

# ZnO 압전박막을 이용한 FBAR의 주파수 응답특성

## Frequency Characteristics of a FBAR using ZnO Thin Film

도승우, 장철영, 최현철, 이용현  
경북대학교

Seung-Woo Do, Cheol-Yeong Jang, Hyun-Chul Choi, and Yong-Hyun Lee  
Kyungpook National University

### Abstract

This study uses ZnO thin film as a piezoelectric material and Pt as bottom electrode for FBAR (film bulk acoustic resonator) device. ZnO thin film and Pt were deposited by RF-magnetron sputtering method. ZnO thin film and Pt were oriented to c-axis. Top electrode Al was deposited by thermal evaporation. The membrane was formed of bulk micromachining. The FBAR was evaluated by XRD, SEM and electrical characterization. The resonant frequency was measured by HP 8753C Network Analyzer.

A fabricated FBAR device exhibited a resonant frequency of 700 MHz ~ 1.5 GHz. When bottom electrode and top electrode thickness were fixed, the resonant frequency was increased as decreasing ZnO thin film thickness.

**Key Words :** FBAR (film bulk acoustic resonator), RF Magnetron Sputter,

### 1. 서 론

최근 이동 통신 시장의 폭발적인 증가에 힘입어 이동 통신 분야의 급속한 발전이 거듭되고 있다. 이에 따라 관련 통신 소자의 성능과 가격의 중요성이 더욱 더 커지고 있다. 이러한 통신 단말 시스템은 필연적으로 소형화, 경량화, 고주파를 요구한다. 현재 대부분의 부품은 집적도가 증가하고 있지만, RF 필터는 아직까지 집적화되지 못하고 외장소자로 구현되고 있어서 단말기의 경박단소화에 어려움을 야기한다.

FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) 박막형 필터는 반도체 기판인 실리콘(Si)이나 갈륨비소(GaAs)에 압전 유전체 물질인  $ZnO^{[1,2]}$ ,  $AlN^{[3]}$ 를 RF-magnetron sputtering 방법으로 직접 증착해 압전 특성으로 인한 공진을 유발하는 박막 형태의 소자를 필터로 구현한 것이다. 이는 박막 소자로 저가격, 초소형이면서 고품질(high Q)계수의 특성이 가능하므로 각종 주파수 대역(900 MHz ~10 GHz)의 무선통신기기, 군용 레이더 등에 사용 가능하다. 현재 RF필터는 표면탄성파(SAW:surface acoustic wave) 소자<sup>[4]</sup>와 유전체 세라믹 소자들이 RF 필터로 주로 사용되고 있다. 유전체 세라믹 소자는 삽입손실, 내전력성, 온도특성, 내충격성에 있어서 우수하지만 소형화 및 MMIC화에 부적합하다. 그리고 SAW 소자의 경우,

소형화와 대량생산, 무조성화, side-rejection에 있어서 장점이 있으나, 고주파수화, 고전력동작, 고삽입손실에 있어서 해결해야 문제가 많다. 또한 현재의 기술로는 MMIC화가 불가능하다.

FBAR 소자는 동작 주파수가 500 MHz ~10 GHz까지이고, 유전체 세라믹 소자의 장점과 SAW 소자의 장점을 동시에 갖으며, 특히 MMIC화가 가능한 차세대 고주파 소자로 주목받고 있다.<sup>[5]</sup>

본 연구에서는 RF-magnetron sputtering 방법으로 Pt 위에 ZnO 압전 박막을 형성하고 bulk micromachining을 이용하여 FBAR 소자를 제작하고 주파수 응답특성을 조사하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 하부전극 형성

FBAR 제작을 위한 기판은 양면 폴리싱된 Si(100) 기판을 사용하였다. Si 기판을 RCA 세척과정을 거친 후 멤브레인의 형성과 KOH 용액에 의한 후면 식각 시 식각창 형성을 위해 LPCVD 방법으로 NON층을 Si 기판 양면에 증착하였다.  $Si_3N_4$  위에 형성되는 하부전극인 Pt의 접착력을 증가시키기 위해 glue-layer로 Ti를 e-beam 증착기를 이용하여 300 Å 증착하였다.

하부전극용 Pt는 RF-magnetron sputtering 방법으

로 증착하였다. 하부전극 Pt의 증착조건은 표1에 나타나 있다. 하부전극의 패틴 형성은 positive-PR을 이용하여 습식 식각 공정을 통해 형성하였다. Pt는  $\text{HNO}_3 : \text{HCl} : \text{DI water} = 1 : 7 : 8$ 의 혼합을 갖는 용액을 이용하여 식각하였다.

표1. 하부전극 Pt와 ZnO 압전 박막의 증착조건  
Table1. Deposition conditions of bottom electrode Pt and ZnO Thin Film

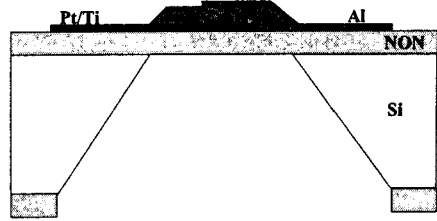
Deposition condition		
Target	Pt	ZnO
RF Power (W)	100	100
substrate temp. (°C)	250	200
working gas (sccm)	Ar : 7	Ar : O <sub>2</sub> = 10 : 10
working pressure (mTorr)	10	35

### 2.2 ZnO 압전박막의 형성

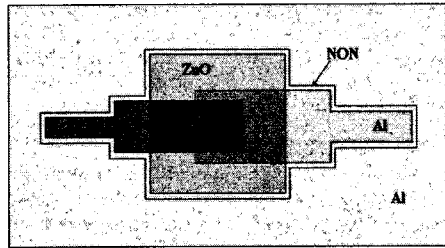
ZnO 압전박막의 형성은 RF-magnetron sputtering 방법을 이용하여 증착하였다. 순도는 99.99 %인 ZnO 타겟을 사용하였으며, 증착전에 세척 공정을 거친 후 20분 동안 pre-sputtering을 행하여 타겟 표면의 이물질을 제거하였다. 표1에 증착조건을 나타내었다. ZnO 압전박막의 식각은 positive-PR을 이용한 습식 식각 공정이 사용되었다. 식각 용액은  $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{HNO}_3 = 20 : 1$ 의 혼합비율을 갖는 식각 용액이 사용되었다.

### 2.3 상부전극의 형성 및 후면 식각

상부전극 Al은 진공열증착기를 이용하여 증착하였다. Al 식각액은 식각 공정시 ZnO 압전 박막을 같이 식각하는 단점이 있어 lift-off 법으로 형성하였다. 기판의 후면 식각은 RIE 공정과 습식 식각공정으로 NON박막을 제거한 후 KOH 용액에서 수행되어졌다. 완성된 소자의 단면도와 평면도가 그림 1에 나타나 있다.



(a)



(b)

그림 1. FBAR 소자의 단면도와 평면도

(a) 단면도

(b) 평면도

Fig. 1. Cross section and top view of FBAR device

(a) cross section

(b) top view

### 2.4 특성평가

FBAR 소자의 하부전극과 ZnO 압전박막의 결정성 및 우선 배향성을 알아보기 위해 X-ray diffractometer를 이용하여  $\theta$ -2 $\theta$  및 rocking curve를 측정하였다. 제조된 소자의 절연저항 측정을 위해 ELECS사의 Semiconductor Test and Analyzer (EL421)를 사용하였다. 주파수 응답특성은 HP 8753C network analyzer(회로망분석기)를 이용하여 측정하였다. 그리고 증착된 박막의 두께는  $\alpha$ -step 200을 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 ZnO 압전 박막의 특성 분석

그림 2에 ZnO 압전박막의 결정성을 유도하는 하부전극 Pt의 XRD 결과가 나타나 있다.

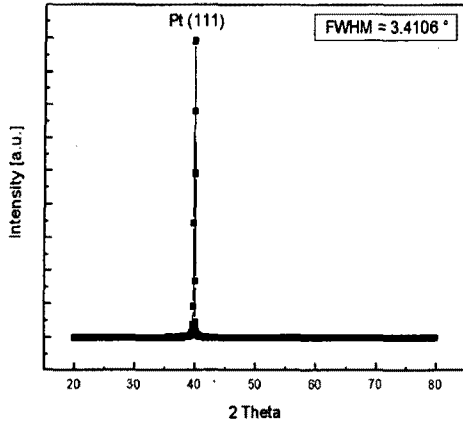


그림 2. 하부전극 Pt의 XRD Spectrum  
Fig. 2. XRD Spectrum of bottom electrode Pt

FBAR의 주파수 특성과 임피던스 특성을 결정하는 ZnO 압전 박막의 c축 배향성을 알아보기 위한 XRD 결과와 SEM 사진을 그림 3과 그림 4에 나타내었다. XRD 분석에서 하부전극 Pt에 증착된 ZnO 압전박막의 (002)방향 피크가 잘 나타나 c축 배향이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

제조된 소자의 절연저항 측정을 위해 EL421로 제조된 소자의 전류-전압 특성을 보았다. 측정은 -5V ~ +5V 범위에서 측정하였다. 이때 측정된 누설전류는 수십  $\mu$ A를 넘어서지 않았다. 이는 세라믹으로서 필요한 충분한 절연특성을 가지고 있다.

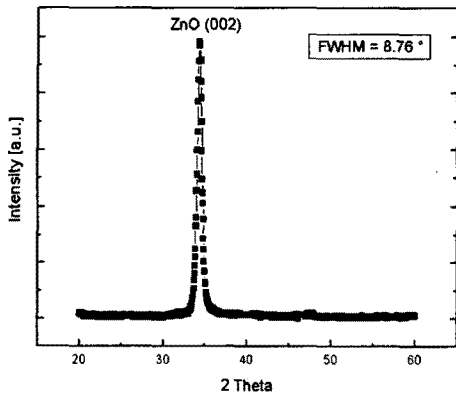


그림 3. ZnO 압전박막의 XRD Spectrum  
Fig. 3. XRD Spectrum of ZnO thin film

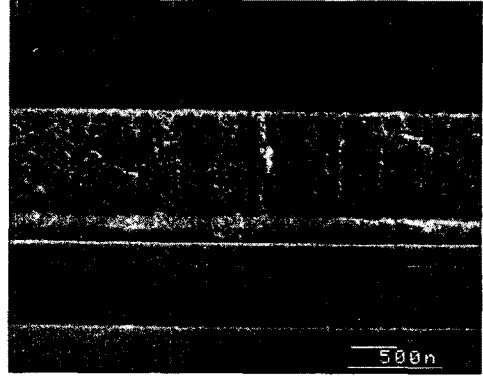


그림 4. ZnO 압전박막의 SEM 사진  
Fig. 4. SEM image of ZnO thin film

### 3.2 FBAR의 주파수 특성

측정된 FBAR의 공진 면적은  $200 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$  이다. 하부전극 Pt의 두께는 2800 Å, ZnO 압전박막의 두께는 5600 Å, 상부전극 Al의 두께는 1800 Å 이다. 제조된 FBAR의 주파수 응답특성을 알아보기 위해서 HP 8753C network analyzer를 이용하였다. FBAR의 하부전극을 접지시켜 1-port 시스템으로 입력반사계수  $S_{11}$ 을 측정하였다. 공진 주파수는 1.53 GHz로 나타났고 Q값은 310을 나타내었다. 공진주파수에서의 반사계수의 크기는 -59.26 dB로 나타났다.

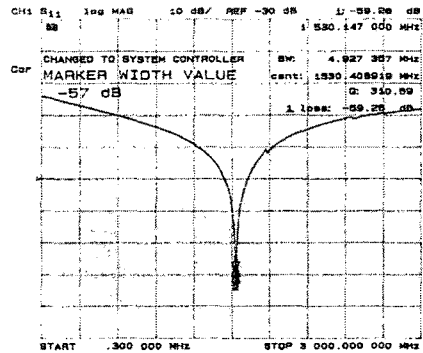


그림 5. 제조된 FBAR의 주파수 응답특성( $S_{11}$ )  
Fig. 5. frequency response of a fabricated FBAR

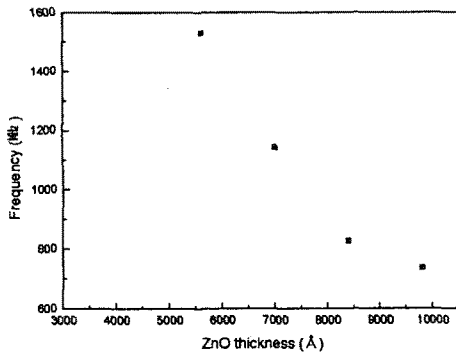


그림 6. ZnO 압전박막 두께 변화에 따른 공진주파수의 변화

Fig. 6. resonant frequency variation as ZnO thin film thickness variation

상부전극을 1800 Å, 하부전극의 두께를 2800 Å로 일정하게 유지하고 ZnO 압전박막의 두께를 변화시켰다. 그 결과 ZnO 압전박막의 두께가 감소할수록 공진주파수가 급격하게 증가함을 알 수가 있다. 그림 6에 ZnO 두께 변화에 따른 공진주파수의 변화를 나타내었다.

#### 4. 결론

본 실험에서는 (002) ZnO 박막을 RF - magnetron sputtering 방법에 의해 하부전극 Pt에 증착하고 bulk micromachining 방법을 이용하여 FBAR 소자를 제작하고 그 특성을 조사하였다. 제조된 FBAR의 공진주파수는 700 MHz ~ 1.5GHz를 나타내었다. 상부전극과 하부전극의 두께를 고정시키고 ZnO 압전박막의 두께만 변화시켰을 때 공진주파수는 급격하게 증가함을 보였다.

FBAR는 반도체 공정을 이용하여 실리콘 기판위에 제작이 가능하므로 집적화, 대량생산, 소형화 및 저가격화의 이점을 가져올 수 있고 MMIC 또한 가능하다. ZnO 압전 박막의 신뢰성 있는 두께제어와 재현성 있는 박막성장기술이 더 보완된다면 원하는 초고주파 대역에서 우수한 주파수 특성을 얻을 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] Markku Ylilammi, Juha Ella, Meeri Partanen, and Jyrki Kaitila, "Thin Film Bulk Acoustic Wave Filter", IEEE Transz Vol 49, NO 4, April 2002.
- [2] P. Osbond, C.M. Beck, C.J. Brierley, M.R. Cox, S.P. Marsh, N.M. Shorrocks, "The Influence of

ZnO and Electrode Thickness on the Performance of Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonators", IEEE Ultra. Symp. pp. 911-914, 1999.

- [3] Rajan S. Naik, Joseph J. Lutsky, Rafael Rief, "Measurements of the Bulk, C-Axis Electromechanical Coupling Constant as a Function of AlN Film Quality", IEEE TRANS. Vol. 47, NO 1, January 2000.
- [4] C.K. Campbell, "Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wirelee Communications", 1988.
- [5] M.M. Driscoll, R.A. Moore, J.F. Rosenbaum, S.V. Krischnaswamy, J.R. Szedon, "Recent Advances In Monolithic Film Resonator Technology", IEEE Ultra. Symp. pp. 365-369, 1988.