

# 저온 Roll-to-Roll 스퍼터 시스템을 이용하여 PET 기판위에 성막 시킨 ITO 박막의 전기적, 광학적, 구조적 특성

조성우, 배정혁, 최광혁, 문종민, 정진아, 정순욱, 김한기

금오공과대학교 나노정보소재공학과

## Characteristics of amorphous indium tin oxide films on PET substrate grown by Roll-to-Roll sputtering system

Sung-Woo Cho, Jung-Hyeok Bae, Kwang-Hyuk Choi, Jong-Min Moon, Jin-A Jeong, Soon-Wook Jeong, and Han-Ki Kim

Kumoh National Institute of Technology

**Abstract :** This paper reports on the deposition conditions and properties of ITO films used as electrode layer in a organic light emitting diodes on a PET substrate. The deposition technique employed was specially designed roll-to-roll sputtering. The oxide was deposited at room temperature in an argon and oxygen plasma on a transparent conducting ITO layer on a PET film. The influence of deposition parameters such as DC power, working pressure and oxygen partial pressure has been investigated, in order to obtain the best compromise between a high deposition rate and adequate electro-optical properties. Electrical and optical properties of ITO films were analyzed by Hall measurement examinations with van der pauw geometry at room temperature and UV/Vis spectrometer analysis, respectively. In addition, the structural properties and surface smoothness were measured by x-ray diffraction and scanning electron microscopy, respectively. From optimized ITO films grown by roll-to-roll sputter system, good electrical( $6.44 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ ) and optical(above 86 % at 550 nm) properties were obtained. Also, the ITO films exhibited amorphous structure and very flat surface because of low deposition temperature.

**Key Words :** Roll-to-Roll, ITO, PET, flexible display.

### 1. 서론

최근 급속한 정보화 기술의 진전으로 언제 어디서나 정보를 접할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 시대로 접어들면서 다양한 정보를 전달하는 정보 전달 매체로 가볍고 휴대가 간편한 플렉시블 디스플레이로의 관심이 고조되고 있다. 플렉시블 디스플레이의 핵심기술은 저가의 디스플레이를 제작하는 공정기술에 있다. 기존의 plate-to-plate의 디스플레이 제작 공정은 대량의 고속 디스플레이 제작이 어렵기 때문에 Roll-to-Roll로 대변되는 고속 성막 방식이 필요하게 된다.

플렉시블 디스플레이 기판 재료로는 대량생산이 가능하며 광학적 특성이 우수한 PET가 부각되고 있다. 하지만 상용화되고 있는 c-ITO 전극의 경우 전기적, 광학적 특성을 얻기 위한 고온공정이 필수임으로 고분자 기판의 적용을 위한 저온 성막공정 기술이 필요한 실정이다. 저가의 대량 생산과 저온 공정에 적합한 Roll-to-Roll 성막기술의 확보는 플렉시블 디스플레이의 대형화 및 양산화를 위한 해결책으로 주목받고 있다.[1] 이에 본 연구에서는 특수 제작된 플렉시블 디스플레이용 저온 Roll-to-Roll 스퍼터 장비를 이용하여 ITO 투명전극을 PET 기판 위에 성막 하였으며 플렉시블 디스플레이용 애노드로써의 그 특성을 관찰 하였다.

### 2. 실험

특수 제작된 Roll-to-Roll 스퍼터 시스템을 이용하여 PET 기판 상에 ITO 애노드 박막을 성막하였다. 타겟은 성막율과 박막의 균일도 향상을 위해 rectangle type을 장착 했으며 기판의 rolling 제어와 텐션조절을 위한 rolling 속도 조절 장치와 텐션 제어 장치를 각각 장착하였다. 또한 성막시 PET 기판의 플라즈마 노출에 의한 데미지를 최소화하기 위해 증착이 이루어지는 main drum부분의 cooling system을 추가로 구축하였다. 성막 중 타겟과 기판간의 거리는 100 mm로 고정하였으며 base pressure는  $5 \times 10^{-6}$  Torr이하로 진공도를 유지하였다. 인가된 DC power (100~500 W)와 Ar/O<sub>2</sub> 가스 유량 비 (30/1~30/4 sccm) 그리고 Rolling speed (0.04~0.1 cm/sec)를 변수로 실험을 각각 진행 하였으며, 성막된 ITO박막의 최종 두께는 170 nm로 하였다. 최초 모든 변수별 실험은 rolling 정지 성막으로부터 그 특성을 관찰 하였으며 이후 rolling 공정으로 적용되었다. 성막된 ITO 박막의 최적화 과정 중 박막의 전기적 특성을 관찰 하기 위해 Hall measurement를 이용하여 인가된 전압과 공정 압력 변화에 따른 전기적 특성을 분석 하였으며, 광투과도 측정을 위해 UV/Vis spectrometer를 사용하여 Ar/O<sub>2</sub>유입에 따른 광학적 특성을 분석하였고, XRD와 SEM을 이용하여 Ar/O<sub>2</sub>유입과 인가된 전압 그리고 공정 압력에 따른 구조적 특성을 분석 하였다.

### 3. 결과 및 검토

그림 1은 3 mTorr의 작업 압력, 100 mm의 기판과 타겟간 거리, 400 W의 DC power에서 기판의 rolling 없이 성막한 ITO 박막의 Ar/O<sub>2</sub> 가스 유량 비 변화에 따른 면저항 및 비저항 결과이다. 산소의 양이 증가할수록 면저항 및 비저항이 증가하는 것을 알 수 있었으며 특히 산소의 양이 1 sccm 이상일 경우 전기적 특성이 현저히 저하 되는 것을 확인 할 수 있었다. 일반적으로 산소 공공(oxygen vacancy)의 경우 전자 2개를 생성해 ITO 박막의 전도성 향상에 기여하는 주요 인자로 작용하는데 산소의 양이 증가하면서 산소의 공공 자리에 산소 원자가 채워져 전기적 특성이 저하된 것으로 사료된다.[2]

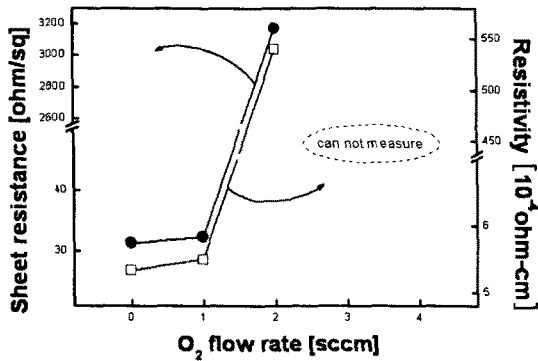


그림1. Sheet resistance and resistivity of ITO films grown by Roll-to-Roll sputter system as functions of Ar/O<sub>2</sub> flow ratio

그림 2는 Ar/O<sub>2</sub>의 가스 유량 비 변화에 따른 투과율 결과를 나타낸다. 저온 공정으로 박막을 성막 했음에도 불구하고 모든 ITO 박막으로부터 가시광선(500~550 nm)영역에서 80 % 이상의 높은 투과율을 얻을 수 있었다. 일반적인 결정질 ITO 박막의 경우 우수한 광학적 특성을 얻기 위해 미량의 산소 주입과 동시에 높은 공정 온도를 필요로 하지만 저온 Roll-to-Roll 스퍼터로 성막된 ITO 박막의 경우 저온에서도 우수한 광학적 특성을 얻을 수 있어 플렉시블 디스플레이로의 적용 가능성을 보여 주었다.

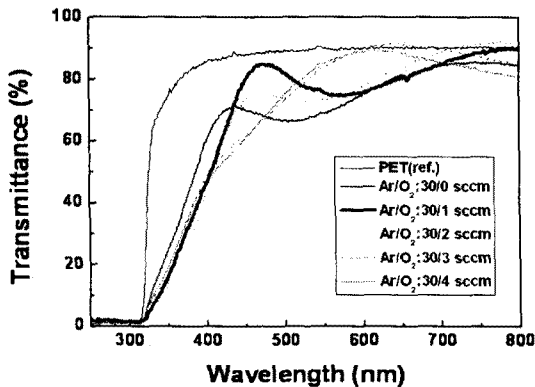


그림2. Transmittance of ITO films grown on flexible PET substrate as functions of Ar/O<sub>2</sub> flow ratio

그림 3는 400 W의 DC 파워, 3 mTorr의 작업 압력, 100

mm의 기판과 타겟간 거리 에서 기판의 rolling 없이 성막한 ITO 박막의 Ar/O<sub>2</sub>의 가스 유량 비 변화 따른 XRD 분석 결과이다. Main drum의 cooling 을 통한 저온 성막 공정으로 박막을 성막 하였기 때문에 모두 비정질 구조의 특성을 나타내었다. 플렉시블 디스플레이의 실현을 위해선 최종 제작된 소자를 bending 했을 때 소자의 특성이 그대로 유지되어야 하는데 일반적인 결정질 ITO의 경우 소자의 bending 시 박막 결정의 크랙 현상으로 인해 전기적 특성이 저하된다. 본 연구에 사용된 저온 Roll-to-Roll 스퍼터를 이용하여 제작한 ITO 박막의 경우 저온 공정으로 인한 비정질 구조의 특성을 가짐에도 불구하고 기존의 ITO 박막과 유사한 전기적 특성을 가지고 있어 플렉시블 디스플레이로의 적용 가능성을 나타내었다.

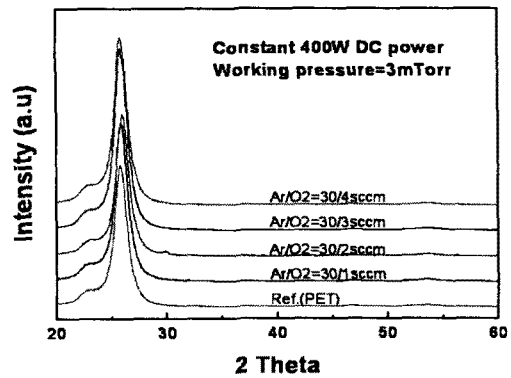


그림3. XRD results for ITO films grown on flexible PET substrate as function of Ar/O<sub>2</sub> flow ratio

#### 4. 결론

본 실험에서는 직접 제작한 저온 Roll-to-Roll 스퍼터 시스템을 이용하여 플렉시블 PET 기판위에 ITO 박막을 성막 하였으며, 성막된 박막의 전기적, 광학적, 구조적 특성을 연구하였다. 저온 공정으로 인하여 비정질 구조의 특성을 나타내었음에도 불구하고 기존의 c-ITO와 유사한 전기적 특성을 나타내었고 최적화된 ITO 박막으로부터 가시광선 500~550 nm 영역에서 최고 86 % 이상의 높은 투과율을 나타냄으로써 현재 평판 디스플레이 및 광전소자용 전극으로 사용되고 있는 c-ITO 박막을 대체 할 수 있을 것으로 사료되며 저온 Roll-to-Roll 스퍼터를 이용한 플렉시블 투명전극의 대량생산 가능성을 보여 주었다.

#### 참고 문헌

- [1] Li-Jang Meng, M.P. dos Santos, "Properties of indium tin oxide films prepared by rf reactive magnetron sputtering at different substrate temperature", Thin Solid Films 322, 56-62 (1998).
- [2] Radhouane Bel Hadj Tahar, Takyuki Ban, Yutaka Ohya, Yasutaka Takahashi, "Tin doped indium oxide thin films:Electrical preperities" J. Appl. Phys. 83, 2631-2643 (1998)