

FBAR 소자제작을 위한 ZnO 박막 증착 및 특성에 대한 연구

강상원*, 김선욱*, 임승만*, 김수길*, 신영화*

*경원대학교 전자공학과

초 록

본 연구에서는 SiO₂/Si 기판 위에 1.1 μm 두께의 ZnO 압전층을 다양한 조건 하에서 증착하고, 그 특성을 분석하고, film bulk acoustic wave resonator 소자에 적용하였다. 증착조건으로 Ar/O₂ 유량비를 25~75 %로 변화시켰으며, working pressure는 3~15 mtorr, RF power는 213~300 W로 변화시켜가며 실험을 하였다. 증착된 ZnO 박막은 XRD (X-ray diffractometer)와 SEM (scanning electron microscopy)을 통해 특성이 분석되었다. LFE모드의 BAW 공진기는 50×50 μm² 공진면적을 가지며, W/SiO₂의 5층 Bragg reflector와 상하부 전극으로 1800 Å의 Al-3% Cu, 그리고 1.4 μm 두께의 ZnO 압전박막으로 구성되었다. 2.128~2.151 GHz 주파수 사이에서 공진이 일어났으며, Q factor는 400으로 측정되었다.

1. 서론

박막형 BAW (bulk acoustic wave) 공진기에서는 상하부 전극을 통해 전계가 인가 될 때, 압전 박막층에서 발생한 음향파가 기판의 영향을 받지 않아야 고품질 계수를 갖는 공진기를 제작할 수 있다. 기판효과를 제거하기 위해서 일반적으로 3 가지의 구조로 공진기가 제작된다. 첫번째로 Membrane type이 있는데, 이 타입은 구조는 만들기 쉬우나 식각 용액에 의해 압전물질이 손상을 입기가 쉽다. 이로 인해 BAW 공진기의 주파수가 왜곡현상이 발생된다. 두번째 방법으로 air-gap type은 가장 좋은 성능을 낼 수 있으나 이 구조는 구조적으로 취약하여 제조가 어렵다. 마지막으로 SMR (Solidly Mounted Resonator) 타입으로 Bragg reflector 층을 만들기 위해서는 임피던스 차가 큰 물질을 교대로 증착해야 Bragg reflector 층에서 임피던스가 공기와 같은 -1로 되어 기판에 의한 음향파의 손실이 사라진다. 그러므로 λ/2에 해당되는 압전층의 두께와 λ/4에 해당되는 Bragg reflector 층의 두께 조절이 가장 중요하다. 압전층으로 쓰이는 ZnO는 hexagonal wurtzite 구조로 높은 전기기계 결합 상수를 갖고, 음향파 공진기에 적용이 용이하다. 이 논문에서 박막형 BAW 공진기의 c축 배향성에 관해서 실험을 하였고, RF Sputtering 방법을 사용하여 우수한 c축 배향성과 표면상태가 좋은 ZnO 박막을 낮은 기판온도의 Si기판 위에 성장시켰다. 그리고, 증착된 ZnO박막을 LFE-mode의 SMR 공진기에 적용하여 공진특성을 살펴보았다.

2. 실험 방법

RF-magnetron Sputtering방법으로 4인치 ZnO 타겟(순도 99.999 %)을 이용하여 ZnO 박막을 증착하였다. Si (p-type, 100) 기판 위에 SiO₂ (3000 Å)이 형성되어 있는 기판을 사용하였으며, 타겟

과 기관과의 거리는 12.5 cm이고, 기관의 회전속도는 15 rpm, RF power는 213~300 W, Ar/O₂ 가스 유량비는 25~75 %, working pressure는 3~15 mtorr로 변화시키면서 실험을 하였다. 증착된 ZnO 박막의 두께는 1.1 μm였고, 기관온도는 상온을 유지하였다. 분석장비로 XRD(D-MAX 2200, Rigaku)를 사용했으며 소스로는 Cu-Kα를 사용하였다. 또 박막의 두께, 표면상태, 그리고 단면을 관찰하기 위해 SEM(XS30FEG, Philips)을 사용하였다. 그림 1에 나타난 것과 같이 Si 기관 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 형성하였고, LFE-mode BAW 공진기의 공진주파수 측정을 위해 Cascade summit 9100 probing station, Cascade GSG-150 probes, 그리고 Agilent E8464A network analyzer를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림2는 RF power를 변화를 시켰을 때의 ZnO 박막의 XRD 파고와 Rocking Curve를 나타낸 것이다. 이 때 working pressure는 15 mtorr이고 Ar/O₂ 가스유량비는 1:1이었다. RF power가 증가함

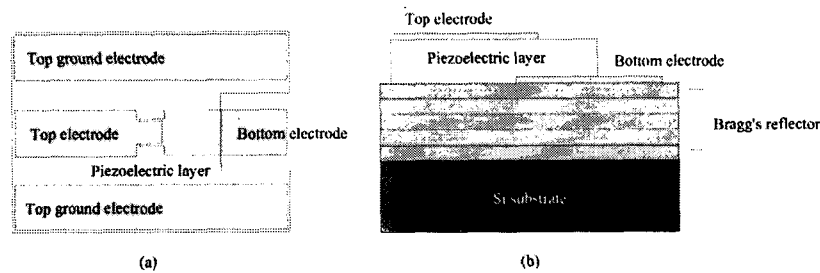


그림 1. Schematic diagram of a BAW resonator adopted in this experiment; (a) plain and (b) cross-sectional view.

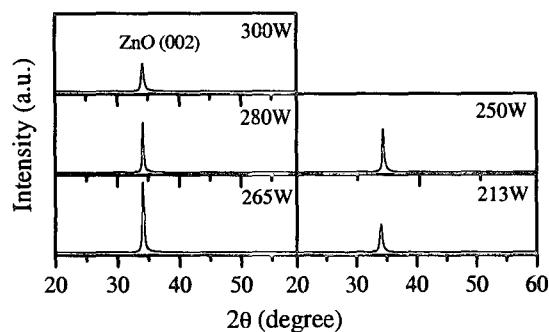


그림. 2. X-ray diffraction patterns of the ZnO films on SiO₂/Si substrate at different RF-power.

에 따라 250 W에서 약간 불규칙적으로 나타났지만 FWHM(Full width at half maximum)이 점점 좋아짐을 알 수 있었다. 그러므로 플라즈마 내의 여기종의 증가로 plasma에너지 역시 증가함을 알 수 있고, 원자의 이동도가 높아지면 표면에너지가 높아져서 결정질 형성이 용이하기 때문이다.

그러나 타겟 안쪽으로 높은 RF power가 발생하게 되고, 자기선속이 증가하고 원자가 c축으로 성장할 시간이 부족하여 (002)면 이외의 다른 방향성을 가지게 된다. 그 결과 X-ray 피크는 더욱 나빠진다. 본 논문에서는 실험을 통하여 얻은 가장 좋은 결과는 RF power 265 W일 때 반가폭이 8.403° 이었다. 따라서, RF power는 265 W로 고정시켜 놓고 working pressure를 변화시켰다.

그림 3(a)에는 working pressure가 5~15 mtorr일 때 ZnO의 X-ray 피크를 나타내었고, 그림 3(b)에는 rocking curve의 반가폭 변화를 나타내었다. 압력이 증가하면 증착속도도 증가하였다. 이는 plasma flux도 증가함을 의미한다. 그러나 반응 챔버 내의 입자 간의 충돌이 증가하여 입자들의 평균자유행로는 감소하였다. 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 4는 Ar/O₂ 가스유량비에 따른 실험결과이다. 이 실험에서 RF power는 265 W, working pressure 10 mtorr로 고정시켰고, Ar/O₂의 총가스량은 26 sccm이고, 25 %, 50 % 그리고 75 %로 가스유량비를 변화시켰다. Ar/O₂ 가스유량비가 50 %일 때 X-ray 측정결과 피크강도가 가장 높고 반가폭이 낮음을 알 수 있다. 산소의 함량이 낮아질수록, 증착속도가 점점 증가함을 그림 4(b)에서 볼 수 있다. 산소의 함량이 높아질수록 ZnO 박막의 증착속도가 낮은 것을 알 수 있는데, 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 산소가 적어도 증착율이 높다. 그러나 산소농도가 증가하면서 Ar의 원자수가 감소하게 되므로 ZnO박막의 증착속도는 산소함유량의 증가로 인하여 떨어졌다. 따라서, 좋은 주파수 특성을 갖는 BAW 공진기를 제작하기 위하여 우수한 c축 배향성을 갖는 ZnO 박막의 증착조건으로 265 W RF power, 10 mtorr의 working pressure, 그리고 Ar/O₂ 가스유량비는 50 %를 선택하였다.

그림5는 LFE-mode BAW 공진기의 S₁₁ parameter 특성이다. 직렬공진은 2.128GHz, 병렬공진은 2.151 GHz에서 나타났다. 본 논문에서 공진주파수가 2.25GHz를 목표로 설계를 하였으나,

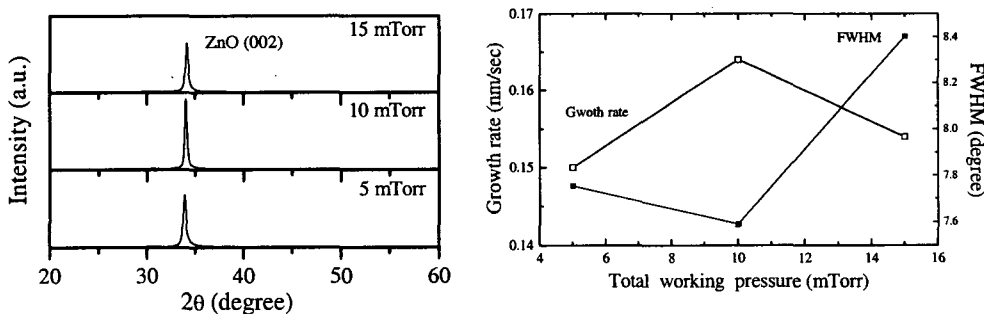


그림 3. (a) X-ray diffraction peaks and (b) FWHM of X-ray rocking curves and growth rate of the ZnO films on SiO₂/Si substrate at different total working pressure.

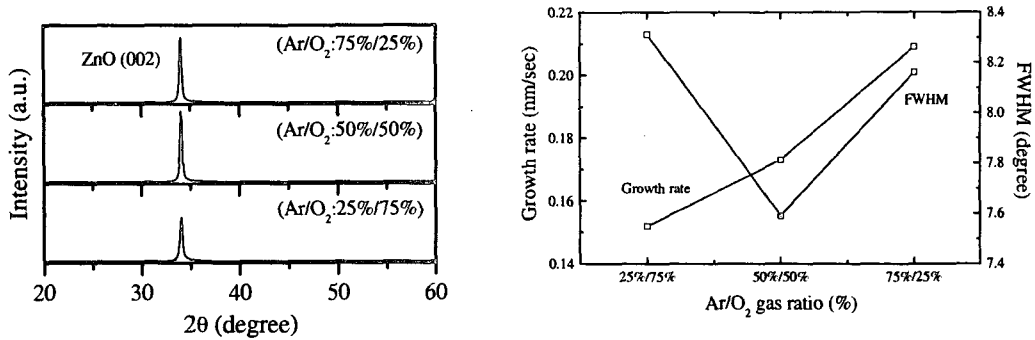


그림 4. (a) X-ray diffraction peaks and (b) FWHM of X-ray rocking curves and growth rate of the ZnO films on SiO₂/Si substrate at different Ar/O₂ gas ratio.

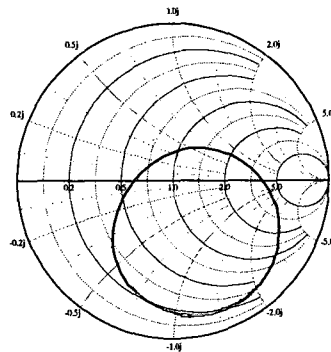


그림 5. The S₁₁ parameters of LFE-mode SMR-type FBAR device.

1800 Å 두께의 Al-3 % Cu 전극에 의해서 mass loading 효과가 발생되어 공진주파수가 약간 감소하였음을 알 수 있었다. 커플링 상수는 LFE-mode SMR 구조의 FBAR 소자에서 0.0432로 나타났으며 이론치에 비해 54 % 정도의 성능이다. Q factor는 QZERO 프로그램을 사용하여 계산하였는데, 약 400값을 나타내었다.

4. 결론

RF magnetron 스퍼터링을 이용하여 ZnO 압전층의 LFE-mode BAW 공진기를 제작하였다. 공진기 제작에 적용하기 위한 ZnO 박막의 최적 증착조건은 RF power 265 W, chamber pressure 10 mtorr, 1:1 의 Ar/O₂ 가스유량비였다. 공진면적은 50× 50μm²이고 ZnO 박막두께는 1.4 μm, 상하부 전극은 1800 Å 두께의 Al-3% Cu로 구성된 공진기를 제작하였다. 직렬공진은 2.128 GHz, 병렬공진은 2.151 GHz에서 발생되었다. 커플링 상수는 0.0432이고, 이론치에 비해 54 % 정도 성능을 나타내었다. 마지막으로 Q factor는 약 400이었다.

참고문헌

- [1] K. Lakin, G. Kline, and T. McCarron, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 제43 권, p. 2933, 1995.

- [2] Y. M. Kim, K. Y. Noh, J. Y. Park and J. H. Lee, Journal of the Korea Physical Society, 제39권, p. S268, 2001.
- [3] Marc-Alexandre Dubois and Paul Rhee, 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, 2001.
- [5] Jae Bin Lee, " Fabrication of Film Bulk Acoustic Resonator Devices Using Piezoelectric ZnO Films" , Ph. D thesis, Seoul National University, 2001.
- [6] R. Ondo-Ndong, F. Pascal-Delannoy, A. Boyer, A.Giani, and A. Foucran, Materials Science and Engineering, 제B97권, p. 68, 2003.
- [7] J. B. Lee, S. H. Kwak, and H. J. Kim, Thin Solid Films, 제423권, p. 262, 2003.
- [8] H. P. Loebel, M. Klee, C.Metzmacher, W. Brand, R. Milsom, and P. Lok, Materials Chemistry and physics, 제79권, p. 143, 2003.