

FTS법으로 제작한 ZnO/AZO 박막의 결정학적 특성

Crystallographic Properties of ZnO/AZO thin Film Prepared by FTS method

금민종¹, 강태영¹, 최형욱¹, 박용서¹, 김경환^{1,a}

(Min-Jong Keum¹, Tae-Young Kang¹, Hyung-Wook Choi¹, Yong-Seo Park¹, and Kyung-Hwan Kim^{1,a})

Abstract

The ZnO thin films were prepared by the FTS (facing target sputtering) system, which enables to provide high density plasma and a high deposition rate at a low working gas pressure. We introduced the AZO thin film in order to improve the crystallographic properties of ZnO thin film because of the AZO(ZnO:Al) thin film has an equal crystal structure to the ZnO thin film. ZnO/AZO thin films were deposited at a different oxygen gas flow ratio, R.T. 2mTorr working pressure and a 0.8A sputtering current. The film thickness and c-axis preferred orientation of ZnO/AZO/glass thin films were measured by α -step and an x-ray diffraction (XRD) instrument. In the results, we could prepare the ZnO thin film with c-axis preferred orientation of about 6° on substrate temperature R.T. at O₂ gas flow rate 0.5.

Key Words : ZnO, AZO, ZnO/AZO, C-axis orientation, FTS

1. 서론

ZnO 박막은 대칭 육방정계(hexagonal), wurtzite type 구조로써 결정구조에서의 이방성, 비화학양론적 결합구조, 높은 굴절율과 압전 결합계수, 다양한 전기적 광학적 그리고 탄성파적 특성으로 투명 전도성 박막, 계기용 패널에 대한 정전 방지 코팅, 압전특성을 이용한 음향 광학소자등에 사용되고 있다 [1]. 이러한 ZnO 박막을 SAW(Surface Acoustic Wave) 필터[2,3], FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) 소자로[4,5] 응용할 경우, 기관에 수직인 ZnO 박막의 c-축 우선 배향성(c-axis preferred orientation)은 중요한 요인이며 이러한 c-축 우선 배향성은 ZnO 박막의 제작 조건에 따라 큰 차이가

있다. 또한 SAW 필터나 FBAR 소자 등의 소자로 적용되기 위해서는 반드시 Ti/Pt, Mo, Au 등의 상·하부 전극이 사용되며 우수한 c-축 우선 배향성이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 그림 1에 나타난 바와 같이 ZnO 박막의 결정성을 개선하기

1. 경원대학교 전기정보공학과
(경기도 성남시 수정구 복정동 산65)
a. Corresponding Author : khkim@kyungwon.ac.kr
접수일자 : 2004. 5. 20
1차 심사 : 2004. 7. 2
심사완료 : 2004. 8. 4

그림 1. ZnO, ZnO/AZO 박막 구조의 개략도.
Fig. 1. Schematic diagram of ZnO, ZnO/AZO thin film structure.

위해 ZnO 박막 증착 조건을 변화시키기보다는 하부 전극을 ZnO 박막과 동일한 결정 구조를 갖으며 $10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 정도의 비저항을 갖는 AZO(ZnO:Al) 박막을 도입함으로써 자연적으로 epitaxial 성장을 유도할 수 있는 ZnO/AZO 구조의 이층 박막 제작에 관해 연구하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에서 사용된 대향 타겟 스퍼터링(FTS : Facing Target Sputtering) 장치는(그림 2) 타겟 뒷면에 영구자석이 장착되어 있어 타겟 표면에 수직으로 자계가 분포하게 된다. 따라서, 두 타겟 사이에 형성되는 플라즈마내의 γ -전자를 구속하게 되며 구속된 γ -전자는 반사전극 역할을 하는 맞은 편 타겟으로 인해 타겟 사이를 왕복 운동하여 낮은 가스압력에서도 고밀도 플라즈마가 생성, 고속의 증착 속도와 안정적인 방전을 유지한 상태에서 박막을 증착 할 수가 있다. 또한 기판과 플라즈마가 이격 되어 있어 높은 에너지를 갖는 입자들의 기판 충돌을 최대한 억제 할 수가 있다[6,7].

그림 2. FTS 실험 장치.

Fig. 2. Facing targets sputtering apparatus.

2.2 실험방법

본 실험에서는 두께 200 nm, 비저항 $7 \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ 인 AZO 하부 전극을 우선 증착하였고, Zn(4N) 금속 타겟을 사용하여 산소가스 유량비에 따른 ZnO 박막을 증착하였다. 또한 스퍼터링을 하기 전 타겟 표면에 형성된 불순물과 초기의 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위해 20분씩 shutter를 닫은 상태에서 pre-sputtering을 하였으며, 제작되어진 ZnO 박막은 α -step과 XRD를 사용하여 막 두께와 결정학적 특성 2θ 및 rocking curve를 측

정하였다. 또한 rocking curve의 FWHM을 계산하여 c-축 우선 배향성의 정도를 알 수 있는 $\Delta\theta_{50}$ 에 관해 조사하였다. 표 1은 ZnO, AZO 박막의 스퍼터링 증착 조건을 각각 나타내었다.

표 1. 스퍼터링 조건.

Table 1. Sputtering conditions.

박막	조건	
	ZnO	AZO
타겟	Zn-Zn	Zn-ZnO:Al
초기 진공	7×10^{-4} Torr	
작업 압력	2 mTorr	1 mTorr
기판 온도	실온	
투입 전류	0.8 A	0.6 A
산소가스 유량비 $\left[\frac{O_2 [\text{sccm}]}{O_2 [\text{sccm}] + Ar [\text{sccm}]} \right]$	1.0-0.4	0.3
막 두께 (nm)	800 nm	200 nm

3. 결과 및 고찰

3.1 ZnO 박막의 산소가스 유량비에 따른 증착율

그림 3은 산소 가스 유량비에 따라 비정질 유리 기판에 증착된 ZnO 박막의 증착율을 나타낸 것이다. 아르곤 가스의 양이 증가함에 따라 증착율 또한 같이 증가하는 모습을 보여주고 있다. 이것은 반응성 가스인 산소가 플라즈마내 양이 작아지고 아르곤 가스에 의한 스퍼터율이 증가하여 기판에 증착되어지는 ZnO의 증착율이 증가하기 때문이다.

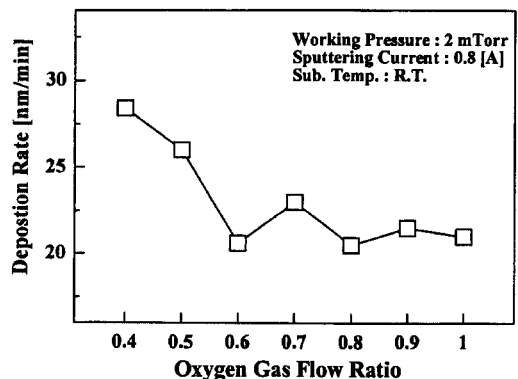


그림 3. 산소가스 유량비에 따른 증착율.

Fig. 3. Deposition rate with O₂ gas flow ratio.

3.2 ZnO, ZnO/AZO 박막의 결정학적 특성

그림 4는 산소가스 유량비에 따른 ZnO 박막의 XRD 패턴이다. 산소가스유량비가 1.0에서 0.4로 감소함에 따라 (002) 면의 회절 피크가 증가하고 있음을 보여 주고 있다. 특히 0.7-0.4에서의 (002) 면에 해당하는 회절 피크가 가장 큰 것으로 보아 산소가스 유량비 감소에 따라 c축이 기판에 수직 한 결정구조 성장하고 있음을 알 수 있다. 그러나 산소가스 유량비 0.4 에서는 (100)면의 회절 피크 가 동시에 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 산소가스 유량비 0.5-0.7 사이에서 ZnO 박막을 이후 제작조건으로 하여 결정학적 특성 개선을 위한 ZnO/AZO 이층 박막 제작에 관한 실험을 행하였다.

그림 4. 산소가스 유량비에 따른 ZnO/유리 박막의 XRD 패턴.

Fig. 4. XRD patterns of ZnO/glass thin film with O₂ gas flow ratio.

AZO 박막의 결정학적, 전기적 특성은 선행 연구결과를[10] 통해 다음과 같은 값을 얻을 수 있었다. Zn:Al-Zn:Al 금속 타겟을 이용한 경우 산소가스 유량비 0.4에서 AZO 박막의 (002)면 XRD 회절 peak가 가장 높게 나타났으며, 박막의 비저항은 산소 가스 유량비 0.3에서 10⁻² Ω-cm 정도의 값을 나타내었다. 또한 Zn-ZnO:Al 타겟을 이용한 경우에는 (002)면의 회절 피크는 검출되지 않았으며 산소 가스 유량비 0.3에서 10⁻¹ Ω-cm 정도의 값을 나타내었다. 결정성과 비저항을 비교해 보면 Zn:Al-Zn:Al 금속 타겟을 사용한 경우 산소가스 의존성이 높아 재현성이 떨어진다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 Zn(금속)와 ZnO:Al(세라믹 타겟)을 사용하여 실온 및 산소 가스 유량비 0.3에서 10⁻¹ Ω-cm 정도의 비저항을 갖는 하부

전극용 AZO 박막을 제작, ZnO 결정 개선을 위한 하부 전극용 AZO 박막으로 도입하여 이후 실험을 행하였다. 그림 5는 산소 가스 유량비에 따른 ZnO/AZO 박막의 XRD 회절 패턴을 나타낸 것이다.

그림 5. 산소가스 유량비에 따른 ZnO/AZO/유리 박막의 XRD 패턴.

Fig. 5. XRD patterns of ZnO/AZO/glass thin film with O₂ gas flow ratio.

그림 4와 비교해 볼 때 산소가스 유량비 0.5에서 가장 큰 (002)면 회절 피크를 나타내고 있다. 산소가스 유량비 0.5인 경우가 상대적으로 크기 때문에 0.7과 0.6의 피크가 그림 4의 경우보다 작아 보이지만 그림 4의 경우보다 큰 피크를 갖는 ZnO/AZO 박막이 제작되었음을 알 수 있다. 그림 6은 ZnO/유리 박막과 ZnO/AZO/유리 박막의 c-축 우선 배향성의 정도($\Delta\theta_{50}$)를 나타낸 것이다.

그림 6. 산소가스 유량비에 따른 ZnO/유리 및 ZnO/AZO/유리 박막의 $\Delta\theta_{50}$.

Fig. 6. $\Delta\theta_{50}$ of ZnO/glass and ZnO/AZO/ glass thin film with O₂ gas flow ratio.

그림에 나타난 바와 같이 ZnO 박막의 c-축 우선 배향성은 유리 기판상에 증착한 경우와 비교해 볼 때 AZO 박막상에 증착한 경우가 1-2° 정도 개선되었음을 볼 수 있다. 이는 AZO 박막이 ZnO 박막의 결정 성장에 영향을 미치기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서 ZnO 박막 제작을 위해 대향 타겟식 스퍼터링 장치를 사용, 실온에서 ZnO 박막을 AZO 하부 전극용 박막에 증착하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. ZnO/유리의 경우 산소 가스 유량비 0.5-0.7에서 XRD 회절 피크가 높게 나왔으며 0.4일 때 가장 큰 피크를 보였지만 0.4의 경우에는 (100)면의 회절 피크를 나타내었다. ZnO/AZO/유리의 경우에는 산소 가스유량비 0.5에서 가장 큰 XRD 회절 피크를 보였으며 c-축 우선 배향성 또한 0.5에서 6° 미만의 값을 나타내었다. 전반적으로 ZnO/유리 박막의 경우보다 ZnO/AZO/유리 박막의 c-축 우선배향성이 1-2° 정도 낮게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 AZO 박막과 ZnO 박막이 서로 동일한의 육방정계 구조를 갖기 때문에 하부전극용 AZO 박막이 상부의 ZnO 박막의 결정성에 영향을 미치기 때문 인 것으로 사료된다. 따라서 ZnO/AZO 구조의 이층 박막을 FBAR 소자 및 SAW 필터로의 응용 시 Ti/Pt, Mo, Au 등의 고가의 전극용 박막을 대체할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 상기의 결과들은 모두 실온에서 제작된 박막의 결정성에 관한 것이므로 ZnO 박막의 보다 나은 결정성 개선과 AZO 박막의 전기적 특성 개선을 위해서는 기판 온도를 변화시켜 ZnO 박막의 결정성 및 AZO 박막의 비저항을 개선시킬 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] W. H.G.Horsthuis, "ZnO processing for integrated optic sensors", Thin Solid Films, Vol. 137, pp. 185, 1986.
- [2] 최형욱, 김경환, 김상중, 강종윤, 안병국, 윤석진 "RF 마그네트론 스퍼터링에 의한 SAW 필터용 ZnO 압전 박막에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 9호, p. 798, 2002.
- [3] 박용욱, 신현용, 박정흠, 강종윤, 심성훈, 최지

원, 윤석진, 김현재, 김경환, 최형욱 "RF 마그네트론 스퍼터링에 의한 ZnO 박막 SAW필터에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 14권, 6호, p. 481, 2001.

- [4] 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.
- [5] 금민중, 손인환, 최명규, 추순남, 최형욱, 신영화, 김경환, "FBAR용 ZnO/Si O₂/Si 박막의 결정학적 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 4호, p. 711, 2003.
- [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, 공석현, 손인환, 최성민, S. Nakagawa, M. Naoe, "대향타겟식 스퍼터링에 의한 Co-Cr 박막의 제작" 전기전자재료학회논문지, 11권, 5호, p. 418, 1998.
- [8] 금민중, 김경환, "대향타겟식 스퍼터링법에 의한 AZO(ZnO:Al) 박막의 제작", 전기전자재료학회, 17권, 4호, p. 422, 2004.