

Radio Frequency Reactive Magnetron Sputtering에 의해 증착된 Indium Zinc Oxide 박막의 전기적 특성과 광학적 특성

조한나, 민수련, 이장우, 정지원*
인하대학교 화학공학과
(cwchung@inha.ac.kr*)

Electrical and Optical Properties of Indium Zinc Oxide Thin Films Deposited by Radio Frequency Reactive Magnetron Sputtering

Han Na Cho, Su Ryun Min, Jang Woo Lee, Chee Won Chung*
Department of Chemical Engineering, Inha University
(cwchung@inha.ac.kr*)

서론

최근에 태양전지는 한정된 화석연료를 대체하기 위한 차세대 에너지원으로 주목 받고 있다. 투명전극은 태양전지의 효율적인 에너지 변환 과정에서 중요한 부분을 차지하고 있으며, 주로 가시광선 영역(380~780 nm)에서 낮은 저항도(resistivity)와 높은 투과도(transmittance)를 얻기 위해 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 태양전지의 투명전극으로서 indium tin oxide (ITO)와 fluorine-doped tin oxide (FTO) 박막이 주로 사용되고 있다. ITO 박막은 높은 투과도와 낮은 저항특성을 가짐에도 불구하고 열처리 과정이 필요하다는 단점을 가지고 있으며[1], FTO는 350 °C의 고온 처리 과정에서도 같은 조성을 유지하는 장점이 있지만 약 80%의 낮은 투과도를 가지는 단점이 있다.

최근에 indium zinc oxide (IZO)라는 전도성 투명전극이 개발되어 연구되고 있는데, 이 박막은 ITO와 FTO와는 달리 열처리 과정을 진행하지 않고도 $1\sim 3 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 의 낮은 저항도와 약 90%의 높은 투과도를 나타낸다고 알려져 있다[1-3].

본 실험에서 IZO 박막은 radio frequency (rf) reactive magnetron sputtering 방법으로 증착되었고 여러 가지 증착변수 중에서 rf power를 선정하여 변화시킴으로써 이에 따른 박막의 투과도와 저항도를 조사하여 최적의 rf power를 찾고자 하였다.

실험

IZO 박막은 rf reactive magnetron sputtering 방법으로 증착되었고 2 inch의 직경과 1/8 inch의 두께를 갖는 $\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ 세라믹 타겟이 사용되었으며 $\text{In}_2\text{O}_3\text{:ZnO}$ 중량비는 9:1 이었다. 초기 진공을 4×10^{-6} Torr 까지 형성시킨 후, 20 sccm의 pure Ar을 chamber내로 흘려주어 2 mTorr의 공정압력에서 증착을 진행하였다. 공정 시, 타겟 표면에 흡착된 불순물을 제거하기 위해서 pre-sputtering 공정을 10분동안 진행하였으며 이때 기판은 타겟과 기판사이의 main shutter에 의하여 보호되었다. IZO 박막은 유리 기판에 증착되었고 사용된 유리 기판은 아세톤, 에탄올 그리고 deionized water를 이용하여 세척되었다. 또한 기판과 타겟과의 거리는 60 mm로 유지하였고 균일한 박막을 증착하기 위해 12 rpm으로 기판을 회전시켰으며 열처리 과정은 진행하지 않았다.

박막 증착에서 주요 공정 변수로서 rf power를 설정하여 100~200 W의 범위에서 변화시켰고 이 모든 공정은 상온에서 진행되었다.

IZO 박막의 증착속도를 측정하기 위해서 surface profilometer가 사용되었으며, 투과도를 측정하기 위해 UV/Visible spectrophotometer를 사용하였다. 그리고 four-point probe를 사용하여 IZO 박막의 저항도를 측정하였으며, 증착 공정의 변수에 따른 표면의 거칠기를 조사하기 위해서 atomic force microscopy (AFM)가 사용되었다.

결과 및 토론

본 실험에서는 박막의 전기적 특성과 광학적 특성을 측정하기 위해 IZO박막의 두께를 1000 Å으로 동일하게 증착하였다. 박막은 상온에서 증착하였으며 증착 후, 별도의 열처리 공정을 진행하지 않았다. IZO 박막은 산소 농도, power, 기판과 타겟간의 거리, 그리고 증착 온도의 변화 등에 의해 특성이 변하는 것으로 알려져 있다[1-5]. 증착 시, Pure Ar 분위기로부터 O₂ 농도가 증가할수록 저항이 높은 박막이 증착되는 것으로 보고되어 있다[4, 5]. 이러한 근거로 저항이 적은 박막을 증착하기 위하여 pure Ar의 증착조건을 선택하였다. rf power 변화에 따른 증착 속도를 Figure 1에 나타내었다. Figure 1은 타겟에 인가되는 rf power가 100 W에서 200 W로 증가함에 따라 증착속도가 대략 138 Å/min에서 219 Å/min까지 증가하는 경향을 보여준다. 이는 rf power가 증가할수록 타겟에 충돌하는 이온화된 Ar 양이온의 양이 증가하며 이에 따라 타겟에서 sputtering되는 IZO 입자의 개수와 그 입자가 기판에 증착되는 속도가 증가함으로 인하여 증착속도가 증가하는 것으로 예상된다.

Figure 2는 rf power 변화에 따른 IZO 박막의 투과도를 보여준다. 약 520 nm에서 900 nm사이의 파장에서는 100 W에서 200 W로 증가할수록 투과도가 증가하는 경향을 보이거나 520 nm이하의 파장 영역에서는 100 W의 rf power에서 투과도가 가장 낮은 값을 보이고 있다. 이와 같이 100 W가 다른 인가 전력에 비하여 다른 투과도 경향을 나타내는 원인은 증착된 박막의 결정구조의 차이에 의해 나타나는 현상으로 생각되어진다.

Figure 3.은 rf power 변화에 따른 저항을 나타낸 그래프이다. rf power의 증가에 따라 저항이 비례적으로 증가함을 보여준다. 이러한 경향성은 타겟에 인가된 rf power가 증가할수록 기판에 도달하는 IZO 입자의 양과 그 속도가 증가하기 때문에, 이로 인한 증착속도와 IZO 박막표면의 거칠기의 증가 때문이라 생각된다.

Figure 4.는 증착된 박막 표면의 AFM 사진이다. 이 그림에서 rf power가 100 W, 160W, 그리고 200 W로 증가할수록 표면 굴곡의 RMS (root mean square) 값이 각각 1.586, 1.673, 그리고 2.427 nm로 증가함을 보여주고 있다. 이는 타겟에 인가되는 rf power가 증가할수록 박막 표면의 거칠기가 증가함을 보여주고 있다. rf power가 낮은 경우에는

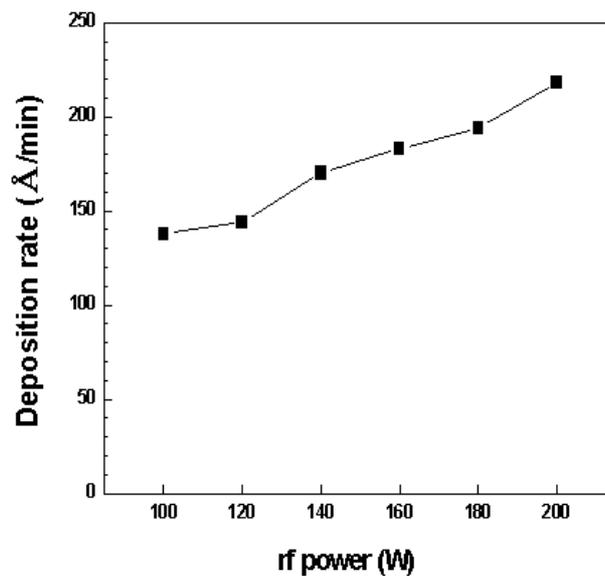


Figure 1. Deposition rates of IZO thin films as a variation of rf power; gas condition: pure Ar 20 sccm; gas pressure: 2 mTorr; substrate-to-target distance: 6 cm.

타겟으로부터 분리된 입자들이 기판에 도달하는 속도가 낮고 양이 적어 조밀하게 증착이 되지만 rf power가 높아질수록 입자들의 속도가 높아지고 양이 많아지면서 거친 표면을 형성하는 것으로 생각된다.

결론

투명전극으로 사용되는 IZO 박막이 rf reactive magnetron sputtering에 의해 증착되었다. IZO 박막은 상온에서 증착되었고 증착 후, 별도의 열처리공정을 진행하지 않았다. 본 실험에서는 증착공정의 여러 가지 변수 중에서 타겟에 인가되는 rf power를 주요변수로 선택하여 20 sccm의 pure Ar, 2 mTorr의 공정 압력, 그리고 6 cm의 기판과 타겟간의 거리 조건에서 증착을 진행하였다. rf power가 증가할수록 증착속도와 저항은 증가하였다. 그러나 모든 power 조건에서 90% 정도의 투과율을 보였지만 100 W에서 200 W로 power가 증가할수록 투과율은 낮아지는 경향을 보였다. 이는 rf power가 증가할수록 기판에 증착되는 IZO 입자의 속도와 양이 많아짐에 따라 박막표면의 거칠기가 증가하는 결과로 해석된다.

참고문헌

1. Vink, T. J., Walrave, W., J. Daams, L. C., Baarslag, P. C., and van den Meerakker,

J. E. A. M., "On the homogeneity of sputter-deposited ITO films Part I. Stress and

microstructure", *Thin Solid Films*, **366**, 145-151(1995).

2. Pan, H. C., Shiao, M. H., Su, D. Y., and Hsiao, C. N., "Influence of sputtering

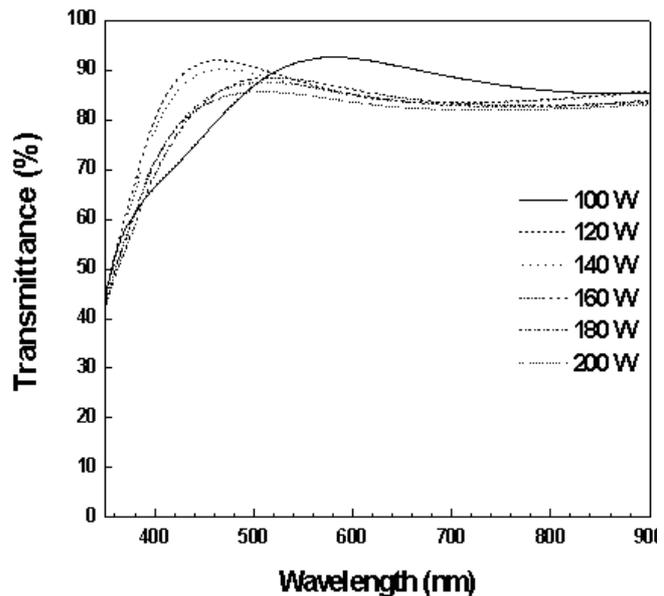


Figure 2. Transmittance of IZO thin films in visible region as a variation of rf power; gas condition: pure Ar 20 sccm; gas pressure: 2 mTorr; target-to-substrate distance: 6 cm.

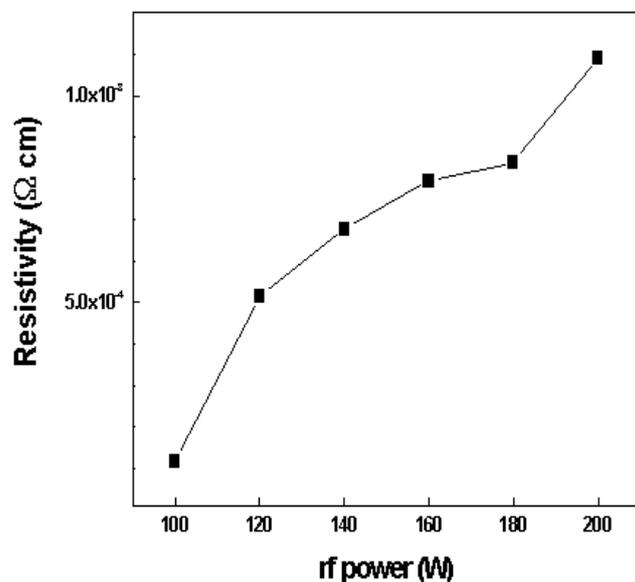


Figure 3. Resistivity of IZO thin films as a function of rf power; gas condition: pure Ar 20 sccm; gas pressure: 2 mTorr; target-to-substrate distance: 6 cm.

- parameter on the optical and electrical properties of zinc-doped indium oxide thin films", *J. Vac. Sci. Technol. A* **23**(4), 1187-1191(2005).
3. Song, Y. S., Park, J. K., Kim, T. W., and Chung, C. W., "Influence of process parameters on the characteristics of indium zinc oxide thin films deposited by DC magnetron sputtering", *Thin Solid films*, **467**, 117-120(2004).
 4. Minami, T., Sonohara, H., Kakumu, T., and Takata, S., "Highly Transparent and Conductive $Zn_2In_2O_5$ Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering". *Jpn. J. Appl. Phys.* **34**, L971-L974(1995).
 5. Minami, T., Kakumu, T., and Takata, S., "Preparation of transparent and conductive In_2O_3 -ZnO Film by radio frequency magnetron sputtering", *J. Vac. Sci. Technol. A* **14**(3), 1704-1708(1996).

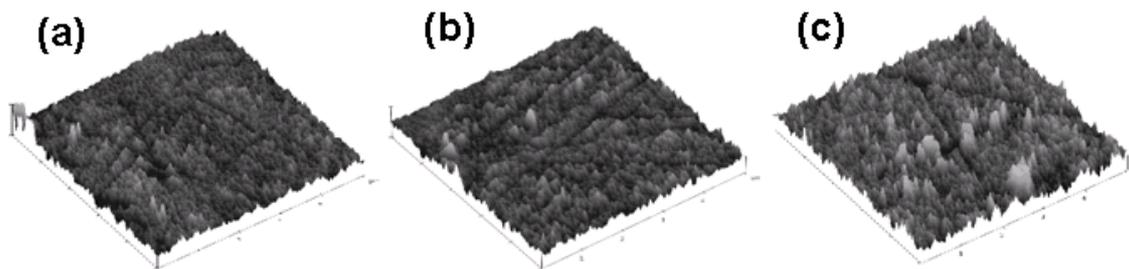


Figure 4. AFM images of IZO thin films deposited at (a) 100 W, (b) 160 W, (b) 200 W; gas condition: pure Ar 20 sccm; gas pressure: 2 mTorr; target-to-substrate distance: 6 cm.