

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

나영일, 김영동, 이재형, 정학기, 이종인, 임동건*, 양계준*

군산대학교, 충주대학교*

A study on properties of ZnO:Al films on PC substrate for solar cell applications

Young-il Na, Young-Dong Kim, Jae-Heong Lee, Hak-Kee Jung, Jong-In Lee, Dong-Gun Lim*, Kea-Joon Yang*

Kunsan National Uni., Chungju National Uni.*

Abstract

Al doped ZnO thin films have been were properties of excellent optical transmittance, low resistivity and wide bandgap where be widely used transparent electrode on solar cell. In this paper, ZnO:Al thin films on PC substrate were prepared by RF magnetron sputtering method using ceramic target with different deposition conditions. In addition, the electrical, structural, optical properties were investigated. we investigated sample properties of Sputter powers and pressures change in 25~125W, $2 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^{-3}$ Torr.

Key Words : ZnO, TCO, RF sputtering, PC substrate, electrical property, optical property

1. 서론

1907년 Badeker가 sputtering 법으로 카드뮴 박막을 산화처리하여 얻은 CdO 박막이 투명전도성을 처음으로 확인한 이후 ITO (indium tin oxide), ATO (antimony tin oxide), FTO (fluorine tin oxide), CTO (cadmium 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 기초로한 경우보다 가격면에서 훨씬 경제적이고 또한 수소원자나 수소 플라즈마 환경에 있어서 indium 또는 tin을 사용한 경우보다 훨씬 구조적으로 안정성을 보이고 있다[2]. ZnO:Al 박막은 wide band gap을 가지며 가시광 영역에서 높은 광투과성, 제조조건에 따라서 비저항의 범위가 폭넓게 변화하므로 TCO 뿐만 아니라, 태양전지, acoustic wave device, varister

등이 연구되고 있다[3]. 이들 분야에서 대부분 기판으로 사용되는 glass의 경우 파손의 우려, 유연성, 기판두께 등 여러가지 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 glass 기판과는 달리 sputter power, 기판온도 등에 제약을 받게된다.

따라서 본 논문에서는 태양전지에 응용하기 위해 플라스틱 기판을 이용하였으며 플라스틱의 특성상 열처리를 하지 않은 상태에서 pressure와 Power를 변화시켜서 glass 기판과 PC 기판에 ZnO:Al 박막을 증착시켜 이에 따른 박막의 전기적, 광학적 특성을 조사하였다.

2. 실험

ZnO:Al 박막을 증착할 기판으로 PC와 비교를 위해 slice glass를 사용하였다. glass 기판은 Acetone, Methanol 순으로 15분간 초음파 세척하고, D. I. Water로 기판 표면을 씻어내고 N_2 gun으로 물기를 제거한 후에 사용하였다. PC기판의 경우 세척액과의 화학적 반응을 방지하기 위해 Methanol 만을 사용하여 15분간 초음파 세척하고 glass 기판과 동일한 방법으로 세척액을 씻어내고 물기를 제거하였다. ZnO:Al 박막 제조를 위해 RF magnetron sputter 장비를 사용하였다. 타겟으로는 순도 99.9%의 ZnO:Al을 사용하였다. 시편 제조를 위해 chamber안의 압력을 10^{-6} Torr 이하로 배기한 후에 Ar gas를 주입하여 원하는 압력을 유지시켜 시편을 제조하였다. ZnO:Al 박막의 물성은 sputter power 및 pressure, 기판온도, 열처리 등과 같은 제조공정상의 조건에 따라서 좌우되기 때문에 최적의 증착조건을 찾기 위해 제조공정조건을 변화시켜가며 박막을 제조하였다. 플라스틱 기판의 경우 열에 매우 취약하기 때문에 변형을 방지하기 위해 기판온도의 조건은 제외하였다. 표 1은 ZnO:Al 박막 제조에 사용된 제조공정조건을 나타내었다.

Deposition parameter	Condition
Target-substrate distance	7cm
Sputtering power(Base pressure)	25~125Watt(3mTorr)
Working pressure(Base Power)	2~20 mTorr(120W)
Substrate temperature	room temperature
Thickness	50~2500 nm

표 1 ZnO:Al 박막의 제조조건

또한 제조된 시편을 측정하기 위해 α -step을 사용하여 sputter power, pressure의 제조 공정조건을 다르게 한 시편들의 두께를 조사하였으며, 시편들의 비저항은 4-point probe법을 이용하여 측정하였으며, 광 투과도, 반사율등의 광 특성을 측정하기 위해 UV spectrophotometer를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

ZnO:Al 박막을 증착시킨 플라스틱 기판을 태양전지에 응용하기 위해 sputter power와 pressure 등의 증착조건을 가변하여 최적의 증착조건을 찾아내고자 하였고, 플라스틱의 특성상 기판온도의 조건은 제외하였다.

박막의 증착률은 막의 두께를 증착한 시간으로 나눈 값으로 정의되며, 박막 두께조절은 특히 정밀한 다층 코팅의 경우 매우 중요하게된다[4].

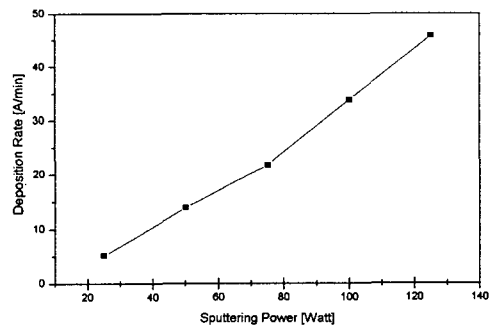


그림 1. Sputter power에 따른 ZnO:Al 박막의 증착률.

그림 1은 pressure가 3mTorr일 때, sputter power가 가변함에 따라 변화하는 ZnO:Al 박막의 증착률을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 sputter power가 증가함에 따라 ZnO:Al 박막의 증착률은 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

이것은 sputter power가 증가함에 따라 타겟에 전달되는 에너지가 커지게 되고 그 결과 타겟으로부터 보다 많은 입자들이 sputter되어 기판표면에 달라붙기 때문이다. 그러나 지나치게 sputter power가 높은 경우에는 오히려 전기적인 물성의 저하를 초래할 수 있으며, 플라스틱 기판의 경우 sputter된 원자 및 고에너지 입자 충격력이 전력이 증가함에 따라 급격하게 증가하며, 그 결과 기판온도의 상승이라는 역효과에 의해 기판의 변형이 발생할 수 있으므로 sputter power를 얼마나 최적의 값을 찾느냐가 매우 중요하다.

그림 2는 sputter power가 120W일 때, pressure가 가변함에 따라 변화하는 ZnO:Al 박막의 증착률을 나타내었다. pressure가 증가하면 ZnO:Al 박막의 증착률은 상대적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 sputter된 입자들과 가스 원자들사이의

압력이 높아질수록 더 많이 충돌하기 때문에 증착률이 낮아지는 것이다.

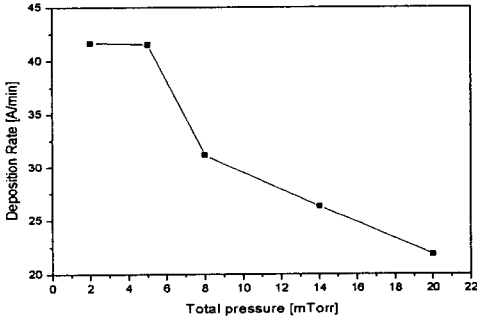


그림 2. sputter pressure에 따른 ZnO:Al 박막의 증착률

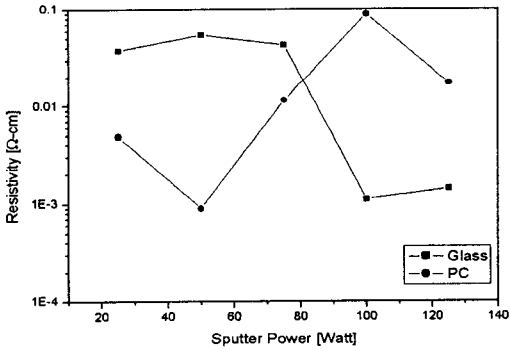


그림 3. sputter power에 따른 ZnO:Al 박막의 비저항

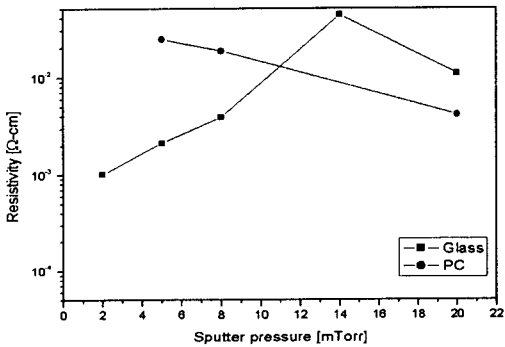


그림 4. sputter pressure에 따른 ZnO:Al 박막의 비저항

그림 3은 sputter power에 따른 ZnO:Al 박막의 비저항 변화를 나타낸 것이다. glass 기판인 경우 power와 pressure가 증가할수록 비저항은 증가하였으나 어느정도 증가하면 다시 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 PC기판의 경우 glass와는 다른 특성을 보여주었다. .

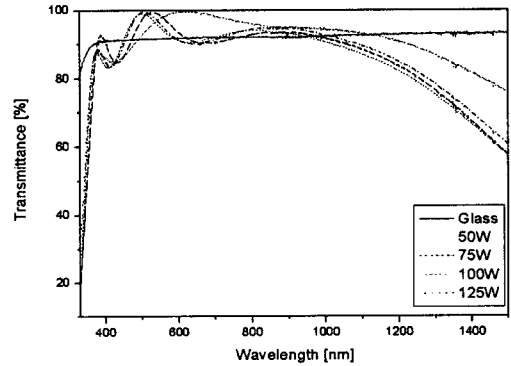


그림 5. sputter power에 따른 유리기판의 증착된 ZnO:Al 박막의 광투과율

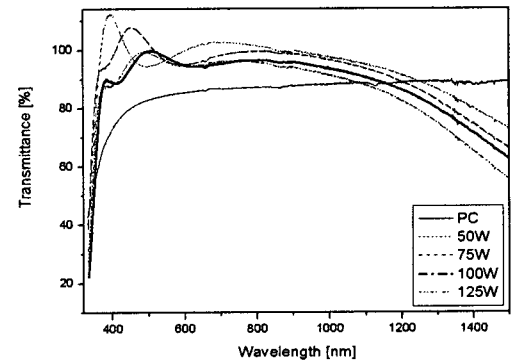


그림 6. sputter power에 따른 PC기판의 증착된 ZnO:Al 박막의 광투과율

그림5와 6은 glass 기판과 플라스틱 기판에 증착된 ZnO:Al 박막의 광투과율을 Sputter power에 따라 나타낸 것이다. glass에 증착된 경우 낮은 power에서는 흡수단 이상의 파장 영역에서 90% 이상의 광투과율을 보여주었으나, power가 증가할수록 가시광영역에서의 투과율은 감소하는 것을

볼 수 있다. 그와 동시에 흡수단이 이동하는 것을 볼 수 있다. 흡수단의 이동은 밴드갭이 변하는 것을 의미한다.

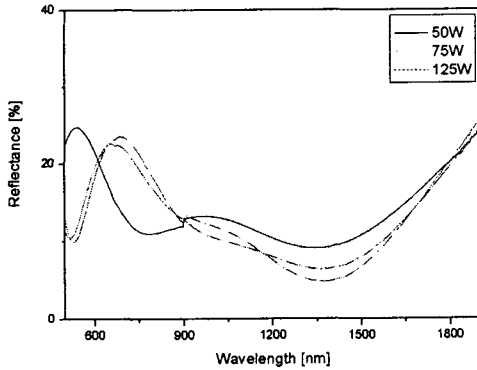


그림 7. sputter power에 따른 ZnO:Al 박막의 반사율

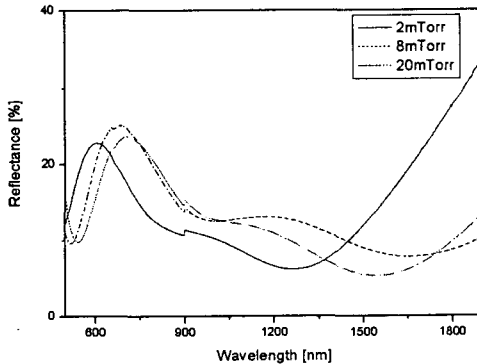


그림 8. sputter pressure에 따른 ZnO:Al 박막의 반사율

그림 7은 서로 다른 sputter power에서 ZnO:Al 박막의 IR 반사율을 나타내고 있고, 그림 8은 서로 다른 pressure에서 ZnO:Al 박막의 IR 반사율을 나타내고 있다. 두 그림에서 볼 수 있듯이 sputter power가 증가할수록, pressure가 감소할수록 ZnO:Al 박막의 IR 영역에서의 반사율은 증가하는 것을 알 수 있다. Frank등[5]은 IR 반사율이 다음의 식으로 표현될 수 있음을 보였다.

$$R=1-\frac{4\epsilon_0c_0}{e} \cdot \frac{1}{Nd\mu} \quad (1)$$

R : 반사율, N : 캐리어농도, d : 박막의 두께, μ : 자유 캐리어의 이동도

식 (1)에 따라 IR영역에서의 반사율은 박막의 두께가 일정한 경우 캐리어의 농도와 이동도 곱을 가진다. 따라서 sputter power가 증가하거나 pressure가 낮아질수록 반사율이 증가하는 것은 박막의 비저항이 감소하기 때문임을 알 수 있다.

4. 결론

Ceramic 타겟을 이용하여 glass 및 PC기판 상의 RF magnetron sputter 법을 이용, ZnO:Al 박막을 제조하여 증착조건에 대해 박막의 특성을 조사한 결과 ZnO:Al 박막의 증착속도는 sputter power가 증가하면 할수록 이에 비례하여 증가하였지만 압력이 증가할수록 증착속도는 감소하였다. 전기 비저항의 경우 glass 기판일 때, power나 pressure가 증가할 때, 어느 일정 구간까지는 비저항이 증가했지만 그 구간을 지나면서 감소하였고, PC 기판의 경우에는 glass 기판과는 다른 결과를 보여주었다. ZnO:Al 박막의 광 투과율은 약간의 차이는 있으나 power의 증가에 따라 감소되었고, IR 영역에서의 반사율은 증가하는 것을 알 수 있었다.

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, Thin Solid Films, Vol. 247, p.201, 1994.
- [5] G. Frank, E. Kauer, and H. Köstlin, Thin Solid Films, Vol. 77, p107, 1981.