

기판 바이어스 전압을 이용한 태양전지용 GZO 박막의 전기적, 광학적 특성

권순일¹, 박승범¹, 이석진¹, 정태환¹, 양계준¹, 박재환¹, 최원석², 임동건^{1*}

¹충주대학교 전자공학과, ²한밭대학교 전기공학과

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

Soon-il Kwon¹, Seung-bum Park¹, Seok-jin Lee¹, Tae-hwan Jung¹, Kea-jun Yang¹,

Jea-hwan Park¹, Won-Seok Choi², Dong-gun Lim^{1*}

¹Department of Electronic Engineering, Chungju national University & ²Hanbat national University

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% Ga₂O₃. we investigated sample properties of bias voltage change in 0 to -60 V. We were able to achieve as low as 5.89×10^{-4} Ωcm and transmittance over 87% without substrate temperature.

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

1. 서 론

태양전지는 빛에너지를 전기에너지로 직접 변환시켜 주는 소자이다. 효율적인 에너지변환을 위해 태양전지의 투명전극은 높은 광투과도와 낮은 전기적 비저항을 가져야 하는데, 현재 태양전지에서 일반적으로 사용되는 ITO (Indium Tin Oxide)는 매우 우수한 광투과성 (~90% at 550 nm) 및 전기전도성 (~ 2×10^{-4} Ωcm)의 장점을 가지고 있다[1]. 그러나 원료 물질인 In의 희소성으로 인한 고가격과 플라즈마에 노출되면 열화로 인한 특성 변화가 문제점으로 지적되고 있다[2]. 불순물을 도핑한 ZnO는 낮은 온도에서 공정이 가능하고 원료의 가격이 저렴하다. 순수 ZnO는 원천적으로 산소 공공, 아연 침입형 등의 비화학양론적 결함으로 인한 반도체 거동을 보이지만, 대기중에 장시간 노출 시켰을 때 표면층의 산소의 재결합으로 인한 절연체로 변하게 된다. 이러한 특성 때문에 ZnO를 소자로 사용하기 위하여 3족 원소 (Al, Ga, In) 불순물을 도핑시켜 안정적인 n형 ZnO박막을 얻어야 한다. 이때 사용하는 3족 원소 중 Ga 원자는 Zn과 원자 반경이 비슷하여 불순물 주입 시 격자 결함을 최소화시켜 고품질 박막을 얻을 수 있고, Si보다 내산화성이 더 높으며, In이나 Al에 비해 상대적으로 연구 결과가 많이 보고되지 않고 있다[3]. 본 연구에서는 ZnO의 n형 도펀트로 Ga를 선택하여 기판온도를 가열하지 않은 상태에서 RF magnetron sputter법으로 증착함에 있어 기판 바이어스 전압 변화에 따른 GZO 박막의 전기적, 광학적 특성을 조사하였다.

2. 실험

4인치의 GZO(ZnO: 95 wt%, Ga₂O₃: 5 wt%)의 타겟을 사용하여 RF sputtering법으로 유리기판(Corning glass

1737)위에 GZO 박막을 성장시켰다. 이때 타겟과 기판 사이의 거리는 50 mm였다. 박막증착 전 기판 세척을 위하여 초음파 세척기로 아세톤과 메탄올로 각각 15분 동안 세정하고 DI water 로 헹군 후 질소가스로 건조시켰다. 기저진공은 10^{-7} Torr, Ar 가스 유량은 20 sccm 으로 고정하였다. 공정은 기판 가열을 하지 않은 상태에서 실시하였으며 공정을 하기 전 기판의 이물질 제거와 플라즈마 안정화를 위해 10분간 pre-sputtering을 실시하였고, 증착된 박막의 측정은 X-ray diffractometer (RIGAKU RINT2000)를 이용하여 결정성을 분석하였고, SEM (JSM-6700)을 이용하여 GZO 박막의 미세구조를 관찰하였으며, 증착된 박막의 두께는 α-step (ET-3000i)을 이용하여 측정하였고, 모든 박막의 두께는 500 nm로 고정하였다. 4point-probe (SR1000)을 이용하여 면저항을 측정하였으며, Hall measurement system (HMS-3000)을 이용하여 캐리어 농도 및 홀이동도를 측정하였고, UV/VIS spectrophotometer (HP 8453)를 이용하여 400 nm에서 800 nm의 파장 범위까지 GZO 박막의 광학적 특성을 측정하였다. 선행 연구의 결과에서 도출된 최적 조건에서의 박막의 특성을 개선시키기 위해 독립된 dc power supply 로 기판 바이어스를 0 ~ -60 V 의 범위로 공급하였다. 표 1은 GZO 박막 제조에 사용된 제조공정 조건을 나타내었다.

표 1. GZO 박막의 제조조건

Deposition parameter	Condition
Sputter power & Pressure	150 W & 5 mTorr
Target	ZnO:Ga(95 wt%:5 wt%)
Target-substrate distance	50 mm
DC bias voltage	0 ~ -60 V
substrate temperature	Room temperature

3. 결과 및 검토

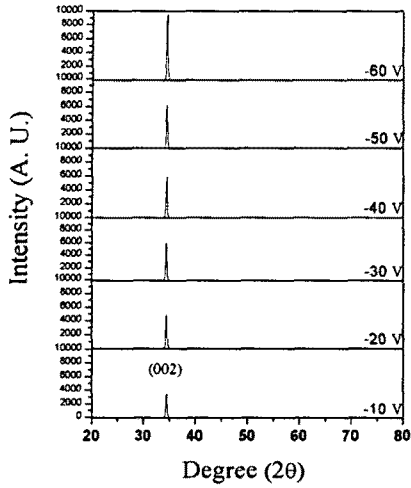


그림 1. 바이어스 전압 변화에 따른 XRD 결과

본 실험에서는 박막 표면에서의 스퍼터 선정효과 및 증착기판에 추가적인 에너지를 공급하여 저항률의 특성을 개선하고자 기판 바이어스 전압을 인가하여 바이어스 전압에 따른 박막의 특성을 조사하였다. 일반적으로 기판 bias 전압을 인가할 때 negative bias를 인가할 경우 ion 충격에 의해 불순물 등이 재스퍼터 되어 박막의 특성이 개선되지만 과도한 bias의 인가는 박막내의 Ar 이온의 매울과 재스퍼터로 인한 박막의 조성 변화로 막 특성이 나빠진다고 알려져 있다[4]. 바이어스 전압에 따른 GZO 박막의 결정구조를 알아보기 위해 X선 회절 검사를 하였다. 그림 1은 바이어스 전압변화에 따른 GZO 박막의 X선 회절 패턴을 나타낸 것이다. 전압에 관계없이 모두 (002) 방향으로 회절 peak가 나타나는 것을 알 수 있고, -60 V에서 강한 peak를 볼 수 있는데 이는 가장 우수한 c-축 배향성을 지니고 있다는 것을 의미한다. 그림 2는 바이어스 전압에 따른 GZO 박막의 표면 SEM 이미지를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 -60 V에서 가장 우수한 결정립을 관찰 할 수 있고 결정립과 비저항의 관계는 그림 3에서 확인 할 수 있다.

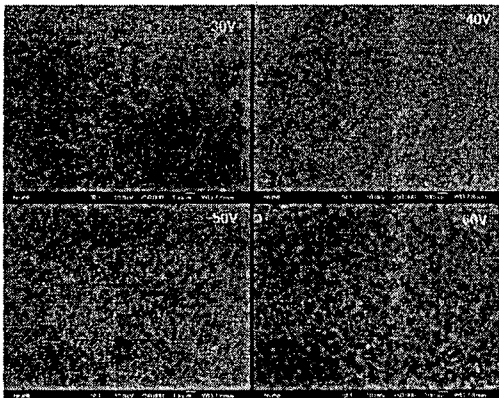


그림 2. 바이어스 전압에 따른 박막의 표면 SEM이미지

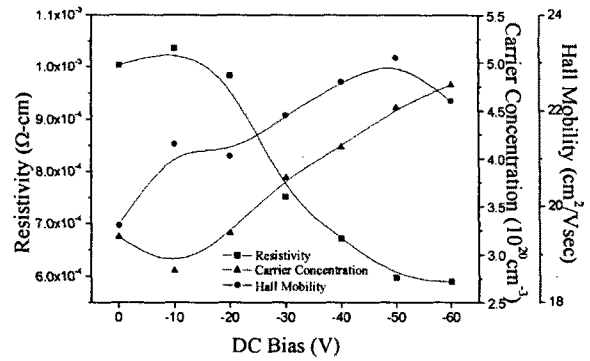


그림 3. 바이어스 전압 변화에 따른 비저항 및 홀 이동도와 캐리어 이동도

비저항이 감소하는 것은 결정립의 크기가 증가하고 우수한 결정성으로 인해 입계산란이 감소하여 캐리어 이동도가 증가하기 때문에 기판 바이어스가 인가되고 점점 감소하다가 -60 V에서 가장 낮은 비저항 특성을 보이고 있다. 이는 앞서 보여준 X선 회절 분석과 SEM 이미지와 일치하는 데이터임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 태양전지 투명전극의 응용을 위해서 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작된 GZO 박막의 저항특성 개선을 위해 기판에 바이어스 전압을 인가하였다. 인가된 기판 바이어스는 가시광선영역의 투과율에는 크게 효과를 미치지 않았으나, 저항률 특성의 경우 negative 바이어스 인가에 따라 개선된 비저항 특성을 얻을 수 있었고, X선 회절분석의 결과와 SEM 이미지를 고려해 볼 때 negative 바이어스를 인가할 때 이온 충격에 의해 저항 특성이 개선되었음을 알 수 있다. 기판을 가열하지 않은 상태에서 150 W의 RF 전력과 5 mTorr의 공정압력에서 바이어스 전압을 -60 V로 인가하였을 때 5.89×10^{-4} 의 비저항을 나타내었으며, 가시광선 영역에서 87.72%의 투과율을 보이는 우수한 특성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] H. L. hartnagel, A. L. Dawar, A.K. Jain, and C. Jagadish, Semiconducting Transparent Thi. Fil. Ins. of Phy. Pub. 152-155, 1995
- [2] 황득규, 방규현, 명재민, "ZnO계 소자 연구 동향", 전기전자재료학회지, 15권, 6호, p. 35, 2002.
- [3] Ch. Sujatha, G. mohan Rao, and S. Uthanna, "Characteristic of indium tin oxide films deposited by bias magnetron sputtering", Materials Science and Engineering, B. 94, p. 106, 2002.
- [4] Brain Chapman, "Glow Discharge Processes-sputtering and plasma etching", A Wiley Interscience Publication