

# 디스플레이용 ITO 전극의 동작 압력에 따른 특성 연구

## A Study of Characteristic based on Working Pressure of ITO Electrode for Display

김 해 문\*, 박 형 준\*

Hae-Mun Kim\*, Hyung-Jun Park\*

### Abstract

In this paper, Characteristics of the ITO thin film deposited were analyzed using DC magnetron sputtering in order to investigate the deposition conditions of ITO thin film for transparent electrode. The experiment conditions were atmospheric pressure from 1 to 3[mTorr] with 1 [mTorr] step, bias electric voltage ranged from 260[V] to 330[V] with 10[V] step. The transmittance, refractive index and surface and cross-sectional shape of the deposited thin film were measured with an UV.-VIS. spectrophotometer, ellipsometer and SEM. Such condition as 1~2[mTorr] and near 300[V] voltage the transmittance was over 90[%] and the refractive index more than 2. Therefore, it was confirmed that the appropriate condition for making a highly transparent conductive electrode.

### 요 약

본 논문에서는 투명 전극용 ITO(Indium Tin Oxide) 박막의 성막 조건을 알아내기 위하여 DC(Direct Current) 마그네트론 스퍼터를 사용해 증착된 ITO 박막의 특성을 분석하였다. 실험 조건은 1~3[mTorr] 분위기압으로 조절하고 인가전압은 260~330[V]로 10[V]씩 스텝을 주어 실험을 진행하였다. 증착된 박막의 투과율, 굴절률 및 표면과 단면 형상을 자외선-가시광선 분광광도계, 타원편광분석기와 주사전자현미경으로 측정하였다. ITO 성막 조건 1~2[mTorr] 분위기압에서 300[V] 정도의 전압이 투과율이 90[%] 이상으로 우수하고 굴절률이 2이상 이었다. 따라서 높은 투명 전도성 전극을 만들기에 적절한 조건임을 확인하였다.

*Key words : DC magnetron, ITO(Indium Tin Oxide), Sputtering, Plasma, PVD(Physical Vapor Deposition)*

\* Dept. of Materials & Energy Engineering College of IT & Energy, KyungWoon University.

★ Corresponding author

e-mail: [sensorkim@naver.com](mailto:sensorkim@naver.com), Tel: +82-54-479-1158

Manuscript received, Nov. 25, 2016; revised, Dec. 8, 2016 ; accepted, Dec. 26, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

IT 기술의 발달과 함께 미디어 콘텐츠의 사용은 빠르게 증가하고 있다. 특히 시각을 이용하여 습득한 정보의 전달은 약 70[%] 정도로 기억에 오래 남기 때문에 시각적 정보 습득의 중요성이 증대되고 있는 상황이다. 이에 따라서 시각 정보 전달의 매개체인 디스플레이는 빠르게 변화하고 있으며, 현재의 발전추세를 고려하면 미래에는 보다 더 발전된 뉴미디어 개발이 예상되며 더욱 활용도가 높고 진보한 성능을 지닌 디스플레이를 만나볼 수 있을 것으로 기대된다.[1]

디스플레이 구조는 유리 기판에 양극과 음극이 위치하고 있는데 양극부분에 ITO(Indium Tin Oxide)를 사용한다. ITO는 TCO(Transparent Conducting Oxide) 중의 하나이다. 박막형태의 TCO는 LCD의 전극으로 사용되는 주요 재료이며 컴퓨터, 노트북, 휴대폰 등에 사용되는데 그 중에서 LCD가 소모된 전력 사용량에서 가장 큰 부분을 차지한다. 투명성 유지와 전력 소모 등의 향상을 위해 ITO와 같은 물질에서의 박막 기술 개발이 지속적으로 요구되고 있다. 박막형태로 제조되는 ITO 진공 증착법의 박막 제조 기술에는 PVD(Physical Vapor Deposition)와 CVD(Chemical Vapor Deposition)가 있다.[2][3]

본 연구에서는 TCO에 적합한 특성을 가지는 ITO 박막을 증착하여 특성을 분석하기 위해 PVD방식 중 DC 마그네트론 스퍼터법을 이용하였다. 증착된 ITO 박막을 분광광도계를 사용한 투과율, SEM(Scanning Electron Microscope)을 사용한 표면 형상 및 단면 관찰, 타원편광분석기를 사용한 굴절률을 측정 및 분석하였다.

## II. 본론

### 1. 이론적 배경

#### 가. TCO 박막의 특성

TCO는 가시광선 영역에서 높은 투과성과 우수한 전기전도성의 특성을 지니고 있는 물질로써 최초로 Baderker가 스퍼터링법으로 성장된 산화카드뮴(CdO) 박막에서 투명전도성을 1907년에 발견

한 후로 많은 연구가 진행되어져 왔다.[4]

앞으로 투명 전도성 산화물은 디스플레이 패널 전극으로 사용되는 전자수첩, 액정디스플레이, 전자수첩 등에서 사용량이 증가할 것이다.[1]

#### 나. ITO 박막의 특성

ITO는 일반적으로 90[%]의  $\text{In}_2\text{O}_3$ (Indium Oxide)과 10[%]의  $\text{SnO}_2$ (Thin Oxide)가 섞여진 N-type반도체 화합물로서 3.5[eV] 이상의 광범위한 밴드 갭을 가지며 직접 밴드 갭에서는 3.75[eV], 간접 밴드 갭은 2.61[eV]의 에너지를 가지는 일함수(Work function)가 크게 작용하는 특성을 가진다. 또한 ITO 박막은 가시광선 영역(400[nm]~700[nm])에서 80[%] 이상의 높은 투과율과 면 저항을 100[ohms/m<sup>2</sup>] 이하의 값을 가지며  $10^{-3} \sim 10^{-4}[\Omega \cdot \text{cm}]$ 로 낮은 비저항 특성을 가지고 있기 때문에 투명 전도성 전극이라고 한다.[5]

ITO는 다양한 용도로 사용되고 있는데, 이중접합 포토 트랜지스터(HPT, Heterojunction Photo Transistor)의 에미터로 사용하였고 습식도포법으로 도전성 투명필름을 제작하는 연구 논문도 발표된 적이 있다.[6] ITO 사용을 위한 다양한 방법들이 연구 개발 되었지만 보다 향상된 최적화 증착법을 찾는 것이 필요하다.[7]

#### 다. 박막 제조 증착법

진공증착(Vacuum Deposition)은 물질을 기화시켜 기체분자의 증발 온도보다 낮은 온도의 기판에 고체 상태로 응축시켜 박막이 형성되는 과정으로 이루어진다. 진공을 이용하여 박막을 제조하는 방식은 크게 물리적 방식인 PVD과 화학적 방식인 CVD으로 분류된다.[3]

PVD 방식에는 대표적으로 박막 증착은 메탈이나 합금을 증착시키기 위해 많이 쓰이는 스퍼터링과 진공증착을 사용하고 CVD 방식은 증착하고 싶은 필름을 가스형태로 이동시켜 웨이퍼표면에 증착하는 기술로 열에너지를 이용하여 증착하는 Thermal CVD 방식과 플라즈마를 사용하여 증착하는 Plasma Enhanced CVD 방식이 있다.[7][8][9][10]

## III. 실험 및 검증

1. DC 마그네트론 스퍼터 구조와 실험 조건

DC 마그네트론 스퍼터의 구조는 그림 1에 나타낸 것과 같이 진공에서 ITO를 증착하기 위한 진공 챔버, 음극 상부에는 전극 쉴드(Cathode Shield), 타겟에 직접적으로 냉각수가 흘러주거나 전원을 공급하는 총(Gun), MFC(Mass Flow Controller), 펌프 냉각기, 디퓨전/로터리펌프로 구성되어 있다.

표 1에 ITO 박막 증착을 위한 장비들의 실험 조건을 나타내었다. 표 1의 조건으로 1[mTorr] 분위기압 하에 전압을 250[V]에서 340[V]까지 가변시키면서 실험을 하였다.

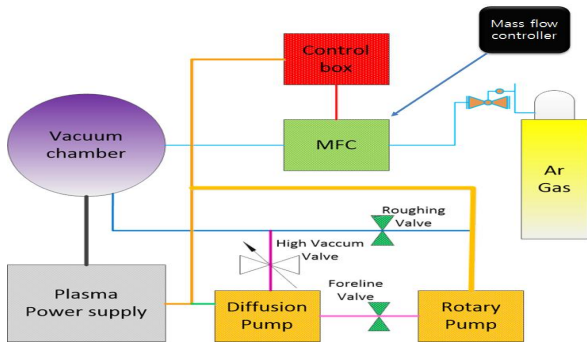


Fig. 1. Structure of DC magnetron sputter  
그림 1. DC 마그네트론 스퍼터 구조

Table 1. Experimental conditions of DC magnetron sputter  
표 1. DC 마그네트론 스퍼터 실험 조건

Parameters	Value
Target	ITO
Substrate Distance [cm]	13
Operating gas	Ar
Gas flow [sccm]	0.5
DC voltage [V]	250~340
Deposition time [min]	30
Working Pressure [mTorr]	1~3

실험 조건에 맞추어 증착된 ITO 박막을 분광기로 투과율을 측정하였고, SEM과 타원편광분석기를 사용하여 박막의 굴절률 및 표면/단면 형상을 측정하였다.

2. 자외선-가시광선 분광광도계 측정 결과

그림 2에 1[mTorr] 분위기압 조건에서 전압을

10[V] 단위로 차등 인가하여 얻은 투과율을 나타내었다. 270[V]를 제외한 300[V]이하 전압조건에서는 모두 평탄한 투과율을 나타내었다. 300[V]에서 가시광선 영역과 적외선 영역 모두 90[%] 이상의 높은 투과율을 보였다. 2[mTorr] 및 3[mTorr] 분위기압 조건에서는 전반적으로 균일하고 높은 투과율을 나타내는 박막을 제조할 수 있는 조건을 발견할 수 없었다.

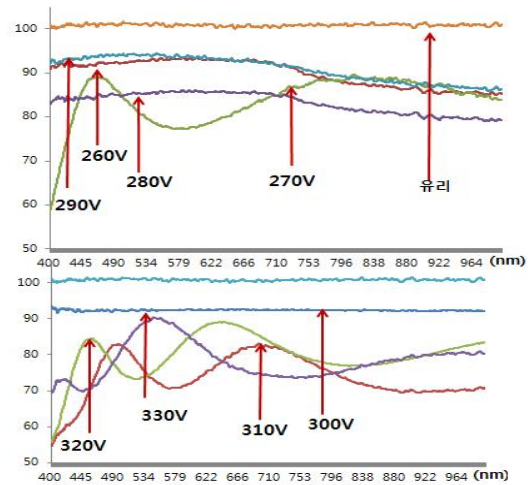


Fig. 2. Measure the transmittance of an ITO thin film deposited under a voltage condition of 260 to 330[V] at 1[mTorr] pressure  
그림 2. 1[mTorr] 분위기압에서 260~330[V] 전압조건으로 증착시킨 ITO 박막의 투과도 측정

3. 타원편광분석기 측정 결과

그림 3에 1[mTorr] 분위기압에서 DC 인가전압을 260~330[V]로 굴절률을 측정한 결과를 나타내었다. 굴절률은 2.04~2.1[η]의 값으로 일정한 변화로 측정되었으며 박막의 두께변화에 영향을 받지 않았다. 2, 3[mTorr] 분위기압에서는 310~320[V] 기점으로 굴절률이 계속 감소하였다. 이것은 분위기압을 증가시키는 것으로 박막두께와 품질의 향상을 이룰 수 없음을 알 수 있다.

4. SEM 측정 결과

그림 4는 1[mTorr] 분위기압, 300[V] 인가전압 조건에서 측정된 박막의 표면과 단면 형상이다. 위 조건에서 가장 우수한 투과율을 보인 것으로 나타났으며 가장 최적의 성막 조건임을 알 수 있었다. 그림 5에 1[mTorr] 분위기압에서 260~

340[V]의 전압 범위에서 측정된 ITO박막 두께 변화를 나타내었다.

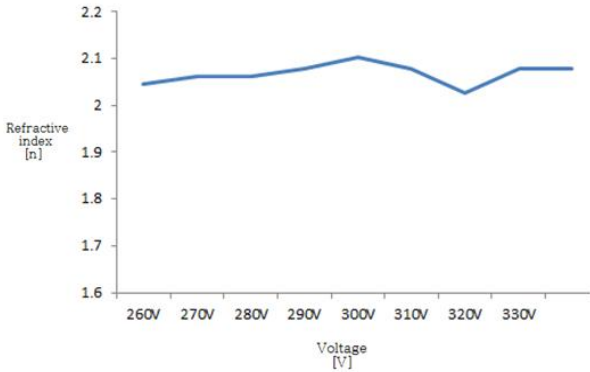
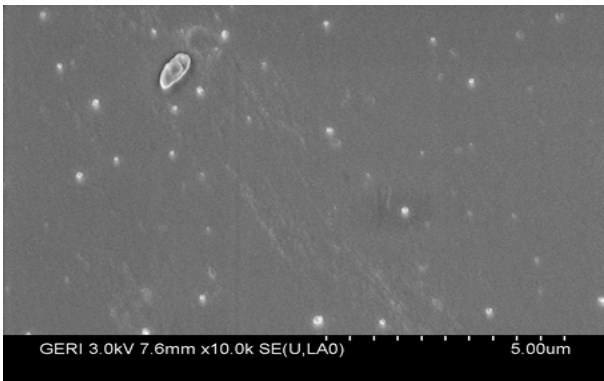
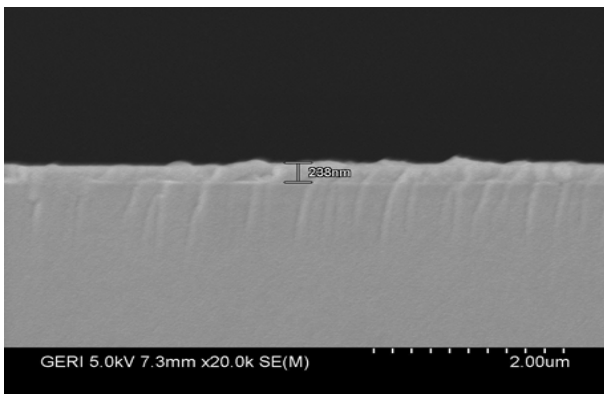


Fig. 3. Refractive index of thin film deposited under a voltage condition of 260 to 330[V] at 1[mTorr] pressure

그림 3. 1[mTorr] 분위기압, 260~330[V] 인가 전압 조건에서 박막의 굴절률



(a) surface



(b) cross section

Fig. 4. SEM image of ITO thin film deposited under a condition of 330[V] at 1[mTorr] pressure

그림 4. 1[mTorr], 300[V] 조건에서 ITO 박막의 SEM 이미지

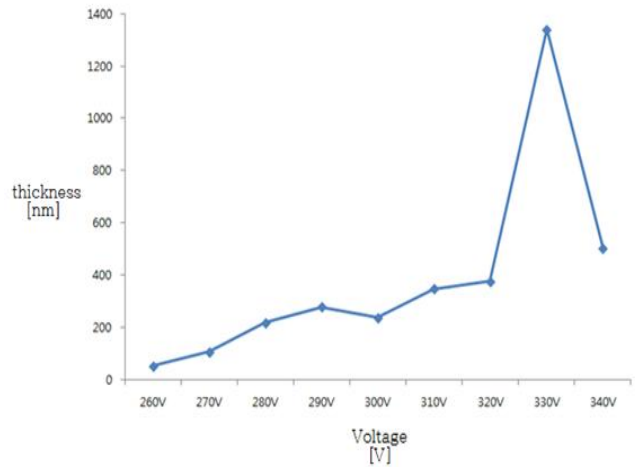


Fig. 5. Changes in thickness of ITO thin film of 260 to 340[V] at 1[mTorr] pressure

그림 5. 1[mTorr] 분위기압에서 260~340[V]의 ITO 박막 두께 변화

2[mTorr] 분위기압에서는 SEM을 통해 관찰한 결과 표면이미지에서 기공이 관찰되며 거친 표면 상태가 형성되었음을 확인할 수 있었다. 마찬가지로 3[mTorr] 분위기압에서도 박막의 두께가 감소했으며, 표면의 형상도 불규칙적이었다.

#### IV 결론

본 논문에서는 DC 마그네트론 스퍼터를 이용하여 디스플레이용 투명전도성전극을 ITO로 증착하여 분위기압과 인가전압에 따른 ITO 박막의 변화를 관찰하고 분석하였다. 성막 조건으로는 분위기압을 1~3[mTorr]로 변화를 주었고 전압은 260~330[V]에서 단계를 나누어 적용하였다.

ITO 박막은 자외선-가시광선 분광광도계, 타원편광분석기 및 SEM을 사용하여 증착 막의 두께, 굴절률 및 투과율을 분석하였다. 1[mTorr] 분위기압에서 가장 우수한 투과율은 300[V] 조건이었으며 약 90[%] 이상 높은 것으로 측정되었다. 타원편광분석기에서도 역시 300[V] 조건에서 2.1[η] 값의 굴절률을 가졌다. 2[mTorr] 분위기압에서는 300~330[V] 전압을 인가하면 투과율이 70~90[%]로 높은 값으로 나타내며 모든 파장 범위에서 우수한 특성이 나타났다. 320[V] 전압이 적용

된 타원편광분석기에서는 굴절률이 2.05[ $\eta$ ]로 다른 조건보다 상향되었으며 SEM으로 측정된 두께는 409[nm]로서 2[mTorr] 분위기압에서는 320[V] 전압조건이 ITO 박막의 전극이 우수한 것으로 분석되었다. 타원편광분석기와 SEM 분석결과 3[mTorr] 분위기압에서는 전압에 따른 경향이 일정하지 않았으며 표면 형상도 불규칙하였다. 결론적으로 1[mTorr] 분위기압의 경우 300[V] 전후의 전압을 사용하고 2[mTorr] 분위기압으로 증가하였을 경우에는 300[V]를 조금 상회하는 전압이 높은 투과율과 굴절률을 가지는 조건임을 확인하였으며, 3[mTorr] 이상의 분위기압에서는 일정한 성막 조건을 찾기 어려웠다. 따라서 분위기압 1~2[mTorr]가 가장 적절한 범위임을 알 수 있었다. 추후 연구와 실험을 통하여 특정 조건하에 보다 우수한 투과도, 굴절률, 두께를 가지는 성막 조건을 찾는 것이 가능할 것으로 사료된다.

## References

- [1] S. S. Nam, "Expansion and Application of Publication Contents in the Era of Smart Media," *Korea Contents*, vol.9, no.3, pp. 12-17, 2011.
- [2] D. H. Seo and S. Y. Chun, "Growth Behavior of Nanocrystalline CrN Coatings by Inductively Coupled Plasma (ICP) Assisted Magnetron Sputtering," *Journal of the Korean Ceramic Society*, vol.49, no.6, pp. 556-560, 2012.
- [3] S. W. Park and S. Y. Chun, "A Comparative Study of CrN Coatings Deposited by DC and Pulsed DC Asymmetric Bipolar Sputtering for a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) Metallic Bipolar Plate," *Journal of the Korean Ceramic Society*, vol.50, no.6, pp. 390-395, 2013.
- [4] M. S. Kim, S. H. Yun and B. W. Kim, "Synthesis of ITO Nano-Particles by a SAS Method and Preparation of Conductive Film by Coating Them," *Clean Technology*, vol.13, no. 3, pp. 180-187, 2007.
- [5] C. W. Hur, "The DC magnetron sputtering vacuum deposition of indium tin oxide thin film," *The Korea Institute of Information and Commucation Engineering*, vol.14, no.4, pp. 935-938, 2010.
- [6] J. W. Kim and H. B. Kim, "Properties of Sputtered Ga Doped ZnO Thin Film," *KIEEME*, vol.26, no.4, pp. 289-293, 2013.
- [7] N. Selvakumar and H. C. Barshilia, "Review of physical vapor deposited (PVD) spectrally selective coatings for mid- and high-temperature solar thermal applications," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol.98, pp. 1-23, 2012.
- [8] Y. WANG, J. WANG, G. ZHANG, L. WANG and P. YAN, "Microstructure and Tribology of TiC(Ag)/a-C:H Nanocomposite Coatings Deposited by Unbalanced Magnetron Sputtering," *Surf Coat Technol*, vol.206, no.3299, 2012.
- [9] D. A. Tuan, "Fabrication and characterization of n-IZO/p-Si and p-ZnO:(In, N)/n-Si thin film hetero-junctions by dc magnetron sputtering," *j.inst.Korean. electr. electron.eng*, vol.17, no.2, pp. 182-188, 2013.
- [10] J. H. Lim, "Deformation of the AlGaN/GaN metal-oxide-semiconductor heterostructure field-effect transistor characteristics by UV irradiation," *j.inst.Korean.electr.electron.eng*, vol.17, no.4, pp. 531-536, 2013.

## BIOGRAPHY

### Hae-Mun Kim (Member)



2002 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.  
2004 : MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2013~Present : Assistant Professor, Kyungwoon University

**Hyung - Jun Park** (Member)



1998 : MS degree in Sensor  
Engineering, Kyungpook  
National University.

2003 : PhD degree in sensor  
Engineering, Kyungpook  
National University.

2003~2008 : Principal Researcher, Samsung  
Techwin.

2009~2013 : Project Manager, IT Health.

2013~Present : Assistant Professor,  
Kyungwoon University