

대면적 펄스 마그네트론 스퍼터링에 의한 AZO 박막의 균일도 문제 The non-uniformity study of AZO thin films by pulse magnetron sputtering for large area

양원균, 주정훈
군산대학교 신소재나노화학 공학부, 플라즈마 소재응용 센터(PMRC)

초 록: Bipolar pulsed dc magnetron sputtering을 이용하여 태양전지의 투명 전도막용으로 유리기판 위에 Al doped ZnO (AZO) 박막을 증착하였다. 400 x 400 mm의 대면적 기판에 증착하기 위해서 5 x 25 inch 대형 사각 AZO target (Al 2 wt%)을 사용했고, 50 ~ 250 kHz의 bipolar pulse를 인가하였다. 실제로는 400 x 400 mm 면적의 기판에 slide glass 16개를 사용했으며, 약 700 nm 두께에서 두께와 투과도, 비저항의 균일도를 평가하였다. Bipolar pulse의 주파수 150 kHz일 때, 가장 우수한 특성을 갖는 AZO가 증착되었으며 $2.13 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ 의 비저항에 가시광선 영역에서 82%의 투과율을 보였다. 또한, 400 x 400 mm 대면적 기판에서의 두께와 투과도, 비저항의 불균일도는 각각 5%, 1%, 9% 였다.

1. 서론

투명 전도막은 가시광선 영역에서 갖는 우수한 투과율과 낮은 비저항을 갖는 특성 때문에 태양전지(Solar cell), 평판 표시장치 (Flat Panel Display), OLED (Organic light-emitting Diode) 등의 광전자 기기에 널리 사용되고 있으며 차세대 개발에도 주목받고 있다¹⁻³. 그 중 ITO (Indium Tin Oxide)는 높은 전도성과 투과율, 높은 일함수 때문에 다양한 소자에서 널리 사용되고 있었다 하지만, 최근 FPD 시장에서 요구되는 많은 양과 고갈 위기에 놓은 인듐의 가격 상승으로 인한 대체 재료가 필요하게 되었으며 Al doped ZnO (AZO)를 연구하기 시작했다

많은 증착법 중에 본 연구에서는 bipolar pulsed dc magnetron sputtering을 사용했다. 이것은 일반 DC에 비해 아킹을 줄일 수 있고, 대면적화가 쉬우며, 저온 공정이 가능하며, RF에 비해 가격이 저렴하고 운용이 용이하다는 것이 장점이다 하지만, 대면적 증착을 위해선 공정 조건이 단순한 1차 선형 확대가 될 수 없다. 압력 및 power, T-S (Target - Substrate) 거리가 경제적 증착 속도, 두께 균일도, 기판 온도에 영향을 주게 된다. 본 연구에서는 knob parameter를 조절하여, 400 x 400 mm 대면적 기판에서 bipolar pulse dc를 이용하여 균일한 AZO를 증착하고 특성을 조사하였다

2. 본론

2-1. 인가 전력과 T-S 거리에 따른 효과

인가 전력을 1,500 kW부터 3,000 kW까지 증가시키면 증착속도는 약 2배 정도 증가하게 된다. 비저항도 2배 정도 좋아진다. 하지만, 400 x 400 mm 대면적 기판에서의 두께 균일도는 2,000 kW일 때가 3.5 %로 가장 균일했다. 이 2 kW의 인가 전력에서 T-S 거리에 따른 효과를 조사하였다. 60 mm에서 100 mm로 거리가 멀어질수록 증착속도는 약 80% 감소하지만 비저항은 80 mm일 때 가장 낮은 값을 얻을 수 있었다. 너무 가까우면 플라즈마에 의한 손상이 발생하고 너무 멀면 증착속도가 너무 떨어지는 단점을 보였다

2-2. 주파수에 따른 두께와 비저항의 불균일도

150 kHz에서 증착된 AZO의 두께 균일도와 비저항의 균일도가 가장 우수한 값을 보였다. 약 700 nm의 두께에서 주파수가 50, 150, 250 kHz로 증가할수록 6.0%, 5.8%, 7.1%의 불균일도를 보였다. 두께 균일도는 주파수가 증가할수록 10.2%, 9.5%, 9.8%의 불균일도를 나타냈으며, 150 kHz의 AZO가 두께와 비저항에서 가장 균일한 특성을 나타내었다

2-3. AZO의 광학적 특성과 구조적 특성

가시광선 영역인 400 ~ 700 nm 영역에서 모두 80% 이상의 높은 투과율을 보였다. 또한, 400 x 400 mm 대면적 기판에서의 불균일도는 0.8%로 매우 좋았다. 흡수계수를 통해 에너지 밴드갭을 계산해보면 주파수가 증가할수록 3.48 ~ 3.43 eV로 약간 감소하는 경향을 보였다. 이것은 순수한 ZnO (3.3 eV) 보다는 증가했지만, 주파수가 증가하면서 과도한 Al이 grain boundary에 격리되면서 활성화되지 못했기 때문이라 판단된다. XRD 결과에서는 모든 주파수에서 (002)면의 34.0°에서 peak을 나타내었다. 이것 또한, 순수한 ZnO보다 작은 각으로 이동했으며 이것은 주파수가 증가할수록 grain이 덜 치밀해지고 작아지는 것으로 설명할 수 있다. Scherrer's equation에 의해서 grain size는 112.8 Å에서 106.4 Å로 감소했다. 또한, 이로부터 계산된 ZnO의 c-axis이 Al 도핑에 의해 c축으로의 인장력 때문에 길어짐을 알 수 있었다

3. 결론

Al doped ZnO 박막을 400 x 400 mm의 대면적 증착을 위해 5 x 25 inch 대형 사각 target에 bipolar pulse

dc를 인가하여 균일도를 향상시켰다 다양한 인가 전력과 다양한 기판타겟 간의 거리에서 최적 조건을 찾고 주파수에 따른 특성을 조사하였다 약 700 nm의 두께에서 80 % 이상의 투과도, $2.1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 의 낮은 비저항을 보였다. 또한, 대면적에서의 두께, 투과도, 비저항의 불균일도는 150 kHz에서 5%, 1%, 9% 정도의 균일도를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] M. Katayama, "TFT-LCD technology", Thin Solid Films, 341, 1999, 140.
- [2] B. Szyszka, "Transparent and Conductive aluminum doped zinc oxide films prepared by mid-frequency reactive magnetron sputtering", Thin Solid Films, 351, 1999, 16.
- [3] O. Kluth, B. Rech, L. Houben, S. Weider, G. Schope, C. Beneking, H. Wagner, A. Löffl, H.W. Schock, "Texture etched ZnO:Al coated glass substrates for silicon based thin films solar cells", Thin Solid Films, 351, 1999, 247.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 신재생에너지기술개발사업의 일환(R-2005-7-147)으로 수행되었습니다.