

PDP 투명전극의 응용을 위한 ITO 박막의 제작평가

Fabrication and Characterizations of ITO Film as a Transparent Conducting Electrode for PDP Application

박강일*, 임동건**, 곽동주*

(Kang-il Park*, Dong-Gun Lim**, Dong-Joo Kwak*)

Abstract

Tin doped indium oxide(ITO) films are highly conductive and transparent in the visible region whose property leads to the applications in solar cell, liquid crystal display, thermal heater, and other sensors. This paper investigated ITO films as a transparent conducting films for application of PDP. ITO films were grown on glass substrate by RF magnetron sputtering method. To achieve high transmittance and low resistivity, we examined the various film deposition such as substrate temperature, gas pressure, annealing temperature, and deposition time. We recommend the substrate temperature of 500°C and post annealing of 200°C in O₂ atmosphere for good conductivity and transmittance. From XRD examination, ITO films showed a preferred(222) orientation. As substrate temperature increased from RT to 500°C, the intensity of the (222) peak increased. The highest peak intensity was observed at a substrate temperature of 500°C. with the optimum growth conditions, ITO films showed resistivity of $1.04 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ and transmittance of 81.2% for a film 300nm thick in the wavelength range of the visible spectrum.

Key Words : PDP, ITO, transmittance, resistivity

1. 서 론**

최근 정보화 사회를 맞이하여 여러 가지 평판 디스플레이 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중 대형 벽걸이 텔레비전의 대명사로 일컬어지는 Plasma Display Panel (PDP)은 본격적인 디지털 방송시대의 새로운 서비스를 실감나게 느끼기 위한 고화질, 대화면 디스플레이로 기대가 한

층 높아지고 있다.

PDP는 방전을 위한 주요 전극으로 투명전극이 필요하다. 투명전극은 높은 전기전도도, 우수한 광투과율, 화학적 안정성 등의 특징이 요구되며, 현재 산화물 반도체가 일반적으로 사용되고 있다. 산화물 반도체는 모두 N-Type 반도체의 도전특성을 나타내고, 재료에는 ITO, SnO₂, ZnO 등이 있으나 SnO₂ 등은 식각이 어렵고 상당히 큰 전기저항을 나타내어 특수 패터닝 기술을 이용해야 하므로 현재 ITO가 널리 이용되고 있다. ITO 박막은 가시광 영역에 대해 광투과도가 크고 전도도가 우수하기 때문에 디스플레이 소자, 태양전지, 투명열선, 센서등의 많은 분야에 응용되고 있다.

본 연구에서는 PDP 투명전극의 응용을 위한 ITO박막을 제작, 평가 하였다. ITO 박막은 높은

* 경성대학교 전기전자공학과
(부산시 대연동 110-1)
Fax: 051-624-5980
E-mail : ultrahana@hanmail.net
djkwak@star.ks.ac.kr

** 성균관대학교 정보통신공학부

증착율을 얻기 위하여 RF Magnetron sputtering 법을 적용하였으며, 높은 투과도와 낮은 저항율을 가지기 위한 공정조건을 최적화 하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

RF Magnetron sputtering법으로 ITO Thin Film을 제작하기 위한 실험장치의 구성은 그림 1 과 같다.

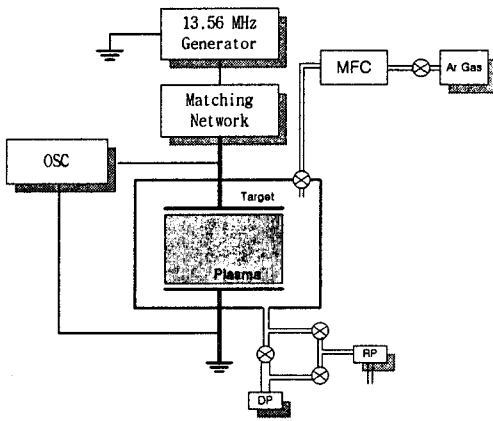


그림 1. 실험장치

Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

ITO 박막은 유기세척법으로 세척된 Micro Slide(Superior, 독일) 기판에 증착하였다. 진공조 내부 Target은 In_2O_3 와 SnO_2 가 90 mol% : 10 mol% 로 혼합된 Purity 99.99%이상의 직경 3인치 두께 1/4인치의 ITO타겟을 사용하였다. Target 과 기판의 거리는 5cm로 고정하고, Oil-Sealed Mechanical Pump와 Oil Diffusion Pump를 사용하여 초기 진공을 5×10^{-6} torr 까지 배기하였다. 진공조에 공급되는 가스는 순도 99.99%의 아르곤 가스를 사용하였고, MFC(YOUNGSIN ENC, GFC-103)로 가스 유량을 20 sccm씩 주입하여 15×10^{-3} torr의 증착 조건을 형성하였다. 박막증착시 기판 온도(R.T.~500°C), 열처리 온도(200°C~600°C), RF Power(50W~100W) 등을 가변하였다.

비저항은 Four Point Probe(Signatone, S-30L)로 측정하였고, 결정성은 XRD(Rotaflex Ru-200, 일본)로 분석하였다. 박막 두께를 측정하기 위하여 α -step(Tencor 500 Surface Profiler)을 사용하였

고, 광투과도는 UV-Visible Spectrometer(CE3041, 영국)로 200nm에서 900nm 파장까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

ITO 박막의 증착율은 RF power가 50W인 경우 최고 56.7Å/min에서 최저 35Å/min 으로 평균 44.5Å/min 이며, RF power가 100W인 경우 최고 80Å/min에서 최저 44.4Å/min 으로 평균 57.7Å/min 이었다. ITO 박막을 낮은 증착율로 증착하면 In_2O_3 가 산소와 충분한 결합하여 산소공공의 수가 감소하므로 전기적 특성이 나빠지게 되고, 높은 증착율의 경우 박막의 표면이 거칠게되어 빛의 산란으로 인하여 광투과율이 떨어진다.

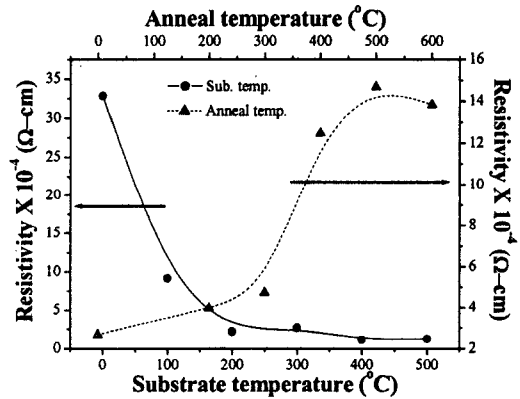


그림 2. 기판온도와 열처리온도에 따른 ITO 박막의 저항율

Fig. 2. Variation of ITO film resistivity with substrate temperature and anneal temperature

그림 2는 RF Magnetron sputtering법으로 증착시킨 ITO박막의 기판온도와 전기저항율의 관계를 나타내었다. 기판온도의 상승에 따라 저항율이 감소하는 것은 원자의 확산속도가 증가하여 결정입자가 성장하고 결정화의 진행에 따라 캐리어로 작용하는 산소공공의 농도와 이동도가 증가하기 때문이다. 기판온도가 500°C에서는 저항율이 증가하였다. 저항율 증가의 원인은 막 표면에서 산화에 따른 캐리어 농도의 감소로 보여진다. 가장 낮은 저항율은 기판온도가 400°C일 때 약 $1.04 \times 10^{-4} \Omega$ -cm였다. 열처리온도에 따른 저항율의 관계에서는 열처리시 산소 흡착에 의해 캐리어로 작용하는 산소공공의 수가 감소하여 대체적으로 저항율이 상

승함을 알 수 있었다.

그림 3은 ITO박막의 X선 회절분석 결과를 나타내었다. 기판온도를 RT에서 500°C까지 변화시키면서 X선 회절을 분석하였다. RT에서부터 (222), (440) 방향의 회절 피크가 관찰되었는데 이는 ITO 박막의 X선 회절패턴이 기판온도에 관계없이 In₂O₃에 해당하는 입자가 ITO 박막내에 존재함을 보여준다. 최대강도를 나타내는 (222) 면은 기판온도의 증가에 따라 커지는 경향을 보이다가 500°C에서 급격한 성장을 보였다. 이는 기판온도의 상승에 따라 확산이 용이해져 ITO 박막의 결정화가 되거나 결정입자가 성장한 것으로 생각되며, 이를 FWHM데이터가 뒷받침해준다. 그림 3에서 알 수 있듯이 기판온도가 올라갈수록 FWHM의 값은 감소하는 경향을 보인다.

$$t = 0.9 \frac{\lambda}{B \cos \theta_B}$$

(*t* : 결정립크기 *B* : FWHM)

이 식은 결정립 크기와 FWHM의 관계를 알 수 있는 Scherrer의 식으로 FWHM의 감소는 결정립의 크기를 증가시킴을 알 수 있다. 기판온도에 따른 FWHM의 변화는 100°C일 때 0.72에서 온도의 증가와 함께 감소하여 500°C에서 0.32였다. 그 결과 기판온도의 증가에 따라 결정립이 커짐을 알 수 있다.

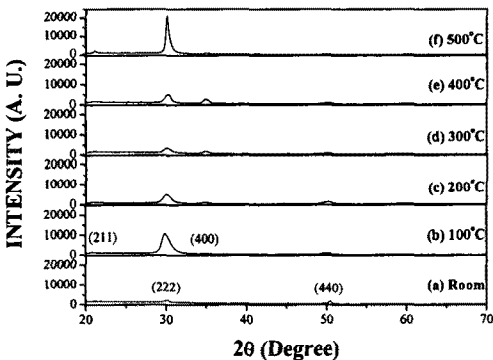


그림 3. 기판온도에 따른 ITO 박막의 X선 회절패턴

Fig. 3. X-ray diffraction pattern of ITO films with substrate temperature

그림 4는 기판온도에 따른 광투과도 스펙트럼의 측정결과를 나타내었다. 기판온도의 증가와 함께

가시광선 영역에서 광투과도가 높아지고 있다. 이는 기판온도가 높아질수록 결정성이 개선되고, 결정입자의 성장에 기인한 것으로 생각 된다.

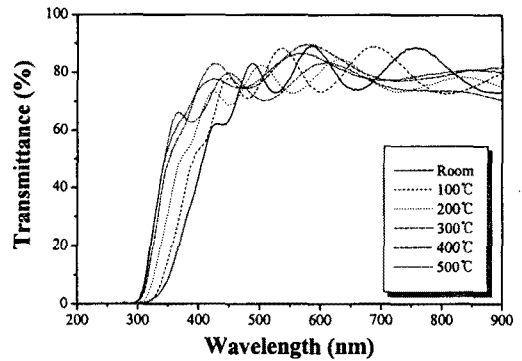


그림 4. 기판온도에 따른 ITO 박막의 광투과도 스펙트럼

Fig. 4. Optical transmittance spectra of ITO films with substrate temperature variations

표 1. 기판온도와 열처리온도에 따른 투과도와 비저항의 변화

Table 1. Variation of ITO film transmittance and resistivity for different substrate temperature and annealing temperature

sub temp	T(%)	$\rho (10^{-4})$	ann temp	T(%)	$\rho (10^{-4})$
R.T.	78.3	32.83	No	72	2.68
100	78.6	9.16	200	81.2	3.97
200	76.8	2.19	300	80.1	4.74
300	81.4	2.67	400	80.3	12.84
400	76.5	1.14	500	81.5	14.69
500	80.0	1.26	600	79.7	13.84

표 1은 기판온도와 열처리온도에 따른 광투과도 스펙트럼 및 저항율에 대한 측정결과를 나타내었다. 투명전도막에 대한 투과도 특성 비교시 400nm에서 800nm까지의 투과도를 평균하여 나타내었다. 열처리온도에 따른 광투과도는 열처리온도가 200°C에서는 개선되었고, 300°C 이상에서는 오히려

투과도가 나빠지는 경향을 보였다. 이는 열처리시에 ITO 박막 표면에서 산소의 과잉반응에 의해 박막 표면이 거칠어지고, 거칠어진 표면에 의한 입사광의 산란이 원인으로 생각된다.

그림 5는 기판온도와 광학적 에너지 밴드갭의 관계를 나타낸다. 광투과율 곡선으로부터 Optical band gap을 구할 수 있다. ITO박막 표면에서 반사율을 무시하면 흡수계수와 투과율 사이에는 다음의 식이 성립한다.

$$\alpha = -\ln(1/T)/t$$

여기서, α 는 흡수계수, t 는 박막 두께, T 는 광투과율을 나타낸다. 또한 valance band와 conduction band가 parabolic한 상태밀도를 갖는 직접천이형 반도체인 경우 광자 에너지에 따른 흡수계수는 다음과 같다.

$$\alpha = A (h\nu - E_g)^{1/2}/h\nu$$

여기서, A 는 상수, $h\nu$ 는 광자 에너지, E_g 는 Optical band gap이다. 이식을 이용하여 energy band gap을 구할 수 있다. 그림 5는 이러한 방식으로 기판온도에 따른 $(\alpha \cdot h\nu)^2 - h\nu$ 그래프를 나타낸 것이다.

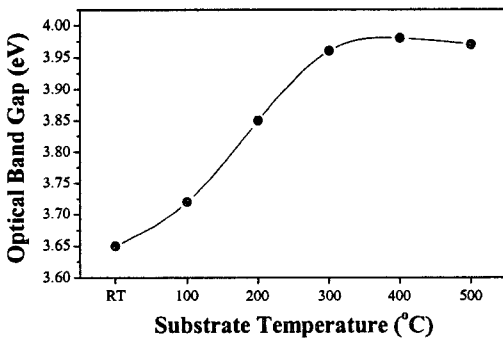


그림 5. 기판온도에 따른 ITO 박막의 광학 밴드갭

Fig. 5. Optical band gap of ITO film resistivity with substrate temperature

기판온도의 증가와 함께 광학적 에너지 갭이 증가함을 알 수 있는데, 이는 높은 기판온도에서 증착된 ITO 박막일수록 전기전도에 기여하는 캐리어의 수

가 증가하기 때문으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 RF Magnetron sputtering법으로 제작된 ITO박막을 제작, 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기판온도 400°C에서 RF Magnetron sputtering법으로 성장시킨 ITO 박막은 $1.04 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 저항율을 보였다.
- (2) 500°C의 기판온도에서 300nm 두께로 성장된 ITO 박막에 200°C의 열처리 공정을 통하여 가시광 영역의 파장에서 81.2%의 투과도를 보였다.
- (3) ITO 박막의 X선 회절분석결과 (222)방향으로의 성장이 우수하였다. 기판온도가 상승함에 따라 결정성이 개선되었으며, 특히 500°C에서 크게 개선된 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] Radhouane Bel Hadj Tahar, Takayuki Ban, Yutaka Ohya, and Yasutaka Takahashi, "Tin doped indium oxide thin films : Electrical properties", J. Appl. Phys. Vol. 83, pp.2631-2645, 1998.
- [2] K. L. Chopra, S. Major and D. K. Pandya, "Transparent Conductors-A Status Review", Thin solid Films, Vol 102, pp.1-46, 1983.
- [3] J. C. Manificier and J. P. Fillard, "Deposition of In₂O₃ layers on Glass Substrates using a Spraying Method", Thin Solid Films, Vol. 77, pp.67-80, 1981.
- [4] Brian Chapman, "Glow Discharge Processes", A wiley-Interscience Publication, pp.177-295
- [5] V. Vasu and A. Subrahmanyam, "Thin Solid Film, Vol.193/194, pp.690-710, 1990.