

PDP용 투명전도막으로 사용되는 ITO 와 ZnO:Al 의 전기적 · 광학적 특성 비교

김병섭, 박강일, 임동건, 박기엽*, 곽동주
경성대학교, 부산 정보대학*

Comparison of electrical and optical properties between ITO and ZnO:Al films used as transparent conducting films for PDP

Byung-Sub Kim, Kang-Il Park, Dong-Gun Lim, Gi-Yub Park*, and Dong-Joo Kwak
Kyung-sung Univ, Busan Info-Tech College*

Abstract

Tin doped indium oxide(ITO) and Al doped zinc oxide(ZnO:Al) films, which are 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 electrical and optical properties of both the ITO and ZnO:Al thin films were investigated as functions of substrate temperature, working gas pressure and deposition time. ITO and ZnO:Al films with the the present experimental conditions of temperature and pressure showed resistivity of $2.36 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$, $9.42 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ and transmittance of 86.28%, 90.88% in the wavelength range of the visible spectrum, respectively.

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

1. 서 론

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. 현재 투명전도막으로는 SnO₂, In₂O₃, CdO, SnO₂:Sb와 In₂O₃:SnO₂등이 주로 이용되며, 특히 In₂O₃ 막에 Sn을 주입한 ITO(Indium Tin Oxide)와 Al을 첨가한 ZnO 박막이 많이 사용되고 있다. ITO 박막은 낮은 비저항과 우수한 식각특성으로 투명전극으로서 가장 널리 이용되고 있고 ZnO:Al 박막은 환원성 분위기에 대한 내성, 가시광영역에서의 높은 투과율과 저렴한 가격으로 ITO 박막에 비교될만한 투명전도막이다.

본 연구는 다양한 실험조건하에서 ZnO:Al 박막을 제작, 평가하여 현재 PDP 투명전극으로 널리 사용되고 있는 고가의 ITO 박막을 대체하기 위한 가능성의 검토를 목적으로 한다.

한편, ITO 박막과 ZnO:Al 박막의 제작에는 DC magnetron sputtering법을 적용하였으며, 가시광 영역에서 높은 투과율과 낮은 비저항을 얻기 위하여 각각의 최적 공정조건을 확립하고, 확립된 공정조건에서 제작된 각각의 박막특성을 평가, 비교하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

진공조는 SUS304로 직경 270 mm, 높이 450 mm의 직원통의 형태이며, 방전중 진공조 내의 온도 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 아르곤가스를 주입하여 원하는 압력을 조절하였다. 전극 간격은 예비실험을 통하여 안정된 글로우 방전 플라즈마의 형성과 우수한 막 특성을 보인 5cm로 고정하였다.

표 1. 박막 제조 조건.

| | | |
|---------------------------|--|---|
| Target | Indium Tin Oxide (99.99%) | ZnO:Al (99.9%) |
| | In ₂ O ₃ : SnO ₂ = 90 : 10 mol% | ZnO : Al ₂ O ₃ = 98 : 2 wt% |
| | (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 | 1~50 mTorr | |
| Presputtering time | Upper 10min | |
| Sputtering time | 20~30min | |
| DC power | 40W | |

표 1은 박막의 제조조건을 나타낸다. 기판으로는 코닝글래스 1737을 유기세척법으로 세척하여 사용하였고, 전력해석기(Voltech, PM3300)를 통하여 공급전력을 고정하였다. 또한, 제작된 박막은 α -step(DEKTAK 3030)을 사용하여 가스 압력 등의 조건에 따른 ITO 박막의 두께 및 증착률을 조사하였으며, X-ray diffractometer (Rigaku Co, D/max 2100H, Japan)로 기판 온도와 가스 압력에 따른 결정성 및 결정방향을 조사하기 위하여 20° ~ 80°의 범위의 회절각(2 θ)에서 X선 회절분석을 하였다. 전기 저항은 4-point probe (CMT-ST1000)법을 이용하여 측정하였으며, 광 투과도 및 광 흡수도 등과 같은 광 특성을 측정하기 위하여 UV spectrophotometer(Hitachi Co. U-3000, Japan)로 가시광선 영역인 400 nm에서 800 nm의 파장 범위까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기판온도와 동작압력에 따른 전기적 특성

그림 1은 예비실험을 통하여 우수한 막 특성을 나타낸 공급전력 40W, 기판온도 300°C(ITO)와 400°C(ZnO:Al)에서 증착된 박막의 동작압력과 전기 저항률의 관계를 비교하여 나타내었다.

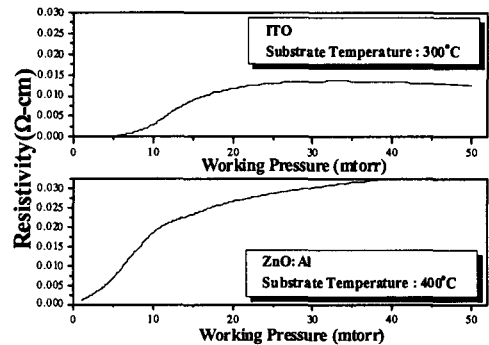


그림 1. 동작압력에 따른 박막의 저항률.

그림 1에서 동작압력의 감소에 따라 저항률이 감소하는 것은 일반적으로 박막 형성시 동작 가스의 압력이 감소함에 따라 방출된 스퍼터 원자가 기체입자에 산란될 확률이 감소하게되어 증착률이 증가하게 되고, 높은 증착률로 인하여 스퍼터 입자들이 적당한 위치를 찾기 전에 성막이 이루어져 비화학양론적인 조성을 갖게되어, 이로 인한 캐리어의 발생으로 저항률이 감소하는 것으로 생각된다.

그림 2는 공급전력 40W, 동작압력 5mtorr(ITO)와 1mtorr(ZnO:Al)에서 박막의 기판온도와 전기저항률의 관계를 나타내었다. 기판온도의 상승에 따라 저항률이 감소하는 것은 원자의 확산속도가 증가하여 결정입자가 성장하고 결정화의 진행에 따라 캐리어로 작용하는 산소공공의 농도와 이동도가 증가하기 때문으로 생각되며, 또한 ZnO:Al 박막의 경우 기판 온도의 증가에 따라 결합에너지가 낮은 산소원자가 우선적으로 재스퍼터되어 산소결핍 등의 결함이 증가하여 저항률이 감소한 것으로 생각된다.

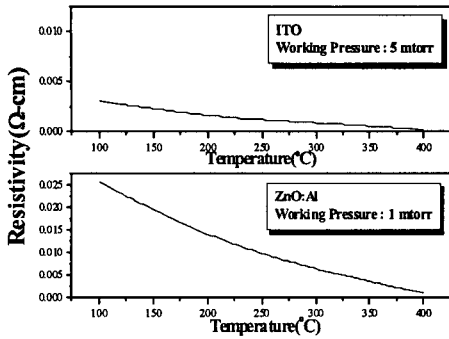


그림 2. 기판온도에 따른 박막의 저항율.

3.2 기판온도와 동작압력에 따른 구조적 특성

그림 3은 공급전력 40W, 기판온도 300℃(ITO)와 400℃(ZnO:Al)에서 압력에 따른 박막의 X선 회절 분석 결과로 ITO 및 ZnO 박막 모두 주배향면에서의 2θ 값은 standard crystal 과 일치함을 알 수 있다. 우선 ITO 박막은 주 성장면인 (400)면을 비롯하여 (222), (331), (622)면의 회절피크가 관찰되며, 동작압력이 감소할수록 (400)배향이 강하게 주배향면으로 성장하고 다른 면들은 성장이 억제되었다. 한편 ZnO 박막은 1~20mtorr의 범위에서는 동작압력에 관계없이 (002)면의 우선배향성을 보여주나, 동작압력이 감소할수록 (002)배향이 강하게 주배향면으로 성장하고 있다. ITO와 ZnO(Al)의 동작압력의 감소에 따라 회절피크가 증가하는 것은 스퍼터 원자가 가스 입자에 산란될 확률이 감소하여 평균자유행정이 길어지게 됨으로써 원자의 에너지가 커진 결과로 생각된다.

그림 4는 기판 온도에 따른 회절 피크를 나타낸 것으로 ITO 박막에서 (400)면은 200~400℃ 사이에 형성되어 성장되는 경향을 보인다. 이것은 기판온도가 상승할수록 원자의 확산속도가 증가하여 확산이 용이해져 ITO 박막이 결정화되거나 결정입자가 성장한 것으로 생각된다. ZnO 박막에서 (002)면은 200~400℃ 사이에 형성되어 성장하는 경향을 보인다. 이것은 기판온도가 상승할수록 원자의 확산속도가 증가하여 확산이 용이해져 박막의 결정화가 촉진되거나 결정입자가 활발히 성장한 것으로 생각된다.

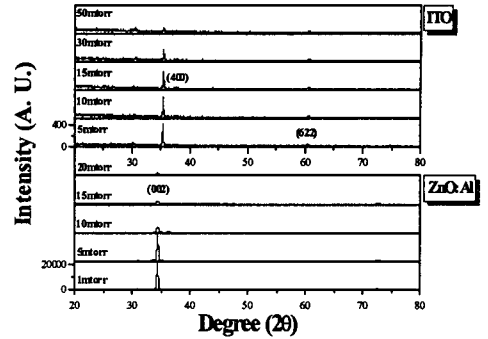


그림 3. 동작압력에 따른 X-ray 회절 패턴.

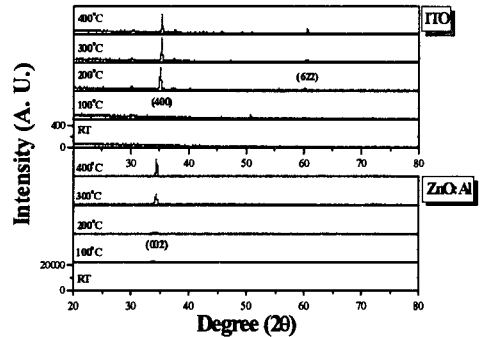


그림 4. 기판온도에 따른 X-ray 회절 패턴.

3.3 기판온도와 동작압력에 따른 광학적 특성

그림 5 및 6은 각각 ITO 및 ZnO의 기판온도에 따른 광 투과도 스펙트럼의 측정결과를 나타내었다. ITO 박막은 동작압력 5mtorr에서 기판온도가 높아질수록 광 투과도가 높아지고 자외선 영역에서 optical edge가 짧은 파장 쪽으로 이동함을 알 수 있는데 이것은 기판온도가 증가함에 따라 결정성이 개선되고 결정입자의 성장에 기인한 것으로 생각된다. 한편, ZnO:Al 박막은 기판온도와 동작압력의 증착조건과는 무관하게 자외선 영역의 optical edge와 400~800nm 영역의 가시광 영역에서 평균 90% 정도의 투과율을 보이는 일반적으로 알려진 특성과 일치하였다.

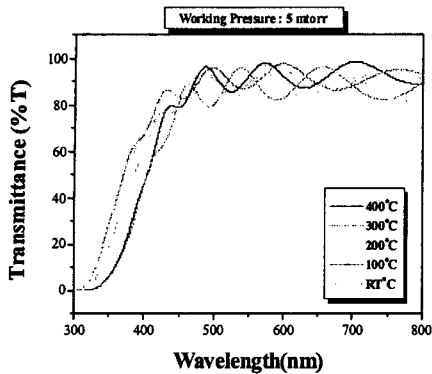


그림 5. 기판온도에 따른 ITO 박막의 광 투과도 스펙트럼.

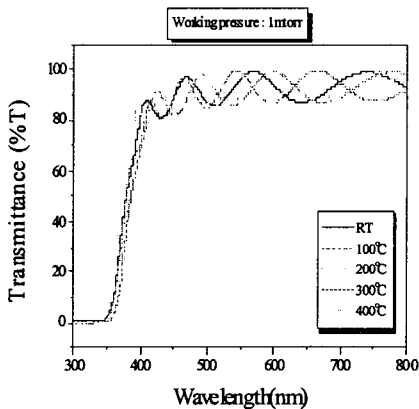


그림 6. 기판온도에 따른 ZnO 박막의 광 투과도 스펙트럼.

4. 결론

본 연구에서는 투명전도막으로 사용되고 있는 ITO 와 ZnO:(Al) 박막을 DC magnetron sputtering 방법으로 제작하여 최적의 조건에서의 특성을 평가, 비교하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) ITO 박막은 기판온도 300℃, 동작압력 5mtorr 에서 최적의 성장조건을 나타내었고 이때 $2.36 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 저항율과 가시광 영역에서 86.28% 의 투과도를 보였다. X선 회절분석결과 (400)방향으로의 성장이 우수하였다.

(2) ZnO 박막은 기판온도 400℃, 동작압력 1mtorr 에서 최적의 성장조건을 나타내었고 이때 $9 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 저항율과 가시광 영역에서 90.88% 의 투과도를 보였다. X선 회절분석결과 (002)방향으로의 성장이 우수하였다.

(3) 전반적으로 ITO 박막은 전기전도특성, ZnO:Al 박막은 광학적 특성이 우수하였다. 이것은 일반적으로 알려진 결과와 잘 일치하고 있으며, ZnO:Al 박막이 ITO 박막을 대신하여 사용될수 있을것으로 사료된다.

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] 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.
- [3] Woon-Jo Jeong, Gye-Choon Park, "Electrical and optical properties of ZnO thin film as a function of deposition parameters", Solar Energy Material & Solar Cells, 65, 37-45, 2001