

LTCC 기술을 이용한 Ka-밴드 대역통과필터 설계

정회원 최 병 건*, 박 철 순*

Design of a Ka-band Bandpass Filter Using LTCC Technology

Byoung Gun Choi*, Chul Soon Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 최초로 저온동시소성세라믹(low temperature co-fired ceramic, LTCC) 기술을 이용하여, Ka-밴드 대역의 협대역 대역통과필터를 설계 및 제작하였다. 높은 집적도 및 수직적층능력과 같은 LTCC 기술의 장점을 활용하여, 3차원 구조를 가지는 중단 커플링 마이크로스트립 형태의 대역통과필터를 설계하였다. 중단 커플링 공진기를 평면상에서 구성할 경우, LTCC 공정의 설계규격 중 도선의 선폭 및 선간 간격의 공정 한계로 인해 인접한 두 공진기 사이의 간격이 제한되어지는데, 이러한 문제는 인접한 두 개의 공진기를 LTCC 기판의 서로 다른 층에 위치시킴으로서 극복할 수 있었다. 제작된 대역통과필터는 중심주파수가 28.7 GHz 이며, 이때 삽입손실은 3 dB 이다. 최소 삽입손실이 나타나는 주파수로부터 3 dB 의 손실을 가지는 통과대역은 27.9 GHz 에서 29.2 GHz 범위이며, 대역폭비율이 4.5 % 로서 고주파에서 높은 협대역 특성을 가진다. 그리고, 반사손실은 통과대역에서 10 dB 이하를 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, a Ka-band LTCC (low temperature co-fired ceramic) narrow bandpass filter (BPF) is firstly presented. This BPF shows very narrow 3dB fractional bandwidth of 4.5 % centered at 28.7GHz. The advantages of multi-layered LTCC technology such as high integration and vertical stacking capabilities were employed to design three-dimensional interdigital end-coupled embedded microstrip narrow BPF. The difficulties in controlling the precise distance between two adjacent resonators in LTCC end-coupled BPF were overcome by locating the resonators on different layers. The measured insertion loss is 3dB at 28.7GHz, pass band is from 27.9 GHz to 29.2 GHz, and the return loss in the pass band is less than 10 dB.

Key Words : LTCC, 대역통과필터, Ka-band

1. 서 론

최근 몇 년동안 LTCC 기술은 일반적인 평면 인쇄회로 기술에 비해 월등한 집적도와 저손실 특성으로 인해, 마이크로파와 밀리미터파 회로 분야에서 특히 관심과 연구가 집중되어 왔다. LTCC 기술의 3차원적인 집적능력은 전체 회로모듈의 크기를 효과적으로 줄임으로써, 저가격화를 이룰 수 있고, 동시에 유전체 손실 또한 줄임으로써 고주파 특성 또한 향상시킬 수 있다^[1]. 최근 수 년동안 이러한

LTCC의 장점을 이용한 대역통과필터들이 많이 발표되었으나, 대부분 10 GHz 이하의 주파수 영역에서 중심주파수를 가지고 있으며, 주로 광대역의 통과대역 특성을 가지는 필터들이 발표되었다^{[2]-[3]}.

본 논문에서는 3차원 다층기판구조의 LTCC 기술을 이용하여 최초로 Ka-밴드 대역의 중단 연결형 대역통과필터를 설계하였다. 일반적인 2차원 중단 연결형 대역통과필터는 다른 구조의 대역통과필터에 비해 주파수의 협대역 통과특성을 나타내지만, LTCC 공정을 이용한 2차원 중단 연결형 대역통과

* 한국정보통신대학교 공학부 초고주파회로연구실(Micro Lab. Schoole of Engineering, Information and Communications University)

논문번호 : 030433-1006 접수일자 : 2003년 10월 6일

※ 본 연구는 과학기술부와 KISTEP의 재정지원으로 이루어짐.

필터는 소결시의 수축과 선폭의 공정 규칙으로 인해, 평면 기판 위에 정확한 종단 간격을 제어하기가 힘들고 커플링에 필요한 커패시턴스를 얻기 위해 충분히 가까이 공진기를 근접시키기가 어렵다. 일반적인 LTCC 공정에서 제공하는 최소 선폭 및 선간 간격은 스크린프린트 공정 특성 상 100 μm ~ 150 μm 정도로서 이는 동일한 평면 기판 위에 공진기를 선형으로 배치할 경우, 인접하는 두 공진기 끝단 사이에서 원하는 커패시턴스를 갖기에는 큰 간격이다. 이러한 한계를 극복하기 위하여, 마이크로스트립 공진기를 서로 다른 층에 위치시켜 인접하는 두 공진기 사이의 커플링을 수직으로 일으키도록 설계하였으며, 이를 통해 LTCC의 평면 공정규격으로부터 자유로울 수 있다. 그리고, 서로 다른 층에서 인접하는 두 공진기의 종단을 겹치게 위치시킴으로써, 커플링 커패시턴스를 원하는 값으로 조정할 수 있고, 이를 통해 대역폭의 크기, 비통과대역에서의 감쇄율, 통과대역에서의 최소 삽입손실 등과 같은 필터 특성을 조정할 수 있다⁴⁾.

II. 필터 설계

본 논문에서는 3차원 다층구조의 LTCC 기술을 이용하여 Ka-밴드 대역에서 협대역 통과특성을 가지는 대역통과필터를 설계하고자 하였다. 대역통과필터의 설계를 위하여 우선 Matthaei, Young 그리고 Jones의 통합법(synthesis method)을 사용하여 표준형 Tchebyscheff 종단 커플링 구조의 저역통과필터를 설계하였고, 이를 29.6GHz ~ 30.1GHz의 통과대역을 가지는 대역통과필터로 맵핑하여 설계되었다⁵⁾.

그림 1(a)는 프로토타입 필터를 설계하기 위해 사용된 종단 커플링 대역통과필터의 구조를 나타내며, 그림 1(b)는 이러한 대역통과필터의 공진기와 각 공진기를 연결하는 직렬 커패시터의 이상적인 모델을 나타낸다. 비통과대역에서의 감쇄율을 크게하여 날카로운 스킵트 형태를 얻기 위하여, 3개의 공진기를 사용하게 되었으며, 계산에 의한 모델 파라미터들의 값은 $\theta_1 = \theta_3 = 171.89^\circ$, $\theta_2 = 177.62^\circ$, $C_{01} = C_{34} = 12.6\text{fF}$, $C_{12} = C_{23} = 2\text{fF}$ 로서, 이를 등가회로에 넣고 시뮬레이션 한 결과를 그림 2에 나타내었다. 이와 같은 이상적인 종단 커플링 대역통과필터를 평면상에 구현하기 위해서는 계산으로 유도된 커플링 커패시턴스를 만족하기 위해서 인접한 두 공진기 간격이 LTCC

공정의 설계 규칙에서 허용하는 한계를 넘어 가까이 위치하여야 한다. 따라서 평면상의 설계규칙의 한계를 극복하기 위하여, 첫번째와 세번째의 공진기를 같은 층에 위치 시키고, 이 층을 입출력부의 전송선과 두번째 공진기가 있는 층보다 한 개 층 아래에 두는 3차원적인 설계기법이 도입되었다. 그리고, 각 공진기의 종단을 겹치게 배치함으로써, 원하는 커플링 커패시턴스를 만족할 수 있도록 하였다. 모든 공진기와 전송선은 LTCC 기판 내에 임베드시켰으며, 측정을 위하여 패드 부분만 개방한 캐비티 공정을 사용하였다. 설계된 대역통과필터의 평면 구조와 측면구조를 그림 3에 나타내었다.

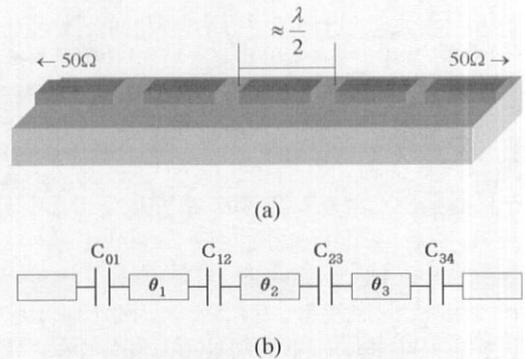


그림 1. (a)프로토타입 평면 종단 커플링 대역통과필터와 (b)등가회로 모델.

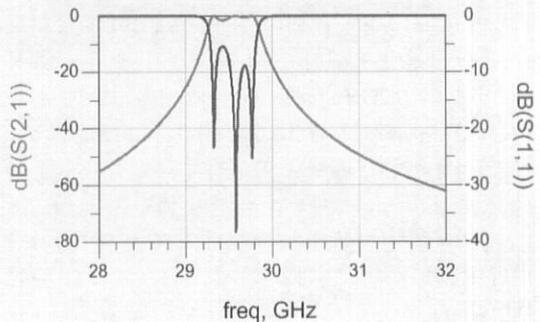


그림 2. 이상적인 등가회로 모델 파라미터 계산에 의한 대역통과필터 특성.

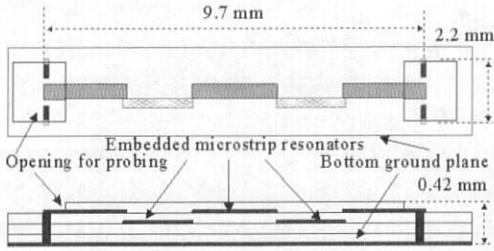


그림 3. 임베드된 마이크로스트립 대역통과필터의 구조

III. 실험 결과

그림 4는 LTCC 기술로 제작된 Ka-밴드 대역통과필터구조를 보여주며, $9.7 \times 2.2 \times 0.42 \text{mm}^3$ 의 크기를 가진다. 부가적인 수직비어를 통한 연결없이 직접적인 측정을 위하여, 세번째 층위에 CPW 패드를 만들고 캐비티 공정을 사용하여 패드 윗부분의 LTCC 층을 제거하였다. 그리고, LTCC의 동시소성 공정 중에 X/Y 축으로 약 10%의 수축이 발생하기 때문에, 모든 도선의 크기는 이를 고려하여 설계되었다. 제작된 LTCC 필터의 s-파라미터를 측정하여 삽입손실과 반사손실을 그림 5에 전자장 해석결과와 함께 나타내었다. 대역통과필터의 최소 삽입손실은 28.7GHz에서 3dB이며, 최소 삽입손실로부터 3dB의 손실을 가지는 통과대역은 27.9GHz ~ 29.2GHz로서, 4.5%의 대역폭비율을 나타내었으며, 반사손실은 전 통과대역에서 10dB이하를 나타내었다. 측정된 필터의 주파수 범위가 전자장 해석에 비해 약 0.7GHz 하향 천이하였음을 보여주는데, 이는 전자장 해석시에 LTCC 기판의 유전율을 7.1로 가정하였지만, 실제로 T-공진기를 제작하여 유전율을 측정된 결과, 제작된 기판의 유전율이 약 7.8로 증가하였기 때문이다. 제작된 LTCC 대역통과필터의 전자장 해석 결과와 측정결과를 표 1에 나타내었다.

IV. 결론

본 논문에서는 중심주파수가 28.7GHz이며, 대역폭비율이 4.5%인 협대역 특성의 대역통과필터를 최초로 LTCC 기술을 이용하여 구현하였다. 설계된 필터는 3차원 적층구조를 가지는 LTCC 기술의 장점을 이용하여, 공진기를 서로 다른 층에 위치시킴으로써, 협대역의 대역통과특성과 비통과대역에서의 감쇄율을 증가시키도록 설계하였다. LTCC 기판을

적층함으로써, 공진기를 효율적으로 배치시킬 수 있었으며, 평면인쇄 공정규격의 한계를 극복할 수 있었다. 또한 공진기의 구조에 대한 보다 깊이있는 연구를 수행함으로써, 더욱 집적화된 필터를 설계할 수 있으리라 생각된다. 본 연구에서 설계된 대역통과필터는 비통과대역에서의 감쇄율이 커서 우수한 선택도를 가지기 때문에, Ka-밴드 대역의 주파수 영역에서 수신단의 이미지 제거 필터를 포함하여 다양한 용도로 사용될 수 있다.

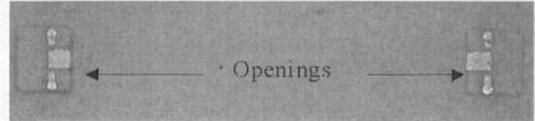


그림 4. 제작된 LTCC 대역통과필터의 사진

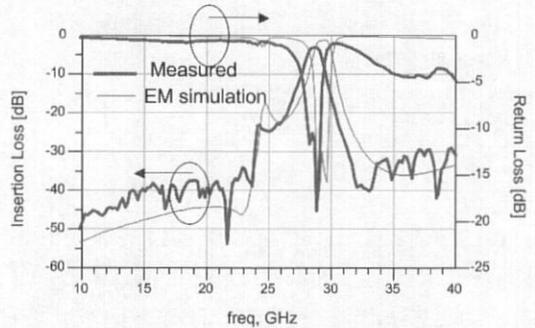


그림 5. 전자장 해석 및 제작된 LTCC 대역통과필터의 주파수 특성

표 1. LTCC 측정결과 요약

Parameters	Measured	Simulated
Center frequency (f_0)	28.7 GHz	29.2 GHz
Lower band edge (f_L)	27.9 GHz	28.6 GHz
Upper band edge (f_H)	29.2 GHz	29.9 GHz
Fractional bandwidth (w)	4.5 %	4.5 %
Minimum insertion loss	3 dB	1.2 dB

참고 문헌

[1] C. Q. Scramton, Where We Are and Where We're Going-II, *IEEE MTT-S IMS Digest*, pp.193-200, 1999.
 [2] S. Pinel, S. Shakraborty, M. Roellig, R. Kunze, S. Mandal, H. Liang C-H. Lee, R.

- Li, K.Lim, G. White, M. Tentzeris, and J. Laskar 3D Integrated LTCC Module using BGA technology for compact C-band RF Front-End Module, *IEEE MTT-S IMS Digest*, pp.1553-1556, 2002.
- [3] C.-H. Lee, S. Chakraborty, S. Yoo, D. Heo, and L. Laskar, Broadband Highly Integrated LTCC Front-end Module for IEEE 802.11a WLAN Applications, *IEEE MTT-S IMS Digest*, pp.1045-1048, 2002.
- [4] C.-K. C. Tzuang, Y.-C. Chiang, and S. Su, Design of a Quasi-Planar Broadside End-coupled Bandpass Filter, *IEEE MTT-S IMS Digest*, pp.407-410, 1990.
- [5] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*. New York : McGraw-Hill, 1964.

최 병 건(Byoung Gun Choi)



1995년 8월 : 영남대학교
전자공학과(공학사)
2000년 8월 : 한국정보통신대학교
공학부(공학석사)
2000년 9월~현재 : 한국정보통신
대학교 공학부 박사과정

<주관심 분야> RFIC 및 RF 송수신기 설계

박 철 순(Chul Soon Park)



1980년 : 서울대학교 (공학사)
1982년 : 한국과학기술원
(공학석사)
1985년 : 한국과학기술원
(공학박사)
1985년~1999년 : 한국전자통신
연구원

1999년~현재 : 한국정보통신대학교 공학부 교수

<주관심 분야> 무선통신 및 광통신 IC, 3차원 RF
모듈