

RF 마그네트론 스퍼터법에 의한 ZnO:Al 투명전도막 특성에 미치는 방전전력의 영향

이성욱, 김병섭, 이수호, 임동건*, 박민우**, 이세종**, 곽동주
경성대학교 전기전자공학과, 충주대학교 전자공학과*, 경성대학교 신소재공학과**

Effect of discharge power on the electrical properties of ZnO:Al transparent conducting films by RF magnetron sputtering

Sung-Wook Lee, Byung-Sub Kim, Soo-Ho Lee, Dong-Gun Lim*, Min-Woo Park**, Se-Jong Lee**,
and Dong-Joo Kwak
KyungSung Uni, ChungJu Uni*, KyungSung Uni.**

Abstract

Al doped Zinc Oxide(ZnO:Al) 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 RF magnetron sputtering method. In this paper the effect of RF discharge power on the electrical, optical and structural properties were investigated experimentally. The results show that the structural and electrical properties of the film are highly affected by the variation of RF discharge power. The optimum growth conditions were obtained for films doped with 2 wt% of Al₂O₃ and 200 W in RF discharge power, which exhibit a resistivity of $10.4 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ associated with a transmittance of 89.66 % for 1000nm in films thickness in the wavelength range of the visible spectrum.

Key Words : ZnO:Al, resistivity, transmittance, RF magnetron sputtering

1. 서론

투명전도막은 높은 전기전도 특성과 400~800 nm 파장의 가시광 영역에 대한 광 투과율이 우수한 막을 말한다. 이 투명전도막은 1907년 Badeker가 Sputtering법으로 제작한 Cd 산화막에서 출발하여 그 이후 산업과 과학의 발달과 함께 저항률이 $1 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 이하, 가시광 영역에서 90 % 이상의 투과율을 갖는 고품질의 투명전도막의 필요성이 요구되고 있다. 일반적으로 투명전도막을 증착시키는 방법으로는 CVD, sputtering, ion plating

등이 있으며, 이중에서 sputtering법은 대형화 공정이 용이하고, 내오염성이 우수하며 치밀하고 부착력이 강한 박막을 얻을 수 있다. 투명전도막의 증착에 이용되는 sputtering법은 금속 타겟에 적정농도의 산소를 도입하는 reactive sputtering법과 반도체 산화물 타겟을 이용하는 방법이 있다. 금속 타겟을 이용하는 reactive sputtering법은 일반적으로 우수한 특성의 막을 얻을 수 있으나 재현성과 박막형성의 메카니즘이 명확하지 못하다. 반도체 산화물을 이용하는 방법으로는 SnO₂, ITO, CdO, ZnO등의 재료가 주로 이용된다. 한편 투명전도막은 태양전지, 각종 평판 디스플레이, 가스센서 등의 다양한 분야에서 이용되고 있으며 현재 낮은

저항율을 장점으로 가지는 ITO 가 널리 이용되고 있으나, ZnO는 환원성 분위기에 대한 내성, 가시광 영역에서의 높은 광 투과율과 저렴한 가격으로 ITO 박막에 비교될만한 투명전도막의 재료로 주목 받고있다. ZnO 는 비화학양론적 결함구조, 넓은 band gap, 광학적 투광성 그리고 큰 압전상수 등의 특성으로 인하여 가스 센서, micro-actuators, 투명전도막 등으로 응용되고 있으며, 이러한 다양한 응용에 있어 서로 다른 요구 조건에 의해 ZnO 박막의 결정성, 광학적 특성 그리고 전기적 특성에 미치는 증착 조건에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으나, 투명전도막의 응용을 위한 박막제조 조건에 관한 연구는 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 차세대 디스플레이 소자의 주류를 이룰 것으로 예상되는 FPD 투명전극의 응용을 위하여 ZnO 박막을 RF magnetron sputtering법으로 제작, 평가하였다. 박막 제조시 확립된 기판온도와 동작압력에서 방전 전력을 가변하여 박막의 결정성, 전기적, 광학적 특성의 변화를 고찰하여 박막의 특성에 미치는 방전 전력의 영향을 도출하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 진공조는 SUS304로 직경 270 mm, 높이 450 mm의 직원통의 형태이며, 방전중 진공조 내의 온도 상승을 억제하기 위하여 진공조를 수냉 하였다. 진공조는 로터리 펌프(Rotary Pump)와 유확산 펌프(Oil Diffusion Pump)를 사용하여 초기진공을 약 1×10^{-6} torr까지 배기한 후, Mass Flow Controller

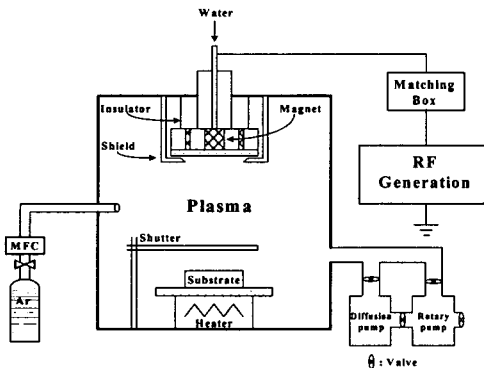


그림 1. 실험장치의 개략도.

(MFC)로 아르곤가스를 주입하여 원하는 압력을 조절하였다. 동작 가스로는 순도 99.999 %의 아르곤 가스를 사용하였으며, 동작압력과 기판온도는 예비실험을 통하여 우수한 막 특성을 보인 1mtorr와 400℃로 고정하였다[1]. 전극의 구조는 평판형 마그네트론 방식이며, 타겟(target) 및 접지측 전극은 모두 직경 3인치의 원형 전극이었다. 글로우 방전 및 박막 제작 실험을 위해 사용된 ZnO:Al 타겟은 순도 99.9 %의 Super Conductor Materials사 제품으로 직경 3인치, 두께1/4인치, ZnO와 Al₂O₃는 각각 98:2 wt%로 제작되었다. 전극 간격은 필요에 따라 30~200 mm로 조절할 수 있으나, 본 실험의 경우 글로우 방전 실험으로부터 50 mm의 전극간격이 박막 제작에 가장 효율적으로 생각되어 50 mm로 고정하였다. 타겟에는 이온 충격에 의한 온도 상승을 억제하기 위하여 냉각수를 공급하였다. 기판으로는 Corning glass 1737 (10 mm×20 mm×5 mm)을 유기세척법(아세톤, 메탄올, 증류수의 순서로 각각 10분씩 초음파 세척을 한 후 질소로 건조)으로 세척하여 사용하였으며, 제작된 ZnO:Al 박막은 4-point probe(CMT-ST1000), α -step(DEKTA K 3030), X-ray diffractometer (Rigaku Co., D/max 2100H, Japan), UV spectrophotometer(Hitachi Co. U-3000, Japan) 등의 장비를 사용하여 각각의 특성을 측정하고 평가하였다.

표 1. 박막의 제조조건

ZnO:Al Target	3인치Φ × 1/4인치T 98:2 wt%
Substrate	Corning glass 1737 (10 mm×20 mm×0.8 mm)
Target-Substrate distance	50 mm
Substrate temperature	400℃
Sputter gas pressure	1 mtorr
Pre-sputtering time	Upper 10 min
Sputtering time	7 ~ 23 min
RF power	100, 150, 200, 250, 300 W

α -step을 사용하여 가스 압력 등의 조건에 따른 ZnO:Al박막의 두께 및 증착률을 조사하였으며,

X-ray diffractometer로 기판 온도와 가스 압력에 따른 결정성 및 결정 방향을 조사하기 위하여 20~80°의 범위의 회절각(2θ)에서 X선 회절분석을 하였다. 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. 표 1에 박막의 제조 조건을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 결정성

그림 2는 동작압력 1 mtorr, 기판온도 400°C에서 방전전력에 따른 ZnO:Al 박막의 X선 회절분석의 결과를 나타내었다.

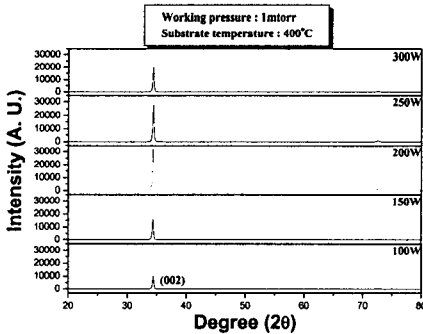


그림 2. 방전전력에 따른 X 선 회절 패턴.

그림에서 알 수 있듯이 100 ~ 300 W의 실험범위에서 방전전력에 관계없이 (002)면의 우선배향성을 보여주며, (002)회절 피크에서의 2θ 값은 standard ZnO crystal(34.45°)과 거의 일치하였다 [2]. 또한 방전전력이 200 W 범위까지는 전력의 증가와 함께 XRD피크의 강도는 매우 급격하게 증가하였으나 그 이상의 전력에서는 감소하는 경향을 보인다. 200 W이하의 전력범위에서 전력의 증가에 따라 회절피크의 강도가 증가하는 것은 공급되는 전력의 증가로 Target에 충돌하는 이온의 에너지가 증가하여 스퍼터율 증가하고, 이 가속된 이온과 에너지 교환으로 방출되는 스퍼터 입자의 에너지가 증가한 결과 기판에 도달한 스퍼터 입자의

표면 이동도가 증가하여 결정의 성장이 촉진된 것으로 보인다.

한편, 250 W이상에서부터 회절피크의 강도가 감소하는 것은 에너지 전달에 의한 결정의 성장보다는 과도한 전력의 공급으로 증착률이 너무 커지게 되어 기판에 도달한 입자가 에너지적으로 바람직한 결자위치를 찾기전에 성막이 이루어지게되어 결정 성장이 억제된 것으로 사료된다.

3.2 전기적 특성

그림 4는 2 wt% 함량의 Al₂O₃ 타겟, 기판온도 400°C에서 동작압력 1 mtorr의 방전전력에 따른 전기 저항률과 증착률을 나타내었다.

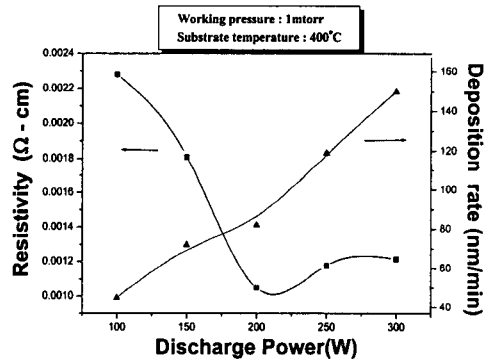


그림 4. 방전전력에 따른 전기 저항률 및 증착률

그림으로부터 알 수 있듯이 200 W의 방전전력에서 가장 낮은 저항률을 보였다. 한편 증착률은 방전전력이 100 W에서 300 W로 증가함에 따라 458 Å/min에서 1509 Å/min로 거의 선형적으로 증가하며, 저항률은 100 W에서 200 W까지의 범위에서는 전력의 증가와 함께 $22.7 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 에서 $10.4 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 로 감소하고, 250 W와 300 W에서는 각각 $11.7 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 와 $12.1 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 로 증가함을 알 수 있다. 방전전력이 증가함에 따라 증착률이 증가하는 것은 방전전력이 증가하면 타겟에 충돌하는 Ar이온의 에너지를 증가시켜 스퍼터율이 증가하여 증착률이 증가한다. 또한, 100 W~200 W의 전력범위에서 저항률이 전력의 증가에 따라 감소하는 것은 증착률의 증가로 격자결합이 증가하여 발생한 캐리어의 증가와 Ar이온의 에너지증가에 따라 이 가속이온과 에너지를 교환하는 스퍼

터 입자의 에너지가 증가하여 결정의 성장이 촉진되어 결정립 성장에 따른 입자간의 저항감소로 전기적 특성이 개선된 것으로 보이며, 그 이상의 전력에서 저항률이 증가하는 것은 과도한 증착률로 인한 결정성장의 억제와 방전전력의 상승에 따라 Al 혹은 Zn의 결정 입계에 트랩될 확률이 증가하기 때문으로 사료된다.

3.3 광학적 특성

일반적으로 ZnO박막의 광 투과율특성은 박막의 두께와 밀접한 관계를 가지고 있다. 즉, 박막의 두께가 증가할수록 광 흡수 및 표면산란, 반사등으로 투과율은 감소하며, 다른 증착조건에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다. 이러한 특성은 ZnO가 약 3.2 eV의 energy gap을 갖는 direct band gap semiconductor이기 때문인 것으로 알려져 있다.

그림 3은 방전전력에 따른 광 투과도 스펙트럼을 나타내었다.

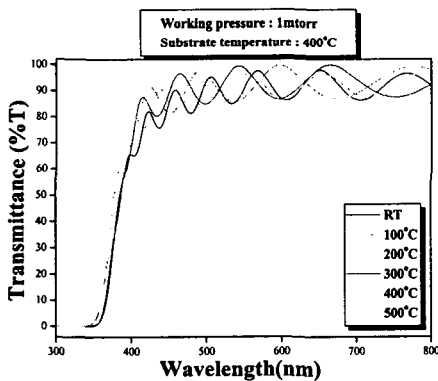


그림 5. 방전전력에 따른 광 투과도 스펙트럼.

그림으로부터 자외선 영역의 optical edge 및 광 투과율이 유사함을 알 수 있다. 본 실험의 경우 여러 증착조건과는 무관하게 400~800 nm 영역의 가시광 영역에서 평균 85 % 정도의 투과율을 보이는 일반적으로 알려진 특성과 일치하였다. 저항률이 가장 우수한 증착조건에서의 광 투과율은 89.6 % 였다.

4. 결론

본 연구에서는 PDP용 투명전극의 응용을 위한 ZnO:Al 박막을 제작, 평가하였다. 방전 전력을 변화시키며 결정성, 저항률, 광 투과율을 측정하였다. 가장 우수한 특성은 1 mtorr의 동작압력, 400°C의 기판온도, Al₂O₃함량 2 wt%, 200 W의 전력에서 (002)방향의 우수한 성장, 10.4×10⁻⁴ Ω-cm의 저항률, 89.66 %의 투과율을 나타내었다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] K.I.Park, B.S.Kim, D.G.Lim and D.J.Kwak, "Some properties of ZnO:Al transparent conducting films by dc magnetron sputtering method", Proceeding of the KIEEME(in Korean) Annual Summer.
- [2] Yasuhiro Igasaki and Hirokazu Kunma, "Argon gaspressure dependence of the properties of transparent conducting ZnO:Al films deposited on glass substrates", Applied Surface Science, 169-170, p. 509, 2001.