마이크로머시닝 기술을 이용한 60 GHz 대역 통과 여파기

°맹성철*, 윤태순*, 김기병*, 이 훈*, 김종용*, 이종철*, 이복형**, 김해성**, 신동훈**, 이진구**
*광운대학교 RFIC 연구 및 교육센터 / 미션테크놀로지 연구센터
**MINT(밀리미터파 신기술 연구 센터/동국대)
전화 : (02) 940-5203 / 팩스 : (02) 918-6381
E-mail : mangsungchul@orgio.net

A Micromachined Millimeter-Wave 60 GHz Band-pass Filter

Sung-Chul Maeng*, Tae-Soon Yun*, Ki-Byoung Kim*, Hoon Lee*, Jong-Yong Kim*, Jong-Chul Lee*, Bok-Hyoung Lee**, Hae-Sung Kim**, Dong-Hoon Shin**, and Jin-Koo Rhee**

*RFIC Research and Education Center & Misson Technology Research Center, Kwangwoon University
**MINT(Millimeter-Wave INnovation Technology Research Center), Dongguk University.

Abstract

In this paper, a micromachined millimeter-wave end-gap band-pass filter (BPF) is presented. The millimeter-wave BPF is designed using 3D design software, Zeland IE3D with the center frequency of 60 GHz, band width of 3 GHz, ripple of 1 dB and insertion loss of 2.5 dB. This type of micromachined BPF can be used in millimeter-wave circuit.

Ⅰ. 서 론

최근 무선통신 산업의 발달로 저가격 고성능의 소자 개발의 중요성이 증가하고 있으며, 밀리미터파 대역으로 응용분야가 확대됨에 따라 그동안 보편적으로 사용되어 졌던 마이크로스트립 전송선로 (Microstrip line)를 이용한 설계 방식에서는 손실 또는 미세 구조 구현의 어려움 등과 같은 한계를 보이게 되었다. 이러한 한계를 극복하기 위한 방안 중 하나로, 기존의 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 또는 Micromachining기술을 RF분야, 특히 밀리미터파 대역에서 응용 하고자 하는 시도가 활발히 진행되고 있다 [1, 2]. RF MEMS 소자는 기존의 구조적인 문제점들을 3차원적으로 해결함으로써 기존의 RF 소자들에 비해 High-Q, Low Loss (radiation, ohmic), Low Dispersion 등의 우수한 장점을 나타내며, 또한 소자를 집적하기 용이한 구조로 인해 밀리미터파 대역에서 그 응용 영역이 더욱 확장되리라 예상된다. 이러한 장점을 살려 본 논문에서는 High Resistivity Silicon (HRS) 기판을 사용한 밀리미터파 대역 End-gap 대역통과 여파

기를 설계 한다. 특히 HRS는 일반 Silicon 기판보다 도핑 농도가 현저히 낮으므로 GaAs에 비견할 만한 기판 손실 특성을 가지며, 초고주파 및 밀리미터파 대역에서 사용이 가능하다.

Ⅱ. Membrane 구조의 60 GHz BPF 설계

그림 1은 High Resistivity Silicon (HRS) 기판을 이용하여 membrane 상의 CBCPW (Conductor-Backed CPW)전송 선로의 특성을 3차원 설계 소프트웨어인 IE3D로 시뮬레이션 한 것으로, 신호 선로는 110㎛, 신호 선로와 접지 면과의 간격은 70 ㎛로 설계하여, Membrane port의 전송로 특성 임피던스가 129 Ω 이 되도록 하였다. 시뮬레이션 결과 70 GHz 대역까지 저손실의 우수한 전송 특성을 확인 할 수 있었다.

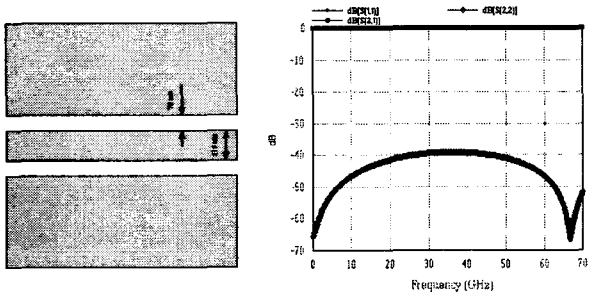

그림 1. CBCPW Transmission line

그림 2는 CPW 전송로 갭에 따른 커플링 계수, K의 변화를 왼쪽 그림에서 보여 주고 있다. 그림으로부터 주어진 CPW 신호선 간격에 대해 신호선 폭과, 신호선과 접지면 사이의 간격이 증가 할수록 커플링 계수 값이 증가함을 알 수 있다. 오른쪽 그림은 filter를 구현하기에 충분한 Coupling값을 얻기 위해 필터 구조에 stub를 삽입하게 되는데, 이 stub의 길이에 따라 증가하는 커플링 계수를 나타낸다.

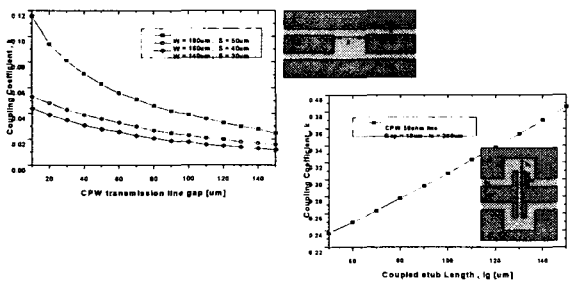

그림 2. CPW 전송로 갭 과 Coupled line stub 길이에 따른 커플링 계수, K의 변화

그림 3은 본 논문에서 설계한 Chebyshev type의 2 Pole End-gap 형태의 대역통과 여파기 구조를 나타내고 있다. 한 종류의 공진기를 사용, 여파기를 제작하기 위해서는 Inverter 이론을 적용하게 된다. 여파기 이론에 이용되는 Inverter의 수는 공진기의 수보다 1개더 많아지게 되는데, Inverter를 사용한 대역 통과 여파기의 장점은 입력단과 출력단의 종단 임피던스의 값이 비대칭일 경우에도 무방하므로 임피던스의 폭이 다양해진다는 점이다.

다음 그림 4는 J-inverter를 이용한 BPF의 기본적인 구조를 보여주고 있으며, 그림 5에서는 J-inverter를 이용한 CPW 갭의 등가 회로를 보여 주고 있다. 이러한 CPW 갭은 그림 5에서 나타낸 바와 같이 J-inverter로 나타낼 수 있다 [3].

J-inverter값은 식(1)-(3) 으로부터 얻을 수 있으며, w, w'은 통과 대역과 저역 대역에서의 각 주파수 이고, w_0, w_1, w_2 는 각각 BPF의 중심 주파수와 lower, upper의 차단 주파수 이다. 위 방정식으로부터 구해진 J와 B의 값으로부터 공진기 사이의 Gap을 얻을 수 있고, 이로써 원하는 BPF를 구현 할 수 있다 [4].

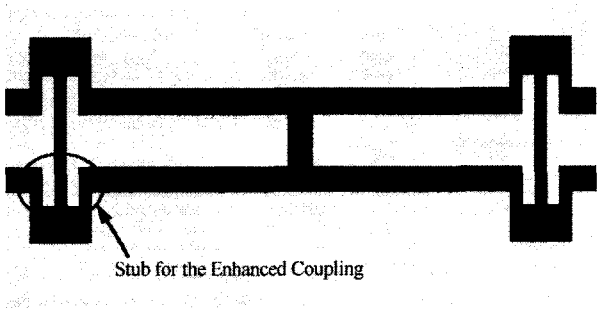

그림 3. 60 GHz membrane End-gap BPF

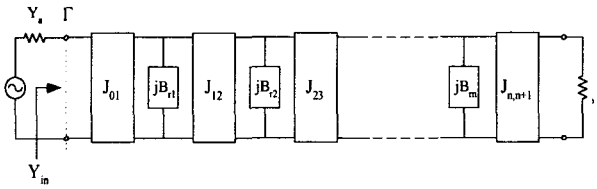

그림 4. J-inverter method

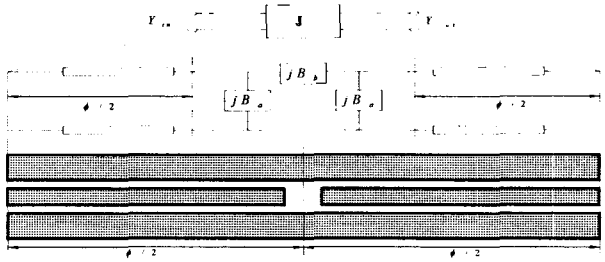

그림 5. J-inverter of coplanar waveguide gap.

$$J_{01}=\sqrt{\frac{Y_a B_{r1}(\omega)}{g_0(\omega' g_1)}}, \qquad J_{j,j+1}=\sqrt{\frac{B_{rj}(\omega)B_{rj+1}(\omega)}{(\omega' g_j)(\omega' g_{j+1})}},$$

$$J_{n,n+1}=\sqrt{\frac{B_m(\omega)Y_b}{(\omega' g_n)g_{n+1}}} \tag{1}$$

$$J_{01}/Y_0 = J_{n,n+1}/Y_0 = \sqrt{\pi W/2 g_0 g_1 \omega'_1}$$

$$J_{j,j+1}/Y_0 = \pi W/(2\omega'_1\sqrt{g_j g_{j+1}}), j\neq 0,n \tag{2}$$

$$\omega_0=\sqrt{\omega_1\omega_2}, \qquad w=\frac{\omega_2-\omega_1}{\omega_0}$$

$$\omega'=\frac{\omega'_1}{w}\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right) \tag{3}$$

그림 6은 그림 3의 구조를 갖는 필터를 Zeland사의 3D시뮬레이터인 IE3D를 이용하여 중심 주파수가 60 GHz, 대역폭은 3 GHz, 삽입 손실은 2.5 dB 이내로 설계한 것이다. 또한 설계된 End-gap Band-pass filter는Chebyshev 형태로 리플은 1 dB 이내이다.

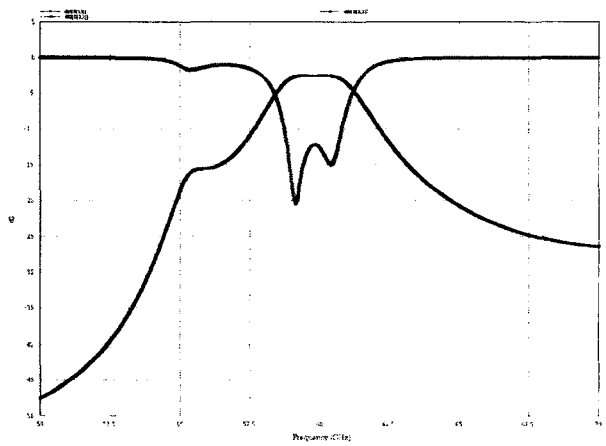

그림 6. 시뮬레이션 결과

Ⅲ. 60 GHz Membrane BPF 의 제작

초고주파용 부품의 경우 일반적으로 사용되는 GaAs나 Alumina는 기판 가격 자체가 비싸고 가공이 어려운 단점들이 있다. 일반 Silicon 기판의 경우 초고주파용 기판으로 사용할 경우 기판 손실에 의해 사용이 거의 불가능하지만 Silicon 기판의 경우 가격이 상대적으로 싸고 가공이 쉽다는 이점을 살려서 일반 Silicon 기판보다 Doping 농도가 현저히 낮은 High Resistivity Silicon(HRS) 기판을 사용한 경우 GaAs에 비견할 만한 기판 손실 특성을 가지며, 초고주파 및 밀리미터파 대역에서 사용이 가능하다. 본 논문에서는 HRS 기판을 사용하여 필터를 설계 하였다.

그림 7은 본 논문에서 설계한 필터를 Membrane 구조로 형성하는 공정을 나타내고 있다 [5]. 먼저, 실리콘 기판 위에 Membrane막을 형성하기 위해 PECVD장비를 사용하여 기판의 앞면에 Si_3N_4(1500 Å)/SiO_2(6000 Å)/Si_3N_4(2500 Å)비율로 증착 하고, 뒷면에 Silicon 식각시 Passivation을 위해 (Si_3N_4(1500 Å))를 증착한다.

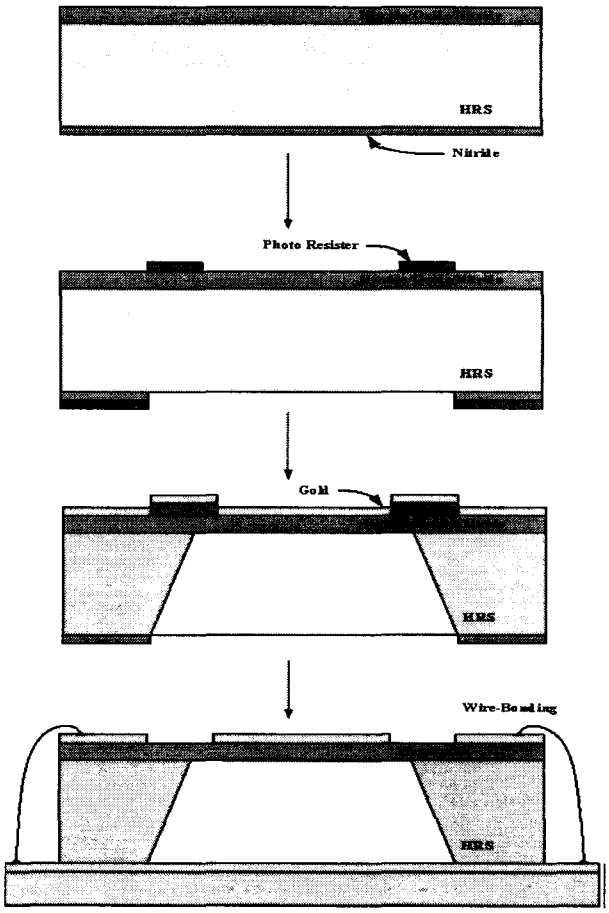

그림 7. 제작 공정도

그 후, Silicon식각용 창을 만들기 위해 뒷면에 Lithography 공정과 RIE를 이용한 Nitride etching공정을 수행한다. Poto resist AZ5214E를 이용한 Lift-off 공정이란 PR을 먼저 도포하고 금속을 증착한 후 PR제거를 통해 패턴을 얻는 방식을 나타낸다.

본 논문에서 설계한 필터를 얻기 위한 금속은 Ti/Au를 사용하며 두께 1μm 로 증착한다. 필터 구조가 형성되면 Silicon을 식각하고, 금속이 증착된 다른 Wafer와 Silver Epoxy를 이용하여 Wafer bonding을

한 후, CBCPW구조의 각 접지 면을 연결하기 위해 Wire bonding을 한다. Membrane 구조물을 형성하는 공정은 Silicon 식각이 중요하다. 본 논문에서는 비등방성 식각 용액을 사용하여 Silicon을 식각하는데, 이에 앞서 여러 가지 용액을 이용하여 선행 실험을 하였다. 표 1은 각각 용액 및 조건에 따른 식각 속도를 나타내고 있다.

표 1에 나타난 바와 같이 KOH는 TMAH에 비해 식각 속도가 우수 하지만 Oxide를 식각하는 단점이 있다. 본 논문에서는 빠른 식각 속도 및 우수한 표면 특성을 갖는 KOH를 사용하여 구조물을 형성한다. 본 소자는 현재 공정이 진행 중이다.

표 1. 각 Etchant에 따른 식각 상태 실험 결과

식각 용액	KOH	TMAH	TMAH
온도	90℃	95℃	95℃
농도	30%	10%	20%
표면 거칠기	O	X	Δ
식각 속도	101.65um/h	88um/h	67um/h
Mask	Nitride	Nitride, Oxide	Nitride, Oxide

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 MEMS 기술을 이용한 밀리미터파 대역에서의 End-gap band-pass filter를 제안하였고, 그 개념과 실제 설계 및 제작과정을 통하여 그 가능성을 입증 하였다. MEMS를 이용하여 filter를 설계하였을 때 초소형으로 제작이 가능하므로 향후 이를 이용하여 RF부품을 제작할 경우 소형화 및 밀리미터파 소자로서의 응용이 기대 된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부, 한국과학재단 지정 우수공학연구센터(ERC), 밀리미터파 신기술연구센터(MINT/동국대) 지원 사업의 위탁과제로 수행 되었습니다.

참고문헌

[1] T. M. Weller, L. P. B. Katehi, and G. M. Rebeiz, "High Performance Microshield Line Components," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 43, no. 3, pp. 534-543, 1995.

[2] H. J. De Los Santos, *Microelectromechanical (MEMS) Microwave Systems,* Artech House, 1999.

[3] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures.* New York: McGraw-Hill, 1964.

[4] D. F. Willians, and S. E. Schwarz, "Design and Performance of Coplanar Waveguide Bandpass Filters," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Tech.*, vol. 31, no. 7, pp. 558-566, 1983.

[5] L. P. B. Katehi, G. M. Rebeiz, T. M. Weller, R. F. Drayton, H. J. Cheng, J. F. Whitaker, "Micromachined Circuits for Millimeter-and Sub-millimeter-wave Applications," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 35, no. 5, pp. 9-17, 1993.