

DGS 구조를 이용한 적층 LTCC 대역통과 필터의 설계 및 제작

Design and Fabrication of Multi-layer LTCC Bandpass Filter using DGS

송희석 · 박규호 · 조영균* · 김형석*

Hee-Seok Song · Kyu-Ho Park · Young-Kyun Cho* · Hyung-Seok Kim*

요 약

본 논문에서는 기존의 DGS를 LTCC 공정기술을 이용해서, 적층구조에 적용해 보았다. 크기 축소 및 품질계수를 높이기 위해서 나선형 DGS를 사용하였으며, 적층 구조에서 기존의 DGS와 같은 공진 특성을 나타내는 것을 확인하였다. 2개의 나선형 DGS를 결합하여, 새로운 형태의 2단 적층 대역통과 여파기를 구성하였으며, 공정상의 편의를 위해서 비아(Via-Hole)가 없도록 설계하였다. 5.25 GHz 대역 무선랜용 대역통과 여파기를 설계 제작하였으며, 제작한 여파기의 삽입손실은 1.5 dB 이내이며, 크기는 2.0 mm×1.2 mm×1.1 mm(L×W×H)로 저손실의 초소형 여파기 제작에 적합함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, DGS(Defected Ground Structure) is applied to multi-layer structure using LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics). Spiral DGS is adopted in order for size-reduction and higher quality factor, the multi-layer DGS has the same characteristics as the planar DGS. Multi-layer bandpass filter of new shape is configured using two multi-layer spiral DGS and is designed with no via-hole for the simple process. 5.25 GHz Wireless LAN bandpass filter is designed and fabricated, the insertion loss of the filter is measured less than 1.5 dB, and the size is 2.0 mm×1.2 mm×1.1 mm(L×W×H).

Key words : Bandpass Filter, LTCC, DGS, MCM

I. 서 론

최근 무선통신기기가 소형화되고 경량화됨에 따라 무선통신부품 또한 소형화되고 있는 추세이다. 시스템이 급속하게 소형화 되어감에 따라 PCB 기반의 부품 개발로는 시장의 요구를 수용하는데 한계가 발생했으며 이를 극복하기 위해 다양한 재료, 구조, 공정 기법 등을 이용한 연구가 계속되고 있다.

이번 연구에서는 초소형 부품의 구현을 위해 공정기법 측면에서 LTCC(Low temperature co-fired ceramics) 기술을 이용하고 구조적인 측면에서는 DGS

(Defected Ground Structure)를 적용하였다.

LTCC 기술은 기판 내부에 수동소자의 집적화가 가능하기 때문에 SOP(System on Package)에 가장 빠른 기술적 접근을 하고 있다. 따라서 LTCC 기술은 무선통신부품의 소형화에 유리하며 또한 공정비용이 낮아 생산단가를 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다. 이런 장점 때문에 여파기나 FEM 등에 적용되고 있다^[1].

DGS 구조는 전파지연효과와 전송선로의 유효 인덕턴스를 증가시키는 특성을 가지므로 단지 하나 또는 몇 개의 식각 패턴을 사용하면서도 특정주파수

「이 연구는 정보통신부에서 시행한 Electro-0580사업 연구비의 지원으로 연구되었음.」

전자부품연구원(Korea Electronics Technology Institute)

*중앙대학교 전자전기공학부(School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University)

· 논문 번호 : 20031115-09S

· 수정완료일자 : 2004년 1월 3일

대역에서 우수한 저지대역 특성을 갖기 때문에 상용 회로에서 요구되어지는 소형화에 유리하다^{[2],[3]}.

위의 두 가지 기법을 적용하여 5.25 GHz 대역 무선 LAN용 RF 모듈의 중요한 부품 중의 하나인 대역통과 여파기를 적층 LTCC 공정기술을 사용하여 초소형(2012)으로 설계하고 제작해 보았다. 대역통과 여파기의 구조는 DGS를 사용하였고 작은 면적에서 큰 유효 인덕턴스를 구현하기 위해 나선형 DGS를 사용하였다.

대역통과 여파기 설계에는 상용 시뮬레이션 툴 Agilent사의 ADS(Advanced Design System)2002와 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용하였으며, 제작된 여파기의 측정에는 Agilent사의 8510C Vector Network Analyzer를 사용하였다.

제작된 적층 대역통과 여파기는 2.0 mm×1.2 mm×1.1 mm(L×W×H) 크기이며, 설계치와 측정치가 거의 일치하고 있으며, 저손실의 넓은 상향저지대역을 갖고 있음이 확인되었다.

II. 본 론

2.1 단위 구조 특성

본 연구에서는 기존의 DGS를 적층구조에 적용하여 초소형 대역통과 여파기를 제작하는데 있다. 기존의 DGS와 관련된 연구결과로부터, 일반적인 아령모양의 DGS를 사용하는 것보다 나선형 구조의 DGS를 사용하는 것이 더 큰 유효 인덕턴스를 구현할 수 있기 때문에 부품의 소형화에 더욱 효과적이라고 볼 수 있다. 그림 1은 본 연구에서 여파기 제작에 사용한 나선형 DGS의 단위구조를 보여주고 있다. 그림 1(a)의 기존의 마이크로스트립 기판상에서 구현된 DGS를 그림 1(b)와 같은 모양의 적층 구조로 변환하였다. 스트립 구조내에 DGS 및 신호선로가 위치하고 있으며, DGS는 양쪽 측면의 접지면에 연결되어 있다.

그림 2는 EM 시뮬레이션을 통해 얻은 적층으로 구현된 단위 DGS의 특성을 보여주고 있다. 기존의 마이크로 스트립상에 구현된 DGS와 마찬가지로 특정 주파수 대역에서 저지 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 그림 2는 나선형 선로의 길이 변화에 따른 특성 변화도 함께 보여 주고 있으며, 나선형 선로

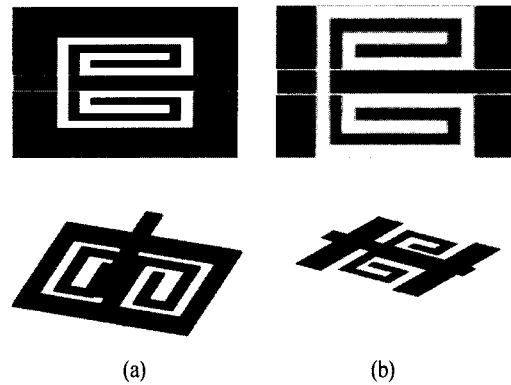


그림 1. 여파기 설계에 사용한 나선형 DGS
(a) 기존의 마이크로스트립 기판상의 DGS
(b) 적층 구조로 변환된 DGS
Fig. 1. Spiral DGS used in the design of BPF.
(a) DGS on microstrip substrate
(b) DGS transform to multi-layer structure

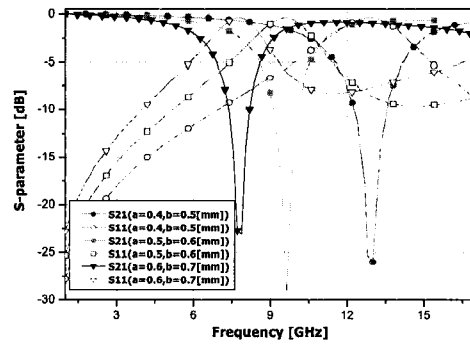


그림 2. 나선형 선로 길이 변화에 따른 공진 특성
Fig. 2. Resonance characteristics of spiral DGS according to the length of the spiral line.

의 길이가 커짐에 따라 공진 주파수가 점점 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이는 나선형 선로의 길이가 길어질수록 유효인덕턴스가 커지기 때문이다.

그림 3은 제안된 단위 DGS를 스트립 선로를 이용하여 간략하게 나타낸 등가회로이다. 공간적으로 신호 선로와 DGS패턴은 Broad-Side Coupling 형태로 결합되어 있으며, DGS쪽 선로의 한쪽은 접지로 연결되고, 다른 한쪽은 2개의 나선형 선로로 연결된 모양을 보여주고 있다.

그림 4는 스트립 선로를 이용하여 나타낸 DGS의 등가회로를, ADS2002의 Schematic Simulator를 이용하여 얻은 결과를 EM 시뮬레이터를 이용한 시뮬레

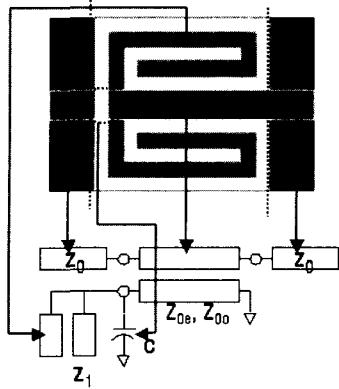


그림 3. 적층 단위 DGS의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit of multi-layer DGS.

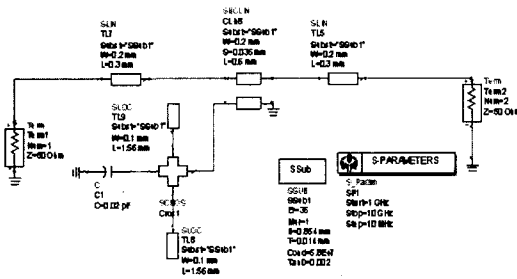


표 1. 대역통과여파기 설계 사양
Table 1. Design Specification.

항목	설계 사양
대역	5150 ~ 5350
삽입손실	1.5 dB max.
감쇄특성	30 dB @ 2f0 20 dB @ 3f0
통과대역내 대역평탄도	0.5 dB max.
통과대역내 VSWR	2.0 max.
특성임피던스	50 Ω

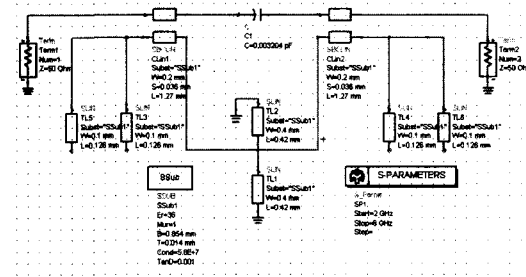


그림 5. 대역통과 여파기 등가회로
Fig. 5. Equivalent circuit of bandpass filter.

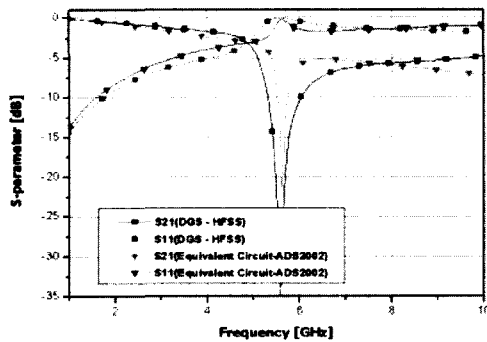


그림 4. 적층 DGS의 등가회로를 이용한 공진특성
Fig. 4. Resonance characteristics of the equivalent circuit of DGS.

이전 결과와 비교한 데이터이다. 두 결과가 거의 일치하고 있음을 알 수 있으며, 2단 대역통과 여파기의 설계에 이 등가회로를 이용해서 초기 설계가 가능함을 보여주고 있다.

2-2 대역통과 여파기의 설계

본 연구에서 제작하려고 하는 5.25 GHz 무선 LAN

용 대역통과 여파기의 설계 사양을 표 1에 나타내었다. 제시된 사양의 대역통과 여파기를 설계하기 위하여 그림 5와 같이 단위 DGS의 등가회로 2개를 조합하여 여파기의 Schematic 회로를 구성한 후 초기 설계를 실시하였으며, 이 결과를 적층 구조로 변형한 후 구조 시뮬레이션을 통해 최종 여파기 설계치를 구하였다. 그림 5에서 공진기판 커플링은 공진기 사이의 접지면 선로의 두께를 변화시키면서 조절하였으며, 입·출력 결합은 Broad-Side 결합 용량을 변화시키면서 조절하였다. 통과대역을 제외한 특정 주파수에서 저지 특성을 향상시키기 위해서 입출력 포트간에 전계 결합을 형성시켰으며, 이것은 별도의 커플링 패턴을 통해 조절하였다.

그림 6은 Schematic 회로 시뮬레이션 및 3차원 구조 시뮬레이션을 통해 얻은 최종 설계 결과를 보여주고 있다.

2-3 적층 LTCC 대역통과 여파기 제작^[6]

그림 7에 LTCC 공정기술을 이용한 대역통과 여

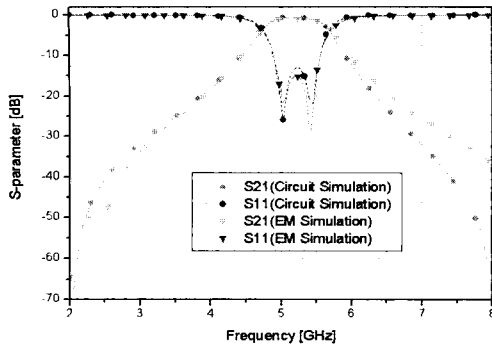


그림 6. 대역통과 여파기 설계 결과
Fig. 6. Simulated results of bandpass filter.

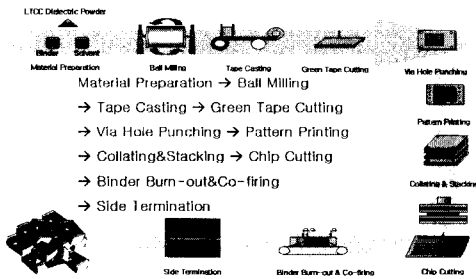


그림 7. 대역통과 여파기 제작 과정
Fig. 7. Fabrication process of bandpass filter.

파기 제작 과정을 나타내었다.

적층 대역통과 여파기의 제작에 사용한 저온 동시소성용 유전체 재료는 RN2사의 RNE40으로 875 °C에서 소성시 비 유전율은 36, $Q \cdot f$ 는 10000이다. 내부전극의 경우 은(Ag) 함량이 80 % 이상이 되는 것으로 사용하였다. RNE40을 일정 두께의 그린시트(Green sheet)로 캐스팅하여 적층공정에 사용하였다. 그림 8은 패턴이 형성된 레이어(Layer)별 적층 개요도 및 단면도를 보여주고 있다. 소성 후 전극의 두께

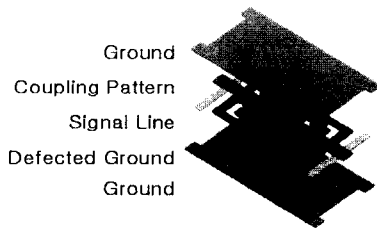


그림 8. 적층 개요도
Fig. 8. 3-D Layout of bandpass filter.

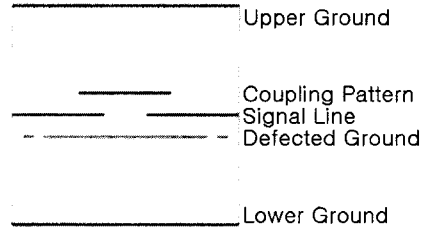


그림 9. 적층 단면도
Fig. 9. Cross-sectional view of bandpass filter.

는 14 μm 정도이며, 레이어간 최소 두께는 36 μm 이다. 그림 9는 적층 대역통과 여파기의 단면을 보여주고 있으며, 이와 같은 적층 개요도 및 단면도에 준하여 최종 대역통과 여파기를 제작하였다.

2.4 측정 결과 및 고찰

그림 10은 제작된 대역통과 여파기의 실물사진으로 소자의 크기는 2.0 mm×1.2 mm×1.1 mm(L×W×H)이다. 그림 11은 제작된 여파기의 통과 대역 특성을 나타내고 있으며, 그림 12는 20 GHz까지의 스푸리어스 특성을 보여주고 있다. 제작된 여파기를 자체 제작한 테스트 지그에 연결하여 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 1회 공정에 1008개의 대역통과 여파기를 얻을 수 있으며, 그 측정 결과를 표 2에 정리하였다.

그림 12는 대역통과 여파기의 설계치와 측정치를 비교한 데이터이며, 거의 일치하고 있다. 완벽한 공정은 거의 기대할 수 없기 때문에 설계치와 측정치는 항상 오차를 가지게 되며, 유전율, 수축율, Align, Cutting과 같은 미리 예상할 수 있는 요인의 경우 어느 정도 마진(margin)을 두고 설계를 하는 것이 중요한 설계 포인트라고 할 수 있다.

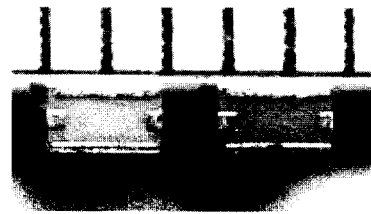
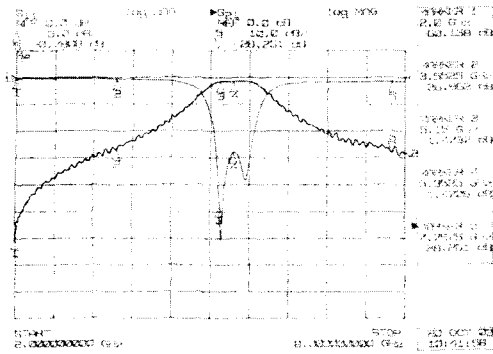
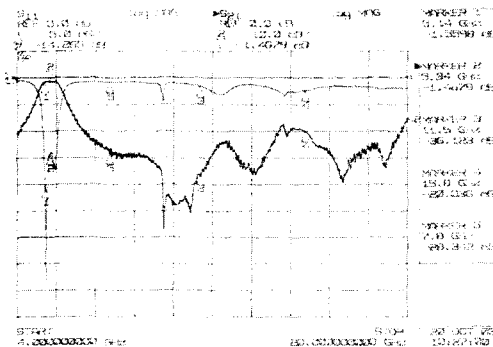


그림 10. 제작한 대역통과여파기
Fig. 10. Fabricated bandpass filter.



(a)



(b)

그림 11. 대역통과여파기 측정결과
(a) 통과대역 특성
(b) 스퓨리어스 특성

Fig. 11. Measured data of bandpass filter.
(a) Passband characteristics
(b) Spurious characteristics

표 2. 제작한 대역통과 여파기 측정결과
Table 2. Measured data of bandpass filter.

항 목	측정 결과
대역	5150 ~ 5350
삽입손실	1.5 dB max.
감쇄특성	30 dB @ 2f ₀ 20 dB @ 3f ₀
통과대역내 대역평탄도	0.1 dB max.
통과대역내 VSWR	1.5 max.
특성임피던스	50 Ω

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 기존의 DGS를 LTCC 공정기술을

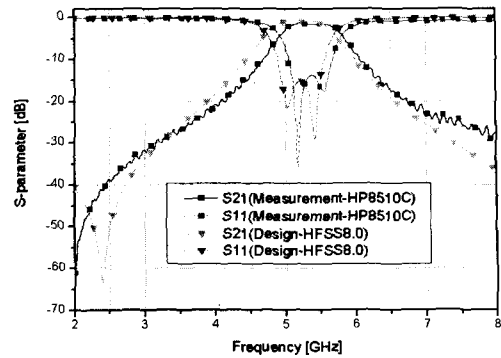


그림 12. 설계 결과와 제작결과와의 비교
Fig. 12. Comparison of simulated and measured results.

이용하여 적층회로에 적용해 보았으며, 적층구조에서도 기존의 DGS가 갖는 특성을 그대로 가지고 있음을 확인하였다. 제작한 2단 대역통과 여파기의 경우 저손실의 넓은 상향 대역을 가지고 있으며, 초소형의 사이즈(2012)로 구현되었으며, 향후 5.25 GHz 대역 무선 LAN용 RF 모듈에 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] Navian Market report, *Advanced LTCC Technology 2003*, pp. 27-33, 2003.
- [2] F. R. Yang, Y. Qian and T. Itoh, "A Novel Uniplanar Compact PBG Structure for Filter and Mixer Applications", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 912-922, Jun. 1999.
- [3] J. S. Park, J. S. Yun and D. Ahn, "A Design of the Novel Coupled-Line Bandpass Fitter using Defected Ground Structure with Wide Stopband Performance", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, no. 9, Sep. 2002.
- [4] Albert Sutono, Joy Laskar and W. R. Smith, "Design of Miniature Multilayer On-Package Integrated Image-Rejection Filters", *IEEE Transactions on MTT*, vol. 51, no. 1, pp. 156, 2003.
- [5] 이영신, 송희석, 박종철, "2.4 GHz 대역 2012 사이즈 적층 LTCC 대역통과 필터의 설계 및 제작", *Journal of the Microelectronics & Packaging Society*, 10(1), pp. 19-24, 2003년.

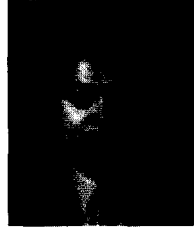
송희석



1997년 2월: 서강대학교 전자공학
(공학사)
1998년 7월~2000년 8월: 서강대
교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1997년 1월~1998년 7월: 현대전자
사원
2000년 7월~현재: 전자부품연구원

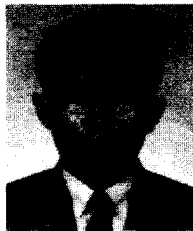
무선통신 연구센터 선임연구원
[주 관심분야] 적층 부품 및 모듈 설계

조영균



2002년 2월: 중앙대학교 전자전기
공학부 (공학사)
2002년 3월~현재: 중앙대학교 대
학원 전자전기공학부
[주 관심분야] 마이크로파 여파기
설계

박규호



1988년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학사)
1995년 7월~1997년 8월: 서강대
교 대학원 전자공학과 (공학석
사)
2001년 2월~현재: 서강대학교 대
학원 전자공학과 박사수로

1987년 12월~1994년 7월: 금성통신(현 LG 전자) 연구소
대리
1994년 8월~1995년 7월: (주)홍창연구소 선임연구원
1996년 2월~1996년 12월: KMW(주)연구소 선임연구원
1997년 7월~현재: 전자부품연구원 무선통신 연구센터 수
석 연구원
[주 관심분야] 고출력 증폭기(LPA, HPA), PBG, DGS를
이용한 RF 부품연구, 이동통신용 세라믹 필터

김형석



1985년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학사)
1987년: 서울대학교 전기공학과 (공
학석사)
1990년: 서울대학교 전기공학과 (공
학박사)
1990년~2002년: 순천향대학교 정보

기술공학부 교수
1997년~1998년: R. P. I. 미국 방문교수
2002년~현재: 중앙대학교 전자전기공학부 부교수
[주 관심분야] RF 및 무선통신, 전자파 해석