

고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작한 ITO 박막의 표면 형태 및 전기적 특성

권 성 열*

Surface morphology and electrical properties of ITO thin films fabricated by RF magnetron sputtering method

Sung Yeol Kwon*

Abstract

ITO (Indium Tin Oxide) thin films have been fabricated by rf magnetron sputtering with a target of a mixture In_2O_3 (90 wt%) and SnO_2 (10 wt%). ITO films were sputtered with substrate temperature from 30 to 300 °C and working pressure from 1 to under 0.1 m Torr. ITO thin films surface morphology and electrical properties analyzed by SEM Photographs, and X-ray diffractions patterns. The resistivity of ITO thin films was $1.8 \times 10^{-5} \Omega/\text{cm}$.

Key Words : indium tin oxide (ITO), thin films, rf magnetron sputtering, surface

1. 서 론

ITO (Indium Tin Oxide) 박막은 투명 전도막으로 전기전도 및 가시광 영역에서 광투과 특성이 우수하여 태양전지의 창 재료, 이미지 센서 및 LCD 및 기타 디스플레이 장치의 투명전극으로 많이 사용되고 있다^[1,2,11-13]. 이러한 투명 전도막의 제조방법으로는 진공증착법, 스프레이법, 스퍼터링방법, 글로우방전 분해법, 및 전자선 가열 증착법^[7] 등이 있다 그 중 스퍼터링 방법은 균일한 입자로 균질의 박막을 증착 시킬 수 있을 뿐만 아니라 박막의 재현성이 좋고 비교적 낮은 온도에서도 증착시킬 수 있는 장점이 있다^[3-6].

본 실험에서는 In_2O_3 (90 wt%): SnO_2 (10 wt%)의 타겟을 제작하여 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 ITO 박막을 증착하였다. 증착시 기판온도를 30, 125, 190, 255 및 300 °C로 분위기압을 1, 0.1 및 0.1 mTorr 이하로 하여 제조 하였으며 이러한 제조변수에 따른 ITO 박막의 표면형태의 변화 및 전기적 특성을 조사하였다.

2. 실험 및 측정

유리기판위에 ITO 투명 전도막을 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제조 하였다. 본 실험에 사용된 타겟은 In_2O_3 분말에 SnO_2 를 각각 90 wt%와 10 wt%로 하여 제작하였다. 타겟의 지름은 4 inch이며 기판으로는 $10 \times 20 \times 0.5$ mm의 소다라인유리를 사용하였다. ITO 투명 전도막이 증착될 기판은 미리 증류수 세척, 아세톤 세척, 메탄올 세척, 초음파 세척, 그리고 다시 증류수 세척 하여 마지막으로 질소 blowing 후 광학현미경으로 관찰하여 표면이 깨끗한 기판만을 사용하였다.

실험에 사용된 rf 마그네트론 스퍼터링 장치는 스퍼터업(sputtering up) 방식이며 타겟과 기판과의 거리는 5 cm였다. 작동기체로는 아르곤을 사용하였으며 기판온도는 열전대를 사용하여 측정하였다. ITO 투명 전도막은 기판온도를 30 부터 300 °C로 하였고 분위기압은 1 m, 0.1 m 및 0.1 mTorr 이하 분위기압에서 제작하였다.

제작된 ITO 박막의 두께는 α -step 100 (Tencor Co.)으로 측정되었으며 ITO 투명 전도막의 구조를 조사하기 위해 XRD(RIGAKU D/MAX-2500)을 사용하였다. 또한 표면형태를 조사하기 위해 SEM(HITACHI S-4100)을 사용하였으며, 제작된 막의 저항율과 면저항은

부경대학교 전기제어계측공학부(Division of Electrical Control and Instrumentation, Pukyong National University)

*Corresponding author: sungyeol@pknu.ac.kr

(Received : November 28, 2005, Accepted : January 10, 2005)

Hall 효과에 의해 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. ITO 박막의 전기적 특성

ITO 박막의 특성은 막 증착시 In_2O_3 의 산소가 분리되어 산소결핍된 막을 형성하여 이루어지며, 여기에 Sn이 첨가되어 그 전기전도 특성을 더 개선시키는 것으로 알려져 있다¹¹. 이러한 이유로 ITO 막은 증착시 낮은 증착율로 증착될 경우 In_2O_3 가 산소와 충분히 결합하여 화학양론적인 산화막 구조를 이루게 되므로 전기전도특성이 나빠지게 되고 한편 높은 증착율로 증착할 경우에는 기판에 손상을 주어 결정성장의 결여로 인해 전기전도특성이 저하되며 막표면이 거칠어 광투과율 특성이 저하되게 된다¹³⁻⁶.

따라서 본 실험에서는 1.0~1.4 Å/sec의 증착율로 두께 1000~9000 Å의 ITO 박막을 증착하였다. 증착시 기판온도, 분위기압 및 열처리 온도에 따른 전기전도도 및 광투과 특성을 조사하였다. 증착시 기판온도를 30~300°C로 변화시키면서 각 조건에서의 제작된 ITO 박막의 시편을 450°C에서 열처리 하여 열처리 하지 않은 샘플과 비교 분석 하였다.

그림 1은 기판온도 및 분위기 압에 따른 ITO 박막의 저항율을 나타낸 것이다. 기판온도와 분위기압 및 열처리효과에 따른 저항율의 변화를 조사하기 위하여 기판온도를 30, 125, 190, 255 및 300°C로 분위기압을 1 m, 0.1 m 및 0.1 mTorr 이하로 하여 1000 Å 두께의 ITO 박막 시편을 제작하고 각각 열처리전과 열처리후의 저항율을 측정하였다. 분위기압 0.1 mTorr 기판온도 255°C이상에서 약간의 저항율 증가를 나타내는 것이 외에는 다른 모든 조건에서 기판의 온도가 올라감에 따라 저항율의 감소를 보였다.

1 m, 0.1 m 및 0.1 mTorr 이하 각각의 분위기 압에서 제작된 ITO 박막을 450°C 질소 분위기에서 1시간 열처리한 후 저항율을 측정하였다. 열처리 후의 저항율은 열처리 하기전보다 현저히 낮아졌음을 알 수 있었다. 분위기 압 0.1 mTorr 기판온도 200°C에서 열처리전 $7.58 \times 10^{-2} \Omega/cm$ 의 저항율이 열처리후 $4.70 \times 10^{-4} \Omega/cm$ 으로 낮아졌다.

그림 2는 열처리후의 캐리어(carrier) 농도를 나타내고 있다. 측정결과 0.1 mTorr와 0.1 mTorr 이하에서 제작된 ITO 박막의 캐리어 농도는 큰 차이를 보이지 않았다. 1 mTorr에서는 기판온도 125°C에서 약간의 캐리어 농도의 감소가 나타나고 있음을 나타내고 있다. 전체적으로 캐리어 농도는 기판온도와 상관없음을 나

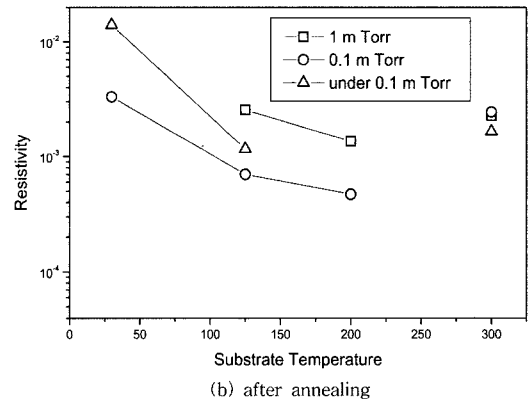
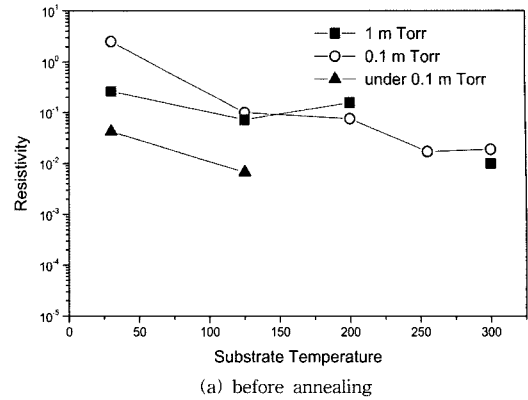


그림 1. 은 기판온도 및 분위기 압에 따른 ITO 박막의 저항율

Fig. 1. Substrate temperature vs. Resistivity.

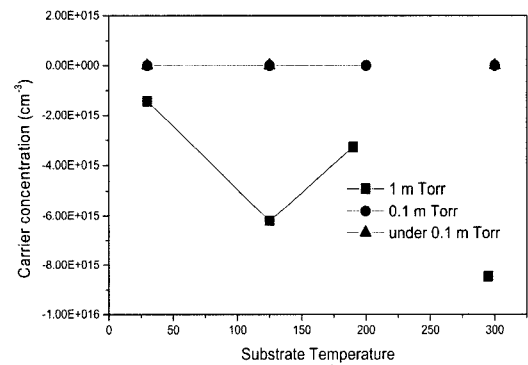


그림 2. 기판온도와 캐리어 농도와의 관계

Fig. 2. Substrate temperature vs. 캐리어 concentration.

타내며 각각 열처리 후에 감소하였다. 그림 3은 열처리 후의 이동도(mobility)를 나타내고 있다. 분위기압 0.1 mTorr 이하에서는 각 기판온도에 대해 특정한 변화가 없음을 나타내고 있다.

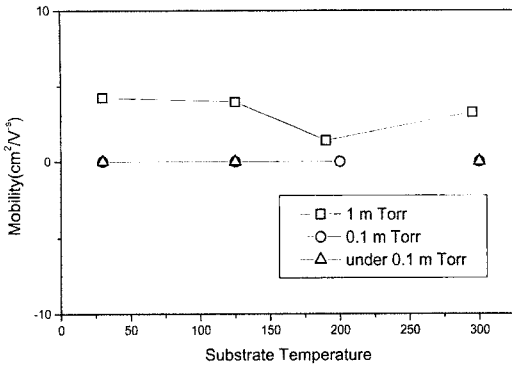


그림 3. 기판온도와 이동도의 관계
Fig. 3. Substrate temperature vs. Mobility.

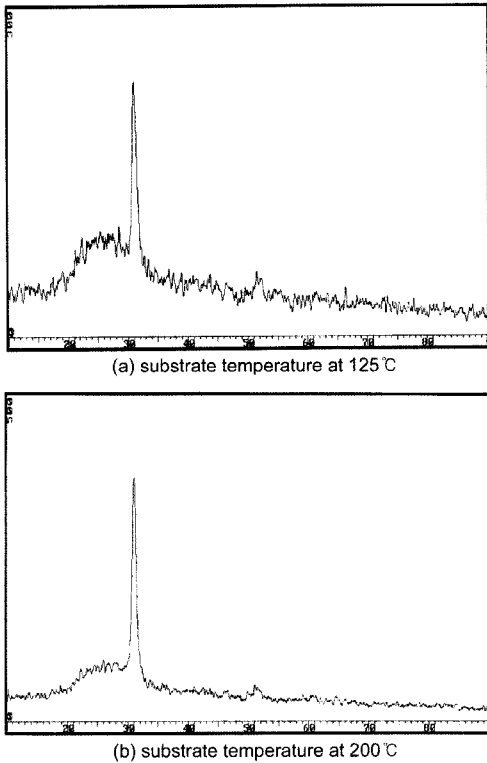


그림 4. 0.1 mTorr 에서의 X-ray 회절패턴
Fig. 4. Patterns of X-ray diffraction at 0.1 mTorr.

3.2. ITO 박막의 구조적 특성

그림 4는 분위기압 0.1 m Torr , 기판온도 125 °C와 200 °C의 ITO 투명 전도막의 X-ray diffraction pattern 을 나타낸 것이다. 이 패턴들은 Mn₂O₃ cubic 구조와 일치 하고 있다¹³⁾. ITO 투명 전도막의 X-선 회절패턴 들은 기판온도와 열처리 온도에 관계없이 거의 비슷한

모양을 보였다. 이것을 통하여 제작된 모든 ITO 투명 전도막이 결정화를 이루고 있음을 알 수 있었다. 이 회절 패턴의 피크중에 최대강도를 나타내는 (222)면은 기판온도를 높여감에 따라 계속 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한 그림 4(b)에서 보이듯이 450 °C 질소 분위기에서 1시간 열처리 하였을때 더 높은 (222) 면을 볼 수 있었다. 이는 기판의 온도가 증가함에 따라 원자 배열이 용이해져 ITO 투명 전도막의 특성을 향상 시키는 것으로 생각된다.

사진 1은 0.1 m Torr 분위기 압에서 기판온도변화에 따른 ITO 박막의 SEM 사진을 나타내었다. 각각의 SEM 사진에서 상은 막의 표면에서 많은 과립상의 결정립과 불투명한 갈색을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 표면에서의 모양은 열처리 후 광투과도가 향상되어도 여전히 남아 있음을 알 수 있었다.

사진 2는 기판온도 300에서 각각 1000, 3000 그리고 9000 Å의 두께로 제작된 ITO 박막의 영상을 보여주고 있다. 1000 Å두께의 박막에서는 산소결핍된 금속결정립으로부터 밝은 금속반사체가 보이고 있다. 막의 두께가 점점 증가함에 따라 산화물의 과도성장을 보이며 밝은 금속 반사체는 확산되어 사라져 평탄한 표면으로 변해감을 볼 수 있었다. 또한 막의 두께가 증가함에 따라 면저항의 감소를 나타내었다. 가장 낮은 저항율을 나타낸 샘플이 사진 2의 ITO 박막의 두께가 9000 Å에서 볼 수 있는 영상과 같은 깨끗한 면영상을 나타냄을 확인할 수 있었다.

각 스퍼터링 조건들에 의해 제작된 ITO 투명 전도막 시편들은 특별한 광투과도의 차이를 보이지 않았다. 각 시편들은 열처리후 광투과도가 향상되었다. 이는 시편의 결정화와 성장에 기인한다고 보여진다.

4. 결 론

기판온도를 30에서 300 °C로 변화 시키고 분위기압 1, 0.1 및 0.1 mTorr 이하에서 ITO 박막을 증착 시켰다. 각 조건에서 제작된 샘플들을 열처리전과 450 °C 질소 분위기에서 열처리 후 각각의 ITO 박막의 특성을 조사 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기판의 온도를 증가 시킴에 따라 막의 저항율은 낮아지나 기판온도 200 °C 부근에서 포화현상을 나타내었다.
2. 모든 ITO 박막은 열처리 후 현저한 저항율의 저하를 나타내었다. 제작된 ITO 박막중 가장 낮은 저항율을 보인 것은 $1.8 \times 10^{-5} \Omega/\text{cm}$ 이었다.
3. ITO 박막의 전기전도도 특성은 기판온도에 기인

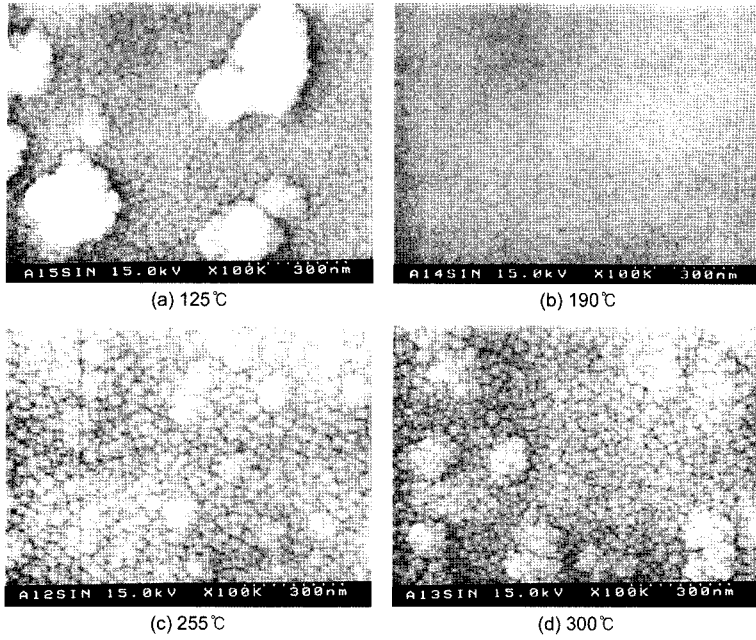


사진 1. ITO 박막의 SEM 사진
Photo. 1. SEM photograph of ITO thin films.

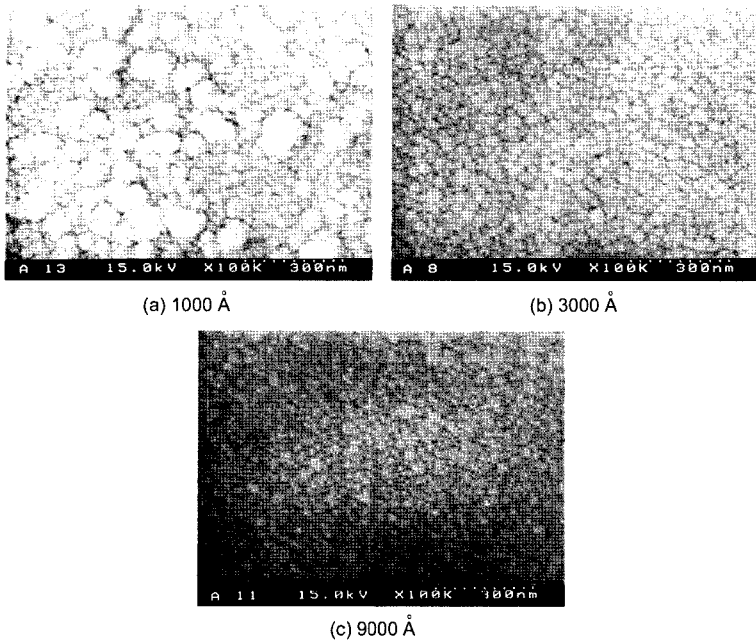


사진 2. ITO 박막의 SEM 사진
Photo. 2. SEM photograph of ITO thin films.

하는 것보다 분위기압과 막의 두께에 더 기인한다. 1000 Å~3000 Å까지의 막의 두께에서 막의 두께가 두

꺼워 질수록 더욱 완전한 결정구조를 가진 ITO 박막이 성장되었다.

4. 분위기압 0.1 m Torr 두께 1000 Å에서 10^{-4} Ω/cm²의 저항율을 보였다.

참고 문헌

- [1] K. L. Chopra, S. Major, and D. K. Pandya, "Transparent conductors-a status review", *Thin Solid Films*, vol. 102, pp. 1-46, 1983.
- [2] A. Rohatgi, T. R. Viverito, and L. H. Slack, "Electrical and optical properties of Tin oxide films", *Journal of American Ceramic Society*, vol. 56, no. 6, pp. 278-279, 1974.
- [2] A. Rohatgi, T. R. Viverito, and L. H. Slack, "Materials for efficient reflection of thermal energy: doped Tin oxide films", *Reviews on High Temperature Materials*, vol. 3, no. 2, pp. 139-151, 1976.
- [3] J. Szczyrbowski, A. Dietrich, and H. Hoffmann, "Optical and electrical properties of r.f. sputtered indium-Tin oxide films", *Phys Stat Sol (a)*, vol. 78, pp. 243-252, 1983.
- [4] M. Buchanan, J. B. Webb, and D. F. Williams, "The influence of target oxidation and growth related effects on the electrical properties of reactively sputtered films of Tin-doped indium oxide", *Thin Solid Films*, vol. 80, pp. 373-382, 1981.
- [5] K. Sreenivas, T. Sundarsena Rao, A. Mansnigh, and S. Chandra, "Preparation and characterization of r.f. sputtered indium Tin oxide films", *Journal of Applied Physics*, vol. 57, no. 2, pp. 384-392, 1985.
- [6] O. Dutta and S. Ray, "Electrical properties of magnetron sputtered indium Tin oxide films with deposition parameters", *Thin Solid Films*, vol. 162, pp. 119-127, 1988.
- [7] J. L. Yao, S. Hao, and J. S. Wilkinson, "Indium Tin oxide films by sequential evaporation", *Thin Solid Films*, vol. 189, no. 2, pp. 227-233, 1990.
- [8] Ha, Hong Ju, "The study on formation of ITO by DC reactive magnetron sputtering", *The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 669-707, 1995.
- [9] M. Higuchi, S. Uekusa, R. Nakano, and K. Yokogawa, "Post-deposition annealing influence on sputtered indium Tin oxide film characteristics", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 33, pp. 302-306, 1994.
- [10] P. Sutta and Q. Jackuliak, "Microstructure of indium Tin oxide films deposited on glass substrates, ASDAM 2002, Smolenice Castle, Slovakia, pp. 14-16, 2000.
- [11] 김민수, 박이순, 박세광, "유기 EL 소자의 전기-광학적 특성", *센서학회지*, 제6권, 제4호, pp. 252-257, 1997.
- [12] 박세광, 김민수, "2층 구조 유기 박막 EL 소자의 전기-광학적 특성", *센서학회지*, 제4권, 제4호, pp. 10-15, 1995.
- [13] 박옥동, 김기완, "영상센서를 위한 a-Si:H 광다이오드의 제작 및 특성", *센서학회지*, 제5권, 제4호, pp. 29-34, 1993.



권성열

- 1968년 8월 10일생
- 2000년 8월 25일부터 2002년 2월까지 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수
- 2002년 3월부터 2003년 3월까지 부경대학교 전기제어계측공학부 전임강사
- 2003년 3월부터 현재 부경대학교 전기제어계측공학부 조교수
- 주관심분야 : 센서 및 센서재료