

論文2002-39TC-9-5

소형화한 주파수 가변 마이크로파 밴드갭 구조로 응용된 마이크로스트립 링

(Microstrip Ring as a Compact Tunable Microwave Bandgap Structure)

蔣美影*, 奇喆埴*, 朴益模*, 林漢祚*, 韓海旭**,
李精一***

(Mi-Young Jang, Chul-Sik Kee, Ik-Mo Park, H. Lim, Hae-Wook Han, and Jung-Il Lee)

요 약

본 논문에서는 협소한 갭이 있는 마이크로스트립 링의 특성을 분석하였으며, 이를 주파수가변(tunable) 마이크로파 밴드갭(Microwave bandgap : MBG) 구조로 제안하였다. 마이크로파 밴드갭(MBG)의 중심주파수는 링의 반지름에 의해 결정되었으며 링 공진기의 홀수 모드에 해당하는 주파수영역에서만 저지대역이 존재하였다. 제안된 마이크로스트립 MBG 링에서 저지대역은 링에 있는 협소한 갭에서 전자기파의 반사로 인해 형성되며 갭 사이에 부착한 리액티브 성분의 값을 변화시킴으로써 저지대역이 형성되는 영역을 결정할 수 있다. 갭 사이에 부착한 캐패시터는 저지대역의 중심주파수를 낮은 주파수영역으로 이동시켰고 인덕터는 저지대역의 중심주파수를 높은 주파수영역으로 이동시키는 결과를 보였다. 이렇게 갭 사이에 배랙터(varactor)를 부착한 마이크로스트립 MBG 링은 마이크로파 스위치로 유용하게 사용 할 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, microstrip ring with a narrow gap is characterized and used as a tunable microwave bandgap (MBG) structure. The center frequency of MBG is mainly determined by the mean circumference of the ring and coincides with odd mode resonance frequency of the ring resonator. The stop band formation by the proposed microstrip MBG ring is due to the reflection of electromagnetic waves at the narrow gap introduced in the ring, and the reactive component mounted on the gap makes the stop band vary according to its value. The mounting of capacitor (inductor) is observed to decrease (increase) the center frequency of the stop band. The varactor-mounted microstrip MBG ring is expected to be useful in microwave switches and microwave amplifier circuits.

Keywords : PBG, MBG, Ring 공진기, Tunable 필터

* 正會員, 亞洲大學校 電子工學部

(School of Electrical and Computer Engineering)

** 正會員, 浦港工科大學校 電氣컴퓨터工學部

(Department of Electrical and Computer Engineering)

*** 正會員, 韓國科學技術研究員 光電子研究室

(Photonic Research Center, KIST)

接受日字:2002年5月13日, 수정완료일:2002年8月22日

I. 서 론

광학분야에서 처음으로 연구가 시작된 포토닉 밴드갭 (Photonic Bandgap : PBG) 구조^[1]는 특정 주파수 범위의 전자기파를 효과적으로 제어 할 수 있음으로 최근 마이크로파 분야에서도 이를 응용한 연구가 활발히 진행되

고 있다. 마이크로파 영역에서의 PBG구조는 마이크로파 밴드갭(Microwave Bandgap : MBG) 구조 또는 전자기 파 밴드갭(Electromagnetic Bandgap : EBG) 구조라고도 불리우며^[2-4] 일반적으로 마이크로스트립상에 구현되어 안테나의 성능 개선^[5-6], 증폭기의 전력 효율 향상^[7], 공진기의 높은 Q 구현 및 고조파 성분 억제^[2, 3, 8], 새로운 유형의 듀플렉서의 설계^[9] 등 다양한 목적으로 사용되고 있다. MBG 구조에 응용된 마이크로스트립 회로로서 유전체 기판을 천공하는 방법^[7], 접지면을 주기적인 모양으로 식각하는 방법^[10], 마이크로스트립 라인 자체를 변형^[11] 시키는 방법 등이 소개되고 있다. 이러한 마이크로파 회로로서 연구된 MBG 구조의 응용 예들은 그 실용성을 잘 보여주지만 기존의 MBG 구조가 일반적으로 매우 넓은 면적을 요구하므로 소형화가 불가피한 마이크로파 회로에서 MBG 구조의 실질적인 응용에는 어려움이 있다. 이것은 MBG 구조의 한 주기가 MBG 중심 주파수에 해당하는 파장의 1/2길이와 같으며 특정한 주파수 범위의 전자기파를 통과하지 못하게 하기 위해서는 적어도 5~6 주기가 요구되기 때문이다^[12]. 따라서 MBG 구조의 크기를 감소시켜 마이크로파 직접회로등에 MBG 구조를 효율적으로 응용하려는 연구는 최대 관심 분야가 되었으며 몇 가지의 소형화된 MBG 구조가 연구되었다^[13-15].

본 논문에서는 소형화된 MBG 구조 중의 하나로서 어떠한 주기성도 필요로 하지 않는 협소한 갭(gap)을 갖는 마이크로스트립 링 (ring) 구조의 특성을 분석하였고, 이러한 협소한 갭(gap)을 갖는 마이크로스트립 링 (MBG ring) 구조를 응용하여 저지대역의 영역을 조절할 수 있는 주파수가변(tunable) MBG 구조를 제안하였다. 마이크로스트립 링 공진기는 저항성분을 제외하면 인덕턴스 L_0 와 커패시턴스 C_0 의 병렬연결로 모델링할 수 있다^[16]. 따라서 주어진 마이크로스트립 MBG 링의 반사손실 및 삽입손실의 특성은 링에 갭이 있는 경우 원래의 L_0 와 C_0 에서 약간 변화된 값을 가진 병렬 LC 등가회로로 볼 수 있다. 병렬 LC 회로의 특성 임피던스는 공진주파수 $\omega = 1/\sqrt{LC}$ 부근에서 매우 큰 값을 가지므로 이 주파수 영역에서 MBG 링은 입력단으로부터 들어오는 마이크로파를 강하게 반사시킨다. 링의 갭 부분에 커패시터나 인덕터등을 달아주면 마이크로스트립 MBG 링의 전체적인 L 과 C 값에 변화를 주어 저지대역의 위치 및 특성곡선의 모양을 변형시키는 방법으로 사용할 수 있다. 이러한 방법으로 저지대역을 조절하는

것은 마이크로스트립 MBG 링을 소형화된 마이크로파 스위치등에 응용하는데 매우 유용할 것이다. 본 논문의 2장과 3장에서는 마이크로스트립 MBG 링 구조의 기본적인 특성을 분석하였으며 제 4장에서는 MBG 링의 갭 사이에 커패시터 또는 인덕터를 연결하여 저지대역의 위치를 제어하는 것을 보였다.

II. 마이크로스트립 MBG 링 구조의 특성

그림 1은 본 연구에서 제안한 협소한 갭(gap)을 갖는 마이크로스트립 링 (ring) 구조이며, r_m 은 링의 중심반지름 (mean radius), w 는 링의 선폭, g 는 갭의 크기, 그리고 w_f 는 급전선의 폭을 나타낸다.

일반적인 마이크로스트립 링은 급전선과 링 사이의 커플링(coupling) 갭을 통하여 급전선으로부터 여기된다. 따라서 마이크로스트립 MBG 링은 급전선과 링 사이에 커플링 갭이 없으며 링 자체에 갭이 존재한다는 점에서 근본적으로 일반적인 마이크로스트립 링과 다른 구조이다. 또한 최근 Sheen^[17]이 제안한 링 구조와 비교해볼 때 MBG 링은 급전선이 갭의 측면에 위치하는 점과 저지대역이 갭 사이에 있는 커패시터를 연결하기 전에도 존재하는 점에서 다른 구조임을 알 수 있다. 마이크로스트립 MBG 링 구조에서는 MBG 형성에 필요한 고정된 위상의 상관관계(fixed phase correlation)를 갖는 다중반사(multiple reflection) 현상으로 마이크로스트립 링에 있는 갭에 의한 임피던스의 강한 불연속으로 인해 발생하게 된다. 입력과 출력단이 갭을 중심으로 링 둘레길이의 1/4만큼 떨어진 위치에 있을 때, 저지대역(MBG)은 감쇠 주파수 f_n 주위에 형성되며, f_n 에 관련된 식은 다음과 같이 주어진다.

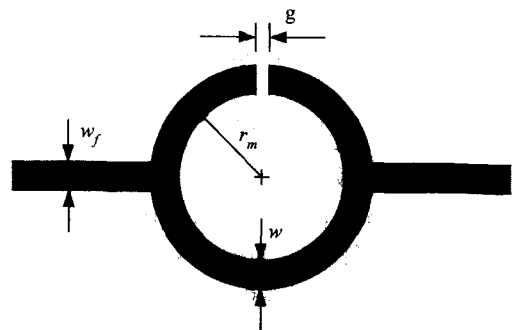


그림 1. 협소한 갭을 갖는 마이크로스트립 링 구조
Fig. 1. Microstrip ring with a narrow gap.

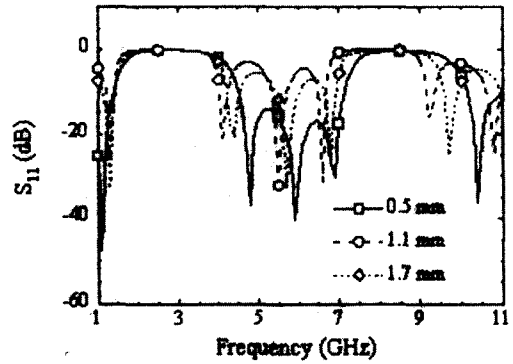
$$f_n = \frac{nc}{(2\pi r - g)\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

여기서 n 은 양의 홀수, c 는 진공에서의 빛의 속도, e_{eff} 는 실효유전 상수, g 는 갭의 크기, $2\pi r_m$ 은 링의 중심 반지름이다. 갭의 크기 g 는 보통 $2\pi r_m$ 보다 아주 작기 때문에 감쇠 주파수(attenuation pole)는 링 공진기에서의 홀수번째 모드의 공진주파수와 거의 일치한다.

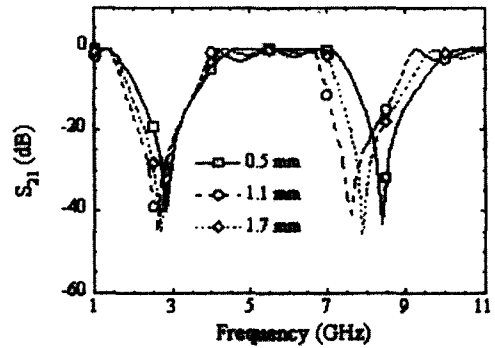
마이크로스트립 MBG 링에서는 원하는 MBG 중심주파수와 대역폭을 간단한 설계 변수를 이용하여 구현할 수 있다. 마이크로스트립 MBG 링의 물리적인 크기에 대한 MBG의 기본적인 특성을 얻게 된다면 마이크로파 회로에 MBG 구조를 구현하는데 매우 유용할 것이다. 식 (1)에서는 마이크로스트립 MBG 링의 반지름 r_m 이 MBG 주파수를 결정하는 주된 요인임을 보여준다. 또한 MBG의 특성은 마이크로스트립 MBG 링의 선폭 w 과 갭 간격 g 에 의해서도 영향을 받게 되는데 이러한 결과를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다. 마이크로스트립 MBG 링 구조에 대한 특성은 EM 시뮬레이터인 IE3D를 사용하여 분석하였다. 시뮬레이션 파라미터로서 유전율 $\epsilon_r=10.2$, 두께 $h=0.635$ mm를 갖는 RT/Duroid 6010 기판을 사용하였다.

마이크로스트립 MBG 링의 선폭 w 에 대한 MBG 특성을 알아보기 위해 링의 중심 반지름 $r_m=6.25$ mm, 갭 크기 $g=0.2$ mm로 고정시키고 w 의 값을 변화시켰다. 그림 2 (a)와 (b)는 시뮬레이션을 통하여 얻은 반사손실 (S_{11})과 삽입손실 (S_{21})의 특성을 각각 보여준다. MBG의 중심주파수와 3 dB 차단주파수(cutoff frequency)가 링의 선폭 w 의 증가에 따라 감소함을 알 수 있는데 이는 링의 물리적인 크기에 영향을 받는 캐패시턴스 C 와 인덕턴스 L 값이 링의 선폭 w 이 넓어질수록 증가함으로써 MBG의 중심주파수가 감소하기 때문이다. 또한 w 가 증가할수록 MBG 이외의 주파수 영역에서 S_{21} 의 변동이 심한 것은 마이크로스트립 링과 급전선 간의 특성임피던스 차가 커지기 때문이다.

다음으로 링의 갭 크기가 MBG 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 링의 중심반지름 $r_m=6.25$ mm, 링의 선폭 $w=0.5$ mm로 고정하고 갭의 크기를 변화 하였다. 그림 3은 갭의 크기 변화에 따른 MBG 링의 반사손실 (S_{11})과 삽입손실(S_{21})을 시뮬레이션 한 결과이다. MBG 링의 중심반지름이나 선폭이 MBG의 특성에 미치는 영향과는 다르게 갭의 변화에 대한 MBG의 차단주파수는



(a)



(b)

그림 2. 링의 중심반지름 r_m 과 갭의 크기 g 를 고정했을 때, 링의 선폭 w 에 따른 S-parameter의 시뮬레이션 결과. (a) S_{11} , (b) S_{21}

Fig. 2. Simulated S-parameters for the variable line width w with the fixed mean radius r_m and the gap size g . (a) S_{11} , (b) S_{21} .

변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 저지대역의 차단주파수가 구조의 인덕턴스 값에 의해 주로 결정되기 때문이다^[14]. 따라서 그림 3의 결과는 갭의 크기가 링의 둘레에 비해서 매우 작기 때문에 갭의 크기에 따른 마이크로스트립의 실효 직렬 인덕턴스의 변화는 매우 미세함을 보여준다. 갭의 변화는 단지 MBG의 중심주파수 즉 감쇠극의 주파수에 영향을 조금 미치는 것을 볼 수 있는데 이것은 갭의 크기가 커질수록 링의 전체 둘레 길이가 약간 줄어들기 때문이다. 그림 3에서 20 dB에서의 MBG 부분대역폭은 모든 경우 약 86% 이었으며 이때의 3 dB 차단주파수는 1.67 GHz 부근에서 형성되었다. 그러나 갭의 크기 g 가 2 mm를 넘게 되면 MBG가 사라지기 시작하며 매우 복잡한 현상이 나타나게 된다. 결과적으로 그림 2와 3의 S-parameter 특성곡선을 통하여 MBG의 차단주파수와 중심주파수는 마이크로스트립

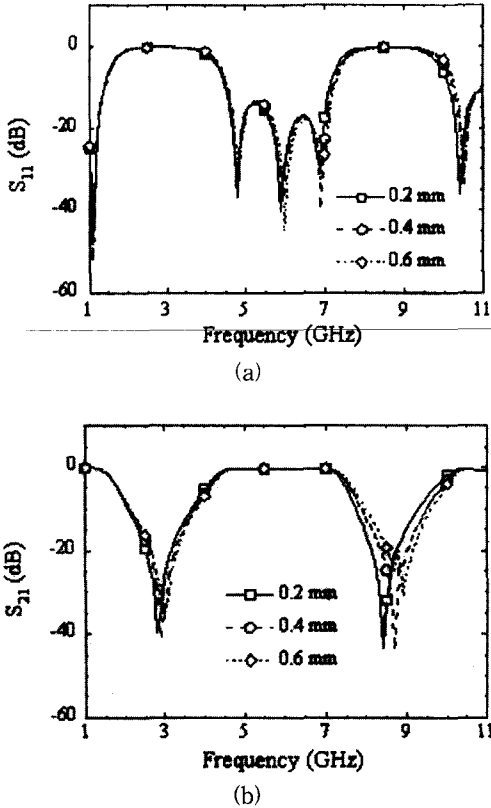


그림 3. 링의 중심반지름 r_m 및 선폭 w 를 고정했을 때 갭의 크기 g 에 따른 S-parameter 시뮬레이션 결과. (a) S_{11} , (b) S_{21}

Fig. 3. Simulated S-parameters for the variable gap size g of the ring with the fixed mean radius r_m and the line width w of ring. (a) S_{11} , (b) S_{21} .

링의 선폭 w 나 갭의 크기 g 보다는 링의 둘레의 길이와 관련된 링의 반지름 r_m 에 의해 주로 결정됨을 알 수 있다.

III. 마이크로스트립 MBG 링구조의 모드 (Modes)

링 공진기에서 공진은 정재파 (standing wave)가 링 둘레에 형성될 때 발생하는데 이것은 관내파장의 정수 배수에 해당하는 값이 링의 둘레의 길이와 같을 때 발생한다^[16]. 마이크로스트립 MBG 링에서 두번째 고조파 (second harmonic)에 해당하는 감쇠극의 결함은 링 공진기의 고조파에 해당하는 주파수와 마이크로스트립 MBG 링에서의 필드분포를 고려해보면 쉽게 이해할 수

있다. MBG 링 갭에서의 반사조건은 갭 부분의 전압 (voltage) 혹은 전기장세기 (electric field intensity)가 최대일 때 발생한다. 반대로 MBG 링 입력과 출력단에서의 반사조건은 전압이 0일 때 발생한다. 이러한 두가지 조건은 식 (1)의 짝수 모드 ($n=2, 4, \dots$)에서는 동시에 만족될 수 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 MBG 링은 링 공진기의 홀수 모드에 해당하는 주파수 부근에서 감쇠극을 가지게된다. 이러한 현상을 실제로 알아보기 위해 마이크로스트립 MBG 링을 제작하였으며 이때 링의 중심 둘레 r_m , 선폭 w , 갭 크기 g 를 각각 6.25 mm, 0.5 mm, 0.2 mm로 하였다. 또한 링 공진기의 공진주파수와 비교하기 위해 MBG 링과 같은 크기의 마이크로스트립 링 공진기를 제작하였다. 여기서 사용된 기판은 기판의 두께 $t=0.635$ mm, 유전율 $\epsilon_r=10.2$ 인 RT/Duroid 6010 이다. 또한 마이크로스트립 MBG 링의 필드분포를 3-D 시뮬레이터인 HFSS를 사용하여 관찰하였다.

측정한 MBG 주파수와 링의 공진주파수를 그림 4에 비교하였다. 링 공진기의 홀수 모드에 해당하는 공진주파수와 MBG의 중심주파수가 잘 일치하며 링 공진기에서의 짝수 모드에 해당하는 주파수에서 MBG가 없는 것을 알 수 있다. 또한 식 (1)에서 $r_m=6.25$ mm, $\epsilon_{eff}=6.773$ 의 값을 대입하면 홀수 모드의 공진주파수를 각각 2.82 GHz, 8.64 GHz 등의 값으로 얻을 수 있으며, 그림 5 (a), (c)는 이러한 홀수 모드의 각 공진주파수에 해당하는 2.82 GHz, 8.64 GHz에서의 필드분포 (electric field distributions)의 최대치를 보여준다. 그림 5 (b)는 짝수 모드 주파수에 해당하는 값인 5.6 GHz에서의 최대 필드 분포를 나타낸다. 그림 5의 필드분포에서 보는 바와 같

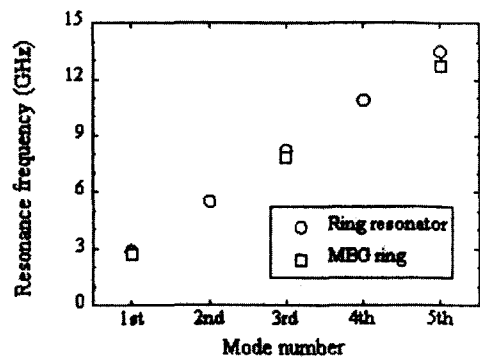


그림 4. 마이크로스트립 링 공진기와 MBG 링의 측정된 공진 주파수

Fig. 4. Measured resonant frequencies of the microstrip ring resonator and the MBG ring.

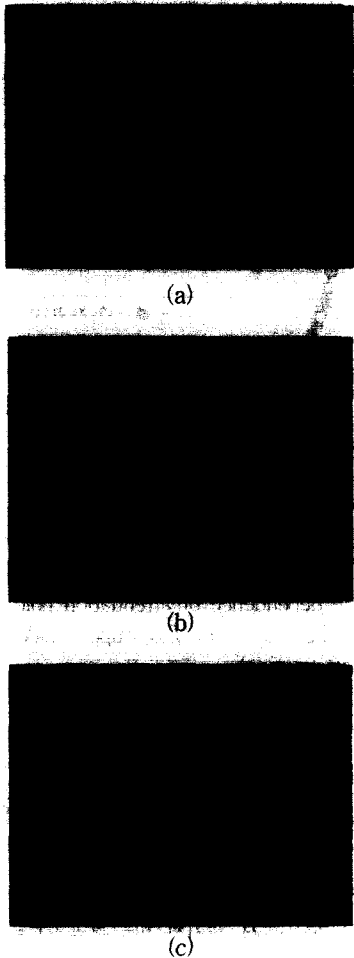


그림 5. (a) 2.82 GHz, (b) 5.6 GHz, (c) 8.46 GHz에서의 필드분포
 Fig. 5. Electric field distributions at (a) 2.82 GHz, (b) 5.6 GHz, and (c) 8.46 GHz.

이 홀수 모드의 공진주파수인 경우 전기장세기는 갭의 경계에서 최대가 되고 링과 급전선이 접하는 곳에서 최소가 되어 입력단(링의 왼쪽)에서 오는 전자기파가 출력단(링의 오른쪽)으로 통과하지 않게 된다. 그러나 짝수 모드의 공진주파수인 5.6 GHz의 경우 입력단에서 오는 전자기파가 MBG 링에서 갭이 없는 곳의 링을 따라 통과 함으로서 MBG가 형성되지 않음을 알 수 있다.

IV. 주파수가변 마이크로스트립 MBG 링 구조

MBG 중심 주파수 혹은 MBG의 모양 등을 조절할 수 있는 MBG 구조는 마이크로파 스위치나 저지대역 필터

등과 같은 마이크로파 소자에서 매우 유용할 것이다. 위에서 언급한 바와 같이 마이크로스트립 MBG 링은 병렬의 LC 등가회로로 나타낼 수 있으며, MBG의 위치와 주파수 특성곡선의 모양은 마이크로스트립 링의 갭 사이에 커패시터 또는 인덕터등을 달아 줌으로써 조절할 수 있게 된다. 그림 6은 실제로 제작된 마이크로스트립 MBG 링의 갭 사이에 칩 커패시터를 부착한 사진이다. MBG의 중심 주파수를 약 2.7 GHz가 되도록 마이크로스트립 링의 중심 반지름 $r_m=6.25$ mm, 링의 선폭 $w=0.5$ mm, 갭의 크기 $g=0.2$ mm으로 설계하였다. 또한 MBG 중심주파수는 그림 6에서 보는바와 같이 갭 사이에 있는 인덕티브 성분 L_{ackl} 또는 커패시턴스 성분 C_{ackl} 의 값을 달리함으로써 조절하였다. 주파수가변 마이크로스트립 MBG 링의 전달특성 측정에는 HP 8510C Network Analyzer를 사용하였으며, MBG 링의 설계 및 시뮬레이션에는 EM 시뮬레이터인 IE3D를 이용하였다.

그림 7은 부착된 커패시턴스 성분 C_{ackl} 및 인덕턴스 성분 L_{ackl} 값의 변화에 대한 전달 특성 (S_{21})을 측정된 결과이다. 그림 중앙의 전달 특성 곡선은 갭 사이에 커패시터나 인덕터가 없는것으로 감쇠극은 2.71 GHz에 위치한다. 그림 7에서 나타난 바와 같이 기본적인 마이크로스트립 MBG 링 구조에 C_{ackl} 혹은 L_{ackl} 의 값을 갖는 소자를 연결하게 되면 감쇠극의 중심 주파수의 위치와 대역폭이 변한다는 것을 알 수 있다. 예를 들면 그림 7에서 $C_{ackl}=0.2$ pF일 때 감쇠극의 주파수는 2.71 GHz에서 1.93 GHz로 낮아지며 20 dB 대역폭은 630 MHz에서 370 MHz로 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 다양한

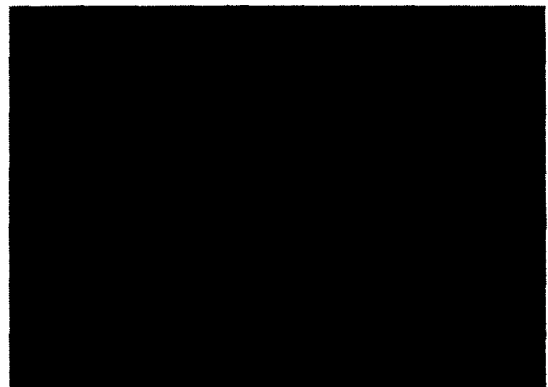


그림 6. 칩 커패시터가 장착된 마이크로스트립 MBG 링의 실제 사진
 Fig. 6. The photograph of the fabricated microstrip MBG ring mounted with a chip capacitor.

L_{add} 와 C_{add} 의 값에 대한 감쇠극의 변화를 그림 8에 나타내었다. 커패시터를 달아주면 감쇠극의 주파수가 감소하고 인덕터를 달아주면 감쇠극의 주파수가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 C_{add} 가 아주 커지거나 L_{add} 가 작아지면 더해진 성분의 어드미턴스 값이 매우 커지기 때문에 MBG가 없어지는 것을 볼 수 있다. 그림 8에서 중심선을 기준으로 위와 아래 부분의 각각의 점선은 데이터 값들에 대한 최소자승법(least square fit)으로부터 얻은 것이며 이렇게 계산된 감쇠극의 주파수는 다음의 관계식에 의해 각각 계산되었다.

$$C = C_0 + C_{add} \tag{2}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_0} + \frac{1}{L_{add}} \tag{3}$$

데이터 점들과 이들로부터 얻은 최소자승법의 계산이 커패시터의 경우 매우 잘 일치하는 것은 더해진 커패시턴스 혹은 인덕턴스 성분이 링의 원래의 값인 인덕턴스 L_0 와 커패시턴스 C_0 에 병렬로 연결되었음을 보여준다^[16]. 데이터 값들로부터 얻은 C_0 와 L_0 값은 각각 0.21 pF와 16.5 nH이다. 그림 8에서 마이크로스트립 링을 집중정수 소자로 구현한 후 $C_{add}=0.2$ pF를 병렬연결 하여 시뮬레이션한 결과와 $C_{add}=0.2$ pF를 실제 연결하여 측정된 결과가 매우 잘 일치하는 것은 데이터 값들로부터 계산된 C_0 와 L_0 의 값이 거의 정확하다는 것을 말해 준다. 그러나 인덕터의 경우 측정된 감쇠극의 주파수는 계산된 값보다 매우 작는데 이는 고주파 회로에서 자주 발생하

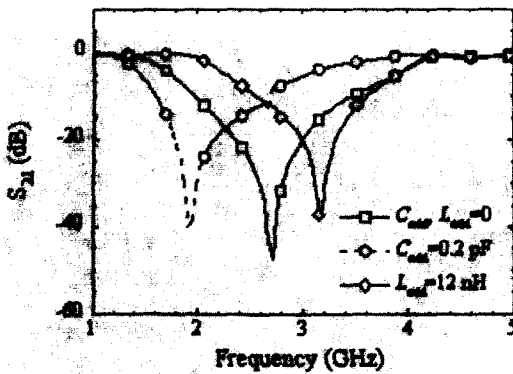


그림 7. 제작한 MBG 링 구조 위에 다양한 값의 커패시터와 인덕터를 연결하여 측정된 전송 특성 (S_{21}) 결과

Fig. 7. The transmission (S_{21}) spectra of the fabricated microstrip MBG ring for various mounted capacitance and inductance values.

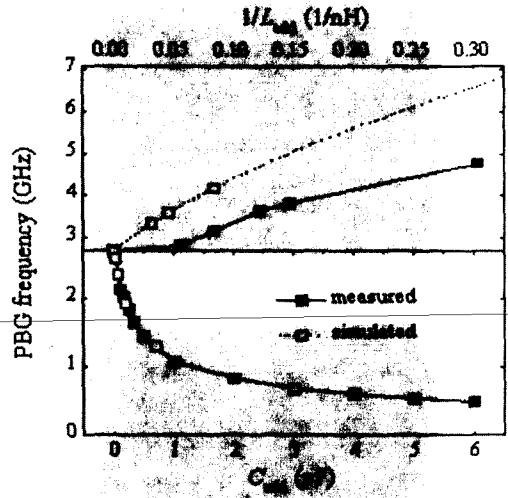


그림 8. 다양한 L_{add} (위부분)와 C_{add} (아랫부분)의 값에 따른 감쇠극 주파수의 변화

Fig. 8. The dependence of attenuation pole frequency on the values of L_{add} (upper side) and C_{add} (bottom side).

는 기생 인덕턴스 때문으로 판단된다.

마이크로파 증폭기의 이득은 증폭기의 외부 회로에 고주파의 발생을 억제하는 MBG 구조를 사용함으로써 증가시킬 수 있다^[7]. 그러나 저주파 영역에서 마이크로파 MBG 구조를 사용하려면 상대적으로 넓은 면적이 필요하다. 본 논문에서 제시한 마이크로스트립 MBG 링은 주기성을 갖는 일반적인 MBG 구조보다 훨씬 작은 면적에 구현이 가능하며, MBG 링의 구조 위에 커패시터를 부착함으로써 감쇠극의 주파수를 매우 낮은 곳으로 움직일 수 있다. 무엇보다도 마이크로스트립 MBG 링에 배랙터(varactor)를 달아준다면 C_{add} 의 값을 전기적으로 변화시킴으로써 이득을 최대로 얻을 수 있으며 감쇠극의 주파수를 적절히 조절할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 주파수가변 MBG 링은 마이크로파 증폭기의 소형화 및 이득 향상 면에서 일반적인 MBG 구조에 비해 매우 유용하다. 이러한 관점으로 보면 마이크로스트립 MBG 링 구조에 인덕터를 사용하는 것은 커패시터를 사용하는 것 만큼 유용하지는 않을 것이다. MBG 링 구조에 배랙터를 달게 되면 바이어스 전압에 의해 C_{add} 의 값이 변하고 이에 따라 감쇠극의 주파수도 갑자기 변하게 할 수 있다. 그러므로 튜너블한 MBG 링은 마이크로파 스위치로서도 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 MBG 링의 기본적인 특성을 살펴보았다. 저지대역의 중심주파수 위치는 주로 링의 둘레의 길이에 의해 결정되며 링 공진기의 홀수 번째 공진모드에 해당하는 주파수에서만 존재함을 확인하였다. 저지대역의 특성은 갭 사이에 리액티브 성분을 연결함으로써 조절 할 수 있는데, 저지대역은 더해진 커패시턴스가 증가함에 따라 낮은 주파수로 이동하였고 더해진 인덕턴스가 감소함에 따라 높은 주파수로 이동하였다. 이러한 MBG 링은 주기성을 필요로 하지 않기 때문에 주기성을 요구하는 기존의 MBG 구조에 비해 마이크로파 회로상에서 매우 작은 공간을 차지한다. 따라서 소형화된 MBG 구조로서 마이크로스트립 링 구조를 사용하면 마이크로파 직접회로등에서 원치 않는 주파수의 제거 혹은 고조파 성분의 억제등에 응용할 수 있다. 마지막으로 배랙터를 MBG 링 위에 부착함으로써 전기적으로 저지대역의 제어가 가능한 마이크로파 스위치로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] E. Yablanovich, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 58, no. 20, pp. 2059-2062, May 1987.
- [2] M. J. Hill, R. W. Ziolkowski, and J. Papapolymerou, "Simulated and measured results from a duroid-based planar MBG cavity resonator filter," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 12, pp. 528-530, Dec. 2000.
- [3] W. J. Chappell, M. W. Little, L. P. Katehi, "High-isolation planar filters using EBG substrates," *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 11, no. 6, pp. 246-248, June 2001.
- [4] A. Oliner, "Periodic structures and photonic-band-gap terminology: historical perspectives," in *Proc. 29th Eur. Microwave Conf.*, Munich, Germany, pp. 295-298, Oct. 1999.
- [5] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopolous, and E. Yablonovitch, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.
- [6] Y. Hao and C. G. Parini, "Isolation enhancement of PBG microstrip diplexer patch antenna," in *2001 IEEE AP-S Dig.*, pp. 86-89, Apr. 2001.
- [7] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Broad-band power amplifier using dielectric photonic bandgap structure," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 13-14, Jan. 1998.
- [8] Y. Ji, X. S. Yao, and L. Maleki, "High-Q whispering gallery mode dielectric resonator bandpass filter with microstrip line coupling and photonic bandgap mode-suppression," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 8, pp. 310-312, Aug. 2000.
- [9] S. S. Oh, C. S. Kee, J. E. Kim, H. Y. Park, I. Park, and H. Lim, "Duplexer using microwave photonic band gap structure," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 76, no. 16, pp. 2301-2303, Feb. 2000.
- [10] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, no. 2, pp. 69-71, Feb. 1998.
- [11] C. S. Kee, J. E. Kim, H. Y. Park, and H. Lim, "Roles of wave impedance and refractive index in photonic crystals with magnetic and dielectric properties," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2148-2150, Nov. 1999.
- [12] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, *Photonic Crystals*, Princeton University Press, Princeton, 1995.
- [13] T. Kim and C. Seo, "A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 13-15, Jan. 2000.
- [14] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE Tran. Microwave Theory*

Tech., vol. 49, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2001.

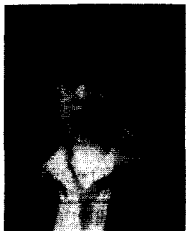
[15] Q. Xue, K. M. Shum, and C. H. Chan, "Novel oscillator incorporating a compact microstrip resonant cell," IEEE Microwave Wireless Components Lett., vol. 11, no. 5, pp. 202-204, May 2001.

[16] K. Chang, Microwave Ring Circuits and

Antennas, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 85-112, 1996.

[17] J. W. Sheen, "A compact semi-lumped low-pass filter for harmonics and spurious suppression," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 10, no. 3, pp. 92-93, Mar. 2000.

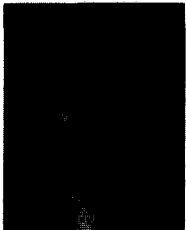
저 자 소 개



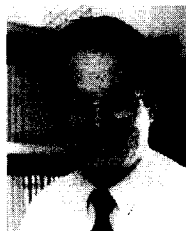
蔣美影(正會員)
 2000년 : 아주대학교 전자공학부(공학사). 2002년 : 아주대학교 분자과학기술학과(공학석사). <주관심분야 : 광자결정 및 마이크로파 영역 포토닉 밴드갭 구조>



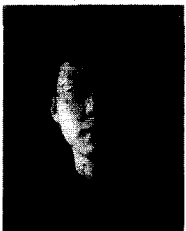
奇喆埴(正會員)
 1992년 : 부산대학교 물리교육학과(이학사). 1996년 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사). 2000년 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사). 1999년 10월~2000년 10월 : 미국 UCLA 박사후 연구원. 2000년 10월~현재 : 아주대 분자과학기술학과 교수. <주관심분야 : 광자결정, 포토닉 밴드갭을 이용한 초고주파 소자 및 안테나>



朴益模(正會員)
 1984년 : 뉴욕주립대학교 전기전자공학과(공학사). 1989년 : 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과(공학석사). 1994년 : 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과(공학박사). 1994년~1996년 : LG 전자기술원 선임연구원. 1996년~현재 : 아주대학교 전자공학부 교수. <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 밀리미터 파 수동소자, 수치해석, 광자결정>



林漢祚(正會員)
 1971년 : 서울대학교 물리학과대(이학사). 1974년 : 서울대학교 물리학과(이학석사). 1982년 : 불란서 Montpellier 2대 물리학과(이학박사). 1982년 2월~8월 : Montpellier 박사후 연구원. 1986년 2월~1987년 1월 : 불란서 Ecole Normale 고체물리 그룹 연구원. 1995년 4월~1997년 3월 : 물리학회 응용물리지 편집간사. 1993년 3월~1995년 2월 : 아주대학교 연구처장. 1997년 2월~8월 : Northwestern대 전기 및 컴퓨터공학과 visiting scholar. 1975년 9월~현재 : 아주대학교 전자공학부 및 분자과학기술학과 교수. <주관심분야 : 반도체 결합 관련 전기적·광학적 특성, 반도체 계면 및 금속/반도체 계면의 전자적 특성, 양자구조의 전자적 특성, III-V족 반도체 소자, 화학 센서, 전자소자의 잡음현상, 광자 결정>



韓海旭(正會員)
 1986년 : 서울대학교 전기공학과(공학사). 1988년 : 서울대학교 전기공학과(공학석사). 1995년 : 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과(공학박사). 1995년~1997년 : Lucent Technology, Technical Staff. 1997년~현재 : 포항공과대학교 전기컴퓨터 공학부 교수. <주관심분야 : 광자결정, 테라헤르츠와 나노 포토닉스, 광반도체소자>



李 精 一(正會員)

1975년 : 서울대학교 물리학과(이학사). 1985년 : 미국 브라운대학 물리학과(이학박사). 1975년~1977년 : 육군 통신장교 1985년~1986년 : 미국 GTE연구소 박사후 연구원.

1987년~현재 : 한국과학기술연구원 광기술연구센터 책임연구원. 1993년~1996년 : 한중과학기술협력센터 북경사무소장(초대). 1997년~1998년 : 프랑스 그레노블 반도체소자물리연구실 방문연구원. 2000년~현재 : 한국과학기술평가원 우주원천 전문위원. <주 관심분야 : 광반도체소자, 전기적 잡음, 광자결정, 전자소자 모델링, 금속/반도체 및 절연체/반도체 계면 특성, 양자전송>