

논문 2007-44SD-12-2

# 마이크로 머시닝 기술을 이용한 새로운 구조의 100 GHz DMR bandpass Filter의 설계 및 제작

( Novel 100 GHz Dual-Mode Stepped Impedance Resonator BPF Using  
micromachining Technology )

백 태 종\*, 이 상 진\*, 한 민\*, 임 병 옥\*, 윤 진 섭\*\*\*, 이 진 구\*\*

( Tae Jong Baek, Sang Jin Lee, Min Han, Byeong Ok Lim, Jin Seob Yoon, and Jin Koo Rhee )

## 요 약

본 논문에서는 MMIC 응용을 위한 dielectric-supported air-gapped microstrip line (DAML) 구조를 이용하여 dual-mode stepped impedance 링 공진기를 설계 제작하였다. 링 공진기는 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 만들어졌다. DAML ring resonator는 다층구조로써 공기중에 위치한 신호선과 MMIC 응용에 적합하도록 CPW가 한 평면에 구성되 있으며 DAML-CPW 트랜지션이 자유로운게 특징이다. DAML 링 공진기는 10  $\mu\text{m}$  높이로 GaAs 기판 으로부터 띄어져 있다. 대역통과 여파기는 dual-mode 공진을 하며 stepped impedance 이용한 구조이다. 측정결과로 중심주파수 97 GHz에서 감쇠특성은 15 dB, 삽입손실은 2.65 dB를 보였으며, 상대 대역폭은 12 %를 나타냈다. 이같은 구조의 대역통과 여파기는 MMIC 와의 직접화에 유리하다.

## Abstract

In this paper, we proposed the dual-mode stepped impedance ring resonator bandpass filter for MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit) applications using the dielectric-supported air-gapped microstrip line (DAML). The ring resonator fabricated by surface micromachining technology. This filter consists of a DAML resonator layer and a CPW feed line. The DAML ring resonator is elevated with 10  $\mu\text{m}$  height from GaAs substrate surface. This bandpass filter is 1- $\lambda_g$  type stepped impedance ring resonator including dual-mode resonance. From the measurements, we obtained attenuation of over 15 dB and insertion loss of 2.65 dB at the center frequency of 97 GHz. Relative bandwidth is about 12 % at 97 GHz. Furthermore, the proposed bandpass filter is useful to integrate with conventional MMICs.

**Keywords :** micromachining, dielectric-supported air-gapped microstripline(DAML),  
microwave monolithic integrated circuit(MMIC), bandpass filter(BPF), stepped impedance

## I. 서 론

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 동국대학교 전자공학과  
밀리미터파 신기술 연구센터  
(MINT, Millimeter-wave INovation Technology  
research center)

\*\*\* 정회원, 서일대학 컴퓨터전자과  
(Department of computer aided system, Seoil  
College)

※ 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터  
육성사업의 지원으로 수행되었음 (R11-1999-058-  
04003-0)

접수일자: 2007년4월13일, 수정완료일:2007년11월26일

최근 통신 시장의 급격한 발전으로 가용 주파수대의 불가피한 확장이 요구되었으며 이로 인한 밀리미터파 대역의 연구가 활발히 진행 중에 있다. 통신 시스템의 저가격화, 초소형화 및 복합 기능의 필요성은 이제 당면한 과제가 되었고, 이와 같은 과제들의 돌파구를 찾기 위해 여러 가지 방안들이 연구, 발표되고 있다. 대표적으로 시스템의 소형화 및 저가격화를 실현할 수 있는 MMICs(Microwave Monolithic Integrated Circuits) 기

술의 발전이 필수적으로 요구 되고 있으나 현재의 MMICs 회로는 수동 소자의 크기와 구조적 제한으로 수동 소자와 집적화가 어려운 문제점이 있다. 수동소자의 문제점들을 개선시키기 위하여 본 그룹에서는 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 새로운 구조의 전송선로를 제안하였다. 여러 그룹에서 제안된 MEMS 기술을 이용한 전송 선로 구조가 고주파 특성에 매우 우수한

특성을 보이고 있지만 공정 과정의 복잡함으로 인해 제작비용 및 MMICs 회로와의 집적화에 문제점을 나타내고 있다. 이에 반해 본 그룹은 공정 과정이 기존의 MEMS 공정에 비해 간단하며, MMICs 회로와 높은 집적화 특성을 가지고 있는 DAML (Dielectric-supported Air-gapped Microstrip Line)을 제안하였다<sup>[1]</sup>. 제안된 전송선로를 이용하여 Dual-Mode SIR(Stepped Impedance Resonator) 대역통과 여파기를 제작하여 그 특성을 살펴보았다.

### II. DAML 의 특징

제안된 DAML 구조는 기존의 마이크로 스트립 라인에서 필드가 유전체를 매질로 하여 전송되는 것과는 다르게 신호선을 유전체 지지대를 사용하여 공기 중으로 띄우면서 공기를 매질로 사용하도록 제작하여 기관 유전체에 의한 손실을 최대한 줄일 수 있는 에어브릿지 형태의 전송 선로이다. 신호선은 유전체지지대를 사용하여 그라운드면 으로부터 10 um 높이를 가지고 공기 중에 위치하고 있으며 그라운드면 은 1 um 의 두께, 신호선은 5 um 의 두께를 가진다<sup>[1-5]</sup>. DAML의 측정결과 115 - 27 Ω 사이의 넓은 임피던스 범위를 가졌으며 50 GHz 에서 1.4 dB/cm의 낮은 손실 특성을 보였다. 제작과정은 MMIC 에 적용할 경우 총 III장의 추가 마스크 레이어로, 제작된 MMIC 위에 바로 적용

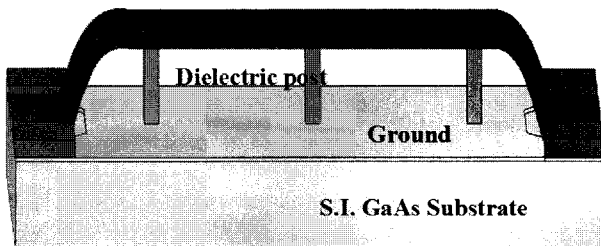


그림 1. 마이크로 머시닝 기술을 이용한 제안된 DAML 구조 <sup>[1-5]</sup>

Fig. 1. The proposed DAML structure using micromachining technology. <sup>[1-5]</sup>

할 수 있으며 공정시간이 비교적 짧고 간단하여 손쉽게 집적할 수 있는 점이 장점이다. 그림1에 DAML의 구조를 나타내었다.

### III. SIR 대역통과 여파기의 설계

일반적으로 SIR (stepped impedance resonator) 구조는 커플링 포트(coupling port)를 필요로 하며 커플링 포트는 면적 변화를 통하여 커플링 계수를 조절함으로써 여파기의 특성을 조절할 수 있다. MIM(Metal Insulator Metal) 커패시터는 커플링 포트로서 사용되는 동시에 DAML 구조로 이루어진 SIR구조를 물리적으로 지지하는 유전체 지지대의 역할을 동시에 수행한다. 그러므로 MIM커패시터는 불필요한 유전체 지지대의 사용을 최소화 할 수 있으며 커플링 계수를 조절할 때 일반적으로 사용되는 좁은 간격(narrow gap)을 이용하여 조절하는 것이 아니라 커패시터의 면적으로 조절할 수 있게 해준다. 이는 곧 고주파 대역에서 커플링 계수 조절이 용이하게 된다는 것을 의미한다. 그림 1에 SIR 구조의 대역 통과 여파기의 구조를 나타내었다. SIR 구조의 대역 통과 여파기는 perturbation의 길이 및 폭을 조절함으로써 임피던스의 제어를 쉽게 할 수 있다<sup>[6]</sup>.

그림 2에 나타낸 것처럼 공진기가 MIM 커패시터와 유전체 지지대로 받쳐져 공기 중에 떠 있으며, 공기를 유전체로 사용하는 마이크로 스트립 모드로 동작하며 CPW 구조와 연결되어 있는 커플링 포트의 구조는 CPW 입출력 모드로 쉽게 변환될 수 있다. DAML 구조를 이용한 Dual-Mode SIR 대역통과 여파기의 초기 설계목표는 94 GHz ~ 106 GHz까지 12 %의 상대대역폭을 가지며 감쇠특성은 100 GHz 에서 15 dB 이하를 갖도록 설정하여 필터 초기 설계 수치를 정하였다<sup>[6]</sup>.

stepped impedance 의 비  $R_z$ 를 0.5로 고정하고,

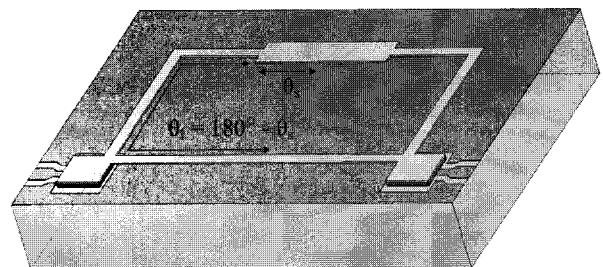


그림 2. DAML 기술을 사용하여 설계된 SIR 대역통과 여파기의 구조

Fig. 2. The designed SIR bandpass filter using DAML technology.

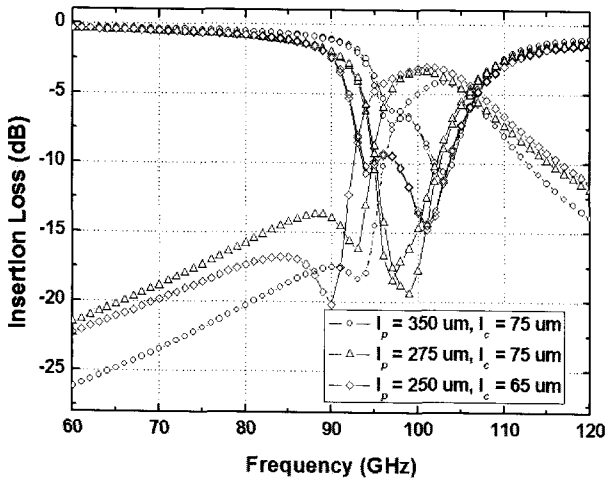


그림 3. 대역통과 여파기의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3. Simulation results of bandpass filter.

dual-mode 공식 (1)과 (2)를 이용하여 필터의 수치를 근사화 하였다.

$$\text{For even-mode: } R_2 \tan(\theta_1 f_{ne}) + \tan(\theta_s f_{ne}) = 0 \quad (1)$$

$$\text{For odd-mode: } \tan(\theta_1 f_{no}) + R_2 \tan(\theta_s f_{no}) = 0 \quad (2)$$

여기서  $R_z$ 는 stepped impedance의 비율이며,  $\theta_s$ 는 perturbation의 절반이 되는 길이이다. 또한  $\theta_1$ 은  $\lambda_g / 2 - \theta_s$ 의 대칭이 되는 길이이며  $f_{ne}$ 와  $f_{no}$ 는 even, odd mode normalize 공진 주파수이다. 식 (1) 과 (2)를 통해 필터의 초기 설계 값을 얻어낼 수 있다.

또한 stepped impedance  $Z_1, Z_s$ 의 값을 schematic tuning 툴 ADS를 이용하여 각각  $Z_s = 60 \Omega, Z_1 = 30 \Omega$  전송선 임피던스의 최적 값을 정하였다.

신호선의 특성 임피던스 ( $Z_1$ )는  $60 \Omega$ , perturbation ( $Z_s$ )는  $30 \Omega$  를 사용하였다. 감쇠 pole 은 커플링 포트의 크기에 민감하게 반응한다. 본 논문에서는 커플링 포트와 perturbation 의 크기를 함수로 하여 주파수 응답을 살펴보았다. 최적 화 하기 위해서 EM-시뮬레이션 툴 HFSS를 사용하여 parameter sweep 하여 최적화된 필터 사이즈를 결정하였다. 그림 3.은 시뮬레이션 결과로 여러 가지 결과 중 3가지 결과를 살펴본다( $l_p$ : 250, 275, 350  $\mu\text{m}$ , MIM capacitor size: 65, 75  $\mu\text{m}$ ). 이와 같은 과정을 통해 실제 제작할 필터의 사이즈를 확정하였다.

#### IV. 제작 및 측정결과

여파기를 설계하기 위해 사용된 DAML 전송선의 구조는 MINT의 MEMS 라이브러리를 이용하여 설계하였으며, 공정 또한 간단하고 쉬워 매우 높은 수율을 보인다<sup>[1~2]</sup>. 그림 4는 제작된 여파기의 모습을 보여주고 있다.

제작된 Dual-Mode SIR 대역통과 여파기는 Anritsu사의 ME7808 vector network analyzer를 사용하여 on-wafer 측정하였으며 line-reflect-match, LRM 방법으로 calibration 을 수행하였다. 그림 5는 측정결과를 보여 주고 있으며 이 결과를 보면 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 특히 측정결과로부터 낮은 주파수 쪽에서 나타나는 모드의 스킵트 특성이 만족스러운 결과를 얻었다. 표 1에 다른 대역통과 여파기와 비교하였다. 본 논문에서 제안한 구조가 갖는 장점은 쉬운 공정 및 기존의 MMIC 와의 집적화가 다른 MEMS 기술보다 유리하다는 점이다. 또한 membrane 이나 LIGA 와 같은 기술과 비교해 보아도 삽입손실 등의 특성이 우수하다.

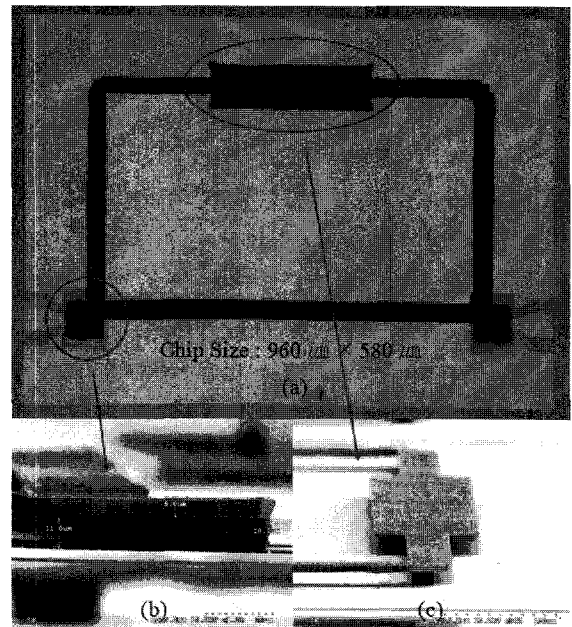


그림 4. 제작된 대역통과 여파기의 사진  
(a) 대역통과 여파기의 전체 사진  
(b) MIM 커패시터의 SEM 사진  
(c) Perturbation 의 SEM 사진

Fig. 4. Photograph of the fabricated bandpass filter.  
(a) Photograph of the bandpass filter  
(b) SEM photo of MIM capacitor  
(c) SEM photo of perturbation area

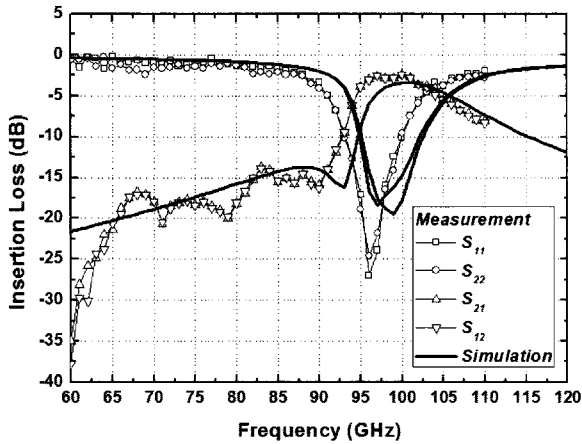


그림 5. 대역통과 여파기의 측정결과

Fig. 5. Measured results of bandpass filter.

표 1. 다른 대역통과 여파기와 특성 비교

Table 1. Comparison of different Bandpass filter.

Ref.	Characteristic			
	Technique	IL (dB)	BW (%)	Freq. (GHz)
[7]	Membrane	2.2	12.5	95
[8]	BCB	6.968	5	94
[9]	LIGA	3.49	5	95
[10]	CPW	2.7	10	95
[11]	CPW	4.14	5	92
[12]	Membrane	2.2	11.3	94.7
This paper	DAML	2.65	12	97

### V. 결 론

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 사용한 DAML 구조를 이용하여 W-Band Dual-Mode SIR 대역통과 여파기를 설계 및 제작하였다. 제작된 여파기의 크기는  $980 \times 820 \text{ um}^2$  이며 커플링 커패시터의 면적은  $75 \times 75 \text{ um}^2$ , perturbation 의 길이는  $275 \text{ um}$ 이다. 제작된 여파기 특성은 97 GHz 중심으로 12 % 상대대역폭을 나타내었으며, 97 GHz 에서 2.7 dB 의 삽입손실, 25 dB의 감쇠특성을 보였다. 본 논문에서 제안한 BPF는 100 GHz 대역에서 양호한 특성을 나타 내었으며 기존의 MMIC 와의 집적화가 기존의 MEMS 기술에 비하여 용이한 장점을 가지고 있다.

### 참 고 문 헌

[1] Han-Shin Lee, Sung-Chan Kim, Byeong-Ok Lim, Dong-Hoon Shin and Jin-Koo Rhee,

“Fabrication of new micromachied transmission line with dielectric posts for millimeter-wave applications,” J. Micromech. Microeng, 14, pp 746-749, 2004.

[2] T.-J. Baek, B.-S. Ko, D.-H. Shin, S.-C. Kim, B.-O. Lim, S.-K. Kim, H.-C. Park, and J.-K. Rhee, “Fabrication of a Band-Reject Filter using Dielectric-Supported Air-gapped Microstriplines,” Microwave and Optical Technology Letters, vol. 44, no. 1, pp 1~24, Jan. 2005.

[3] Baek-Seok Ko, Han-Shin Lee, Tae-Jong Baek, Sung-Chan Kim, Byeong-Ok Lim, Tae-Soon Yun, Dong-Hoon Shin, Young-Hoon Chun, Hyun-Chang Park, Jong-Chul Lee and Jin-Koo Rhee, “Low Loss Rat-race Coupler and Miniaturized Branch-Line Coupler Fabrication for V-Band Range Using with Surface Micromachining Technology,” International Joint Conference of the TSMMW2005/MINT-MIS2005, pp 188~191, 2005.

[4] Sung-Chan Kim, Baek-Seok Ko, Tae-Jong Baek, Byeong-Ok Lim, Dan An, Dong-Hoon Shin and Jin-Koo Rhee, “Hybrid Ring Coupler for W-Band MMIC Applications using MEMS Technology,” IEEE Microwave and Wireless Components Letter, vol. 15, no. 10, pp. 652~654, Oct 2005.

[5] S. C. Kim, D. An, B. O. Lim, T. J. Baek, D. H. Shin, and J. K. Rhee, “High-Performance 94-GHz Single Balanced Mixer using 70-nm MHEMTs and Surface Micromachined Technology,” IEEE Electron Device Letters, vol. 27, no. 1, pp 28~30, Jan 2006.

[6] Matsuo, M.; Yabuki, H.; Makimoto, M, “Dual-mode stepped-impedance ring resonator for bandpass filter applications,” Microwave Theory and Techniques, vol. 49, issue 7, pp 1235~1240, July 2001.

[7] Stephen V. Robertson, Linda P. B. Katehi, Gabriel M. Rebeiz, “Micromachined W-Band Filters,” Microwave Theory and Techniques, vol. 44, no. 4, pp 598~606, April 1996.

[8] Gaëtan Prigent, Eric Rius, François Le Penneç, Sandrick Le Maguer, Cédric Quando, Gonzague Six, and Henri Happy, “Design of Narrow-Band DBR Planar Filters in Si-BCB Technology for Millimeter-Wave Applications,” Microwave Theory and Techniques, vol. 52, no. 3, pp 1045~1051, March 2004.

[9] Firas Sammoura, Ying Cai, Chen-Yu Chi, Toshiki Hirano, Liwei Lin’, and Jung-Chih Chiao, “A Micromachined W-Band Iris Filter,”

The 13th Internation Conference on Solid-State Sensors, Acuators and Microsystems, pp 1067~1070, June 2005.

[10] Farshid Aryanfar, Kamal Sarabandi, "Characterization of Semilumped CPW Elements for Millimeter-Wave Filter Design," Microwave Theory and Techniques, vol. 53, no. 4, pp 1288~1293, April 2005.

[11] Eric Rius, Gaëtan Prigent, Henri Happy, Gilles Dambrine, Samuel Boret, and Alain Cappy, "Wide- and Narrow-Band Bandpass Coplanar Filters in the W-Frequency Band," Microwave Theory and Techniques, vol. 51, no. 3, pp 784~791, March 2003.

[12] Stephen V. Robertson, Linda P. B. Katehi, and Gabriel M. Rebeiz, "Micromachined Self-packaged W-Band Bandpass Filters," IEEE MTT-S Digest, pp 1543~1546, 1995.

저 자 소 개



백 태 중(학생회원)  
2003년 중부대학교  
정보통신공학과 (공학사)  
2005년 동국대학교  
전자공학과 (공학석사)  
2005년~현재 동국대학교  
전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : RF MEMS 부품설계 및 제작, E-Beam Lithography, MMIC 부품설계 및 제작>



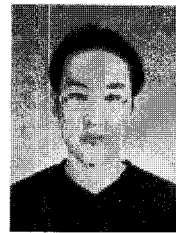
이 상 진(학생회원)  
2003년 중부대학교  
정보통신공학과 (공학사)  
2005년 동국대학교  
전자공학과 (공학석사)  
2005년~현재 동국대학교  
전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 반도체 및 RF 집적회로 설계, MMIC를 이용한 통신 모듈설계, Flip chip 기술을 이용한 패키징>



한 민(학생회원)  
2002년 동국대학교  
전자공학과 (공학사)  
2006년 동국대학교  
전자공학과 (공학석사)  
2006년~현재 동국대학교  
전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : E-beam lithography, 초고주파회로 설계 및 제작>



임 병 옥(학생회원)  
2000년 국립 한경대학교  
전자공학과 (공학사)  
2002년 동국대학교  
전자공학과 (공학석사)  
2002년~현재 동국대학교  
전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 밀리미터파 대역용 MIMIC 부품설계 및 제작>

윤 진 섭(정회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 44 권 SD 편제 9호 참조

이 진 구(평생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 44 권 SD 편제 9호 참조