

Li:ZnO를 이용하여 제조한 FBAR의 열처리 온도에 따른 주파수 특성

김봉석, 김응권, 황현석, 강현일, 이규일, 이태용, 송준태
 성균관대학교 정보통신공학과

Frequency characteristics of Li doped ZnO thin film resonator annealed by various temperatures

Bong-seok Kim, Eung-kwon Kim, Hyun-suk Hwang, Hyun-il Kang, Kyu-il Lee, Tae-yong Lee, Joon-tae Song
 Department of Information and Communication, Sungkyunkwan University

Abstract : In this paper, frequency characteristic of FBAR was studied as a function of annealing temperature. we have used Li dopant to enhance electrical properties of ZnO thin film. Li:ZnO thin film was deposited on Al(300 nm)/SiO₂(500 nm)/Si(500 μm) and each layer was patterned. Thermal treatment was executed in range of between 300 and 600 °C in O₂ ambient. We observed that the resistivity of ZnO is enhanced under the influence of Li doping and return loss in FBAR frequency properties is improved through annealing.

Key words : Li:ZnO, FBAR, Frequency characteristic, Annealing temperature

1. 서론

기존 SAW(surface acoustic wave) 공진기의 단점을 극복한 소자로 체적탄성파를 이용하는 FBAR(film bulk acoustic resonator)가 있다. 대부분의 FBAR는 샌드위치 구조로써 상부전극과 하부전극 사이에 압전물질이 삽입되는 MIM(metal-insulator-metal)형태이다^[1]. 압전물질로는 주로 AlN 또는 ZnO가 사용된다. ZnO는 II-VI족 반도체 화합물로 우수한 압전 특성을 지닌다. ZnO가 공진기 압전 재료로서 적용되기 위해서는 우수한 결정 배향성과 높은 비저항(10⁶ Ω·cm이상)특성이 필수적이다. ZnO에 Li를 미량 첨가하여 electron acceptor 역할을 함으로써 박막의 비저항을 향상시킬 수 있다. 기판 위에 증착된 압전 박막을 열처리를 실시함으로써 결정성을 향상시키는 방법이 다양하게 연구되었다. 열처리는 박막 내의 결함과 응력을 완화시키고, 결정성을 향상시키는데 기여하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 기판 위에 ZnO 박막을 성장시킨 후 300~600 °C 구간에서 열처리를 실시함으로써 결정성의 향상에 따른 구조적, 전기적 특성과 주파수 특성의 변화에 대하여 연구하였다.

2. 실험

FBAR 소자를 제작하기 위한 개략적인 공정순서는 다음과 같다. 먼저 두께 500 μm의 실리콘 기판을 준비하고 산소분위기의 전기로를 이용하여 열산화막(thermal oxidation film)을 0.5 μm 두께로 성장시켰다. 하부전극은 열증발기(evaporator)를 이용하여 Si를 300 nm의 두께로 증착하였다. Li:ZnO 박막은 pulse dc magnetron sputtering을 이용하여 1.5 μm의 두께로 증착하였으며 열처리는 산소분위기에서 300~600 °C의 온도로 30분간 실시하였으며 하부층 실리콘 막은 25 wt%의 TMAH용액을 이용하여 에칭을 한 후 SiO₂ 박막은 불산용액(17:1)을 이용하여

에칭을 하였다. 증착된 ZnO 박막의 결정구조와 미세조직의 분석을 위해 XRD(X-ray diffractometer)를 이용하였고 최종 공진기의 주파수 특성을 측정하기 위해 네트워크 어날라이저(network analyzer)를 이용하였다.

표 1. Li:ZnO 박막의 증착조건

Parameter	Value
Target	Li 1.25 at% doped ZnO
Power mode	Asymmetric bipolar pulse DC Power : 200 W
Base pressure	6 × 10 ⁻⁴ Pa
Sputtering gas	Ar - 10 sccm, O ₂ - 10 sccm
Substrate distance	60 mm
Film thickness	1.5 μm
Annealing temperature	300, 400, 500, 600 °C in O ₂ ambient

3. 결과 및 고찰

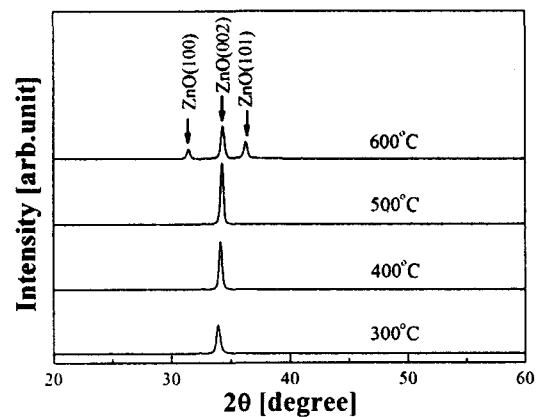


그림 1. 열처리온도에 따른 XRD 패턴

그림 1은 동일한 조건에서 성장시킨 Li:ZnO 박막을 각 다른 온도에서 열처리한 후 XRD 실험을 한 결과이다.

Li:ZnO 박막은 전체적으로 $2\theta=34.42^\circ$ 근처에서 발생하는 (002) 피크가 우세하게 관찰되었다. 이 결과는 결정이 기판에 수직하게 성장하였음을 의미한다. 또한 열처리 온도가 높을수록 피크의 강도가 향상되어 500°C에서 가장 큰 강도를 보이는 것으로부터 열처리에 의해 결정성이 향상되었음을 확인하였다. 하지만 600°C에서 열처리한 Li:ZnO 박막은 (100)과 (101) 피크가 발견되는 것으로 보아 다결정으로 변화한 것을 알 수 있었다.

변형이 없는 상태의 표준 ZnO 파우더로 XRD 실험을 실시했을 경우 (002) 피크는 34.42° 에서 발생한다. 하지만 본 실험에서 박막으로 성장시켜 열처리를 실시한 박막의 (002) 피크는 34.42° 보다 작은 각으로 이동해 있다. 이러한 결과는 박막의 증착단계에서 ZnO의 비화학양론적 결합과 Li 도핑의 영향뿐만 아니라 열처리 온도에 따른 박막 내의 응력으로 격자 내 변형의 영향으로 피크의 발생 위치가 이동하게 된다[2]. 본 실험에서 박막 내의 응력을 알아보기 위하여 (1)식을 이용하여 계산하였다[3].

$$\sigma(\text{stress}) = -453.6 \times 10^9 ((c - c_0)/c_0) \quad \dots(1)$$

위 식에서 c_0 는 표준 파우더 ZnO로부터 얻어진 c축 격자 상수값($c_0=5.205$)이며 c는 실험으로부터 얻어진 격자 상수이다. 위의 식으로부터 계산된 열처리 온도에 따른 응력의 크기 및 계산된 결정 크기를 표 2에 나타내었다. 실험 결과에서 높은 온도에서 열처리를 할수록 (002) 피크가 34.42° 에 가까운 각에서 발생하였음을 확인하였다. 이로부터 열처리를 통해 박막 내의 응력이 크게 완화되었음을 확인할 수 있었다.

표 2. 열처리 온도에 따른 Li:ZnO의 구조적 특성

Annealing temperature(°C)	300	400	500	600
Peak shift (degree)	-0.24	-0.13	-0.06	-0.04
c-axis lattice parameter	5.2824	5.2493	5.2286	5.2227
Compressive stress(GPa)	6.7	3.9	2.1	1.5
FWHM (radian)	0.006632	0.005585	0.005236	0.005930
Crystallite size (nm)	22.8468	27.1465	28.9672	25.5621

표 3은 Li:ZnO 박막의 열처리 온도에 따른 비저항과 표면 거칠기를 나타내었다. 표면 거칠기는 300°C보다 열처리 온도가 높을수록 평탄한 형상을 보이면서 500°C에서 20 nm로 가장 우수한 표면 특성을 보였다. I-V data로부터 계산된 비저항은 최소 $10^7 \Omega\text{-cm}$ 에서 최대 $10^{11} \Omega\text{-cm}$ 까지 변화하며 순수 ZnO 박막보다 전체적으로 높은 비저항 값을 보였다. 실험 결과로부터 ZnO 박막 증착 후 열처리에 의해 표면 거칠기와 비저항이 향상될 수 있음을 확인하였다.

표 3. 열처리 온도에 따른 비저항과 거칠기

Annealing temperature (°C)	300	400	500	600
Resistivity ($\Omega\text{-cm}$)	3.5×10^7	5.3×10^8	1.5×10^{11}	8.2×10^7
Roughness (nm)	80.73	35.902	21.109	80.12

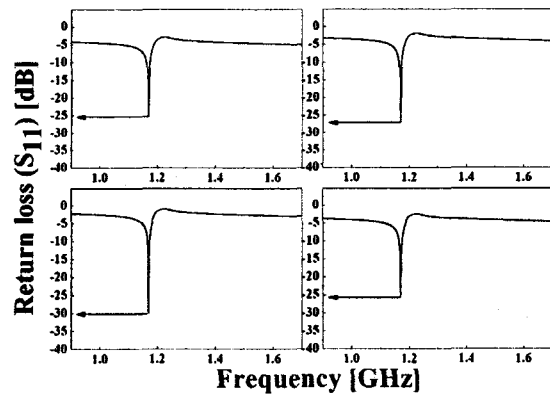


그림 2. 열처리 온도에 따른 반사손실

그림 2는 열처리 온도변화에 따라 최종 공진기를 제작하여 주파수 특성을 측정하여 나타내었다. Li:ZnO 박막을 이용하여 제작한 공진기는 박막의 열처리 온도에 상관없이 공진주파수는 1.17 GHz에서 동일하게 나타났다. 반면 공진주파수에서의 반사손실은 열처리 온도에 따라 각각 다르게 나타났다. 300°C에서 열처리를 실시한 공진기의 반사손실은 -24.9 dB이었고 500°C에서 열처리한 박막을 이용한 공진기는 -29.8 dB로 가장 높은 반사손실을 보였다[4].

4. 결 론

본 실험에서는 membrane형 FBAR를 제작하여 열처리 온도에 따른 주파수 특성을 연구하였다. 최종적으로 제작된 FBAR에서는 열처리 온도에 상관없이 1.17 GHz의 공진 주파수를 보였지만 반사손실은 300°C에서 -24.9 dB, 500°C에서 -29.8 dB를 보여 열처리 온도에 따라 향상되는 경향을 보였다. 실험을 통하여 ZnO에 Li를 도핑함으로써 비저항 특성을 향상시킬 수 있었고, 열처리를 통하여 주파수 특성에서 반사계수를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발(R-2005-7-147)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] E.K. Kim, T.Y. Lee, H.S. Hwang, Y.S. Kim, Y. Park, J.T. Song, Superlattices and microstructures, v.39 no.1/4, 2006, pp.138-144
- [2] M.K. Puchert, P.Y. Timbrell, R.N. Lamb, J. Vac. Sci. Technol. A 14(4), Jul/Aug 1996 2220-2230
- [3] M. Chen, Z. L. Pei, X. Wang, C. Sun, L. S. Wen, J. Vac. Sci. Technol. A 19(3) (2001) 963-970
- [4] Linh Mai, Hae-Il Song, Le Minh Tuan, Pham Van Su, Giwan Yoon, Microwave and optical technology letters, v.47 no.5, 2005, pp.459-462