희생층과 압전층의 면적변화에 따른 ZnO 압전박막을 이용한 Air-gap type FBAR의 특성

고성용, 장철영, 최현철, 이정희, 이용현
경북대학교 공과대학 전자전기공학부
전화 : 053-940-8620 / 핸드폰 : 016-524-5748

Characteristics of Air-Gap Type FBARs Using ZnO Piezoelectric Thin Film With Varying Dimension of Sacrificial and Piezoelectric layer

Sung-Yong Ko, Cheol-Yeong Jang, Hyun-Chul Choi, Jung-Hee Lee, and Yong-Hyun Lee
School of Electrical and Electronic Engineering, Kyungpook National University
E-mail : jackey@palgong.knu.ac.kr

Abstract

In this paper, film bulk acoustic resonator(FBAR) with an air-gap is fabricated by removing ZnO sacrificial layer and its characteristics as a various dimension of ZnO sacrificial and piezoelectric layer is evaluated. The center frequency of the FBAR device with the ZnO film is about 1.9 ㎓. Because of mass-loading effect, a dimension of sacrificial layer and piezoelectrc layer affect frequency response such as center frequency, insertion loss, band separation, attenuation and so on.

I. 서론

최근 정보통신 분야의 급격한 발달로 통신에 사용되는 주파수 영역이 계속 높아지고 있다. 이에 따라 통신장비에서 장치의 신호를 주고받는데 필수적으로 사용되는 필터분야에 대한 연구에 있어서도 단일칩화를 통하여 장치의 크기를 최소화하고, 가격을 낮추는데 그 관심이 집중되고 있다. 특히 ㎓대역에서 동작하는 필터를 구현하는데 있어서 집중소자의 경우는 부피가 너무 크며, 수정공진기나 SAW(surface acoustic wave) 필터의 경우는 압전기판 자체를 필요로 하기 때문에 기존의 MMIC(monolithic microwave integrated circuit)와 단일 칩으로 구성하기가 어렵고 또한 삽입손실도 비교적 커서 집적화, 소형화, 저가격화에 근본적인 문제를 가지고 있다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위해 압전박막의 두께진동을 이용한 FBAR에 대한 연구가 1970년대 후반부터 시작되었다. FBAR는 양 전극사이에 압전박막을 증착해 체적파(bulk acoustic -wave)를 유발시켜 공진을 발생시키는 원리를 이용한 것으로[2,3], 상·하부에 체적파가 모일 수 있도록 어쿠스틱 반사층을 형성하게 된다.

본 논문에서는 SiO_2 멤브레인을 이용하고 ZnO 희생층을 제거하는 방법으로 Si 기판을 식각하지 않고 표면에 Air-gap을 갖는 구조로 ZnO 압전박막을 이용하여 중심주파수가 1.9 ㎓인 두께진동모드 FBAR을 설계 및 제조하였으며, ZnO 희생층과 압전층의 면적 변화에 따른 중심주파수, band separation, attenuation 및 삽입손실의 변화에 대해 연구하였다.

II. 실험

그림 1에 표면에 air-gap을 갖는 두께진동모드의 FBAR 제조순서를 보였다. 먼저 희생층으로 사용될 ZnO를 0.8 ㎛의 두께로 증착한 후 사진식각공정을 통하여 패턴을 형성하였다. 그 후 멤브레인으로 사용될 SiO_2 박막을 전자빔 증착법으로 1 ㎛의 두께로 형성하였다. 하부전극으로 Au/Ta 이중금속막을 3000 Å의

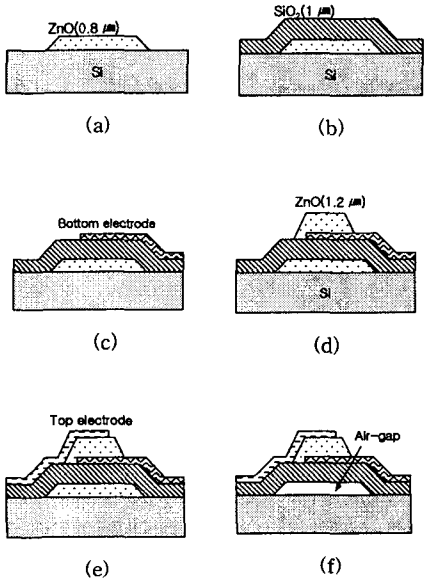


그림1. FBAR의 제조 순서
(a) ZnO 희생층 형성, (b) SiO_2 멤브레인 형성, (c) 하부전극 형성, (d) ZnO 압전박막 형성, (e) 상부전극 형성 및 (f) 희생층 제거

두께로 스퍼터링한 후 습식식각으로 패턴을 형성하였다. 압전층 ZnO는 고주파 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 c 축으로 배향된 박막을 형성하여 사진식각공정으로 패턴을 형성하였다. 진공 열증착법을 이용하여 Al으로 상부전극을 형성하였다. 이 때 Al의 패턴을 사진식각공정을 통해 하는 경우 압전층으로 사용된 ZnO에 까지 식각을 하므로 감광액 lift-off법을 사용하여 형성하였다. 마지막으로 ZnO 희생층을 제거하기 위한 식각창 패턴을 형성한 후 습식식각법으로 희생층을 제거하여 소자제작을 완료하였다.

HP 4145B semiconductor parameter analyser를 이용하여 제조된 소자의 전기적 특성을 조사하였고, HP 8753D network analyzer를 이용하여 주파수 특성을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 ZnO 박막의 특성

그림 2는 소자제조에 사용된 ZnO 압전박막의 XRD 패턴이다. ZnO 박막의 c 축 배향성이 우수한 것을 알 수 있으며 이때 FWHM(full width at half maximum)

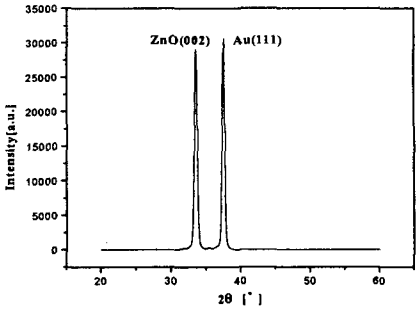
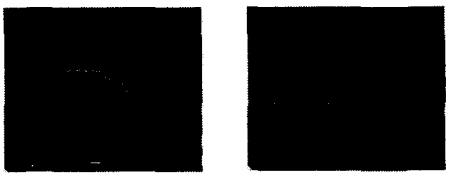


그림 2. ZnO 압전박막의 XRD 패턴

값은 약 0.6° 였다.

또한 희생층 ZnO와 압전층 ZnO의 식각특성은 소자제조 시 step-coverage와 관련하여 매우 중요하다[4,5]. 그림 3은 희생층 ZnO와 Au 박막위에 형성된 압전층 ZnO의 식각단면 SEM 사진으로 MESA 구조로 식각이 되었음을 알 수 있다.



(a) (b)

그림 3. 식각된 ZnO의 단면 SEM 사진.
(a) 희생층 ZnO (b) 압전층 ZnO

3.2 제조된 소자의 특성

그림 4에 제조된 소자의 전류-전압 특성을 보였다. 1 V의 직류전압에 대해 전류는 18.5 pA로, DC 저항은 54 GΩ을 나타내었다. 이는 세라믹으로서 충분한 절연저항을 가지고 있는 것으로 사료된다.

그림 5는 제조된 air-gap을 갖는 ZnO FBAR의 주파수 응답특성 가운데 입력반사특성(S_{11})이다. 제조된 소자는 임피던스가 50 Ω으로 정합된 프로브를 통하여 측정되었다. 중심주파수는 1.900 ㎓이며, 이 때 입력반사 손실은 24.039 dB이다. 중심주파수를 3 dB대역폭으로 나눈 값인 Q(quality factor)는 167.3이었다.

그림 6에 압전층의 면적이 100×100 $㎛^2$인 경우 희생층의 면적 변화에 따른 응답특성의 변화를 보였다. 압전층의 면적이 동일한 경우 희생층의 면적이 증가함에 따라 중심주파수는 수십 ㎒의 범위에서 감

소하였으며, 삽입손실은 증가하였다. 그리고 중심주

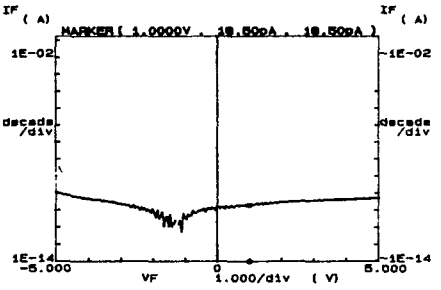


그림 4. 제조된 소자의 전류-전압특성

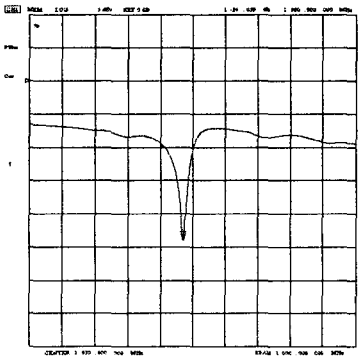
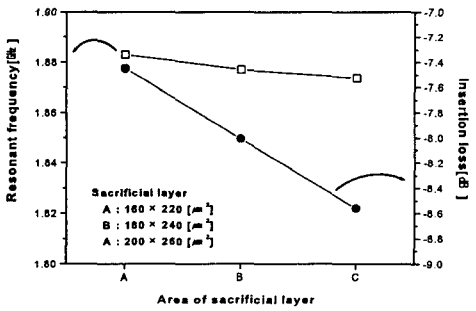
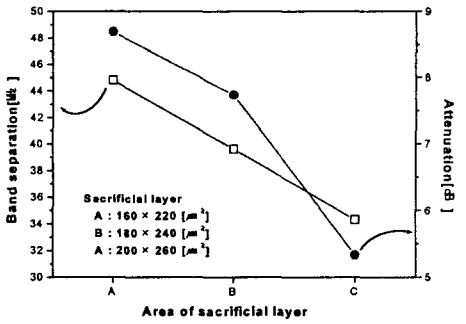


그림 5. 제조된 소자의 입력반사계수

파수와 반공진주파수간의 band separation과 attenuation은 감소하는 특성을 보였다. 반면에 그림 7과 같이 회생층의 면적이 180×240 μm^2으로 일정한 경우 압전층의 면적이 증가함에 따라 중심주파수는 증가하였으며, 삽입손실은 감소하였다. 하지만 band separation과 attenuation은 증감이 반대의 경향성을 보였다.

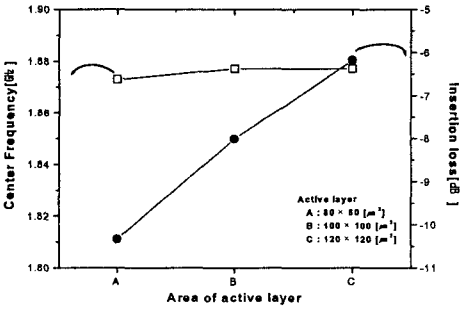


(a)

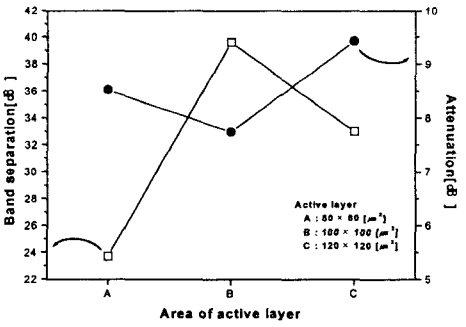


(b)

그림 6. 희생층 면적 변화에 따른 응답특성
(a) 중심주파수와 삽입손실
(b) Band separation과 attenuation



(a)



(b)

그림 7. 압전층 면적 변화에 따른 응답특성
(a) 중심주파수와 삽입손실
(b) Band separation과 attenuation

이상의 결과에서 희생층의 면적, 즉 air-gap의 면적과 압전층의 면적이 변함으로 인한 질량부하효과(mass- loading effect)로 인하여 중심주파수의 변화 이외의 다른 주파수 응답특성에도 영향을 미친다는 사실을 보여준다. 즉 FBAR 제조시 설계과정에서 임피던스 정합뿐만 아니라 주파수 특성과 관련하여 소자의 물리적인 크기에 대한 신중한 결정이 필요하다고 볼 수 있다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 ZnO 압전박막을 이용하여 기판을 식각하지 않고 표면에 air-gap을 갖는 두께 진동모드의 FBAR를 제조하였다. 질량부하효과를 알아보기 위해 air-gap 형성을 위한 희생층의 면적과 공진을 위한 압전층의 면적을 다양하게 변화시켰다. 그 결과 수십 ㎒의 범위에서 중심주파수가 변하였으며, 삽입손실, band separation 및 attenuation 또한 변하였다. 이는 특성이 우수한 FBAR를 얻기 위해서는 소자의 크기 또한 중요하다는 것을 나타낸다.

차후에는 전극의 두께와 면적을 변화에 따른 응답의 변화에 대한 실험을 수행하여 이를 바탕으로 성능이 우수한 FBAR와 필터를 제조할 계획이다.

Reference

[1] T. W. Grudkowaski, J. F Black, G. W. Drake and D.E.Cullen, "Processs in the Development of Miniature Thin Film Baw Resonator and Filter Technology", *IEEE 36th Annual Frequency Control Sympo- sium*, pp.537-546, 1982.

[2] K. M. Lakin, "Fundamental Properties of Thin Film Resonators", *IEEE 45th annual symposium on frequency contorl*, pp. 201- 206., 1991.

[3] S. V. Krishnaswamy, J. Rosenbaum, S. Horwitz, C. Vale and R. A. Moore, "Film Bulk Acoustic Wave Resonator Technology", *IEEE Ultrasonic Symposium*, pp. 529-536, 1990.

[4] H. Satoh, Y Ebata, H. Suzuki, H. Harada and A. Kawabata, "An Air-Gap Type Piezoelectric Composite Resonator", *IEEE Proceedings of the 39th Annual symposium on Frequency control Proceeding*, pp. 361-366, 1985.

[5] K. C. Lou, X. Zhu, H. Lakdawala and E. S. Kim, "Study on Etch Front of Piezoelectric ZnO Film and New Step Coverage Technique", *IEEE Ultrasonic Symposium*, pp. 565-568, 1997.