

DAML 구조를 이용한 새로운 구조의 SIR BPF 의 설계 및 제작

백태종 김성찬 임병옥 신동훈 이진구
동국대학교 밀리미터파신기술연구센터 (MINT)

Studies on Fabrication of Novel Micromachined SIR BPF using DAML

Tae-Jong Baek Sung-Chan Kim Byeong-Ok Lim Dong-Hoon Shin and Jin-Koo Rhee
Millimeterwave INovation Research Center, Dongguk University (MINT)
E-mail : jkrhee@dongguk.edu

Abstract

In this paper, we proposed a new type SIR bandpass filter using DAML. This filter is consisted of 2 layers with MEMS resonator layer and CPW feed line. DAML ring resonator is elevated with 10 μm height from GaAs substrate. Using MEMS processing, we are able to realize SIR bandpass filter easily. Furthermore it is useful to integrate on conventional MMICs because it has CPW interfaces and ring resonator is isolated from substrate by air-gap. We optimized and measured the results that S_{21} attenuation at rejected band is over 15 dB, insertion loss is inside the limit of 3 dB, and relative bandwidth is about 10 % at 60 GHz

Keyword : MEMS, DAML, bandpass filter, step impedance resonator, dual mode resonator

해결하고 다양한 응용이 가능한 구조를 제안하였다. 제안한 구조는 기존의 마이크로스트립 라인에서 필드가 기관 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 air-bridge 형태의 전송선로를 제작하였다 [1].

본 논문에서는 새롭게 제안된 Dielectric-supported Airgapped Microstrip Lines (DAMLs) 구조를 이용하여 1- λ g SIR (Step Impedance Resonator) 대역통과 여파기를 설계, 제작 및 측정하였다. 제작된 SIR 대역통과 여파기의 구조는 DAML 구조로 구현하기 유리한 형태로써 구조물이 안정적으로 쉽게 제작 될 수 있으며, 신호선이 공중에 띄워져 있는 DAML 의 구조 상 CPW (Coplanar waveguide)를 사용하는 평면구조의 MMICs 와 자연스럽게 집적될 수 있다는 장점을 가지고 있다.

I. 서론

본 연구 그룹에서는 표면 마이크로머시닝 기술을 사용하여 기존의 전송선로[1]-[2] 가 갖는 문제점을

* 이 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에 의하여 수행되었다.

II. SIR 대역 여파 통과기의 설계

일반적으로 SIR 구조는 커플링 포트 (coupling port)를 필요로 하며 커플링 포트는 면적변화를 통하여 커플링 계수를 조절함으로써 여파기의 특성을 조절할 수 있다. MIM (Metal Insulator Metal) capacitor 는 커플링 포트로서 사용되는 동시에 DAML 구조로 이루어진 SIR 구조를 물리적으로 지지하는 유전체 지지대의 역할을 한다. 그러므로 MIM 커패시터는 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 조절하므로 손쉽게 커플링 계수를 조절할 수 있게 해준다. 그림 1 에 SIR 대역통과 여파기의 구조를 나타내었다. SIR 구조의 대역 통과 여파기는 perturbation 의 길이 및 폭을 조절함으로써 임피던스의 제어를 쉽게 할 수 있다 [4].

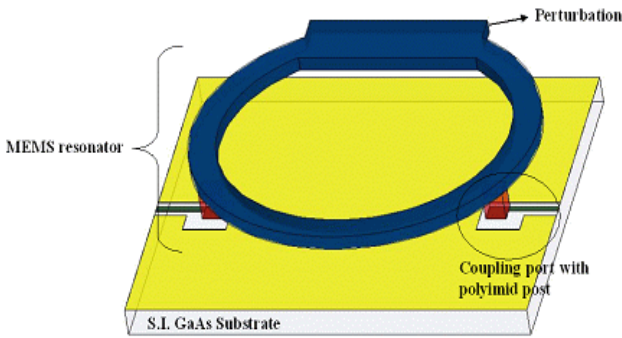


그림 1. MEMS 공진기를 이용한 SIR 대역 통과 여파기 구조

그림 1 에 나타난 것처럼 공진기가 MIM 커패시터와 유전체 지지대로 받쳐져 공기 중에 떠 있으며, 공기를 유전체로 사용하는 마이크로스트립 모드로 동작하며 CPW 구조와 연결되어 있는 coupling 포트의 구조는 CPW 입출력 모드로 쉽게 변환 될 수 있다.

MEMS DAML 구조를 이용한 SIR 대역통과 여파기의 초기 설계 목표는 56 GHz ~ 62 GHz 에서 10 %의 상대 대역폭을 갖으며 감쇠특성은 55 GHz 에서 15 dB 이하를 갖도록 설정하였으며 식 (1) ~ (4)을 이용하여 설계하였다. 우선, 10 % 대역폭을 갖도록 $R_z (=Z_1/Z_s)$ 값을 0.5 로 고정하여 식 (1)을 이용하여 여파기의 치수를 근사화 하였다 [4].

$$R_z \tan(\theta_1 f_{ne}) + \tan(\theta_s f_{ne}) = 0 \quad \text{기수 모드} \quad (1a)$$

$$\tan(\theta_1 f_{no}) + R_z \tan(\theta_s f_{no}) = 0 \quad \text{우수 모드} \quad (1b)$$

여기서 θ_s 는 Perturbation 의 길이이며, θ_1 은 $\lambda_g/2 - \theta_s$ 의 대칭이 되는 길이이다. 식 (1)를 통해 여파기의 수치를 근사화한 값을 표 1 에 나타내었다. Agilent ADS 을 이용한 시뮬레이션 결과 Z_1 과 Z_s 의 값을 각각 60 Ω 과 30 Ω 으로 최적화 하였다.

표 1. SIR 여파기의 초기 설계 수치

f_{ne}	f_{no}	θ_1 (degree)	θ_s (degree)
0.91	1.06	2.74	0.398

커플링 포트의 넓이를 ℓ_c 를 구현하는데 있어 감쇠 pole 은 MIM 커패시터의 사이즈에 민감하게 반응한다. 아래 식을 통해 MIM 커패시터의 사이즈를 정하였다[4].

MIM 커패시터의 커패시턴스 (capacitance) 는

$$C_s = \frac{J_{01}}{\omega_0 \times \sqrt{1 - (J_{01}/G_s)^2}} = 0.02315 \text{ pF} \quad (2)$$

여기서 ω_0 는 공진 진동수 이며, J_{01} 은 커플된 부분의 어드미턴스 인버터 파라미터이며,

$$J_{01} = \sqrt{\frac{G_s b_r \omega}{g_0 g_1}} \approx \sqrt{G_s b_r \omega} \approx 0.008 \quad (3)$$

여기서 $\sqrt{g_0 g_1} = \omega/k$ 이고 G_s 는 소스 컨덕턴스이고 ω 는 상대적인 대역폭이고 b_r 은 공진기 slope parameter 로서 π/Z_1 이고 k 는 식 (4)와 같이 표현되는 직교 공진 모드 사이에서 결정 되는 커플링계수이다.

$$k = \frac{2|f_{ne} - f_{no}|}{f_{ne} + f_{no}} \quad (4)$$

식 (2)에서 얻어진 0.02315 pF 의 MIM 커패시터의 커패시턴스를 얻기 위하여 우리는 링 공진기의 코너에 폴리미드 (polyimide) 유전체를 사용하여 MIM 커패시터를 설계 하였다. MIM 커패시터는 공기 중으로 진행되는 링 공진기를 지지할 뿐 아니라 MIM 커패시터의 커패시턴스를 증가시킨다. 첨가적으로 MIM 커패시터의 면적 조절을 통해서 커플링 계수를 쉽게 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 0.02315 pF 의 커패시턴스를 얻기 위하여 MIM 커패시터의 크기를 $86.45 \mu\text{m} \times 86.45 \mu\text{m}$ 으로 설정하였다. 우리는 표 1 에 나타난 표준 값으로부터 perturbation 의 전기적 길이 θ_s (물리적인 길이 ℓ_p)와 MIM 커패시터의 크기를 EM simulation (HFSS v9.1)을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과를 그림 2 에 나타내었다. 그림 2 에서 저지 대역에서의 S_{21} 의 pole 은 perturbation 의 길이가 길어지면 길어질수록 낮은 주파수 쪽으로 향하여 이동된다. 반면에 반사계수 S_{11} 은 dual mode 형태로 나타나기 때문에 완만하게 뒀을 알 수 있다.

III. SIR 대역 여파 통과기의 제작 및 측정

여파기를 설계하기 위해 사용된 DAML 전송선의 구조는 기존의 마이크로스트립 구조에서 신호가 기판 유전체를 매질로 하여 전송되는 것과 달리 신호선을

polyimide 유전체를 지지대로 이용하여 공기 중으로 띄움으로써 공기를 전송의 매질로 사용하여 이로 인해 기판 유전체에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 구조적으로 마이크로스트립 구조를 갖지만 동일 평면상에 전송선과 접지 면을 같이 형성할 수 있기 때문에 via-hole 과 같은 후면 공정 없이 간단히 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다.

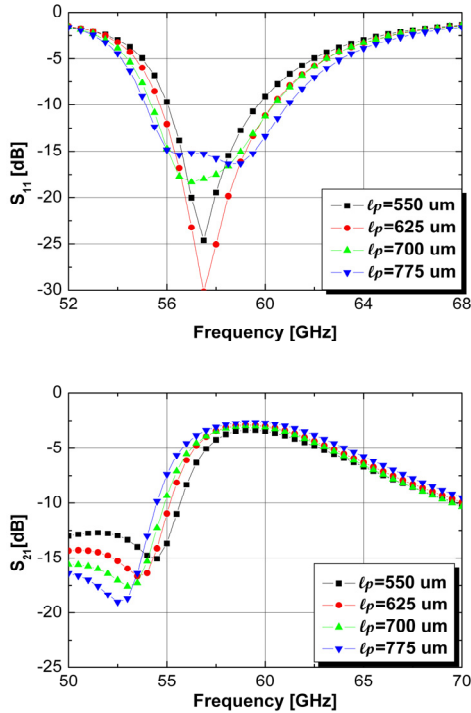


그림 2. Perturbation 의 길이의 변화에 따른 시뮬레이션 결과: (a) S_{11} , (b) S_{21}

그림 3 에 제작 공정 순서를 나타내었다. DAML 구조를 제작하기 위하여 접지면, 지지대, 희생층과 신호선 등 4 종류의 마스크가 사용 되었다. 공정의 첫 번째 단계는 웨이퍼의 초기세척 과정으로 TCE - Acetone - IPA - D.I.water 순으로 초기 세척을 시행하였다. 그림 3-(a)는 접지면 영역을 형성하는 과정으로 AZ 5214 레지스터를 사용하여 패터닝 과정을 수행한 후, 접지면 금속을 형성하기 위하여 Ti/Au 를 열적 증착기를 이용하여 각각 300/1000 Å 증착하였다.

그림 3-(b)는 지지대 영역을 형성하는 과정으로 폴리미드 유전체를 사용하여 형성하였고, 그림 3-(c)는 신호선을 공기 중에 띄우기 위해 10 μm 두께를 가진

희생 층을 형성하기 위해 AZ 4903 레지스터를 사용하여 패터닝 과정을 수행하였다. 다음으로 신호선 금속을 증착 시킬 때 수직적인 레지스터의 구조로 인한 신호선이 단락되는 현상과 후속 공정시 열에 인한 스트레스를 줄이기 위하여 대류 오븐에서 112 $^{\circ}\text{C}$ 온도로 3 분간 baking 과정을 수행하여 희생층 레지스터의 곡선 형태를 얻을 수 있다. 그림 3-(d)는 신호선 두께가 5 μm 두께의 신호선 금속을 형성하기 위한 과정으로 Au plating seed 층으로 Ti/Au 를 증착하였다. 그 위에 신호선 영역의 패터닝 과정을 수행하기 위하여 다시 한 번 AZ 4903 레지스터를 사용하여 도금틀을 형성하였다.

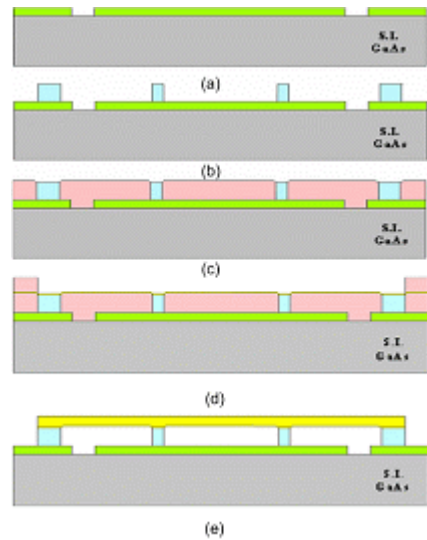


그림 3. DAML 구조의 공정 순서, (a) 접지면 형성, (b) 유전체 지지대 형성, (c) 희생층 형성 (d)도금 기반층 형성 (e) 전송선 형성

다음 공정으로 Au plating 장비를 사용하여 5 μm 두께의 Au 를 도금하였다. 이때 도금액의 온도는 60 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며 전류밀도는 0.3 A/dm^2 이었다. Au 를 증착 시킨 후 도금 틀 (AZ 4903 레지스터)을 아세톤 (Acetone)을 이용하여 제거하였으며 seed 금속 층을 제거하기 위하여 Au etchant 를 이용하여 노출된 Au 층을 먼저 제거하고, Ti 층은 BOE (Buffered Oxide Etchant)를 사용하여 제거하였다. 그림 3-(e)는 마지막 과정으로 희생층 영역을 제거하기 위하여 다시 한 번 아세톤을 이용하여 희생층 영역을 제거하여 공기 중에 떠 있는 전송선을 형성하였다.

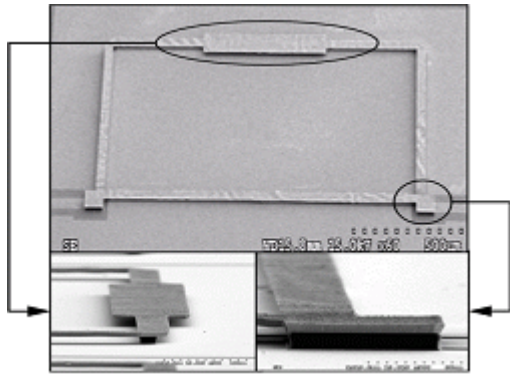
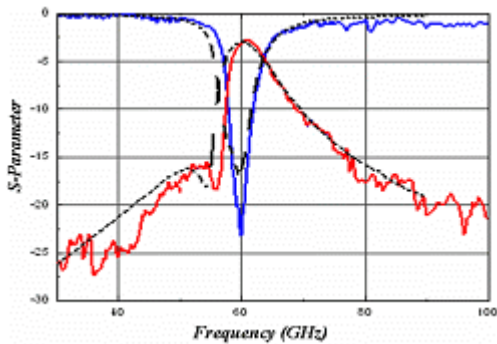
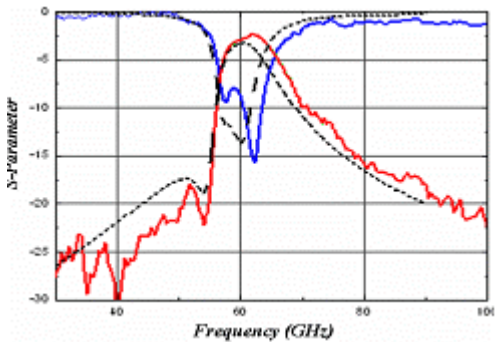


그림 4. 제작된 SIR 대역 통과 여파기의 SEM 사진

그림 4 는 제작된 SIR 대역 통과 여파기의 전자 현미경 사진이다. 측정을 위해 전송선로 양끝 단에 50 Ω CPW 패드를 연결 하였다. 여파기의 전체 크기는 1370 μm × 800 μm이다.



(a) $l_c = 90 \mu\text{m}$, $l_p = 550 \mu\text{m}$



(b) $l_c = 100 \mu\text{m}$, $l_p = 700 \mu\text{m}$

그림 5. 제작된 SIR 대역통과 여파기의 측정 결과,

(점선: 시뮬레이션 결과, 실선: 측정 결과)

제작된 SIR 대역 통과 여파기는 Anritsu 사의 ME7808 vector network analyzer 를 사용하여 on-wafer 측정

하였으며 Anritsu Thru-short-line (TRL) calibration kit 을 사용하여 calibration 하였다. 그림 5 은 측정 결과를 보여 주고 있으며 이 결과를 보면 측정 결과와 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 제작된 필터의 전체 크기는 1370 μm × 800 μm이며, 커패시터 면적은 90 μm × 90 μm, perturbation 의 길이는 550 μm (30 Ω)으로 제작되었다. 제작된 필터의 측정 결과, 10 %의 대역폭, 1.6 의 세이프 팩터, 60.7 GHz에서 2.84 dB의 삽입손실, 56 GHz에서 18.4 dB의 감쇠 특성, 60 GHz에서 23 dB의 반사계수의 우수한 특성을 얻었다.

IV. 결론

새롭게 제안된 전송선로인 DAML 구조를 이용하여 SIR 대역 통과 여파기를 설계 및 제작하였다. 제작된 SIR 대역 통과 여파기에 사용된 MIM 커패시터는 커플링 포트로서 사용되는 동시에 공기중에 들어 올려진 공진기의 지지대로 사용되어 유전체 지지대를 최소화할 수 있었다. 또한 DAML 구조를 사용함으로써 평면구조의 MMICs 와의 집적화에도 매우 유리하다. 제작된 소자의 구조는 다양한 수동소자에 적용하기가 용이하며 구조적 제약이 없으므로 향후 MMICs 와의 집적화에 유리할 것으로 예상 된다.

참고문헌

[1] C. Kermarrec, et al., "The first GaAs fully integrated microwave receiver for DBS applications at 12 GHz," 14th European Microwave Conference Proceedings, pp. 749-754, 1985.

[2] L. Katehi, G. Rebiz, T. Weller, R. Drayton, H-J Cheng, and J. Whitaker, "Micro- machined Circuits for Millimeter and Sub-millimeter-wave Applications," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 35, no. 5, pp. 9-17, Oct. 1993.

[3] H. S. Lee, D. H. Shin, Y. H. Chun, S. C. Kim, B. O. Lim, T. J. Baek, S. K. Kim, H. C. Park, and J. K. Rhee, "Design and characterisation of micromachied transmission line with dielectric post fpr millimetre-wave applications," Electronics Letters, vol. 39, pp. 1827-1828, Nov. 2003.

[4] M. Matsuo, H. Yabuki, and M. Makimoto, "Dual-Mode Stepped Impedance Ring Resonator for Bandpass Filter Applications," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 49, no. 7, pp. 1235~1240, July 2001.