

DGS 구조를 이용한 적층 LTCC 대역통과 필터의 설계 및 제작

조영균^o, 김형석, 송희석^{*}, 박규호^{*}
중앙대학교 전자전기공학부, *전자부품연구원 무선통신연구센터
chorider@seoul.com

Design and fabrication of multilayer LTCC BPF using DGS structure

Y.K. Cho, H.S. Kim, H.S. Song^{*}, K.H. Park^{*}
Chung-Ang University, *Korea Electronics Technology Institute

Abstract

In this paper, 5.2 GHz WLAN BPF(Band Pass Filter) using LTCC(Low temperature co-firing ceramic) Multilayer technology was simulated and manufactured. A DGS(Defected Ground structure) resonator with spiral ground pattern is used to shorten resonator size and improve circuit Q factor. And the equivalent circuit of BPF was suggested. The measured result shows good agreement with simulated data. Experimental results show the center frequency of 5.25GHz, the insertion loss of 0.14dB, and the 3-dB bandwidth of 350MHz (6%). The center frequency of BPF is 5.25GHz which is available for wireless LAN.

Key words : Band pass Filter, LTCC, Multilayer process, DGS, Attenuation pole

1. 서론

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

이번 연구에서는 초소형 부품의 구현을 위해 공정 기법 측면에서 LTCC(Low temperature co-fired ceramic) 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. 그러므로 LTCC 기술은 무선통신부품의 소형화에 유리하며 또한 공정 비용이 낮아 생산단가를 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다. 이런 장점으로 인해 여파기나 RF Front End Module 등에서 적용되어지고 있다.^[1]

DGS 구조는 전파지연효과와 전송선로의 유효 인덕턴스를 증가시키는 특성을 가지므로 단지 하나 또는 몇 개의 식각 패턴을 사용하면서도 특정주파수 대역에서 우수한 저지대역 특성을 갖기 때문에 상용 회로에서 요구되어지는 소형화에 유리하다.^{[2][3]}

위의 두 가지 기법을 적용하여 5.2GHz 대역 무선 LAN용 RF 모듈의 중요한 부품 중의 하나인 대역 통과 여파기를 적층 LTCC 기술을 사용하여 초소

형(2012)으로 설계하고 제작한 후 그 결과를 측정하였다. 대역통과여파기의 구조는 DGS를 사용하였고 작은 면적에서 큰 유효 인덕턴스를 구현하기 위해 나선형으로 접지면을 식각하였다.

제작된 적층 대역통과 여파기는 $2.0 \times 1.2 \times 0.87$ mm 크기로 설계시의 특성과 측정 결과가 유사한 것을 확인하였고 넓은 상향 저지대역 신호 감쇄 특성을 나타내었다.

2. 본 론

2.1 단위 구조 특성

본 연구에서는 DGS 구조를 적용하여 초소형 대역통과 여파기를 구현하였다. DGS는 간단한 구조를 가지며 작은 면적에서 큰 유효 인덕턴스를 가지게 된다. 일반적인 아령 모양의 접지면 식각 패턴을 사용하는 것보다 나선형 구조의 접지면 식각 패턴을 사용하면 더 큰 유효 인덕턴스를 구현할 수 있으므로 부품의 소형화에 더욱 효과적이다.

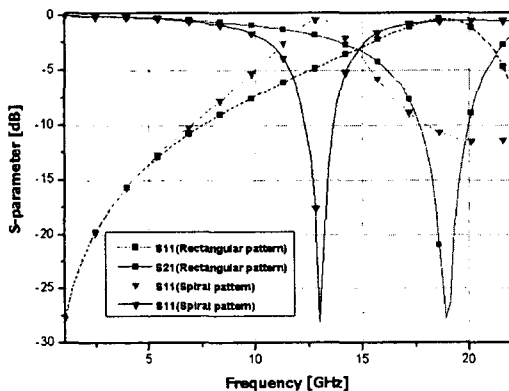
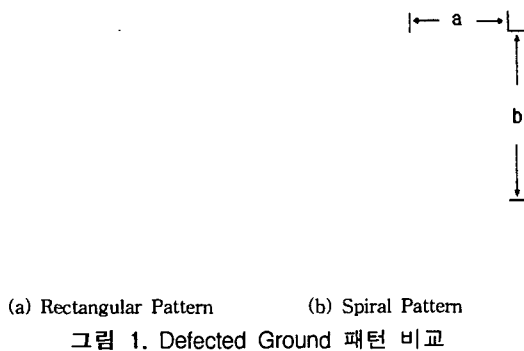


그림 1은 일반적인 아령 모양의 접지면 식각 패턴과 나선형 구조의 접지면 식각 패턴을 보여준다.

그림 2는 그림 1에서 나타낸 두 가지 식각 패턴을 해석한 결과이다. 두 가지의 식각 패턴이 차지하는 면적을 동일하게 했을 때 나선형 식각 패턴의 공진 주파수가 낮음을 알 수 있다. 이는 나선형 식각 패턴이 더 큰 유효 인덕턴스를 나타내기 때문이다.

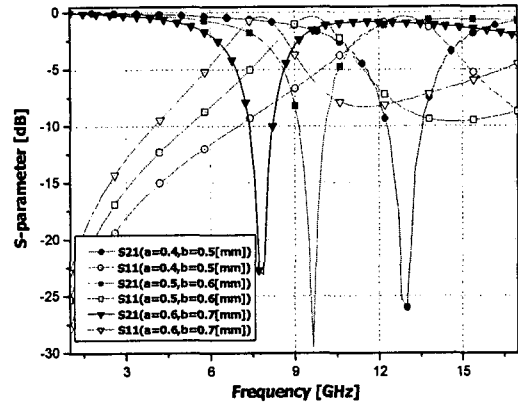


그림 3. 나선형 접지면의 길이를 변화시킬 때의 공진 특성

그림 3은 나선형 구조의 접지면 식각 패턴의 변화에 따른 단위 구조 특성을 나타내는 그래프이다. 나선형 식각 패턴의 길이가 길어질 때 공진 주파수가 낮아짐을 볼 수 있다. 이는 나선형 식각 패턴의 길이가 길어질수록 유효 인덕턴스가 커지는 현상에 기인한다.

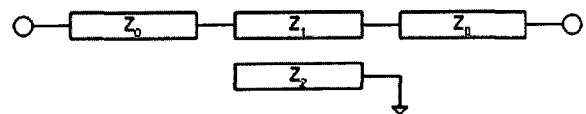


그림 4. 단위 DGS 공진기의 등가회로

그림 4는 제안된 개별 공진기의 등가회로이다. 이 논문에서는 DGS 구조의 등가회로를 Broadband side 커플링 구조로 해석하였다.

그림 5는 제안된 나선형 단위 구조를 HFSS 8.0을 이용하여 EM 시뮬레이션 것과 추출한 등가회로를 ADS2002를 이용하여 Circuit 시뮬레이션 한 결과를 비교한 것이다. 그림으로부터 추출한 등가회로가 제안된 구조에 적합함을 확인할 수 있다.

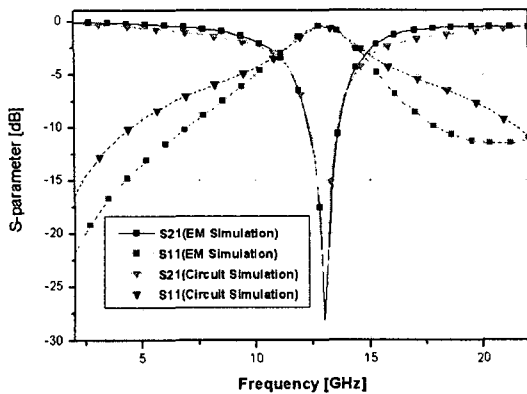


그림 5. 단위 공진기와 그 등가회로의 공진 특성

2.2 대역통과 여파기의 설계

표 1은 5GHz 대역 WLAN용 모듈에 사용되는 대역통과 필터의 설계사양이다.

표 1. Design specifications of WLAN BPF

| Items | Specifications |
|---------------------|--|
| Bandwidth(BW) | 5150 ~ 5350 MHz |
| Insertion Loss | 1.5 dB max. (at 25°C) |
| Attenuation | 30dB min at 2 f ₀ 20dB min at 3 f ₀ |
| Ripple in BW | 0.5 dB max. |
| VSWR in BW | 2.0 max. |
| Characteristic Imp. | 50 Ω |

그림 6은 개별 소자로 구성된 2단 대역통과 필터의 등가회로이다. 그림에서와 같이 필터는 두개의 공진기 및 공진기간 전자기 커플링 회로로 구성되어 있다. 이 때 공진기간 커플링을 이용하여 특정 주파수에서 감쇄극을 형성시켜 설계 사양의 신호감쇄 특성을 맞추게 된다. 대역통과 필터의 중심주파수는 5.25GHz, 설계 대역폭은 200MHz로 하였다.^[4]

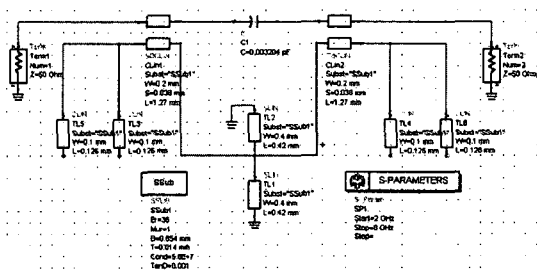


그림 6. BPF의 등가회로 모델링

적층 필터를 설계하기 위해 본 연구에서는 개별 소자로 구성된 공진기를 DGS 구조의 나선형 접지형

구조의 분포 소자로 구현하였으며, 또한 공진기 간 커플링을 유도하기 위해 커플링 패턴을 적층 구조로 배치하여 필터를 구성하였다.

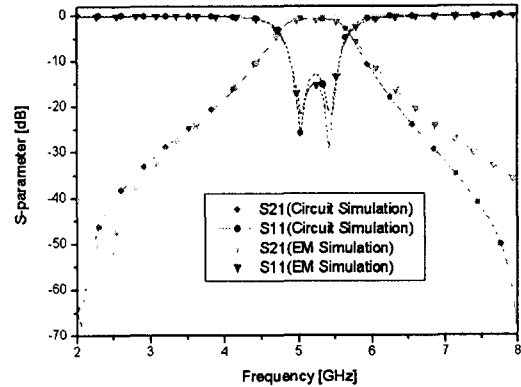


그림 7. 제안된 BPF와 그 등가회로의 공진특성

그림 7은 개별소자로 구성된 회로와 DGS 구조의 여파기의 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 두 결과가 일치함을 볼 수 있다.

2.2 적층 LTCC 대역통과 필터의 제작^[5]

그림 8은 LTCC 공정의 일반적인 진행과정을 보여준다.

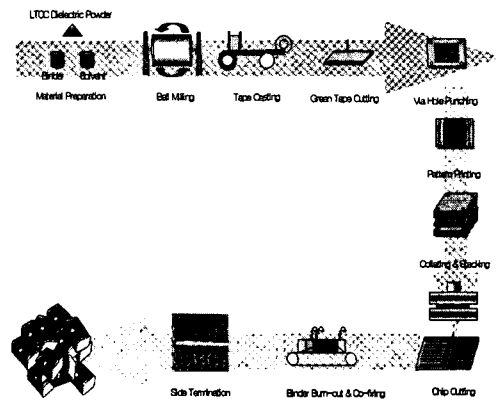


그림 8. LTCC 공정 개요

적층 대역통과 필터의 제작에 사용한 저온 동시소성용 유전체 재료는 RN2社의 RNE40으로 875°C에서 소성시 비유전율은 36, Q*f는 1000이다. RNE40을 그린 쉬트 두께 36μm으로 캐스팅하여 적층공정에 적용하였다. 그림 9는, 패턴이 형성된 레이어(Layer)별 적층 개요도 및 단면도를 보여주고 있다. 필터는 DGS 구조를 적용한 공진기로 만들어졌으며, 커플링 패턴이 신호선 위의 레이어에 형성

되어 두 공진기 간의 커플링을 유도한다. 전극의 두께는 회로 패턴이 약 $14\mu\text{m}$ 이고 외부 접지면은 $9\mu\text{m}$ 정도이다.

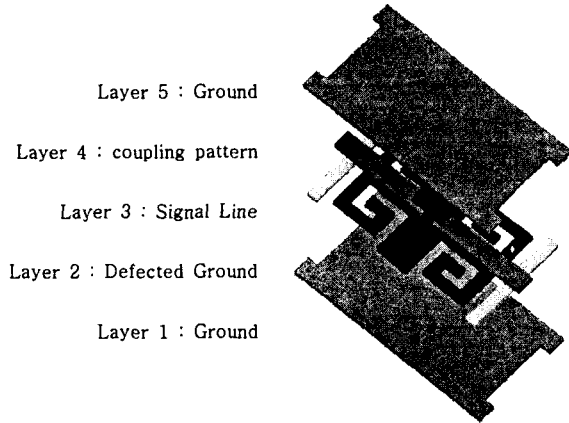


그림 9. 3D 계층도

그림 10은 적층 필터의 단면을 나타내고 있으며 개별소자로 설계한 등가회로는 그림 9에서처럼 3차원 구조로 구현되었다.

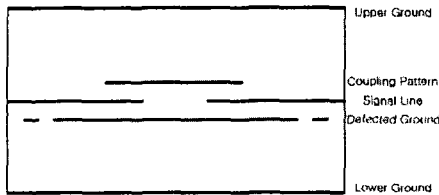


그림 10. BPF의 단면도

내부 전극의 경우 은 함량이 80% 이상이 되는 것으로 사용하였다. 적층 부품의 제작에 있어서 내부 전극의 두께는 전극 밀도에 영향을 받게 되는데 본 실험에서는 상대적으로 선폭이 좁은 공진기는 약 $15\mu\text{m}$ 정도였으며 선폭이 넓은 외부 접지면의 경우 $10\mu\text{m}$ 내외의 전극 두께로 구현되었다.

2.3 측정 결과 및 고찰

그림 11은 제작된 대역통과 필터의 실물 사진으로 소자의 크기는 $2.0 \times 1.2 \times 0.87$ (W×L×T) mm 이다.

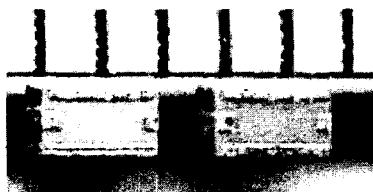


그림 11. 제작된 적층 LTCC BPF

그림 12는 제작된 필터의 통과대역 특성을 나타내고 있으며 그림 13은 20GHz까지의 상향 저지대역 주파수 응답특성을 보여주고 있다. FR4 기판에 50Ω 임출력 선로를 구현시켜 필터를 실장한 후 측정하였으며 계측기는 HP8510C를 사용하였다. 그리고 표2에 측정 결과를 정리하였다.

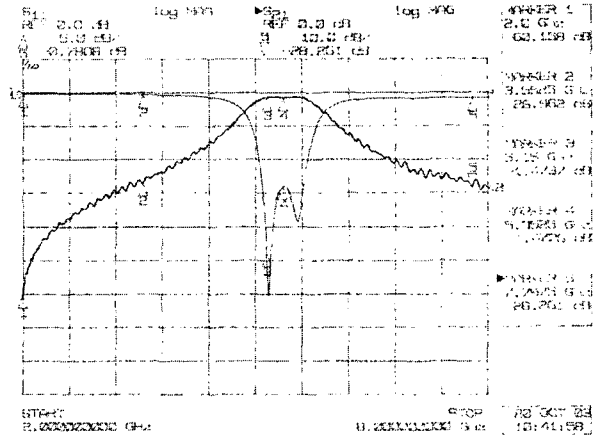


그림 12. BPF의 통과대역 특성

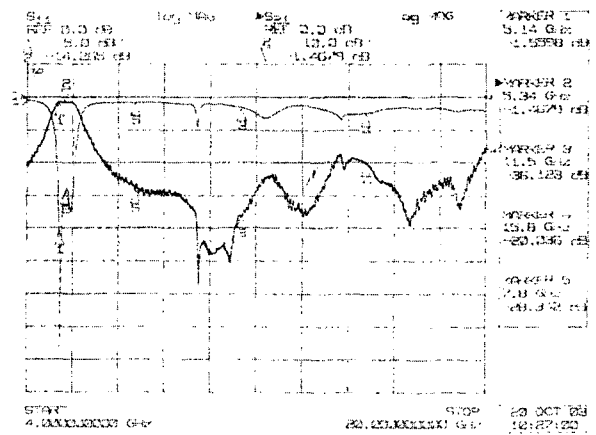


그림 13. BPF의 스푸리어스 특성

측정 결과에서 보는 바와 같이 통과대역은 VSWR 1.5 기준으로 약 350MHz(6%) 정도였으며 통과대역 삽입손실은 1.37~1.47dB 내외였다. 측정지그와 기판에서의 손실을 고려한다면 실제 필터 자체의 손실은 더 작다고 볼 수 있다. 또한 $\lambda/4$ 공진기에서 발생하는 $3f_0$ 지점의 스푸리어스 성분이 억제되면서 상향 대역 저지 특성이 매우 우수하게 나타났다.

표 2. Measuring results summary

| Items | Measuring data |
|----------------|--|
| Bandwidth(BW) | 5150 ~ 5350 MHz |
| Insertion Loss | 1.5 dB max. (at 25°C) |
| Attenuation | 30dB min at 2 f ₀ 20dB min at 3 f ₀ |
| Ripple in BW | 0.1 dB max. |
| VSWR in BW | 1.5 max. |

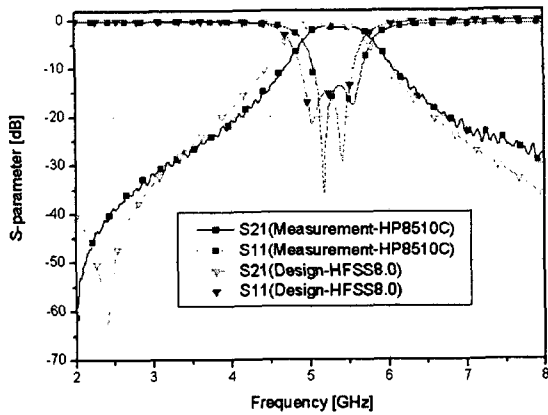


그림 14. 설계 결과와 제작 결과와의 비교

그림 14는 설계 결과와 측정 결과를 비교한 것이다. 여기서 측정 결과 설계치보다 주파수 특성이 올라간 것을 볼 수 있는데 이는 공정 과정에서 유전율이 약간 낮아져서 생긴 결과이다. 그 이외의 특성은 설계 결과와 잘 부합하는 것을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 LTCC 기술을 응용한 초소형 적층 대역통과 필터를 제안하였다. 설계된 필터는 DGS 구조에 나선형 접지면을 이용한 구조를 가지고 있으며 커플링 패턴을 삽입하여 제품의 크기를 줄임과 동시에 회로의 품질계수도 향상시켜 전체적인 필터의 주파수 응답특성을 향상시켰다.

제작된 필터는 삽입손실 및 입출력 정합도가 우수한 통과대역 특성을 나타내었을 뿐 아니라 상향 저지 대역의 신호 억제 특성도 우수한 결과를 나타내었다. 제품의 크기는 제품화에 적용 가능한 2.0×1.2×0.87(mm)로 5.2GHz 대역을 이용하는 WLAN을 포함한 다양한 응용모듈에 적용할 수 있다.

참고문헌

- [1] Navian Market report, "advanced LTCC Technology 2003", p.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, June 1999.
- [3] J. S Park, J. S Yun, and D Ahn, "A Design of the Novel Coupled-Line Bandpass Filter Using Defected Ground Structure With Wide Stopband Performance", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, NO.9, September 2002.
- [4] Albert Sutono, Joy Laskar, W.R. Smith, "Design of Miniature Multilayer On-Package Integrated Image-Rejection Filters", *IEEE Transactions on MTT*, Vol. 51, NO.1, p.156, 2003
- [5] 이영신, 송희석, 박종철, "2.4GHz 대역 2012 사이즈 적층 LTCC 대역통과 필터의 설계 및 제작", *Journal of the Microelectronics & Packaging Society*, Vol. 10, No, 1, p.19~24, 2003