

Off-axis RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 저온에서 결정화된 ITO 박막의 특성

최형진¹, 정현준¹, 허성기¹, 윤순길^{1,a}

¹ 충남대학교 재료공학과

Characterization of the Crystallized ITO Thin Films Grown at a Low Temperature by Off-axis RF Magnetron Sputtering

Hyung-Jin Choi¹, Hyun-June Jung¹, Sung-Gi Hur¹ and Soon-Gil Yoon^{1,a}

¹ School of Nano Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received December 2, 2010; Revised January 4, 2011; Accepted January 7, 2011)

Abstract: In this study, off-axis magnetron sputtering was used for the crystallized ITO thin films at a low temperature of about 120°C instead of the conventional RF sputtering because the off-axis sputtering can avoid the damage for the plasma as well as fabrication of thin films with a high quality. The ITO thin films grown on PET substrate at 120°C were crystallized with a (222) preferred orientation. 58-nm thick ITO films showed a resistivity of about $2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ and a transmittance of about 75% at a wavelength of 550 nm. The transmittance of the ITO thin films by an insertion of SiO₂ thin films on ITO films was improved.

Keywords: ITO, TCO, Off-axis sputtering, PET

1. 서 론

투명 전도성 TCO (transparent conductivity oxide) 박막 중 ITO (indium tin oxide) 박막은 n-type 의 전도특성을 갖는 산화물 반도체로서 넓은 밴드갭, 가시광선 영역에서의 높은 투과율, 전기 전도성을 나타내기 때문에 박막형 디스플레이 분야에 널리 사용되고 있다 [1,2]. 특히 최근 초경량, 저전력의 종이처럼 얇고 가벼우면서도 유연한 플렉시블 디스플레이가 많은 주목을 받고 있다 [3]. 따라서 PC (polycarbonate), PET (polyethylene terephthalate), PES (poly ether sulfones) 등과 같은 유연성 기판을 이용한 ITO 박막 적용에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 폴리머 기판의 경우 온도에 매우 취약하기 때문에 ITO 박막은 가급적 낮은 온도에서 제작해야 한다. 또한 화학증착법 [4-6], 스퍼터링

[7-9] 등 여러가지 증착법에 의해 ITO 박막이 증착될 때 이들은 비정질 특성을 보이며 이를 결정화하기 위해서는 증착온도를 올리거나 고온에서 열처리해야 한다. 이 경우에 유연성 있는 기판 위에 ITO 박막의 증착 및 열처리는 불가능하게 된다. 따라서 저온 (150°C 이하)에서의 제조는 불가피하게 된다. 그러나 일반적으로 사용되는 On-axis 스퍼터링의 경우에 플라즈마 분위기에 기판이 노출되는 경우에는 플라즈마에 의해 기판이 손상되거나 낮은 증착온도에서도 쉽게 휘어지는 결과를 초래하게 된다. 따라서 기판을 플라즈마 분위기에서 벗어나는 증착법이 필요하게 된다.

일반적인 RF 스퍼터보다 고품질의 박막제조가 용이하며, 플라즈마가 기판에 직접 영향을 주지 않는 Off-axis 방법을 이용하여 120°C의 저온에서 ITO 박막을 증착하였다. 이들 박막은 미세구조, 물리적 특성 및 광학적 특성들이 평가되었다.

Table 1. Deposition conditions of the ITO thin films.

Deposition parameters	Conditions
Target	ITO (SnO ₂ 10 wt%)
Distance 1	10 cm
Distance 2	10 cm
Substrate	PET, PES, Si, Glass
Base pressure	8×10^{-6} torr
Working pressure	1 mtorr
Substrate temperature	120°C
RF power	50 W, 100 W
Ambient gas	Ar 10 sccm

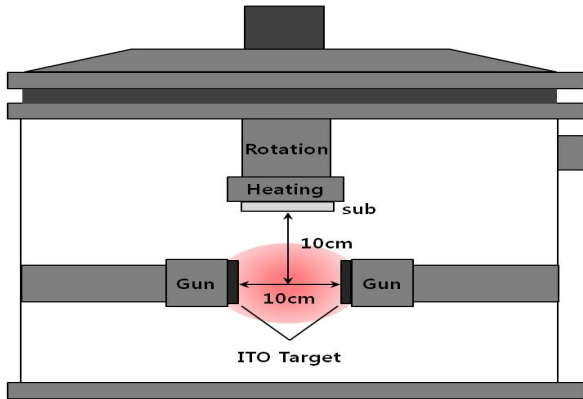


Fig. 1. Schematic diagram of off-axis RF magnetron sputtering.

2. 실험 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 ITO 박막은 지름이 2 inch인 ITO (In: 90 wt%, Sn: 10 wt%) 타겟을 사용하여 그림 1과 같은 구조의 Off-axis RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 기판은 PET, PES, Si, Glass를 사용하였으며, 기판 온도가 120°C까지 도달하도록 충분히 가열 후 박막 제조시 타겟 표면의 불순물 제거와 스퍼터 방전의 안정을 위해 5분간 pre-sputtering을 실시하였다. 타겟과 타겟 사이의 거리와 타겟과 기판과의 거리는 모두 10 cm로 유지하였고 (그림 1), 초기 진공은 8×10^{-6} torr 이하로 하였으며 증착압력 1 mtorr에서 RF power를 50 W와 100 W로 변화시켜 증착하였다. 자세한 ITO 박막의 증착조건은 표 1에 나타내었다.

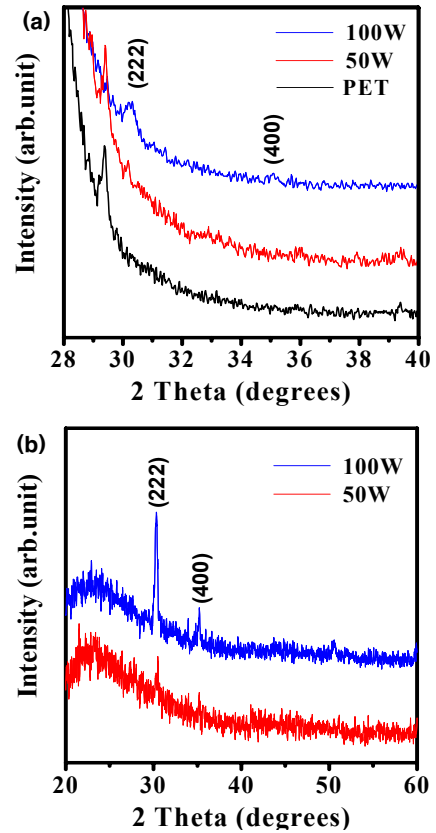


Fig. 2. XRD patterns of the ITO thin films deposited on (a) PET and (b) glass substrates with various RF powers.

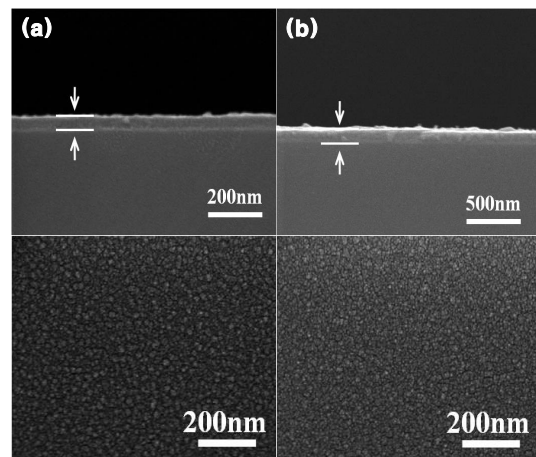


Fig. 3. SEM cross-sectional and surface images of the ITO thin films deposited on Si (001) substrate at various RF powers of (a) 50 W, (b) 100 W.

2.2 박막 분석

증착된 ITO 박막의 결정화를 확인하기 위해 X-ray diffraction (XRD) 를 사용하였으며, 이때 타겟 및 필터는 Cu 와 Ni 을 사용하여 시편의 회전각도를 $4^\circ/\text{min}$ 로 고정하여 측정하였다. 증착된 박막의 두께와 미세구조를 관찰하기 위해 주사전자현미경 (SEM) 을 사용하였고, 원자현미경 (AFM) 을 이용하여 박막의 표면 거칠기를 측정하였다. 전기적 특성평가를 위해 four-point probe 로 면저항을 측정했으며, UV-VIS-NIR Spectroscopy 를 이용하여 박막의 광학적 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 ITO 박막의 결정성

그림 2는 PET 와 유리기판 (Corning eagle 2000 glass) 에서 RF 파워의 변화에 따른 ITO 박막의 XRD 패턴이다. ITO 박막의 우선성장 방향인 (222) 방향은 PET 기판의 피크에 묻혀서 확인이 어렵기 때문에 같은 조건에서 증착한 유리기판의 XRD 패턴에서 (222) 면과 (400) 면의 피크를 확인하여, PET 기판에 증착된 ITO 박막의 피크를 관찰할 수 있었다. 이 결과를 통해 저온에서 Off-axis 스퍼터링을 이용하여 유연성 기판 위에 증착된 ITO 박막의 결정성을 확인할 수 있었다.

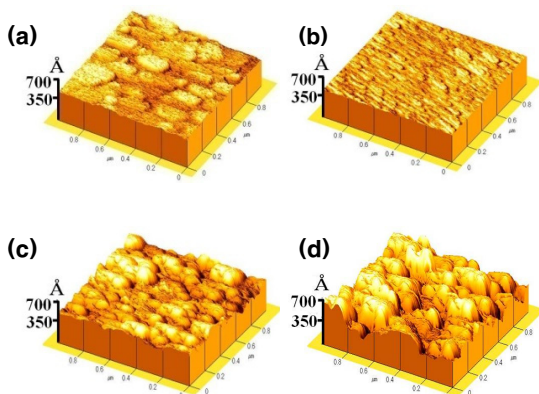


Fig. 4. RMS roughness of the ITO thin films deposited with various RF powers on different substrates of (a) RMS : 4 nm-50 W PET, (b) RMS : 1 nm-50 W Glass, (c) RMS : 6 nm-100 W PET, (d) RMS : 9 nm-100 W Glass.

3.2 ITO 박막의 미세구조

ITO 박막의 미세구조를 확인하기 위하여 주사전자현미경과 원자현미경을 사용하였다. 그림 3은 RF power에 따른 SEM 표면 및 단면사진으로서 50 W 와 100 W 에서 증착된 박막의 두께는 각각 58 nm, 100 nm 였으며 박막은 매우 치밀하게 성장되었음을 알 수 있다. 표면사진을 통해 매우 균일한 박막이 형성되었음을 알 수 있다.

그림 4는 기판과 RF power에 따른 ITO 박막의 표면 거칠기를 측정된 것이다. RF power에 따라 root mean square (RMS) 거칠기 값은 50 W 에서 PET 위에 증착한 ITO 가 4 nm, 유리위에 증착한 ITO 가 1 nm 로 매우 평활한 박막특성을 보였으며, 100 W 에서는 PET의 경우가 6 nm, 유리의 경우가 9 nm 로 50 W 보다는 증가하였다. RF power가 증가함에 따라 RMS 값의 증가는, 전력이 높을수록 큰 입자들이 기판에 증착되기 때문에 박막의 결정성장에 영향을 주어서 RMS 가 증가한 것으로 판단된다 [10].

3.3 전기적 및 광학적 특성

그림 5는 여러가지 기판위에 RF power에 따른 박막의 면저항과 비저항의 변화를 나타내었다. 이 결과는 저온에서 증착된 ITO 박막의 기판 영향을 관찰하기 위하여 다양한 기판을 사용하였다. 다양한 기판에 대하여 50 W 에서는 면저항이 약 $38 \Omega/\text{sq}$, 비저항은 $2 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 낮은 값을 보였고, 100 W 에서는 면저항이 약 $30 \Omega/\text{sq}$, 비저항은 $3 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 을 보였다. 이 결과로 부터 본 연구에서 저온에서 얻어진 ITO 박막의 특성은 기판에 관계없이 일정하게 나타냄을 보여준다. 100 W 에서 증착한 박막은 면저항은 감소하였지만 박막두께의 증가로 인해 비저항은 오히려 증가하였다.

결과적으로 ITO 박막의 면저항 및 비저항은 기판에 관계없이 거의 유사한 값을 보였다. 그림 6은 ITO 박막의 광투과도를 나타낸 것으로 50 W 에서 증착한 박막은 가시광선 파장대역에서 약 75%로 낮은 값을 보였다. 이것은 ITO 박막이 완전히 결정화되지 않아 결정질과 비정질이 혼합된 상태이기 때문에 투과도가 낮은 것으로 판단된다.

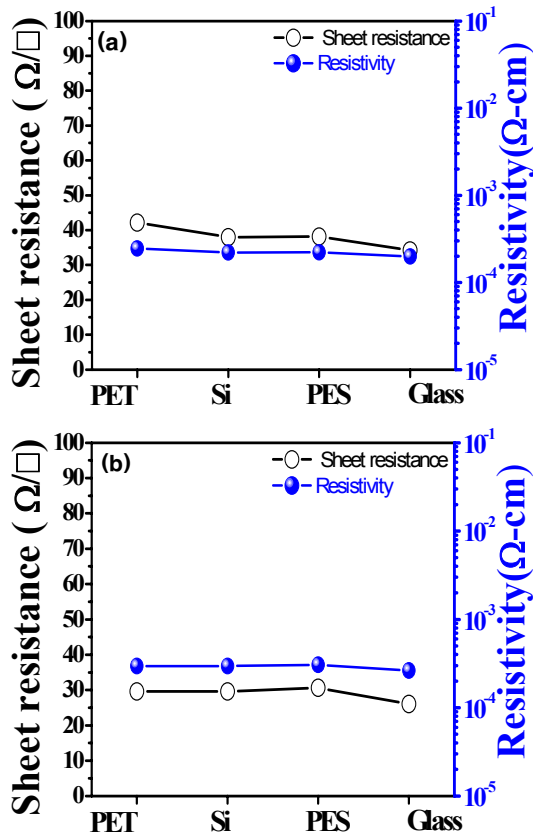


Fig. 5. Sheet resistance and the resistivity of the ITO thin films deposited on various substrates with various RF powers of (a) 50 W and, (b) 100 W.

반면에 100 W 에서 증착한 박막은 결정화는 50 W 에서 증착된 박막보다는 XRD 패턴에서 결정화는 증가하였으나, 표면 RMS 가 매우 크기 때문에 투과도가 더욱 감소한 것으로 판단된다 [6].

앞서 언급한 전기적 특성에 비해 열악한 광학적 특성의 개선을 위해 같은 조건에서 증착한 다른 ITO 박막의 위와 아래에 SiO₂ 를 각각 20 nm 의 두께로 증착하여 그림 7에 투과도를 나타내었다. 일반적으로 투과도는 물질의 굴절률 차이로 인해 증가하는데, 빛은 물질을 투과 하면서 보상간섭과 상쇄간섭이 반복적으로 일어난다. 이때 굴절률이 작은 물질에서 큰 물질로 진행하면, 위상차이로 인해 상쇄간섭이 먼저 일어나면서 반사율이 감소하고, 투과도가 증가하게 된다. 따라서 SiO₂ 를 ITO 박막 아래에 증착하면 SiO₂ 박막의 거칠기로 인하여 SiO₂ 위에 증착된 ITO 박막에도 영향을 미쳐서 투과도가 더 감

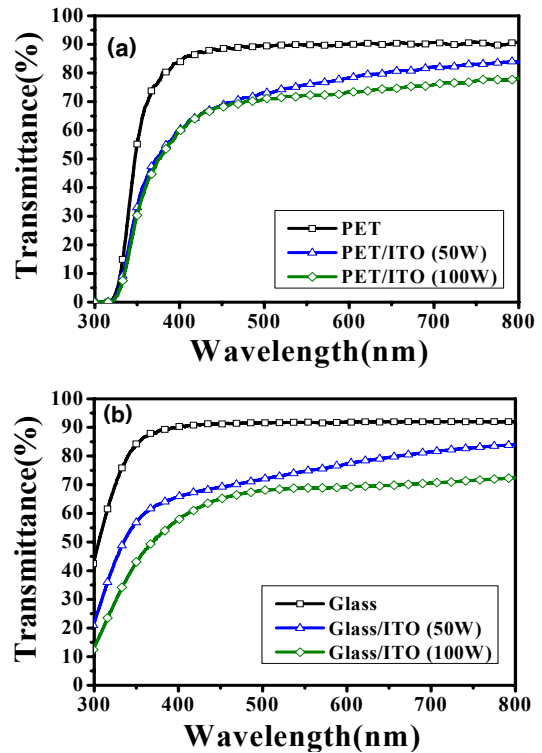


Fig. 6. Optical properties of the ITO thin films deposited on (a) PET and (b) glass substrates with various RF powers.

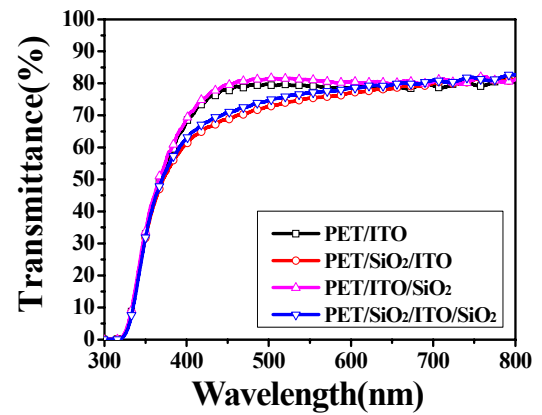


Fig. 7. Optical properties of the ITO thin films by an insertion of SiO₂ thin films.

소하였다.

그러나 ITO 박막 위에 SiO₂ 박막을 증착하면 투과도가 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이 경우 증

가의 폭은 매우 적었으나 이 결과는 매우 신뢰성 있게 관찰되어 더 많은 연구가 요구된다.

4. 결 론

유연성 기관에서의 ITO 박막의 응용을 위해 유연한 폴리머 기관인 PET 및 PES 등을 사용하여 120°C에서 Off-axis sputtering 법으로 ITO 박막을 증착하였다. 저온에서 증착시 RF power, 100 W에서 ITO 박막이 결정화됨을 확인하였다. 결정화된 ITO 박막의 비저항은 약 $2\sim 3 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 로 낮은 값을 보였으나 가시광선 파장대역에서의 광투과도가 약 70%로 낮은 값을 보였다. 이는 박막의 표면거칠기의 증가에 기인된다. SiO₂ 박막을 ITO 박막 위에 증착한 경우에는 투과도가 향상되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지 인력양성사업, 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (2009 -

0079164, R01 - 2007 - 000 - 21017 - 0) 및 BK21 지원 사업의 지원으로 인해 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] S. Li, X. Qiao, J. Chen, *Mater.Chem. Phys.* **98**, 144 (2006).
- [2] W. Song, *J.KIEEME* **17**, 1277 (2004).
- [3] J. T. Hwang, J. M. Son, I. N. Kang and Y. S. Bu, *Polym. Sci. Technol.* **14(5)**, 554 (2003).
- [4] Kunisuke Maki, Nobuo Komiya, Asako Szuki, *Thin Solid Films* **455**, 224 (2003).
- [5] T. Kondo, Y. Sawada, K. Akiyama, H. Funakubo, *Thin Solid Films* **516**, 5864 (2008).
- [6] S. Venkat, Nak-Jin Seong, and Soon-Gil Yoon, *Scripta Materialia* **61**, 867 (2009).
- [7] K. Zhang, F. Zhu, C.H.A Huan, A.T.S. Wee, *J. Appl. Phys.* **86**, 974 (1999).
- [8] S. H. Shin, H. H. Kim, K. J. Park, *J. KIEMEE* **10(7)**, 700 (1997).
- [9] Yalan Hu, Xungang Diao, Cong Wang, *Vacuum* **75**, 183 (2004).
- [10] Y. H. Jung, E. S. Lee, B. Munir, R. A. Wibowo, K. H. Kim, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.* **38**, 150 (2005).