2.0 mm×1.2 mm×0.8 mm. Positioning of attenuation polefrequency, importance parameter for a performanceof filter, is discussed using even-odd mode analysis by tuned capacitance of coupling capacitor and those results is implemented to LTCC filter circuit.

Measured filter performances show that the insertion losses are -4.5dB , -4.1dB at 2.45GHz, 2.75GHz and the return losses are -8.5dB, 8.7dB

Key words: LTCC, Bandpass Filter, MCM, Attenuation Pole

1. 서론

최근의 무선통신용 단말기는 다중밴드의 사용과 멀티미디어 기능의 요구로 인하여 부품의 수가 증가하고 있어서 소형화 및 집적화, 그리고 저가의 소자 개발이 요구되고 있는 실정이다. 이런 요구에 부응하여 최근 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramics)를 이용한 수동 단위 소자[1]부터 필터[2] 및 듀플렉서, 벌룬등의 MCM 기술의 연구가 이루어지고 있다.

LTCC를 이용한 MCM(Multi-Chip Module)기술은 부피가 큰 수동소자를 하나의 구조물에 다층으로

집적화함으로써 전체소자의 크기를 감소하여 고집적화된 모듈을 가능하게 한다[4]. 또한 대량생산이 가능하여 제 작단가를 낮출 수 있다는 장점이 있다. 그러나 지금까지의 LTCC MCM 기술은 같은 유전율을 가지는 다층 기판으로 제작되어 인덕터나 커패시터, 안테나, 필터등 각 소자의 성능을 최대화하는 데 문제점이 있다. 일반적으로 인덕터, 안테나 등은 저유전율에서 필터나 커패시터 등은 고유전율에서 사용하는 것이 성능면이나 크기면에서 장점을 가지고 있다. 인덕터는 저유전율의 물질에 설계하였을 때 고유전율보다 자기공진주파수나 Q 값의 측면에서 유리하며 캐패시터는 고유전율의 물질에 설계

하여 전체적인 크기를 줄이는데 유리하다. 본 논문은 이중적층 LTCC기술을 이용하여 2.4GHz대역에서 BPF를 설계하고 제작하였다.

2. 설계구조

802.11b WLAN은 2.4GHz의ISM 밴드를 사용하고 있으므로 필터의 중심주파수는 2.45GHz이며 근접한 다른 밴드와의 간섭을 최소화할 수 있는 감쇄특성을 가지도록 설계하였다. 일반적으로 필터는 삽입손실과 감쇄특성은 서로 tradeoff관계에 있으므로 이를 적절히 조절하여 필터를 제작하여야 한다. 그림 2-1는 설계된 필터의 측면도를 나타내었다. 그리고 감쇄극을 조절하는 C_s 의 단면도를 그림 2-2에 나타내었다. 사이즈를 줄이기 위하여 고유전율의 유전체에 캐패시터를 설계하였고, 저유전율의 유전체에 인덕터를 설계하여 특성을 향상 시킬 수 있다. 캐패시터 부분의 유전체의 두께는 25 μ m로 하여 설계하였으며 고유전율의 세라믹은 그라운드로부터 0.2mm의 높이에 나머지는 저유전율의 유전체를 사용하였다.

Cr을 얻기 위하여 그라운드와 MIM형태로 캐패시터를 설계하여 전체적인 높이를 줄였고, 인덕터 또한 위와 아래 부분의 그라운드와의 거리를 고려하여 높이를 설정하였다.

필터의 전체사이즈는 2mm X 1.2mm X 0.8mm로 고정하여 인덕터와 캐패시터를 배열하였고, 튜닝을 통하여 2.45GHz에 중심주파수가 일치하도록 각각 소자의 사이즈를 결정하였다. 그린시트 하나의 두께는 25 μ m로써 총 32개의 layer로 구성되었으며 각각의 높이에 따라 각 층별로 컨덕터를 프린팅 하여 제작할 수 있다. 비아를 통하여 인덕터와 캐패시터를 연결하였고, 인덕터는 필터의 옆면에 그라운드를 만들어 밑바닥의 그라운드와 연결하였다.

3. 감쇄극 모델링

기본적인 LC필터의 lumped 모델로써는 감쇄극의 생성의 원리를 이해하기가 어렵다. 본 설계에서는 coupled 라인의 형태로 이루어진 인덕터를 사용하여 필터를 설계하였고 이를 even-odd 모드를 이용하여 해석하였다.

그림 3-1은 2단 BPF의 even-odd 모드 등가회로이

다. 여기서 각각 B_{in}^e 와 B_{in}^o 는 회로의 손실을 무시했을 때의 입력 어드미턴스 값이다. 이 회로로부터 공진기는 각각 $jB_{in}^e=0$, $jB_{in}^o=0$ 일 때 공진이 일어난다. 또한 감쇄극은 식 (3-1)과 같은 조건에서 생성된다.

$$jB_{in}^e = jB_{in}^o \quad (3-1)$$

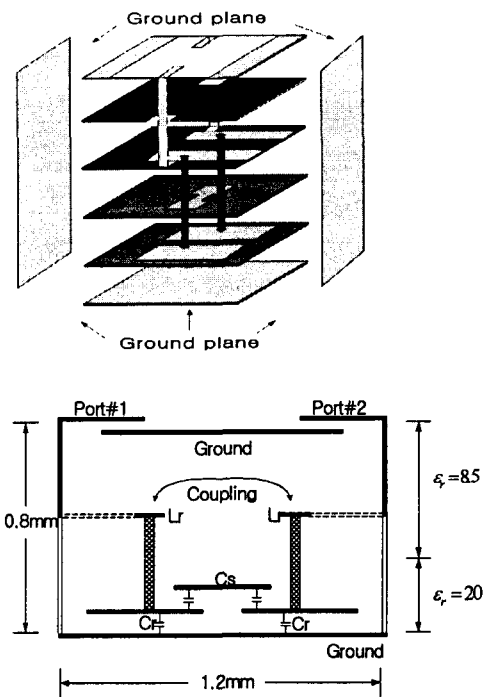


그림 2-1. 설계된 2.4GHz대역 BPF의 단면도

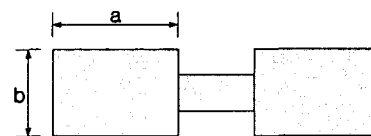


그림2-2. 커플링 캐패시터

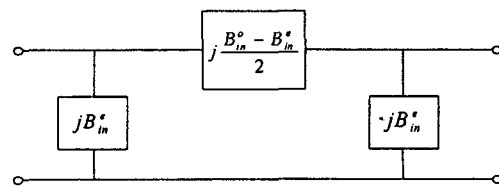


그림 3-1. 2단 BPF의 even-odd 모드등가회로

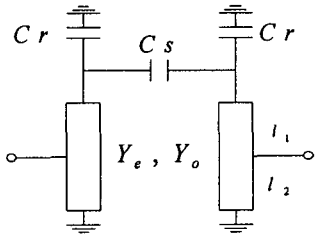


그림 3-2. 설계된 회로의 구성도

그림 3-2는 설계된 회로의 구성도 이다. 각각의 입력 어드미턴스를 구하면 식(3-2)과 식(3-3)과 같다.

$$B_m^e = Y_e \frac{\omega Cr + Y_e \tan \beta l_1}{Y_e - \omega Cr \tan \beta l_1} - Y_e \cot \beta l_2 \quad (3-2)$$

$$B_m^o = Y_o \frac{\omega(Cr + Cs) + Y_o \tan \beta l_1}{Y_o - \omega(Cr + Cs) \tan \beta l_1} - Y_o \cot \beta l_2 \quad (3-3)$$

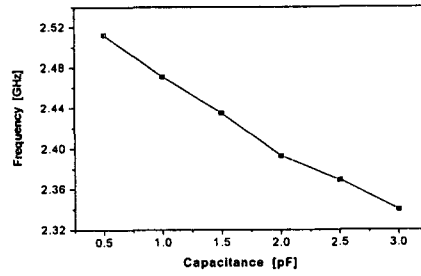
표 3-1 입력 어드미턴스 파라미터

Y_e	Y_o	l_1	l_2	C_r
0.0233	0.0244	0.825	0.6	6.55

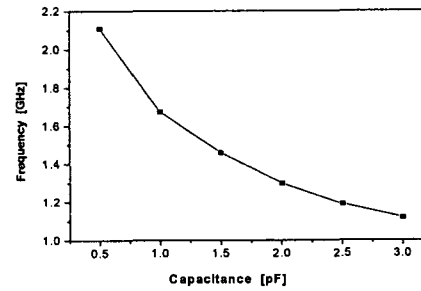
표 3-1은 설계된 BPF로부터 구해진 파라미터들이며 이를 식(3-2), (3-3)에 대입하여 커플링 캐패시터(Cs)의 변화에 따른 감쇄극의 위치 변화와 중심주파수(f_c)를 알아보았다. 중심주파수는 식(3-4)로부터 얻어지며 f_{even} , f_{odd} 는 각각의 even-odd 모드에서의 입력 어드미턴스가 0이 되는 주파수이다[5].

$$f_c = \frac{f_{even} + f_{odd}}{2} \quad (3-4)$$

표 3-1에서의 파라미터를 식(3-2)와 (3-3)에 대입하여 커플링 캐패시터값의 변화에 따른 중심주파수와 감쇄극주파수의 변화를 그림3-3에 나타내었다. 그림에서 커플링 캐패시터값이 증가 할수록 감쇄극은 낮은 대역으로 이동하고 중심주파수 또한 낮은 대역으로 이동한다. 그러나 감쇄극은 커패시터의 값에 민감하지만 중심주파수의 이동은 큰 폭의 변화를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다.



(a) 중심주파수 VS. Cs



(b) 감쇄극 Vs. Cs

그림 3-3. 커플링 캐패시터의 변화에 따른 중심주파수와 감쇄극의 변화

그림 3-4와 3-5은 커플링 캐패시터(Cs)의 면적(a × b)변화에 따른 감쇄극 주파수와 필터의 중심주파수 변화를 나타내었다. 면적이 넓어질수록 즉 캐패시턴스값이 커질수록 감쇄극의 주파수는 낮아지는 경향을 보이고 중심주파수는 큰 변화는 없으나 캐패시턴스값이 커질수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 그리고 캐패시턴스값이 커질수록 리플이 심해져 면적이 약 0.18mm²이 넘어서면서부터는 중심주파수를 기준으로 두개의 통과극(Pass pole)이 벌어지는 현상을 보인다.

그림3-6과 그림3-7은 각각 Cs의 면적변화에 따른 감쇄극 주파수와 중심주파수에서의 S₂₁값의 변화를 나타내었다. 감쇄극이 중심주파수에서 멀어질수록 감쇄극에서의 값은 떨어지고, 중심주파수에서의 S₂₁값은 좋아지는 것을 알 수 있다. 그림 3-8은 반사손실값을 나타낸 것으로 감쇄극이 중심주파수에 가까이 위치해 있을 때 나빠지는 것을 알 수 있다.

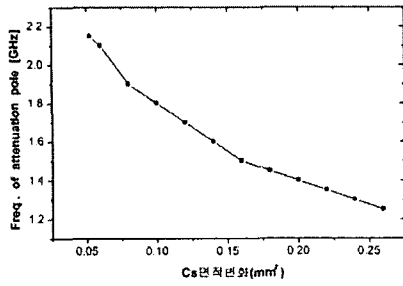


그림 3-4. Cs의 면적변화에 따른 감쇄극 주파수의 변화

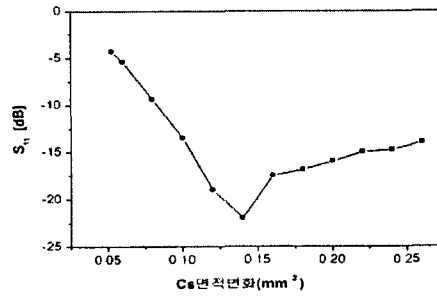


그림 3-8. Cs의 면적변화에 따른 반사손실 값의 변화

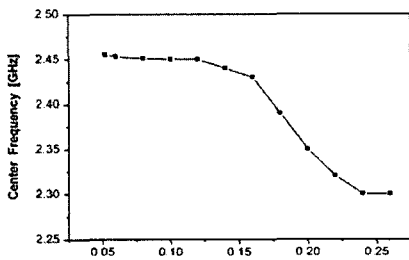


그림 3-5. Cs의 면적변화에 따른 중심주파수의 변화

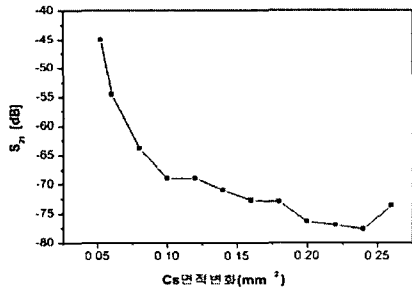


그림 3-6. Cs의 면적변화에 따른 감쇄극에서의 S21 값의 변화

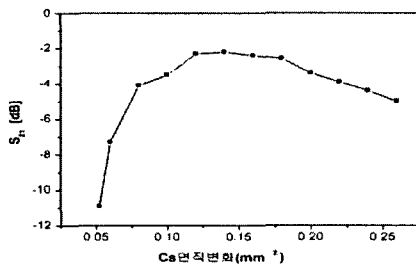


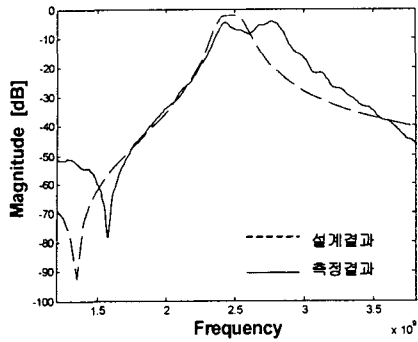
그림 3-7. Cs의 면적변화에 따른 중심주파수에서의 S21 값의 변화

4.3 설계 결과 및 측정

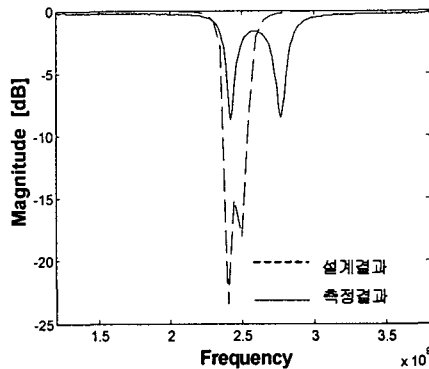
최종적으로 설계된 대역통과 필터는 2012사이즈로 설계되었으며 감쇄극의 위치가 1.3GHz에 오도록 커플링 캐패시터의 크기를 0.325mm×0.4mm으로 설계하였다. 인덕터는 전체회로에서 아래쪽과 위쪽 그라운드에 영향을 가장 최소화 하기 위하여 중심에 오도록 설계하였으며 입출력 포트를 저유전율 층에 설계하였다. 설계된 회로는 MOM 방식의 EM 시뮬레이터를 사용하여 그 특성을 알아보았다. 삽입손실은 주파수 2.45GHz에서 최고치인 -2dB였고, 반사손실은 2.4GHz와 2.5GHz에서 각각 -23dB와 -17dB의 최저의 값을 갖는다.

제작하여 측정된 값은 중심주파수는 2.6GHz이고 각각 2.45GHz와 2.75GHz에서 삽입손실은 -4.5dB, -4.1dB로 최고치를 가지며 반사손실은 -8.5dB, -8.7dB를 보였다. 그리고 감쇄극 주파수는 1.57GHz이다. 리플이 다소 심하여 공진기 사이가 벌어지는 현상을 보이는데 이것은 두개의 공진기 사이의 커플링이 제대로 일어나지 않고 각 공진기의 캐패시터에서 그린시트의 압축에 문제를 보여 서로 다른 공진주파수를 가져 벌어지는 현상으로 인덕터 부분으로 구성된 coupled 라인사이의 거리를 조절하고 그린시트의 압축율을 일정하게 유지하여 각 공진기의 Cr값을 일정하게 하여 각각의 공진기의 공진주파수를 맞춤으로써 특성을 향상시킬 수 있다.

그림 4-2는 제작된 이중적층 LTCC기술을 이용한 필터의 단면도이다. 저유전율층과 고유전율층의 사이에서 계면에서의 휨 현상이나 균열이 없어 우수한 접합상태를 보이고 있음을 알 수 있다. 이후 향후 유전율이 다른 세라믹 유전체를 사용한 적층 구조 설계시 공정상의 문제가 야기 되지 않음에 따



(a) 삽입손실



(b) 반사손실

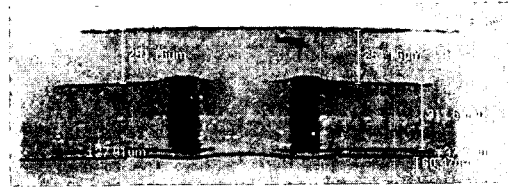
그림 4-1. 제작된 대역통과필터의 설계값과 측정값

라 이중적층 구조가 갖는 많은 이점 때문에 활발한 연구가 진행될 수 있음을 단적으로 보여주고 있다. 단면도에서 보면 캐패시터와 인덕터 제작시 사용된 전극이 많이 휘어있고 특히 비아가 사용된 부분에서는 휨 상태가 심하다는 것을 알수있다. 이는 설계된 인덕터와 캐패시터값을 변화 시켜서 설계치와의 오차를 일으키며 실제 제작 시마다 각기 다른 휨 정도를 보여 제작의 오차도 크게 만들고 있는 단점이 된다. 또한 비아는 실제 펀칭시 그린시트가 단단하지 않아 펀칭이 가하는 순간 들어가는 부분이 짓눌려서 구멍이 커지게 되었고 또한 단면이 고르지 않아 방사성분을 늘려 전체적인 전달 손실을 크게 하는 원인이 된다.

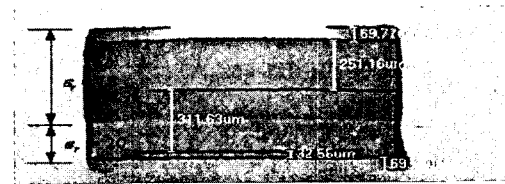
5. 결론

본 논문은 이중적층 구조를 가지는 LTCC를 이용한 2.4GHz대역의 BPF를 제안 하였다. 필터의 중요 파라미터중 하나인 감쇄극을 even-odd모드를 이용하

여 해석하였으며 이를 이용해서 하나의 감쇄극을 갖는 BPF를 설계 분석하였다. 지금까지의 결과를 바탕으로 시스템 집적시 안테나나 필터 그리고 그 밖의 수동소자들을 이중적층 구조로 설계한다면 고 집적용 MCM제작이 가능하다.



(a) xz 단면도



(b) yx 단면도

그림 4-2. 제작된 필터의 단면도

참고 문헌

[1] A. Sutono, A. Pham, J. Laskar, W.R. Smith, "Development of Three Dimensional Cermic-Based MCM Inductors for Hybrid RF/Microwave Applications," *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, 1999, pp. 175-178

[2] Jyh-Wen Shen, "LTCC-MLC Duplexer for DCS-1800," *IEEE Trans. on microwave theory and techniques*, vol. 9, September 1999

[3] 고정호외 3명, "이중적층 LTCC기술을 이용한 GSM대역 BPF설계", *한국전자파학회 논문지*, pp931-935, 2003년9월

[4] Ikuo Awai, "Recent Advence in Microwave Filter Circuit Design Techniques: Control of Attenuation Poles in A two-stage Combline BPF," *2000 Asia-Pacific Microwave Conference*, pp 485~490, Dec. 2000.