

## 인라인 스퍼터 시스템을 이용한 공정 압력의 변화에 따른 PC 기판상의 ITO 박막특성에 관한 연구

### Characteristics of ITO Thin Films Sputtered on Polycarbonate substrates at Various Pressures by In-line Sputter

안민형<sup>1</sup>, 조의식<sup>1</sup>, 권상직<sup>1,a</sup>

(Min Hyung Ahn<sup>1</sup>, Eui Sik Cho<sup>1</sup>, and Sang Jik Kwon<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Indium tin oxide(ITO) thin film was deposited at room temperature on polycarbonate(PC) substrate by in-line sputter system. ITO sputtering process was carried out at a various pressure for the reduction of ion damage on PC substrate and the electrical and the optical properties of deposited ITO films were obtained and analyzed. From the experimental results, the sheet resistances of as-deposited ITO films varied with a different pressure and the optical transmittances at visible wavelength were maintained above 85%. The results are considered to be related to the pressure of oxygen atoms as a reaction gas.

**Key Words** : ITO, Polycarbonate, In-line sputter, Pressure, Oxygen

#### 1. 서 론

평판 디스플레이용으로 지금까지는 주로 유리 기판 상에 증착되어온 투명 전도막은 Touch panel 등의 차세대 Display, 투명 전극 부품, 전자파 차폐막 재료 등으로 응용 범위를 넓혀 가면서 고분자 기판 위에 증착, 제작되는 경향을 보이고 있다. 대표적인 고분자 기판으로는 PC (polycarbonate), PES (polyethersulphone), PET (polyethylene), PMMA (polymethyl methacrylate) 등이 있으며 이러한 고분자 기판들은 유리 기판에 비해서 두께가 얇고(<200 μm), 가볍고 가격이 저렴하며 뛰어난 광투과율의 특성을 가지고 있다. 하지만 고분자 기판은 수분과 열에 약하여 차세대 디스플레이에서 Indium Tin Oxide (ITO) 등의 투명 전도막에

의한 전극 형성시 기판의 변형을 가져올 수 있다 [1-4]. 현재 사용되고 있는 대부분의 박막 증착 방식들은 300℃ 이상의 높은 온도나 공정 후 별도의 열처리 공정을 필요로 하기 때문에 유연성이 우수한 고분자 기판 및 필름 위의 박막 형성이 어렵고, 이는 아직까지 고분자 기판의 상용화에 가장 큰 걸림돌이 되고 있다. 또한 저온에서 증착 공정을 진행하는 경우 일반적으로 비정질 구조의 박막이 얻어지면서 전기 및 광학적 성질이 좋지 않은 경향을 보인다. 결국 이러한 문제점들을 해결하고 저온에서도 상대적으로 우수한 결정 특성을 보이는 박막을 얻기 위해서 사용되고 있는 증착방법으로는 마그네트론 스퍼터링 방법이 있는데, 기존의 다른 스퍼터링 방법과 비교시 매우 얇은 두께의 박막 증착이 가능하며, 균일성이 우수한 특성을 보인다 [5-7].

본 논문에서는 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 고분자 기판인 PC(polycarbonate)기판에 ITO 박막을 증착하였으며 실험시 실제 양산 라인에 사용되고 있는 인라인 방식의 스퍼터 장비를 사용하였다.

1. 경원대학교 전자공학과  
(경기도 성남시 수정구 복정동 산 65)  
a. Corresponding Author : sjkwon@kyunwon.ac.kr  
접수일자 : 2009. 7. 9  
1차 심사 : 2009. 8. 4  
심사완료 : 2009. 8. 17

## 2. 실험

본 실험에 사용한 인라인 스퍼터 (in-line sputter) 장비는 그림 1과 같이 구성되어 있다. 기판은 2 세대급인 370×470 mm<sup>2</sup> 사이즈의 유리 기판을 jig 에 장착하여 이송시키며, 이송속도는 30 ~ 150 cm/min 사이에서, 온도는 상온에서부터 최고 300℃까지 각각 조절 가능하다. 챔버는 load lock 챔버와 process 챔버로 구분되며 load lock 챔버에서는 1×10<sup>-3</sup>, process 챔버에서는 8×10<sup>-7</sup> torr의 진공도 값을 얻을 수 있다.

실험에 사용한 PC 기판은 jig 에 장착된 370×470 mm<sup>2</sup> 글라스 위에 붙여 사용하였으며, process 챔버 내 초기 진공도를 1×10<sup>-6</sup> torr 이하로 하였다. 박막 증착 전 ITO target 표면의 각종 이물질을 제거하고 방전의 안정화를 위해 3분간 pre-sputtering 을 실시하였다. 이후 플라즈마 생성 가스인 Ar 가스와 반응성 가스인 O<sub>2</sub> 가스를 주입하여 Mass flow controller(MFC) 에 의한 미세 조정으로 공정 압력을 설정하고 플라즈마를 발생 시킨 뒤 jig를 이송시켰다. 증착 온도는 상온 상태를 유지하였다. 실험에 사용된 ITO target 은 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>(90/10 wt%)의 조성 성분을 가지고 있다.

상온에서 증착된 PC 기판상의 ITO 박막의 특성으로 면저항 500±50 Ω/□, 면저항 uniformity 5% 이하, 투과율 87%이상(@500 nm)을 얻기 위하여 다양한 조건하에서 예비 실험을 수행하였고, 그 중 가장 최적의 공정 조건을 표 1에 나타내었다. 박막 특성의 변화에 영향을 주는 변수는 온도, 공정 압력, 가스의 비율, 인가되는 파워 등이 있으며 본 실험에서는 표 1의 공정 조건을 기본으로 하여 압력의 변화에 따라 ITO 박막의 두께, 투과율, 면저항이 어떻게 변하는지 알아보려고 하였다.

ITO 박막의 두께는 Tencor 사의 α-step 500 표면 분석기로 측정하였고, AIT사의 4-point probe 를 이용하여 면저항 값을 측정하였다. 또한, VIRIAN사의 UV-visible spectrometer를 사용하여 200~800 nm 영역의 파장에서 광투과도를 측정하였다.

표 1. ITO 박막의 공정 조건.

Table 1. Process conditions of ITO films.

Sputter conditions	Values
DC Power [kW]	1.5
Base Pressure [torr]	1×10 <sup>-6</sup>
O <sub>2</sub> : Ar gas flow rate	2.5/50 sccm
Moving Speed	120 cm/min

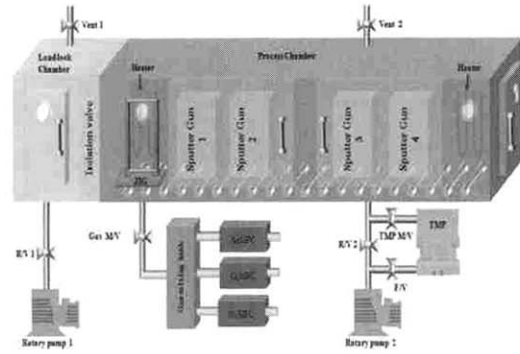


그림 1. 인라인 스퍼터 시스템 구조도.  
Fig. 1. Schematic of in-line sputter system.

## 3. 결과 및 고찰

DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 ITO 박막을 형성할 때 플라즈마 발생시 Ar과 O<sub>2</sub> 가스가 분해되어 형성된 음이온 중 일부가 전기장에 의하여 기판에 충돌, 증착 중인 박막에 손상을 가할 수 있다. 이는 박막의 비저항 증가와 충돌시 식각되는 특성 등의 문제를 야기시킨다. 따라서 본 실험에서는 음이온에 의한 기판 손상 현상을 줄이고자 공정시 압력의 변화를 주었다.

마그네트론 스퍼터링시 ITO 타겟을 형성하는 원소들만으로는 증착된 ITO 박막 내 산소 원자 부족할 가능성이 있다. 이러한 산소 원자 부족 현상은 저급 산화물인 In<sub>2</sub>O, SnO 또는 금속성 In, Sn 이 구성하는 ITO 박막 내 전자 밀도와 이동도의 감소로 인한 비저항 증가의 원인이 될 것이다. 식 (1)은 ITO 박막 형성시 산소가 충분하지 않을 경우의 반응식을 보여 주고 있다.

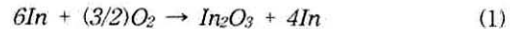


그림 2에서와 같이 공정시 압력의 변화에 따른 면저항의 변화를 보면, 압력이 3 mtorr 일 때 ITO 박막의 면저항 값이 661 Ω/□ 였지만 4 mtorr 일 때 급격히 낮아 졌다가 압력이 높아짐에 따라 다시 일정하게 증가하는 모습을 보여주고 있다. 이 결과는 3 mtorr 의 저압에서는 박막 형성시 추가적인 산소의 유입이 적을 경우 박막 내의 산소 부족 현상에 의하여 큰 비저항 값을 가지게 됨을 보여주고 있으며, 5 mtorr 이상의 압력에서는 필요 이상의 산소의 유입이 오히려 ITO 박막 내에서 전기적 결함으로 작용함으로써 비저항이 증가함을 보여주고 있다.

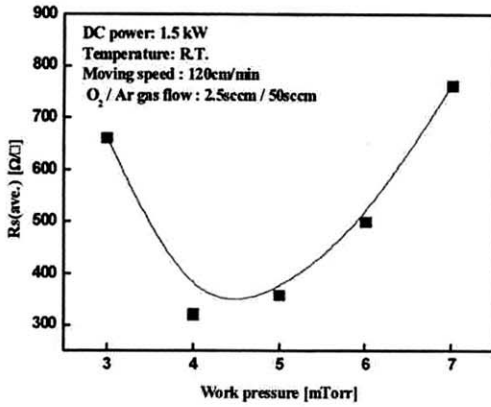


그림 2. 다양한 공정 압력상에서 스퍼터링된 ITO 박막의 면저항값.

Fig. 2. Sheet resistances of ITO film sputtered with a various pressure.

그림 3은 증착된 ITO 박막의 면저항 균일도를 보여준다. 균일도는 1~3% 사이의 값을 유지하며 370×470 mm<sup>2</sup> 사이즈 내 전체적으로 균일하게 ITO 막이 증착됨을 알 수 있다.

그림 4는 공정 압력에 따른 증착된 ITO 박막의 두께의 변화를 보여주고 있다. 압력이 높아짐에 따라 증착 속도가 증가함을 보이며 이는 스퍼터링 시 반응 가스의 압력에 따른 증착물의 향상과 관련 있음을 알 수 있다.

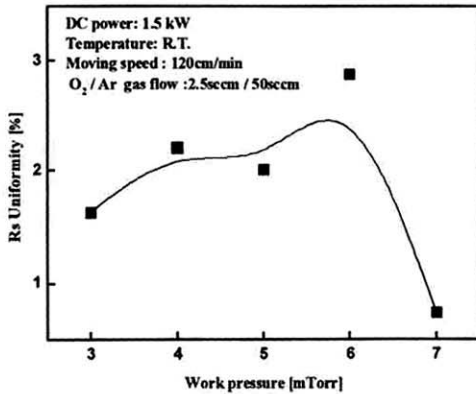


그림 3. 공정압력에 따른 증착된 ITO 박막의 면저항 균일도.

Fig. 3. Sheet resistance uniformity of ITO film deposited with different working pressure.

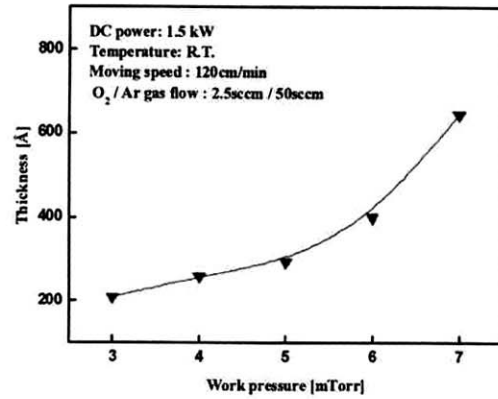
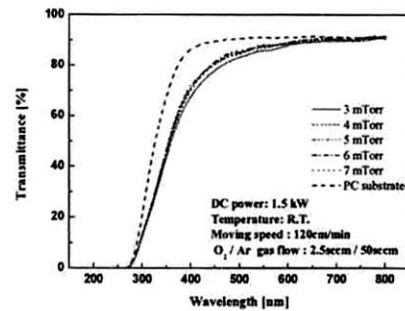
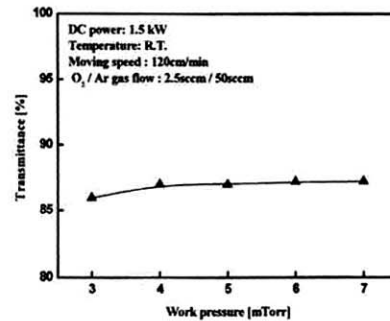


그림 4. 다양한 공정 압력상에서 스퍼터링된 ITO 박막의 두께.

Fig. 4. Thickness of ITO film sputtered with a various pressure.



(a)



(b)

그림 5. 공정압력에 따른 PC 기판에 증착된 ITO 박막의 (a) 200~800 nm 범위에 광투과도 곡선 및 (b) 550 nm이었을 때 광투과도.

Fig. 5. Optical transmittance of ITO film sputtered with a various pressure: (a) from 200 to 800 nm and (b) at 550 nm

그림 5는 PC기판에 증착된 ITO 박막의 압력 조건에 따른 광투과도의 특성을 나타낸다. 측정 결과 평균 85%이상의 광투과율을 보였으며 6 mtorr에서 가장 뛰어난 87%의 투과율을 나타내었다. 각 압력별로 투과율의 변화는 있으나 면저항, 두께 등 다른 특성과 비교시 투과율의 변화는 미미한 편이었다. 이는 투과율이 증착 과정에서 In과 Sn에 결합하는 산소에 의해 영향을 받기 때문에 4 mtorr 이상의 압력시 유입시킨 산소의 양이 박막 내에서 포화, 투과율 변화가 작은 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 2세대 급의 인라인 스퍼터 장비를 이용하여 다양한 공정 압력상에서 PC 기판 상에 ITO 박막을 증착하였다. 증착된 ITO 박막의 면저항과 두께는 압력에 따라 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 공정압력 6 mtorr에서 목표치에 부합된 면저항 500.7  $\Omega/\square$ , 면저항 uniformity 2.88% 이하, 투과율 87.16%(@500 nm)의 특성을 보이는 ITO 박막을 증착할 수 있었다. 또한 공정 압력이 4 mtorr이었을 때 최소 면저항 값 (320  $\Omega/\square$ )을 얻을 수 있었으며, ITO 박막의 투과도는 압력 변화에 거의 영향을 받지 않고 85% 이상을 유지함을 확인하였다. 면저항과 두께의 변화에도 투과율의 변화가 미미한 것은 투과율을 결정하는 요인인 산소와 알곤의 가스비율이 압력조건에 따라 변화 없이 일정한 비율로 실험이 진행되었기 때문에 박막내 산소 가스의 포화 현상이 발생, 면저항과 두께의 변화는 있었으나 투과율의 변화는 상대적으로 미미함을 확인하였다. 본 결과를 이용, 보다 고품위의 ITO film의 제조가 양산에 적용이 가능한 인라인 장비상에서 가능할 것으로 판단되며 터치패널 등 여러 용도로의 활용을 통하여 ITO film 제조기술의 개선에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

#### 감사의 글

본 연구는 경원대학교 GRRC에 의해 지원되었음. 또한 2009년도 경원대학교 지원에 의한 결과이기도 함.

#### 참고 문헌

- [1] A. Kulkarni, T. Lim, M. Khan, and K. Schilz, "Electrical, optical, structural properties of indium-tin-oxide thin films deposited on PET substrates by rf sputtering", J. Vac. Sci. Technol., Vol. A16, p. 1636, 1998.
- [2] T. Karasawa and Y. Miyata, "Electrical and optical properties of ITO thin films deposited on unheated substrates by dc reactive sputtering", Thin Solid Films, Vol. 223, p. 135, 1997.
- [3] P. Lippens, et al, Thin Solid Films, Vol. 317, p. 405, 1998.
- [4] 조범진, 김경환, "PC 기판상에 제작된 ITO 박막의 특성", 전기전자재료학회논문지, 20권, 2호, p. 162, 2007.
- [5] W. Wu and B. Chiou, "Deposition of indium tin oxide films on polycarbonate substrates by radio-frequency magnetron sputtering", Thin Solid Films, Vol. 298, p. 221, 1997.
- [6] T. Minami, H. Sonohahra, T. Kakumu, and S. Takata, "Physics of very thin ITO conducting films with high transparency prepared by dc magnetron sputtering", Thin Solid Films, Vol. 270, p. 37, 1995.
- [7] N. Danson, I. Safi, G. Hall, and R. Howson, "Techniques for the sputtering of optimum indium-tin-oxide films on to room-temperature substrates", Surf. Coatings Technol., Vol. 99, p. 214, 1998.