

디스플레이용 ITO 투명전도막의 저온 제작

김경환[†] · 김현웅

[†]경원대학교 전기정보공학과

Preparation of ITO Transparent Conductive thin film for Display at Room Temperature

Kyung Hwan Kim[†] and Hyun Woong Kim

[†]Kyungwon Univ. Dept. of Electric & Information Engineering

ABSTRACT

In this study, we prepared the ITO thin film for TOLED(Top-emitting OLED) or flexible display at room temperature using the FTS(Facing Targets Sputtering Apparatus). We observed characteristics of deposited thin films as a function of sputtering conditions. XRD patterns were independence from oxygen gas flow and input current. But electrical and optical properties were strongly dependence. In the results, we could prepare good properties of ITO thin films resistivity of $4.27 \times 10^{-4} [\Omega\text{-cm}]$, transmittance of over 80% at working gas pressure 1[mTorr], input current 0.6[A], oxygen gas ratio 0.3[sccm], at room temperature.

Key Words : FTS, ITO, sputtering

1. 서 론

첨단 디스플레이는 오늘날의 전자제품에서 가장 중요한 역할을 한다고 해도 과언이 아니다. 현재 사용되고 있는 디스플레이를 평가하여 시장에서의 성공 여부를 판단할 수도 있는데, 특히 사용자들의 이러한 평가는 고해상도와 천연 색상이 필수적인 휴대용 기기에서는 매우 중요하다. 최근에는 탁월한 명암비와 빠른 응답 시간, 넓은 시야각을 지닌 Organic Light Emitting Diode(OLED)가 각광을 받고 있다.

OLED의 구조는 상부(혹은 하부)에 투명 전극과 주입층, 발광층이 위치하는 구조로 이루어져 있다. 투명 전극의 물질과 특성에 따라 디바이스의 수명 및 효율에 영향을 주게 된다. 따라서 현재 전극 물질 및 증착 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-2].

투명전도막으로의 응용을 위해 zinc, tin등이 도핑된 Transparent Conducting Oxide(TCO)막이 널리 연구되

고 있다. 특히 ITO 박막은 가시광 영역에서 투과도가 높고 근적외선 영역에서는 광 반사도가 높을 뿐만 아니라 낮은 저항률을 가지고 있어 다양한 분야에 응용되고 있으며, 최근에는 디스플레이 분야로의 응용에 많이 사용되고 있다[3-4]. 이러한 ITO 박막을 제작하는데 있어 스퍼터링법을 사용할 경우, 일반적으로 DC, RF 등의 스퍼터링 법이 널리 사용되었으나[5-6], 이러한 방법으로 양호한 특성을 가지는 ITO 박막을 얻기 위해서는 통상적으로 높은 온도가 필요하며, 스퍼터링시 타겟에서 방출되는 전자 혹은 방전가스에서 방출되는 산소 음이온 등의 고 에너지 입자에 의한 기판 충격 때문에 고품위의 ITO 박막을 제작하는데 어려움이 따른다[7-8].

본 연구에서는 두 개의 타겟이 서로 마주 보며 기판은 플라즈마와 이격된 위치에 놓여, 저온에서도 고품위 박막을 제작 할 수 있는 대향 타겟식 스퍼터링 (Facing Targets Sputtering : FTS)장치[9-11]를 이용하여 ITO박막을 증착하였다.

[†]E-mail : khkim@kyungwon.ac.kr

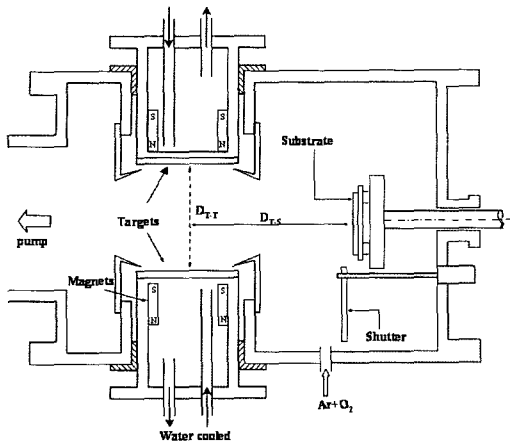


Fig. 1. Diagram of Facing Targets Sputtering apparatus.

2. 실험

본 실험에서는 그림 1과 같은 구조의 FTS 장치를 사용하였다. 대향 타겟식 스퍼터링 장치는 두 개의 타겟이 마주 보고 있으며 타겟의 뒷면에는 영구 자석이 부착되어 플라즈마로부터 생성되는 음이온을 플라즈마 내에 구속시키게 된다. 또한 기판은 플라즈마로부터 이격된 양 타겟의 중앙부에 위치하여 plasma-free에 위치하게 되므로, 스퍼터링이 일어날 때 발생하는 산소 음이온에 의한 박막의 손상을 최소화시킬 수 있다.

본 실험에서는 ITO 박막을 아르곤과 산소의 혼합가스(Ar:O₂; 20:0~0.7 sccm) 분위기하에서 제작하였다. 산화물 투명 전도막의 경우 분위기 가스내의 산소량에 따라 제작된 막의 특성이 민감하게 변화한다. 따라서 산소의 양을 미세하게 변화시켜가며 실험하였다. 기판으로는 Corning glass 기판을 사용하여 증착하였으며, 모든 샘플의 기판 온도는 실온에서 제작하였다. 증착 시간을 조절하여 막 두께를 변화시켰으며, 자세한 증착

Table 1. Sputtering conditions.

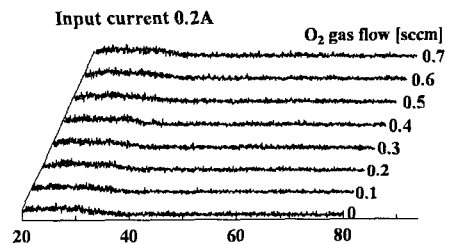
Parameters	Conditions
Targets	ITO(10wt% SnO ₂)
Working gas	Ar, O ₂
Background pressure	2×10 ⁻⁶ [Torr]
Working pressure	1[mTorr]
Ar rate	20[sccm]
O ₂ rate	0~0.7[sccm]
ITO thickness	100[nm]
Sputtering current	0.2~0.8[A]

조건은 표 1에 나타내었다.

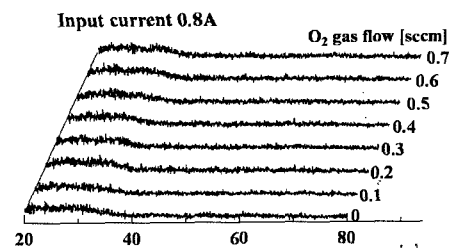
제작된 ITO 박막의 전기적 특성을 Hall effect measurement(EGK) 장비를 사용하여 측정 하였으며 박막의 두께는 α -step(Tencor)을, 광투과율은 UV-Vis spectrometer (HP)를 사용하여 측정하였다.

3. 결 과

그림 2(a)와 (b)는 각각 투입전류 0.2A와 0.8A, 실온에서 증착한 ITO박막의 XRD 패턴이다. 그림에서 알 수 있듯이 제작된 박막은 모두 비정질의 기판피크만을 보였으며, 산소가스 유량 0~0.7에서 어떠한 변화도 보이지 않고 있다. ITO박막의 결정성은 제작되는 박막의 두께, 제작시 기판의 온도, 후열처리 등의 조건에 의해서 변화하는 것으로 알려져있다. 본 실험에서는 어떠한 기판 가열과 후열처리 공정을 하지 않았다. 따라서 제작된 ITO 박막이 결정성을 가지기에는 그 두께가 얇은 것으로 생각된다.



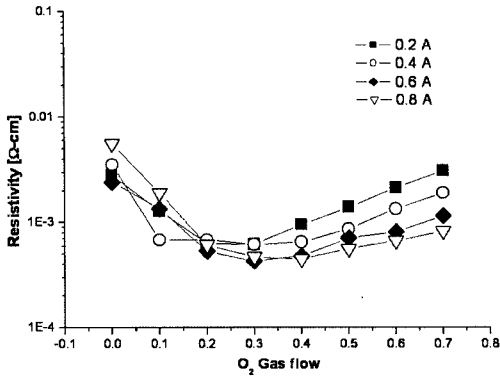
(a) input current 0.2A



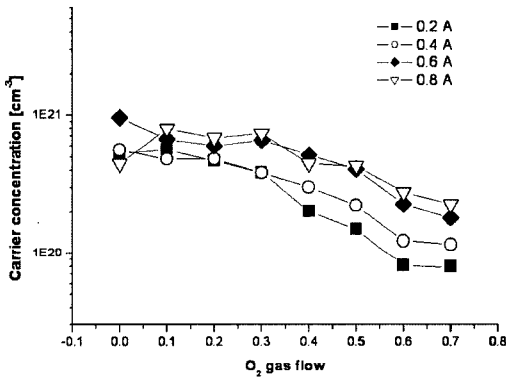
(b) input current 0.8A

Fig. 2. XRD patterns of prepared ITO thin-films.

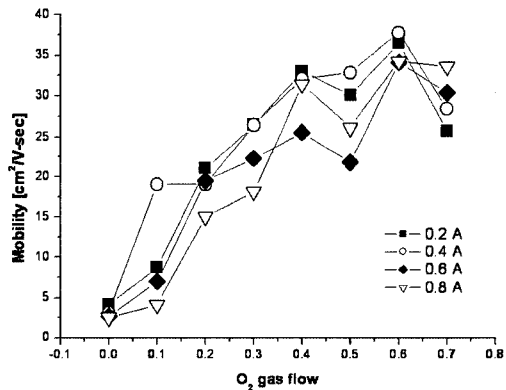
그림 3(a), (b), (c)는 각각 투입전류 0.2~0.8A에서 제작된 ITO 박막의 비저항, 이동도, 캐리어농도의 그래프이다. 그림에서도 알 수 있듯이 산소가스 유량 0.2~0.4[sccm] 사이에서 가장 낮은 비저항이 측정되었으며, 투입전류가 증가할수록 최저 저항값을 나타내기 위해 보다 많은 산소량이 필요한 것으로 측정되었다. 투입전류에 상관없이 산소량의 증가에 따라 캐리어 농도는



(a) Resistivity



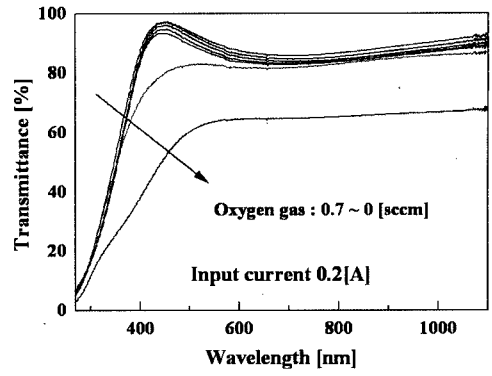
(b) Carrier concentration



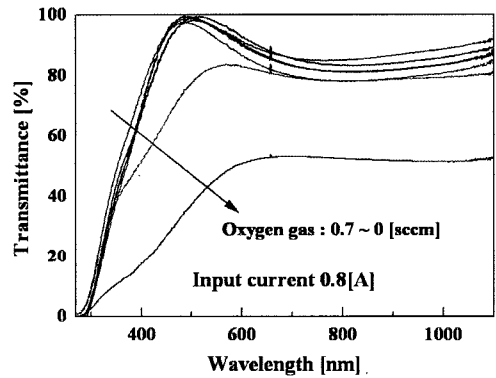
(c) Mobility

Fig. 3. Electrical properties of prepared ITO thin films.

감소를, 이동도는 증가하는 추세를 보여주었다. 이는 ITO 박막내의 산소 결핍이 캐리어의 역할을 하기 때문이다. 하나의 산소 공공은 두개의 캐리어를 생성하며, 주입된 산소의 양이 증가할수록 이 공공을 채워 결국 캐리어 농도가 감소하였다. 그러나 격자의 결함이 보완



(a) input current 0.2A



(b) input current 0.8A

Fig. 4. Optical properties of prepared ITO thin films.

됨으로 이동도의 증가를 유도하였다. 기존의 연구들을 보면 산소가스 분압이 낮을수록 비저항 특성이 좋게 측정된 것으로 보고되고 있으며[12], 본 연구에서는 Ar 20[sccm]에 대하여 산소가스 유량 0.2~0.4[sccm] 사이에서 가장 낮은 값이 얻어졌다.

그림 4(a)와 (b)는 투입전류 0.2A와 0.8A에서 제작된 ITO박막의 광투과율 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 순수한 Ar만으로 증착한 ITO의 경우 광투과율이 매우 낮은것을 알 수 있다. 이는 박막내의 산소 농도에 의한 것으로, 산소 농도가 감소할수록 광투과율이 낮아지는 것으로 알려져있다[13]. 300[nm] 부근의 차단영역이 이동하는 Burstein-Moss shift를 관찰할 수 있었는데, 이는 캐리어 농도의 변화에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다[14]. 산소가스 유량 0.2[sccm]이상이 증착된 ITO 박막은 모두 80% 이상의 광투과율을 보여주었다.

4. 결 론

본 연구에서는 FTS 장치를 이용하여 ITO 투명전도성 박막을 제작하였다. 투입전류와 산소가스 유량의 변화에 의한 구조적, 전기적, 광학적 특성을 알아보았다. ITO박막은 산소량과 투입 전류와는 독립적으로 모두 비정질의 막으로 성장하였다. 그러나 산소가스 변화에 의해서 전기적, 광학적 특성은 매우 민감하게 변화하였다. 산소가스 유량 0.2~0.4[sccm]의 낮은 값에서 비저항 특성이 양호하게 나왔다. 그러나 광투과율은 산소가스 유량이 높을수록 양호한 것으로 측정되었다. 투입전류 0.6A, 산소가스 유량 0.3[sccm]에서 제작된 ITO 박막의 경우 $4.27 \times 10^{-4} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 의 비저항값이 측정되었으며, 이때의 이동도와 캐리어농도는 각각 $22.2 [\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}]$ 와 $6.58 \times 10^{20} [\text{cm}^{-3}]$ 이었다. 상기 값은 현재 상용되고 있는 ITO와 비교할만한 값이다. 따라서 스퍼터를 이용하여 연성(flexible)기판이나 유기물 상에 ITO 박막을 증착하려 하는 경우 본 연구실의 FTS 장치가 적합하다고 사료된다.

참고문헌

1. Fukushi, Y., Kominami, H., Nakanishi, Y., and Hatanaka, Y., "Effect of ITO surface state to the aging characteristics of thin film OLED", Applied Surface Science, Vol. 244, Issues 1-4, p.537-540, (2005).
2. Kato, K., Takahashi, K., Suzuki, K., Sato, T., Shinbo, K., Kaneko, F., Shimizu, H., Tsuboi, N., Tadokoro, T., Ohta, S., "Organic light emitting diodes with nano-structured ultrathin layers at the interface between electron- and hole-transport layers", Current Applied Physics, Vol 5, Issue 4, p.321-326, (2005)
3. Freund, R. H., Gymer, R. W., Holmes, A. B., Nature, Vol. 397, p.121, (1999)
4. Wu, C. C., Wu, C. I., Sturn, J. C., Kahn, A., "Surface modification of indium tin oxide by plasma treatment: An effective method to improve the efficiency, brightness, and reliability of organic light emitting devices", Appl. Phys. Lett. 70, p. 1348-1350, (1997).
5. Zhang, K., Zhu, F., Huan, C.H.A., Wee, A.T.S., "Effect of hydrogen partial pressure on optoelectronic properties of indium tin oxide thin films deposited by radio frequency magnetron sputtering method", J. Appl. Phys. 86, p.974, (1999).
6. Sheu, J. K., Su, Y. K., Chi, G. C., Jou, M. J., Chang, C. M., "Effects of thermal annealing on the indium tin oxide Schottky contacts of n-GaN", Appl. Phys. Lett. 72, p.3317-3319, (1998).
7. Hoshi, Y., Kato, H., and Funatsu, K., "Structure and electrical properties of ITO thin films deposited at high rate by facing target sputtering", Thin solid films 445, p.245-250, (2003).
8. Ishibashi, K., Hirata, K., Hosokawa, N., "Mass spectrometric ion analysis in the sputtering of oxide targets", J. Vac. Sci. Technol. Vol. A10(4), p.1718-1722 (1992).
9. 금민중, 김경환 "대향타겟스퍼터링법에 의한 FBAR 용 AZO (ZnO:Al) 박막의 제작", 전기전자재료학회 논문지 17권 4호, p.442-445, (2004).
10. 금민중, 손인환, 최명규, 추순남, 최형욱, 신영화, 김경환 "FBAR용 ZnO/SiO₂/Si 박막의 결정학적 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 8호, p.711, (2003).
11. 김경환, 손인환, 금민중, "대향타겟식 스퍼터링에 의한 Co-Cr 박막의 제작", 전기전자재료학회논문지, 11권 5호, p.418, (1998).
12. Choi, C. G., No, K. S., Lee, W. J., Kim, H. G., Jung, S. O., Lee, W. J., Kim, W. S., Kim, S. J., Yoon, C., "Effects of oxygen partial pressure on the microstructure and electrical properties of indium tin oxide film prepared by d.c. magnetron sputtering", Thin Solid Films 258, p.274-278, (1995).
13. Wu, W.-F., Chiou, B.-S., and Semicond, S.-T., Sci. Technol., "Effect of sputtering power on the structural and optical properties of RF magnetron sputtered ITO films", Vol. 9, No. 6, p.1242, (1994).
14. Meng, L.J. and dos Santos, M.P., "Properties of indium tin oxide films prepared by rf reactive magnetron sputtering at different substrate temperature", Thin Solid Films 322, p. 56-62, (1998).