

I. 서 론

무선통신시스템의 수요가 마이크로파 및 밀리미터 대역으로까지 요구됨에 따라 원하는 부품 및 시스템을 높은 수율과 저가격의 공정 기술을 이용하여 제작하는 것이 더욱 필요하게 되었다. 현재 RF 전치단에 사용되는 LNA, PA, 믹서 등의 능동소자들은 점차 Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMICs) 공정이나 하이브리드 소자를 이용하여 집적화되고 있으나, Ka-밴드 및 K-밴드 대역 이상에서 사용되고 있는 듀플렉서, 필터, LO에 사용되는 수동소자들은 고주파에서 절대적으로 작용하는 기관에 의한 유전체 손실로 인해 집적화에 어려움이 있다. 이에 따라, 높은 Q를 갖는 공진기를 통한 필터 설계에 제약을 받게 되었고, 결과적으로 작은 삽입 손실, 높은 밴드외 억압 효과, 채널과 채널의 높은 격리도 등을 필터 설계를 위해 다양한 RF-MEMS (Micro- Electro-Mechanical System) 기술이 시도되고 있다[1]. 마이크로머쉬닝 공정을 이용한 필터는 MMIC 공정과 상호성을 갖고 있으며, 능동소자와의 집적화가 가능하며, 결과적으로 K-밴드, Ka-밴드 이상의 주파수에서 저비용의 공정가격을 위한 대안 기술로 주목받고 있다.

이에 본 기고문에서는 Si, Glass, GaAs 등의 기관에 마이크로머쉬닝 공정을 이용하여 공진기를 구현한 RF-MEMS 필터에 관한 개발동향을 소개하고자 한다. 마이크로머쉬닝 공정에 따라 먼저 실리콘의 몸체를 가공하지 않고 실리콘 기관의 표면에 구조물을 제작하는 표면미세가공기술을 이용한 필터를

소개하며, 실리콘의 몸체를 가공한 필터, 마이크로머쉬닝 멤브레인을 표면가공기술에 적용하여 개발된 멤브레인 필터, 높은 aspect-ratio를 이용하여 커플링을 증가하여 만든 LIGA 구조의 필터 및 최종적으로 체적탄성과 압전물질을 이용하여 무선통신에 적용하고자 하는 TFBAR 필터 등에 대해 소개하고자 한다.

II. 본 론

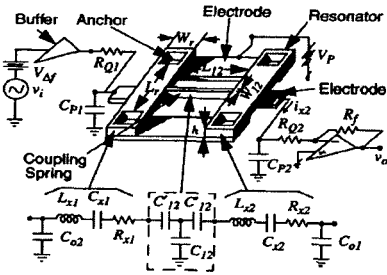
2-1 Surface-micromachined MEMS 필터

일반적으로 기계적 공진기를 사용하고자 하는 이유는 높은 Q(10,000~50,000)와 기계적 안정성을 이용한 협대역의 필터를 가능케 하고자 한 것이다. 반면에, 기계적 공진기의 우수한 성능에 비해 공정가격과 크기가 커지는 문제에 이르게 된다. 이러한 문제를 해결하면서 동시에 IC와의 집적화를 위해 제안된 기술이 MEMS 필터이며, 미국 미시건 대학교의 Nguyen 그룹에서 선구적인 연구 결과가 발표되고 있다^{[2],[3]}. 일반적으로 기계적 공진기를 사용하고자 하는 이유는 높은 Q(10,000~50,000)와 기계적 안정성을 이용한 협대역의 필터를 가능케 하고자 한 것이다. 반면에, 기계적 공진기의 우수한 성능에 비해 공정가격과 크기가 커지는 문제에 이르게 된다. 이러한 문제를 해결하면서 동시에 IC와의 집적화를 위해 제안된 기술이 MEMS 필터이며, 미국 미시건 대학교의 Nguyen 그룹에서 선구적인 연구 결과가 발표되고 있다^{[2],[3]}.

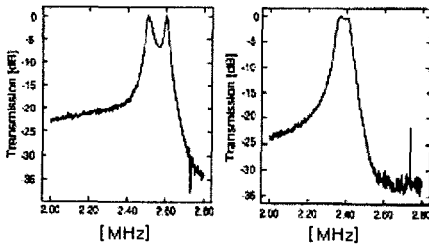
[그림 1]은 폴리실리콘 표면가공 공정을 이용한



(a) SEM 사진



(b) MEMS 공진기의 투시도 및 필터의 등가회로

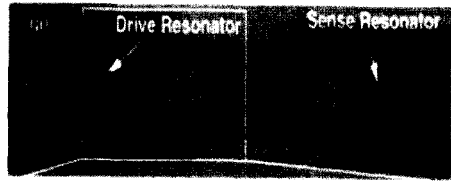


(c) 필터의 측정결과

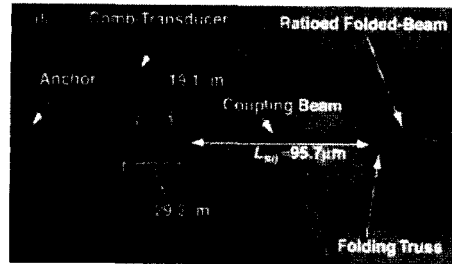
[그림 1] 표면가공 MEMS HF 대역통과 필터^[2]

High Frequency (HF) 대역통과 필터의 구조이다. 이러한 필터는 커플링을 위한 기계적인 스프링과 2개의 MEMS 공진기로 구성되어 있다. 필터의 중심주파수는 공진기에 의해 결정되며, 대역폭은 공진기 사이에 작용하는 결합용 스프링의 구조와 거리에 의해 결정된다. 공진기의 Q값은 약 10~400정도이며, 3~10 MHz의 중심주파수를 갖는 필터 특성이 측정되고 있다.

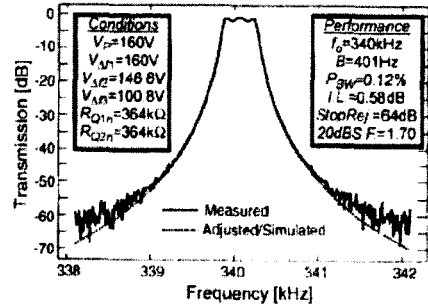
[그림 2] 역시 IC와 호환가능한 폴리실리콘 표면가공기술을 이용하여 스프링에 의해 결합된 3개의



(a) 전체 SEM 사진



(b) 확대 사진



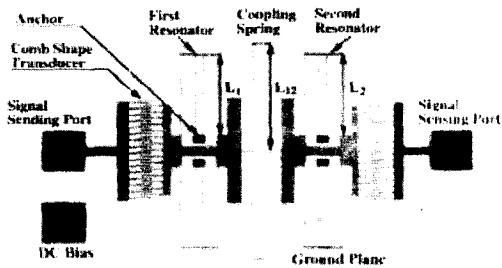
(c) 측정결과

[그림 2] Ratioed folded-beam MEMS 필터^[3]

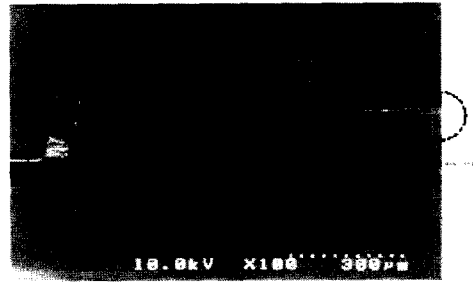
ratioed folded-beam 공진기로 구성된 MEMS 필터이다. 제작결과 340 kHz의 중심주파수, 0.1 % 대역폭, 0.1 dB 미만의 삽입손실 및 저지대역 특성이 64 dB 이상인 필터 성능을 나타내고 있다.

Ratioed folded-beam MEMS 공진기는 저속도 커플링이 가능하도록 설계되어 있고, 이에 따라 임피던스 변환 및 필터의 대역폭 조절이 가능하도록 한 구조이다.

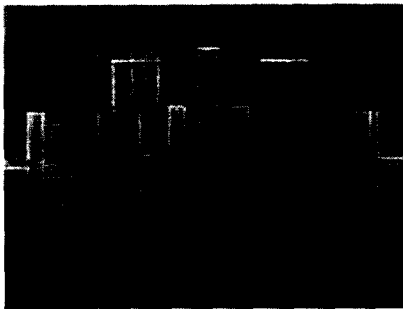
[그림 3]은 2개의 직렬공진기 및 커플링 스프링으로 구성된 MEMS 필터이다. 이러한 구조는 협대역



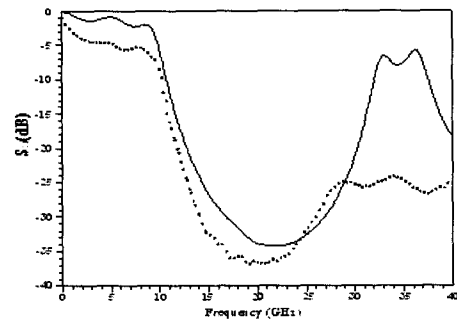
(a) 레이아웃



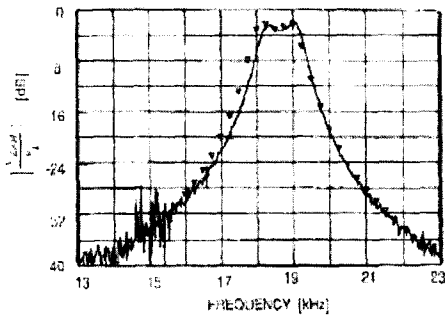
(a) SEM 사진의 일부분



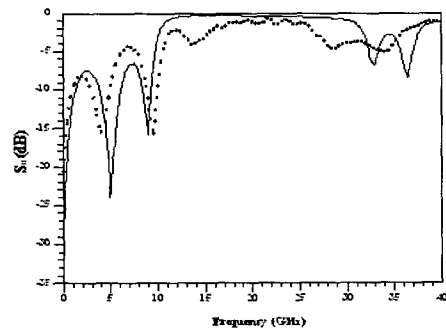
(b) SEM 사진



(b) S_{21} (dB)



(c) 측정결과



(c) S_{11} (dB)

[그림 3] 직렬 공진기를 이용한 MEMS 필터^[4]

(높은 Q), 높은 S/N 비, 온도에 안정적인 특성을 갖는다. 중심주파수는 18.7 kHz, 대역폭은 1.2 kHz이다.

[그림 4]는 CMOS 실리콘위에 표면가공 기술을 이용하여 박막의 폴리이미드층을 버퍼층으로 사용한 TFMS (Thin Film Microstrip Line) 선로 위에 커패시터 성분을, 공기층에는 인덕터 성분을 이용하여 표면가공기술을 이용한 Chebyshev형 저역통과 필

[그림 4] High- Low-임피던스 선로를 이용한 MEMS 저역통과 필터^{[5],[6]}

터이다. 3장의 마스크만으로 공정을 가능토록 하며, 측정된 삽입손실이 작음을 확인할 수 있다.

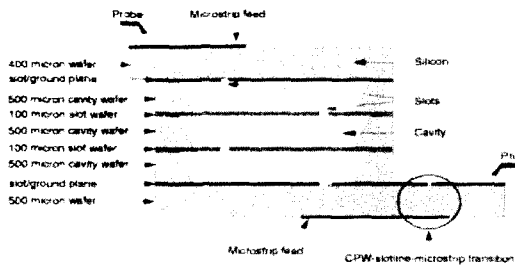
2-2 Bulk-micromachined MEMS 필터

몸체미세 가공기술은 기판의 표면이 아닌, 기판의 몸체 자체를 가공하는 기술이며 기판의 일부를

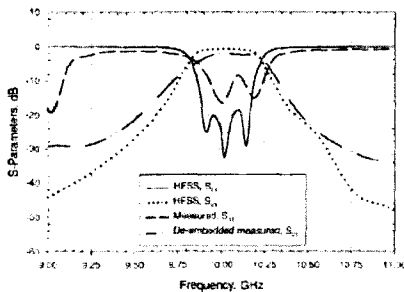
선택적으로 제거함으로써 가능하다^[7]. [그림 5]는 커플링 슬릿을 이용하여 수직으로 마이크로스트립 급전선로를 통해 급전하고 공기층의 공동기의 공진을 이용한 10 GHz 대역의 마이크로머쉬닝 필터이다. 제작을 위해 총 7층의 실리콘 웨이퍼가 사용되고 있으며, 상층의 급전선로를 위해 400 μm 실리콘, 하층의 급전선로를 위해 500 μm 실리콘이 사용되고 있고, 3개의 공동기용 500 μm 실리콘과 2 개의 슬릿용 100 μm 실리콘이 적층된 구조이다.

[그림 6]에서 확인할 수 있듯이, FEM방식의 시뮬레이션 결과 (중심주파수: 10.02 GHz, 삽입손실: 0.9 dB, 4 % 대역폭)와 비교해 보면 측정된 결과 (중심주파수: 10.01 GHz, 삽입손실: 2.0 dB, 3.7% 대역폭)가 아주 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

날카로운 차단주파수와 높은 저지대역 특성을 갖는 고성능의 필터를 얻기 위해 고임피던스와 저임

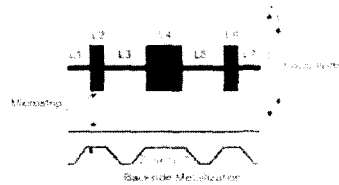


[그림 5] Micromachined 필터의 측면도 ^[8]

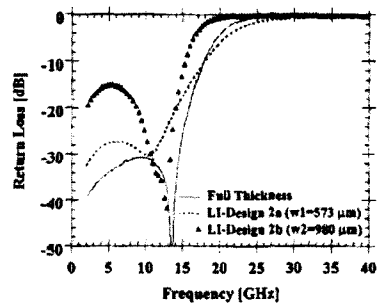


[그림 6] 모의실험 및 측정결과 ^[8]

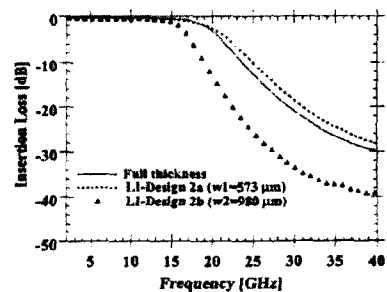
피던스 비가 큰 스텝 임피던스 저역통과 필터를 설계할 필요가 있다. 이를 위해 실리콘 마이크로머쉬닝 기술을 이용하여 저임피던스 선로의 임피던스는 더욱 낮게, 고임피던스 선로의 임피던스는 더욱 높게 하는 합성된 웨이퍼를 제작하여 그 비율을 1.5~2배 증가시킴으로써 필터의 성능을 향상시킬 수 있다^[9]. [그림 7]은 마이크로머쉬닝 공정을 이용하여 실리콘 웨이퍼의 두께를 부분적으로 줄여서 선로의 커패시턴스를 늘림으로써 저임피던스 선로의 임피던스를



(a) 레이아웃

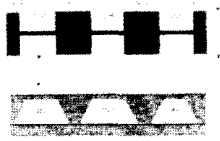


(b) 설계된 Butterworth 필터 응답

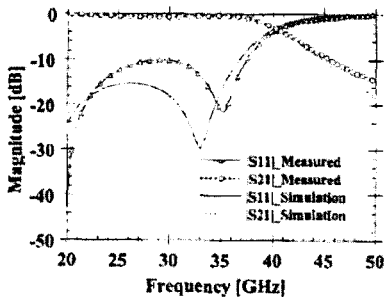


(c) 설계된 Butterworth 필터 응답

[그림 7] 마이크로머쉬닝 실리콘위에 합성된 저임피던스용 기판^[9]



(a) 레이아웃



(b) 제작된 Chebyshev 필터 응답 [9]

[그림 8] 마이크로머시닝 실리콘위에 합성된 고임피던스용 기판

더욱 줄이게 한 구조이다. 200 μm 두께를 갖는 실리콘에 50 μm 정도의 두께로 마이크로 머시닝함으로써 20 W의 저임피던스 선로를 구현하였으며 3 dB 차단주파수가 w/d 비율에 따라 변화함을 알 수 있다. 한편, [그림 8]은 부분적으로 유효유전율을 감소하여 인덕턴스를 증가시킴으로써 고임피던스값을 증가시키고자 하는 구조이다. 250 μm 의 실리콘에 220 μm 의 공기로 채워진 공동층을 형성하였을 때의 유효유전율이 1.83이다. 실제로 제작된 공기 공동층이 설계치보다 커짐으로 인해 차단주파수가 증가함을 확인할 수 있다.

2-3 Micromachined membrane 필터

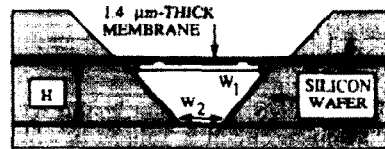
Microshield 선로는 Ka-밴드 및 W-밴드영역에서 동작하는 회로를 구성하는 데, 저손실의 광대역 TEM 전파전파 특성을 보이는 구조이다. 실리콘 웨이퍼에 에칭을 통해 유전체 손실을 줄이고, 그 위에 얇은 멤브레인을 형성하여 신호 및 그라운드면을

제작하는 구조이다. [그림 9]는 1.4 μm 두께의 유전체 멤브레인 위에 제작된 250 GHz microshield 대역 통과필터이다. 중심주파수가 250 GHz, 58%의 대역폭에 1.5 dB의 삽입손실을 갖는 성능을 보이고 있다.

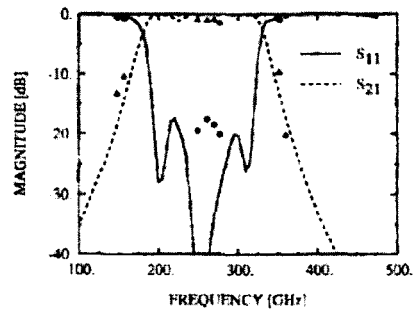
[그림 10]은 기존의 평면형 공진기가 갖는 기판으로의 방사 손실 및 저항 손실을 극복하기 위한 대안



(a) 레이아웃

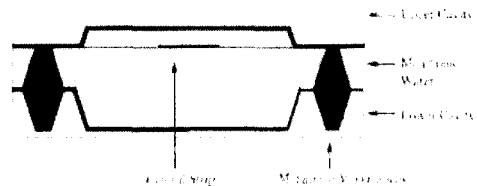


(b) 측면도

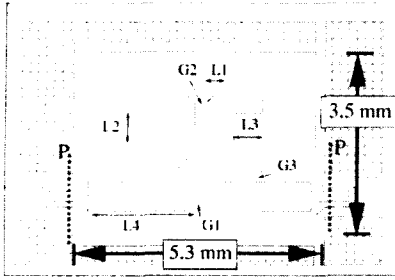


(c) 주파수 응답곡선

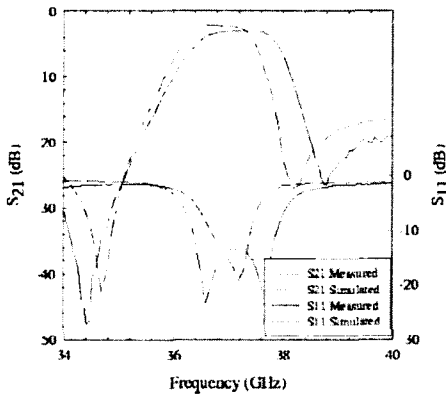
[그림 9] 250 GHz microshield 대역통과필터^[10]



[그림 10] 마이크로패키징을 이용한 멤브레인 구조^[11]



(a) 레이아웃



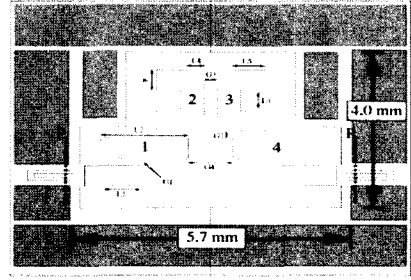
(b) 주파수 응답 곡선

[그림 11] 37 GHz 2-pole 필터^[11]

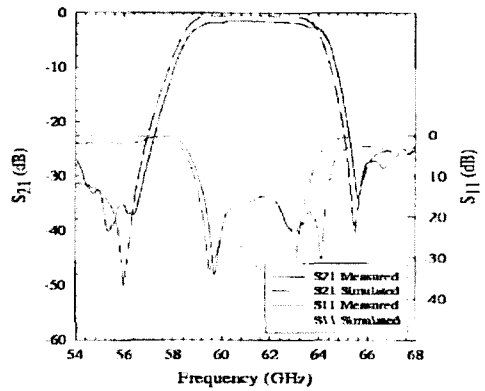
책으로 마이크로패키징을 이용한 멤브레인 구조이다. 이러한 구조는 낮은 Q 및 삽입손실을 감소시키는 데 적합하며 마이크로머쉬닝 공정을 이용하여 공기저항의 방사, 저항, 유전체 손실을 감소시킬 수 있다. 또한 기판의 일부분을 에칭하여 제거하는 벌크 마이크로머쉬닝 공정과 패키징을 이용하여 공기와 기판으로의 방사손실을 감소시킬 수 있다.

[그림 11]은 [그림 10]의 마이크로패키징을 이용한 멤브레인 구조로 설계된 37 GHz 2-pole 대역통과 필터의 레이아웃 및 응답특성이다. 모의실험 결과와 측정값이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 측정결과 2.3 dB 삽입손실 및 3.5 %의 대역폭을 보이고 있다.

[그림 12]는 [그림 10]의 마이크로패키징을 이



(a) 레이아웃

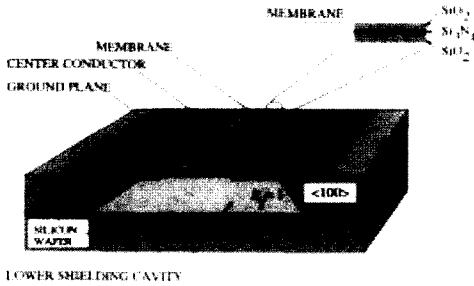


(b) 주파수 응답 곡선

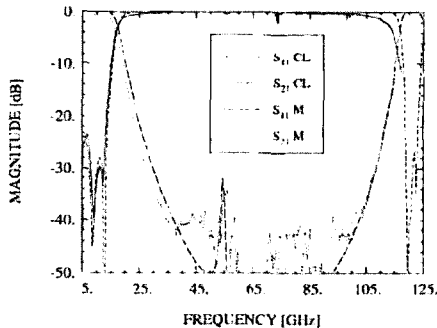
[그림 12] 61 GHz 4-pole 필터^[11]

용한 멤브레인 구조를 이용하여 설계된 61 GHz 4-pole 대역통과필터의 레이아웃 및 응답특성이다. 측정결과 2.8 dB 삽입손실 및 2.7 %의 대역폭을 보이고 있다.

[그림 13]은 멤브레인위에 설계된 microshield형 coplanar waveguide (CPW) 전송선로이다. 이러한 구조는 Ka-밴드부터 250 GHz의 주파수 범위에서 homogeneous 조건을 만족하며 광대역의 TEM, 분산손실 및 유전체 손실을 거의 갖지 않은 구조이다. 반면에, 멤브레인형 microshield 선로는 유효유전율이 거의 1에 근접하므로 선로의 전기적 길이가 Si나 GaAs기판 위의 것보다 2.5 배 정도 길게 되어, 많은 면적을 차지함으로써 필터 등을 제작할 때, 소형화하는 데 제약을 받게 된다. 또한 낮은 유효유

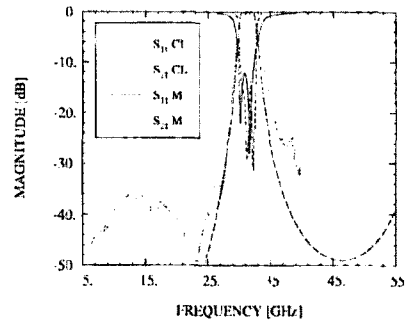
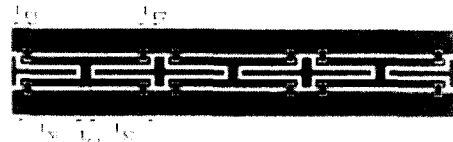


[그림 13] 멤브레인을 이용한 microshield 전송선로^[12]



[그림 14] microshield 전송선로를 이용한 집중소자형 저역통과필터^[12]

전술로 인해 저임피던스 선로 설계에 한계가 있는 구조이다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 제안된 구조가 Metal-Insulator-Metal (MIM) 커패시터를 [그림 14]와 같이 단락 스테르브에, [그림 15]와 같이 개방 스테르브에 집적화하여 광대역, 초소형, 저손실의 저역통과필터와 대역통과필터를 제작할 수 있다. 0.3 mm×2.2 mm 크기의 17 GHz의 차단주파수 및 115 GHz의 2차 통과대역을 갖는 저역통과필터 및 1.5~2 dB의 삽입손실에 10 % 대역을 갖는 대역통과필터가 제작되었다.



[그림 15] microshield 전송선로를 이용한 집중소자형 대역통과필터^[12]

2-4 LIGA micromachining 필터

LIGA 공정은 먼저 기판 표면 위에 원하는 구조의 몰드를 제작함으로써 3차원의 기하학적 구조를 갖도록 하는 MEMS 공정을 말한다. LIGA 공정을 통해 10 μm~1 mm의 높은 aspect-ratio를 갖는 메탈이 정교하게 형성화되며, 이는 또한 IC공정과 호환성을 갖고 있다. 두꺼운 메탈 선로를 이용하여 강한 커플링이 필요한 커플러와 필터외에도 고전력의 MMIC 소자를 구현하는 것이 가능하다.

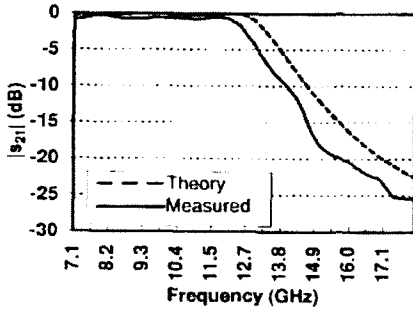
[그림 16]은 10 GHz 차단주파수, 1.2 dB 리플, 7.9 GHz에서 최소 삽입손실이 0.13 dB인 Butterworth 응답을 갖도록 설계된 저역통과필터이다. 측정결과 0.3~1.2 GHz 정도 주파수가 천이되었고, 9.22 GHz에서 3 dB의 응답특성을 보이고 있다.

[그림 17]은 10 GHz에 38 % 대역폭을 갖는 coupled-line 대역통과필터이며, 0.2 GHz의 주파수 천이를 보이고 있다. 제작결과 10.12 GHz 주파수에서 0.35 dB의 삽입손실을 보여주고 있다.

[그림 18]은 Ka-밴드용 마이크로머쉬닝 LIGA 대



(a) SEM 사진



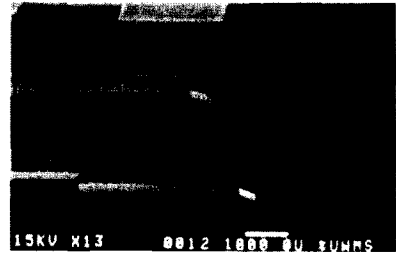
(b) 저역통과필터 응답곡선

[그림 16] LIGA stepped-impedance LPF^[13]

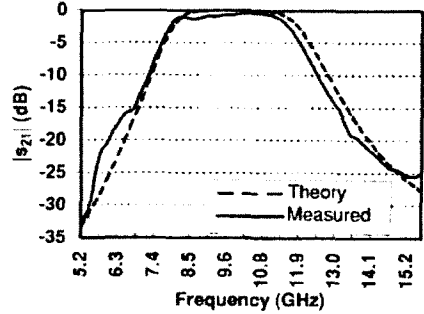
역통과필터이다. 39% 대역폭을 갖는 광대역 특성을 나타내며, 33.2 GHz 중심주파수에 1.7 dB의 삽입손실을 보여주고 있다.

2-5 TFBAR 필터

AlN, ZnO, PZT 등의 얇은 압전체를 두 도체 사이에 위치시켜 제작되는 Thin Film Bulk Acoustic



(a) SEM 사진

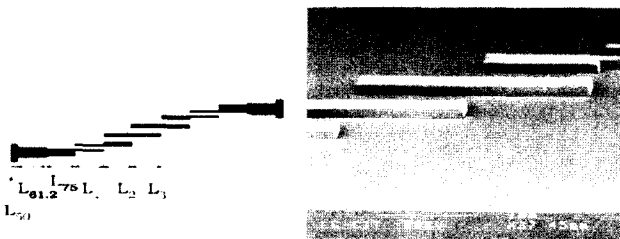


(b) 대역통과필터 응답곡선

[그림 17] LIGA coupled-line BPF^[13]

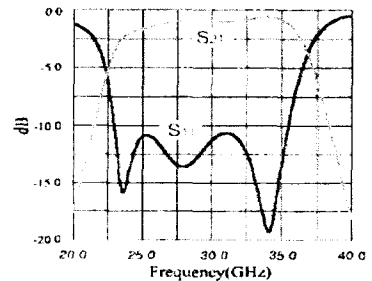
Resonator (TFBAR)는 실리콘 기판위에 제작, IC회로와의 집적화가 가능하며, SAW 필터나 세라믹 필터의 고전력 제약, 주파수 한계 등의 단점을 극복하고자 하는 시도로 최근 1~2 GHz 대역의 이동통신용 필터로 제안되고 있다.

공정방법에 따라, 몸체 미세가공 기술과 표면 미세가공기술로 구분되며, 공정의 용이성과 공정단가



(a) 레이아웃

(b) SEM 사진



(c) 대역통과필터 응답곡선

[그림 18] 30 GHz LIGA micromachined BPF^[14]

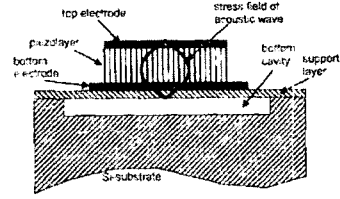
를 고려하여 표면 미세가공 기술이 많이 제안되고 있다¹⁵⁾.

[그림 19]는 Glass 기판위에 SiN의 브릿지 및 ZnO 압전체를 이용하여 표면가공에 의해 제작된 FBAR 구조이며 사다리형 배열에 의해 이동통신용 필터를 구성하였다.

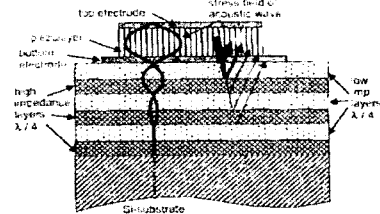
1 GHz의 중심주파수, 2.5 % 대역폭, 2.8 dB 삽입 손실 및 35 dB의 선택도를 갖는 필터가 6개의 FBAR 공진기를 통해 구현되었다.

[그림 20]은 Si 기판을 이용하여 제작가능한 멤브레인형 TFBAR 공진기와 Bragg형 공진기를 보여주고 있다. 3과 1/2 단 사다리형 필터가 제작되었고, 4 dB의 삽입손실, 86 MHz의 4 dB 대역폭 및 통과대역내의 VSWR은 2미만인 성능을 나타내고 있다.

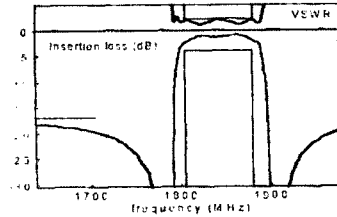
[그림 21]은 HRS (High Resistivity Silicon) 웨이퍼를 이용하여 제작한 air-gap 형태의 TFBAR 공진기와 2/1단과 4/1단 및 3/2단과 4/2단의 사다리형 필터에 대한 주파수 응답곡선을 보여주고 있다. <표 1>에는 [그림 21]의 단수에 따른 필터의 특성을 요



(a) 멤브레인형 공진기

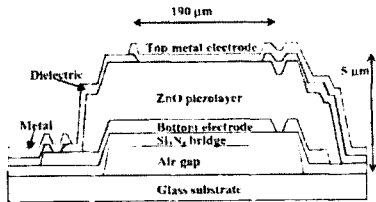


(b) Bragg형 공진기

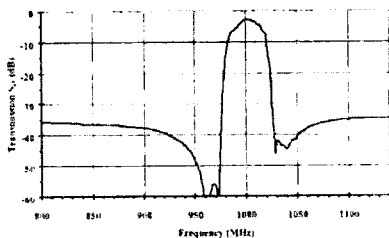


(c) DCS/PSN 1800 수신 필터

[그림 20] Si를 이용한 FBAR¹⁷⁾



(a) 단면구조



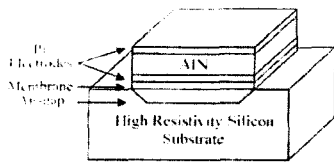
(b) 필터의 주파수 응답곡선

[그림 19] FBAR¹⁶⁾

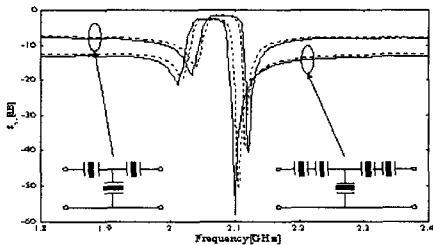
<표 1> TFBAR 필터의 특성

필터 형태	IL (dB)	S ₁₁ (dB)	Rejection (dB)	Bandwidth (MHz)
2/1단	-1.50	-7 ~ -40	-8.2	57.5
3/2단	-2.36	-11 ~ -30	-17.2	51
4/1단	-2.45	-11 ~ -32	-14.1	52.5
4/2단	-2.75	-11 ~ -39	-20.4	52.4

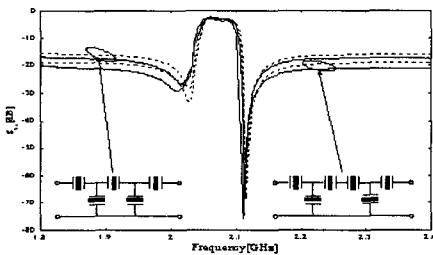
약한 것이다. AlN가 2개의 Pt층 사이에 압전물질로 존재하며, 멤브레인 아래층에 air-gap은 실리콘 기판에 의한 over-mode를 제거하기 위해 위치하고 있다. 2/1단과 4/1단 모두 3 dB 미만의 삽입손실 효과를 갖고 있으며, 특히 2/1단에 비해 4/1단의 사다리형 필터가 6 dB정도의 저지대역 특성이 좋다는 사실은



(a) 측면구조



(b) 2/1단 및 4/1단 사다리형 구조



(c) 3/2단 및 4/2단 사다리형 구조

[그림 21] Air-gap 형 TFBAR^{[18],[19]}

주목할 만하다. 3/2단과 4/2단의 필터는 모두 3 dB 미만의 삽입손실을 갖지만, 4/2단 필터가 저지대역에서 3 dB의 역압효과를 갖고 있다. 모든 필터가 중심주파수의 천이없이 51~57.5 MHz의 대역폭을 유지하고 있다.

III. 결 론

본 기고문에서는 마이크로파 대역에서 동작가능한 RF-MEMS 필터의 연구동향을 고찰하였다. 응용 분야에 따라 표면가공을 이용한 필터기술, 몸체가공을 통한 필터기술, 멤브레인을 이용한 필터기술, LIGA공정을 통한 필터기술 및 TFBAR를 이용한 필

터기술 등이 MEMS공정기술과 연관되어 응용사례가 소개되었다. 이러한 MEMS기술을 이용한 필터 설계 기술은 마이크로파 및 밀리미터파용 저손실, 광대역, 저가격의 집적화된 필터설계기술로 그 응용이 기대되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. Itoh, G. Haddad and J. Harvey, *RF Technologies for Low Power Communications*, New York, Wiley-Interscience, 2001.
- [2] Frank D. Bannon, III, John R. Clark and Clark C.-T. Nguyen, "High Frequency Microelectromechanical IF Filter", *IEEE IEDM*, pp. 773-776, Dec. 1996.
- [3] Kun Wang and Clark C.-T. Nguyen, "High- Order Medium Frequency Micromechanical Electronic Filters", *IEEE J. Microelectromech. Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 534-557, Dec. 1999.
- [4] Liwei Lin, Roger T. Howe and Albert P. Pisano, "Microelectromechanical Filters for Signal Processing", *IEEE J. Microelectromech. Syst.*, vol. 7, pp. 286-294, Sep. 1998.
- [5] G. E. Ponchak, A. N. Downey, "Characterization of Thin Film Microstrip Lines on Polyimide," *IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Tech.*, vol. 21, pp. 171-176, May 1998.
- [6] S. N. Lee, O. K. Lim, J. G. Yook and Y. J. Kim, "High Performance Elevated Thin Film Microstrip on Polyimide-loaded Silicon", accepted in *EuMC 2003*, Munich Germany, Oct. 2003.
- [7] H. J. D. L. Santos, *Introduction to Microelectromechanical (MEM) Microwave Systems*, Boston, Artech House, 1999.
- [8] Lee Harle, Linda P. B. Katehi, "A Vertically Integrated Micromachined Filter", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 50, no. 9, pp. 2063-2068, Sep. 2002.

- [9] R. F. Drayton, S. P. Pacheco, J. Wang, J.-G. Yook and L. P. B. Katehi, "Micromachined Filters on Synthesized Substrates", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 49, no. 2, Feb. 2001.
- [10] T. M. Weller, Linda. P. B. Katehi and G. M. Rebeiz, "A 250-GHz Microshield Bandpass Filter", *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 153-155, May 1995.
- [11] P. Blondy, A. R. Brown, D. Cros and G. M. Rebeiz, "Low-Loss Micromachined Filters for Millimeter-Wave Communication Systems", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 46, no. 12, pp. 2283-2288, Dec. 1998.
- [12] T. M. Weller, K. J. Herrick and Linda. P. B. Katehi, "Quasi-Static Design Technique for mm-Wave Micromachined Filters with Lumped Elements and Series Stubs", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 45, no. 6, pp. 931-938. June 1997.
- [13] T. L. Willke, S. S. Gearhart, "LIGA micro-machined planar transmission lines and filters", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 45, no. 10, pp. 1681-1688. Oct. 1997.
- [14] K.-Y. Park, et al., "A New Three-Dimensional 30 GHz Bandpass Filter Using The LIGA Micromachined Process", *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 30, no. 3, pp. 199-201, Aug. 2001.
- [15] H. J. D. L. Santos, *RF MEMS Circuit Design for Wireless Communications*, Boston, Artech House, 2002.
- [16] M. Ylilammi, J. Ella, M. Partanen, and J. Kaitila, "Thin Film Bulk Acoustic Wave Filter", *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 49, no. 4, pp. 535-539, April 2002.
- [17] R. Aigner, "RF-MEMS Filters Manufactured on Silicon: Key Facts about Bulk-Acoustic-Wave Technology", *IEEE Digest for Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems*, pp. 157-161, 2003.
- [18] K. W. Kim, J. G. Yook and H. K. Park, "CAD Model Analysis of The Air-gap Type TFBAR", *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 34, no. 5, pp. 384-385, Sep. 2002.
- [19] K. W. Kim, G. Y. Kim, J. G. Yook and H. K. Park, "Air-gap Type TFBAR-based Filter Topologies", *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 34, no. 5, pp. 386-387, Sep. 2002.

≡ 필자소개 ≡

이 상 노



1998년: 고려대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년: 광주과학기술원 정보통신 공학과 (공학석사)
 2001년 2~현재: 연세대학교 전기전자 공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파회로 설계, RF MEMS

육 종 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: University of Michigan 전기전자 공학과(공학박사)
 1997년 1월~1998년 10월: University of

Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer

1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수

2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 조교수

[주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진구조