

LTCC를 이용한 WLAN용 초소형 적층 대역통과 필터 설계

준희원 박 훈*, 정희원 김 근 환*, 윤 경 식*, 이 영 철**, 박 철 순**

Design of Miniaturized Multi-layer BPFs Using LTCC for Wireless LAN Applications

Hun Park*, Kuen-Hwan Kim* Associate Members,
Kyung-Sik Yoon*, Young-Chul Lee**, Chul Soon Park** Regular Members

요 약

본 논문에서는 무선 통신 시스템의 SOP(System-On-Package)를 위하여 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)를 이용하여 다층구조의 초소형 병렬결합 대역통과 여파기를 제안하였다. 제작된 대역통과 여파기는 106 μm 의 두께인 LTCC sheet가 5층으로 구성되었고 크기는 5.24mm x 4.3mm x 0.53mm이다. 측정된 대역통과 여파기는 중심주파수 5.8GHz에서 200MHz의 대역폭을 가지며, 통과대역에서 13.679dB의 반사손실과 2.326dB의 삽입손실, 그리고 4.7GHz에서 28.052dB의 감쇄특성을 갖는다.

Key Words : LTCC, BPF, WLAN, SOP, FEM

ABSTRACT

In this paper, a miniaturized parallel coupled bandpass filter using multi-layered LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics) substrate for SOP(System-On-Package) is proposed for applications to wireless communication systems. The fabricated BPF is composed of five 106 μm thick LTCC layers and its size is 5.24mm x 4.3mm x 0.53 mm. The measured characteristics of the BPF show the center frequency of 5.8GHz, bandwidth of 200MHz, insertion loss of 2.326dB and return loss of 13.679dB. In addition, the attenuation is 28.052dB at 4.7GHz.

I. 서 론

최근 무선 및 이동 통신 시스템의 수요가 급격하게 증가함에 따라 초소형, 고성능, 저가의 RF 소자의 필요성이 커져 가고 있다. RF필터는 통신시스템의 중요 부분이나 집적화가 어렵기 때문에, 최근 저온 동시 소결 세라믹 (Low Temperature Co-fired Ceramic, LTCC)기술을 이용한 소형필터 개발이 활발히 진행되고 있다. 또한, LTCC를 바탕으로한 다층 세라믹 (multilayer-ceramics, MLC) 기술은 대량 생산성, 높은 신뢰성, 소형화 등의 장점을 가지고 있다.^[1] 특히, 이 기술은 하나의 제작공정으로 수동 성분소자의 구현이 가능하고

실장을 통하여 능동부품의 RF 모듈화가 가능하여 초소형화시킬 수 있다.^[2] 수동필터는 인덕터와 커패시터 같은 집중소자나 스트립라인과 같은 분산소자로 구성된다. 그러나, C 밴드대역에서 인덕터와 커패시터의 기생성분이 커져 본 논문에서는 스트립라인을 이용한 분산소자로 필터를 설계하였다. 이 논문에서는 먼저 임베디드 평면(Embedded Planar) 구조를 이용한 병렬결합 대역통과 필터를 설계한 후 필터를 소형화 시키기 위하여 LTCC sheet를 5층 적층하여 대역통과 여파기를 설계하였다. LTCC sheet는 두께가 106 μm , loss tangent는 0.001, 그리고 유전율이 7.4이고 소성 과정에서 X/Y 축으로 약10% 수축을 보이는 상용 유전체를 사용하였다. 그림 1은 RF Front-End 모듈의 블록 다이어 그

* 고려대학교 전자 및 정보공학부 (corresponding author : ksyoon@korea.ac.kr), ** 한국정보통신대학원대학교

논문번호 : 030183-0429, 접수일자 : 2003년 5월 2일.

※본 연구는 과학기술부와 KISTEP의 재정지원에 의하여 수행 되었으며, IDEC의 설계도구 지원에 의하여 연구 되었음.

램이다. 본 논문에서는 Front-End MMIC와 안테나 사이에서 스퓨리어스(spurious)신호를 제거하기 위한 초소형 LTCC 대역통과 여파기를 설계 및 제작하였다.^[3]

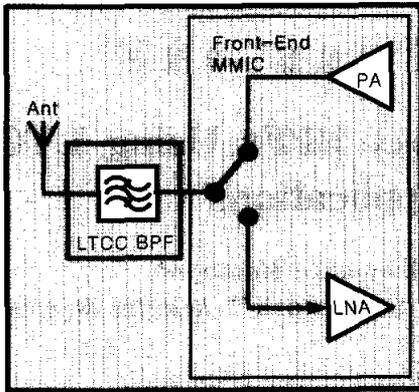


그림 1. WLAN RF 송수신기 Front End 모듈

II. 병렬결합 선로를 이용한 대역통과 여파기 설계

일반적으로 스트립라인을 이용한 병렬결합 구조의 여파기는 단락회로가 없고 삽입손실이 낮으며 제작이 용이하다는 장점 때문에 협대역 대역통과 여파기로 이용된다.^[4] 병렬결합 여파기에 관한 이론은 Matthaei^[5]와 S. B. Cohn^[6]에 의해 정리 되었고, 이 이론을 이용하여 그림 2와 같은 절차로 여파기를 설계하였다^[7]. 병렬결합 선로의 선폭과 길이를 상용초고주파 회로 시뮬레이터를 사용하여 계산하였고, 시뮬레이션을 통하여 여파기 특성을 확인하였다. 여파기의 인접 선로간의 간섭, Via의 영향, 다층구조 설계로 인하여 야기되는 기생성분등을 예측하기 위하여 ADS의 Momentum을 이용하여 EM (Electromagnetic) 시뮬레이션 하였다.

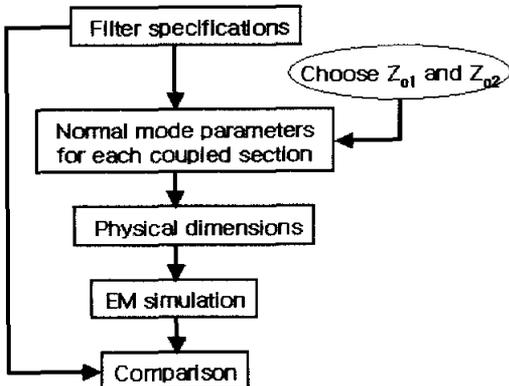


그림 2. 다층 병렬결합 구조의 LTCC 여파기 설계 절차

표 1. 설계 규격

Center Frequency	5.8 [GHz]
Bandwidth	0.2 [GHz]
Insertion Loss	3dB Max. [in passband]
Return Loss	15dB Min. [in passband]
Image Rejection	20dB Min. [at 4.7GHz]

본 논문에서는 WLAN과 같은 무선 통신시스템의 RF Front-End와의 모듈화를 위한 초소형 여파기를 제작하기 위하여 병렬결합 구조의 여파기를 LTCC sheet 3층과 4층에 집적하여 대역통과 여파기를 설계 하였다. 여기서 FEM은 5.25GHz의 HiperLAN과 5.8GHz의 802.11a에서 동시에 사용하는 것으로 본 논문에서 802.11a의 동작대역을 선택 할 수 있는 여파기를 설계하고자 한다. 두 주파수는 상당히 이격 되어 있어 서로 잡음이나 간섭효과가 적으며 여파기의 크기를 작게 하기 위하여 200MHz 대역폭을 갖는 여파기를 설계하였다. 설계 목표를 표 1과 같이 이미 발표된 WLAN용 대역통과 여파기의 설계 규격을 따르면서 RF 모듈화를 위한 구조로 설계 하였다. 그림 3과 같이 3층의 LTCC sheet를 적층하여 0.318mm의 접지면을 만들고 여파기를 3층과 4층의 기판에 집적하였다. 그리고, On-wafer 측정을 위하여 CPW(Coplanar Waveguide)패드에 Via를 통하여 연결하였다. 서로 다른 층의 결합선로는 Via로 연결하였고, 손실을 최소화하기 위하여 Via 패드의 폭을 각 층의 선로 폭과 일치 시켰다. 그림 4에 설계된 대역통과 여파기 I 은 다층 LTCC기법을 이용하여 여파기를 설계하였을 때의 특성을 확인하기 위하여 기본적인 병렬 결합구조를 이용한 것이다.

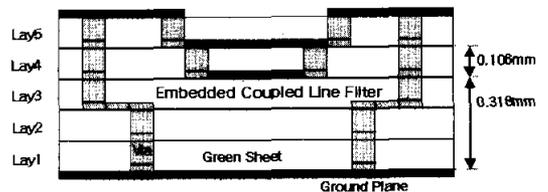


그림 3. 설계된 LTCC 여파기의 단면도

그림5는 ADS의 MCLIN을 이용한 시뮬레이션 결과와 Momentum 시뮬레이션 결과를 비교한 것으로 여파기의 주파수 특성은 거의 일치한다. 그러나, 다층구조의 설계로 인하여 야기되는 기생성분(측정포트와 그라운드면 사이에 발생하는 커패시턴스 성분,

Via에 의한 인덕턴스 성분등)으로 인하여 Momentum 시뮬레이션 결과의 삽입손실과 반사손실 등의 특성이 나빠졌다. 설계결과는 중심주파수 5.8GHz에서 삽입손실이 1.364dB, 반사손실은 15.602dB이고 200MHz의 대역폭을 가지며 4.7GHz에서 34dB이상의 좋은 감쇄특성을 가진다. 이 여파기의 특성은 WLAN의 Front-End MMIC와 안테나 사이에서 스푸리어스 신호를 제거하기에 충분한 성능을 가진다.

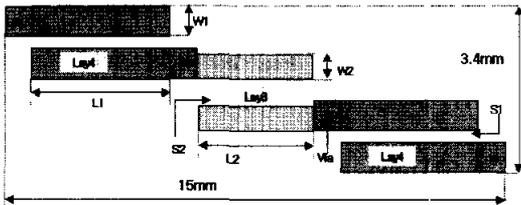


그림 4. 설계된 대역통과 여파기 I의 구조

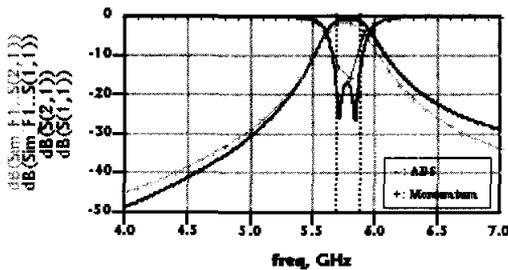


그림 5. 대역통과 여파기 I의 ADS와 Momentum 시뮬레이션 결과

그러나, 5.8GHz에서 $\lambda/4$ 평행 결합 선로의 길이가 5mm 이상으로 설계된 여파기 I의 전체면적이 15mm x 3.4mm로 상당히 크기 때문에 RF 모듈화를 위한 여파기로 적합하지 않다. 따라서, 모듈화에 적합한 초소형 여파기를 그림 6과 같이 제안하였다. 그림 6의 대역통과 여파기 II는 그림 4의 여파기 I과 같은 LTCC sheet층을 사용하였고, 병렬결합 선로의 간섭을 최소화하기 위하여 2차와 3차 병렬결합 선로를 그림과 같이 구부러 설계하였다. 그림 7은 1차와 3차 병렬결합 선로 간격 S1을 변화시킨 결과로, 대역폭은 200MHz로 거의 일정하고, S1의 간격이 215 μ m일 때 삽입손실과 반사손실이 최적화 되었다. 그림 8은 2차 병렬결합 선로 간격 S2를 변화시킨 결과로, S2가 증가할수록 대역폭이 감소하였고, S2의 간격이 650 μ m일 때 삽입손실이 1.930dB 그리고 반사손실이 21.073dB로 최적화 되었다.

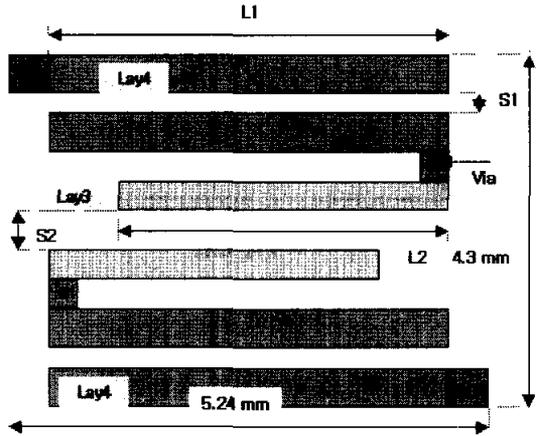


그림 6. 설계된 대역통과 여파기 II의 구조

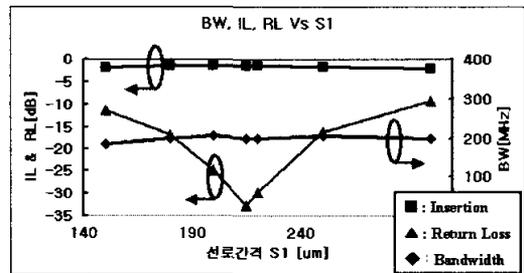


그림 7. 병렬결합 선로 간격 S1의 변화에 따른 여파기 특성

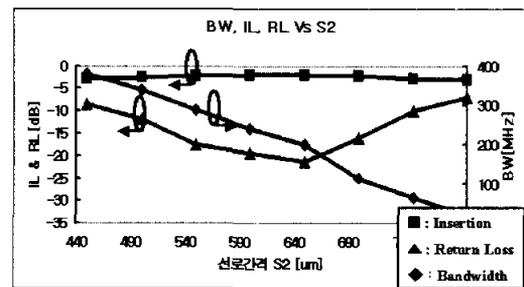


그림 8. 병렬결합 선로 간격 S2의 변화에 따른 여파기 특성

그림 9는 대역통과 여파기 II의 설계 결과로 여파기의 4.7GHz이하에서 25dB이상의 좋은 감쇄특성을 나타냈으며 통과대역에서 삽입손실이 2.0dB이하 그리고 반사손실이 20dB이상이다. 본 연구에서 제안된 구조의 대역 통과 여파기 II는 여파기 I에 비하여 삽입손실과 반사손실 그리고 감쇄특성에서 약간의 손실은 있지만, WLAN과 같은 무선 통신시스템의 RF Front-End와의 모듈화를 위한 초소형 여파기에 적합한 크기인 5.24mm x 4.3mm로 축소 시켰다.

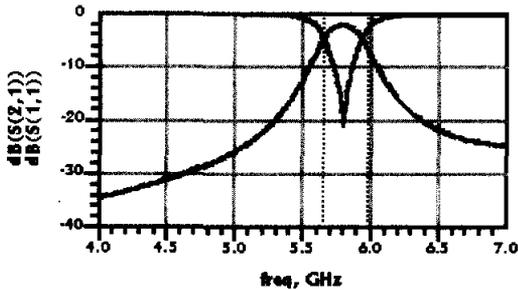


그림 9. 설계된 대역통과 여파기II의 Momentum 시뮬레이션 결과

III. 대역 통과 여파기 측정결과

LTCC sheet는 소성과정에서 약 10%의 X/Y방향으로 수축이 있기 때문에 여파기의 컨덕터는 이를 고려하여 설계하여야 한다. 그림 10은 지금까지 언급한 결과를 바탕으로 실제로 제작된 필터를 보여주고 있다. 실제 크기는 On-wafer 측정을 위한 CPW 패드를 포함하여 5.24mm x 4.3mm x 0.53mm 이다. 그림 11은 대역 통과 여파기 I의 Momentum 시뮬레이션과 ADS를 이용한 등가회로 설계 결과를 측정 S-파라미터와 비교한 것으로 잘 일치함을 볼 수 있다. 측정결과는 5.8GHz의 중심 주파수와 200MHz의 대역폭을 가지고, 통과대역에서 2.128dB의 삽입손실, 14.033dB의 반사손실을 갖는다. 그리고, 4.7GHz에서 감쇄가 34.633dB이상으로 날카로운 스킨트 특성을 보인다.

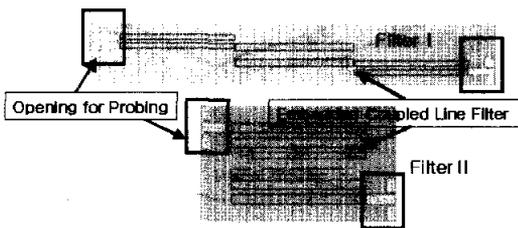


그림 10. 실제 제작된 병렬 결합 여파기

그림 12는 통신모듈에 적합하도록, 본 논문에서 새롭게 제안한 초소형 대역통과 여파기II의 측정결과를 시뮬레이션 결과와 비교한 것이다. 측정결과는 인접 병렬결합 선로간에 커플링과 Via효과를 무시한 ADS 등가회로 시뮬레이션과 차이가 있지만, Momentum 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 볼 수 있다. 5.8GHz의 중심 주파수와 200MHz의 대역폭을 가지고, 통과대역에서 2.326dB의 삽입손실,

13.679dB의 반사손실을 갖는다. 그리고, 4.7GHz에서 감쇄가 28.052dB이상으로 날카로운 스킨트 특성을 보인다.

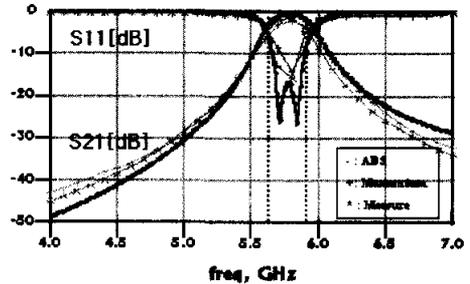


그림 11. 측정된 대역통과 여파기 I의 주파수 응답 특성

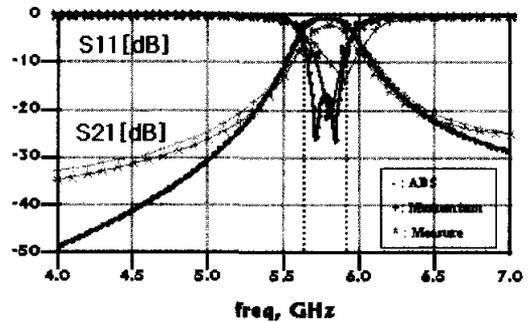


그림 12. 측정된 대역통과 여파기 II의 주파수 응답 특성

VI. 결론

본 논문에서는 5.8GHz대역에서 사용할 수 있는 병렬결합 구조의 대역통과 여파기를 LTCC기법을 이용하여 임베디드 형태로 제작하였다. LTCC를 이용한 다층구조의 여파기 특성을 확인하기 위하여 15.0mm x 3.4mm x 0.53mm크기의 일반적인 병렬결합 구조의 여파기를 제작한 후 WLAN과 같은 무선 통신시스템의 RF Front-End MMIC와 모듈화를 위하여 5.24mm x 4.3mm x 0.53mm의 초소형 여파기를 제작하였다. 초소형 여파기는 중심주파수 5.8GHz에서 200MHz의 대역폭을 가지며, 통과대역에서 13.679dB의 반사손실과 2.326dB의 삽입손실, 그리고 4.7GHz에서 28.052dB의 감쇄특성을 갖는다.

본 논문에서 설계 제작한 초소형 임베디드 LTCC 여파기는 MMIC와 모듈화를 통하여 시스템 통합에 활용될 수 있다. 본 설계기법은 5.8GHz 대역통과 여파기 뿐만 아니라 설계 구조 변화를 통하여 밀리미터파대의 대역통과 여파기의 설계도 적용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 과학 기술부와 KISTEP의 재정 지원으로 연구 되었습니다.

참 고 문 헌

[1] K. Hano, H. Kohriyama, K. I. Sawamoto, " A direct-coupled $\lambda/4$ coaxial resonator bandpass for Mobile communications," IEEE Trans, Microwave Theory Tech., vol. 34, pp. 972-179, 1986.

[2] M. Tentzeris, J. Laskar, A. Sutono," Development of Highly Integrated 3D Microwave-Millimeter Wave Radio Front-End System-on-Package(SOP)," GaAs IC Symposium, 2001. 23rd Annual Technical Digest , pp. 215 -218, Oct. 2001.

[3] A. Sutono, J. Laskar, and W. R. Smith," Development of three dimensional integrated bluetooth image reject filter," IEEE IMS Digest, vol. 1, pp. 339-342, June 2000.

[4] B. J. Minnis,"A Printed Circuit Stub Tuner for Microwave Integrated Circuits,"IEEE Trans. vol. 35,pp. 346-349, Mar 1987.

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

[6] S. B. Cohn,"Parallel-Coupled Transmission-Line Resonator Filters,"IEEE Trans. vol. 6, pp. 223-231, Apr 1958.

[7] C. Cho, and K. C. Gupta, " Design Methodology for Multilayer Coupled Line Filters, " IEEE MTT-S International Microwave Symposium, pp. 785-788, June 1997.

박 훈(Hun Park)

준회원



2002년 2월 : 고려대학교 정보 공학과 학사
2002년 3월~현재 : 고려대학교 전자정보공학과 석사과정

<주관심분야> 초고주파회로 설계 및 모델링, LTCC

김 근 환(Kuen-Hwan Kim)

준회원



2002년 2월 : 고려대학교 전자 및 정보 공학부 학사
2002년 3월~현재 : 고려대학교 전자정보공학과 석사과정

<주관심분야> 초고주파회로 설계, LTCC

윤 경 식(Kyung-Sik Yoon)

정회원



1971년 : 서울대학교 공과대학 전자공학과
1977년 : Univ. Louis Pasteur de Strasbourg D.E.A
1988년 : Univ. of Utah 전자공학 박사
1978년~1982년 : 한국해양연

구소 해양기기실 실장

1988년 9월~현재 : 고려대학교 전자 및 정보공학부 정교수

<주관심분야> 초고주파소자 모델링, 초고주파 회로 설계

이 영 철(Young-Chul Lee)

정회원



1995년 2월 : 영남대학교

전자공학과 학사

1997년 2월 : 영남대학교

전자공학과 석사

1997년 ~ 2000년 : 하이닉스

반도체(주)

2002년~현재 : 한국정보통신대

학교 박사과정

<주관심분야> 초고주파회로 설계, LTCC, SIP

박 철 순(Chul-Soon Park)

정회원



1980년 2월 : 서울대학교

금속공학과 학사

1982년 2월 : 한국과학기술원

재료공학 석사

1985년 2월 : 한국과학기술원

재료공학 박사

1985년 ~ 1999년 : 한국 전자

통신연구원 책임연구원

1987년 ~ 1989년 : 미국 AT&T Bell

Laboratories at Murray Hill (Visiting Scientist)

1999년 ~ 현재 : 한국정보통신대학교 부교수

<주관심분야> : 초고주파집적회로