

ZnO를 이용한 air-gap 형태의 FBAR 소자 제작에 대한 연구

박성현, 이순범, 신영화, 이능현, 이상훈*, 추순남**
 경원대학교 전기전자공학과, 재능대학*, 경원전문대학**

A study of air-gap type FBAR device fabrication using ZnO

Sung-Hyun Park, Soon-Beom Lee, Young-Hwa Shin, Neung-Heon Lee, Sang-Hoon Lee*, Soon-Nam Chu**
 Kyungwon Univ., Jaineung College*, Kyungwon College**

Abstract - Air-gap type film bulk acoustic wave resonator device using ZnO for piezoelectric layer and sacrifice layer, deposited by RF magnetron sputter with various conditions, fabricated in this study. Also, membrane(SiO₂) and top and bottom electrode(both Al) of piezoelectric layer deposited by RF magnetron sputter. Using micro electro mechanical systems(MEMS) technique, sacrifice layer removed and then air-gap formed. The results of each process checked by XRD, AFM, SEM to obtain good quality device.

1. 서 론

최근 IT산업의 발전과 함께 차세대 이동 통신용 소자에 대한 연구와 개발이 활발하게 진행되고 있다. 800 MHz ~ 10 GHz 주파수 대역의 이동 통신 및 위성 단말 시스템의 필터소자에 대해 소형화, 경량화, 고기능화, 고품질화가 요구되어지고 있고, 특히 부품의 MMIC 기술개발이 필연적이다. FBAR 필터 및 이를 이용한 듀플렉서는 기존의 유전체 필터나 SAW 필터보다 크기가 수십 배 이상 작으며, 일반적인 반도체 IC 기술을 이용하므로 대량생산이 가능하여 저가격화를 이룰 수 있다.^[1]

현재, FBAR 소자는 다음과 같은 3가지 구조의 형태로 연구되어지고 있다. Bragg 반사층을 이용한 SMR 구조와 micromachine 기법으로 기판의 후면식각을 이용한 membrane 구조, 이와 유사하게 희생층을 이용하여 기판의 전면에 membrane을 형성하는 MEMS 기술을 적용한 air-gap 형태가 있다. SMR 구조의 FBAR 소자의 경우 membrane이나 air-gap 구조의 소자에 비해 내충격성이 높지만, Bragg 반사층의 두께를 음향학적 파장의 λ/4로 정확히 맞추기 힘들고 다층박막의 형성 시 박막내의 잔류응력 문제와 표면 거칠기에 의한 탄성파산란의 발생으로 공진특성의 저하를 가져오게 된다. 후면식각에 의한 membrane 구조의 FBAR의 경우 이상적인 공진특성을 가지나 내충격성이 매우 낮고 주로 사용하는 Si 기판의 후면식각을 위한 공정이 매우 까다롭다. MEMS 기술을 이용한 air-gap 구조의 FBAR 소자는 SMR 구조와 membrane 구조의 장점을 동시에 가지고 있으며 최종적인 희생층 제거 공정에서 주의할 경우 지지층의 두께의 조절에 따라 이상적인 FBAR 소자에 가깝다.^[2]

본 연구에서는 일반적으로 air-gap 구조의 FBAR 소자에 이용하는 AlN 대신 압전 특성이 좋은 ZnO를 희생층과 압전층에 적용하여 제작 공정을 최적화 하여 air-gap 구조의 FBAR 소자를 제작하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

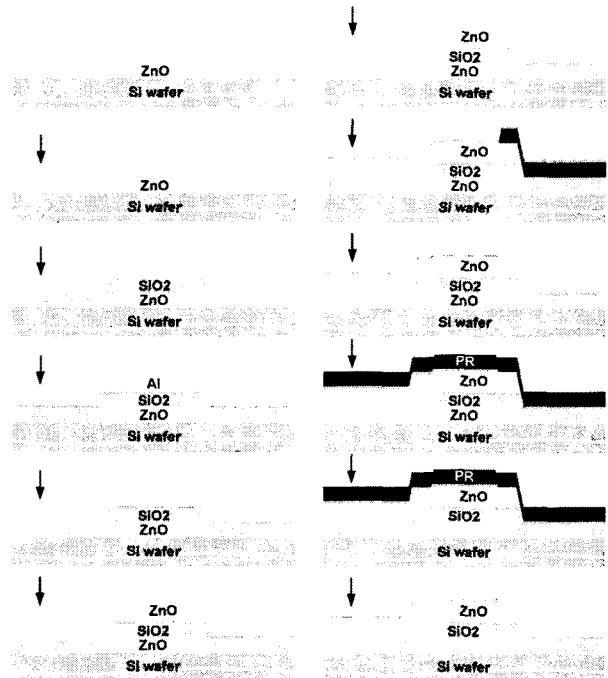
본 연구에서는 air-gap 구조의 FBAR 소자 제작을 위해서 낮은 표면 거칠기 값을 가지는 ZnO(1 um)를 RF magnetron sputtering 법으로 증착하여 희생층을 형성하였고, Al(1000 Å)과 SiO₂(1 um)를 각각 DC sputtering과 RF magnetron sputtering 법으로 증착하여 in-situ 공정으로 지지층을 형성하였다. 상·하부 전극으로는 우수한 도전특성을 가지는 Al(1500 Å)을 DC sputtering 법으로 증착하였으며, 압전층으로는 우수한 압전 특성을 가지는 ZnO(1.3 um)를 RF magnetron sputtering 법으로 증착하였다. 최종적으로 SiO₂ 지지층에 RIE를 이용하여 via를 형성한 후 희생층을 제거하였다. 그림 1에 소자 제작을 위한 공정도를 나타내었다.

우수한 특성의 FBAR 소자 제작을 위해서 각 공정의 증착 조건을 변화하여 AFM(PSIA, XE-150)과 XRD(RIGAKU, D-MAX2200), SEM(HITACHI, S-4700), a-step(TENCOR), 광학현미경 등으로 확인하여 최적화 하였다.

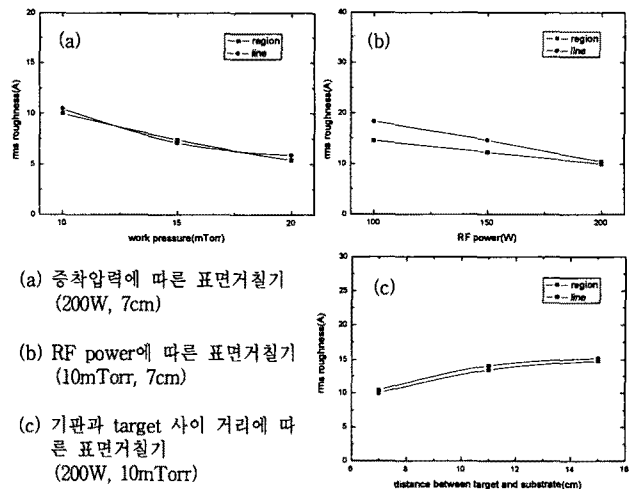
2.2 결과 및 고찰

2.2.1 ZnO 희생층

Air-gap 구조의 FBAR 소자에서 희생층은 지지층 및 전극, 압전층의 표면 거칠기와 박막의 밀도, 소자 전체의 내부응력에 영향을 주기 때문에 높은 밀도와 우수한 표면 거칠기 값을 가지는 박막을 형성해야 한다. 본 논문에서 적용한 RF magnetron sputtering 법은 RF power와 work pressure, target과 기판 사이의 거리 등을 조절하여 높은 밀도와 우수한 표면 거칠기 값을 가지는 절연체 박막 제작이 용이하다. 그림 2에 증착조건에 따른 ZnO 박막의 표면 거칠기 값을 나타내었다.



〈그림 1〉 Air-gap 구조 FBAR 제작 공정 흐름도.

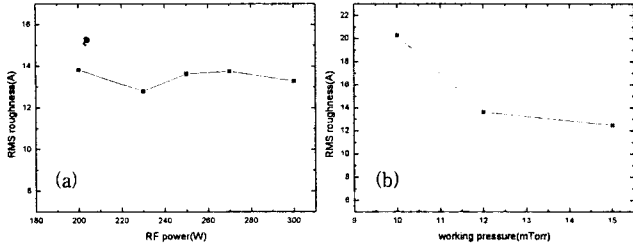


〈그림 2〉 증착조건에 따른 ZnO 희생층의 표면거칠기.

2.2.2 Al과 SiO₂ 지지층

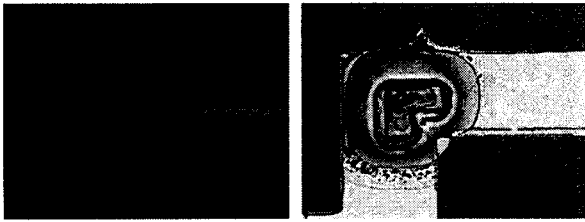
Air-gap 구조의 FBAR 소자에서 지지층은 하부전극과 압전층의 표면 거칠기와 박막의 밀도에 커다란 영향을 미치며 지지층의 두께 및 내부응력에 따라 소자의 공진 특성도 변화한다. SiO₂만으로 지지층을 형성할 경우 소자 제작의 최종 공정에서 희생층을 식각할 때 미세 균열이 발생하여 소자의 핵심 부분과 지지층이 붕괴하거나 기판에서 떨어져 나가는 현상이 나타나며 소자의 내충격성이 상당히 떨어지는 결과를 가져온다. 하지만 SiO₂ 지지층과 ZnO 희생층 사이에 Al을 형성하여 경도가 좋은 SiO₂ 지지층의 연성을 보충하여 미세 균열을 방지할 수 있다. 본 연구에서는 DC sputtering 법으로 Al을 1000 Å 증착한 후 RF magnetron sputtering 법으로 SiO₂ 지지

층을 1 μm 증착하였다. 그림 3에 증착 조건에 따른 SiO_2 의 표면 거칠기를 나타내었다. 또한 그림 4에는 Al을 지지층에 적용 한 경우와 안 한 경우 희생층 식각 후 결과를 광학현미경 사진으로 나타내었다.



〈그림 3〉 증착조건에 따른 SiO_2 지지층의 표면거칠기.

- (a) RF power에 따른 표면거칠기(12mTorr)
- (b) 증착압력에 따른 표면거칠기(230W)

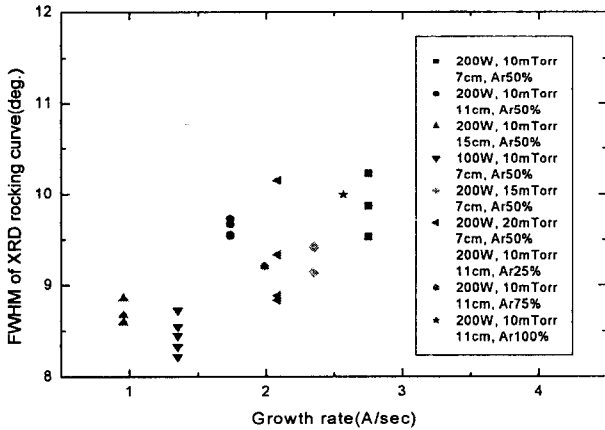


(a) Al 적용 전 (b) Al 적용 후

〈그림 4〉 지지층에 Al을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 광학 현미경 비교 사진.

2.2.3 Al 상·하부 전극

상·하부 전극으로 쓰인 Al은 전기전도성이 우수하며 압전층으로 쓰인 ZnO 및 지지층으로 쓰인 SiO_2 와 접착력도 매우 좋아서 반도체 및 다른 이동 통신 소자에서도 널리 사용된다. 본 논문에서는 Cu가 3% 첨가된 Al(5N)을 DC sputtering 법으로 증착하였다. 하부전극은 일반적인 사진식각 공정을 통하여 형성하였고 상부전극은 식각 용액이 하부전극에 영향을 주는 것을 막기 위해 lift-off 법을 이용하였다. Al 전극의 박막 두께 1500 Å일 때 표면 거칠기는 약 150 Å, 전기비저항은 약 1.86 $\mu\Omega$ 정도를 나타내었다.



〈그림 5〉 증착조건에 따른 ZnO 압전층의 XRD rocking curve FWHM.

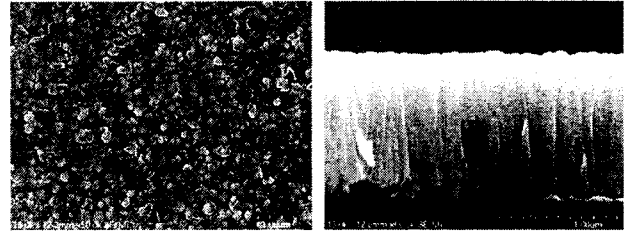
2.2.4 ZnO 압전층

우수한 공진 특성을 가지는 FBAR 소자의 제작을 위해서는 c축 배향성이 좋은 결정성을 가지는 ZnO 압전박막을 형성해야 하며 박막의 밀도와 표면 거칠기 또한 c축 배향성에 상당한 영향을 미친다. 또한 2 GHz 주파수 대역에서 정확한 공진을 일으키기 위해서는 소자 전체의 mass loading 효과를 고려하여 이론상의 1.4 μm 보다 작은 약 1.3 μm 정도의 두께를 증착하여야 한다. 본 논문에서는 RF magnetron sputtering 법으로 RF power와 wok pressure, target과 기관 사이의 거리, 기관온도 등을 조절하여 높은 밀도와 낮은 표면 거칠기 값, 우수한 c축 배향성을 가지는 ZnO 압전층을 제작하였다. 그림 5에 증착 조건에 따른 ZnO 압전층의 XRD rocking curve(θ)의 FWHM을 나타내었고, 그림 6에는 제작된 소자에 적용한 ZnO 압전층 단면의 SEM 사진을 나타내었다.

2.2.5 via 형성과 희생층 제거

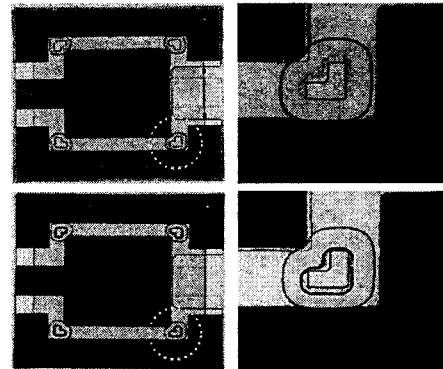
Air-gap 구조의 FBAR 소자 제작의 최종 공정인 희생층의 제거는 지지

층에 via를 형성하여 희생층에 식각 작용이 원활히 일어날 수 있도록 해야 한다. 본 논문에서는 RIE를 이용하여 SiO_2 지지층에 via를 형성하였다. 일반적인 BOE를 이용한 습식 식각의 경우 압전층 영역까지 under cut이 발생하여 희생층 식각 용액이 압전층에 영향을 미치게 된다. RIE의 경우 under cut이 거의 일어나지 않았다. 그림 7에 RIE에 의해 형성된 via의 광학현미경 사진을 나타내었다. 그림 8에 희생층이 제거되기 전과 후의 소자의 단면 일부를 SEM 사진으로 나타내었다.



(a) ZnO 압전층의 SEM 사진 (b) ZnO 압전층의 SEM 단면

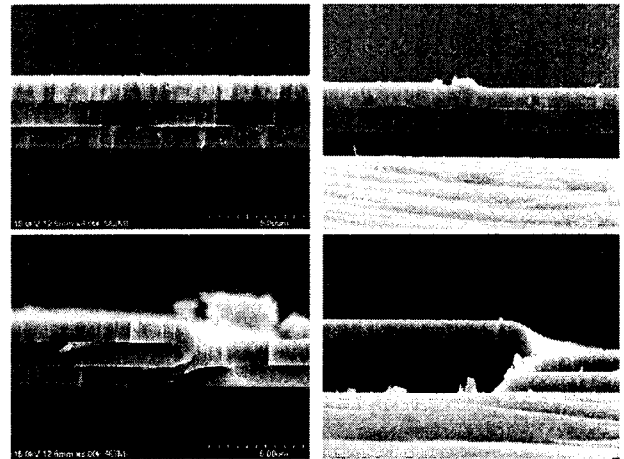
〈그림 6〉 ZnO 압전층의 SEM 사진



(a) RIE 공정 전

(b) RIE 공정 후

〈그림 7〉 RIE 공정 전·후 소자의 광학현미경 사진



(a) 희생층 제거 전

(b) 희생층 제거 후

〈그림 8〉 희생층 식각 전·후 소자의 SEM 단면 사진

3. 결 론

본 연구에서는 air-gap 구조의 FBAR 소자 제작을 위해서 ZnO를 희생층과 압전층에 적용하여 소자 공진 영역의 압전성을 향상하였고, Al과 SiO_2 를 지지층으로 적용하여 소자의 내충격성을 강화하였으며, RIE를 활용하여 희생층 식각용 via를 형성하여 under cut에 의한 소자의 균열 및 붕괴를 방지하였다. 향후 network analyzer를 이용하여 소자의 공진 특성을 측정하여 지지층의 두께를 조절하여 이상적인 FBAR의 형태에 지향해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] S. Horowitz and C. Milton, "Application of film bulk acoustic resonator", IEEE MTT-S digest paper, p. 165, 1992.
 [2] R. S. Naik, "Bragg Reflector Thin-film Resonators for Miniature PCS Bandpass Filters", Ph. D Thesis, at MIT, 1988.