

유연성 기판 위에 증착된 ITO 박막의 공정 온도에 따른 전기적·광학적 특성 평가

최형진¹, 윤순길^{1,a}

¹ 충남대학교 재료공학과

Characterization of the Crystallized ITO Thin Films Grown at Different Temperatures by Off-axis RF Magnetron Sputtering

Hyung-Jin Choi¹ and Soon-Gil Yoon^{1,a}

¹ Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received December 3, 2012; Revised April 22, 2013; Accepted April 23, 2013)

Abstract: Off-axis magnetron sputtering was used for the crystallized ITO thin films deposition at various temperatures from 25 to 120°C. The ITO thin films were crystallized at 50°C for Si (001) substrates and at 75°C for PET substrate. The ITO thin films grown onto PET substrate at 120°C were crystallized with a (222) preferred orientation. The 160-nm thick ITO films showed a resistivity of about $7 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ and a transmittance of about 84% at a wavelength of 550 nm. Off-axis sputtering can be applied for low temperature crystallization of the ITO films.

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

1. 서론

최근 지속되는 디스플레이 산업의 확대에 따라 투명 전도막 소재 및 공정기술의 필요성은 부각되고 있으며, 특히 차세대 디스플레이 산업시장을 위한 소형, 경량, 저 전력의 flexible 디스플레이 연구가 확산되고 있다 [1-3]. 따라서 PC (polycarbonate), PET (polyethylene terephthalate), PES (poly ether sulfones) 등과 같은 폴리머 기판을 이용한 많은 연구가 진행되고 있다.

ITO는 이러한 투명전도성 산화물의 대표적인 물질로 높은 투과율과, 전기전도성을 가지기 때문에 널리 사용되고 있다. 기존 ITO 박막의 증착법으로는 화학증착법 [4-6], 스퍼터링 [7-9] 등 여러 가지가 있으나 ITO 박막의 결정화를 위해서는 공정온도를 올리거나 열처리 공정을 필요로 하고 있다. 그러나 ITO 박막을 유연성 기판에 적용할 경우 고온공정 및 열처리는 불가능하게 된다. 그러나 결정화된 ITO 박막은 비정질 박막보다 높은 투과율과 낮은 저항특성을 보여주고 있다. 따라서 플라스틱이나 종이와 같은 유연성 기판을 사용할 경우 저온에서의 공정을 필요로 하며, 기존 스퍼터링 법의 경우 플라즈마 분위기에 기판이 노출되는 경우 플라즈마에 의해 기판이 손상되기 때문에 저온공정과 함께 플라즈마 분위기에서 벗어나는 증착법이 불가피하다.

본 연구에서는 일반적인 RF 스퍼터링법 보다 고품

a. Corresponding author; sgyoon@cnu.ac.kr

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

질의 박막제조가 용이하며, 플라즈마가 기판에 직접 손상을 주지 않는 off-axis 방법을 이용하여 온도 별로 유연성 기판인 PET 위에 ITO 박막을 증착하였다. 이들 박막은 전기적 및 광학적 특성을 평가하여 온도가 유연성 기판에 증착된 ITO 박막에 미치는 영향에 대해 연구되어졌다.

2. 실험 방법

ITO (In: 90 wt%, Sn: 10 wt%) 박막의 증착을 위하여 먼저 ITO 타겟을 지름이 2 inch 형태로 1,400°C 에서 2시간 소결하여 제작하였다. 증착을 위한 기판은 유연성 기판인 PET와 Si (100)을 사용하였다.

Off-axis 방법을 사용하여 다양한 온도에서 ITO 박막을 증착하였으며, 타겟 간 거리는 8 cm, 타겟과 기판 사이의 거리는 9 cm로 고정하였다. 초기 진공은 1×10^{-5} torr 이하로 유지하고, 공정압력은 1×10^{-3} torr, RF power는 100 W로 고정하였다. 증착온도는 상온에서부터 120°C까지 변수를 두고 실험을 진행하였으며, 자세한 실험 조건은 표 1에 나타내었다.

증착한 ITO 박막의 결정성을 확인하기 위해 XRD (X-ray diffraction)를 사용하여 측정하였으며, 증착된 박막의 미세구조를 관찰하기 위해 주사전자현미경 (SEM)을 사용하여 측정하였다. 전기적 특성 평가를 위해 four-point probe로 먼 저항을 측정하고, UV-VIS-NIR spectroscopy를 이용하여 ITO 박막의 광학적 특성을 측정하였다.

Table 1. Deposition conditions of the ITO thin films.

Deposition parameters	Conditions
Target	ITO (SnO ₂ 10 wt%)
Distance between targets	8 cm
Distance between target and substrate	9 cm
Substrate	PET, Si
Base pressure	1×10^{-5} torr
Working pressure	1 mtorr
Substrate temperature	RT, 50, 75, 100, 120°C
RF power	100 W
Ambient gas	Ar 10 sccm

3. 결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 ITO 박막의 결정성

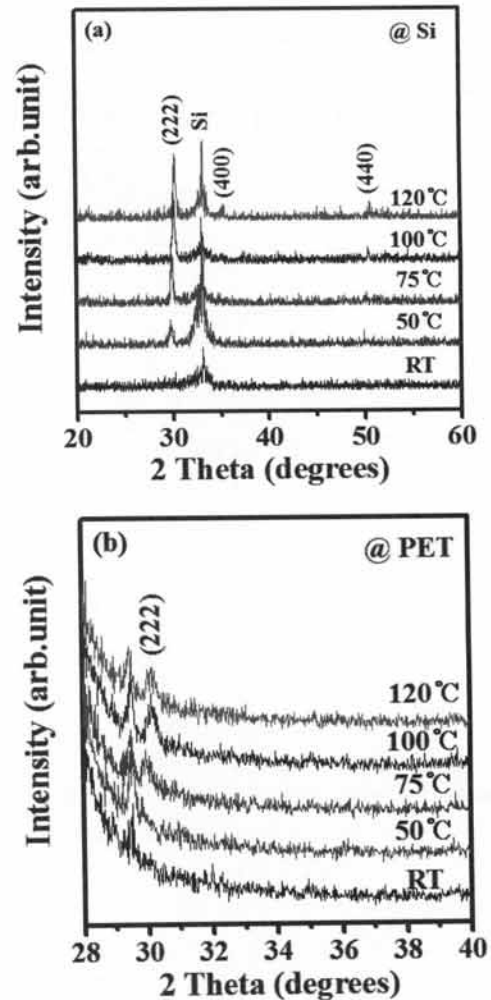


Fig. 1. XRD patterns of the ITO thin films deposited on (a) Si and (b) PET substrates at various temperatures.

예비 실험을 통해 120°C 온도에서도 ITO 박막이 결정화된다는 것을 확인할 수 있었다. 그림은 온도 별로 증착한 ITO 박막의 XRD 패턴으로 기판은 Si와 PET를 같은 온도에서 증착하여 특성을 평가하였다. ITO 박막의 우선성장 방향인 (222) peak는 PET 기판의 경우 기판 peak에 가려져서 확인할 수 없기 때문에 같은 온도에서 증착한 Si 기판 위에 성장한 ITO 박막을 먼저 확인하였다. XRD 패턴을 확인해보면 50°C 온도에서도 ITO 박막의 주 성장 방향인 (222) 방향으로 성장이 시작되는 것을 확인할 수 있다. 온도가 증가함에 따라 peak의 세기가 증가하는 것과 (400), (440) 방향의 성장도 확인할 수 있다.

PET 기판에서의 peak 역시 확인할 수 있었으며, 이 결과를 통해 유연성 기판 위에 증착된 ITO 박막의 결정성을 확인할 수 있었다.

3.2 온도에 따른 ITO 박막의 미세구조

온도에 따른 ITO 박막의 미세구조를 분석하기 위해 SEM을 사용하였다.

그림 2는 같은 시간동안 Si (001) 기판 위에 온도 별로 증착된 ITO 박막의 단면사진으로 모두 약 160 nm 정도의 비슷한 두께를 보여주고 있다. 또한 같은 조건에서 PET 기판의 SEM 표면 사진으로도 ITO 박막의 온도에 따른 결정화를 확인할 수 있다. 상온에서 120°C까지 온도가 증가하면서 박막의 표면에 결정립이 생성되기 시작하여 120°C 온도에서는 표면 SEM 사진을 통해 결정화된 결정립을 확인할 수 있다.

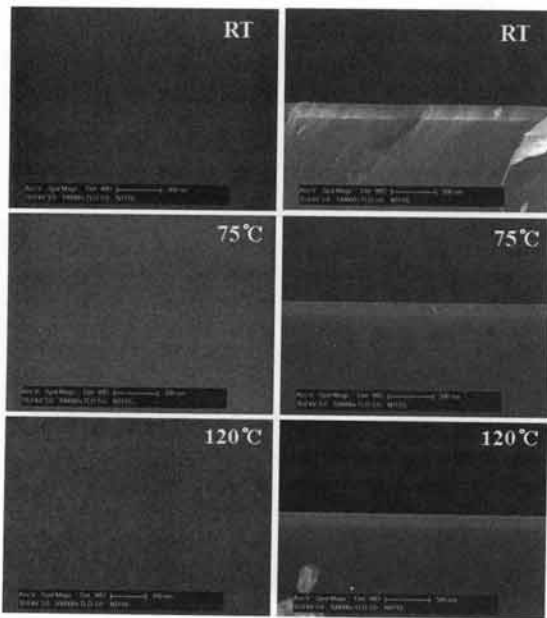


Fig. 2. SEM cross-sectional and surface images of the ITO thin films deposited on Si (001) and PET substrate at various temperatures.

3.3 온도에 따른 ITO 박막의 전기적 특성

그림 3은 PET 기판에 증착한 ITO 박막의 온도에 따른 면저항과 비저항의 변화를 보여주고 있다. 면저

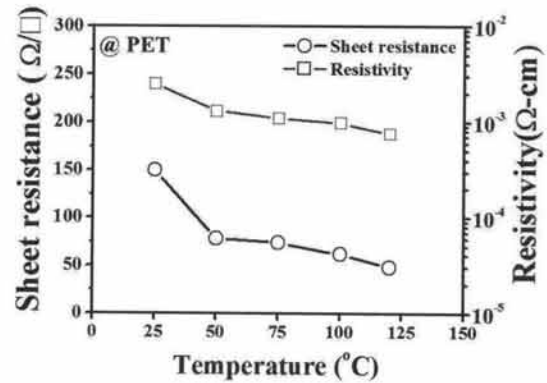


Fig. 3. Sheet resistance and the resistivity of the ITO thin films deposited on PET substrate at various temperatures.

상온에서 증착하여 비정질 상태인 경우 150 Ω/sq.의 면저항과 2.5×10⁻³ Ω·cm의 비저항을 보여주고 있다. 온도가 상승하여 비정질에서 결정질로 바뀌면서 저항은 내려가게 되어 100°C 이상에서 1×10⁻³Ω·cm 이하의 비저항을 보여주고 있다. XRD와 SEM 분석을 통해 확인한 결정화가 시작되는 50°C의 온도에서 면저항이 급격하게 내려간 것으로 보아 ITO 박막의 전기적 특성은 결정화와 매우 밀접한 것을 확인할 수 있다.

3.4 온도에 따른 ITO 박막의 광학적 특성

그림 4는 온도에 따른 ITO 박막의 광투과도 특성을 나타내고 있다.

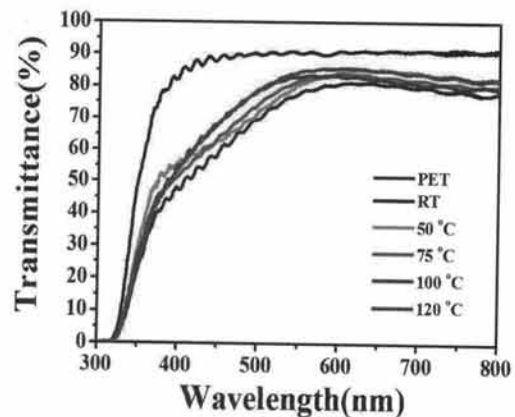


Fig. 4. Optical properties of the ITO thin films deposited at various temperatures.

일반적으로, 투과도는 결정화된 상의 상태와 미세 구조에 크게 영향을 받는다. 비정질 상태의 ITO 박막은 가시광선 파장영역에서 약 77%의 투과도를 보이고 있지만, 상온에서 120°C까지 온도가 증가하면서 투과도가 계속 증가하는 것을 확인할 수 있다. 50°C에서부터 투과도는 80% 이상의 값을 보이고 있으며 120°C의 온도에서 가장 높은 84%의 값을 보이고 있다. 이를 통해 ITO 박막의 광학적 특성 역시 결정화와 매우 밀접한 관계가 있는 것을 확인할 수 있으며 비정질 박막에 비해 결정질 박막의 우수한 특성을 확인할 수 있다.

4. 결론

Off-axis법을 이용한 유연성 기판에 증착한 ITO 박막의 특성을 확인하였다. 유연성 기판 위에 고품질의 ITO 박막을 저온에서의 결정화가 불가피하다. 본 연구를 통해 50°C의 온도에서 결정화가 시작되는 것을 확인하였으며, 증착온도가 증가함에 따라 광학적 및 전기적 특성이 상승하였다. 유연성 기판에의 ITO 박막을 적용할 경우 120°C의 온도에서 기판의 손상을 주지 않으면서 $7 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 비저항과 84%의 가시광 투과율로 가장 우수한 특성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다.

REFERENCES

- [1] S. Li, X. Qiao, and 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, 554 (2003).
- [4] K. Maki, N. Komiya, and A. Szuki, *Thin Solid Films*, 455, 224 (2003).
- [5] T. Kondo, Y. Sawada, K. Akiyama, and H. Funakubo, *Thin Solid Films*, 516, 5864 (2008).
- [6] S. Venkat, N. J. Seong, and S. G. Yoon, *Scripta Materialia*, 61, 867 (2009).
- [7] H. J. Choi, H. J. Jung, S. G. Hur, and S. G. Yoon, *J. KIEEME*, 24, 126 (2011).
- [8] H. S. Kim, H. W. Jang, J. Y. Kang, J. S. Kim, S. J. Yoon, and C. K. Kim, *J. KIEEME*, 25, 563 (2012).
- [9] C. Guillen and J. Herrero, *Thin Solid Films*, 480, 129 (2005).