

DC 마그네트론 스퍼터법에 의한 ITO 투명전도막 특성

박강일, 김병섭, 임동건, 박기엽*, 광동주

경성대학교, 부산정보대학*

Properties of ITO Transparent Conducting Film by DC Magnetron Sputtering Method

Kang-il Park, Byung-Sub Kim, Dong-Gun Lim, Gi-Yub Park*, and Dong-Joo, Kwak

Kyungsung Uni, Busan Info-Tech College

Abstract

Tin doped indium oxide(ITO) films, which is widely used as a transparent conductor in optoelectronic devices such as solar cell, liquid crystal display, plasma display panel, thermal heater, and other sensors, were prepared by using the capacitively coupled DC magnetron sputtering method. The influence of the substrate temperature, working gas pressure and deposition time on the electrical, optical and morphological properties were investigated experimentally. ITO films with the optimum growth conditions showed resistivity of $2.36 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ and transmittance of 86.28% for a film 680nm thick in the wavelength range of the visible spectrum.

Key Words : ITO, PDP, resistivity, transmittance, DC magnetron sputtering

1. 서론

투명전도막은 높은 전기전도특성과 400~800nm 파장의 가시광 영역에 대한 광 투과율이 우수한 막을 말한다. 이 투명전도막은 1907년 Badeker가 Sputtering법으로 제작한 Cd 산화 막에서 출발하여 그 이후 산업과 과학의 발달과 함께 저항률이 $1 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ 이하, 가시광 영역에서 90% 이상의 투과율을 갖는 고품질의 투명전도막의 필요성이 요구되고 있다.

일반적으로 투명전도막을 만드는 방법으로는 금속막을 산화시키는 방법과 반도체 산화물을 이용하는 방법 등이 있다. Ag, Ta, Ti 등의 얇은 금속막을 산화시켜 빛의 투과율과 전기전도도를 조절하는 제조 방법은 비교적 간단하지만, 그 효율이 좋지 못하여 근래에 와서는 특수 목적 외에는 거의 이용되지 않고 있다. 반도체 산화물을 이용하는

방법으로 SnO₂, In₂O₃, CdO, SnO₂:Sb와 In₂O₃:SnO₂ 등이 주로 이용되며, 특히 In₂O₃ 막에 Sn을 주입한 ITO(Indium Tin Oxide)는 $10^{-4} \Omega\text{cm}$ 이하의 낮은 저항율, 가시광 영역에서 90% 이상의 우수한 광 투과율, 유리기판에 대한 강한 부착력, 화학적 안정성 등 투명전극으로는 가장 이상적인 물질이라고 하겠다.

본 연구에서는 PDP 투명전극의 응용을 위한 ITO 박막을 제작, 평가하였다. ITO 박막은 DC magnetron sputtering법을 적용하였으며, 가시광 영역에서 높은 투과율과 낮은 비저항을 얻기 위하여 공정조건의 최적화를 추구하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

진공조는 SUS304로 직경 270 mm, 높이 450 mm의 직원통의 형태이며, 방전중 진공조 내의 온

도 상승을 억제하기 위하여 진공조를 수냉벽으로 하였다. 진공조는 로터리 펌프(Rotary Pump)와 유 확산 펌프(Oil Diffusion Pump)를 사용하여 초기진공을 약 10^{-6} torr까지 배기한 후, Mass Flow Controller(YOUNGSIN ENC, GFC- 103)로 아르곤 가스를 주입하여 원하는 압력을 조절하였다. 동작 가스로는 순도 99.999 %의 아르곤 가스를 사용하였으며, 동작압력은 5~50 mtorr의 범위였다. 전극의 구조는 평판형 마그네트론 방식 이었고, 박막 제작 실험을 위해 사용된 ITO 타겟(NIKKO MATERIALS사)은 순도 99.99 %, 직경 3인치, 두께 1/4인치, In_2O_3 와 SnO_2 는 각각 90 mol% : 10 mol%로 제작되었다. 전극 간격은 예비실험을 통하여 안정된 글로우 방전 플라즈마의 형성과 우수한 막 특성을 보인 5cm로 고정하였다.

표 1. 박막 제조 조건.

Target	Indium Tin Oxide (3인치Φ × 1/4인치T)
Substrate	Corning glass 1737 (10mm×20mm×5mm)
Target-Substrate distance	50mm
Substrate temperature	RT, 100, 200, 300, 400°C
Sputter gas	Ar (99.999%)
Sputter gas pressure	5, 10, 15, 30, 50 mTorr
Presputtering time	Upper 10min
Sputtering time	20min
DC power	40W

표 1은 박막의 제조조건을 나타내었다. 기판으로는 코닝글래스 1737을 유기세척법으로 세척하여 사용하였고, 전원장치는 DC(태양 엔지니어링, 2000 V, 1000 mA)를 사용하였으며, 전력해석기(Voltech, PM3300)를 통하여 공급전력을 고정하였다. 또한, 제작된 ITO박막은 α -step(DEKTAK 3030), X-ray diffractometer(Rigaku Co., D/max 2100H, Japan), 4-point probe(CMT-ST1000), UV spectrophotometer(Hitachi Co. U-3000, Japan) 등의 장비를 사용하여 각각의 특성을 측정하고 평가하였다. α -step을 사용하여 가스 압력 등의 조건에 따른 ITO 박막의 두께 및 증착률을 조사하였으며, X-ray diffractometer로 기판 온도와 가스 압

력에 따른 결정성 및 결정 방향을 조사하기 위하여 20 °~80 °의 범위의 회절각(2 θ)에서 X선 회절 분석을 하였다.

ITO 박막의 미세 표면상태는 원자간력 현미경으로 박막의 표면 거칠기 및 3차원 형상을 관찰하였다. 전기 비저항은 4-point probe법을 이용하여 측정하였으며, 광 투과도 및 광 흡수도 등과 같은 광 특성을 측정하기 위하여 UV spectrophotometer로 가시광선 영역인 400 nm에서 800 nm의 파장 범위까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기판온도와 동작압력에 따른 전기적 특성

그림 1은 공급전력 40W, 기판온도 300°C에서 증착된 ITO 박막의 동작압력과 전기저항율의 관계를 나타내었다.

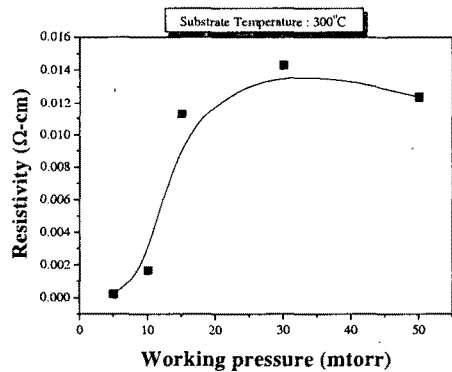


그림 1. 동작압력에 따른 ITO 박막의 저항율.

그림에서 동작압력의 상승에 따라 저항율이 증가하는 것은 압력의 증가에 따라 방출된 스퍼터 원자가 기체 입자에 산란되어 증착율이 감소함으로써 In_2O_3 와 산소의 충분한 결합으로 산소공공의 수가 감소하여 전기적 특성이 나빠지기 때문으로 생각된다.

그림 2는 공급전력 40W, 동작압력 5mtorr에서 ITO 박막의 기판온도와 전기저항율의 관계를 나타내었다. 기판온도의 상승에 따라 저항율이 감소하는 것은 원자의 확산속도가 증가하여 결정입자가

성장하고 결정화의 진행에 따라 캐리어로 작용하는 산소공공의 농도와 이동도가 증가하기 때문에 생각되며, 가장 낮은 저항율은 기판온도 300℃, 동작압력 5mtorr에서 $2.36 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 으로 나타났다.

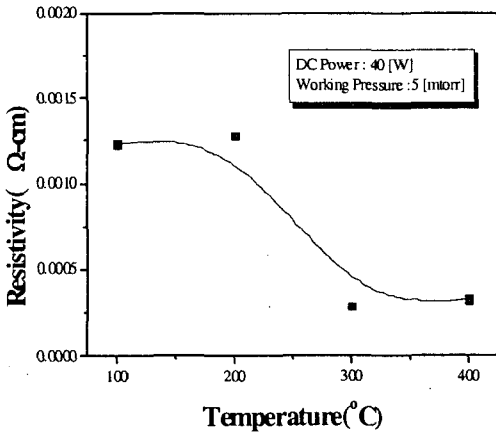


그림 2. 기판온도에 따른 ITO 박막의 저항율

3.2 기판온도와 동작압력에 따른 구조적 특성

그림 3 및 그림 4는 각각 압력 및 기판온도에 대한 X선 회절분석 결과를 나타내었다. 그림 3은 공급전력 40W, 기판온도 300℃에서 압력에 따른 ITO 박막의 X선 회절 분석 결과로 ITO 박막의 주 성장면인 (400)면을 비롯하여 (222), (331), (622)면의 회절피크가 관찰되며, 동작압력이 감소할수록 (400)배향이 강하게 주배향면으로 성장하고 다른 면들은 성장이 억제되었다. 이것은 압력이 감소할수록 스퍼터 원자의 평균자유행정이 길어지게 되어 원자의 에너지가 커진 결과로 생각된다.

한편, 그림 4는 기판 온도에 따른 회절 피크를 나타낸 것으로 (400)면은 200~400℃ 사이에 형성되어 성장되는 경향을 보인다. 이것은 기판온도가 상승할수록 원자의 확산속도가 증가하여 확산이 용이해져 ITO 박막이 결정화되거나 결정입자가 성장한 것으로 생각된다.

3.3 기판온도와 동작압력에 따른 광학적 특성

그림 5는 압력에 따른 광 투과도 스펙트럼의 측정결과를 나타내었다. 자외선 영역에서 50mtorr,

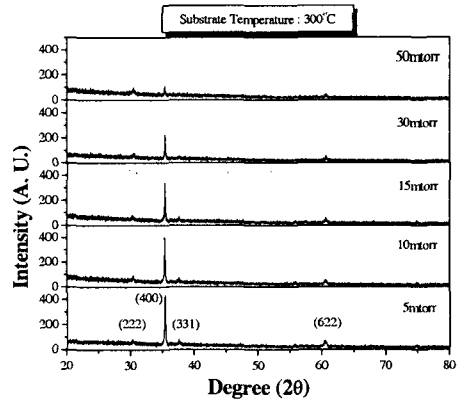


그림 3. 동작압력에 따른 X-ray 회절 패턴.

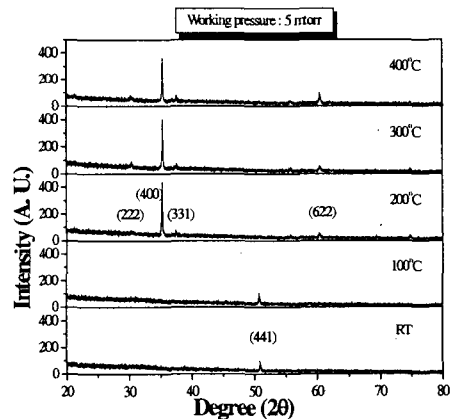


그림 4. 기판온도에 따른 X-ray 회절 패턴.

30mtorr, 5mtorr, 10mtorr, 15mtorr 순으로 optical edge 가 이동함을 알 수 있으며, 압력이 증가할수록 광 투과도가 증가하였다. 가장 높은 광 투과율은 기판온도 300℃, 동작압력 30mtorr에서 95.81%이었고, 5mtorr에서 86.28%의 투과율을 보였다.

또한 그림 6은 동작압력 5mtorr에서 기판온도의 변화에 따른 광 투과도 스펙트럼의 측정 결과이다. 기판온도가 높아질수록 광 투과도가 높아지고 자외선 영역에서 optical edge 가 짧은 파장 쪽으로 이동함을 알 수 있는데 이것은 기판온도가 증가함

에 따라 결정성이 개선되고 결정입자의 성장에 기인한 것으로 생각된다.

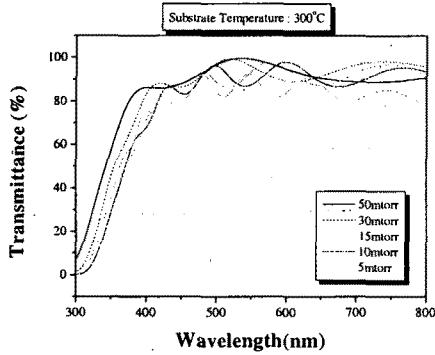


그림 5. 동작압력에 따른 광 투과도 스펙트럼.

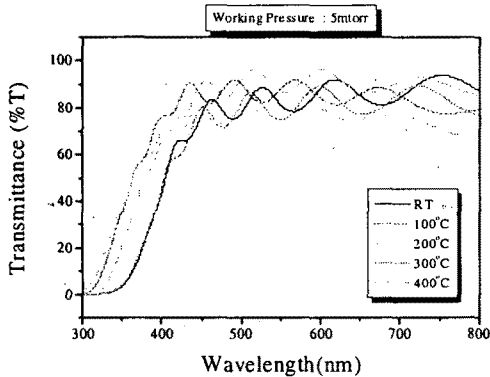


그림 6. 기판온도에 따른 광 투과도 스펙트럼.

4. 결론

본 연구에서는 DC magnetron sputtering 방법으로 제작된 ITO 박막을 제작, 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기판온도 300°C, 동작압력 5mtorr에서 성장시킨 ITO 박막은 $2.36 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 저항율을 보였다.
- (2) 기판온도 300°C, 동작압력 5mtorr에서 680nm 두께로 성장시킨 ITO 박막의 가시광 영역의 파장에서 86.28%의 투과도를 보였다.

- (3) ITO 박막의 X선 회절분석결과 (400)방향으로의 성장이 우수하였다. 기판온도가 상승함에 따라 결정성이 개선되었으며 특히 200°C 이상의 온도에서 (400)피크의 안정화를 가져오며, <100>방향의 배향면으로 성장하고 있음을 보여 주었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-00000342-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Brian Chapman, "Glow Discharge Process-sputtering and Plasma Etching", A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION.
- [2] 한국전기전자재료학회, "반응성 직류마그네트론 스퍼터링에 의한 ITO 박막형성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, Vol. 8, No. 6, p. 699, 1995.
- [3] R. Tueta and M. Braguier, "Fabrication and characterizations of Indium Tin Oxide thin films for electroluminescent applications", Thin Solid Films, Vol. 80, No. 1, p. 143, 1981.
- [4] 한국전기전자재료학회, "ITO/p-InP 태양전지 제작", 전기전자재료학회논문지, Vol. 7, No. 3, p. 243, 1994.
- [5] A. J. Steckl and G. Mohammed, "The effect of ambient atmosphere in the annealing of Indium Tin Oxide films", J. Appl. Phys., Vol. 51, p. 3890, 1980.