

FBAR 소자제조를 위한 ZnO 박막 증착 및 특성

Characteristics of ZnO Thin Film for SMR-typed FBAR Fabrication

신영화^{1,a}, 권상직¹, 김형준²

(Young-Hwa Shin^{1,a}, Sang-Jik Kwon¹, and Hyung-Jun Kim²)

Abstract

This paper gives characterization of ZnO thin film deposited by RF magnetron sputtering method, which is concerned in deposition process and device fabrication process, to fabricate solidly mounted resonator(SMR)-type film bulk acoustic resonator(FBAR). A piezoelectric layer of 1.1 μm thick ZnO thin films were grown on thermally oxidized $\text{SiO}_2(3000 \text{ \AA})/\text{Si}$ substrate layers by RF magnetron sputtering at the room temperature. The highly c-axis oriented ZnO thin film was obtained at the conditions of 265 W of RF power, 10 mtorr of working pressure, and 50/50 of Ar/ O_2 gas ratio. The piezoelectric-active area was 50 $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$, and the thickness of ZnO film and Al-3 % Cu electrode were 1.4 μm and 180 μm , respectively. Its series and parallel frequencies appeared at 2.128 and 2.151 GHz, respectively, and the quality factor of the resonator was as high as 401.8 \pm 8.5.

Key Words : ZnO, FBAR, Resonator, Piezoelectric layer, SMR

1. 서론

최근 휴대용 이동통신 시스템이 중요한 전자산업분야로 각광을 받고 있다. 시스템의 소형화와 대량생산 및 성능향상을 위하여 모노리식 마이크로 칩 집적회로(Monolithic Microwave Integrated Circuit, MMIC)화가 필수적이며 이를 위한 RF필터와 듀플렉스의 집적화를 위하여 가장 근접된 기술로 알려진 것이 반도체 박막기술을 이용한 박막형 체적 음향파 공진기(Film Bulk Acoustic Resonator, FBAR)필터 기술이다. FBAR는 상하부 전극을 통해 전계가 인가될 때, 압전 박막층에서 발생하는 음향파가 기판의 영향을 받지 않아야 고품질 계수를 갖는 공진기를 제작할 수 있다. 기판효과를 제거하기 위해서 일반적으로 3 가지의 구조로 공진

기가 제작된다. 첫번째로 membrane type이 있는데[1], 이 타입은 구조는 만들기 쉬우나 식각 용액에 의해 압전물질이 손상을 입기가 쉽고, 이로 인해 FBAR의 주파수의 왜곡현상이 발생된다. 두번째 방법으로 air-gap type[2]은 가장 좋은 성능을 낼 수 있으나 이 구조는 구조적으로 취약하여 제조가 어렵다. 마지막으로 고상 적층 공진기(Solidly Mounted Resonator, SMR)타입[3]은 Braggs reflector층을 포함하는 구조이며 제조하기는 쉬우나 두께조절이 어렵다. Braggs reflector 층을 만들기 위해서는 임피던스 차가 큰 물질을 교대로 증착하여 기판에 의한 음향파의 손실이 사라지도록 제작되며, 이를 위하여 $\lambda/2$ 의 압전층의 두께와 $\lambda/4$ 의 Braggs reflector 층의 두께로 제작된다. Braggs reflector 층의 두께는 반사기의 성능에 중요하며 각각 층의 두께를 $\lambda/4$ 두께로 정확히 조절하는 것은 어렵다[4,5]. 압전층으로 쓰이는 ZnO는 hexagonal wurtzite 구조로 높은 전기기계 결합 상수를 갖고, 음향파 공진기에 적용이 용이하다[6,7]. 이 논문에서는 SMR타입 FBAR의 ZnO 압전층의 c축 배향성에 관해서 실험을 하였고, RF sputtering 방

1. 경원대학교 전기전자공학부
(경기도 성남시 수정구 복정동 산65)
2. 서울대학교 공과대학 재료공학부
a. Corresponding Author : yhshin@kyungwon.ac.kr
접수일자 : 2004. 12. 7
1차 심사 : 2005. 1. 6
심사완료 : 2005. 1. 12

법을 사용하여 우수한 c축 배향성과 표면상태가 좋은 ZnO 박막을 Si기판 위에 성장시켰다. 그리고 증착된 ZnO박막을 측면 여기(Lateral Field Excitation, LFE)-mode의 SMR 타입의 FBAR에 적용하여 공진특성을 살펴보았다.

2. 실험 방법

RF magnetron sputtering 방법으로 4인치 ZnO 타겟(순도 99.999 %)을 이용하여 ZnO 박막을 증착하였다. Si(p-type,(100)) 기판 위에 SiO₂/W의 Bragg reflector 층을 형성하였고 그 위에 ZnO 박막을 증착하였으며, 타겟과 기판과의 거리는 12.5 cm 이고, RF power는 213~300 W, 기판의 회전속도는 15 rpm, working pressure는 5~15 mtorr, Ar/O₂ 가스유량비는 25~75 %로 변화시키면서 실험을 하였다. 기판온도는 상온을 유지하였으며 증착된 ZnO 박막의 두께는 1.4 μm였다. 본 논문 실험에서의 Bragg Reflector의 제작은 5층 구조의 Al/SiO₂/W/SiO₂/W/SiO₂/Si의 5층 구조로서 각각의 층들은 물질의 음향파의 λ/4 두께(7000 Å)로 증착하였으며 증착 두께는 성장속도 및 증착시간을 고려하여 조절하였으며 본 연구에서는 실험조건상 ±5 % 이내로 제작되었다. 그림 1에 나타낸 것과 같이 Si 기판 위에 SiO₂/W의 Bragg reflector 층이 있고, 그 위에 Al-3 % Cu 하부전극이 증착되었다. 하부전극 상부에 ZnO 압전층이 있으며, 상부전극으로 다시 Al-3 % Cu가 사용되었다. 각 공정의 중간에 반도체소자 제작 공정을 이용하여 전극과 압전층의 패턴을 형성하였다.

ZnO의 c-축배향성과 반가폭(Full width at half maximum, FWHM)을 분석하기 위해 X선회절분석(X-ray Diffraction, XRD)(D-MAX 2200, Rigaku)

을 사용하였고, 박막의 두께, 표면상태 및 단면을 관찰하기 위해 SEM(XS30FEG, Philips)을 사용하였다. FBAR소자의 공진주파수 측정을 위해 Cascade summit 9100 probing station, Cascade GSG-150 probes, 그리고 Agilent E8464A network analyzer를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 FBAR 단면 SEM사진과 평면 광학현미경사진이다.

그림 3은 RF power를 변화시켰을 때의 ZnO 박막의 XRD 피크를 나타낸 것이다. 이 때 working pressure는 15 mtorr이고 Ar/O₂ 가스유량비는 1:1이었다. RF power가 증가함에 따라 250 W에서 약간 불규칙적으로 나타났지만 FWHM이 점점 좋아짐을 알 수 있었다. 그 이유는 플라즈마 내의 여기종의 증가로 plasma에너지가 증가하고, 원자의 이동도가 증가하여 표면에너지가 높아져서 결정질 형성이 용이하기 때문이다. 그러나 타겟 안쪽으로 높은 RF power가 발생하게 되고, 자기선속이 증가하기 때문에 원자가 c축으로 성장할 시간이 부족하여 (002)면 이외의 다른 방향성을 가지게 된다. 그 결과 XRD 피크는 더욱 나빠진다.

본 논문에서는 실험을 통하여 얻은 가장 좋은 결과는 RF power가 265 W일 때 반가폭이 8.4°이었다. 따라서 RF power는 265 W로 고정시켜 놓고 working pressure를 변화시켰다.

그림 4(a)는 RF power와 working pressure가 각각 265 W와 5~15 mtorr일 때 ZnO의 XRD 피크를 나타내었고, 그림 4(b)는 working pressure에 따른 ZnO 박막의 성장속도와 rocking curve의 반가폭 변화를 나타내었다. 압력이 증가하면 증착속

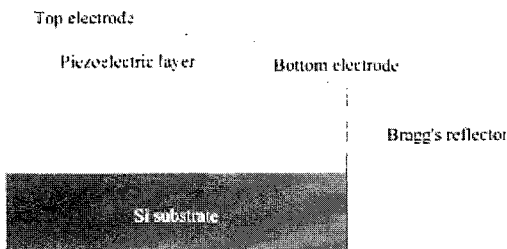


그림 1. SMR-타입의 FBAR 구조.
Fig. 1. Schematic diagram of a SMR-type FBAR resonator.

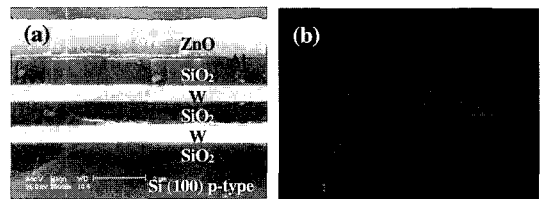


그림 2. FBAR(50 μm x 50 μm)의 (a) 단면 SEM사진 및 (b) 평면광학현미경 사진.
Fig. 2. (a) Cross-section SEM photograph and (b) plain optical microscope photograph of FBAR(50 μm x 50 μm).

도도 증가하였는데 이는 plasma flux도 증가함을 의미한다. 그러나 반응 챔버 내의 입자 간의 충돌이 증가하여 입자들의 평균자유행로는 감소하였다.

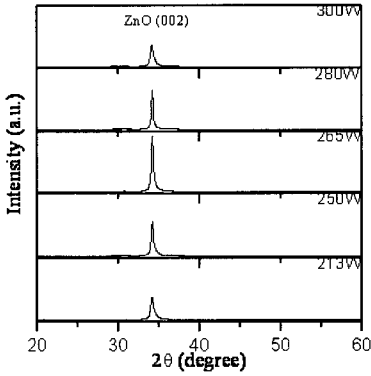


그림 3. RF 인가전력에 따른 ZnO박막의 XRD피크.
Fig. 3. XRD peaks of the ZnO films at different RF power.

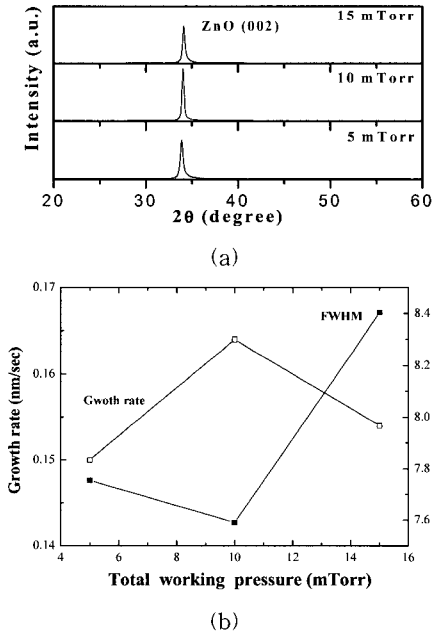


그림 4. 압력변화에 따른 (a) ZnO 박막의 XRD피크 및 (b) ZnO 박막의 성장속도 및 FW-HM.

Fig. 4. (a) XRD peaks and (b) FWHM of X-ray rocking curves and growth rate of the ZnO films at different total working pressure.

그러므로 전체적인 working pressure에 따라서 증착속도가 증가함을 알 수 있게 되었다. 본 연구에서 가장 우수한 c축 배향성을 갖는 ZnO 박막을 증착하기 위한 증착압력은 10 mtorr임을 알 수 있다.

그림 5는 working pressure가 5mtorr일 때와 10 mtorr일 때의 주사 전자현미경(SEM)사진이다. 10 mtorr일 때가 5mtorr보다 결정화가 우수함을 보여준다.

그림 6은 Ar/O₂ 가스유량비에 따른 실험결과이다. 이 실험에서 RF power는 265 W, working pressure는 10 mtorr로 고정시켰고, Ar/O₂의 총가스량은 26 sccm이고, 가스유량비를 25 %, 50 % 및 75 %로 변화시켰다. Ar/O₂ 가스유량비가 50 %일 때 XRD 피크강도가 가장 높고 반가폭이 낮음을 알 수 있다. 또한 산소의 함량이 낮아질수록, 증착속도가 점점 증가함을 그림 6(b)에서 볼 수 있다.

이는 Ar 원자 무게가 산소보다 더 무겁기 때문이다. 타겟 재료의 결합에너지를 고려하지 않을 때, 타겟과 Ar 가스 사이의 에너지 전달은 두 입자의 질량이 같을 때 가장 쉽게 일어난다. 특히 ZnO를 스퍼터링 할 경우 산소함유량이 적어도 증착율이 높다. 그러나 산소농도가 증가하면서 Ar의

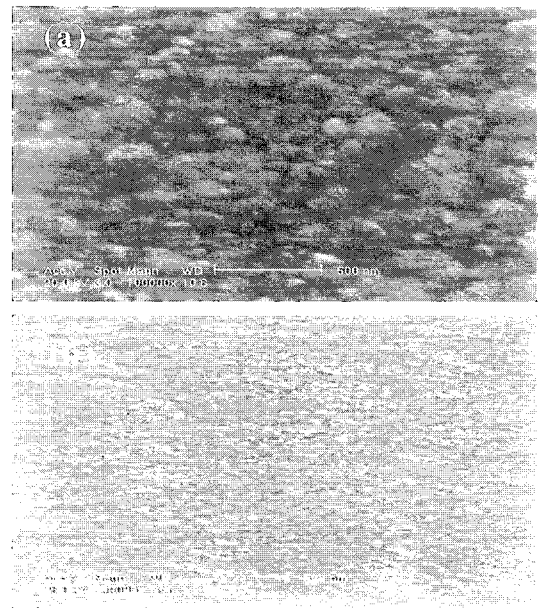
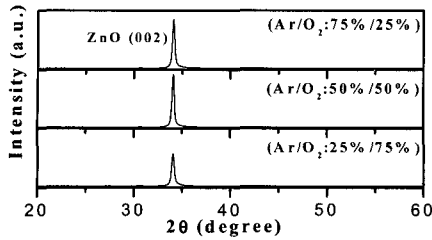
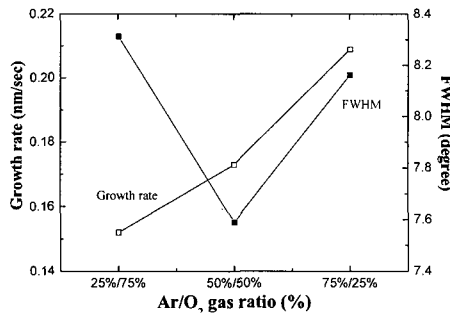


그림 5. ZnO 박막의 표면 SEM사진.
(a) 5 mtorr, (b) 10 mtorr
Fig. 5. Surface SEM photographs of ZnO films.
(a) 5 mtorr and (b) 10 mtorr



(a)



(b)

그림 6. Ar/O₂ 가스조성비에 따른 (a) ZnO 압전 박막의 XRD 피크 및 (b) ZnO 박막 성장 속도 및 FWHM.

Fig. 6. (a) XRD peaks and (b) FWHM of X-ray rocking curves and growth rate of the ZnO films at different Ar/O₂ gas ratios.

원자수가 감소하게 되므로 ZnO 박막의 증착속도는 산소함유량의 증가로 인하여 떨어졌다. 따라서, 좋은 주파수 특성을 갖는 FBAR를 제작하기 위하여 우수한 c축 배향성을 갖는 ZnO 박막의 증착조건으로 265 W RF power, 10 mtorr의 working pressure, 그리고 Ar/O₂ 가스유량비는 50 %를 선택하였다.

그림 7은 SMR타입 FBAR의 S₁₁ 파라미터의 특성이다. 직렬공진은 2.128 GHz, 병렬공진은 2.151 GHz에서 나타났다. 본 논문에서 공진주파수가 2.25 GHz를 목표로 설계를 하였으나, 1800 Å 두께의 Al-3 % Cu 전극에 의해서 mass loading 효과가 발생되어 공진주파수가 약간 감소하였음을 알 수 있었다. Q factor는 반사층의 두께와 압전박막의 c-축 우선 배향성에 가장 큰 영향을 받으며, 본 연구에서는 반사층의 두께를 고정시키고 c-축 우선 배향성에 중점을 두어 실험을 수행하였다.

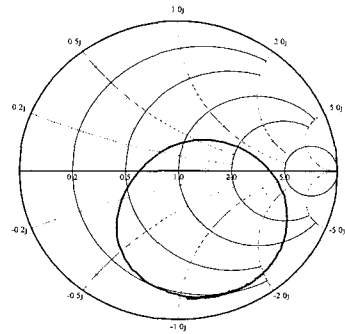


그림 7. SMR-type FBAR 소자의 S 파라미터.

Fig. 7. S₁₁ parameters of SMR-typed FBAR device.

Q factor는 QZERO 프로그램을 사용하여 계산하였으며, 401.8±8.5의 값을 나타내었다. 이는 현재 양산중인 세라믹 유전체 공진기 Q값이 200~400임을 고려할 때 우수한 특성을 나타내고 있지만, FBAR 공진기로서는 비교적 낮은 값으로 향후 압전물질의 개선 등으로 700 이상으로 향상시키도록 연구중이다.

4. 결론

RF magnetron 스퍼터링을 이용하여 ZnO 압전층의 SMR타입의 FBAR소자를 제작하였다. 공진기 제작에 적용하기 위한 ZnO 박막의 최적 증착 조건은 RF power 265 W, chamber pressure 10 mtorr, Ar/O₂ 가스유량비는 1:1 이었다. 공진면적은 50 μm x 50 μm이고 ZnO 박막두께는 1.4 μm, 상하부 전극은 1800 Å 두께의 Al-3 % Cu로 구성된 공진기를 제작하였다. 직렬공진은 2.128 GHz, 병렬공진은 2.151 GHz에서 발생되었고, Q factor는 약 400이었다.

감사의 글

본 연구는 경기도 지역협력연구센터(KRRC)의 경원대학교 신소재 및 응용기술연구센터의 지원을 받아 이루어졌다.

참고 문헌

[1] K. Lakin, G. Kline, and K. McCarron, "Development of miniature filters for wirel-

- ess applications”, IEEE Transactions on microwave theory and techniques, Vol. 43, No. 12, p. 2933, 1995.
- [2] Y. M. Kim, K. Y. Noh, J. Y. Park, and J. H. Lee, Journal of the Korea Physical Society, Vol. 39, p. S268, 2001.
- [3] Marc-Alexandre Dubois and Paul Rhee, “BAW resonators based on aluminum nitride thin films”, Proceedings of IEEE Ultrasonics Symposium, p. 907, 1999.
- [4] J. M. Lee, “A Study on the Microwave Properties of Film Bulk Acoustic Resonators”, Ph. D thesis, Seoul National University, p. 20, 2001.
- [5] Jae Bin Lee, “Fabrication of Film Bulk Acoustic Resonator Devices using Piezoelectric ZnO Films”, Ph. D thesis, Seoul National University, p. 23, 2001.
- [6] R. Ondo-Ndong, F. Pascal-Delannoy, A. Boyer, A. Giani, and A. Foucran, “Structural properties of zinc oxide thin films prepared by RF magnetron sputtering”, Materials Science and Engineering, Vol. B97, No. 1, p. 68, 2003.
- [7] H. P. Loebbl, M. Klee, and C. Metzmacher, W. Brand, R. Milsom, and P. Lok, “Piezoelectric thin AlN films for bulk acoustic wave(BA-W) resonators”, Materials Chemistry and physics, Vol. 79, No. 2-3, p. 143, 2003.