

태양전지 응용을 위한 PC 기판상의 ZnO:Al 박막 특성에 관한 연구

A Study on Properties of ZnO:Al Films on PC Substrate for Solar Cell Applications

나영일¹, 이재형^{1,a}, 임동건², 양계준²
(Young-il Na¹, Jae-Heong Lee^{1,a}, Dong-Gun Lim², and Kea-Joon Yang²)

Abstract

Al doped ZnO thin films (ZnO:Al) were deposited on poly carbonate (PC) substrate by rf magnetron sputtering. In addition, the electrical, optical properties of the films prepared at various conditions were investigated. As the sputter power increased, the resistivity of ZnO:Al films decreased, regardless of substrate types. However, the resistivity of the films increased with the sputter pressure. The ZnO:Al films were increasingly dark gray colored as the sputter power increased, resulting in the loss of transmittance. High quality films with resistivity as low as $1.43 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ and transmittance over 80 % have been obtained by suitably controlling the deposition parameters.

Key Words : ZnO, TCO, RF sputtering, PC substrate, Electrical property, Optical property

1. 서 론

1907년 Badeker가 sputtering 법으로 카드뮴 박막을 산화 처리하여 얻은 CdO 박막의 투명전도성을 처음으로 확인한 이후 ITO (indium tin oxide), ATO (antimony tin oxide), FTO (flourine tin oxide), CTO (cadium stannate) 및 ZnO (zinc oxide) 등 여러 가지의 투명 전도성 산화물 (transparent conducting oxide : TCO)이 개발, 연구되어 왔다[1]. ZnO:Al 박막은 특히 투명전극으로 많이 사용되고 있는 indium을 기초로 한 경우보다 가격 면에서 훨씬 경제적이고, 또한 수소 원자나 수소 플라즈마 환경에 있어서 indium 또는 tin을 사용한 경우보다 훨씬 구조적으로 안정성을 보이고 있다[2]. ZnO:Al 박막은 넓은 밴드 갭 (band gap) 및 가시광 영역에서 높은 광투과성을 가지며,

제조조건에 따라서 비저항의 범위가 폭넓게 변화하므로 태양전지, 평판 디스플레이의 투명전극으로 뿐만 아니라, acoustic wave device, varister 등에도 응용되고 있다[3]. 이들 분야에서 대부분 기판으로 사용되는 유리의 경우 파손의 우려, 유연성, 기판 두께 등 여러 가지 조건의 제한이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 근래에는 poly carbonate(PC), polyethylene terephthalate(PET), polypropylene(PP), acryl 등과 같은 투명 플라스틱 기판 위에 ZnO:Al 박막을 증착하는 기술이 연구되어지고 있다. 그러나 플라스틱 기판은 열에 민감하기 때문에 유리 기판과는 달리 스피터 전력, 기판 온도 등에 제약을 받게 된다.

따라서 본 논문에서는 태양전지에 응용하기 위해 플라스틱 기판을 이용하였으며 플라스틱의 특성상 기판을 가열하지 않은 상태에서 압력과 스피터 전력을 변화시켜서 유리 기판과 PC 기판에 ZnO:Al 박막을 증착시켜 이에 따른 박막의 전기적, 광학적 특성을 조사하였다.

2. 실험

ZnO:Al 박막을 증착할 기판으로 PC와 비교를

1. 군산대학교 전자정보공학부
(전북 군산시 미룡동 산 68)

2. 충주대학교 전자공학과

a. Corresponding Author : jhyi@kunsan.ac.kr

접수일자 : 2004. 11. 11

1차 심사 : 2004. 12. 3

심사완료 : 2004. 12. 29

표 1. ZnO:Al 박막의 제조조건.

Table 1. Preparation condition of ZnO:Al films.

Deposition parameter	Condition
Target-substrate distance	7 cm
Sputtering power (Base pressure)	25~125 Watt (3 mTorr)
Working pressure (Base Power)	2~20 mTorr(120 W)
Substrate temperature	room temperature

위해 Corning 7059 유리를 사용하였다. 유리 기판은 acetone, methanol 순으로 15분간 초음파 세척하고, D. I. Water로 기판 표면을 씻어내고 N₂ gun으로 불기를 제거한 후에 사용하였다. PC 기판의 경우 세척액과의 화학적 반응을 방지하기 위해 methanol 만을 사용하여 15분간 초음파 세척하고 유리 기판과 동일한 방법으로 세척액을 씻어내고 불기를 제거하였다. 본 논문에서는 ZnO:Al 박막 제조를 위해 RF magnetron sputter 장비를 사용하였다. 타겟으로는 순도 99.999 %의 ZnO:Al을 사용하였다. 시편 제조를 위해 챔버(chamber)안의 압력을 10⁻⁶ Torr 이하로 배기한 후에 Ar 가스를 주입하여 원하는 압력을 유지시켜 시편을 제조하였다. ZnO:Al 박막의 물성은 스퍼터 전력 및 압력, 기판온도, 열처리 등과 같은 제조공정상의 조건에 따라서 좌우되기 때문에 최적의 증착 조건을 찾기 위해 제조 공정조건을 변화시켜가며 박막을 제조하였다. 표 1은 ZnO:Al 박막 제조에 사용된 제조공정조건을 나타내었다. 또한 제조된 시편을 측정하기 위해 α -step을 사용하여 스퍼터 전력, 압력의 제조 공정조건을 다르게 한 시편들의 두께를 조사하였으며, 시편들의 비저항은 4-point probe법을 이용하여 측정하였으며, 광 투과도, 반사율 등의 광 특성을 측정하기 위해 UV spectrophotometer를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

ZnO:Al 박막을 증착시킨 플라스틱 기판을 태양 전지에 응용하기 위해 스퍼터 전력과 압력 등의 증착 조건을 가변하여 최적의 증착 조건을 찾아내고자 하였고, 플라스틱 기판의 경우 열에 매우 취약하기 때문에 변형을 방지하기 위해 기판 온도의 조건은 제외하였다.

박막의 증착률은 막의 두께를 증착한 시간으로

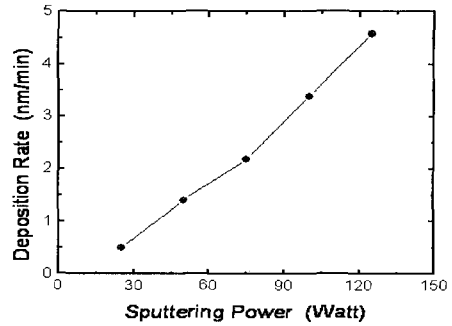


그림 1. 스퍼터 전력에 따른 ZnO:Al 박막의 증착률.

Fig. 1. Deposition rate of ZnO:Al films deposited at different sputter powers.

나눈 값으로 정의되며, 박막 두께조절은 특히 정밀한 다층 코팅의 경우 매우 중요하게 된다[4].

그림 1은 압력이 3 mTorr일 때, 스퍼터 전력이 가변함에 따라 변화하는 ZnO:Al 박막의 증착률을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 스퍼터 전력이 증가함에 따라 ZnO:Al 박막의 증착률은 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 스퍼터 전력이 증가함에 따라 타겟에 전달되는 에너지가 커지게 되고, 그 결과 타겟으로부터 보다 많은 입자들이 sputter되어 기판 표면에 달라붙기 때문이다. 그러나, 지나치게 스퍼터 전력이 높은 경우에는 오히려 전기적인 물성의 저하를 초래할 수 있으며, 플라스틱 기판의 경우 sputter된 원자 및 고에너지 입자 충격력이 power가 증가함에 따라 급격하게 증가하며, 그 결과 기판온도의 상승이라는 역효과에 의해 기판의 변형이 발생할 수 있다.

그림 2는 스퍼터 전력이 120 W일 때, 압력이 가변함에 따라 변화하는 ZnO:Al 박막의 증착률을 나타내었다. 압력이 증가하면 ZnO:Al 박막의 증착률은 상대적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 sputter된 입자들과 가스 원자들 사이의 압력이 높아질수록 더 많이 충돌하기 때문에 증착률이 낮아지는 것이다.

그림 3과 4는 스퍼터 전력과 압력에 따른 ZnO:Al 박막의 비저항 변화를 나타낸 것이다. 유리 기판이나 PC 기판 모두 스퍼터 전력이 감소할수록, 압력이 증가할수록 비저항은 증가하였다. 또한 그림에서 볼 수 있듯이 유리 기판보다 PC 기판상의 ZnO:Al 박막이 보다 높은 비저항을 갖는데, 이는 전력이 커짐에 따라 기판에 가해지는 에너지가 증가하여 결과적으로 유리 기판보다 PC 기판에 보다 큰 영향을 주었기 때문으로 생각된다.

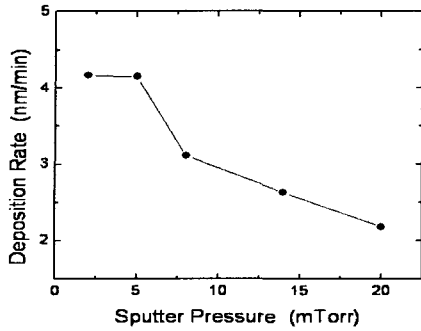


그림 2. 스퍼터 압력에 따른 ZnO:Al 박막의 증착률.

Fig. 2. Deposition rate of ZnO:Al films deposited at different sputter pressures.

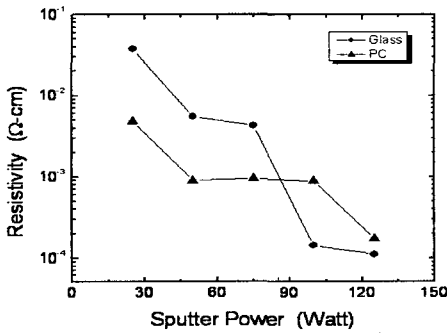


그림 3. 스퍼터 전력에 따른 ZnO:Al 박막의 전기비저항.

Fig. 3. Dependence of the resistivity of ZnO:Al films on the sputter power.

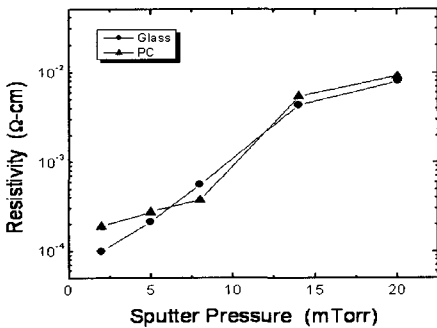


그림 4. 스퍼터 압력에 따른 ZnO:Al 박막의 비저항.

Fig. 4. Dependence of the resistivity of ZnO:Al films on the sputter pressure.

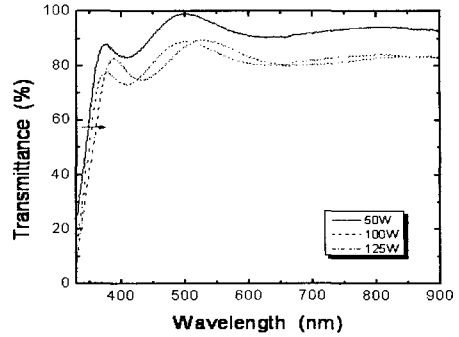


그림 5. 스퍼터 전력에 따른 유리 기판의 증착된 ZnO:Al 박막의 광 투과율.

Fig. 5. Optical transmittance of ZnO:Al films on glass deposited at various sputter powers.

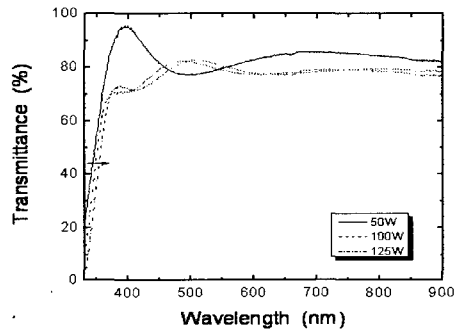


그림 6. 스퍼터 전력에 따른 PC 기판의 증착된 ZnO:Al 박막의 광 투과율.

Fig. 6. Optical transmittance of ZnO:Al films on glass deposited at various sputter pressure.

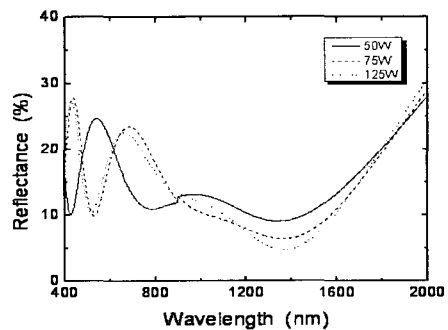


그림 7. 스퍼터 전력에 따른 ZnO:Al 박막의 반사율.

Fig. 7. Reflectance of ZnO:Al films as a function of the sputter power.

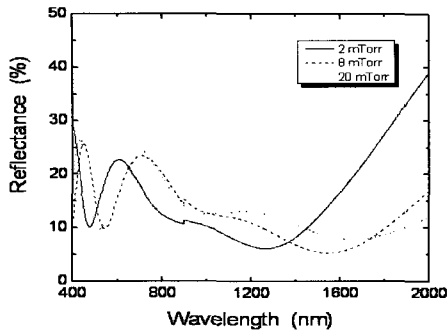


그림 8. 스퍼터 압력에 따른 ZnO:Al 박막의 반사율.
Fig. 8. Reflectance of ZnO:Al films as a function of the sputter pressure.

그림 5와 6은 유리 기판과 PC 기판에 증착된 ZnO:Al 박막의 광 투과율을 스퍼터 전력에 따라 나타낸 것이다. 유리에 증착된 경우 낮은 전력에서는 가시광 영역에서 90 % 이상의 광 투과율을 보여주었으나, 전력이 증가할수록 가시광 영역에서의 투과율은 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 PC 기판에서의 가시광 영역에서 80 %가량의 광투과율을 보여주었으며, 두 기판 모두 전력이 증가함에 따라 흡수단이 장파장 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있는데, 이는 밴드 갭의 감소를 의미한다.

그림 7은 서로 다른 스퍼터 전력에서 ZnO:Al 박막의 반사율을 나타내고 있고, 그림 8은 서로 다른 압력에서 ZnO:Al 박막의 반사율을 나타내고 있다. 두 그림에서 볼 수 있듯이 스퍼터 전력이 증가할수록, 압력이 감소할수록 ZnO:Al 박막의 반사율은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 박막의 비저항이 증가하기 때문임을 알 수 있다.

4. 결 론

ZnO:Al 타겟을 이용하여 유리 및 PC 기판 상에 RF magnetron sputter법을 이용, ZnO:Al 박막을 제조하여 증착 조건에 대해 박막의 특성을 조사한 결과 ZnO:Al 박막의 증착률은 스퍼터 전력이 증가하면 할수록 이에 비례하여 증가하였지만, 압력이 증가할수록 증착률은 감소하였다. 전기 비저항의 경우 전력이 감소할수록, 또한 압력이 증가할 수록 급격하게 증가함을 알 수 있었다. 한편, ZnO:Al 박막의 광 투과율은 전력이 증가함에 따라 유리와 PC 기판 모두 감소하였으며, 밴드 갭 또한 작아짐

을 관찰할 수 있었다. 반사율은 가시광 영역에서 투과율과 반비례하여 증가하였다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 군산대학교 학술연구비의 지원에 의해 연구되었음.

참고 문헌

- [1] B. H. Choi, "Heat Treatment of RF Sputtered and Ga-doped Zinc Oxide Thin Films", KOSEF 913-0606-002-1, 1991.
- [2] S. Kumar and B. Drevillon, J. Appl. Phys., 65, 3023, 1989.
- [3] T. W. Choi and S. C. Yoo, "Electrical and mechanical properties of ceramics", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.
- [4] Wen-Fa Wu and Bi-Shou Chiou, "Effect of annealing on electrical and optical properties of RF magnetron sputtered indium tin oxide films", Thin Solid Films, Vol. 247, p. 201, 1994.