

## 근접장 마이크로파 현미경을 이용한 ITO 박막 면저항의 비파괴 관측 특성 연구

### Nondestructive measurement of sheet resistance of indium tin oxide(ITO) thin films by using a near-field scanning microwave microscope

윤순일, 나승욱, 윤영운, 유현준, 이영주, 김현정, 이기진\*

Soonil Yun, Sungwuk Na, Youngwun Yun, Hyunjun You, Yeongjoo Lee, Hyunjung Kim, Kiejin Lee

#### Abstract

ITO thin films (~150 nm) are deposited on glass substrates by different deposition condition. The sheet resistance of ITO thin films measured by using a four probe station. The microstructure of these films is determined using a X-ray diffractometer (XRD) and a scanning electron microscope (SEM) and a atomic force microscope (AFM). The sheet resistance of ITO thin films compared  $S_{11}$  values by using a near field scanning microwave microscope.

**Key Words** : Indium-tin-oxide (ITO), near-field scanning microscope (NSMM), X-ray diffraction (XRD), reflection coefficient ( $S_{11}$ ), atomic force microscope (AFM)

#### 1. 서 론

Indium tin oxide(ITO)는 가시광선 영역에서 매우 높은 광학적 투과특성과 적외선 영역에서의 높은 반사특성을 가진다. 낮은 전기적 저항을 갖는 특성을 갖고 있어 전자공학(electronic), 광전자공학(optoelectronic), 액정표시장치(liquid crystal display), plasma display panel(PDPs), 태양전지(solar cells) 같은 응용분야에서 기관으로서 오래 전부터 사용되고 연구되어 왔다. 특히, flat panel display의 분야에서 유기발광소자는 디스플레이의 대면적화, 빠른 응답속도, 높은 색순도의 장점으로 인해 차세대 디스플레이분야에서 선두주자로 손꼽히고 있다. 유기 발광소자는 매우 높은 투명전도막(transparent conducting oxide) 표면의 편평함을 요구한다. 박막 표면의 거칠기는 전기적 광학적 특성에 의하여 영향을 주는 것으로 보고되고 있다[1]. 유기발광소자의 유기물박

막들의 균질성과 표면의 거칠기는 소자의 효율특성에 매우 중요한 요소로 작용한다. 발

광소자의 전체 두께는 약 100 nm정도이므로, 각층의 표면 거칠기는 매우 중요한 요소가 된다. 양극으로 사용되는 ITO의 표면 거칠기는 flat panel display의 공정과정중 patterning 과정에 많은 영향을 미치므로, 유기발광 소자의 효율을 결정짓는 중요한 요소가 된다[2]. ITO 박막제작은 RF magnetron sputtering, ion plating, pulse laser deposition, DC magnetron sputtering 등의 방법을 사용하여 제작되고 있으며, 제작 방법과 증착조건에 따라 ITO박막의 결정구조와 격자상수가 변하게 된다.[3-5] 본 논문에서는 각각 제작 방법과 증착 조건이 다른 ITO박막 (A), (B), (C)의 표면 전기저항을 측정하기 위하여, 접촉방식인 4단자법(four probe station)을 이용하여 표면저항을 측정하였고, x-ray diffraction (XRD), atomic force microscopy (AFM), scanning electron microscopy (SEM)를 이용하여 박막의 표면과,

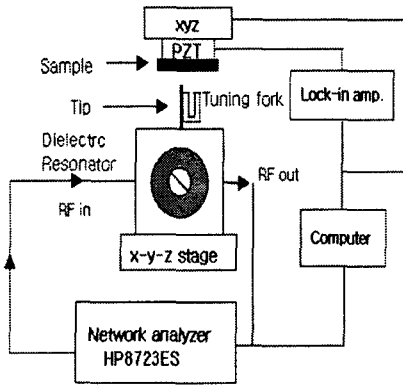


그림 1. 유전체 공진기를 사용한 근접장 마이크로파 현미경의 개략도.

결정성, 표면의 morphology와 구조적 특징을 살펴보았다. ITO박막의 전기 전도도를 측정하기 위하여 비파괴, 비접촉방식의 근접장 마이크로파 현미경(near field scanning microwave microscope : NSMM)[6-8]을 이용하여 표면의 전기적 저항을 관측하였다. SEM(scanning electron microscope)이나 전자의 양자적 터널링을 이용한 STM(scanning tunneling microscope)은 미세표면 구조 관찰에 이용되고 있지만, 시료의 전자기적 구조를 분석할 수 없는 단점을 가지고 있다. 그러나 NSMM은 도체, 반도체, 유전체와 생물학적 시료의 표면구조 특성뿐 아니라 전자기적 구조 이미지까지 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 ITO 박막의 전기저항특성을 NSMM을 이용하여 측정하였고 ITO박막 (A), (B), (C)의 구조 및 표면 특성과 비교 연구하였다.

## 2. 실험

세 종류의 표면 및 저항특성이 다른 ITO박막을 acetone, alcohol, distilled water의 순서로 각각 5분 동안 초음파 세척기를 이용하여 세척한 후, 질소가스를 사용하여 건조시켰다. 저항특성을 측정하기 위해 접촉방식인 semiconductor parameter analyzer (Agilent, 4156A)와 연결된 4 단자 법을 이용하여 박막의 저항 값을 측정하였

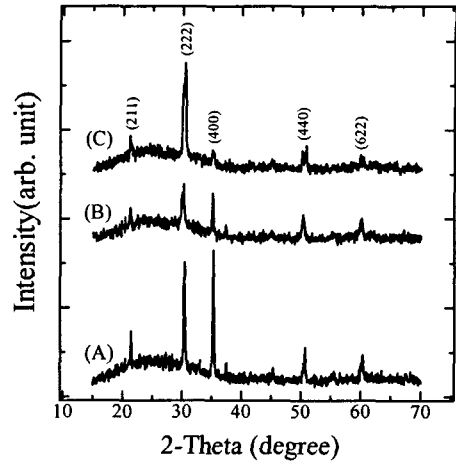


그림 2. 증착 조건이 다른 ITO 박막 (A), (B), (C)의 XRD pattern.

다. ITO박막의 구조적 특징과 결정형태를 측정하기 위하여 에너지 분해능이  $\Delta\lambda/\lambda = 5 \times 10^{-5}$ 인 x-ray ( $\lambda = 1.5409 \text{ \AA}$ )를 이용하여 15. ~70. 까지 x-ray pattern을 측정하였다. 또한 ITO 박막의 표면 특성을 측정하기 위해 Field emission scanning electron microscopy (FESEM, S-4300, Hitachi)를 사용하였다. 박막 표면의 거칠기와 삼차원 이미지는 atomic force microscopy (AFM, D-3100, Veeco)를 사용하여 측정하였다. ITO박막의 전기전도도를 측정하기 위해 사용한 근접장 마이크로파 현미경에 대한 구조도를 그림1에 나타내었다. 공진 주파수는 약 5.7GHz를 갖는 유전체 공진기를 사용하였다. 유전체 공진기의 구조는 유전상수가  $\epsilon = 29$ 인  $Ba(ZrTa)O_3$ 가 실린더 모양의 공진기 안에 들어가 있으며, 유전체의 모양은 안쪽 원의 지름이 2 mm, 바깥쪽 지름이 14 mm, 높이가 5.8 mm의 구조를 갖고 있다. 유전체를 싸고있는 실린더 모양의 내부 cavity의 크기는 지름이 32 mm이며 높이가 14 mm의 구조를 갖고 있다. 얻어진 공진 주파수는 Network analyzer (Agilent, 8753ES)를 사용하여 측정하였다. 샘플과 tip은 정확히 수직을 유지하며, 그 사이의 거리는 x-y-z controller stage와 PZT tube를 이용하여 computer로 제어하면서 10 nm를 유지하며 박막의 전기전도도 값을 측정하였다.

표 1. XRD pattern 을 통한 ITO 시료의 구조적 정보.

sample	Orientation	FWHM(°)	Sheet resistance ( $\Omega cm^2$ )	Peak intensity ratio (222)/(400)
A	(222)	0.265	8	1.176
	(400)	0.150		
B	(222)	0.295	12	0.981
	(400)	0.230		
C	(222)	0.500	15	0.109
	(400)	0.300		

### 3. 결과 및 고찰

박막의 결정형태와 표면의 거칠기 정도는 박막의 면저항값을 결정짓는 중요한 요소임이 알려져 있다. 박막의 저항과 결정성, 표면 형태와의 관계를 알아보기 위하여 박막의 표면저항을 4단자 법으로 측정하였다. 각각 (a)  $8 \Omega/cm^2$ , (b)  $12 \Omega/cm^2$ , (c)  $15 \Omega/cm^2$ 의 표면저항 값이 관측되었다. 각각의 ITO박막의 결정형태를 조사하기 위하여 XRD를 측정하였다.

그림2에 세 종류의 표면특성이 다른 두께 1500 Å의 ITO박막 XRD pattern을 타나내었다. (211), (222), (400), (440), (622)의 peak이 각각  $2\theta$ 가  $21^\circ$ ,  $30.5^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ 에 나타났다. 세 가지 ITO박막 모두  $In_2O_3$ 의 (222) peak와 (400) peak의 intensity가 가장 강하게 나타났으며, 같은 peak 위치에서 서로 다른 intensity를 나타냈다. (222), (400) peak intensity는 시료 (A)가 가장 크고, 시료(C)의 (400) peak intensity가 상대적으로 가장 약하게 관측되었다. Fullwidth half maximum(FWHM)의 값이 각각 시료 (A)-(B)-(C) 순서로 (222) peak이 0.265, 0.295, 0.500. (400) peak이 0.150, 0.230, 0.300로 증가하였고, (400)/(222)의 intensity ratio의 값은 1.087, 0.873, 0.278로 감소하였다. 시료 (B)와 (C)의 XRD pattern의 (222), (400) peak이 두 가지 peak로 분리되어 있음이 관측되었다. 이는 박막 증착중 가스의 압력, 기판의 온도와 같은 증착 조건과 관계 있는 고유의 stress에 의한 것으로 박막

의 구조와 격자상수를 변화 시키는 것으로 알려져 있다. 시료 (B)와(C)는 박막의 구조가 변한 것이며, 시료 (A)만이 구조 변화가 없음을 XRD pattern으로 관측하였다. 전체적인 박막의 구조변화가 작을수록 저항 값이 낮아졌다. 또한  $In_2O_3$ 의 (400) Peak의 intensity가 상대적으로 증가될수록 박막표면의 저항이 낮아지는 경향성을 관측하였다. 박막의 표면형태, 표면 거칠기와 표면저항과의 관계를 알기 위하여 AFM과 SEM을 이용하여 표면을 관찰하였다.

그림 3은 ITO박막의 평면 AFM image와 표면 거칠기 data이다. 평면 AFM image에서 (C)의 grain size가 가장 크고 (A)와 (B)의 grain size는 상대적으로 작게 관측되었다. 시료 (A)-(B)-(C)의 순서에 따라 rms(root-mean-square)값이 0.938 nm, 0.973 nm, 2.729 nm로 증가하였다. 시료 (A)와 (B)의 표면은 상대적으로 편평하였으며 시료 (C)의 표면이 매우 거칠게 나타났다. grain size가 크고, 표면이 거칠수록 박막의 표면 저항 값이 커짐을 관측하였다.

그림 4는 근접장 마이크로파 현미경을 사용하여 얻은  $S_{11}$  그래프이다. 백금(Pt)은  $\rho$ 가 낮은 금속이므로 상대적으로 높은  $S_{11}$ 값을 나타낸다. ITO박막의 경우 Pt보다는 비저항이 크지만, 공기에 비해서는 낮은 비저항을 갖고 있음을 알 수 있다. 삽입된 그림에서 알 수 있듯이, 시료 (A)의 반사계수 값이 가장 크고 시료 (C)가 상대적으로 큰 저항을 갖고 있음을 관측하였다. 이는 4단자 법으로 측정하여 얻은 박막의 저항 값과 정확히 비례한다. 전기저항과 관련된 결정특성과 표면특성을

비접촉·비파괴 방식인 NSMM을 사용하여 ITO박막의 특성을 예측할 수 있었다.

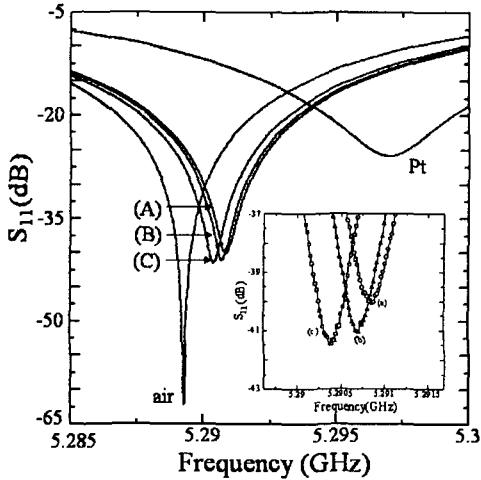


그림 4. ITO박막 (A), (B), (C)의 반사계수( $S_{11}$ ) 그래프.

#### 4. 결 론

OLED와 LCD같은 디스플레이분야와 같은 응용분야에서는 낮은 표면저항, 높은 전기전도도, 높은 투명도, 높은 표면 편평함을 갖는 ITO박막이 요구되고 있다. 편평한 표면과 낮은 전기저항을 갖는 ITO기판은 소자의 효율을 증가하는 중요한 요소이다. ITO박막의 면저항을 4단자법을 사용하여 측정하였다. XRD pattern 측정으로부터 (222)/(400) peak의 intensity ratio값이 증가할수록, FWHM의 값이 증가할수록 낮아짐을 관측하였고, AFM과 SEM image로부터 표면거칠기와 grain size가 감소할수록 면저항이 낮아짐을 관측하였다. 본 연구에서는 이들의 결과로부터 알 수 있는 ITO박막의 구조적 특성과 표면 특성을 비접촉·비파괴 방식인 근접장 마이크로파 현미경(NSMM)의 반사계수( $S_{11}$ )값을 통하여 ITO박막의 특성을 예측할 수 있었다. 많은 응용분야에서 사용되고 있는 ITO박막의 특성과약을 NSMM을 통하여 비파괴·비접촉 방식으로 알아낼 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 2002년 한국학술진흥 재단 (KRF-2002-015-CS0018)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] J. Yu, Zhaos, Q. Zhaos, G. Wang, , Mater. Chem. Phys., Vol. 68, pp. 253-259, 2001 .
- [2] M. Kamei, Y. Shigesato, S. Takaki, Thin Solid Films, Vol. 259, pp. 38-45, 1995.
- [3] K. Zhang, F. Zhub, C. Huan, A.We, Thin solid Films, Vol. 376, pp. 255-263, 2000.
- [4] H. Kim, C.M. Gilmore, A. Pique, J.S. Horwitz, H. Mattoussi, H. Murata, Z.H. Kafafi, D. B. Chrisey, J. Appl. Phys., Vol. 88, pp.6021-6025, 2000.
- [5] T. Minami, H. Sonohara, T. Kakumu, S. Takata, Thin Solid Films, Vol. 270. pp. 37-43, 1995.
- [6] J. Kim, S. Hong, W. Park, K. Lee, Sae Mulli Vol. 42, pp. 281-286, 2001.
- [7] S. Hong J. Kim, W Park, and K. Lee, Appl. Phys, Lett., Vol. 8, pp. 524-526, 2002.
- [8] J. Kim, K. Lee, B. Friedman, and D. Cha. Appl. Phys. Letts., Vol. 83, pp. 1032-1-34, 2003.