

액정표시소자용 ITO 투명전극의 특성에 관한 연구

김호수\*, 김도영\*, 최병균\*\*, 구경완\*\*, 한상옥\*  
 충남대\*, 영동대\*\*

Transparent Conductive ITO thin films for Liquid Crystal Display

H. S. Kim\*, D. Y. Kim\*, B. K. Choi\*\*, K. W. Koo\*\*, S. O. Han\*  
 Chungnam Nat'l Univ.\*, Youngdong Univ.\*\*

**Abstract** - Coatings on glass with highly transparent conducting oxide films(TCOs) are performed mostly by using indium tin oxide(ITO). This Oxide material is very common for applications where both high electrical conductivity, photovoltaic cells, transparent electrical heater, selective optical filter, and a optical transmittance are essential. In this study, ITO thin films were deposited on SiO<sub>2</sub>/soda-lime glass plates by a dc magnetron sputtering technique. The crystallinity and electrical properties of the films were investigated by X-ray diffraction(XRD), atomic force microscopy(AFM) scanning and 4-point probe. The optical transmittance of ITO films in the range of 300-800nm were measured with a spectrophotometer. As a result, we obtained polycrystalline structured ITO films with (222), (400), and (440) peak. Transmittance of all the films were higher than 90% in the visible range.

1. 서 론

액정 표시용 투명 도전막에는 SnO<sub>2</sub>와 ITO(Indium Tin Oxide)가 있다. SnO<sub>2</sub> 막은 물리적 강도, 화학적 및 열적 안정성이 우수하고 자외선 영역까지 투과시키는 우수한 광학 특성을 가지고 있으나 고유저항이 비교적 크고, Photo lithograph법에 의한 전극가공의 난점이 있어 낮은 저항을 필요로 하는 미세 패턴의 투명전극으로서의 사용하기에 어려움이 있다. 이에 반해 InO<sub>3</sub>에 5~10% 정도의 SnO<sub>2</sub>를 첨가한 ITO는 SnO<sub>2</sub>에 비해 실용에 적용할 수 있는 화학적 안전성과 열적 안정을 가지고 있으며, 전극 패턴 가공성이 용이하여 액정표시소자(LCD)의 투명전극으로 사용될 뿐만 아니라 전자부미네스트(ELD), 전자크로믹표시소자(ECD), 태양전지, 혹은 EC조광장치 등에 폭 넓게 이용되고 있다.<sup>1-3)</sup>

투명전극으로 사용되기 위해 필요한 막의 특성은, 표시소자의 사용목적, 기능, 제조 Process상에 따라 중요성이 다르지만, 액정표시 Cell의 구성이나 제조방법의 특수한 경우를 제외하고, 액정표시용 투명 도전막으로써 일반적으로 고려되는 특성은 면적저항, 투과율, 내열성, 내알카리성, Etching 특성, 전기 화학적 안전성, 막표면형상, 막부착강도, 막경도, 막두께 등이다.<sup>4)</sup>

액정 디스플레이를 제작하기 위해 액정물질을 단순히 glass기판사이에 채우는 것만으로는 액정 분자의 균일한 배향 형성 및 정상적인 액정 구동이 불가능하고, 균일한

display 특성을 가질 수 없다. 그 때문에, 기판내벽에 배향막을 형성하게 되며, 배향막 형성 공정은 고분자 박막형성과 Rubbing 공정, 그리고 고분자 박막의 세정까지 이루어진다. 액정 디스플레이에 있어서 ITO 박막은 TFT array층의 독립한 각 화소전극과 마주보는 배향면의 공통전극으로 사용되고 있다.<sup>5-7)</sup>

본 연구에서는 액정 표시소자용 투명전극이 구동소자의 구조 및 하지의 재질에 의해 예칭특성이 우수한 비정질막이 요구됨에도 불구하고 배향막 인쇄공정 후 ITO막의 저항률 및 예칭특성의 재현성이 용이하지 않음을 알고, ITO막을 공정조건에 따라 달리 제작하여, 전기적, 구조적, 광학적 특성을 분석하였다.

2. 실험 및 결과

2.1 시료의 제작

본 연구에서는 공정조건에 따른 ITO막의 특성변화를 관찰하기 위해 SiO<sub>2</sub>가 1000Å 코팅된 ASAHI사의 1.1mm 두께의 SLG(soda-lime silicate glass) 평판 유리 위에 시료를 증착 하였으며, dc magnetron sputtering 법을 이용하여 각각 380Å, 700Å으로 두께를 조절하여 ITO막의 저항값이 대략 30, 80, 100(Ω/□)가 되도록 하였다. 이후 생산공정과 동일하게 Polyimide 배향막을 형성하였으며, 배향막 형성조건과 동일한 조건으로 열처리하기 위해 convection oven에서 clear air 분위기 속에 그림 1과 같은 조건으로 120분 동안 270°C에서 열처리를 하였다. 따라서, 열처리와 배향막 형성이 되지 않은 initial-ITO, 배향막과 동일한 조건에서 열처리된 after-ITO, 배향막이 형성된 polyimide-ITO를 제작하였다. 시료의 조건에 따른 특성변화를 관찰하기 위하여, X-ray diffraction, 4-point probe, atomic force microscopy, spectrophotometer를 사용하여 구조적, 전기적, 광학적 특성 및 표면변화를 분석하였다.

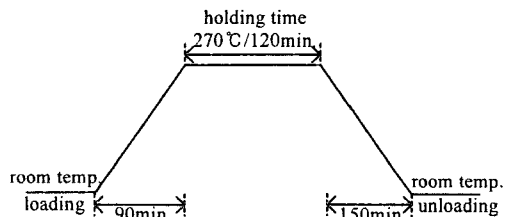


그림 1. Convection oven의 열처리 조건

## 2.2 제작된 시료의 특성

그림 2는 배향막 형성과 배향막 형성시 사용되는 열처리 조건에 따른 ITO박막의 전도도를 알아보기 위해 4-point probe로 면적저항률을 측정된 결과를 보인 것이다.  $30\Omega/\square$ ,  $80\Omega/\square$ ,  $100\Omega/\square$  모두에서 아무런 처리를 하지 않은 initial-ITO 보다 배향막이 형성된 polyimide-ITO에서 저항률이 크게 증가함을 알 수 있다. 또한 열처리에 따른 after-ITO의 저항률도 크게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 저항률의 증가폭이 polyimide-ITO와 after-ITO가 비슷한 결과를 보이는 것으로 미루어 볼 때, 배향막 형성에 따른 원인이 아닌 열처리 과정 중 공기중의 산소가 제작된 박막 속으로 확산되어 들어가 화학양론적인  $\text{In}_2\text{O}_3$  산화막 구조에 가까워지게 되므로 저항률이 증가한 것으로 생각된다.<sup>(8)</sup>

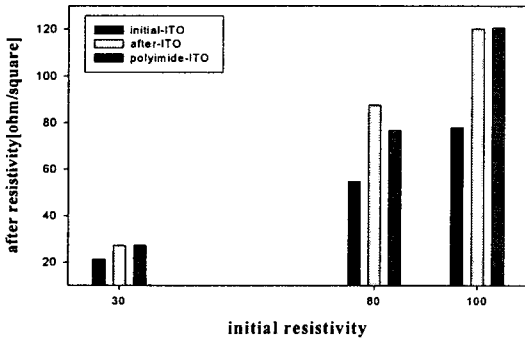


그림 2. 시료에 따른 ITO 박막의 저항률 변화

그림 3는 위에서 나타낸 조건에 의해 제작된 ITO박막의 X선 회절 패턴을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 배향막 형성과 열처리에 의해 회절피크가 크게 변화되지 않음을 알 수 있으며, 조건에 관계없이  $\text{In}_2\text{O}_3$ 에 해당하는 입자가 존재하고 있음을 알 수 있는 회절 피크(222), (400), (440)면이 나타남을 볼 수 있다<sup>(9)</sup>. 이는 배향막 형성 공정에 따른 Polyimide막의 형성이 ITO박막의 결정변화에 영향을 미치지 않는 것으로 생각되며, 또한 배향막 형성시의 열처리 조건도 ITO의 결정변화에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

그림 4는 그림 2와 그림 3에서 사용된 동일한 시료에 대하여 UV- visible spectrophotometer로 300~800 nm의 파장 범위에서 광 투과율을 측정된 것이다. 먼저 initial-ITO의 시료에 대한 투과율을 측정하였으며, 이를 polyimide-ITO와 after-ITO 박막 투과율에 대한 background로 사용하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 전체적으로 자외선 영역에서부터 blue 영역까지는 서서히 투과율이 증가하고 있으며, 그 이상의 파장에서는 거의 일정한 투과율이 나타내고 있으며, 배향막 형성과 열처리에 의한 시료에서 투과율이 다소 감소하는 경향을 나타내고 있으며 이는 열처리에 의한 그림 2에서와 같은 저항률의 증가와 같은 이유로 판단되며, 그림 5에서 볼 수 있는 표면의 거칠기 변화에 따른 것으로 생각된다.

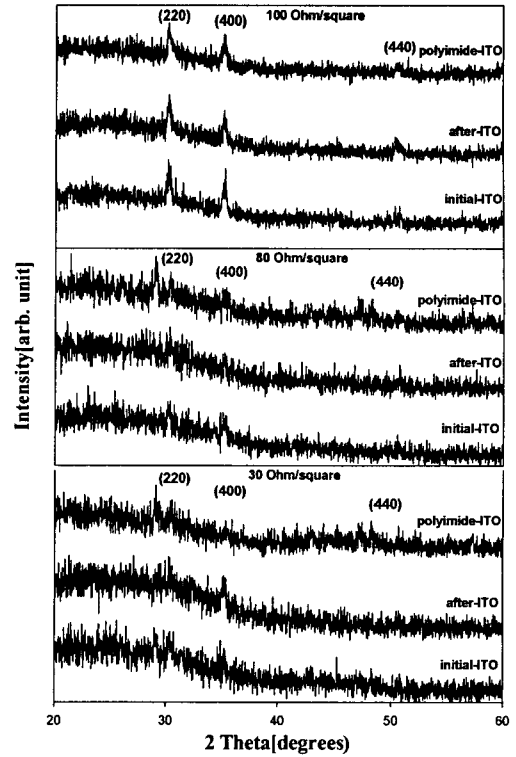


그림 3. 시료에 따른 ITO 박막의 XRD 패턴

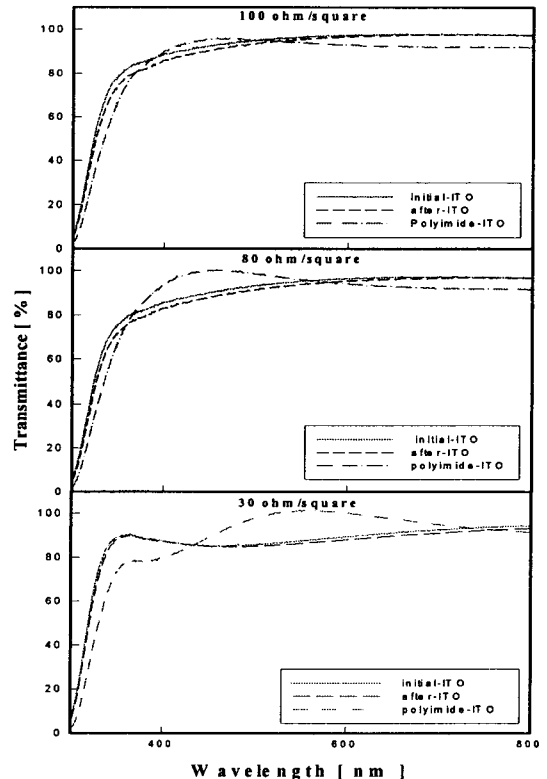
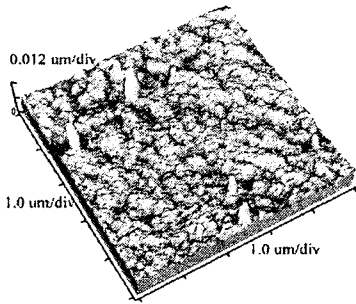
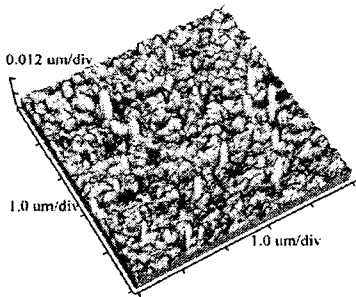


그림 4. 시료에 따른 ITO 박막의 광투과율 변화

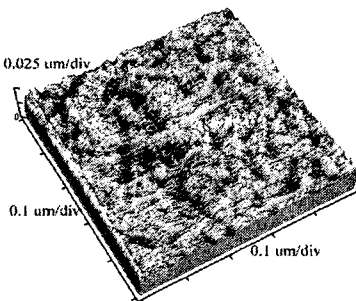
30 $\Omega/\square$ 에 대해서 배향막 형성과 배향막 형성과 동일한 열처리 조건에 따른 ITO막의 미세 표면 상태를 조사하기 위해 원자간력 현미경(AFM)으로 측정된 표면 거칠기와 3차원 형상을 그림 5와 표 1에서 보여주고 있다. AFM으로 분석한 표면 면적은  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ 이며, AFM의 결과를 분석한 면 거칠기와 3차원의 형상에서 배향막 형성과 열처리에 따라 roughness가 증가했음을 알 수 있다. 이는 배향막 형성에 사용되는 열처리 공정이 ITO의 결정성에는 큰 변화를 주지 않으나 표면의 거칠기를 좋지 않게 함으로 인해 저항률의 증가와 투과율의 감소에 영향을 미친 것으로 생각되며, 추후 이 부분에 대한 구체적인 분석이 필요할 것으로 생각된다.



(a) initial-ITO 30( $\Omega/\square$ )



(b) after-ITO 30( $\Omega/\square$ )



(c) Polyimide-ITO 30( $\Omega/\square$ )

그림 5. 원자간력 현미경(AFM) 3차원 표면형상

표 1. 원자간력 현미경(AFM)에 의한 표면 거칠기

구분 \ 종류	initial-ITO	after-ITO	polyimide-ITO
	30 $\Omega/\square$	30 $\Omega/\square$	30 $\Omega/\square$
Rms Rough	1.391	1.762	2.603
Ave Rough	0.903	1.119	1.577

### 3. 결론

DC magnetron sputtering 법을 이용하여 대략 30, 80, 100( $\Omega/\square$ ) 이하의 저항값을 가지는 ITO막을 제작하였으며, Polyimide 배향막 형성과 배향막 형성과 동일한 조건으로 ITO막을 열처리하여 배향막 인쇄 공정후 ITO막의 저항률 증가 원인을 분석하고자 구조적, 전기적, 광학적 특성 및 표면 거칠기를 분석하였다. Polyimide 배향막 형성과 열처리에 따른 ITO막의 결정성 변화는 거의 찾아 볼 수 없었으나, 저항률의 증가, 광투과율의 감소 및 표면 거칠기가 증가하는 경향을 살펴 볼 수 있었으며, 이는 배향막 형성에 적용되는 공정 중 공기중의 산소가 박막 속으로 확산되어 들어감에 따른 ITO막의 표면 변화에 따른 것으로 생각되며, 추후 좀더 구체적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

#### [참고문헌]

- [1] J. Szczyrbowski, K. Schmalzbauer and H. Hoffmann, Thin Solid Films, 137, p 169, 1986
- [2] Hamberg and C. G. Grandqvist, J. Appl. Phys. 59(8), p 2950, 1986
- [3] P. K. Nomura, K. Konishi and H. Matsuda, J. Electrochem. Soc. 138(2), p 631, 1991
- [4] 일본 학술진흥회, LCD device Handbook, pp 3~247, 1990
- [5] D.W. Berreman : Phys.Rev. Lett., 28(1972) 1683
- [6] J. A. Castellano : Mol. Cryst. Lip. Cryst., 94(1983) 33
- [7] U. Wolff, Greubel and H. Kruger : Mol. Cryst. Liq Cryst., 23(1973) 187
- [8] K. L. Chopra, S. Major and D. K. Pandya. Thin Solid Films, Vol. 102, pp 1~46, 1983
- [9] 조영래, 나종갑, 장평우, 이택동, Korean Physical Society, Vol. 27, pp632~637, 1987
- [10] H. Maiwa, K. Okazaki, "Preparation of thin film by reactive sputtering and optical emission spectroscopy during sputtering", Ferroelectrics, Vol. 133, pp. 83-89, 1992
- [11] D. B. Fraser, H. D. Cook, "Highly Conductive, Transparent Films of Sputtered  $\text{In}_{2-x}\text{Sn}_x\text{O}_{3-y}$ ", J. Electrochem. Soc., Vol 119, No. 10, pp. 1368-1374, 1972