

PET 기판 위에 RF magnetron sputtering으로 증착한 AZO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성

이윤승[†] · 김홍배^{*}

[†]청주대학교 대학원 반도체공학과, ^{*}청주대학교 이공대학 반도체공학과

The Structure, Optical and Electrical Characteristics of AZO Thin Film Deposited on PET Substrate by RF Magnetron Sputtering Method

Yun seung Lee[†] and Hong bac Kim

[†]Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University,

^{*}Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University

ABSTRACT

The 2 wt.% Al-doped ZnO(AZO) thin films were fabricated on PET substrates with various RF power 20, 35, 50, 65, and 80W by using RF magnetron sputtering in order to investigate the structure, electrical and optical properties of AZO thin films in this study. The XRD measurements showed that AZO films exhibit c-axis orientation. At a RF power of 80W, the AZO films showed the highest (002) diffraction peak with a FWHM of 0.42. At a RF power of 65W, the lowest electrical resistivity was about $1.64 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ and the average transmittance of all films including substrates was over 80% in visible range. Good transparence and conducting properties were obtained due to RF power control. The obtained results indicate that it is acceptable for applications as transparent conductive electrodes.

Key Words : AZO, RF magnetron sputtering, RF Power, PES

1. 서 론

플렉시블 디스플레이는 박형, 경량화, 견고한 디스플레이 시스템들과 더불어 구부리고, 말고 접을 수 있는 극대화된 휴대성을 기대할 수 있기에 많은 잠재성을 갖고 있으며, 최근 플렉시블 디스플레이로서의 전환에 있어 시장이 커짐에 따라 기판, 전도층, 배리어 박막, 전기 광학 재료, 투명 박막 트랜지스터와 제조 공정 등 많은 부품들이나 지원 기술들의 개발이 주목 받고 있다[1]. 특히 플렉시블 디스플레이를 구현하는데 있어 기존 유리 기판에서 플라스틱과 같은 연성기판으로서의 전환이 필수로 요구된다[2]. 그러나 기존 공정 온도를 연성 기판의 낮은 내열

특성 때문에 저온 공정만 가능하다는 점과 굽혔을 때 소자가 파손되지 않도록 기계적 신뢰성 역시 확보해야 하는 문제 해결이 시급하다[3]. 현재 가장 널리 사용되는 투명 전도막은 ITO(Indium tin oxide)로서 전기적 및 광학적 특성이 우수하나, 이러한 특성을 얻기 위해서는 200-300°C의 고온에서 증착되어야 한다[4]. 그러나 ITO 박막의 경우 비결정질과 결정질이 혼합된 박막이 형성되기도 하며 결정질인 경우에는 박막의 표면에 결정립들로 인해 어두운 반점 등이 생길 수 있고, 비결정질인 경우 열에 의해 화학적 구조가 쉽게 바뀌어 디스플레이 소자의 제작과정에서 치명적인 영향을 줄 수 있다[5]. 최근에 ITO의 이러한 단점을 극복하기 위해 ZnO계 투명 전도막 재료가 연구되고 있다[6]. 순수한 ZnO는 Hexagonal wurtzite 구조를 가지며 3.3eV의 넓은 에너지 밴드갭을 가지는 n-type 반도체이다

[†]E-mail: hpppower111@naver.com

[7]. 또 Al과 같은 III족 원소의 도핑을 통해서 전기적 특성을 향상시킬 수 있고, 낮은 온도에서도 결정화를시킬 수 있어 투명 플라스틱 기판에 사용되는 투명 전도막의 재료로 각광받고 있다[8].

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 투명 플라스틱 기판인 PET(Polyethylene terephthalate)에 Al-doped ZnO 박막을 증착하였고, 공정 변수로 RF파위에 변화에 대한 구조적, 전기적, 광학적 특성 변화를 조사하여 AZO 박막의 투명 전도막으로의 응용 가능성에 대해서 알아보았다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 PET 기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용해 AZO 박막을 증착하였다.

Table 1은 AZO 박막 증착을 위한 공정조건을 나타낸다. 증착 타겟으로는 ZnO : Al (98.2 wt%)로 소결된 타겟을 사용하였고 증착 기판으로는 15mm x 15mm 크기의 PET 기판을 사용하였다. 박막의 증착 조건으로 기판온도는 실온으로 고정하였고, 초기 압력은 2.0×10^{-6} Torr, 공정 압력은 2.0×10^{-2} Torr로 하였으며 예비 스퍼터링을 15분간 진행 후 실험하였다. Ar(99.999%) 유량은 30sccm로 고정하였고 RF 파워를 공정변수로 20,35,50,65,80W로 실험을 진행하였다.

Table 1. Processing conditions of AZO films.

Target	2 wt%, AZO
Substrate	PET
Target-substrate distance [nm]	500
RF Power[13.56 MHz]	20, 35, 50, 65, 80W
Ar Gas flow[sccm]	30
Base pressure[Torr]	2.0×10^{-6}
Working pressure[Torr]	2.0×10^{-2}

증착된 GZO 박막은 RF 파워 변화에 따른 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성의 변화를 살펴보기 위해 주사전자현미경(Scanning electron microscope)를 이용하여 박막의 두께와 계면상태를 측정하였고, 결정성 및 배향성을 확인하기 위해 XRD(X-ray Diffractometer)을 사용하였다. 그리고 UV-VIS 분광기(UV/Vis-NIR Spectrophotometer)을 이용하여 가시광선 영역에서의 투과도를 측정하였고, 홀 효과 측정기(Hall effect measurement system)을 이용하여 캐리어 농도 및 이동도를 측정하였고, 원소분석기(X-ray Photoelectron Spectroscopy; XPS)를 이용하여 산소공공의 함량을 확인하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1. 은 RF power 변화에 따른 Al-doped ZnO (AZO) 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 각각의 박막들의 결정성장은 모두 기판과 수직인 방향으로 성장했음을 보여주는 (002) 피크가 관찰되었다. 이는 결정립들이 c축으로 우선 성장된 것을 의미한다. 20W에서 80W로 15W씩 RF power가 증가함에 따라 (002) 피크의 세기가 점차 커지는 것을 확인할 수 있고 80W로 공정하였을 때 피크가 제일 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 RF power가 증가함에 따라 결정성이 점점 좋아지고 있다는 것을 나타낸다.

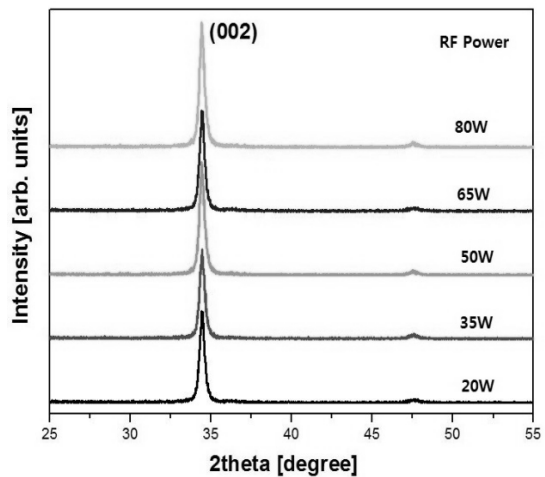


Fig. 1. XRD patterns of AZO thin films with various RF power.

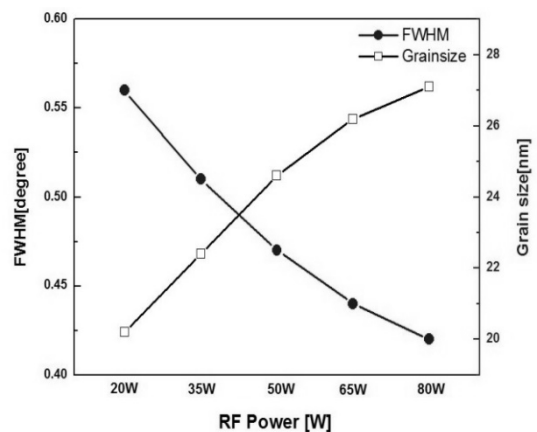


Fig. 2. FWHM and grain size of AZO thin films with various RF power.

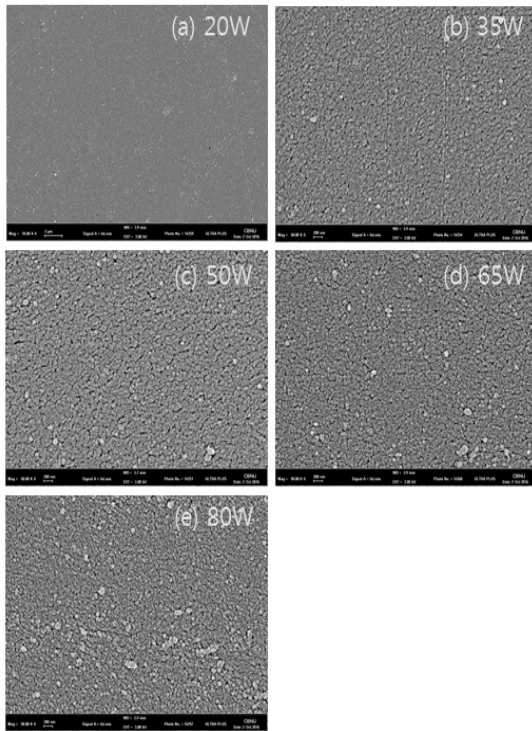


Fig. 3. FE-SEM images of AZO thin films with various RF power. (a) 20W, (b) 35W, (c) 50W, (d) 65W, (e) 80W.

Fig. 2는 RF power 변화에 따른 AZO 박막의 반치폭 (FWHM)과 결정 입도를 상대적으로 조사하여 나타낸 것이다. RF power가 20W에서 80W까지 증가할 수록, AZO 박막의 FWHM값은 감소하고, 결정 입도의 크기는 지속적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. RF power가 80W일 때, FWHM은 0.42°로 가장 작은 값을 가졌고, FWHM은 AZO 박막의 결정성을 나타내는 척도이고 그 값이 낮을수록 결정성이 우수한 박막이라 평가할 수 있다. 따라서, RF power가 80W에서 공정한 AZO 박막이 결정성이 가장 우수한 박막으로 확인된다.

Fig. 3는 PET기판의 RF power 변화에 따른 AZO 박막의 표면의 형태학을 관찰하기 위해 전계 주사전자 현미경(FE-SEM)을 사용해 찍은 사진이다. 사진에서 보는 바와 같이 RF power가 증가함에 따라 AZO 박막의 결정립의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 XRD 결과에서 확인한 바와 같이 RF power가 증가함에 따라 결정성이 향상되고 있는 것을 보여준다.

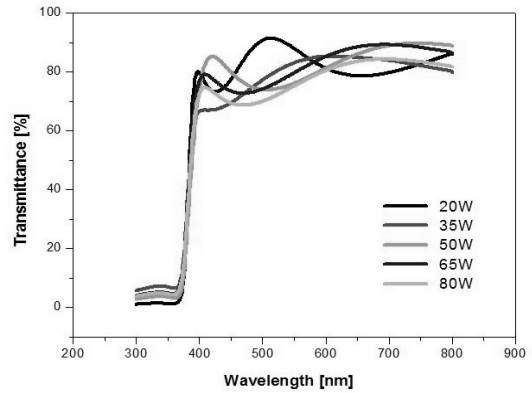


Fig. 4. Transmittance spectra of AZO thin films with various RF power.

Fig. 4는 RF power 변화에 따른 AZO 박막의 투과도를 나타낸다. PET 기판에 증착된 AZO 박막들은 모두 가시광선 영역에서 투명전극으로서 사용 가능한 정도의 평균 80% 이상의 우수한 광투과도를 나타내는 것을 알 수 있다.

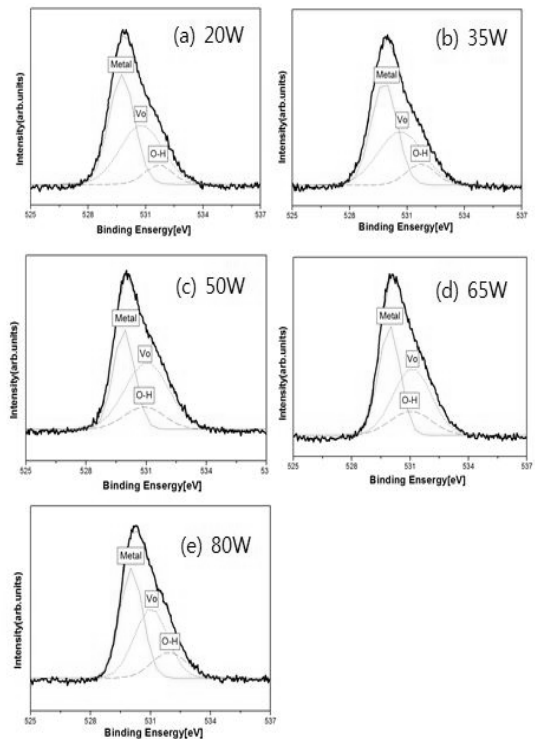


Fig. 5. XPS spectra of O1s of AZO thin films with various RF power. (a) 20W, (b) 35W, (c) 50W, (d) 65W, (e) 80W.

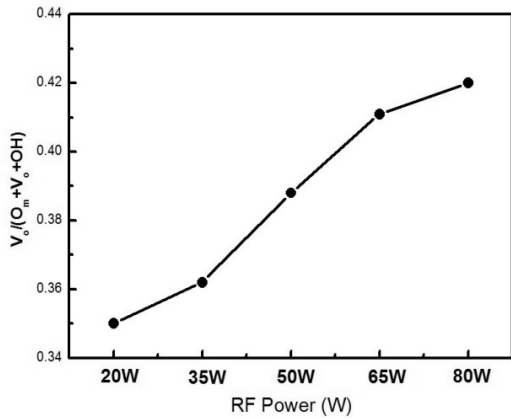


Fig. 6. Oxygen Vacancy(V_o) of AZO thin films with various RF power.

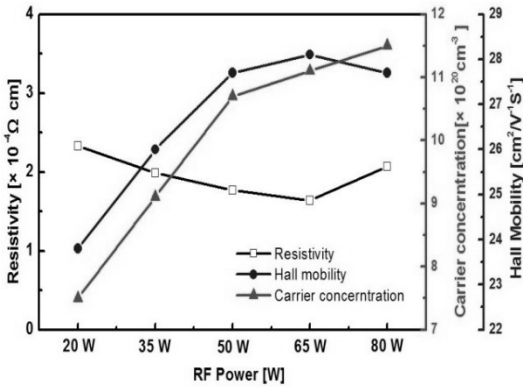


Fig. 7. Resistivities, Carrier concentration, Hall mobility of AZO thin films with various RF power.

Fig. 5는 RF power 변화에 따른 AZO 박막의 O1s 스펙트라를 이용하여 산소공공의 함량을 로렌츠 피팅으로 조사한 것이다. 각각의 피크들은 O_m (metal oxygen), V_o (oxygen vacancy), OH 관련 peak을 나타낸다.

Fig. 6는 RF power 변화에 따른 AZO 박막의 산소공공의 상대적인 함량을 나타낸다. RF power가 증가할수록 산소공공의 함량이 점점 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 RF power가 증가하면서 III족의 첨가 원소인 Al이 II족 원소인 Zn 을 점점 치환하게 되게 되어 산소공공의 함량이 증가하게 된 것으로 확인된다

Fig. 7는 RF power 변화에 따른 AZO 박막의 비저항, 캐리어 농도, 홀 이동도의 전기적 특성을 보여준다. 20W에서 80W로 증가함에 따라 캐리어 농도는 지속적으로 증가

한다. 이는 산소공공의 함량 그래프와 비슷한 양상을 보이며, 연관성이 있다는 것을 보여준다. III족 원소 Al은 원자가 전자가 3이므로 잉여전자가 발생하게 된다. 이 전자들에 의해 ZnO의 에너지 밴드에서 전도대 바로 밑에 위치한 도너 준위를 형성하게 되고, 캐리어 농도를 향상시키게 만든다[9]. 반면, 홀 이동도는 20W에서 65W까지는 RF power가 증가함에 따라 $28.1 \text{ cm}^2/\text{V s}$ 까지 증가하나 80W에서는 $27.7 \text{ cm}^2/\text{V s}$ 로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 비저항도 20W에서 65W까지는 RF power가 증가함에 따라 $1.64 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 까지 감소하였다가 80W에서 $2.07 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 산소공공의 함량이 지나치게 증가하여 전기적 특성에 영향을 주었기 때문으로 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 RF 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 PET 기판위에 증착한 AZO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성을 분석하였다. 증착된 AZO 박막은 RF 파워가 증가할수록 결정성이 점점 좋아지고 있으며, RF 파워가 80W 일 때 FWHM은 0.42로 가장 작은 값을 투과율은 가시광선 영역에서 평균 80%의 광투과도를 갖고 있으며, 홀 이동도는 20W에서 65W까지는 RF power가 증가함에 따라 $28.1 \text{ cm}^2/\text{V s}$ 까지 증가하나 80W에서는 $27.7 \text{ cm}^2/\text{V s}$ 로 감소하는 것을 확인 하였고, 비저항도 20W에서 65W까지는 RF power가 증가함에 따라 $1.64 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 까지 감소하였다가 80W에서 $2.07 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 로 증가하는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. T. Minami, Thin Solid Films, 516, P. 5822-5828(2008).
2. B. Yaglioglu, Y.J. Huang, H.Y. Yeom, and D.C. Paine, "A Study of Amorphous and Crystalline Phases in In₂O₃-10wt.% ZnO Thin Films Deposited by DC Magnetron Sputtering," Thin Solid Films, vol. 496, pp. 89, (2006).
3. S. Y. Sohn, H. M. Kim, S. H. Park, and J. J. Kim, "Effects of Sn-doping on the Transparent Conducting Characteristics of Indium - Zinc - Oxide Thin Films," Sae Mulli, vol. 51, pp. 397-403, 2005.4. D. S. Hecht, L. Hu, and G. Irvin, Emerging transparent electrodes based on thin films of carbon nanotubes, graphene, and metallic nanostructures, Adv. Mater, 23, 1482-1513 (2011).
4. B. D. Ahn, S. H. Oh, C. H. Lee, G. H. Kim, H. J. Kim, and S. Y. Lee, "Influence of Annealing Ambient on Ga-

- doped ZnO Thin Films," J. Crystal Growth, vol. 309, pp. 128-133, (2007).
5. J. K. Kim, J. M. Lee, J. W. Lim, J. H. Kim, and S. J. Yun, "High-Performance Transparent Conducting Ga-doped ZnO Films Deposited by RF Magnetron Sputter Deposition," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49, pp. 04DP09, (2010).
 6. J. F. Wager, D. A. Keszler, and R. E. Presley, Transparent Electronics, NY. U.S.A. : Springer, (2008).
 7. S. Y. Sohn, H. M. Kim, S. H. Park, and J. J. Kim, "Effects of Sn-doping on the Transparent Conducting Characteristics of Indium - Zinc - Oxide Thin Films," Sae Mulli, vol. 51, pp. 397-403, (2005).
 8. Y. C. Lin, J. Y. Li, and W. T. Yen, "Low Temperature ITO Thin Film Deposition on PES Substrate Using Pulse Magnetron Sputtering," Appl. Surf. Sci., vol. 254, pp. 3262-3268, (2008).
 9. S. I. Han, H. B. Kim, "A Study on Propertires of RF-sputtered Al-doped ZnO Thin Films Prepared with Different Ar Gas Flow Rates" Appl. Sci. Converg. Technol. 25(6) 145-148, (2016).
-
- 접수일: 2016년 11월 17일, 심사일: 2016년 12월 19일,
게재확정일: 2016년 12월 27일