

PC 기판상에 제작된 ITO 박막의 특성

Characteristics of ITO Thin Films prepared on PC Substrate

조범진¹, 김경환^{1,a}

(Bum-Jin Cho¹ and Kyung-Hwan Kim^{1,a})

Abstract

The ITO thin films were prepared by facing targets sputtering (FTS) system on polycarbonate (PC) substrate. The ITO thin films were deposited with a film thickness of 100 nm at room temperature. As a function of sputtering conditions, electrical and optical properties of prepared ITO thin films were measure. The electrical and optical characteristics of the ITO thin films were evaluated by Hall Effect Measurement (EGK) and UV/VIS spectrometer (HP), respectively. From the results, the ITO thin films was deposited with a resistivity $8 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ and transmittance over 80 %.

Key Words : FTS, ITO, PC, OLED, Flexible

1. 서 론

최근의 디스플레이 분야의 급속한 발전으로 인해 디스플레이 소자의 투명전극인 TCO (transparent conducting oxide) 박막의 연구가 널리 진행되고 있다[1-5]. 특히 Indium Tin Oxide (ITO) 박막은 가시광 영역에서 광투과도가 높고 근적외선 영역에서는 광 반사도가 높을 뿐만 아니라 낮은 저항률을 가지고, 화학적 안정성이 뛰어나 다양한 분야에 응용되어 지고 있으며, 디스플레이 분야에서 많이 사용되어 지고 있다. 이러한 양호한 특성을 가지는 ITO 박막을 얻기 위해서는 통상적으로 기판가열이 필요하며, 스퍼터링시 타겟에서 방출되는 전자 혹은 방전가스에서 방출되는 산소 음이온에 기인하는 고 에너지 입자에 의한 기판 충격 때문에 고품위의 ITO 박막을 제작하는데 어려움이 따른다[1,2]. 또한 플렉시블 기판을 사용하는 경우 모든 공정을 실온에서 해야 하며, 증착입자의 에너지가 높아 플렉시블 기판의 휨 현상을 방지하기 위해 증착에 관여하는 입자들의 에너지를 낮춰야만 한다. 따라서 본 연구에서는 두 개의

타겟이 서로 마주 보며 기판은 플라즈마와 이격되어진 위치에 놓여, 저온에서도 고품위 박막을 제작할 수 있는 FTS장치[6-8]를 이용하여 ITO 박막을 PC 기판 상에 증착하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에서는 그림 1과 같은 구조의 facing targets sputtering (FTS) 장치를 사용하여 ITO 박막을 증착하였다. 일반적으로 사용되는 스퍼터법의 경우 박막을 증착하고자하는 기판의 위치가 플라즈마에 노출되는 공간상에서 이루어지기 때문에 플라즈마내 고에너지입자들의 기판 충돌로 인한 막 손상이 불가피하게 발생되어 고품위 박막 제작에는 한계가 있다. 또한 자계 발생수단이 타겟 표면을 국소적으로 가둔 공간자장을 형성하는 구조이므로 기판표면 방향으로 형성되어 있는 자력선에 구속된 높은 에너지 입자인 γ -전자가 증착 표면을 충돌하는 것에는 변함이 없다. 또한 스퍼터시 타겟으로부터 방출되는 음의 하전입자나 중성 입자(반발 Ar 원자)가 음극 강하부에서 부터 가속되기 때문에 타겟 인가전압에 상당하는 에너지를 얻게 되어 플라즈마로 입사하게 된다. 이러한 높은 에너지를 갖는 입자는 긴 평균자유행정을 갖기 때문에 에너지를 잃지 않은 상태로 플라즈마를 통과

1. 강원대학교 전기공학과

(경기도 성남시 수정구 복정동 산65)

a. Corresponding Author : khkim@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2006. 9. 18

1차 심사 : 2006. 12. 20

심사완료 : 2007. 1. 19

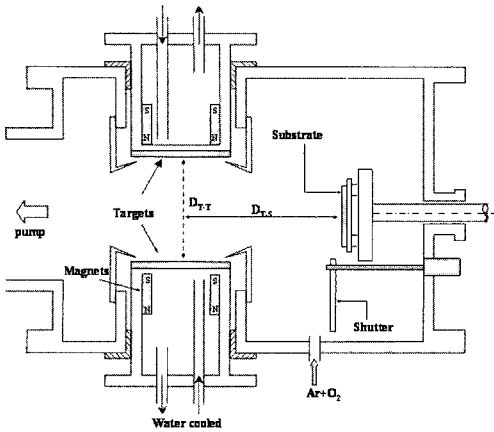


그림 1. 대향타겟식 스퍼터링 장치 개략도.
Fig. 1. Schematic diagram of FTS apparatus.

할 수 있고 이때 타겟과 마주보고 있는 전극에 높은 에너지를 가진 채로 충돌하게 된다. 특히 음이온은 질량이 크기 때문에 전자와 같이 자계에서 간단히 없앨 수가 없다. 또한 가스 입자와의 충돌에 의해 중성화되기 때문에 기판이 타겟과 마주보게 배치되어 있는 경우에는 이러한 음이온 등과 같은 고 에너지 입자들의 기판 충돌로 인한 막 손상을 받기 쉽다. 그러나 본 연구에서 사용된 FTS 장치는 기판의 위치가 플라즈마로부터 이격되어 있어 고에너지를 갖는 입자들의 막 충돌을 억제시킬 수가 있다. 또한 서로 마주 보고 있는 두 타겟의 chathode 전위로 인해 γ -전자는 두 타겟 사이를 왕복 운동하게 되며, 분위기 가스의 이온화율을 높게 된다. 따라서 낮은 가스압에서도 안정적인 방전을 유지하여 고품질의 박막을 증착할 수가 있다.

본 실험에서는 ITO 박막을 아르곤과 산소의 혼합가스[Ar:O₂ : 20:0.2 sccm] 분위기하에서 제작하였다. 기판으로는 polycarbonate(PC) 기판을 사용하여 증착하였으며, 모든 샘플의 기판 온도는 실온, ITO 박막의 두께는 100 nm로 하였다. 또한 두 타겟 사이의 플라즈마 구속 자계의 세기를 변화시켜 PC 기판의 손상을 줄이기 위해 두 타겟 간 거리를 100 mm와 70 mm로하여 ITO 박막을 제작하였다. 자세한 증착 조건은 표 1에 나타내었다. 제작되어진 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.

표 1. 스퍼터링 조건.

Table 1. Sputtering condition.

Parameters	Conditions
Targets	90 % In ₂ O ₃ - 10 % SnO ₂
Working gas	Ar, O ₂
Substrate	polycarbonate(PC)
Background pressure	2×10 ⁻³ mTorr
D _{T-T}	100, 70 mm
Working pressure	1 mTorr
Ar : O ₂ rate	20 : 0.2 sccm
Sputtering current	0.05, 0.1, 0.15, 0.2 A

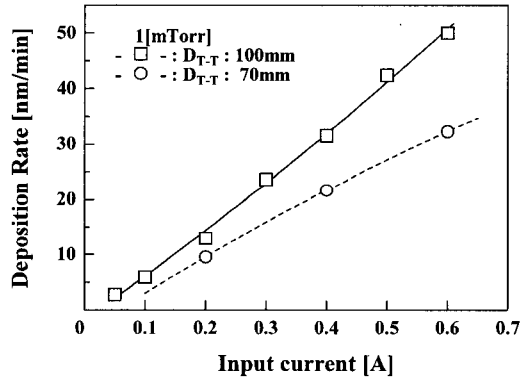


그림 2. 투입 전류 및 타겟간 거리 변화에 따른 ITO 박막의 증착율.

Fig. 2. Deposition rate of ITO thin film as a function of input current at distance of between two targets, 100 mm, 70 mm.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 투입 전류 및 타겟간 거리 변화에 따른 ITO 박막의 증착율을 나타낸 것이다.

그림 2에 나타난 바와 같이 투입 전류의 증가에 따라 증착율은 증가함을 보이고 있으며, 타겟간 거리가 70 mm에서 100 mm로 증가할 경우 타겟 사이의 구속 자계의 세기가 상대적으로 감소하여 플라즈마 내의 γ -전자의 구속 효율이 감소하게 된다. 따라서 타겟간 거리가 증가할수록 ITO 박막의 증착율 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3은 투입 전류를 증가시킨 경우 PC 기판의 변형을 보

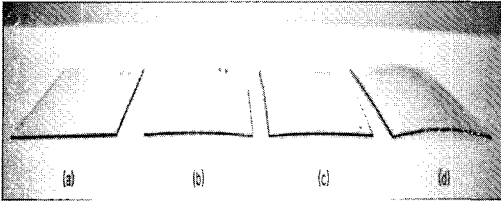


그림 3. 투입 전류 변화에 따른 기판 변형(a:0.05 A, b:0.1 A, c:0.15 A, d:0.2 A).

Fig. 3. Deformation of PC substrate with input current(a:0.05 A, b:0.1 A, c:0.15 A, d:0.2 A).

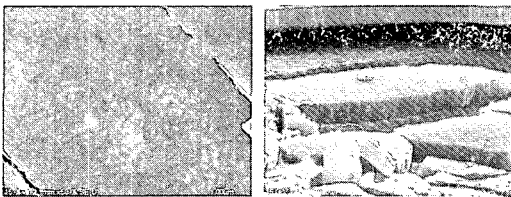
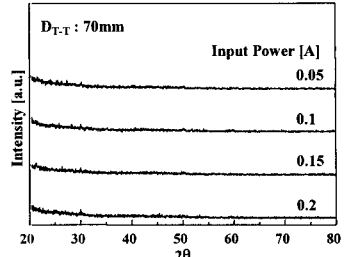


그림 4. 투입 전류 0.8 A에서 제작된 ITO 박막의 크랙 SEM 사진.

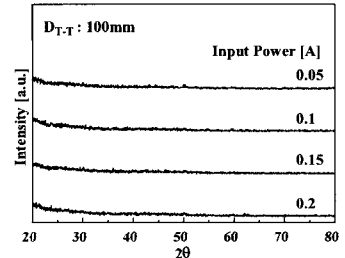
Fig. 4. SEM images of crack of ITO thin film prepared at high input current(0.8 A).

이는 사진이다. 그림에 나타난 바와 같이 ITO 박막 증착시 투입 전류의 증가는 기판에 도달하는 입자들의 에너지를 증가시켜 기판 표면에서 입자들 간의 충돌에 의해 국부적으로 온도를 증가시키게 되며 PC-ITO 박막과의 열팽창 계수의 차이로 인해 그림 4와 같이 ITO 박막의 균열이 발생함을 알 수 있다(투입 전류 0.8 A).

따라서 PC 기판상의 ITO 박막의 제작은 기판의 변형을 억제하기 위해 가급적 낮은 투입전류인 0.2 A 미만에서 하였다. 그림 5와 6은 0.2 A 미만의 투입 전류 변화에 따른 ITO 박막의 XRD 회절 패턴, 광투과율 및 전기적 특성을 나타낸 것이다. 그림 5에 나타난 바와 같이 투입 전류의 변화 혹은 타겟간 거리 변화에 따라 제작된 ITO 박막은 모두 비정질 상을 나타내었다. ITO박막을 상온에서 제작한 경우, 선행연구에서 박막의 두께가 증가하거나 혹은 후열처리를 통하여 결정성의 ITO박막을 얻을 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 비정질의 박막을 얻은 이유는 결정화되기에는 충분한 에너지가 공급되지 못하였으며, ITO 박막의 두께가 (100 nm) 얇기 때문으로 생각된다.



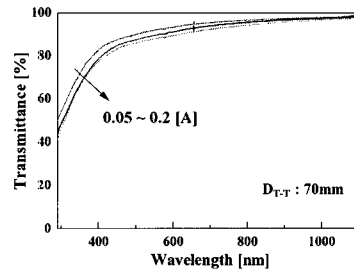
(a) $D_{T-T} : 70 \text{ mm}$



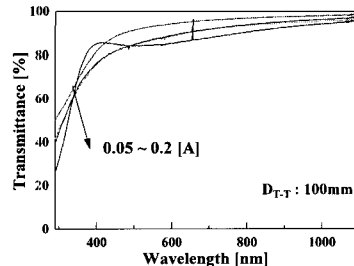
(b) $D_{T-T} : 100 \text{ mm}$

그림 5. 투입 전류 변화에 따른 ITO 박막의 XRD 회절 패턴.

Fig. 5. XRD patterns of ITO thin film prepared by input current.



(a) $D_{T-T} : 70 \text{ mm}$



(b) $D_{T-T} : 100 \text{ mm}$

그림 6. 투입 전류 변화에 따른 ITO 박막의 광투과율.

Fig. 6. Transparency of ITO thin film prepared by input current.

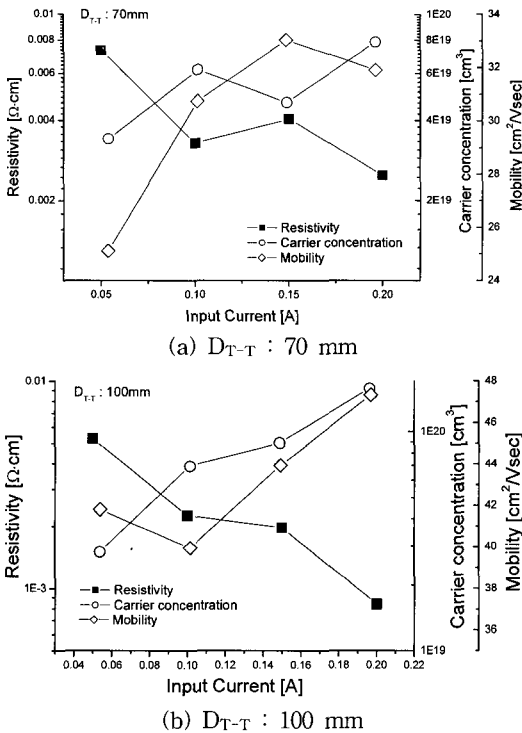


그림 7. 투입 전류 변화에 따른 ITO 박막의 전기적 특성.

Fig. 7. Electrical properties of ITO thin film prepared by input current.

그림 6의 광투과율은 그림에 나타난 바와 같이 가시광 영역에서의 투과율이 모두 80 % 이상을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 5와 6을 볼 때 박막의 결정성과 광투과율은 낮은 투입 전류 및 타겟간 거리 변화에 따라 큰 차이를 보이고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 ITO 박막 증착시 증착에 관여하는 입자들의 에너지가 PC 기판의 변형 및 박막의 특성 변화를 유도할 만큼 크지 않았기 때문에 사료된다.

그림 7은 동일 투입 전류 변화에 따라 제작된 ITO 박막의 전기적인 특성을 나타낸 그림이다.

그림 7에 나타난 바와 같이 투입 전류가 0.05 A에서 0.2 A까지 증가함에 따라 비저항이 감소함을 보이고 있다. 이는 투입 전류 증가에 따라 ITO 박막의 캐리어 농도와 이동도의 증가에 따라 비저항이 감소하였기 때문으로 생각된다. 이러한 캐리어 농도의 증가는 증착물 증가에 따라 기판에 도착한 입자들이 안정한 에너지의 위치로 찾아가기 전에

또 다른 입자들이 그 위에 증착되어 비확확양론적인 조성을 가지는 박막이 형성되고, 그에 따른 격자결합의 증가가 원인으로 생각된다. 또한 타겟간 거리가 100 mm인 경우가 70 mm에서 제작된 ITO 박막의 비저항 보다 낮았으며 투입 전류 0.2 A에서 $8 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 가장 낮은 비저항 값을 나타내었지만 큰 차이를 보이진 않았다. 이는 플라즈마 구속장계를 증가시키기 위해 기판의 거리를 감소시켜 제작하여도 투입 전류가 너무 낮기 때문에 ITO 박막의 특성 변화에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 FTS 스퍼터링 장치를 이용하여 ITO 투명전도성 박막을 제작하였다. 상기 결과에서 알 수 있듯이 실온에서 제작되어진 모든 ITO 투명전도막의 광투과율은 80 % 이상의 우수한 값을 가졌으며, 전기전도도, 캐리어 이동도 및 캐리어 농도는 약 $8 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, 캐리어 이동도 $4.7 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$, 캐리어 농도 $1.57 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 의 우수한 값을 나타내었다. 따라서 열팽창 계수 차이로 인해 플렉시블 기판으로의 적용이 쉽지 않은 PC 기판을 이용하여 양호한 특성을 갖는 ITO 박막을 제작할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 두뇌 한국 21 사업에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

[1] Y. Hoshi, H. Kato, and K. Funatsu, "Structure and electrical properties of ITO thin films deposited at high rate by facing target sputtering", *Thin Solid Films*, Vol. 445, p. 245, 2003.

[2] K. Ishibashi, K. Hirata, and N. Hosokawa, "Mass spectrometric ion analysis in the sputtering of oxide targets", *Journal of Vacuum Science & Technology A.*, Vol. 10, Iss. 4, p. 1718, 1992.

- [3] K. Tominaga, T. Ueda, T. Ao, A. Katkoka, and I. Mori, "ITO films prepared by facing target sputtering system", *Thin Solid Films*, Vol. 281-282, p. 194, 1996.
- [4] 김건희, 금민중, 김한기, 손인환, 장경욱, 이원재, 최형욱, 박용서, 김경환, "FTS법을 이용한 ITO 박막의 제작", *전기전자재료학회논문지*, 17권, 11호, p. 1230, 2004.
- [5] 추혜용 "Flexible OLED 기술 동향", *전기전자재료*, 17권, 8호, p. 13, 2004.
- [6] 금민중, 김경환, "대향타겟스퍼터링법에 의한 FBAR용 AZO(ZnO:Al) 박막의 제작", *전기전자재료학회논문지*, 17권, 4호, p. 442, 2004.
- [7] 금민중, 손인환, 최명규, 추순남, 최형욱, 신영화, 김경환, "FBAR용 ZnO/SiO₂/Si 박막의 결정학적 특성에 관한 연구", *전기전자재료학회논문지*, 16권, 8호, p. 711, 2003.
- [8] 김경환, 손인환, 금민중, "대향타겟식 스퍼터링에 의한 Co-Cr 박막의 제작", *전기전자재료학회논문지*, 11권, 5호, p. 418, 1998.