

FBAR 응용을 위한 ZnO 박막의 특성에 대한 연구

정영학, 이규일, 김응권, 이종덕*, 송준태

성균관대학교, 서남대학교*

A Study on properties of ZnO thin film for Film Bulk Acoustic Resonator (FBAR) application

Young Hak Jeong, Kyu Il Lee, Eun Kwon Kim, Jong Duk Lee* and Joon Tae Song
Sungkyunkwan University, Seonam University*

Abstract

In this paper, zinc oxide (ZnO) films with *c*-axis (002) orientation have been successfully deposited on the Al/Si substrate by rf magnetron sputtering method. The deposited films were characterized by substrate temperature. Physical and structural properties of the deposited films were investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM) measurement. Electrical properties of the deposited films were investigated by 4-point probe and LCR meter measurement. The optimal condition in this experimental result was found at 300°C of the substrate temperature and shown good film quality for FBAR application.

Key Words : FBAR, ZnO, rf magnetron sputtering

1. 서 론

최근 정보 통신의 급속한 성장으로 인해 높은 주파수를 선택적으로 전달하는 대역통과 필터의 수요가 늘어나고 있다. 특히 필터는 무선 통신시스템 중 필수적인 것 중 하나로서, 여러개의 공진기 조합으로 이루어져 있다. 현재까지 유전체 필터나 표면탄성과 필터 (Surface Acoustic Wave filter: SAW filter)가 많이 사용되어 왔으나 동작 주파수가 높아짐에 따라 저삽입손실 구현, 저전력에 관한 문제점을 가지고 있으며 특히 MMIC (monolithic microwave integrated circuit)화에 부적합하다. 이러한 단점들을 보완할 수 있는 대역통과 필터 응용으로 체적탄성과 공진기에 대한 연구가 진행중이다[1-3].

FBAR (Film Bulk Acoustic Resonator)가 GHz 주파수 대역에서 저손실 및 우수한 주파수 특성을 갖기 위한 물질은 높은 위상속도, 큰 전기기계적 결합계수, 적은 감쇄정수, 높은 항복전압, 높은 비저항 등의 특성을 만족해야한다. 또한, 탄성파를 발생시키고 이를 검출하기 위한 압전체에 요구되

는 조건은 *c* 축에 대한 우수한 배향성과 큰 압전 결합계수를 갖는 박막을 형성할 수 있어야 한다 [4]. 현재 이러한 요구조건을 만족하는 재료로는 LiTaO₃(LT), LiNbO₃(LN) 등의 산화물 압전 단결정, ZnO, AlN, CdS 등의 압전 박막, PZT계의 압전 세라믹 등이 있으나, CdS 박막은 높은 비저항값을 가지기 어렵고, LiTaO₃(LT)와 LiNbO₃(LN) 박막은 증착시 조성제어의 어려움이 있다[5].

ZnO는 위자이트의 육방결정구조를 가지며 Zn층과 O층이 교대로 구성되어 있으며 유효이온전하의 비가 1:1.2이기 때문에 극성이 *c* 축을 갖고 있다. 또한, 약 3.1 eV의 금지대 폭을 갖는 II-VI족 n-type 화합물 반도체로서 우수한 압전성을 가지고 있으며, 적절한 불순물을 첨가함에 따라 전도체, 절연체가 되는 특성이 있어, FBAR 소자에 대한 연구가 진행되고 있다[6].

본 논문에서는 우수한 특성을 갖고 있는 ZnO를 FBAR에 응용하기 위해 rf 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용한 기판 온도에 따른 ZnO를 증착하여 구조적, 물리적 및 전기적 특성을 분석하였다.

2. 실험

FBAR에 적용을 위한 ZnO의 최적화 조건을 분석하기 위해 MIM (Metal-Insulator-Metal) 구조의 샘플을 제작하여 구조적, 물리적 및 전기적 특성을 분석하였다. 증착하기 앞서 실리콘 기판의 자연 산화막을 제거하기 위해 HF:H₂O (=1:10) 용액에 20초간 담근 후 탈 이온수에 세척하였다. 또한, 실리콘 웨이퍼 세정을 위해 5분간 아세톤, 메탄올 순으로 초음파 세척한 후 탈 이온수를 이용하여 5분 이상 세척하였다. 세정을 마친 후 Thermal Evaporator를 이용하여 하부전극 Al을 증착하였고 ZnO 박막은 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. ZnO 박막의 FBAR 응용 최적 조건을 구하기 위해 혼합가스비 Ar:O₂ (=1:1), 타겟과 기판과의 거리 70 mm를 유지하고 기판의 온도를 50°C, 100°C, 200°C 그리고 300°C로 변화시키며 증착하였다. 마지막으로 열 증발장치를 이용하여 상부전극 Al을 증착하였다. ZnO 증착 조건을 표 1에 나타내었다. 증착된 ZnO 박막의 구조적 분석에 대해, c 축 우선 배향성을 확인하기 위해 X-ray Diffraction (Rigaku Rotaflex D/MAX System, 30 KV, 100 mA)을 사용하여 기판 온도에 따라서 증착된 ZnO 박막의 결정성을 조사하였다. ZnO 박막의 표면을 보기 위해 SEM (Scanning Electron Microscope)을 이용하여 측정하였고, 표면 거칠기의 조사를 위해 AFM (Atomic Force Microscope)을 사용하였다. 전기적 분석 방법으로 비저항 측정을 위해 4-point probe (CMT-SR1000N, Changmin Co.)를 이용하였고, 커패시턴스와 유전손실은 Hewlett Packard 4275 multi-frequency LCR meter를 사용하여 측정하였고, 유전상수는 측정된 커패시턴스 값으로부터 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 X선 회절분석

그림 1은 기판 온도에 따른 ZnO 박막의 X선 회절분석 측정 결과의 변화를 나타내었다. 분석 조건은 인가전압과 전류값이 각각 40 kV, 50 mA이고, 분석 각은 20 ~ 60°, 스캔 스피드(scan speed)는 0.05°/sec, 스텝 사이즈는 1°로 하였다. 측정 결과 기판 온도가 증가함에 따라 34.4°부근에서 ZnO 박막의 (002) 방향이 증가함을 확인할 수 있었다. 또한, ZnO 박막의 (002) 방향을 제외한 다른 결정 방향이 나타나지 않아 FBAR 제작에 사용되는 압전 물질로서 우수한 특성을 보였다.

표 1. ZnO 박막의 스퍼터링 조건.

Table 1. Sputtering condition of ZnO thin film.

Target	Sintered ZnO Ceramic Target
substrate	Si (500~550 μm)
Base pressure of system	2×10 ⁻⁵ (Torr)
Working pressure	4×10 ⁻³ (Torr)
Ar:O ₂ flow rate	1:1
rf power	125 (W)
Substrate temperature	50, 100, 200, 300°C

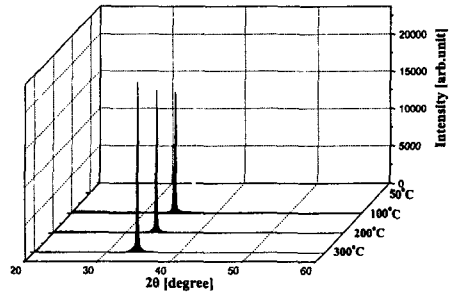


그림 1. X 선 회절 패턴.

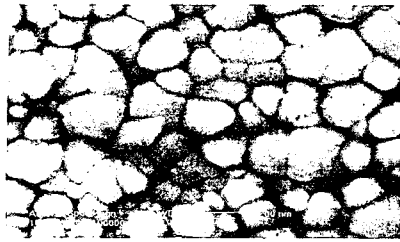
Fig 1. XRD patterns of ZnO thin film.

3.2 SEM 분석

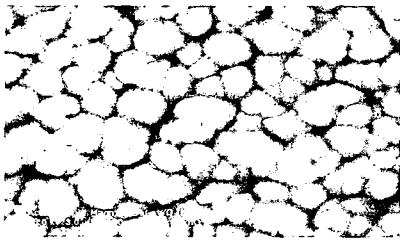
FBAR에 응용이 되기 위해서는 x선 회절분석으로 c 축 배향성을 확인하여 좋은 배향성을 가진 증착 조건을 찾아야 하고 이를 뒷받침 하기 위해서 SEM으로 확실한 주상구조 모양을 가져가는지 확인하여야 한다. 따라서 증착된 ZnO 박막의 주상구조를 확인하기 위해 SEM을 측정하였다. 그림 2는 기판 온도에 따른 ZnO 박막에 대한 SEM 표면 측정 사진이다. 낮은 기판 온도에서 증착은 이동도가 낮아 쉽게 결정 구조를 형성하는 경향이 있고 거친 표면을 갖는다. 반면 높은 온도에서의 증착은 흡착된 원자의 이동도가 증가되고 이동도의 증가는 표면 에너지의 증가로 표면 거칠기가 향상된 박막을 보였다[7]. 이러한 결과 기판 온도가 증가함에 따라 결정이 균일하게 성장되었음을 확인하였다.

3.3 표면거칠기 분석

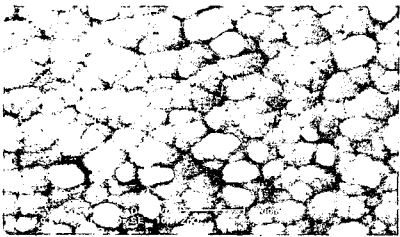
그림 3과 4는 측정된 AFM의 결과이다. 증착된 ZnO 박막의 표면 거칠기를 조사하기 위해 AFM



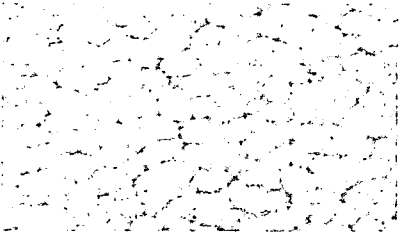
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2. 기판 온도에 따른 ZnO 박막의 SEM 결과

(a) 50°C (b) 100°C (c) 200°C (d) 300°C

Fig 2. SEM images of ZnO thin film as various substrate temperate.

분석을 하여 표면 거칠기를 조사하였다. 측정 결과 표면 거칠기는 기판 온도가 50°C에서 131.9 Å, 100°C에서 117.3 Å, 200°C에서 89.02 Å, 300°C에서 61.09 Å로 측정되었고 기판 온도가 증가함에 따라 표면 거칠기가 감소하며 양호한 박막 표면을 갖게 되어 우수한 특성을 나타내었다[7]. 탄성파는 상·하부전극에 전기적 신호를 인가하면 압전 박막 내에서 발생하는 기계적인 에너지이다. 따라서 좋은 공진 특성을 나타내기 위해서는 양호한 박막

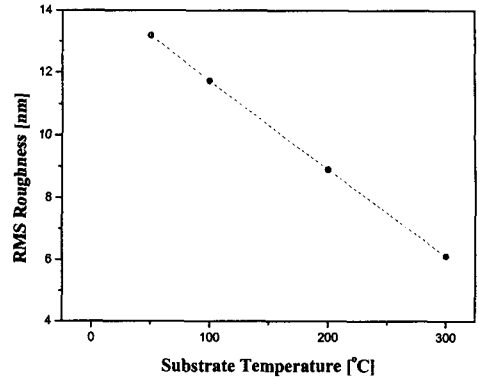
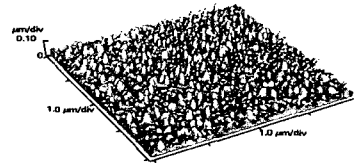
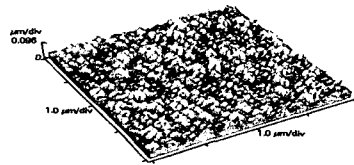


그림 3. 기판 온도에 따른 ZnO 박막의 표면 거칠기

Fig 3. RMS Roughness of ZnO thin film as various substrate temperature.



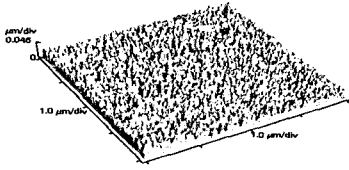
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. 기판 온도에 따른 ZnO 박막의 AFM 결과
(a) 50°C (b) 100°C (c) 200°C (d) 300°C

Fig 4. AFM of ZnO thin film as various substrate temperature.

표면에서 발생된 탄성파들이 완전 반사를 해야하기 때문에 압전 박막의 표면 거칠기의 제어 또한 공진특성을 향상시키는데 중요한 역할을 한다[8].

3.4 전기적 특성 분석

FBAR는 높은 비저항과 낮은 유전상수를 가져야 하며 유전손이 작아야 한다[6,9]. 따라서 높은 c 축 배향성 특징을 나타냄과 동시에 전기적인 특성을 향상시키기 위해 증착 조건에 따라 비저항, 유전상수 및 유전손실을 측정하였다. 비저항은 4-point probe를 이용하여 SEM으로 측정된 두께로 측정하였고, 측정 결과 기판 온도가 증가함에 따라 높은 비저항 값을 나타냄을 확인하였고 측정 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 6 (a)는 LCR meter를 사용하여 커패시턴스를 측정하여 커패시턴스 값을 이용하여 유전상수를 계산하여 나타내었다. 측정 결과 유전상수는 기판 온도가 증가함에 따라 12.3, 11.91, 11.01, 10.23으로 낮은 값을 갖게 되었다. 그림 6 (b)는 LCR meter를 사용하여 측정된 유전손실 값을 나타내었고 측정 결과 유전손실은 기판 온도가 증가함에 따라 0.053, 0.048, 0.039, 0.028로 유전손실이 감소함을 확인하였다. 이러한 결과는 ZnO의 FBAR 응용시 응답시간을 줄이며 높은 Q 값을 얻는데 도움이 된다[6].

4. 결론

FBAR 응용을 위한 ZnO 박막을 rf magnetron 스퍼터링 방법으로 증착하여 구조적, 물리적 및 전기적 특성을 조사하였다. 실험 결과 기판 온도가 증가함에 따라 결정이 균일하게 성장하여 c 축 우

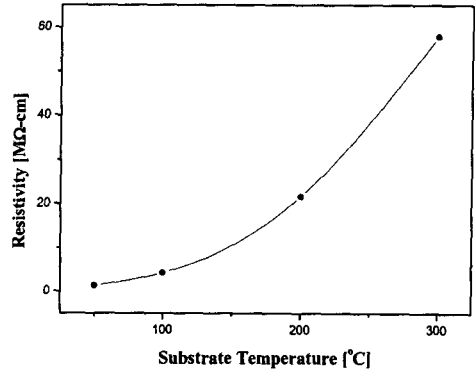
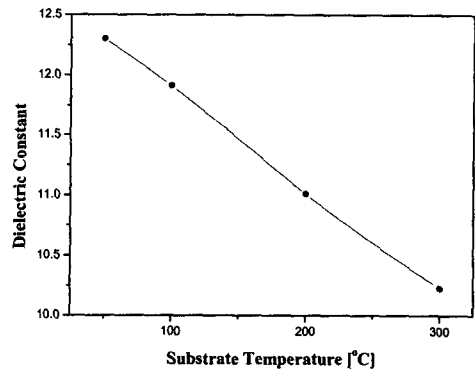
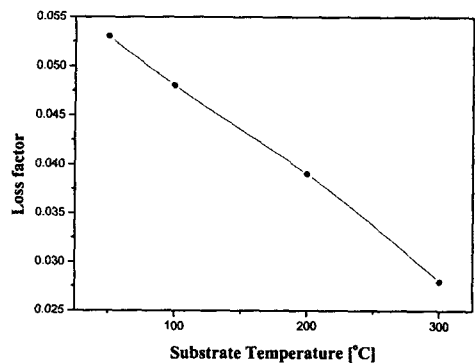


그림 5. 기판 온도에 따른 ZnO 박막의 비저항
Fig 5. Resistivity of ZnO thin film as various substrate temperature.



(a)



(b)

그림 6. (a) 유전상수 (b) 유전손실

Fig 6. (a) Dielectric constant (b) Loss factor

선 배향성이 증가함을 확인하였고 또한, AFM 분석에서 양호한 박막 표면을 갖음으로 FBAR 응용시 탄성파의 완전 반사를 위한 압전 박막의 표면을 제시하였다. 전기적 특성은 기판 온도가 증가함에 따라 높은 비저항 값을 갖게 되었고 유전상수와 유전손실은 낮은 값을 갖게 되어 FBAR 소자 응용시 높은 Q값을 얻게 될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 김인태, 박윤권, 이시형, 이윤희, 이전국, 김남수, 주병권 “SOI 웨이퍼를 이용한 압전박막공진기 제작”, 전기전자재료학회논문지, 15권, 12호, p. 1039, 2002.
- [2] 정영학, 김용권, 윤창진, 송준태, “고분자 압전 필름을 이용한 BAW 공진기의 주파수 특성에 관한 연구”, 전기전자재료학회논문지, 16권, 12호, p. 1077, 2003.
- [3] 박창엽, 강종윤, 최지원, 윤석진, 김현재, “초전도 자성체/유한요소법에 의한 1.9 GHz 대 유전체 일체형 필터의 설계”, 전기전자재료학회논문지, 12권, 10호, p. 983, 1999.
- [4] Jae Bin See, Sang Hyun Kwak and Hyeong Joon Kim, “Effects of surface roughness of substrates on the c-axis preferred orientation of ZnO films deposited by r.f. magnetron sputtering”, Thin Solid Films, vol. 423, p. 262, 2003.
- [5] M. Schmid, E. Benes, W. Burger and V. Kravchenko, “Motional Capacitance of Layered Piezoelectric Thickness-Mode Resonator”, IEEE Trans, vol. 38, No. 3, p. 347, 1991.
- [6] Sheng-Yuan Chu, Walter Water, Jih-Tsang Liaw, “Influence of postdeposition annealing on the properties of ZnO films prepared by RF magnetron sputtering”, Journal of the European Ceramic Society, vol. 23, p. 1593, 2003.
- [7] Walter Water, Sheng-Yuan Chu, “Physical and structural properties of ZnO sputtered films”, Materials Letters, vol. 55, p. 67, 2002.
- [8] F.C.M. van de Pol, F.R. Blom and Th.J.A. Popma, “R.f planar magnetron sputtered ZnO films I : Structural properties”, Thin Solid Films, vol. 204, p. 349, 1991.
- [9] Kolb. E. D. and Laudise. R. A., “Hydrothermally grown ZnO crystals of low and intermediate resistivity.” Journal of the American Ceramic Society, 49(6), p. 302, 1966.