

RF MEMS 기법을 이용한 US PCS 대역 FBAR BPF 개발

박 희 대

(주)에이엔티 기술연구소

요 약

본 연구에서는 RF magnetron sputtering으로 상온에서 증착된 ZnO압전박막을 이용하여, 1.96 GHz 대역의 air gap type의 FBAR BPF를 개발하였다.

FBAR BPF는 Si wafer에 절연막으로 열 산화막층(SiO₂)을 형성한 후, 형성된 산화막 위에 바닥전극(Al), ZnO압전층 그리고 상부전극(Mo)를 차례로 RF magnetron sputter장비를 사용하여 증착시키고, Si wafer를 dry etching하여 air hole을 구현함으로써 device를 제조하였다.

제조된 FBAR BPF의 ZnO압전층의 XRD분석 결과 (002)면 방향으로 우선배향되었으며, XRC의 σ 값은 1.018이었다. 삽입손실 1 dB 내외로 우수한 특성을 나타내었다.

Abstract

In This paper, we developed 1.96 GHz air gap type FBAR BPF using ZnO as piezoelectric sputtered by RF magnetron at room temperature.

FBAR BPF was fabricated by sputtering bottom electrode (Al), ZnO as piezoelectric and top electrode (Mo) on Si wafer one by one with RF magnetron sputter, then Si was dry etched to make an air hole.

XRD test result of fabricated FBAR BPF showed that ZnO crystal was well pre-oriented as (002) and sigma value of XRC was 1.018. IL(Insertion loss)

showed excellent result as 1 dB.

Key words : FBAR BPF, ZnO piezoelectric, sigma value, Insertion loss

I. 서 론

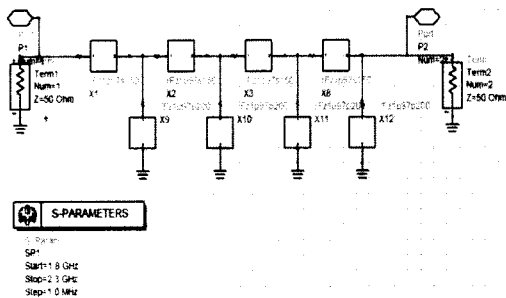
21세기 정보화 시대에 무선이동통신 시장의 급속한 성장이 주목을 받고 있다. 이는 800 MHz~3 GHz의 고주파 통신 주파수대를 이용하는 개인용 통신 단말기, 중계기, WLL(Wireless Local Loop), Blue Tooth 등의 시스템에 대한 수요가 증가하고, 이에 따라 통신부품들의 소형화, 경량화, 고성능화, 고품질화, 저전력화, 저가격화 등이 요구되고 있기 때문이다. 이런 조건들의 만족시키기 위해서 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)화를 구현하기 위한 기술 개발은 필연적이라 할 수 있다. 그러나 차세대 이동통신의 2 GHz대의 고주파에 사용되는 LNA(Low Noise Amplifier), PAM(Power Amplifier Module), mix 등의 고주파 능동소자는 MMIC 구현이 가능하나, filter, duplexer, oscillator 등의 고주파 수동소자는 MMIC 구현에 어려운 점이 많다. 특히 filter는 핵심 수동부품으로서 무수히 많은 공중파 중에서 사용자가 필요로 하는 신호를 선택하는 기능을 한다. 현재 사용되고 있는 고주파용 filter는 유전체 세라믹 filter, 집중정수 filter와 표면 탄성파(SAW: Surface Acoustic Wave) filter 등이 사용되고 있으나, 유전체 세라믹 filter와 집중정수 filter는 온도특성, 내충격성, 저삽입손실 등의 여러 가지 우수하나 특성에도 불구하고 MMIC구현에 어

려운 점이 있으며, SAW filter는 소형화, 대량생산화, side-rejection에 있어서 장점을 갖지만, 2 GHz 이상의 고주파 대역에서 사용되어질 때 큰 삽입손실 등의 문제를 갖고 있다. 따라서 기존 filter들의 문제점을 해결하고, 요구되는 특성을 만족시킬 수 있는 filter 개발 기술을 필요로 한다. 이런 문제에 대한 해답이 FBAR(Film Bulk Acoustic Resonance)이다^[1].

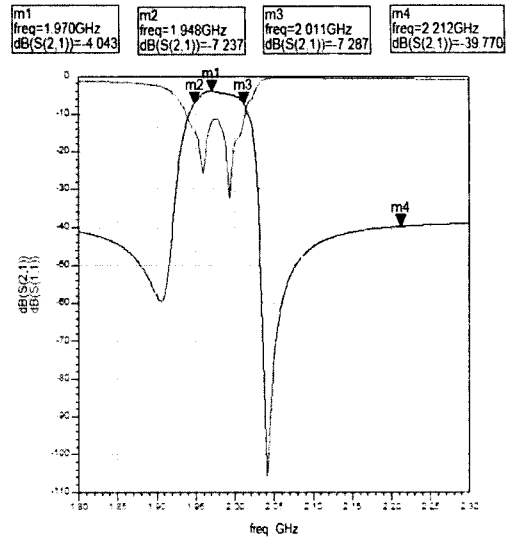
FBAR filter는 반도체 기판인 Si, GaAs에 압전 유전체 물질인 ZnO, AlN을 deposition 하는 방법으로 압전 특성으로 인한 공진을 유발하는 박막 형태의 소자를 filter로 구현한 것으로서 동작 주파수가 500 MHz~10 GHz까지이고, 기존 filter들의 장점을 동시에 갖고 있다. 따라서 안정성이 높고 고품질계수를 요구하는 MMIC 구현이 가능한 차세대 고주파 filter이다. 본 연구에서는 육방정계로써 높은 굴절률과 압전결합계수 그리고 탄성파적 성질때문에 현재 여러 응용분야에서 각광을 받고 있는 ZnO박막을^[2] 이용한 1.96 GHz 대역의 FBAR BPF(Band Pass Filter)를 개발하였다.

II. 실험방법

FBAR BPF를 설계하기 위하여 RF전용 tool인 ADS(Advanced Design System)을 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. [그림 1]은 시뮬레이션을 위한



[그림 1] 시뮬레이션을 위한 등가회로



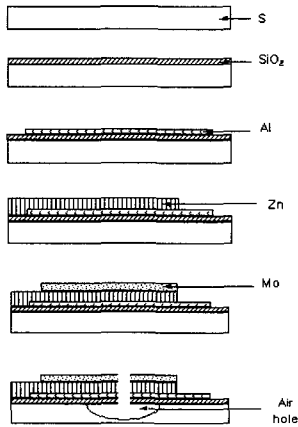
[그림 2] 시뮬레이션 결과

등가회로를 나타내고 있으며, [그림 2]는 시뮬레이션을 실행한 결과를 나타내고 있다.

SiO₂ 열 산화막 공정을 하기 위하여 Si (100) P 타입 wafer(6 inch, 600 μm)를 이온 혹은 원자 상태로 존재하는 유기물이나 무기물 형태의 불순물을 제거하기 위하여 acetone과 alcohol로 세척한 후 절연 및 필터의 온도보상(TCF)을 위해서 Si wafer를 O₂, H₂O 그리고 N₂ 분위기에서 전기로 950°C에서 30분 동안 유지하여 Si wafer 위에 1000 Å 두께의 SiO₂를 형성하였다. 그리고 불순물 및 바닥전극의 접착력을 높이기 위하여 SiO₂ 산화막층에 RF cleaning을 1분 동안 실시하였다. RF magnetron sputter 장비를 사용하여 바닥전극(Al) 1200 Å을 100 Å/min의 증착 rate로 증착 후, 바닥전극용 포토마스크를 이용하여 patterning 하였다. 바닥전극 위에 ZnO 압전층을 증착시키기 위하여 Ar과 O₂ 분위기에서 RF magnetron sputter 장비를 사용하여 ZnO 압전층 1.17 μm을 50 Å/min 증착 rate로 증착 후, 압전용 포토마스크로 patterning 하였다. 바닥전극과 같은 방법으로 상부 전극(Mo) 1200 Å을 100 Å/min의 증착한 rate로 증

작 후, patterning하였다. 마지막으로 제론 gas를 이용한 등방성 Si dry etching 하고, air hole을 구현한 FBAR 공진기를 제작하였고 필터는 시뮬레이션 결과에 따른 4/4형 ladder type의 FBAR BPF를 개발하였다. 개발된 FBAR BPF의 크기는 1.2 mm×0.9 mm× 200 μm이다.

아래 그림은 FBAR BPF의 제작과정을 나타내는 순서도이다.



증착된 ZnO 박막의 결정성, 우선배향성에 대한 정도를 분석하기 위해 X-선 회절분석기인 XRD (X-ray Diffractometer)를 사용하였다. 증착된 박막의 미세조직을 관찰하기 위하여 FESEM(Field Emission Secondary Electron Microscope)을 사용하였다. ZnO박막의 경우 박막의 표면 형상과 다결정축의 단면을 관찰하였다. 필터의 전기적 특성인 S-parameter는 PNA(Personal Network Analyzer) probe station에서 측정하였다.

<표 1>에서는 ZnO 압전층의 증착 조건을 나타내고 있으며, <표 2>는 사용된 targets의 순도 및 크기를 나타내고 있고 [그림 3]은 FBAR 공진기의 개략도를 나타내고 있다.

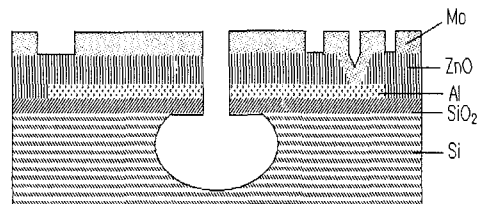
III. 실험결과 및 고찰

<표 1> ZnO 압전층 증착 조건

Variabls	Condition
Targets	Si
Base Vacuum [mtorr]	5.2×10^{-8}
Gas Ratio	130(Ar) : 10(O ₂)
RF Power [KW]	1.5
Temperature [°C]	R.T
Pressure [mtorr]	16
Target Distance [cm]	5

<표 2> Targets의 순도 및 크기

Targets	Purity	Thickness (inch)	Dimension (inch)
Al	5N	1/4	12
Mo	4N	1/4	12
ZnO	4N5	1/4	12



[그림 3] FBAR 공진기의 개략도

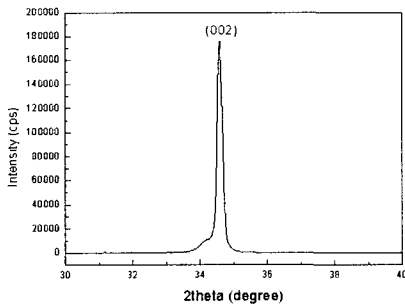
X-선 회절분석기의 측정방법 중 $\theta/2\theta$ scan을 이용하여 결정상 및 기판에 평행한 방향으로의 우선 배향된 결정면을 분석하였다. $\theta/2\theta$ scan은 X선 검출기가 2θ , 측정시료가 θ 로 회전하여 기판에 평행하게 존재하는 결정면에 의한 회절결과를 관찰할 수 있다. 우선배향성의 정도를 분석하기 위해서는 rocking curve를 통해서 관찰할 수 있다. 우선 $\theta/2\theta$ scan시 관찰되는 특정한 결정면이 가지는 2θ 의 위치에 X선 검출기를 고정시키고 시료를 θ scan하면 일반적으로 가우시안 분포에 가까운 X선 강도의 분포를 얻을 수 있는데 이때 이 곡선의 FWHM(Full

Width Half Maximum)를 계산하여 우선배향성의 정도를 알 수 있다. FWHM의 값이 작을수록 우선배향성이 뛰어난 정도를 나타내고 특정 결정면이 기판에 평행한 즉 특정 결정축이 기판에 수직인 정도가 우수함을 알 수 있다. 이와 같은 방법을 통해서 결정축에 대한 정보를 분석할 수 있다^[3]. [그림 4]는 <표 1>에서 언급한 조건으로 증착된 ZnO 압전박막의 XRD 2θ 측정 결과이다. 이 결과 34° 부근에서 (002)면의 ZnO 피크가 나타났고 이는 ZnO가 (002) 방향 우선배향되었음을 확인할 수 있었으며, 1.8×10^5 정도의 높은 intensity를 보여주고 있다. [그림 5]는 XRC를 측정하기 위한 θ scan한 결과이다.

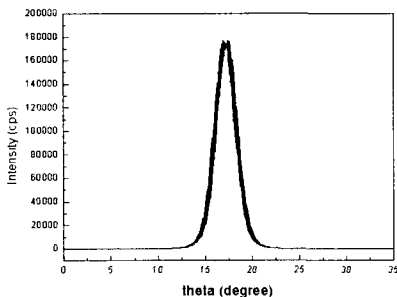
XRC의 σ값이 1.018° 으로 우수한 우선배향성과 결정성을 확인할 수 있다. ZnO를 (002)면으로 우선 배향시키려면, 증착공정이 시작되는 순간의 SEED 층의 형성과정이 매우 중요하다. sputtering된 입자

들이 기판 위 표면에 접촉하여, 원자들이 서로 결합하면서 균일한 핵이 생성되어지며, 핵이 결정으로 성장할 정도로 안정화 하기 위해서는 그것이 '임계 크기'에 도달하여야 한다. 임계크기보다 서로 작게 결합된 원자들의 군을 '씨눈'(Embryo)이라 하며, 임계크기보다 큰 것을 '핵'(Nucleus)이라 한다. 완전한 결정구조는 원자가 어느 하나의 공간 격자로 분포해서 규칙 바른 도형을 만들고 있는 것이므로 그 원자배열을 공간 격자의 '반복'이 재현성 있게 유지되어주는 증착공정의 Potential 값을 정하는 것이 ZnO를 (002)면으로 우선배향시키는 핵심 기술이라 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서의 각각의 조건들을 조화시킴으로써 우수한 ZnO 박막의 (002)면 방향 우선배향성과 결정성을 얻을 수 있었다. 또한 XRC의 σ값이 1.018° 로 device 구현에 필요한 3° 보다 작아 filter 제조가 가능함을 확인하였다^[4]. [그림 6]과 [그림 7]은 FBAR BPF의 단면과 ZnO 박막의 표면을 FESEM으로 관찰한 결과를 각각 보여주고 있다. 단면의 경우에는 주상형태로 잘 자란 결정질의 ZnO 박막이 형성되었음을 관찰하였으며, 박막의 표면 역시 균일하게 형성되어 있다.

[그림 8]과 <표 3>은 제작된 FBAR filter의 S-parameter를 측정된 결과를 나타내고 있다. 측정환경은 IF(Intermediate Frequency) bandwidth 5 KHz, 1.14 GHz~3.14 GHz에서 측정하였다. 중심주파수(Fc)는 1.957 GHz에서 IL(Insertion Loss)는 3.163 dB, VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)는 1.015로 기



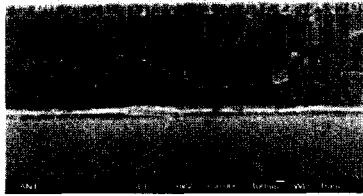
[그림 4] ZnO 압전 박막의 XRD2θ 측정결과



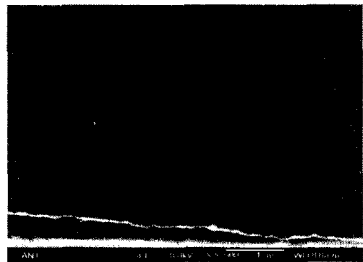
[그림 5] XRC를 측정하기 위한 θ scan 결과

<표 3> 제작된 FBAR filter의 측정결과

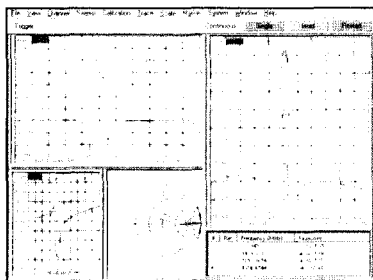
	Results
Center Frequency	1.957 GHz
Insertion Loss	3.163 dB
3db Bandwidth	74.58
VSWR	1.015
Attenuation	67.57



[그림 6] FBAR BPF의 단면



[그림 7] ZnO의 박막 표면



[그림 8] 제작된 FBAR filter의 S-parameter 측정결과

존의 SAW filter보다 우수한 성능을 가지고 있음을 확인하였다. 그러나 3 dB BW(bandwidth)값이 74.58 MHz로 크게 측정됨으로써 개선해야 할 사항으로 남아 있다.

IV. 결 론

1. ZnO 박막의 특성에 영향을 주는 변수들의 적절히 조절하여 (002)면 방향으로 우수한 우선배향성

을 확인하였으며, XRC의 σ 값이 1.018° 으로 단결정화한 압전 ZnO 박막 성장을 이루었다.

2. FBAR BPF의 전기적인 특성은 중심주파수 1.957 GHz에서 IL 3.163 dB와 VSWR 1.105로 우수한 값을 나타냈지만, 3 dB bandwidth값이 74.58 MHz로서 차후 필터설계에 따른 개선사항을 남겼다.

3. 제작된 FBAR BPF의 크기는 $1.2 \text{ mm} \times 0.9 \text{ mm} \times 200 \mu\text{m}$ 으로써 기존의 유전체 filter나 SAW에 비해 소형화, 경량화 되었으며, RF전단의 능동소자들과의 MMIC 구현도 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. Mang, F. Hickermell, "ZnO Thin Film Resonator Lattice Filters", *IEEE International Frequency Control Symposium*, pp. 366-365, 1996.
- [2] 박희대, 김경식, "Corning 7059 기판상에서 ZnO 박막 우선방위성장에 미치는 고주파 인가전력의 효과", *Korean Phys. Soc.*, vol. 8, no. 6, pp. 597-600, 1995년.
- [3] J. G. E. Cardeniers, Z. M. Rittersma and G. J. Burger, "Preferred Orientation and Piezoelectricity in Sputtered ZnO Films", *J. Appl. Phys.*, vol. 83, no. 12, pp. 7844-7854, 1998년.
- [4] C. W. Seabury, P. H. Kobrin and P. Addison, "Thin Film ZnO Based Bulk Acoustic Mode Filters", *IEEE MTT-S Digest*, 1997년.

≡ 필자소개 ≡

박 희 대



1996년: 부산수산대학교 (공학석사)

1997년: KAIST Post-Doc

1992년~1996년: KAIST 위촉연구원

1997년~2000년: 한국쌍선전기(주) 연구 소장

현재: (주)ANT 대표이사