

FBAR용 ZnO/SiO₂/Si 박막의 결정학적 특성에 관한 연구

A Study of the Crystallographic Properties of ZnO/SiO₂/Si Thin Film for FBAR

금민중*, 손인환**, 최명규***, 추순남***, 최형욱*, 신영화*, 김경환*
(Min-Jong Keum*, In-Hwan Son**, Myung-Gyu Choi***, Soon-Nam Chu***,
Hyung-Wook Choi*, Young-Hwa Shin*, and Kyung-Hwan Kim*)

Abstract

In this study, we prepared ZnO/glass and ZnO/SiO₂/Si thin film by Facing Targets Sputtering (FTS) system for Film Bulk Acoustic Resonator (FBAR). When the ZnO thin film applied to piezoelectric thin film, it requires good c-axis preferred orientation. And c-axis orientation has a remarkable difference with preparation conditions. Therefore, c-axis orientation must be significantly evaluated as a function of deposition conditions. Moreover, in order to prepare ZnO thin film with good crystallographic properties and progressive of efficiency of product process, the ZnO thin film should be prepared as low temperature as possible. In this work, we prepared ZnO thin films on slide glass and SiO₂/Si substrate. And the crystallographic characteristics of ZnO thin films on sputtering conditions were investigated by alpha-step and X-ray diffraction.

Key Words : FBAR, FTS, C-axis orientation

1. 서론

통신 산업의 급격한 발전에 따라 이동 통신 기기의 주요 핵심 부품 역시 많은 연구와 개발이 되고 있으며 특히 현재 고주파 대역 통과 필터의 경우에는 유전체 필터에서 SAW[1,2] 필터가 가장 많이 사용되고 있지만 SAW 필터의 경우 삽입 손실이 크며 2 GHz 이상의 고주파수화가 어렵고 소형·경량화, MMIC화 저손실화 되는 추세에 능동적으로 대처하기는 힘들다. 그러나 박막형 FBAR

(Film Bulk Acoustic Resonator)[3,4] 필터는 박막 형태의 소자를 필터로 구현한 것으로서 삽입손실이 SAW필터보다 작고 MMIC화가 가능하다. 이러한 FBAR 필터 역시 기본적으로는 SAW 필터와 마찬가지로 AlN, ZnO 등의 저가의 다결정 압전 재료를 사용하여 필터를 제작 할 수가 있다.

특히 ZnO 박막의 경우 대칭 육방정계(hexagonal)로써 비화학양론적 결합구조, 높은 굴절율과 압전 결합계수, 그리고 탄성파적 성질 때문에 현재 여러 응용 분야에서 각광을 받고 있는 재료중의 하나이다[5].

따라서 본 연구에서는 고속·저온에서도 안정적인 방전 특성을 갖는 대향타겟식 스퍼터링 장치를 사용하여 ZnO 박막을 제작하였으며, FBAR 소자에 적용하기 위해 기본적으로 요구되어지는 결정성 개선을 위한 실험을 하였다.

* : 경원대학교 전기정보공학과
(경기도 성남시 수정구 복정동 산65번지,
Fax: 031-750-5491
Corresponding Author: khkim@mail.kyungwon.ac.kr)
** : 신성대학 전기과
*** : 경원전문대학 전기제어시스템과
2003년 1월 30일 접수, 2003년 2월 26일 1차 심사완료,
2003년 4월 11일 최종 심사완료

2. 실험

2.1 실험장치

그림 1은 ZnO 박막을 제작하기 위해 본 실험에서 사용된 대향 타겟식 스퍼터링 장치를(FTS : Facing Targets Sputtering System)[6] 나타낸 것이다.

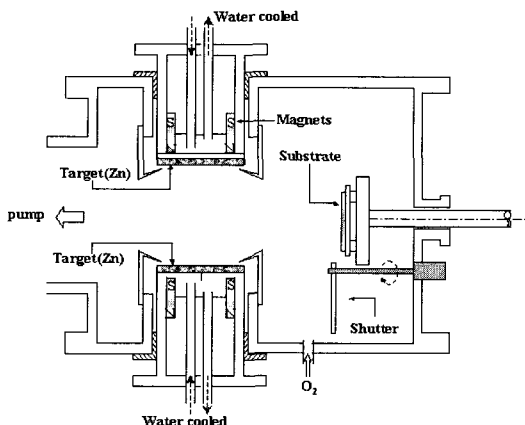


그림 1. FTS 장치 개략도.

Fig. 1. Schematic diagram of FTS apparatus.

일반적으로 사용되는 스퍼터법에 의한 스퍼터링 시 타겟으로부터 방출되는 음의 하전입자가 음극 강하부(타겟)에서 가속되기 때문에 타겟 인가전압에 상당하는 에너지를 얻게 되어 플라즈마로 입사하게 된다. 이러한 높은 에너지를 갖는 입자는 긴 평균자유행정을 갖기 때문에 에너지를 잃지 않은 상태로 플라즈마를 통과할 수 있고 이때 타겟과 마주보고 있는 전극에 높은 에너지를 가진 채로 충돌하게 된다. 특히 음이온은 질량이 크기 때문에 전자와 같이 자계에서 간단히 없앨 수가 없다. 또한 가스 입자와의 충돌에 의해 중성화되기 때문에 기판이 타겟과 마주보게 배치되어 있는 경우에는 이러한 음이온 등과 같은 고 에너지 입자들의 기판 충돌로 인한 막 손상을 받기 쉽다. 그러나 본 연구에서 사용된 FTS 장치는 기판의 위치가 플라즈마로부터 이격 되어 있어 고에너지를 갖는 입자들의 막 충돌을 억제시킬 수가 있다. 또한 서로 마주 보고 있는 두 타겟의 cathode 전위로 인해 γ -전자는 두 타겟 사이를 왕복 운동하게 되며, 분위기 가스의 이온화율을 높이게 된다. 따라서 낮은 가스압에서도 안정적인 방전을 유지하여 고품질의 박막을 증착 할 수가 있다[5,7].

2.2 실험조건

표 1은 ZnO 박막을 제작하기 위한 스퍼터링 조건을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 FBAR용 ZnO 박막의 저온 및 고속 공정을 위해 다음과 같이 실험을 하였다. 우선 비정질 slide glass상에서의 ZnO 박막의 증착 거동에 대한 해석과 이를 토대로 하여 1 μm 두께로 열산화막 처리된 Si(100)의 wafer 상에 스퍼터링 조건을 변화시켜 가며 ZnO/SiO₂/Si 박막을 제작하였다.

표 1. 스퍼터링 조건.

Table 1. Sputtering conditions.

	Glass	SiO ₂ /Si
Targets	Zn(4N)	
substrate	α -slide glass, SiO ₂ /Si	
Base pressure	1.2×10^{-6} Torr	
Working gas	Oxygen	
Confining flux	200 G	
Working gas pressure(P_{O2})	1, 2 mTorr	2 mTorr
Temperature	R.T-300 °C	R.T.
Sputtering current	0.2-0.8 A	0.2-0.8 A
Thickness	500-2000 nm	800 nm

2.3 실험 및 측정 방법

본 연구에서 사용된 기판은 SiO₂/Si와 slide glass로써 다음의 세척과정을 통한 후 ZnO 박막을 증착하였다. 증류수로 10분간 2회, IPA로 10분간 2회 초음파 세척한 후 질소 가스로 송풍 건조시켰다. 또한, 스퍼터링을 하기 전에 shutter를 닫은 상태에서 10분간 pre-sputtering을 하였으며, 그 후에 shutter를 열어 ZnO 박막을 제작하였다. 증착된 ZnO 박막의 두께는 Tencor사의 Alpha-step을 이용하여 측정하였으며, 결정성과 c-축 배향성을 알아보기 위해 XRD(X-ray diffractometer)를 사용하여 2 θ 와 rocking curve를 이용 $\Delta\theta_{50}$ 을 조사하였다. 이때 X-Ray는 Cu-K α line($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$)/40kV/20mA를 사용하였으며 스텝폭과 주사 속도는 각각 0.05, 2 deg/min로 측정하였다. 또한 박

막의 c-축 우선 배향 정도($\Delta\theta_{50}$)는 X-Ray의 입사 각도와 goniometer의 각도를 (0002)면의 회절각으로 고정시킨 후 0~35° 범위에서 측정하여 구하였다. 이 $\Delta\theta_{50}$ 의 값이 작을수록 기판면에 특정 결정축의 수직한 정도(c-축 우선 배향성)가 우수함을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 스퍼터링 전류에 따른 비정질 slide glass 기판상에 증착된 ZnO 박막의 증착율을 나타낸 것이다. 그림에서처럼 스퍼터링 전류의 증가에 따라 증착율 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 3에 나타난바와 같이 스퍼터링 전류 증가에 따른 막의 증착율 증가로 결정성 개선이 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있다.

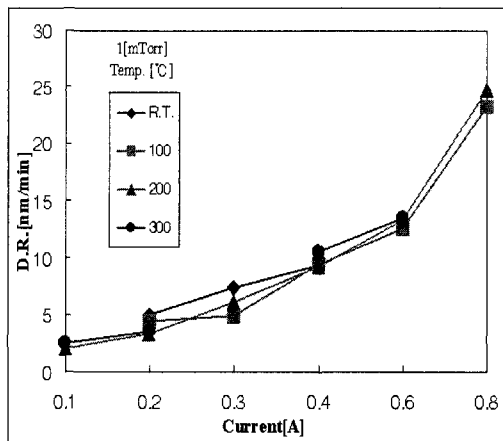


그림 2. 스퍼터링 전류에 따른 증착율.
Fig. 2. Deposition rate on sputtering currents.

그림 3은 스퍼터링 전류에 따른 glass 기판위에 증착된 ZnO 박막의(막 두께 500 nm) $\Delta\theta_{50}$ 을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 스퍼터링 전류가 0.4 A까지 증가함에 따라 박막의 $\Delta\theta_{50}$ 은 감소하지만 0.4 A 이상에서부터는 오히려 증가하게 된다. 이는 스퍼터링 전류 증가에 따라 스퍼터된 입자들의 에너지도 증가하여 오히려 막의 c-축 배향성이 나빠지는 것을 알 수 있다. 그러나 기판 온도의 증가시 박막의 c-축 배향성은 양호해지는 것을 알 수 있다.

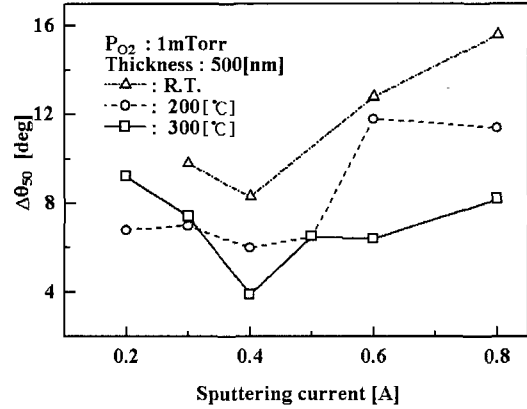


그림 3. 스퍼터링 전류에 따른 c-축 배향성.
Fig. 3. c-axis orientation on sputtering currents.

그림 4는 스퍼터링 전류 0.4 A에서 증착된 ZnO/glass 박막의 두께 증가에 따른 c-축 배향성을 나타낸 것이다.

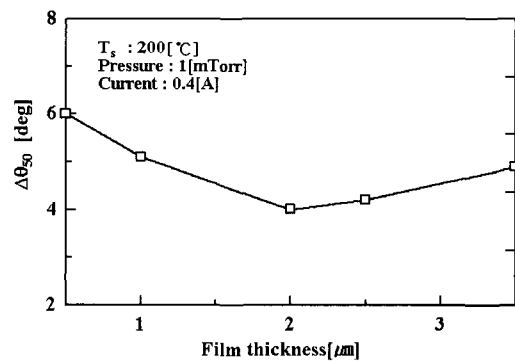


그림 4. 박막 두께에 따른 c-축 배향성.
Fig. 4. c-axis orientation on film thickness.

그림 4에 나타난 바와 같이 두께 증가에 따라 막의 $\Delta\theta_{50}$ 은 감소하지만 2 μm 이상 증가 시 $\Delta\theta_{50}$ 은 다시 증가하게 된다. 이는 막이 증착 될수록 스퍼터된 입자들의 기판 충돌에 의한 에너지가 지속적으로 축적되어 막 두께 증가로 인한 입자간 응력에 의한 막 질의 향상보다 충돌에너지의 축적에 의한 막 손상이 나타났기 때문으로 사료된다. 따라서 일정 두께 이상 증착 시 그에 따른 막 증착에 관련된 스퍼터 입자 에너지의 조절이 필요하다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 가스 압력변화에 따른 ZnO/glass 박막

의 c-축 배향성을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 막 두께 3.5 μm 에서 가스압력이 1 mTorr로 증가할수록 박막의 $\Delta\theta_{50}$ 은 감소하지만 가스 압력이 그 이상 증가 할 경우 $\Delta\theta_{50}$ 은 스퍼터링 전류를 감소시킨 경우에 감소됨을 알 수 있다. 이는 그림 4에 나타난 결과와 비교해 볼 때 같은 맥락으로 해석될 수 있다. 즉 막 두께 증가 시(2 μm 이상) $\Delta\theta_{50}$ 은 증가하게 되며, 이는 스퍼터링 전류의 감소나 가스압력의 증가를 통해 $\Delta\theta_{50}$ 을 감소시킬 수 있다.

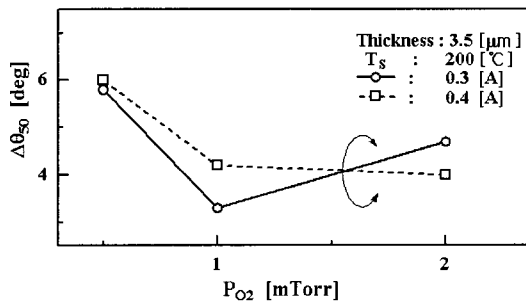


그림 5. 가스압에 따른 c-축 배향성.
Fig. 5. c-axis orientation on gas pressure.

그림 3에서 나타난바와 같이 ZnO/glass 박막의 c-축 배향성은 기판 온도를 증가시키지 않았을 경우 박막의 c-축 배향성은 모든 조건에서 8° 이상의 값들을 나타내었으며, 기판 온도를 증가시키거나 스퍼터링 전류 및 가스압을 변화시켜 개선되는 것을 알 수 있었다. 따라서 하기의 실험들은 저온, 고속 공정을 위해 FBAR용 ZnO 박막을 실온에서 제작하였다. 또한 2 GHz 및 그 이상의 고주파 대역에서 사용되는 FBAR 소자의 크기와 패키징을 고려할 때 ZnO 압전 박막은 2 μm 미만의 두께가 요구된다. 따라서 2 μm 미만의 ZnO 박막의 $\Delta\theta_{50}$ 의 값을 개선시키기 위해 가스압력을 증가시켰으며, 스퍼터링 전류에 따른 ZnO 박막의 c-축 배향성을 알아보았다.

그림 6은 가스압력 2 mTorr, 막 두께 800 nm인 ZnO/SiO₂/Si 박막의 스퍼터링 전류에 따른 XRD 패턴을 나타낸 것이며, 그림 7은 ZnO/SiO₂/Si 박막의 $\Delta\theta_{50}$ 을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 막 두께 1 μm 미만인 경우 가스압력 2 mTorr으로 증가시 스퍼터링 전류 0.8 A에서 가장 낮은 $\Delta\theta_{50}$ 을 나타내었다.

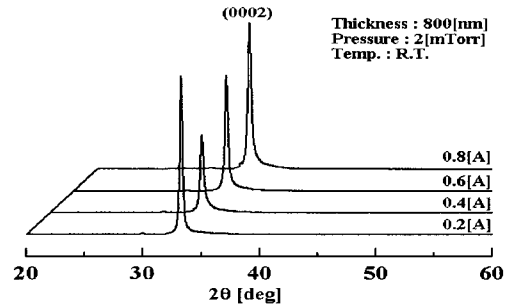


그림 6. 스퍼터링 전류에 따른 ZnO/SiO₂/Si 박막의 XRD 패턴.

Fig. 6. XRD patterns of ZnO/SiO₂/Si thin films on sputtering currents.

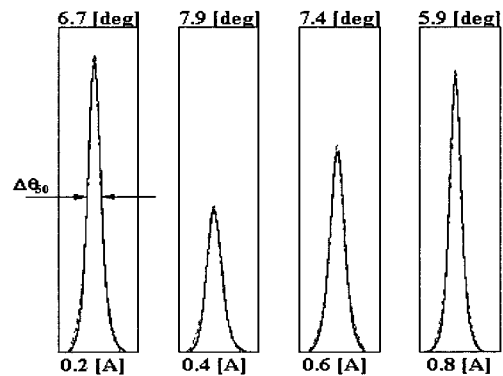


그림 7. 스퍼터링 전류에 따른 ZnO/SiO₂/Si 박막의 $\Delta\theta_{50}$.

Fig. 7. $\Delta\theta_{50}$ of ZnO/SiO₂/Si thin film on sputtering currents.

4. 결론

본 연구에서 대향타겟식 스퍼터링 장치를 사용, ZnO 박막을 증착하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 막 두께 1, 2 μm 전후에서 증착 조건에 따른 c-축 배향성의 특성이 변화되는 것을 볼 수 있었다. 즉 1 μm 미만의 박막을 저온·고속 제작하기 위해선 스퍼터링 전류 및 가스압력을 증가시켜야 하며 막 두께가 증가할 경우 가스 압력을 보다 증가시킴으로서 ZnO 박막의 $\Delta\theta_{50}$ 을 감소시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 대학 IT 연구 센터의 육성지원 사업의 연구 결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] 최형욱, 김경환, 김상중, 강종윤, 안병국, 윤석진, "RF 마그네트론 스퍼터링에 의한 SAW 필터용 ZnO 압전 박막에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지, 15권, 9호, p. 798, 2002.
- [2] 박용욱, 신현용, 박정흠, 강종윤, 심성훈, 최지원, 윤석진, 김현재, 김경환, 최형욱, "RF 마그네트론 스퍼터링에 의한 ZnO 박막 SAW필터에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지, 14권, 6호, p. 481, 2001.
- [3] S. V. Krishnaswamy, J. F. Rosenbaum, S. S. Horwitz, and R. A. Moore, "Film bulk acoustic wave resonator and filter technology", IEEE MTT-S Digest, p. 153, 1992.
- [4] Y. Yoshino, T. Makino, Y. Katayama, and T. Hata, "Optimization of zinc oxide thin film for surface acoustic wave filters by radio frequency sputtering", Vacuum, Vol. 59, No. 538, 2000.
- [5] W. H. G. Horsthuis, "ZnO processing for integrated optic sensors", Thin Solid Films, Vol. 137, p. 185, 1986.
- [6] K. H. Kim, S. H. Kong, M. J. Keum, I. H. Son, M. Naoe, and S. Nakagawa, "Thin film properties by facing targets sputtering system", Applied Surface Science, Vol. 169, No. 170, p. 409, 2001.
- [7] 김경환, 금민중, 손인환, 공석현, 최성인, "대향타겟식 스퍼터링에 의한 Co-Cr 박막의 제작" 전기전자재료학회 논문지, 11권, 5호, p. 418, 1998.