

# 유연 투명 전극의 신뢰성 및 고장 모드 연구

## Study of reliability and failure mode of flexible transparent electrode

\*은경태<sup>1</sup>, #좌성훈<sup>1</sup>, 오세인<sup>2</sup>, 장덕진<sup>2</sup>, 김민수<sup>1</sup>, 강재욱<sup>3</sup>, 김도근<sup>3</sup>, 임경아<sup>3</sup>  
 \*K. T. Eun<sup>1</sup>, S. H. Choa(shchoa@seoultech.ac.kr)<sup>1</sup>, S. I. Oh<sup>2</sup>, D. J. Jang<sup>2</sup>, M. S. Kim<sup>1</sup>,  
 J. W. Kang<sup>3</sup>, D. G. Kim<sup>3</sup>, K. A. Lim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원, <sup>2</sup>서울과학기술대학교 기계설계자동화공학부,  
<sup>3</sup>재료연구소 기능박막부

Key words : Flexible electrode, Reliability, Transparency electrode, Outer bending

### 1. 서론

휴대용 기기의 사용 및 보관 편리성에 대한 관심이 높아짐에 따라 flexible device 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 또한 유연소자에 사용될 투명전극으로 투명 전도성 산화물 (TCO) 인 indium tin oxide (ITO) 등이 제시되고 있다. ITO 박막은 평판 디스플레이, 터치 패널, 박막 태양전지 등 다양한 디스플레이 산업전반에 걸쳐 광전자 소자의 투명전극으로 널리 사용되고 있다. 투명 전극으로 널리 사용되고 있는 ITO 박막을 제조하는 방법으로는 화학적 반응을 수반하는 화학기상 증착법과 물리 증착법이 있다. 물리적 증착 방법 중에서도 고속으로 박막 제조가 가능한 magnetron sputtering 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 일반적인 magnetron sputtering 방법으로 ITO 막을 제조할 경우에는 음이온 충격에 의한 ITO 막 손상으로 인한 저항이 증가된다. 또한 유연소자 분야에서 유기물 위에 증착 시 유기물이 손상되는 단점이 있다. 일반적으로 ITO 박막 성능은  $10^{-4}$  Ωcm 정도의 비저항과 가시광선 영역에서 80% 이상의 투과도가 요구된다.[1]

따라서 본 연구에서는 플라즈마에 의한 막 손상을 방지하기 위해 저전압 구동과 동시에 고품질 ITO 박막을 빠르게 형성하기 위한 RF/DC 동시 인가 magnetron sputtering 법을 통해 PET 기판 위에 ITO를 다양한 두께로 증착 하였고, 증착된 ITO 박막의 광학적 특성을 측정하고 전기적, 기계적 연구를 수행 하였다.

### 2. 박막 공정 및 준비 과정

본 실험에서 사용된 ITO 박막 증착 방법은  $In_2O_3 \cdot SnO_2$  (9 : 1 wt%) 비율의 6" 크기 target 을 사용하고, RF sputtering 과 DC magnetron sputtering 혼용 방식을 통해 PET 기판 위에 ITO 를 증착 하였다. PET 기판의 크기는 25 x 25 mm<sup>2</sup> 이며, 기판 중앙에 ITO 를 10 x 10 mm<sup>2</sup> 로 증착 하였다. PET 기판의 두께는 각각 50, 100, 188 um 를 사용하였고, ITO 의 두께는 각각 20 nm, 50 nm, 100 nm, 150 nm 로 증착 하였다. 박막 및 기판의 두께 별로 증착된 ITO 박막의 transparency 는 평균 약 85 % 로 측정 되었고, 비저항은 Table.1 과 같이 측정 되었다.

### 3. ITO 박막의 전기적, 기계적 성능 평가

Fig. 1 (a) 에서 보여지는 개념도와 같이 outer bending 실험을 진행 하였다. Fig. 1 (b) 의 기계적 신뢰성 장비를 자체 제작하여 outer bending 실험을 진행 하였다. 또한 ITO 박막의 crack 판별은 4-point probe station 을 이용하여 저항 변화를 측정하였다. 동시에 광학 현미경을 이용하여 ITO 의 crack 발생 유무를 확인 하였다. ITO 박막이 굽혀졌을 때 bending

Table. 1 Specific Resistance [UNIT : Ωcm]

PET 두께	박막두께			
	20 nm	50 nm	100 nm	150 nm
50 um	4.32E-04	3.82E-04	3.46E-04	3.65E-04
100 um	4.48E-04	3.39E-04	3.42E-04	3.61E-04
188 um	4.39E-04	3.97E-04	3.26E-04	3.97E-04

radius 는 식 (1) 에 제시 하였고, 표면의 strain 값은 식 (2) 에 제시 하였다.[2]

$$\text{Bending radius} = \frac{L}{2\pi \sqrt{\frac{dL}{L} - \frac{\pi^2 h_s^2}{12L^2}}} \quad (1)$$

$$\text{Strain} = \frac{h_s}{2 \times (\text{Bending radius})} \quad (2)$$

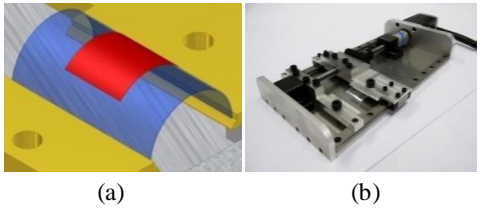


Fig. 1 Schematic of (a) outer bending, (b) mechanical reliability machine

#### 4. 실험 결과 및 검토

Table 2. 는 PET 기판 및 박막 두께에 대한 ITO 박막의 crack 직전 critical bending radius 를 보여주고 있다. PET 기판과 박막의 두께가 두꺼울수록, ITO 박막에 crack 이 빨리 발생 하였음을 알 수 있다. Table 3. 는 Table 2. 와 동일한 실험 조건일 때 strain 값을 나타내고 있다. 박막과 기판의 두께가 두꺼울수록 박막의 crack 이 쉽게 발생 할 수 있다는 것은 strain 을 통해서도 알 수 있다. 이는 두께가 박막에 미치는 영향이 크다고 판단된다.

Fig. 2 (a) 는 기계적 신뢰성 실험 전 박막의 초기 모습 이다. outer bending 시험 시 박막은

인장 성분의 힘을 받게 된다. Fig. 2 (b) 는 기계적 신뢰성 시험 후의 박막의 모습이다. Crack 은 bending 방향의 수직으로 발생되었다. 이는 PET 기판을 outer bending 시킴으로 인하여 기판표면에 작용하는 힘이 ITO 박막에 인장 성분으로써 작용하였다고 판단된다.

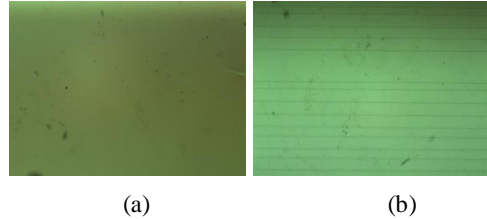


Fig 2. Mechanical reliability test (a) ITO of initial, (b) outer bended ITO

#### 5. 결론

본 연구에서는 RF/DC sputtering 으로 제작된 ITO 의 신뢰성에 대해서 연구하였다. 광학적 시험 결과 약 85 % 의 투명도를 보였고, 전기적 실험 결과 기존 ITO 의 비저항 보다 약 6.19E-04 Ω cm 낮은 결과를 얻을 수 있었다. 기계적 신뢰성 실험 결과 기판과 박막 두께가 얇을 경우 기판의 strain 은 증가 하지만, 박막의 bending 성능이 향상 되는 것을 알 수 있었다. 향후 유연소자와 같은 device 에 적용함에 있어서 기판 및 박막 두께를 고려하여 적용해야 한다고 판단된다.

#### 후기

“본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업 (B551179-10-01-00) 의 연구비 지원으로 수행 되었습니다.”

#### 참고문헌

1. Y. Hoshi, et al, Structure and electrical properties of ITO thin films deposited at high rate by facing target sputtering, Thin Solid Films, 411 (2002) 36
2. S.I. Park, et al., Theoretical and Experimental Studies of Bending of Inorganic Electronic Materials on Plastic Substrates, Adv. Funct. Mater. 18 (2008) 2673 - 2684

Table. 2 Critical crack point about bending radius

PET 두께	박막두께			
	20 nm	50 nm	100 nm	150 nm
50 um	No crack	2.5 mm	3 mm	4.5 mm
100 um	No crack	3.5 mm	4.5 mm	5 mm
188 um	5.5 mm	7 mm	7.5 mm	8 mm

Table. 3 Critical crack point about strain

PET 두께	박막두께			
	20 nm	50 nm	100 nm	150 nm
50 um	No crack	1 %	0.833 %	0.556 %
100 um	No crack	1.429 %	1.111 %	1 %
188 um	1.709 %	1.343 %	1.253 %	1.175 %