

## 기판 바이어스 전압을 이용한 태양전지용 GZO 박막의 전기적, 광학적 특성

### Electrical and Optical Properties of GZO Thin Films using Substrate Bias Voltage for Solar Cell

권순일<sup>1</sup>, 이석진<sup>1</sup>, 박승범<sup>1</sup>, 정태환<sup>1</sup>, 임동건<sup>1</sup>, 박재환<sup>1</sup>, 최원석<sup>2</sup>, 박문기<sup>3</sup>, 양계준<sup>1,a</sup>  
(Soon-il Kwon<sup>1</sup>, Seok-jin Lee<sup>1</sup>, Seung-bum Park<sup>1</sup>, Tae-hwan Jung<sup>1</sup>, Dong-gun Lim<sup>1</sup>,  
Jea-hwan Park<sup>1</sup>, Won-Seok Choi<sup>2</sup>, Moon gi Park<sup>3</sup>, and Kea-joon Yang<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

In this paper we report upon an investigation into the effect of DC bias voltage on the electrical and optical properties of Gallium doped zinc oxide (GZO) film. GZO films were deposited on glass substrate without substrate temperature by RF magnetron sputtering from a ZnO target mixed with 5 wt% Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. we investigated sample properties of bias voltage change in 0 to -60 V. We were able to achieve as low as  $5.89 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$  and transmittance over 88 %. without substrate heating.

**Key Words** : RF magnetron sputtering, GZO films, Electrical and optical properties, DC bias voltage

#### 1. 서론

태양전지는 빛에너지를 전기에너지로 직접 변환시켜주는 소자이다. 효율적인 에너지변환을 위해 태양전지의 투명전극은 높은 광 투과도와 낮은 전기적 비저항을 가져야 하는데, 현재 가장 일반적으로 사용되는 ITO (Indium Tin Oxide)는 매우 우수한 광 투과성 및 전기전도성의 장점을 가지고 있다[1]. 그러나 원료 물질인 In의 희소성으로 인한 높은 가격과 플라즈마에 노출되면 열화로 인한 특성 변화가 문제점으로 지적되고 있다[2]. 이에 반해 ZnO는 투과성 및 전기 전도성과 플라즈마에 대한 내구성이 우수하기 때문에 투명전극과 같은 태양전기를 제조하는데 유리하며, 낮은 온도에서 공정이 가능하며 가격이 저렴해 ITO를 대체할 수

있는 물질로 각광 받고 있다. Un-doped ZnO 박막의 경우 대기 중에 장시간 노출되었을 경우 산소의 영향으로 Zn 와 산소의 정량비가 변함에 따라 전기적 성질의 변화가 발생하고 고온 분위기에서 안정하지 못하다는 단점으로 인해 3족 원소 (Al, Ga, In) 불순물을 도핑 시켜 안정적인 n형 ZnO 박막을 얻어야 한다[3]. 이때 사용하는 3족 원소 중 Ga 원자는 Zn과 원자 반경이 비슷하여 불순물 주입 시 격자 결합을 최소화시켜 고품질 박막을 얻을 수 있고, Al 보다 내산화성이 더 높은 장점이 있다. 박막을 형성하는 방법은 sputtering, ion plating, CVD (chemical vapor deposition), 등이 있으며, 특히 RF 마그네트론 스퍼터링법은 장치가 단순하며, 높은 증착율, 고압에서 우수한 동작 조건, 넓은 면적과 우수한 방향성으로 인한 양질의 막과 투명하고 치밀한 막을 얻을 수 있는 장점이 있다[4].

본 연구에서는 ZnO의 n형 도펀트로 Ga을 선택하여 상온 상태에서 RF magnetron sputter법으로 증착함에 있어 기판 바이어스 전압 변화에 따른 GZO 박막의 전기적, 광학적 특성을 조사하였다.

1. 충주대학교 전자공학과  
(충북 충주시 이류면 대학로 72)  
2. 한밭대학교 전기공학과  
3. LG 디스플레이  
a. Corresponding Author : keajoon@cjnu.ac.kr  
접수일자 : 2009. 3. 18  
1차 심사 : 2009. 4. 20  
심사완료 : 2009. 4. 24

## 2. 실험

GZO 박막을 증착하는 RF 마그네트론 스퍼터링 장치의 대략적인 구성도는 그림 1과 같다. 4 인치의 GZO (ZnO 95 wt% : Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5 wt%) 타겟으로 유리 기판(corning glass 1737) 위에 RF 마그네트론 스퍼터를 이용하여 GZO 박막을 증착하였으며, 타겟과 기판은 서로 평행을 이루는 구조이고, 이때

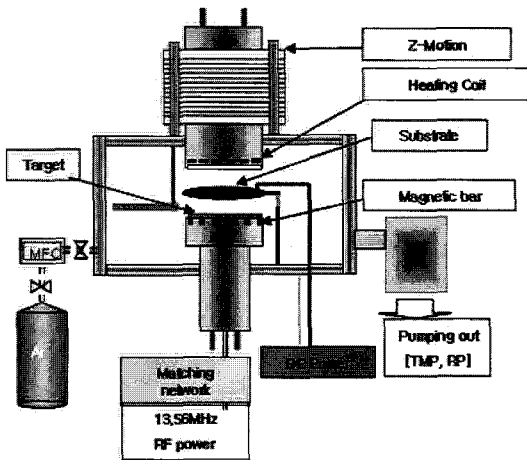


그림 1. RF 마그네트론 스퍼터 장치도.

Fig. 1. Schematic diagram of RF magnetron sputter system.

거리는 50 mm 었다. 박막을 증착하기 전 기판의 오염물 제거를 위해 초음파 세척기를 이용하여 아세톤과 메탄올 그리고 초순수로 각각 15 분 동안 세정을 하고 질소 가스로 건조하였다. 실험에 사용한 가스는 고순도 Ar (99.999 %)을 사용하였다. 터보분자 펌프를 이용하여  $3.0 \times 10^{-7}$  Torr 로 챔버 내부의 초기 진공을 유지하였다. Ar가스 유량은 MFC를 사용하여 20 sccm 으로 일정하게 유지하였고, 공정 압력은 5 mTorr, RF 전력은 150 W로 고정하였다. 공정 전에 10 분간 예비 스퍼터링을 실시하여, 공정을 하기 전 타겟의 이물질 제거하였고, 플라즈마 안정 시켰다. 공정은 모두 상온에서 실시하였다. 증착된 박막의 측정은 X-선 회절 분석기 (RIGAKU, RINT 2000)를 이용하여 결정성을 분석하였고, SEM (GEMO, JSM-6700)을 이용하여 GZO 박막의 미세구조를 관찰하였으며, 증착된 박막의 두께는 500 nm 로 고정 하였으며, Surface Profiler (KOSAK, ET-3000i)를 이용하여

측정 하였다. Hall measurement system (ECOPIA, HMS-3000)을 이용하여 캐리어 농도 및 홀이동도를 측정하였고, 4point-probe (AIT, SR1000N)을 이용하여 면 저항을 측정하였으며, 400 nm에서 800 nm의 파장 범위까지 GZO 박막의 광학적 특성을 측정하기 위하여 UV/VIS spectrophotometer (HP 8453)를 이용했다.

본 조건에서는 박막의 특성을 개선시키기 위해 독립된 dc power supply로 기판 바이어스를 0 ~ -60 V 의 범위로 공급하였다. 표 1은 GZO 박막 제조에 사용된 제조공정 조건을 나타내었다.

표 1. GZO 박막의 제조 조건.

Table 1. Manufacture condition of GZO a thin films.

| Deposition parameter      | Condition          |
|---------------------------|--------------------|
| Target                    | GZO(95 wt%: 5 wt%) |
| RF power                  | 150 W              |
| Process Pressure          | 5 mTorr            |
| Target-substrate distance | 50 mm              |
| Ar gas flow               | 20 sccm            |
| DC bias voltage           | 0 ~ -60 V          |
| substrate temperature     | Room temperature   |

## 3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 GZO 박막의 전기적 특성을 개선하기 위해서 바이어스 전압을 인가하여 바이어스 전압에 따른 GZO 박막의 특성을 조사하였다.

그림 2는 바이어스 전압에 따른 증착율의 관계를 나타내었다. 바이어스 전압이 -10 V 에서 27.6 nm/min 으로 감소 하다가 바이어스 전압이 증가함에 따라 증착율이 -60 V 에서 54 nm/min 으로 증가 하였다. 본 실험에서 - 10 V 에서 전류가 zero가 되는 부동전위로 이온이나 전자의 영향을 크게 받지 못하여 증착율이 감소하고, 점차 바이어스 전압을 인가함에 따라 이온 충돌 에너지가 증가된 결과 증착율이 증가한 것으로 보여진다. 바이어스 전압에 따른 GZO 박막의 결정 구조를 알아보기 위해 X선 회절 검사를 하였다. 그림 3은 바이어스 전압변화에 따른 GZO 박막의 X선 회절 패턴을 나타낸 것이다. 전압에 관계없이 모두 (002) 방향으로 회절 peak가 나타나는 것을 알 수 있고, (002) 회절 피크에서의  $2\theta$  값은 standard ZnO crystal (34.45 °)과 거의 일치 하였다. 바이어스 전

압이 -60 V에서 강한 peak를 볼 수 있는데 이는 가장 우수한 c-축 배향성을 지니고 있다는 것을 의미한다. 일반적으로 기판 바이어스 전압을 인가할 때 negative 바이어스를 인가할 경우 이온의 충

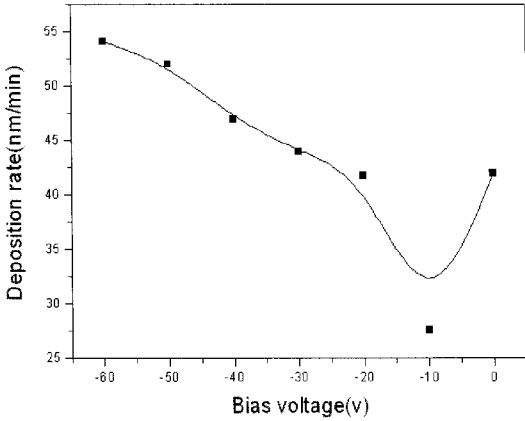


그림 2. 바이어스 전압에 따른 증착율.  
Fig. 2. Deposition rate by variation of the bias voltage.

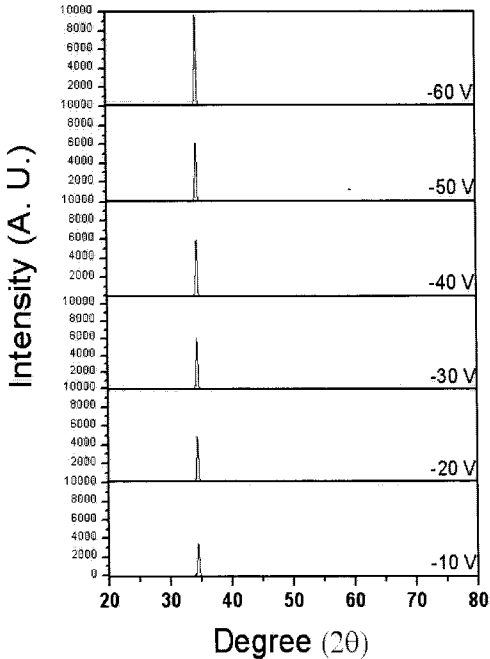


그림 3. 바이어스 전압에 따른 XRD 패턴 변화.  
Fig. 3. XRD pattern by variation of the bias voltage.

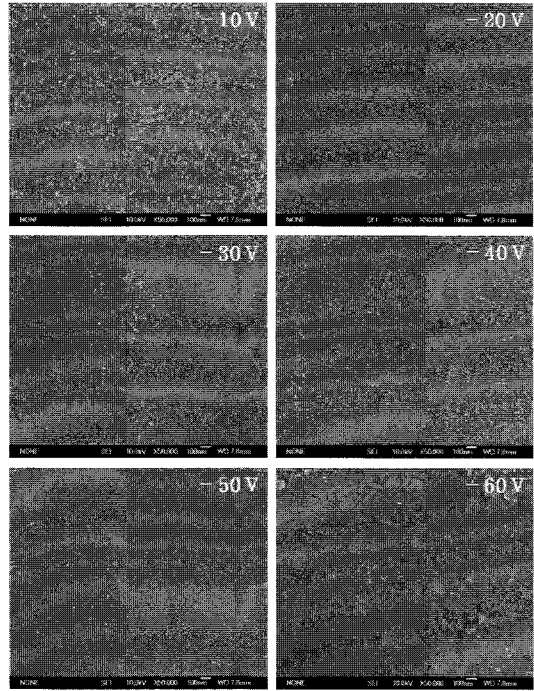


그림 4. 바이어스 전압 변화에 따른 박막 표면 SEM 이미지.  
Fig. 4. The surface SEM images of thin films by variation of the bias voltage.

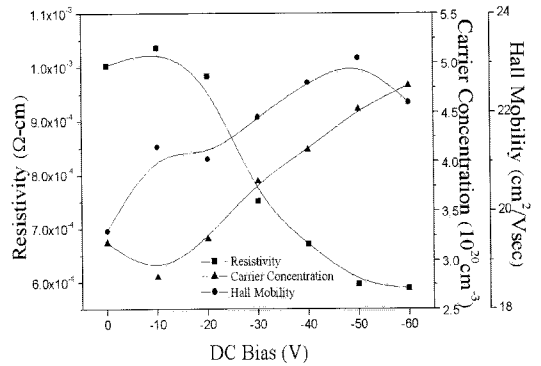


그림 5. 바이어스 전압 변화에 따른 전기적 특성.  
Fig. 5. Resistivity characteristic by variation of the bias voltage.

격에 의해 불순물 등이 재스퍼터링 되어 박막의 특성이 개선되지만 과도한 바이어스의 인가는 박막 내의 Ar 이온의 매몰과 재스퍼터링으로 인한 박막의 조성변화로 박막의 특성이 나빠진다고 알려져

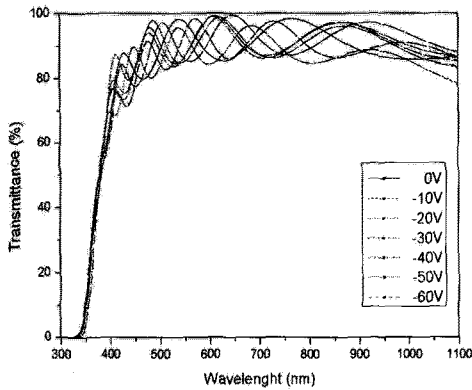


그림 6. 바이어스 전압 변화에 따른 광 투과도.  
Fig. 6. Optical transmittance by variation of bias voltage.

있다[5]. 그림 4는 바이어스 전압에 따른 GZO 박막의 표면 SEM 이미지를 나타내었다. 그림에서도 볼 수 있듯이 -60 V 에서 가장 우수한 결정립을 관찰할 수 있다. 그림 5는 기판 바이어스 전압의 인가에 따른 GZO 박막의 전기적 특성을 나타내고 있다. 음의 바이어스 전압이 인가됨에 따라 -10 V 까지는  $1.22 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$  로 변화가 없으며, 바이어스 전압이 증가함에 따라 비저항이 점점 감소하는 경향을 보이며, -60 V 의 전압에서  $5.89 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$  의 비저항 값을 나타내었다. -60 V 에서 저항률이 감소하는 것은 전압의 증가에 따라 격자 결함의 증가로 발생한 캐리어의 증가와 이온 충격에 의해 저항 특성이 개선된 것으로 보인다. -10 V 에서 저항률에 변화가 없는 것은 net current가 zero가 되는 floating 전위로 이온이나 전자의 영향을 크게 받지 못하는 것으로 보인다. 그림 6은 기판 바이어스 전압에 따른 GZO 박막의 광 투과도를 나타내었다. 그림으로부터 파장에 따른 광 투과도가 유사함을 알 수 있다. 바이어스 전압과는 무관하게 400 ~ 800 nm 의 가시광선 영역에서 평균 88 %의 광 투과도를 보였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 태양전지 투명전극의 응용을 위해서 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작된

GZO 박막의 저항 특성 개선을 위해 기판에 바이어스 전압을 인가하였다. 인가된 기판 바이어스는 가시광선영역의 투과율에는 크게 효과를 미치지 않았으나, 저항률의 특성의 경우에는 음의 바이어스 인가에 따라 개선된 비저항 특성을 얻을 수 있었고, X선 회절 분석의 결과와 SEM 이미지를 고려해 볼 때 음의 바이어스를 인가할 때 이온 충격에 의해 저항 특성이 개선되었음을 알 수 있다. 기판은 상온 상태에서 150 W 의 RF 전력과 5 mTorr 의 공정압력에서 바이어스 전압을 -60 V 로 인가하였을 때  $5.89 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$  의 비저항을 나타내었으며, 가시광선 영역에서 약 88 % 의 광 투과율을 보이는 특성을 보였다.

#### 감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임.

#### 참고 문헌

- [1] H. L. Hartnagel, A. L. Dawar, A. K. Jain, and C. Jagadish, "Semiconducting Transparent", Thi. Fil. Ins. of Phy. Pub., p. 152, 1995.
- [2] 황득규, 방규현, 명재민, "ZnO계 소자 연구 동향", 전기전자재료, 15권, 6호, p. 35, 2002.
- [3] 이종무, 임근빈, "RF전력과 산소 유량비에 따른 투명전극용 AZO박막의 특성 비교", 대한금속·재료학회지, 43권, 12호, p. 810, 2005.
- [4] 박용욱, 윤석진, 최지원, 김현재, 정형진, 박창엽, "RF 마그네트론 반응성 스퍼터링으로 제작된 ZnO/Glass 박막 특성", 전기전자재료학회논문지, 11권, 10호, p. 833, 1998.
- [5] 김영기, 박정후, "불평형 마그네트론스파터링에 의한 ac-PDP용 ITO 박막의 전기적·광학적 특성에 관한 연구", 부산대학교 생산기술연구소 논문집, 59권, p. 99, 2000.