

이종적층 LTCC 기술을 이용한 GSM 대역 BPF 설계

Design of GSM BPF using Dissimilar LTCC Technology

고정호 · 이상노 · 육종관 · 박한규

Jeong-Ho Ko · Sang-No Lee · Jong-Gwan Yook · Han-Kyu Park

요 약

본 논문에서는 LTCC 기술을 이용한 다중기판 2단 LC 대역통과 필터를 제안하였다. 이 필터는 서로 다른 유전율을 갖는 세라믹 재료를 사용하였다. 인덕터는 손실과 기생성분을 감소시키기 위하여 저유전율의 재료에 설계되었다. 반면에 커패시터는 단면적을 감쇄시키기 위하여 고유전율의 재료에 설계되었다. 본 논문에서 제안된 대역통과 필터의 전체크기는 $2.5 \times 2.5 \times 1.4 \text{ mm}^3$ 이며 949 MHz의 중심주파수 및 3.5 dB의 삽입손실과 118 MHz의 대역폭을 갖는다. 성능은 각각의 LC 공진기 사이의 커플링 커패시터에 의하여 조절하였다.

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. Inductive elements are designed in a low permittivity ceramic layer to reduce parasitic effects and loss, while capacitive elements are designed in a high permittivity ceramic layer for size reduction. The proposed filter has 950 MHz center frequency, 118 MHz fractional bandwidth, and 3.5 dB insertion loss. And, the total size of this filter is $2.5 \times 2.5 \times 1.4 \text{ mm}^3$. The performance of filter is analyzed by changing coupling capacitance between each resonator.

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

I. 서 론

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, 별륜^[3] 등의 MCM 기술의 연구가 이루어지고 있다.

LTCC를 이용한 MCM(Multi-Chip Module) 기술은 부피가 큰 수동소자를 하나의 구조물에 다층으로 집적화함으로써 전체소자의 크기를 감소하여 고집적

화된 모듈을 가능하게 한다^[4]. 또한 대량생산이 가능하여 제작단가를 낮출 수 있다는 장점이 있다. 그러나 지금까지의 LTCC MCM 기술은 같은 유전율을 가지는 다층 기판으로 제작되어 인덕터나 커패시터, 안테나, 필터 등 각 소자의 성능을 최대화하는 데 문제점이 있다. 일반적으로 인덕터, 안테나 등은 저유전율에서 필터나 커패시터 등은 고유전율에서 사용하는 것이 성능면이나 크기면에서 장점을 가지고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 그림 1과 같이 서로 다른 유전율을 가지는 세라믹 재료를 이용한 이종적층으로 설계된 MCM 기술개발이 필요하다^[5].

본 논문에서는 이종적층의 한 예로써 유전율이

연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20030524-06S

· 수정완료일자 : 2003년 7월 30일

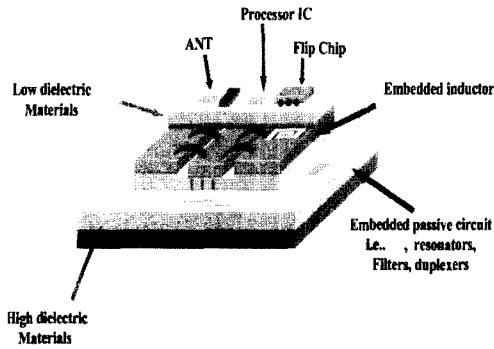


그림 1. 이종적층 기술을 이용한 MCM의 예
Fig. 1. Example of MCM using dissimilar material.

서로 다른 두 가지의 세라믹 재료를 사용하여 저유전율($\epsilon_r=8.5$)에는 인덕터를, 고유전율($\epsilon_r=20$)에는 커패시터를 설계하고, 이를 이용하여 GSM 대역에서 동작하는 소형의 LC 대역통과필터를 설계하였다.

II. 인덕터와 커패시터 설계

표 1은 각각 인덕터와 커패시터의 특징을 저유전율과 고유전율의 물질에 사용했을 경우의 장점을 나타내고 있다^[2].

본 논문에 사용된 인덕터는 식 (1)을 이용하여 구현하였다^[6].

$$L(nH) = 2 \times 10^{-4} / \left[\ln\left(\frac{l}{w+t}\right) + 1.193 + 0.2235 \frac{w+t}{l} \right] K_g \text{ for } l \text{ in } \mu m$$

$$K_g = 0.57 - 0.145 \ln \frac{w}{h} \text{ for } \frac{w}{h} > 0.05 \quad (1)$$

여기에서 w, t, l 각각 도체의 폭과 두께, 길이 그

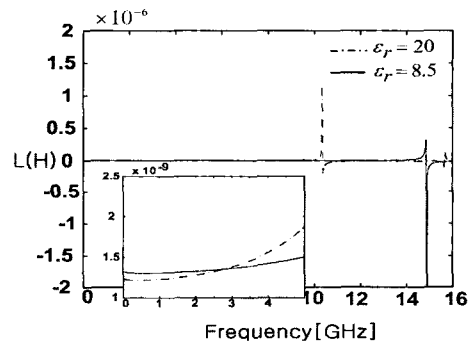
표 1. 이종적층 구조의 장점
Table 1. Advantages of Dissimilar Multi-Layer Structure.

유전율	적용범위	장점
저유전율 ($\epsilon_r=8.5$)	신호선	• 신호의 전달속도 증가
	인덕터	• 자기공진주파수 증가 • 기생 커패시턴스 성분 감소 • 손실감소로 인한 Q 값 증가
고유전율 ($\epsilon_r=20$)	커패시터	• 제한된 구조 내에 커패시턴스 값 조절 용이 • 면적의 효율성 증대

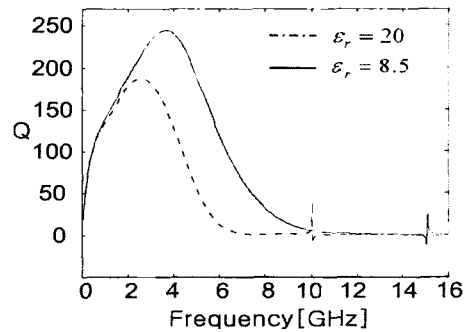
리고 h 는 기판 두께를 표시한다. 또한 K_g 는 접지면과의 영향을 고려한 보정계수이다.

그림 2는 $0.2 \times 2 \text{ mm}^2$ 크기의 인덕터를 각각 유전율이 20, 8.5인 세라믹 재료에서 접지면과의 거리가 0.9 mm에서 설계했을 때의 Q값과 인덕턴스값을 시뮬레이션한 결과이다.

유전율이 8.5인 경우가 20인 경우보다 Q 값이 더 높고 인덕턴스 값은 3 GHz 이하에서는 8.5인 경우 그 이상에서는 20인 경우에 더 높은 값을 갖고 있으나 0.1~0.2 nH 내외로 큰 변화를 보이지 않고 있다. 자기공진주파수(SRF)는 20인 경우에는 약 10 GHz, 8.5인 경우에는 약 15 GHz로써 이는 기생 커패시턴스 감소로 인한 것이다. 그림 2로부터 인덕터는 유전율이 낮은 물질에 설계함으로써 성능향상을 보일 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 접지면과의 영향을 고려하기 위하여 그림 3과 같이 서로 다른 높이의



(a) 주파수 vs. Q
(a) Frequency vs. Q



(b) 주파수 vs. 인덕턴스값
(b) Frequency vs. inductance

그림 2 유전율에 따른 인덕터의 특성
Fig. 2. Characteristic of Inductor using $\epsilon_r=20$ vs. $\epsilon_r=8.5$.

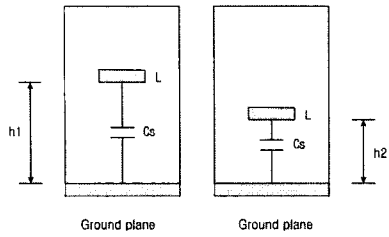
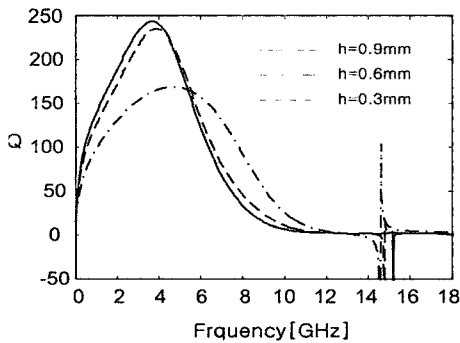
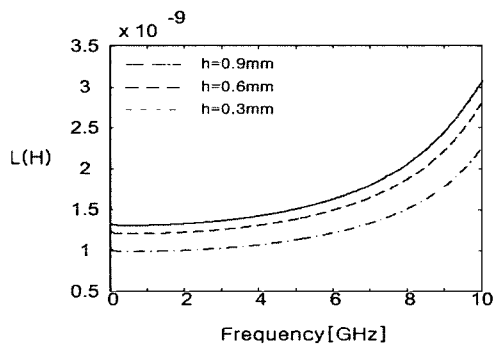


그림 3. 접지면과의 거리에 따른 특성비교를 위하여 설계된 인덕터의 측면도
 Fig. 3. Layout of Inductor to compare ground effect with respect to height change.

인덕터를 설계하여 그 영향을 알아보았다. 높이는 각각 0.9 mm, 0.6 mm, 0.3 mm로 하여 시뮬레이션 하였고 그 결과를 그림 4에 도시하였다. 그림 4로부터 인덕터의 높이가 접지면과 가까워질수록 SRF의 변화는 거의 없으나 기생커패시턴스(Cs)의 증가로 인하여 인덕턴스값과 Q값의 성능저하가 현격하게



(a) 주파수 vs. Q
 (a) Frequency vs. Q



(b) 주파수 vs. 인덕턴스값
 (b) Frequency vs. inductance

그림 4. 접지면과의 거리에 따른 인덕터의 특성
 Fig. 4. Characteristic of Inductor with different height.

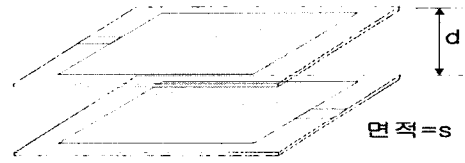


그림 5. MIM 커패시터
 Fig. 5. MIM Capacitor.

나타나고 있다는 것을 알 수 있다.

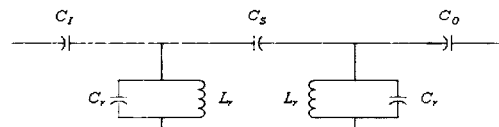
커패시터는 그림 5와 같은 MIM(Metal Insulator Metal) 구조로 제작하였으며 식 (2)를 이용하여 커패시턴스 값을 구하였다^[6].

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{s}{d} \quad (2)$$

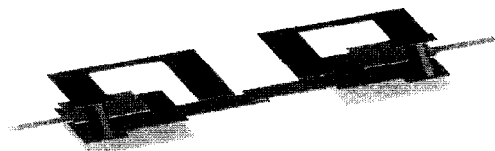
식 2로부터 알 수 있듯이 유전율이 높은 물질에 커패시터를 설계하였을 때 커패시터의 크기를 감소시킬 수 있다. 즉 유전율이 20인 경우에는 유전율이 8.5인 경우보다 약 40 % 정도의 크기 감소효과가 있다.

III. 대역통과 필터 설계

그림 6은 제작에 사용된 J-inverter 변환 방식에 의한 2단 대역통과 필터의 회로와 이를 LTCC를 이용하여 구현한 레이아웃이다. 이 필터의 회로도에는 공진기를 구성하고 있는 커패시터와 인덕터의 값을 변화시키면서 원하는 공진주파수에 맞추어도 주파수 응답특성이 변하지 않은 장점이 있어서 L, C를 자유

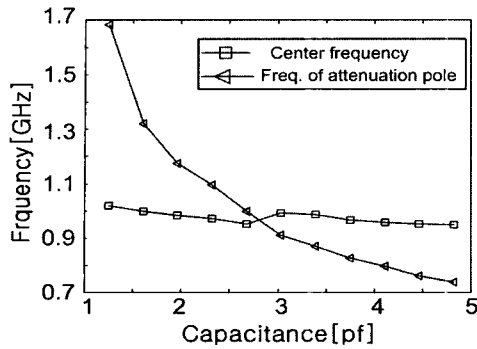


(a) 2단 대역통과 필터 회로도
 (a) Schematic of 2-stage bandpass filter

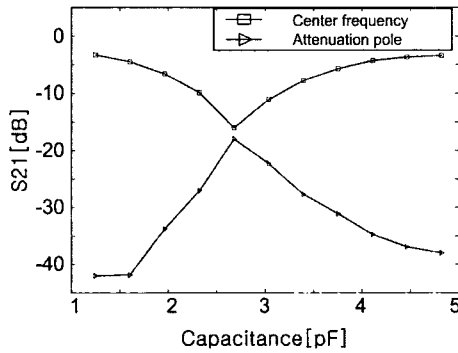


(b) 설계된 대역통과 필터의 단면
 (b) Layout of bandpass filter

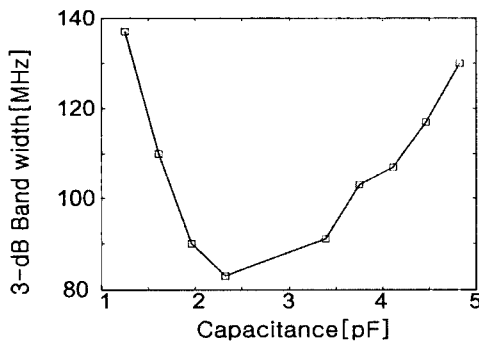
그림 6. 2단 대역통과 필터
 Fig. 6. 2-stage Bandpass filter.



(a) f_c 와 f_p 의 변화
(a) Change of f_c and f_p



(b) f_c 와 f_p 에서의 삽입손실
(b) Insertion loss at f_c and f_p



(c) 3 dB 밴드폭
(c) 3 dB bandwidth

그림 7. Cs의 변화에 따른 필터 특성변화
Fig. 7. Different Characteristic of filter with respect to Cs change.

롭게 설정할 수 있다⁶⁾.

그림에서 C_1 , C_0 는 입출력 매칭을 위하여 사용되었다. 설계된 필터의 구조에서 각각의 인덕터에서는 서로의 상호 자기력에 위한 상호인덕턴스(M)가 생기고, 이 인덕턴스값과 각각 공진기 사이의 커플링

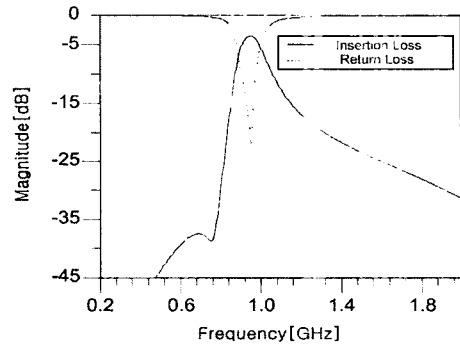


그림 8. 대역통과 필터의 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulation result of bandpass filter.

커패시터 값에 의하여 attenuation pole이 생긴다. 이 attenuation pole은 중심주파수와 삽입손실, 필터의 밴드폭등에 영향을 미쳐 필터의 특성을 결정짓는 중요한 파라미터로 작용한다.

그림 7은 커플링 커패시턴스 값의 변화에 따른 필터의 특성 변화를 나타낸 그림으로 설계자는 중심주파수(f_c)와 attenuator pole 주파수(f_p)의 위치, 밴드폭, 삽입손실 등을 고려하여 커플링 커패시터의 값을 결정할 수 있다.

그림 8은 FEM 방식의 full wave 시뮬레이터를 사용하여 설계된 GSM 대역통과 필터의 특성을 나타내었다. 설계된 수신용 필터의 중심주파수는 949 MHz, 삽입손실은 3.5 dB, 반사손실은 중심주파수에서 22 dB이며, 대역폭은 118 MHz이다. 또한 attenuation pole은 760 MHz에 위치해 있으며 이때의 손실 값은 37 dB이다. 전체 회로의 크기는 $2.5 \times 2.5 \times 1.4 \text{ mm}^3$ 이며 0~3 mm까지는 유전율이 20인 기판을 1.4 mm까지는 8.5인 기판을 사용하였다.

IV. 결 론

본 논문은 이중적층구조를 가진 LTCC를 이용한 GSM 대역의 BPF를 제안하였다. 인덕터와 커패시터는 각각 유전율이 8.5와 20인 기판에 설계되어 성능 향상과 크기 감소의 효과를 보았으며 특히 시스템을 집적화 할 때 안테나나 필터 그리고 그 밖의 수동소자들을 이중적층구조로 설계한다면 고집적용 MCM 제작이 가능하다.

참 고 문 헌

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

[2] Toshio Ishizaki, Hiroshi Kagata, Tomoki Uwano and Hideyuki Miyake, "A Very Small Dielectric Planar Filter for Portable Telephones", *IEEE Trans., on Microwave Theory and Techniques*, vol. 42, no. 11, Nov. 1994.

[3] Jyh-Wen Shen, "LTCC-MLC Duplexer for DCS-1800", *IEEE Trans, on Microwave Theory and*

이종적층 LTCC 기술을 이용한 GSM 대역 BPF 설계

Techniques, vol. 9, Sep. 1999.

[4] Albert Sutono, Deukhyoun Heo, Yi-Jan EmeryChen, and Joy Laskar, "High-Q LTCC-Based Passive Library for Wireless System-on-Package(SOP) Module Development", *IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 10, Oct. 2001.

[5] 김광용 외 3명, "LTCC 기술을 이용한 이종 적층 DCS 대역통과 여파기 설계", 2002년 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp. 131-134, 2002년 9월.

[6] Jia-sheng, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, Willy-interscience, 2001.

고 정 호



2002년 2월: 홍익대학교 전파공학과 (공학사)
 2002년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 소자 및 회로

육 중 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow
 1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 조교수
 [주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조

이 상 노



1998년: 고려대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2001년 2월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 초고주파회로 설계

박 한 규



1964년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1968년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1975년: 불란서 파리 6 대학 (공학박사)
 1976년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
 1979년~1980년: 스탠포드대학교 교환교수
 1989년~1994년: 대통령 21세기 위원회 위원
 1995년~1997년: 정보통신부 전파위원회 위원장
 1997년~현재: 한국과학재단 이사
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 스마트 안테나, 전파, SAR