

DAML 구조를 이용한 새로운 형태의 SIR 대역 통과 여파기의 설계 및 제작

Studies on Fabrication of Novel Micromachined SIR Bandpass Filter Using DAMLs

백태종 · 고백석 · 김성찬 · 임병옥 · 안 단 · 김순구 · 신동훈 · 이진구

Tae-Jong Baek · Baek-Seok Ko · Sung-Chan Kim · Byeong-Ok Lim · Dan An · Soon-Koo Kim · Dong-Hoon Shin · Jin-Koo Rhee

요 약

본 논문에서 우리는 DAML(Dielectric Air-gapped supported Microstrip Line) 구조를 이용하여 새로운 구조의 SIR 대역 통과 여파기를 설계·제작하였다. 제작된 SIR 대역 통과 여파기는 MIM capacitor를 커플링 포트로서 사용함으로써 DAML 구조를 이용하여 쉽게 제작될 수 있다. 더욱이 이러한 구조는 CPW interfaces를 가지고 있고 DAML 구조의 링 공진기는 기판으로부터 10 μm 높이로 분리되어 있기 때문에 일반적인 평면 구조의 MMICs와 집적하기 유리하다. 제작된 필터의 측정 결과, 60 GHz에서 10%의 대역폭, 60.7 GHz에서 2.84 dB의 삽입 손실, 56 GHz에서 18.4 dB의 감쇠 특성, 60 GHz에서 23 dB의 반사 특성을 얻었다.

Abstract

In this paper, we proposed a new type SIR bandpass filter using DAMLs. This filter is consisted of 2 layers with MEMS resonator layer and CPW feed line. DAMLs 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.

Key words : MEMS, DAMLs, Bandpass Filter, Ring Resonator, Step Impedance Resonator

I. 서 론

최근 통신 시장의 급격한 발전으로 가용 주파수 대의 불가피한 확장이 요구되었으며 이로 인한 밀리미터파 대역의 연구가 활발히 진행 중에 있다. 통신 시스템의 저가격화, 초소형화 및 복합 기능의 필요성은 이제 당연한 과제가 되었고, 이와 같은 과제들의 돌파구를 찾기 위해 여러 가지 방안들이 연구, 발

표되고 있다. 대표적으로 시스템의 소형화 및 저가 격화를 실현할 수 있는 MMICs(Monolithic Microwave Integrated Circuits) 기술의 발전이 필수적으로 요구되고 있으나 현재의 MMICs 회로는 수동 소자의 크기와 구조적 제한으로 수동 소자와 집적화가 어려운 문제점이 있다. 수동 소자의 문제점들을 개선시키기 위하여 구조의 제약으로부터 자유로우며 고성능 소자의 제작이 용이한 MEMS(Micro Electro Mechanical

「이 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술연구센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 지원금에 의하여 수행되었다. 동국대학교 밀리미터파 신기술연구센터(Millimeter-wave INnovation Technology Research Center, MINT, Dongguk University)

· 논문 번호 : 20050613-066

· 수정완료일자 : 2005년 7월 8일

System) 기술을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 특히 고주파 집적 회로에서의 저 손실 및 우수한 특성을 얻기 위하여 가장 기본이 되는 수동 소자가 전송 선로이며 밀리미터파 대역에서의 MEMS 전송 선로를 통한 신호 손실을 최소화하기 위한 노력이 여러 그룹에서 이루어지고 있다^{[2]~[7]}. 여러 연구 그룹에서 제안된 MEMS 기술을 이용한 전송 선로 구조는 고주파에서 손실 특성에 관해서는 매우 좋은 특성을 보여주고 있으나, 공정 과정이 매우 복잡하여서 MMICs 회로에 적용하기에 고려해야 할 사항이 많다. 그러므로 본 그룹에서는 공정 과정이 기존의 MEMS 공정에 비해 간단하며 기존의 MMICs 회로에 높은 호환성을 가지고 있는 DAMLs(Dielectric-supported Air-gapped Microstrip Line structure)을 제안하였다^{[8],[9]}. 본 연구 그룹에서 제안한 구조는 기존의 마이크로스트립 라인에서 필드가 기판 유전체를 매질로 하여 전송되는 것과는 다르게 신호선을 유전체 지지대를 사용하여 공기 중으로 띄우면서 공기를 매질로 사용하도록 제작하여 기판 유전체에 의한 손실을 최대한 줄일 수 있는 air-bridge 형태의 전송 선로를 제작하였다.

본 논문에서는 새롭게 제안된 DAML 구조를 이용하여 1-λg SIR(Self Impedance Resonator) 대역 통과 여파기를 설계, 제작 및 측정하였다. 제작된 SIR 대역 통과 여파기의 구조는 DAMLs로 구현하기 유리한 형태로써 구조물이 안정적으로 쉽게 제작될 수 있으며, 신호선이 공중에 띄워져 있는 DAML의 구조상 CPW(Coplanar Waveguide)를 사용하는 평면 구조의 MMICs와 자연스럽게 집적될 수 있다는 장점을 가지고 있다.

II. SIR 대역 통과 여파기의 설계

일반적으로 SIR 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) capacitor는 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 있으

며 커플링 계수를 조절할 때 일반적으로 사용되는 좁은 간격(narrow gap)을 이용하여 조절하는 것이 아니라 커패시터의 면적으로 조절함으로써 손쉽게 커플링 계수를 조절할 수 있게 해준다. 그림 1에 SIR 대역 통과 여파기의 구조를 나타내었다. SIR 구조의 대역 통과 여파기는 perturbation의 길이 및 폭을 조절함으로써 임피던스의 제어를 쉽게 할 수 있다^{[10],[11]}.

그림 1에 나타낸 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 변환될 수 있다.

MEMS DAML 구조를 이용한 SIR 대역 통과 여파기의 초기 설계 목표는 56 GHz~62 GHz에서 10%의 상대 대역폭을 가지며 감쇠 특성은 55 GHz에서 15 dB 이하를 갖도록 설정하였으며 식 (1)~(4)를 이용하여 설계하였다^{[10],[11]}. 우선, 10% 대역폭을 갖도록 $R_z (=Z_1/Z_s)$ 값을 0.5로 고정하여 식 (1)을 이용하여 여파기의 치수를 근사화 하였다^[10].

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

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

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

커플링 포트의 넓이를 l_c 를 구현하는데 있어 감쇠 pole은 MIM 커패시터의 사이즈에 민감하게 반응

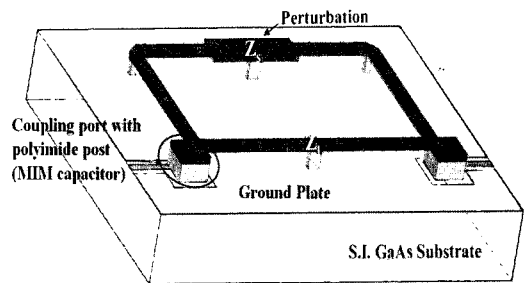


그림 1. MEMS 공진기를 이용한 SIR 대역 통과 여파기 구조
Fig. 1. Schematic of the SIR band pass filter using MEMS resonator.

표 1. SIR 여파기의 초기 설계 수치

Table 1. The dimensions of the SIR bandpass filter.

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

한다. 아래 식을 통해 MIM 커패시터의 사이즈를 정하였다^[10]. 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 진동수이며, J_{01} 은 커플된 부분의 어드미턴스 인버터 파라미터이며,

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

여기서 $\sqrt{g_0 g_1} = w/k$ 이고 G_s 는 소스 컨덕턴스이고 w 는 상대적인 대역폭이며 b_r 은 공진기 slope parameter로서 π/Z_1 이고 k 는 식 (4)와 같이 표현되는 직교 공진 모드 사이에서 결정되는 커플링 계수이다.

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

위 식들을 이용하여 소자의 모든 사이즈를 결정하였다. 각도로 묘사되는 $\theta_s = 0.398$ 의 물리적 길이 311 μm 는 식 (5)를 통해 표 1로부터 구하였다.

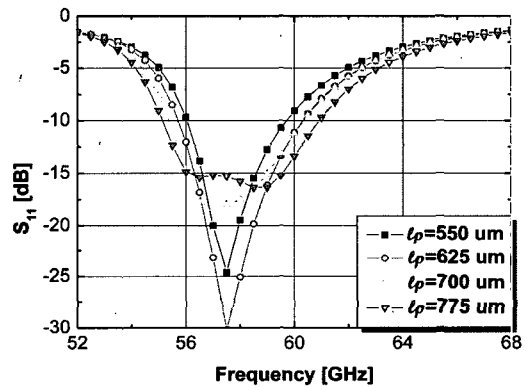
$$\ell_p = \theta_s \times (\lambda_g/2)/\pi \quad (5)$$

여기서 λ_g 는 DAMLs의 관내 파장이고 ℓ_p 는 perturbation의 물리적 길이이다. 다음으로 식 (2)에서 얻어진 0.02315 pF의 MIM 커패시터의 커패시턴스를 얻기 위하여 우리는 링 공진기의 코너에 폴리미드(polyimide) 유전체를 사용하여 MIM 커패시터를 설계하였다. 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 pF의 커패시턴스를 얻기 위하여 MIM 커패시터의 크기를 $86.45 \mu\text{m} \times 86.45 \mu\text{m}$ 으로 설정하였다. 우리는 표 1에 나타낸 표준 값으로부터 perturbation의 전기적 길이 θ_s (물리적인 길이 ℓ_p)와 MIM 커패시터의 크기를 EM si-

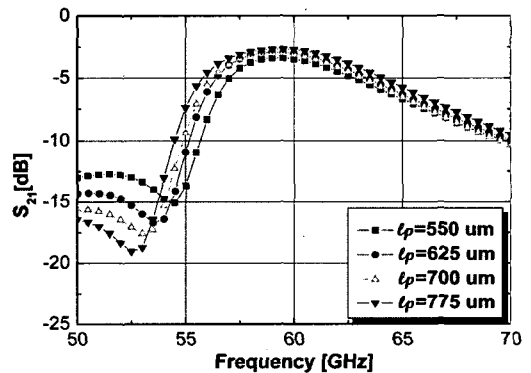
mulation(HFSS v9.1)을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과를 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 그림 2에서 저지 대역에서의 S_{21} 의 pole은 perturbation의 길이가 길어지면 길어질수록 낮은 주파수 쪽으로 향하여 이동된다. 반면에 반사계수 S_{11} 은 dual mode가 형태로 나타나기 때문에 완만하게 됨을 알 수 있다. 그림 3은 capacitor의 면적의 변화에 의한 S_{11} , S_{21} 의 결과들을 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 커패시턴스의 증가에 따라서 삽입 손실은 약간 향상이 되고 저지 대역의 감쇠는 더욱더 나빠지게 된다.

III. SIR 대역 통과 여파기의 제작 및 측정

여파기를 설계하기 위해 사용된 DAML 전송선의 구조는 기존의 마이크로스트립 구조에서 신호가 기



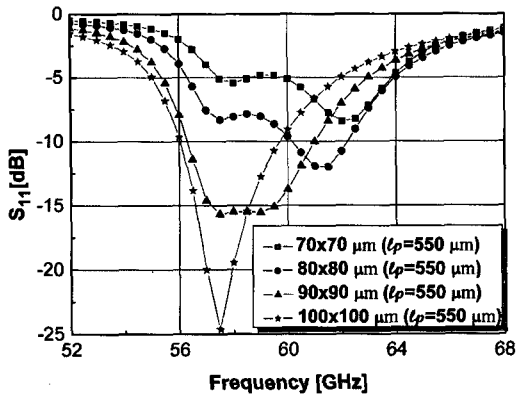
(a) S_{11}



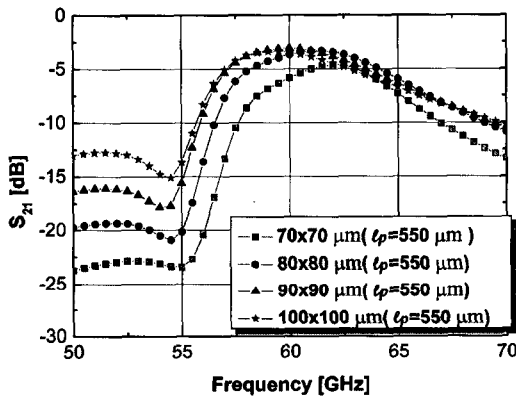
(b) S_{21}

그림 2. Perturbation의 길이의 변화에 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 2. Simulation results due to the variation of the length of a perturbation length (ℓ_p).



(a) S_{11}



(b) S_{21}

그림 3. Capacitor의 면적의 변화에 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulation results due to the variation of the capacitor area.

판 유전체를 매질로 하여 전송되는 것과 달리 신호선을 polyimide 유전체를 지지대로 이용하여 공기 중으로 띄우므로써 공기를 전송의 매질로 사용하여 이로 인해 기판 유전체에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 구조적으로 마이크로스트립 구조를 갖지만 동일 평면상에 전송 선과 접지면을 같이 형성할 수 있기 때문에 via-hole과 같은 후면 공정 없이 간단히 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 4는 제작 공정 순서를 나타내고 있다. DAML 구조를 제작하기 위하여 접지면, 지지대, 희생층과 신호선 등 4종류의 마스크가 사용되었다. 공정의 첫번째 단계는 웨이퍼의 초기세척 과정으로 TCE-Acetone-IPA-D.I. water 순으로 초기 세척을 시행하였다. 그림 4(a)는 접지면 영역을 형성하는 과

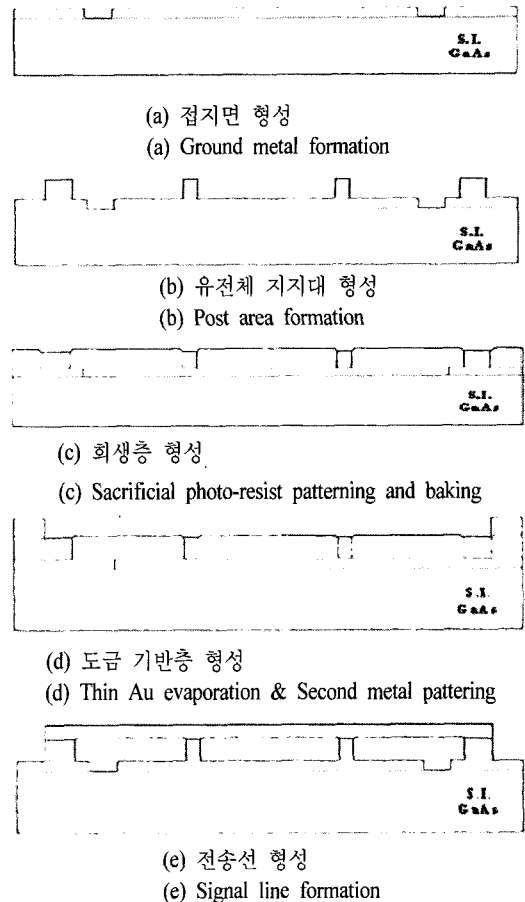


그림 4. DAML 구조의 공정 순서

Fig. 4. Fabrication process of DAMLs.

정으로 AZ 5214 레지스터를 사용하여 패터닝 과정을 수행한 후, 접지면 금속을 형성하기 위하여 Ti/Au를 열적 증착기를 이용하여 각각 300/1000 Å 증착하였다. 그림 4(b)는 지지대 영역을 형성하는 과정으로 폴리미드 유전체를 사용하여 코팅(coating)과 패터닝(patterning) 과정을 수행하였으며 대류 오븐을 사용하여 135 °C에서 3분간 baking 과정을 수행하였다. 그림 4(c)는 신호선을 공기 중에 띄우기 위해 10 μm 두께를 가진 희생 층을 형성하기 위해 AZ 4903 레지스터를 사용하여 사진 식각 공정을 통한 패터닝 과정을 수행하였다. 다음으로 신호선 금속을 증착시킬 때 수직적인 레지스터의 구조로 인한 신호선이 단락되는 현상과 후속 공정시 열에 의한 스트레스를 줄이기 위하여 대류 오븐에서 112 °C 온도로 3분간 baking 과정을 수행하여 희생층 레지스터의 곡선 형

대를 얻을 수 있다. 그림 4(d)는 신호선 두께가 5 μm 두께의 신호선 금속을 형성하기 위한 과정으로 Au plating seed 층으로 Ti/Au를 각각 열 증착 방법을 사용하여 각각 300/1000 Å을 연속적으로 증착하였다. 그 위에 신호선 영역의 패터닝 과정을 수행하기 위하여 다시 한 번 AZ 4903 레지스터를 사용하여 원하는 두께인 5 μm 두께의 신호선 금속을 형성하기 위한 과정으로 Au plating seed 층으로 Ti/Au를 각각 열 증착 방법을 사용하여 각각 300/1000 Å을 연속적으로 증착하였다. 그 위에 신호선 영역의 패터닝 과정을 수행하기 위하여 다시 한 번 AZ 4903 레지스터를 사용하여 원하는 두께인 5 μm 보다 높은 두께로 패터닝 과정을 수행하여 도금층을 형성하였다. 다음 공정으로 Au plating 장비를 사용하여 5 μm 두께의 Au를 도금하였다. 이때 도금액의 온도는 60 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며 전류밀도는 0.3 A/dm^2 이었다. Au를 증착시킨 후 도금 틀(AZ 4903 레지스터)을 아세톤(Acetone)을 이용하여 제거하였으며 seed 금속 층을 제거하기 위하여 Au etchant를 이용하여 노출된 Au층을 먼저 제거하고, Ti층은 BOE(Buffered Oxide Etchant)를 사용하여 제거하였다. 그림 4(e)는 마지막 과정으로 희생층 영역을 제거하기 위하여 다시 한 번 아세톤을 이용하여 희생층 영역을 제거하여 공기 중에 떠 있는 전송선을 형성하였다. 그림 5는 제작된 SIR 대역 통과 여파기의 전자 현미경 사진이다. 신호선과 접지면 사이에 존재하던 희생층이 모두 제거되었고, 커플링 포트 및 유전체 지지대가 안정적으로 여파기를 지지하고 있는 것을 확인할 수 있다. 측정을 위해 전송 선로 양끝 단에 50 Ω CPW 패드를 연결하였다. 여파기의 전체 크기는 1370 $\mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$ 이다.

제작된 SIR 대역 통과 여파기는 Anritsu사의 ME 7808 vector network analyzer를 사용하여 on-wafer 측정하였으며 Anritsu Thru-short-line(TRL) calibration kit을 사용하여 calibration 하였다. 그림 6은 측정 결과를 보여 주고 있으며 이 결과를 보면 측정 결과와 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

특히 측정 결과로부터 낮은 주파수 쪽에서 나타나는 모드의 스킵트 특성이 만족스러운 결과를 얻었다. Perturbation 길이가 길면 길수록 낮은 주파수의 저지 대역에서 sharp한 S_{21} 특성을 얻었으며 표 2에서 보여주는 것처럼 dual-mode 효과에 의해서 대역

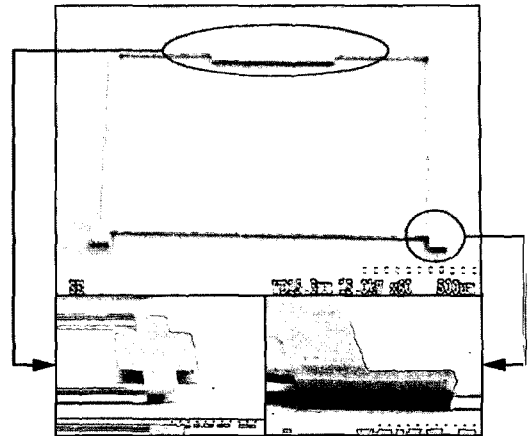


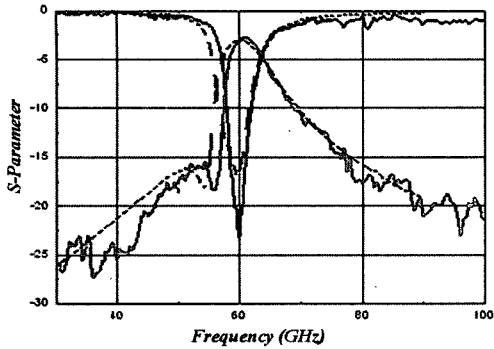
그림 5. 제작된 SIR 대역 통과 여파기의 SEM 사진
Fig. 5. The SEM photograph of the fabricated band pass filter.

폭이 넓어짐을 알 수 있었다. 제작된 여파기의 측정 결과로써 대역폭은 10 %, sharp factor는 1.6, 삽입 손실은 60.7 GHz에서 2.84 dB을 얻었으며, attenuation은 56 GHz에서 18.4 dB과 60 GHz에서 23 dB의 반사 계수를 얻었다. SIR 대역 통과 여파기를 제작함에 있어 기존의 방식은 길고 좁은 갭의 coupled 라인을 통하여 입출력 포트가 정의되고 또한 이 커플링 포트가 interdigital edge coupling 방식으로 구현되기 때문에 coupling 값을 조절함에 있어서 좁은 간격을

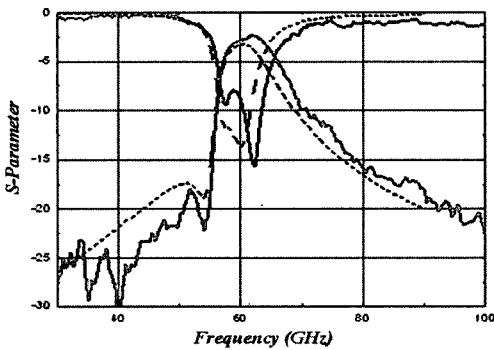
표 2. 두 가지 형의 SIR 대역 통과 여파기의 측정 결과(여파기 1: $l_c=90 \mu\text{m}$, $l_p=550 \mu\text{m}$, 여파기 2: $l_c=100 \mu\text{m}$, $l_p=700 \mu\text{m}$)

Table 2. The measurement results of two type of SIR bandpass filter(filter 1: $l_c=90 \mu\text{m}$, $l_p=550 \mu\text{m}$, filter 2: $l_c=100 \mu\text{m}$, $l_p=700 \mu\text{m}$)

	여파기 1	여파기 2
대역폭	10 %	15 %
Shape factor (left pole)	1.6	1.375
삽입손실 (peak)	2.84 dB (@ 60.7 GHz)	2.38 dB (@ 61.7 GHz)
감쇠	18.4 dB (@ 56 GHz)	22 dB (@ 54 GHz)
반사계수	23 dB (@ 60 GHz)	9.3 dB (@ 57 GHz) 15 dB (@ 62 GHz)



(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 6. 제작된 SIR 대역 통과 여파기의 측정 결과 (점선: 시뮬레이션 결과, 실선: 측정 결과)
 Fig. 6. Measurement results of the fabricated SIR band pass filter (dotted line: simulated results, solid line: measured results).

구현하기가 매우 어렵다는 단점이 있다. 그러나 본 논문에서는 새롭게 제안된 표면 마이크로머시닝 기술을 이용한 DAML 구조를 적용함으로써 이러한 커플링 포트를 좁은 간격을 이용하여 제작하는 것이 아니라 3-stack MIM capacitor로 정의하여 쉽게 구현할 수 있었다. 이런 커플링 포트는 공중으로 띄어진 공진기의 지지대의 역할을 동시에 수행하여 적은 수의 유전체 지지대를 사용하여 필터를 제작할 수 있었다. 또한 가장 주목할 만한 사실은 공기 층으로 들어 올려진 2층 구조의 필터는 CPW 구조의 MMICs와 접지면을 공유함으로써 평면구조의 MMICs와 자연스럽게 집적될 수 있다는 점이다.

IV. 결 론

새롭게 제안된 전송 선로인 DAML 구조를 이용하여 SIR 대역 통과 여파기를 설계 및 제작하였다. 제작된 SIR 대역 통과 여파기에 사용된 MIM 커패시터는 커플링 포트로서 사용되는 동시에 공기 층에 들어 올려진 공진기의 지지대로 사용되어 유전체 지지대를 최소화할 수 있었다. 또한 DAML 구조를 사용함으로써 평면 구조의 MMICs와의 집적화에도 매우 유리하다. 제작된 필터의 전체 크기는 $1370 \mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$ 이며, 커패시터 면적은 $90 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$, perturbation의 길이는 $550 \mu\text{m}$ (30Ω)으로 제작되었다. 제작된 필터의 측정 결과, 10%의 대역폭, 1.6의 세이프 팩터, 60.7 GHz에서 2.84 dB의 삽입 손실, 56 GHz에서 18.4 dB의 감쇠 특성, 60 GHz에서 23 dB의 반사 계수의 우수한 특성을 얻었다. 제작된 소자의 구조는 다양한 수동 소자에 적용하기가 용이하며 구조적 제약이 없으므로 향후 MMICs와의 집적화에 유리할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [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, "Micromachined circuits for millimeter and submillimeter-wave applications", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 35, no. 5, pp. 9-17, Oct. 1993.
- [3] H. Henri, S. Gonzague, V. Mattieu, C. Alain, and D. Gilles, "Ultra low loss transmission lines on low resistivity silicon substrate", *Microwave Symposium Digest 2000 IEEE MTT-s International*, vol. 3, pp. 1803-1812, Jun. 2000.
- [4] E. C. Park, Y. S. Choi, B. I. Kim, J. B. Yoon, and E. S. Yoon, "A low loss MEMS transmission line with shielded ground", *IEEE The Sixteenth, MEMS-03 Kyoto*, pp. 136-139, Jan. 2003.
- [5] V. Milanovic, M. Gaitan, E. D. Brown, and M. E. Zaghoul, "Micromachined microwave transmission lines in CMOS technology", *IEEE Transactions on*

- Microwave Theory and Techniques*, vol. 45, no. 5, pp. 630-635, May 1997.
- [6] J. R. Thorpe, D. P. Steenson, and R. e. Miles, " High frequency transmission line using micromachined polymer dielectric", *Electrons Letter*, vol. 34, no. 12, pp. 1237-1238, Jun. 1998.
- [7] H. T. Kim, S. H. Jung, J. H. Park, C. W. Back, Y. K. Kim, and Y. W. Kwon, "A new micro-machined overlay CPW structure with low attenuation over wide impedance range and its application to low-pass filters", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 9, pp. 1634-1639, Sep. 2001.
- [8] 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 micro-machined transmission line with dielectric post for millimetre-wave applications", *Electronics Letters*, vol. 39, pp. 1827-1828, Nov. 2003.
- [9] T. J. Baek, B. S. Ko, D. H. Shin, S. C. Kim, B. O. Lim, 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. 1-4, Jan. 2005.
- [10] M. Matsuo, H. Yabuki, M. Sagawa, and M. Makimoto, "Analysis of resonant characteristics for a one-wavelength ring resonator coupled with two orthogonal resonant modes", *Electronics and Communication in Japan*, Part 2, vol. 82, no. 9, Sep. 1999.
- [11] 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, Jul. 2001.
- [12] 이한신, 김성찬, 임병옥, 신동훈, 김순구, 박현창, 이진구, "마이크로머시닝 기술을 이용한 새로운 형태의 고주파 저손실 Microstrip 전송선의 제작", *대한전자공학회논문지*, 제41권 SD편, 제 8호, pp. 37-43, 2004년 8월.

백 태 중



2003년 2월: 중부대학교 정보통신 공학과 (공학사)
 2003년 3월~현재: 동국대학교 전자 공학과 (공학석사)
 [주 관심분야] MEMS, E-beam lithography, MMIC 공정

김 성 찬



1999년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 3월~현재: 동국대학교 전자 공학과 박사과정
 [주 관심분야] 밀리미터파 소자 및

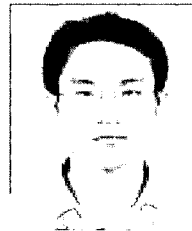
MMIC 설계 제작

고 백 석



2003년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 3월~2005년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2005년 3월~현재: (주)플렉트로닉스
 [주 관심분야] RF MEMS 설계

임 병 옥



2000년 2월: 국립 한경대학교 전자 공학과 (공학사)
 2002년 3월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 동국대학교 전자 공학과 박사과정
 [주 관심분야] 밀리미터파 대역용

MIMIC 설계 및 제작

안 단



1998년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 3월~현재: 동국대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] MIMIC 설계 및 소자

모델링

신 동 훈



1982년 2월: 동국대학교 물리학과 (이학사)
1984년 2월: 동국대학교 물리학과 (이학석사)
1999년: 런던대학교 전기전자공학과 (공학박사)
1999년~현재: 동국대학교 밀리미터파

신기술 연구센터 연구교수
[주 관심분야] 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작

김 순 구



1989년 2월: 동국대학교 물리학과 (이학사)
1984년 2월: 동국대학교 물리학과 (이학석사)
1994년 2월: 동국대학교 물리학과 (이학박사)
1999년 10월~현재: 동국대학교 밀

리미터파 신기술 연구센터 연구교수
[주 관심분야] 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작

이 진 구



1969년: 국립항공대학교 전자공학과 (공학사)
1975년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1982년: Oregon State University 전기공학과 (공학박사)
1985년: Cray Research, USA, Research

Scientist
1985년: Microwave Semiconductors, USA, Senior Engineer
1990년~1991년: University of Michigan, Visiting Research Scientist
1995년~현재: 한국전자과학회 이사
1996년~현재: 한국산업인력관리공단, 기술사 검정 심의 의원
2002년~2004년: 대한전자공학회 부회장
1985년~현재: 동국대학교 공과대학 전자공학과 교수
1999년~현재: 밀리미터파 신기술 연구센터 소장
2005년~현재: 대한전자공학회 회장
[주 관심분야] 밀리미터파용 소자 및 MIMIC 설계 및 제작