

통과대역 반사손실과 저지대역 감쇠특성 개선을 위한 DGS 셀의 설계

정회원 조영빈*, 전계석*

Design of the DGS cell for the improvement of the characteristics of a return loss at passband and an attenuation at stopband

Young-Bin Cho*, Kye-Suk Jun* Regular Members

요 약

본 논문에서는 2가지 DGS 공진기를 제안하고 이를 이용한 저역통과 필터를 설계한다. 제안된 구조는 전송선로부분에 스텐드가 존재하고 그 아래의 접지면에 구형 슬롯과 II자형 슬롯을 갖는 DGS셀 형태로써, 통과대역에서의 반사손실을 자유자재로 변화시킬 수 있으며, 저지대역에서의 감쇠극의 조정이 용이한 특징을 갖는다. 단일 스텐드 II자형 DGS셀의 단점인 차단주파수에서의 스킨트 특성을 개선하기 위하여 구형 슬롯을 양옆에 직렬 연결함으로써 매우 급격한 차단 특성을 얻을 수 있었다. 따라서 이 구조를 사용한 저역통과 필터는 기존 필터에 비해 초소형화가 가능하며, 부품 실장에서 유리하고, WLL 및 2.4GHz ISM 대역의 하모닉 성분 및 불요파 제거 등 다양한 응용을 기대할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, We has proposed two DGS(Defected Ground Structure) resonators and designed the low-pass filter using the proposed DGS types. This structure consists of two rectangular slots, a 'II type' slot on the ground plane, and the stub at the transmission line. It has strong advantages that can vary the return loss at the passband freely and also can easily tune the attenuation pole frequency at the stopband. For enhancing the poor skirt property at the cutoff frequency of the Single Stub 'II Type' DGS cell, we have obtained the steep slope attenuation characteristic by combining the rectangular slot on both sides of the DGS.

This type of the LPF with the proposed structure can be made more smaller than the existing filters and be used to find the various applications for eliminating the hamonics and spurious mode at WLL and the 2.4 GHz ISM band systems.

I. 서 론

DGS(Defected ground structure)는 접지면의 도체부분에 슬롯에 배치된 구조로서 알려져 있고 PBG(Photonic bandgap) 구조와 동일하게 원하는 주파수에 저지 특성을 갖는 구조로서

많은 연구가 이루어지고 있다. PBG에 관한 연구는 반도체 및 광학 분야의 연구^{[1][2]}가 마이크로로파 분야에서 응용되어진 것^[3]으로 회로의 소형화와 특성 개선에 대한 방향으로 연구가 진행되고 있다.

DGS 셀은 여러 가지 형태를 갖는데, 직사각

* 경희대학교 전자공학과 마이크로파 연구실(ybcho@khu.ac.kr)

논문번호 : 030024-0115, 접수일자 : 2003년 1월 15일

형 형태^{[4]-[6]}, 정사각형 형태^{[7][8]}, 원형^[9], 아령형^{[10]-[12]}, 그리고 합성된 구조^{[13]-[16]} 등이 연구되고 있다.

또한 이러한 DGS 셀의 공진 특성을 이용하여 여러 가지 필터를 설계하는 연구도 진행되고 있다.^{[5][6][11][17][18]}

논문 [19]에서는 I자형 DGS 셀과 스테르브가 추가된 I자형 DGS 셀을 제안하였으며, 각각의 길이 변화를 통하여 저지대역에 3개의 감쇠극을 발생시켜 넓은 대역 차단 특성을 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 비선형 소자에 의해 발생하는 하모닉 성분의 원활한 제거를 위하여 개선된 DGS 셀 구조를 제안하고 원하는 주파수 대역의 저지가 가능하도록 하였다.

II. 기존의 DGS 셀의 구현

일반적인 마이크로파 회로의 성능 향상과 소형화를 위해서 이용되는 DGS 형태 중에서 최근에 활발하게 연구된 구조는 그림 1과 같이 기판의 접지면에 상하대칭인 정사각형 개구면이 식각되고 윗면은 50Ω 마이크로스트립 선로가 놓여있는 형태이다.^[10] 이러한 정사각형 DGS는 식각된 개구면을 통과하는 특정한 주파수에서의 누설 에너지에 의한 대역저지 주파수 특성을 가지며, 이는 RLC 병렬 공진회로로 등가화 될 수 있다.

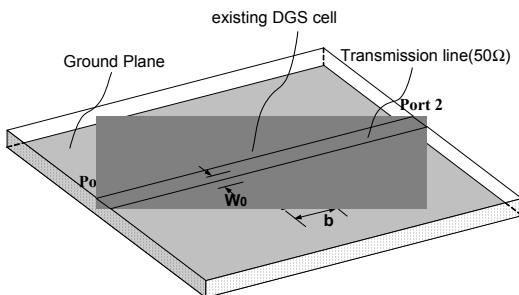


그림 1. 상하대칭인 정사각형 DGS 형태

그림 1의 DGS는 식각된 정사각형 개구면의 넓이($a \times b$)를 변화시켜 대역저지 특성과 중심주파수를 조정하며 대역저지 중심주파수 f_0 는 RLC 병렬 공진회로의 공진 주파수로서 다음의 식(1)와 같이 표현된다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

이러한 대역저지 특성 즉, 감쇠극을 이용하여 저역통과 필터 혹은 대역통과 필터의 성능을 향상시킬 수 있게 된다. 그림 1의 DGS 셀의 단점은 논문 [19]의 그림 5에서 알 수 있듯이 슬롯의 가로와 세로 크기를 동일하게 변화시키기 때문에 크기가 미세하게 변해도 공진주파수의 주파수 이동이 매우 큰 폭으로 변화되어 공진주파수의 미세 조정이 어렵고 다양한 특성을 얻기에 한계가 있었다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 논문 [19]에서는 주파수 조정이 용이한 새로운 "I"자형 DGS 셀 구조를 제안하였고 전송선로에 스테르브를 추가하여 차단대역에서의 감쇠극이 2개 혹은 3개 이상이 생길 수 있는 구조를 설계하였다.

III. 제안된 구조

먼저 그림 2에서 보는 바와 같이 II자형 슬롯 DGS 셀을 고안하고 특성 변화를 살펴본다. 이 형태의 특성은 슬롯의 상단과 하단의 직사각형 슬롯의 크기($l_1 - l_{SLIT}$)와 전체 길이(l_1)에 의해 공진 주파수가 결정되게 된다. 또한 중앙의 연결 슬롯 두 개의 간격에 따라 원하는 반사손실을 조절할 수 있는 특징을 갖는다.

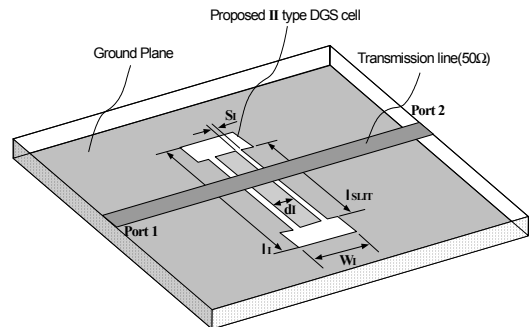


그림 2. II자형 DGS 셀 형태

전체적인 II자형 슬롯구조의 주파수 특성을 분석하기 위해서 슬롯의 전체 폭 W_1 와 길이 l_1 를 각각 6 mm, 13.5 mm, 슬롯의 중앙부분의 슬롯의 폭 S_1 를 0.5 mm 로 고정하였고, 이 구조의 특성을 검증하기 위하여 중앙의 연결 슬릿간의

간격 d_1 를 변화시켰을 때 공진주파수의 변화를 살펴보았다.(그림 3 참조)

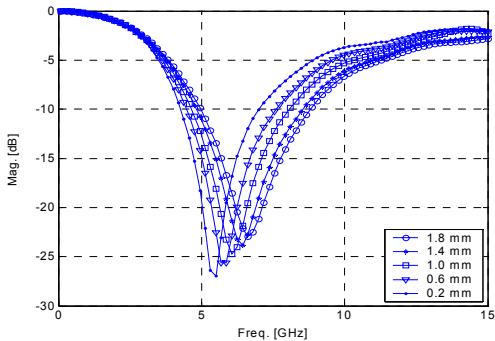


그림 3. 슬릿간의 간격 d_1 을 변화시켰을 때의 |S21| 공진특성

그림 3은 슬릿간의 간격 d_1 를 1.8mm에서 0.4 mm 간격으로 좁혔을 때의 주파수 특성을 보여주는 그래프이다. d_1 가 점차적으로 증가시켰을 때 등가회로의 인덕턴스 성분이 일정하게 증가되는 반면, 커패시턴스 성분이 감소하게 됨으로써 공진주파수가 증가되는 동시에 대역폭도 증가하는 특성을 보인다.

또한 II자형 슬롯의 전체 길이 l_1 를 고정하고 상단과 하단의 직사각형 슬롯간의 간격 l_{SLIT} 을 변화시켜서 그 특성 변화를 살펴보고 이를 그림 4에 나타내었다.

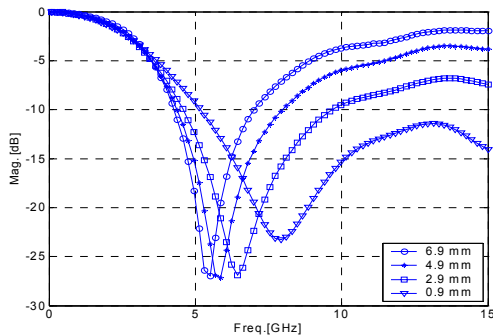


그림 4. 상하단 슬롯간의 간격 l_{SLIT} 을 변화시켰을 때의 |S21| 공진특성

그림 4는 상하단 슬롯간의 간격 l_{SLIT} 을 넓힘으로써 공진주파수를 낮출 수 있는 특성을 보여준다. 즉, 일반적으로 전체 길이 l_1 가 커져야 낮은 주파수에서 공진이 이뤄질 수 있는데, 그렇게 되면 전체 회로가 커지는 단점이 있다. l_{SL}

의 길이가 커지면 커패시턴스가 작아지면서 로그스케일로 공진주파수가 낮아짐과 동시에 Q 값이 높아짐을 알 수 있다. 따라서 슬롯의 전체 길이 l_1 를 고정하고 슬롯간의 간격 l_{SLIT} 만을 늘임으로써 주파수를 낮출 수 있는 독특한 장점을 갖는다.

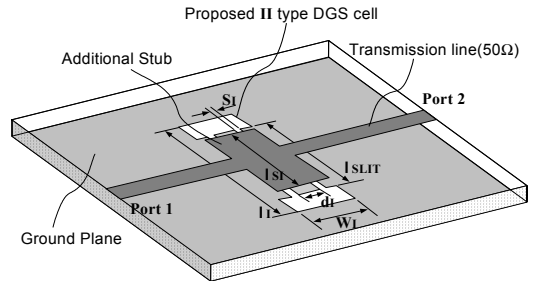


그림 5. 스테브가 추가된 II자형 DGS 셀 형태

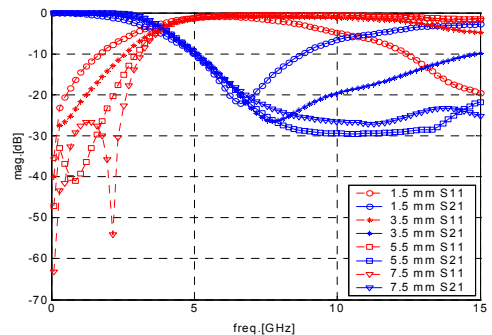


그림 6. 스테브의 길이 l_{SL} 를 변화시켰을 때의 주파수 특성

그림 5는 스테브가 추가된 II자형 DGS 셀 형태로써, 그림 4에서 제안된 II자형 DGS 셀의 상단에 직사각형 스테브를 부착한 모양이다. 이 셀은 하단의 II자형 DGS 셀에 스테브를 추가함으로써 지역통과 필터 특성을 얻을 수 있고 스테브의 길이 조절을 통한 커패시턴스 성분 조절이 가능하게 된다.

그림 6의 스테브의 특성 그래프에서 스테브의 크기가 제일 작은 $l_{SL} = 1.5\text{mm}$ 의 경우에는 지역통과 필터 특성이 아니라 약 6.5GHz 정도에서 대역 저지 특성만 나타나지만 점점 스테브를 크게 증가를 시킬수록($l_{SL} = 3.5\text{mm}$, 5.5mm , 7.5mm) 저지대역이 넓어지면서 지역통과 특성을 볼 수 있으며, 통과대역에서의 임피던스 정합이 되면서 반사손실이 매우 개선됨을 볼 수 있다. 즉, 스테브의 상하단 가장자리가 II자형

DGS 셀의 상단과 하단의 직사각형 슬롯의 부분(l_1-l_{SLIT})에 근접해감에 따라 서로 커플링에 의한 공진 효과로 저역통과 특성을 갖게 된다.

하지만 차단 주파수의 스킨트 특성은 저역통과 필터로 사용하기에는 부족하므로 차단주파수에서 좀더 첨예한 저지특성이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 또한 Q값이 높고 인덕턴스 성분을 용이하게 조절할 수 있으며 점유 공간을 적용분야에 따라 자유롭게 변화시킬 수 있는 구형 슬롯을 적용하였다.

구형 슬롯 DGS 형태는 그림 7과 같이 기판의 접지면에 직사각형 개구면 형태로 식각되고 윗면은 50Ω 인 마이크로스트립 전송선로로 구성된다. 이러한 구조는 주파수 영역에서 대역저지 특성을 보이므로 입출력 단에 직렬로 연결된 병렬 공진회로로 표현된다.

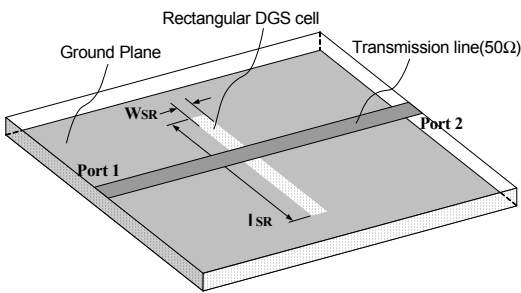


그림 7. 구형 슬롯의 구조와 등가회로

대역저지 특성은 그림 8의 등가회로에서 인덕턴스 L과 커패시턴스 C에 의해 결정되며 이러한 L과 C는 그림 7에서 구형 슬롯의 면적을 구성하는 폭 W_{SR} 과 길이 l_{SR} 에 의해 결정되며, 각각의 길이 변화에 따른 주파수 특성을 그림 8과 그림 9에 보였다.

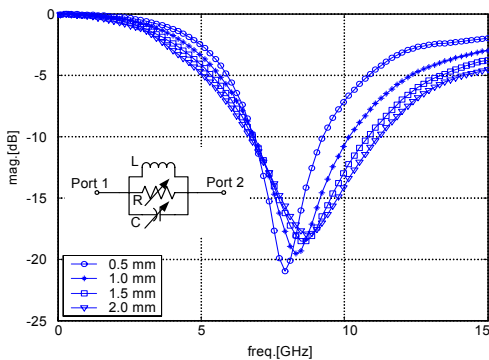


그림 8. 구형 슬롯의 폭 W_{SR} 변화에 따른 $|S21|$ 공진특성

그림 8에서 보는 바와 같이 폭 W_{SR} 을 좁게 할수록 커패시턴스 성분이 감소하고 저항성분의 증가로 대역폭이 좁아지면서 더 많은 감쇠 특성을 얻을 수 있다.

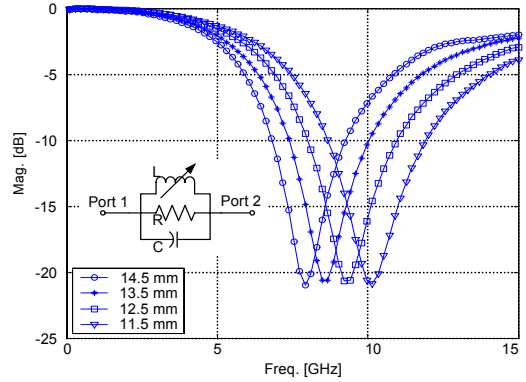


그림 9. 구형 슬롯의 길이 l_{SR} 변화에 따른 $|S21|$ 공진특성

그림 9는 구형 슬롯의 길이 l_{SR} 가 길어질수록 대역저지 주파수가 낮은 주파수로 이동하므로 병렬공진 등가회로의 성분 중에서 주로 인덕턴스 L 성분만이 증가된다고 볼 수 있다.

위의 결과에 따라서 폭 W_{SR} 을 좁게 하면서 길이 l_{SR} 를 길게 하여야만 낮은 주파수에서 첨예한 차단 특성을 얻을 수 있게 된다.

IV. 급격한 저지 특성을 얻기 위한 저역통과 필터의 설계

차단 주파수에서의 첨예한 스킨트 특성을 얻기 위해 제안한 스텐브 II자형 DGS 셀과 2개의 구형 슬롯 DGS 셀을 양 옆에 캐스케이드로 연결을 하였고 그 구조는 그림 10과 같다.

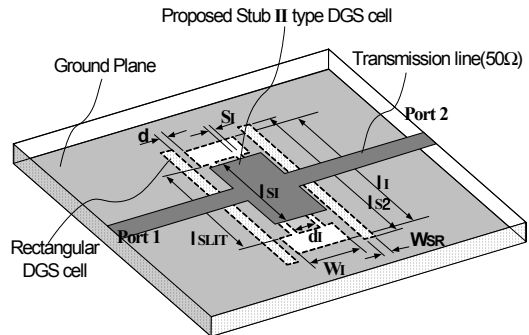


그림 10. 캐스케이드 연결된 DGS 셀의 형태

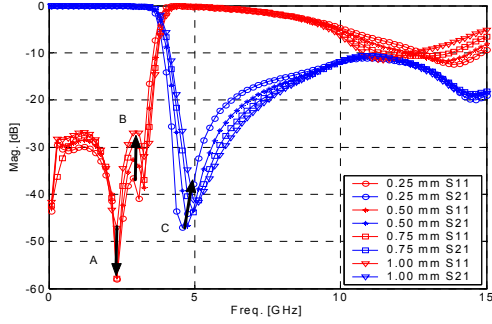


그림 11. 셀간 간격 d를 변화시켰을 때의 주파수 응답 특성

그림 11은 스테브 II자형 DGS 셀과 구형 슬롯 DGS 셀 간의 간격 d를 조절하였을 때 변화되는 주파수 응답 특성을 보여주고 있다. 간격이 서로 멀어질수록 통과대역에서의 반사손실은 A지점 주파수에서는 감소하는 방향으로 변화되고 있고 B지점에서는 증가하는 형태를 보여주고 있지만 -30dB 안팎의 값이므로 양호한 특성을 보여주고 있다. 또한 차단 대역에서의 감쇠극은 -40dB 이상의 감쇠 특성으로 간격이 멀어질수록 감쇠극 주파수는 증가하면서 삽입손실은 감소함을 알 수 있다.

따라서 2차 고조파 성분의 정확한 감쇠를 위하여 간격 d를 조절함으로써 차단대역의 감쇠극 주파수를 용이하게 변화시킬 수 있는 특징이 있으며, 적용분야에 따른 임의의 특성을 얻기 위해서 보정 작업을 통하면 다양한 특성을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 2GHz 대역의 마이크로파 통신에 적용되는 회로들의 고조파 성분을 제거하는 저역통과 필터로 사용하기 위하여 차단대역에서의 급격한 감쇠 특성을 이용하려는 것이 목적이므로 각각의 적용분야에 따른 고조파 성분의 주파수 감쇠를 비교해 보았다.

표 1. 각 주파수 대역에서의 반사손실 및 감쇠특성 비교 (모의 실험)

	통과대역		2차고조파		3차고조파	
	대역 [GHz]	S11 [dB]	대역 [GHz]	S21 [dB]	대역 [GHz]	S21 [dB]
WLL	2.300~2.330	-54.5	4.600~4.660	-40.5	6.900~6.990	-20
	2.370~2.400	~ -53	4.740~4.800	~ -45.9	7.110~7.200	~ -18.78
						8
Wireless LAN	2.400~2.500	-53 ~ -45.1	4.800~5.000	-45.9 ~ -42	7.200~7.500	-18.78 ~ -17.82

표 1은 여러 가지 무선통신 시스템의 대역에 따른 모의실험 결과에서의 2차 고조파 주파수 감쇠 특성을 비교해보았다.

표 1에서 보면 통과대역에서의 반사손실은 약 -50.8 dB 정도의 반사손실로 매우 양호한 결과를 보여주고 있으며, 2차 고조파 대역에서는 약 -42.8 dB 정도의 감쇠 특성을 보여주고 있으므로 고조파 성분 제거에 매우 탁월한 결과임을 알 수 있다.

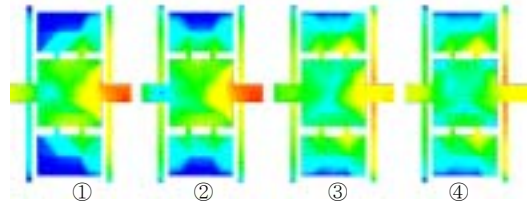


그림 12. 설계된 DGS 셀의 전자계 분포 변화

그림 12는 설계된 DGS 셀의 전자계의 분포를 보여주는 것으로 전송선로의 오른쪽 Port1에서 전자기파를 여기시켰을 때 위상이 변함에 따라(①②③④의 순서) 접지면의 II자형 DGS 셀이 연결 슬롯에 따라 따로 공진됨을 볼 수 있으며 그 역할이 감쇠극 주파수에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

이러한 캐스케이드 연결은 스테브 II자형 DGS 셀과 구형 슬롯 DGS 셀의 간격이 매우 가깝기 때문에 그림 12와 같이 서로 자계 커플링이 일어나게 되므로 엄밀하게 말하면 또 하나의 새로운 셀을 설계한 것과 같다. 즉, 두 가지 셀의 캐스케이드 연결 간격이 서로 커플링 영향이 거의 없도록 멀리 떨어진다면 각 셀이 갖는 각각의 주파수 특성을 볼 수 있겠지만, 각 셀의 자계 커플링에 의해서 새로운 주파수의 공진기 특성을 얻을 수 있게 된다. 논문의 목적이 차단 주파수에서의 감쇠극 특성을 침체하게 만들기 위한 새로운 공진 구조 설계에 관한 것이므로 2가지 셀 간의 커플링 효과를 이용한다.

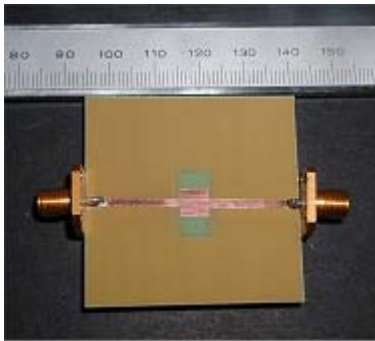
여러개의 스테브 II자형 DGS 셀을 주기적으로 캐스케이드 연결하면 저역통과 특성과 개선된 저지대역 특성을 얻을 수 있음은 기존의 DGS 셀 필터의 경우에서 확인할 수 있는 사실이나, 이렇게 구성을 하면 특성은 개선될 수 있으나 크기가 커지게 되는 단점이 있다. 한편 구형 슬롯 DGS 셀을 주기적으로 캐스케이드 연결을

하면 협대역의 대역 저지 필터 특성만을 얻게 되는 단점이 있다. 따라서 2가지 다른 형태의 DGS 셀을 연결하여 3개의 공진기가 복합적으로 결합된 또 다른 구조의 공진기로 설계함으로써 기존의 DGS 공진기 저역통과 필터보다 더욱 소형화되고 그 하나의 복합셀 만으로도 원하는 특성을 얻을 수 있는 장점이 있다.

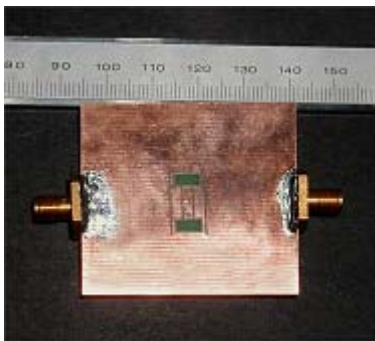
V. 설계와 제작

모의실험 결과를 통하여 원하는 결과를 산출해 낼 수 있도록 최적화된 치수로 제작하였다.

제작된 기판은 두께가 31mils인 유전율 4.4인 FR-4 기판을 사용하였고, 그 형태는 그림 14에 나타내었다. 제작된 DGS 셀 저역통과 필터의 크기는 8 mm × 14.5 mm 로써 매우 소형임을 알 수 있다.



(a) 위면



(b) 아래면

그림 13. 제작된 저역통과 필터

그림 14는 제작된 저역통과 필터의 S파라미터를 Agilent 8722 벡터 네트워크 분석기를 통하

여 0.1GHz 에서 15GHz까지의 측정 결과를 보여주고 있다.

그림 11의 모의실험 결과와 그림 14의 측정 결과를 비교했을 때 8GHz 이상의 주파수에는 모의실험과 차이를 보이는데 이는 기판으로 FR4를 사용했기 때문에 전자기파의 분산과 산란 등의 불안정성에 기인한 것으로 생각된다.

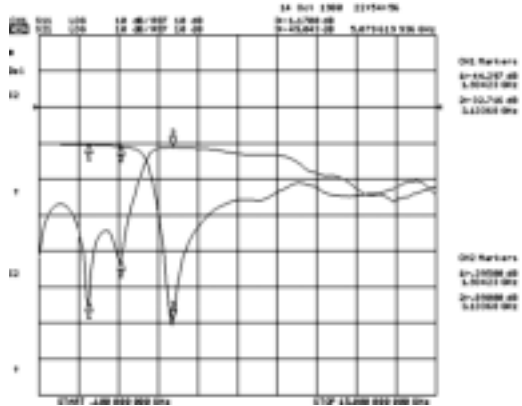


그림 14. 저역통과 필터의 측정 결과

표 2는 모의실험 결과와 측정 결과의 주요 대역에서의 특성 값을 비교하였다.

표2. 각 주파수 대역에서의 측정값과 모의실험값의 특성비교

	통과대역 S11 [dB]		2차고조파 S21 [dB]		3차고조파 S21 [dB]	
	측정	모의	측정	모의	측정	모의
2.3 ~ 2.5 GHz	-25.65	-54.5	-20.6	-45.9	-17.2	-20
-2.5 ~ -2.3 GHz	-23	-45.1	-44	-40.5	-14.6	-17.8
96 GHz	96	96	47	47	3	2

표 2의 결과에서 WLL과 ISM 대역의 주파수를 모두 묶어서 살펴보았으며 그 대역에서의 반사손실은 모의실험 값과는 큰 차이를 보이고 있지만 회로 적용에는 큰 문제점이 없는 결과이다. 또한 2차 고조파 대역에서는 감쇠극 주파수가 올라가서 감쇠 특성이 나빠지기는 했으나 최고 -46.47 dB의 감쇠효과를 보여주고 있으며 3차 고조파 대역에서는 근사한 차이를 보여주고 있다.

VI. 결론

일반적인 마이크로파 회로의 성능 향상과 소

형화를 위해서 DGS 또는 PBG 구조를 이용한 필터, 임피던스 정합 회로, 발진기, 그리고 능동 안테나 등에 많은 연구가 진행되고 있다. 기존에 사용되는 DGS 구조는 대역저지 주파수의 미세한 조정이 어렵고 PBG의 주기적인 배열구조는 소형화에 걸림돌이 되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 대역저지 주파수 조정이 용이한 II자형 슬롯과 스테브가 추가된 II자형 슬롯 DGS 구조를 제안하고 각각의 구조에 대해서 대역 저지 특성을 분석하였다.

II자형 슬롯 구조는 중앙의 연결 슬릿의 간격 등의 변화를 통해 급격한 대역 저지 특성을 갖는 차단 주파수를 세밀하게 조정할 수 있으며 스테브 II자형 슬롯 구조는 급격한 대역 저지 특성과 원하는 주파수 대역, 특히 고조파 성분에서의 감쇠극을 용이하게 만들 수 있다는 분석결과를 얻었다.

또한 소형화하기 위해서 차단 주파수는 4.12 GHz이고 단일 혹은 배열 DGS를 이용하는 기존의 방법을 사용하지 않고 제안된 구형 슬롯 구조와 스테브 II자형 슬롯 구조를 조합하여 새로운 형태의 저역통과 필터를 구현하였다. 새로운 형태의 저역통과 필터는 구형 슬롯의 스테브 폭과 길이, II자형 슬롯의 연결 간격 등을 조정하여 최적의 저지대역 주파수 특성을 갖도록 설계하고 제작하였다.

제작된 저역통과 필터의 측정결과는 차단 주파수는 4.12 GHz 이고 사용하려는 통과대역은 2.30~2.50GHz에서의 삽입손실은 -0.44 ~ -0.56 dB 이고 반사손실은 -25.65 ~ -23.96 dB로 양호한 결과를 보여주며, 2차 고조파 대역에서 최대 -44.47 dB의 감쇠를 보였다.

따라서 본 논문에서 제안된 DGS 셀 구조는 저지대역의 주파수를 조정할 수 있는 특징을 갖고 있으며 단일 구조 또는 조합된 구조를 사용하여 소형화가 가능함을 보였으며 이 저역통과 필터는 WLL 및 Wireless LAN 등이 사용되는 ISM 대역의 모듈에 장착되어 고조파와 불요파를 제거함으로써 시스템 효율의 개선에 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] C.M.Bowden, J.P.Dowling, and H. O.Everitt, "Development and Applications of Exhibiting Photonic Band Gaps," *J. Opt. Soc. Amer.*, vol. B10, pp.280, Feb. 1993.
- [2] Special Issues, *Journal of Lightwave Technology*, Vol.17, No.11, Nov. 1999.
- [3] Special Issues, *IEEE Trans Microwave Theory Tech.*, Vol.47, No.11, Nov. 1999.
- [4] T.Yun and K. Chang, "One-Dimensional Photonic Bandgap Resonators and Tuned Resonators," *1999 IEEE MTT-S Digest*, pp.1629-1632, 1999.
- [5] R. Qiang, Y. Wang and D. Chen, "A novel Microstrip Bandpass Filter with Two cascaded PBG Structures," *2001 IEEE AP-S Digest*, pp. 510-513, 2001.
- [6] J.P Kim and W.S. Park, "Microstrip Lowpass Filter with Multislots on Ground", *Electronics Letters*, Vol.37, No.25, 6 Dec. 2001.
- [7] M. Kahrizi, T. Sarkar and Z. Marićević, "Dynamic Analysis of a Microstrip Line Perforated Ground Plane," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.42, pp.820-825, May 1994.
- [8] X.Yi, P.Yeh and J.Hong, "Photonic Bandgap Structure in Thin Film Waveguides," *SBMO/IEEE MTT-S IMOC '99 Proceedings*, pp.451-453, 1999
- [9] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli and T.Itoh, "Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol.8, No.2, pp.69-

- 71, Feb. 1998.
- [10] Chul-Soo Kim, Jun-Seok Park, D al Ahn, Jae-Bong Lim, "A Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, Vol. 10, No. 4, Jan., pp.131-133, 2000.
- [11] D. Ahn et al, "A Design of the Low-pass Filter using the Novel Microstrip Defected Ground Structure," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.49, No.1, pp.86-91, Jan. 2001.
- [12] S. Jeong, et al, "Amplifier Design using $\lambda/4$ High Impedance Bias Line with Defect. Ground Structure (DGS)," *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp.1161-1164, 2002
- [13] F. Yang, K. Ma, Y. Qian, and T. Itoh, "A Uniplanar Compact Photonic-Bandgap (UC-PBG) Structure and Its Applications for Microwave Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 47, No. 8, pp.1509-1514, Aug. 1999.
- [14] R. Coccioli, F. Yang, K. Ma, and T. Itoh, "Aperture-Coupled Patch Antenna on Substrate," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.47, No.11, pp.2123-2130, Nov. 1999.
- [15] F. Yang, K. Ma, Y. Qian, and T. Itoh, "A Novel TEM Waveguide Uniplanar Compact Photonic-Bandgap (UC-PBG) Structure," *IEEE Trans. Theory Tech.*, Vol.47, No.11, pp. 2092-2098, Nov. 1999.
- [16] Q. Xue, K.M.Shum, and C.H.Chan, "Novel 1-D Microstrip PBG Cells," *IEEE and Guided Wave Letters*, Vol.10, No.10, pp.403-406, Oct. 2000.
- [17] J. Yun, et al, " A Design of the Novel Coupled Line Bandpass Filter Using Ground Structure," *2000 IEEE MTT-S Digest*, pp.327-330, 2000.
- [18] T. Kim and C. Seo, " A Novel Photonic Bandgap Structure for Low-Pass Filter Wide Stopband," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol.10, No.1, pp.13-15, Jan. 2000.
- [19] 조영빈, 김병수, 전계석, "새로운 형태의 DGS를 이용한 저역통과 필터의 주파수 조정 설계", *한국통신학회 논문지*, 제27권 제 12B호, pp. 1174-1181, 2002년 12월

조영빈(Young-Bin Cho) 정회원



1996년 2월 : 경희대학교
물리학과 졸업
1998년 2월 : 경희대학교
전자공학과 석사
1998년 3월 ~ 현재 : 경희대
학교 전자공학과 박사과정
2002년 9월 ~ 현재 : 전자

부품연구원 위촉연구원

<주관심분야> 안테나, 마이크로파 능동 및 수동 회로 설계, 전자파 해석

전계석(Kye-Suk Jun) 정회원
한국통신학회 논문지 제26권 제9B호 참조