

열처리 온도에 따른 AZO 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성 분석

고기한, 서재근, 이상준, 황채영, 배은경, 임무길, 최원석
한밭대학교

Charaterization of structural, electrical, and optical properties of AZO thin film as a function of annealing temperature

Ki-han Ko, Jaekeun Seo, Sang Joon Lee, Chae-young Hwang, Eun-kyung Bae, Moo Kil Lim, Won Seok Choi
Hanbat National University

Abstract - In this work, transparent conducting Al-doped zinc oxide (AZO) films were prepared on Corning glass substrate by RF magnetron sputtering using an Al-doped ZnO target (Al: 2 wt.%) at room temperature and all films were deposited with athickness of 150 nm. We investigated the effects of the post-annealing temperature and the annealing ambient on structural, electrical and optical properties of AZO films. The films were annealed at temperatures ranging from 300 to 500°C in steps of 100°C using rapid thermal annealing equipment in oxygen. The thickness of the film was observed by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and grain size was calculated from the XRD spectra using the Scherrer equation and their electrical properties were investigated using a hole measurement and the reflectance of AZO films was investigated by UV - VIS spectrometry.

열처리 온도에 따른 AZO 박막의 구조적 특성을 보기 위해서 FE-SEM 측정 결과를 <그림 1>에 나타내었다. 두께는 150±10 nm로 하였고, 주상구조로 성장했음을 볼수있다. <그림 2>는 AZO 박막의 XRD패턴에서 주 피크들의 강도를 나타낸 그래프이다. ZnO의 고유픽인 34.4° (002)에서 매우 강한 픽이 나타나는 것을 볼수 있으며, 72.2° (004)픽도 약하게 나타나는 것을 볼수있었다. 열처리 온도가 높아 짐에 따라 픽의 강도가 순차적으로 높아지는 것을 볼수 있고, 이는 AZO박막이 c축으로 잘 성장한 결과이다. <그림 3>은 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 그레인 크기의 변화를 보여준다. Scherrer의 방정식에 따라 그레인의 크기와 full width at half maximum (FWHM)의 값을 구하였다[6]. 그레인 크기는 열처리 온도가 높아질수록 21.52 nm에서 37.7 nm로 증가하였다. 열처리 온도가 높아짐에 따라 c축 성장과 함께 결정성의 크기를 증가시키는 원인이 되고, Al이 도핑된 ZnO의 결정성 크기에도 영향을 미친다. Al의 치환에 따른 Al₂O₃ 상도 발견하지 못했다. 결정의 크기는 점점 커졌고, 결정성 또한 향상되었다. 이는 c축성장의 방해물질들의 감소에 따른 영향이다 [7].

1. 서 론

투명전도막 (Transparent conducting oxide :TCO)는 구조적, 전기적, 광학적인 특성이 뛰어나기 때문에 태양전지와 디스플레이, 광전소자 등의 광전자공학 분야에 널리 사용되고 있다[1]. TCO 물질로 현재 많이 사용되고 있는 ITO는 구조적, 전기적 특성이 매우 뛰어난 반면에, 공정율이 낮고 가격이 비싸며 인듐 고갈 등의 단점을 가진다[2]. ITO의 대체물질에 관한 연구 중 zinc oxide (ZnO)에 관한 연구가 대표적이다. ZnO 박막의 도전율과 투과율의 향상을 위해 B, Al, Ga, In, F 등의 물질을 도핑한다 [3]. 이러한 ZnO 박막들은 RF 마그네트론 스퍼터링, 졸겔, pulsed laser deposition (PLD), chemical vapor deposition (CVD)등의 다양한 방법으로 합성이 가능하다[4]. Al doped zinc oxide (AZO) 박막은 저온 성장이 가능하며 생산 단가가 낮고 매끄러운 표면을 가지며 전기적 광학적 특성이 훌륭하기 때문에 태양전지와 디스플레이 분야로의 응용이 기대되는 물질이다[5]. 본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 방식으로 Corning 유리 기판에 150 nm 두께의 AZO를 합성하였다. Rapid thermal annealing equipment (RTA)를 사용하여 산소 분위기에서 300, 400, 500°C로 1분간 열처리 하여 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 구조적, 전기적, 광학적인 특성변화를 연구하였다.

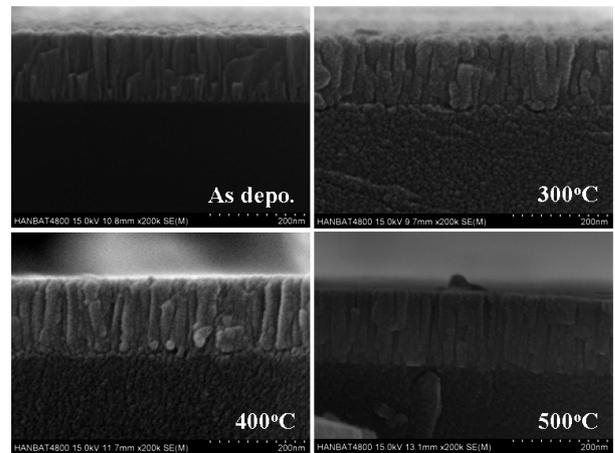
2. 본 론

2.1 실험

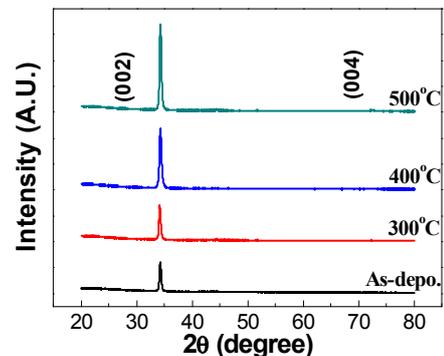
Corning 유리 기판은 초음파 세척기(BRANSON 3210)을 사용하여, TCE, 아세톤, 메탄올, DI water에서 각각 10분씩 세척을 하였다. RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 AZO (Al: 2 wt.%) 타겟을 사용하였고, 기판과 target 사이의 거리는 6 cm이며, 균일한 증착을 위해 기판은 1700 rpm으로 회전시켰다. 작업 진공도는 5 mtorr이고 RF power는 200 W이며, 80 sccm의 Ar(99.999%) 가스를 스퍼터링 반응가스로 사용하였다. 박막의 두께는 FE-SEM (Hitachi, S-4800)으로 측정하였다. 스퍼터링 공정이 끝난 박막들은 RTA를 이용해 산소 분위기에서 300, 400, 500°C의 온도에서 각각 1분씩 열처리 하였다.

박막의 전기적인 특성은 hole measurement (Eocpia, HMS-300)으로 측정하였고, 구조적인 특성은 X-ray diffraction (XRD) : Riraku, Max 2500H)로 측정하였으며, UV-VIS (Scinco, S-3100)을 사용하여 투과율을 측정하였다.

2.2 구조적 특성



<그림 1> 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 FE-SEM 측정



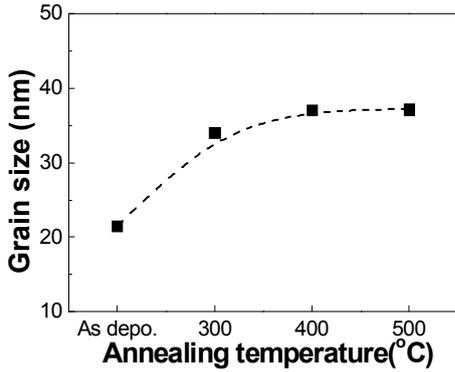
<그림 2> 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 XRD 분석 결과

3. 결 론

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 방식으로 상온에서 합성한 AZO 박막의 열처리 온도에 따른 박막의 특성변화에 대해서 연구하였다. AZO 박막은 열처리 온도가 높아짐에 따라 결정성이 향상되었고, 박막의 저항은 낮아지고, 캐리어의 이동도가 증가하고, 투과율도 향상되었다. 본 연구에서는 RF power가 200 W, 열처리 온도가 500°C일 때 저항값이 $2.24 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 가장 낮게 측정되었고, 투과율은 93.5%로 최적의 조건을 나타내었다.

[참 고 문 헌]

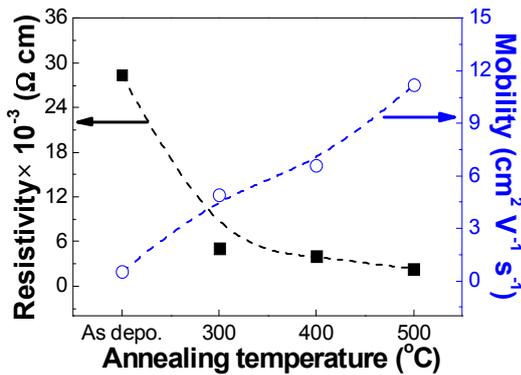
- [1] S. Fernandez, A. Martinez-Steele, J.J. Gandia, F.B. Naranio, "Radio frequency sputter deposition of high-quality conductive and transparent ZnO:Al films on polymer substrates for thin film solar cells applications", *Thin Solid Films*, 517, 3152, 2009.
- [2] D.H. Zhang, Q.P. Wang, Z.Y. Xue, "Photoluminescence of ZnO films excited with light of different wavelength", *Applied Surface Science*, 207, 20, 2003.
- [3] A. Maldonado, S. Tirado-Guerra, M. Melendez-Lira, M. de la L. Olvera, "Physical properties of ZnO:F obtained from a fresh and aged solution of zinc acetate and zinc acetylacetonate", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 742, 2006.
- [4] K. Matsubara, P. Fons, K. Iwata, A. Yamada, S. Niki, "Room-temperature deposition of Al-doped ZnO films by oxygen radical-assisted pulsed laser deposition", *Thin Solid Films*, 422, 176, 2002.
- [5] S.S. Lin, J.L. Huang, D.F. Lii, "The effects of r.f. power and substrate temperature on the properties of ZnO films", *Surface and Coatings Technology*, 176, 173, 2004.
- [6] M. Jaboyedoff, B. Kubler, PH. Thelin "An empirical scherrer equation for weakly swelling mixed-layer minerals, especially illite-smectite", *Clay Minerals*, 34, 601, 1994.
- [7] E.G. Fu, D.M. Zhuang, G. Zhang, M. Zhao, W.F. Yang, J.F. Liu, "Properties of transparent conductive ZnO:Al thin films prepared by magnetron sputtering", *Microelectronics Journal*, 35, 383, 2004.
- [8] V. Musat, B. Teixeira, E. Fortunato, R.C.C. Monteiro, P. Vilarinho, "Al-doped ZnO thin films by sol-gel method", *Surface and Coating Technology*, 180-181, 659, 2004.



<그림 3> 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 그레인 크기

2.3 전기적 특성

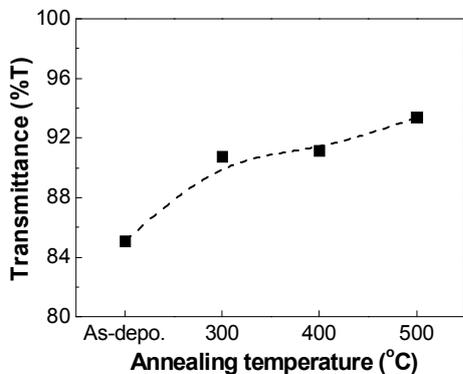
열처리 온도에 따른 AZO 박막의 전기적 특성의 변화를 <그림 4>에 나타내었다. 저항값은 온도가 높아질수록 $5.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 에서 $2.2 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 까지 감소하였으며, 캐리어의 이동도는 $0.53 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ 에서 $11.18 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ 까지 증가하였다. 상온으로부터 열처리한 온도가 높아질수록 AZO 박막의 저항값이 낮아졌고, 반면에 캐리어의 이동도가 높아지는 것을 볼 수 있었다[8]. 이는 열처리 온도가 증가함에 따라 그레인 크기가 커지고 그에 따라 저항값이 감소하여 캐리어의 이동도가 높아짐에 따른 영향이다.



<그림 4> 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 전기적 특성의 변화

2.4 광학적 특성

<그림 5>는 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 투과율의 변화를 보여주고 있다. 투과율은 열처리 온도가 높아짐에 따라 85%에서 93.5%로 증가하였다. 평균 투과율은 열처리 온도가 증가함에 따라 향상하였고, 모든 경우 85% 이상의 투과율이 측정되었다.



<그림 5> 열처리 온도에 따른 AZO 박막의 400~800 nm 파장대의 평균 투과율