

# DC 마그네트론 스퍼터를 이용한 ITO 박막의 실온 증착 및 특성 분석

## The deposition and analysis of ITO thin film by DC magnetron sputter at room temperature

김 호 운\*, 윤 정 오\*

Howoon Kim\*, Jung-Oh Yun\*

### Abstract

In this study, the characteristics of ITO thin film was investigated to finding a low cost and highly transparent electrodes for display of mobile communication devices. The ITO film was deposited by DC magnetron sputter. The experimental conditions were changed as follows: 1. ambient pressure changed 1 to 3 mTorr with 1mTorr step, 2. bias electric voltage changed with 10V step. The chamber was pumped out by rotary pump until  $10^{-3}$ Torr then the diffusion pump was used to lower the pressure of  $10^{-6}$ Torr. The results shows us the film growth was obvious when the bias voltage was larger than 300V, but the overall thickness tendency was existed: the more voltage is the thicker thickness. At 330V bias voltage condition, the deposition rate was the largest and apparent grain was showed.

### 요 약

최근 휴대용 통신기기와 스마트 디스플레이의 결합은 휴대가 용이하고 이동을 하면서 모든 작업을 할 수 있다. 이에 본 논문에서는 휴대용 통신기기에서 저가격의 높은 투명전극을 찾기 위해 여러 가지 ITO(Indium Tin Oxide) 박막에 대해 연구하였다. ITO 박막은 DC 마그네트론 스퍼터를 사용하였으며 1 분위기압을 1mTorr 증가 간격으로, 2 바이어스 전압은 10V 간격으로 변화시켜 측정하였다. 두께와 굴절율은 일립소미터를 사용하였으며 막의 단면과 표면의 형상은 주사전자현미경을 사용하여 조사하였다. 분석 결과를 통해 바이어스 전압이 300V 이상일 경우에 명확한 증착이 나타났으며 추가로 전압이 증가함에 따라 전체적으로 증착률이 증가하였다. 330V 조건에서 증착률이 가장 높았으며 뚜렷한 결정립이 관찰되었다.

*Key words : ITO, Magnetron sputter, UV- Visible-NIR spectroscopy, SEM, Ellipsometer*

### 1. 서론

IT기술의 발전으로 현대인의 미디어 콘텐츠의 사용량은 나날이 증가하고 있다. 특히 휴대용 통신 기기와 스마트 디스플레이의 결합은 휴대가 용이

하고 이동을 하면서 인터넷이 가능하여 거의 모든 작업을 할 수 있다. 최근 Ajinkya Bhorde 등은 기관의 온도를 실온으로 하여 높은 이동도의 ITO를 성장했다고 보고하였다[1-2]. 실온에서 양질의 ITO 박막을 높은 증착 속도로 생성할 수 있다면 낮은

\* Dept. of Aviations Information & Communication Engineering, Kyungwoon University

★ Corresponding author

E-mail : joyun@ikw.ac.kr, Tel : +82-54-479-1311

Manuscript received Feb. 14, 2020; revised Mar. 21, 2020; accepted Mar. 25, 2020.

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.

공정 비용에 의해 저가의 투명전극을 만들 수 있을 것이다, 따라서 실온에서 높은 증착률을 내는 조건을 찾을 필요가 있다.

본 논문에서는 DC 마그네트론 스퍼터를 사용하였으며 1 분위기압을 1mTorr 증가 간격으로 1mTorr에서 3mTorr까지 변환시켰으며, 2 바이어스 전압은 10V 간격으로 260에서 340까지 변화시켜 측정하였다. 증착된 ITO 박막을 실험 조건 별로 구분하여 박막을 주사전자현미경과 타원편광분석기를 사용하여 특성을 분석하였다. 이를 통해 바이어스 전압이 300V 이상일 경우에 명확한 증착이 나타났으며 추가로 전압이 증가함에 따라 전체적으로 증착률이 증가했으며 막의 결정립이 잘 되는 것을 밝혀낼 수 있다.

## II. 본론

### 1. 디스플레이의 종류 및 배경

전자 디스플레이 종류에는 2가지로 나눌 수 있다. 종류에는 광정보 신호가 발광에 의해 표시되는 발광형 표시(Emissive display), 산란이나 간섭에 의해 주변의 광을 잡아주는 수광형 표시(Non-emission display)가 있다[3-7]. 2000년대 이후에는 LCD 모니터의 기술의 발전으로 사용이 증가하였고 그 이후 LED, OLED 디스플레이를 사용한 스마트폰뿐만 아니라 TV로서 사용이 증가되고 있다[8]. 현재 OLED를 사용한 전자 디스플레이 개발이 발전하여 상용화되고 있는데 OLED는 스크린 자체가 발광하며 튜브나 램프와 같은 발원체가 필요로 하지 않기 때문에 매우 얇은 평판 디스플레이의 제작이 가능하기 때문에 앞으로 발전이 주목 받고 있다[9]. 이러한 LCD나 OLED 같은 평판 디스플레이 구조는 유리 기판 사이에 양극과 음극이 있는데 이때 양극 부분에 ITO (Indium Tin Oxide)를 사용한다. 투명 전도성 재료에는 ITO가 가장 투명하고 가시광 영역에서 90% 이상의 높은 투과율을 보여주어 스마트폰의 터치 패널이나 연성(flexible) 반도체에 사용이 되고 있다[10]. ITO 제조기술에는 PVD(physical Vapor Deposition)과 CVD(chemical vapor Deposition)이 있다[11, 12]. C. David 등은 DC 마그네트론 스퍼터를 이용하여 저온 성장시킨 ITO를 얻었다고 보고 했으며, Yilei Lu 등 역시 스퍼터를 이용하여 증착 및 특성을 조사하여 보고한 바 있다[13-15].

### 2. 실험 방법

본 논문의 실험에서는 직류 마그네트론 스퍼터(DC magnetron sputter, 이하 스퍼터)를 사용하여 ITO 박막을 증착하였다. 그림 1에 실험에 사용한 스퍼터 시스템을 나타내었다. 스퍼터 시스템은 진공상태인 챔버 내에 유리기판을 양극의 척 위에 장착하여 ITO 타겟으로 스퍼터링으로 유기기판에 증착시키는 진공 챔버와, 챔버내 플라즈마를 조정할 수 있는 콘트롤 박스, 펌프 내 온도를 낮추어 주기 위해 냉각기로 구성되어 있으며, 그림에는 나타나 있지 않지만 챔버와 펌프라인에 부착되어 있는 다양한 공압밸브를 작동시키는 데 필요한 가압 공기를 만들기 위한 콤프레샤(compressor)가 있다.

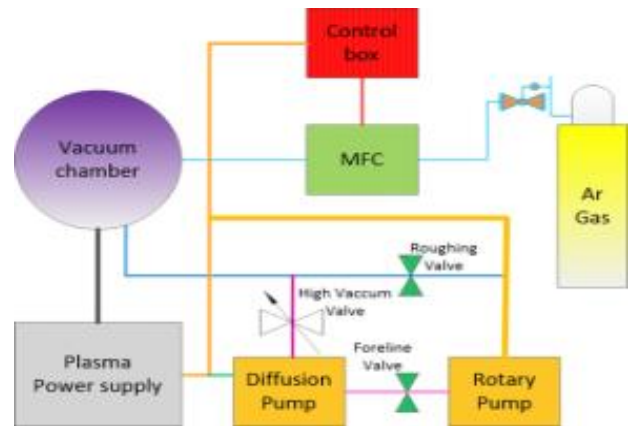


Fig. 1. The structure of DC magnetron sputter.

그림 1. DC magnetron sputter 구조

챔버 내부에는 플라즈마를 발생시키는 건(gun)과 증착된 물질의 원재료인 타겟이 같이 있으며 반대편에 기판을 잡고 있는 역할을 하는 척이 위치한다. 기판과 타겟과의 거리는 13cm로 하였고 진공 챔버의 형태는 내부 지름이 31cm, 내부 높이가 30cm인 원기둥 형태를 하고 있다. 실험 챔버를 진공으로 만들어 주기 위해 사용한 진공 펌프는 확산 펌프(diffusion pump)와 로타리 펌프를 사용하였다. 중진공까지는 로타리 펌프로 진공을 만들고 그 이상의 고진공을 위해서 확산 펌프를 사용하였으며 기름 오염을 막기 위해 배플(baffle)을 사용하였다. 플라즈마를 형성하기 전 초기 진공은  $10^{-6}$ Torr 이상의 고진공을 30분 이상 유지하여 시료 장착시 유입 되었을 수도 있는 다양한 챔버내 이물질 제거하여 실험의 외란을 최대한 억제하였다. 초기 진공 후 플라즈마 발생을 통한 스퍼터링시 작업 압력

(working pressure)은 실험 조건에 맞춰 변화시키며 증착 작업을 수행하였다. ITO 막은 유리기판위에 성장시켰다. 실험 조건에 맞추어 전압 변화를 주거나 분위기압의 변화에 따른 박막의 특성을 조사하였다. 표 1은 실험에서 사용한 ITO 박막 증착 실험을 위한 증착 조건에서 변동하지 않는 고정적인 조건을 나타내고 있다. 표 1 나열된 고정 조건은 그대로 두고 1mTorr에서 3mTorr까지 1mTorr씩 분위기압을 증가시키고 250V에서 340V까지 10V씩 증가시켜 실험을 하였다.

Table 1. Fixed operation settings on sputter.

표 1. 스퍼터 장비 고정 실험 조건 설정

Target	ITO
Deposition time [min.]	30
Operating gas	Ar
Target-substrate distance [mm]	130
Gas flow [sccm]	0.5

실험 조건에 맞추어 증착된 ITO 박막을 조건별로 주사전자현미경과 타원편광분석기를 사용하여 증착된 박막의 결정립, 두께와 굴절률을 측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

본 실험의 조건이 많고 특성 파악을 위해 다양한 측정을 하여 조건별 증착 결과가 다양하기 때문에 개별 나열식으로는 경향 파악을 이루기 힘들어서 크게 분위기압에 따라 1mTorr, 2mTorr, 3mTorr로 분류하고 전압에 따라 분석 결과를 설명 및 고찰하는 방식을 채택하였다.

#### 가. 타원편광분석기 측정 결과

##### (1) 분위기압 1mTorr 조건

표 2에 성막조건으로 아르곤 1 mTorr 분위기압에서 DC 인가전압을 310~330 V로 10 V단위로 변화하였을 때 박막의 구조를 나타낸 것이고, 그림 4는 1mTorr 분위기압에 260~330V 전압 변화에서 박막의 굴절률 변화를 나타낸 것이다. 측정은 투명한 물질의 굴절률과 두께를 측정하는 데 유용한 타원편광분석기를 사용하였고, 측정값을 분석해 두께와 굴절률을 얻는 것은 수작업을 하지 않고 분석기에 자체 내장된 소프트웨어를 사용하여 막을 시뮬레이션 분석해서 나온 결과를 최종 결과로 하였다.

이는 실험자 개인의 선입견에 의한 잘못된 해석을 최소화 하기 위함이었다. 실제 두께 측정과 굴절률 측정은 같이 이루어졌으므로 저전압 증착 조건에서도 박막의 구조에 대한 편광분석기의 측정 시뮬레이션 결과가 있으나 저전압의 경우 두께가 매우 얇아서 의미있는 분석이라고 볼 수 없었기에 저전압 증착 박막 구조는 제외하였다. 표에서 알 수 있듯이 제작된 박막은 공기중에서 시간이 지남에 따라 물질의 화학양론적 조성비가 무너진 표면층과 박막층 그리고 유리기판의 3층으로 형성된 것으로 판단된다.

Table 2. The thin film structures at 1mTorr ambient and (a) 310V, (b) 320V, (c) 330V DC power voltages.

표 2. 1 mTorr 분위기압에서 타원편광분석기로 (a) 310V (b) 320 V (c) 330V 조건에서 측정한 박막두께 측정결과

Voltage [V]	310V	320V	330V
Dispersionlaws+void (Phase 2) Thickness [nm]	14	10.2	14
Dispersionlaws (Phase 1) Thickness [nm]	134.5	54	104
Dispersionlayers [Substrate]	glass	glass	glass

표 2는 타원편광분석기의 소프트웨어가 출력한 결과를 표로 나타낸 것이다. 표에 나타난 숫자에서 알 수 있듯이 표면층의 두께는 증착된 박막의 두께에 비하면 매우 얇으며 실제 공기중에 노출된 시간을 생각하면 열화는 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 이것은 갈수록 이동통신기기의 대화면화가 지속되며 그에 따라 높은 내구성이 필수라는 것을 고려할 때 매우 중요한 특성이라고 할 수 있다.

그림 2의 굴절률 변화에서는 대부분 굴절률이 2~2.1 사이의 값을 보이면서 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 굴절률 변화가 거의 나타나지 않은 것에서 증착된 물질이 거의 같은 물질이고 스퍼터 타겟의 조성대로 증착된 것으로 유추할 수 있다.

##### (2) 분위기압 2mTorr 조건

표 3은 성막조건으로 아르곤 2mTorr 분위기압에서 DC 인가전압을 310~330 V로 10 V단위로 변화하였을 때 타원편광분석기로 분석한 박막을 나타낸 것이다. 타원편광분석기 내장 시뮬레이션 프로그램의 결과는 앞선 1mTorr의 결과와는 달리 구조가 2층 구조로 기판인 유리위에 한층의 박막이

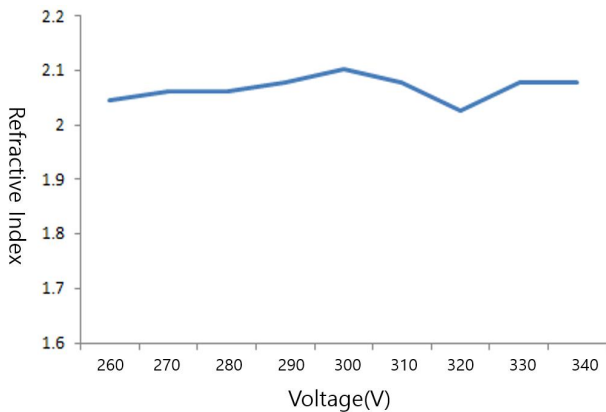


Fig. 2. The refractive index change over DC power voltage 260V~330 V at 1mTorr ambient pressure.

그림 2. 1mTorr 분위기압, 260~330V 인가전압 조건에서 박막의 굴절률

성장한 것을 보여주었다. 이것은 1mTorr의 분위기압에 비해 2mTorr의 분위기압에서 성장한 ITO 박막이 대기중이나 챔버내에서 더 안정적으로 존재해서 공기나 아르곤 분위기에서도 원래 구조를 잘 유지한다는 것으로 받아들일 수 있었다. 이미 앞선 1mTorr의 증착에서도 굴절률변화 등의 결과에서 ITO박막이 비교적 잘 성장된다는 결과를 얻었으므로 안정성이 중요한 인자로 인식되는 것을 감안할 때 타원편광분석기의 측정 결과는 분위기압의 조절이 중요하다는 것을 보여 주고 있다.

Table 3. The thin film structures at 2mTorr ambient and (a) 310V, (b) 320V, (c) 330V DC power voltages.

표 3. 2 mTorr 분위기압에서 타원편광분석기로 (a) 310V (b) 320 V (c) 330V 조건에서 측정한 박막두께 측정결과

Voltage [V]	310V	320V	330V
Dispersionlaws (Phase 1) Thickness [nm]	149.7	205.9	292.2
Dispersionlayers [Substrate]	glass	glass	glass

(3) 분위기압 3mTorr 조건

표 4는 성막조건으로 아르곤 3mTorr 분위기압에서 DC 인가전압을 310~330 V로 10 V 단위로 변화하였을 때 박막 두께를 타원편광분석기의 시뮬레이션 프로그램의 결과를 낸 것이다. 구조를 분석하면 아르곤 3mTorr 분위기압에서 성장한 박막의 구조는 앞의 2mTorr 분위기압 조건에서의 결과와 비슷하게 표면에 특별한 열화된 층이 보이지 않았다. 앞선 1mTorr 조건의 박막의 구조는 내장 프로그램

의 시뮬레이션 결과 3층의 구조로 공기나 아르곤 분위기의 챔버에서 열화가 생긴 것으로 고려되어진다.

Table 4. The thin film structures at 3mTorr ambient and (a) 310V, (b) 320V, (c) 330V DC power voltages.

표 4. 3 mTorr 분위기압에서 타원편광분석기로 (a) 310V (b) 320 V (c) 330V 조건에서 측정한 박막두께 측정결과

Voltage [V]	310V	320V	330V
Dispersionlaws (Phase 1) Thickness [nm]	322.3	192.3	273
Dispersionlayers [Substrate]	glass	glass	glass

나. 전압에 따른 박막 두께 변화

그림 3에 전압 증가에 따른 박막의 두께 변화를 나타내었다. 260V에서 340V까지 올린 실험으로 전압의 증가에 따라 박막의 성장이 어떻게 될 것인지 알아보기 위한 기초 실험 데이터에 해당한다. 분위기압이나 다른 조건은 고정하고 전압 증가에 따라 막의 증착이 어떻게 변할 것인지 확인하는 실험이었다. 그림에서 알 수 있듯이 낮은 전압에서는 전압이 증가함에 따라 대체로 막의 두께가 증가하는 것을 알 수 있다. 인가 전압은 스퍼터링의 에너지가 되므로 전압이 증가함에 따라 박막의 성장속도가 증가하는 것은 일반적인 경향이나 스퍼터링의 원리상 강한 전압 인가시 증착된 막이 2차 스퍼터링 되는 현상으로 증착률이 오히려 낮아지는 현상도 발생하게 된다. 그림 3에서 두께 변화를 보면 330V에서 가장 두꺼웠다가 340V에서 오히려 두께가 매우 감소한 것을 알 수 있다. 이는 타겟만이 아니라 기판에 증착된 박막도 재스퍼터링된 결과로 판단된다. 이것은 스퍼터링의 원리가 불활성기체를 이온화시키면 전압을 걸어서 타겟을 향해 가속화시키는 것이 가능하고 이렇게 가속된 이온이 타겟과 충돌하면서 물리적으로 튕겨 나온 원자들이 반대편 기판에 증착되는 것을 바탕으로 하기 때문이다. 타겟 스퍼터링의 결과 일정 확률도 스퍼트된 물질이 기판에 충돌하면서 기증착된 박막을 재스퍼터링 하는 경우가 발생하게 된다. 이렇게 박막이 재스퍼터링 될 경우 표면에 손상이 발생하는 등 여러가지 문제가 발생할 수 있으며 기존 증착 속도보다 낮아지는 경향을 보이게 된다.

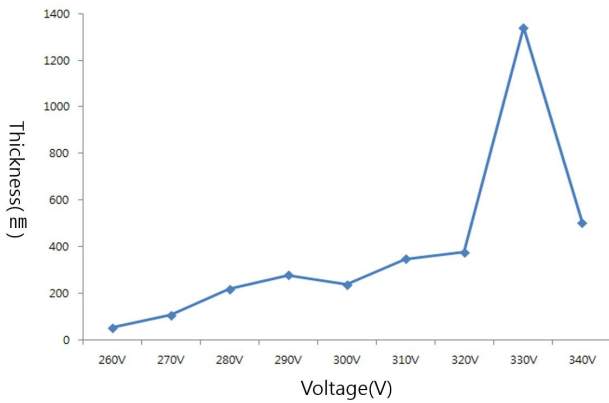


Fig. 3. Thickness change over voltage change.  
그림 3. 인가 전압증가에 따른 박막의 두께 변화

다. 전자주사현미경 표면 및 단면 분석

스퍼터링된 박막의 표면과 단면을 전자주사현미경(Scanning Electron Microscope, 이하 SEM)을 이용하여 관찰하였다. 박막의 표면을 분석하는 것

은 박막의 품질과 구조를 파악하는 데 유용하다.

그림 4에서 6에는 각각 인가 전압의 변화에 따라 SEM 사진을 나타내었다. 샘플은 앞의 실험 그림4에서 데이터상 두께변화가 크게 보이는 마지막 3의 전압 조건을 시료로 선택한 것이다. 그림 4은 표면에 흠이나 구조를 발견할 수가 없고 매우 균일한 표면을 보이고 있다, 그리고 단면 사진에서는 비교적 고르게 성장한 막을 확인할 수 있다 그림 5는 가장 두꺼운 막이 관찰된 시료로 다른 시료에 비해 3배 정도의 두께를 보인 330V의 표면과 단면 모습인데 다른 시료의 표면에서는 관찰 할 수 없는 결정립을 관찰할 수 있고 단면에서도 많은 공극이 관찰된다.

330V의 경우 막의 성장이 매우 빠르면서 결정성 크게 성장하여 경계가 분명한 박막이 성장한 것으로 생각된다. 그림 6의 340V의 경우는 뚜렷한 결정립이 보이지 않으며 이는 재스퍼터링의 결과 결정이 무너진 모습으로 판단된다.

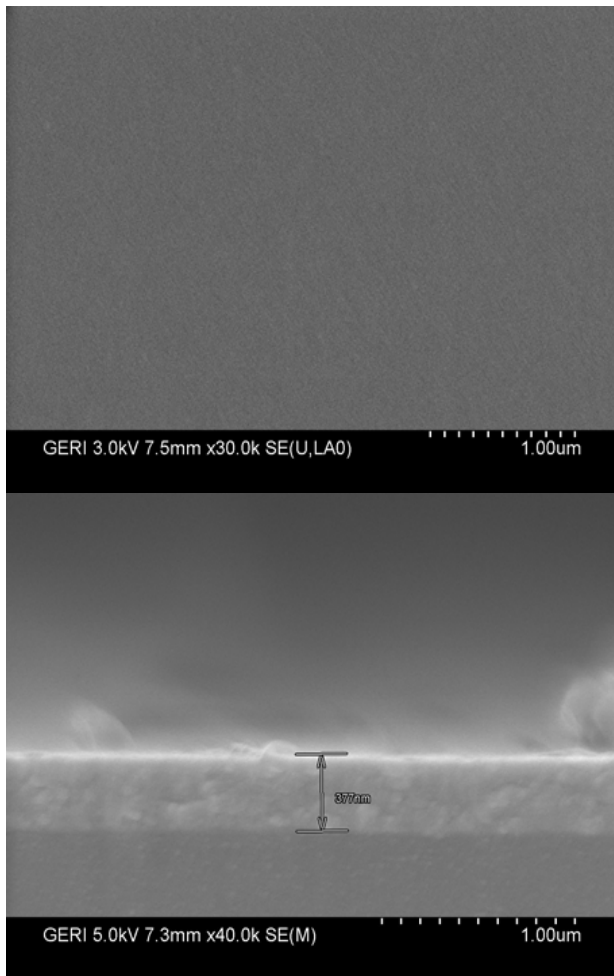


Fig. 4. The SEM picture of surface and crossection of thin film at 320V DC bias.

그림 4. 인가 전압 320V일 때 박막 표면 및 단면 SEM 사진

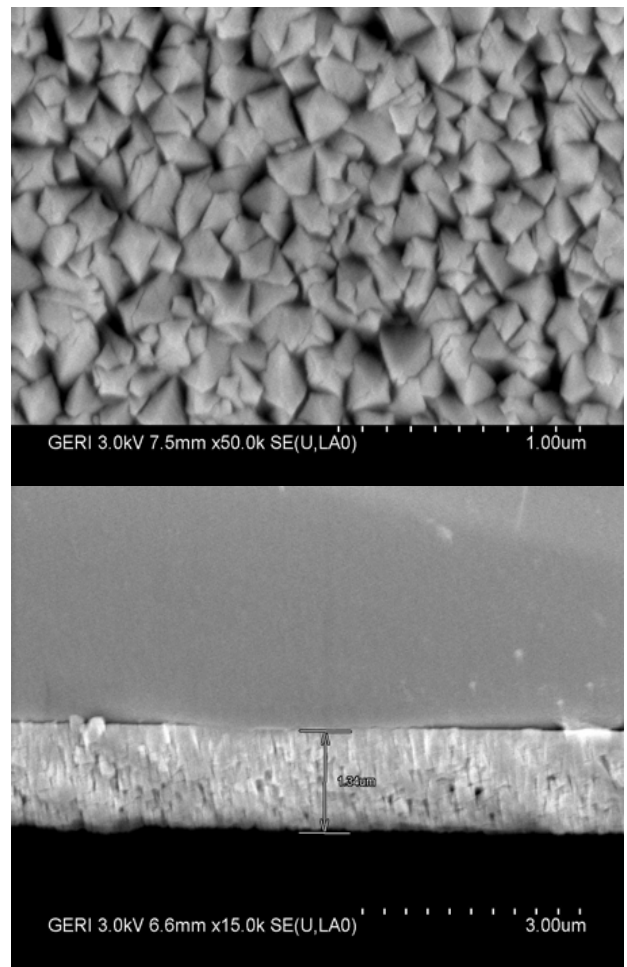


Fig. 5. The SEM picture of surface and crossection of thin film at 330V DC bias.

그림 5. 인가 전압 330V일 때 박막 표면 및 단면 SEM 사진

### III. 결론

본 연구에서는 DC magnetron sputter를 사용하여 ITO (Indium Tin Oxide)을 유리 기판에 박막으로 제조하여 최적의 투명전극을 증착하는 조건을 연구하였다. 박막의 특성을 조사하기 위해 SEM, 일립소메타를 사용하여 실험 조건의 변화에 따른 시료의 광학적 물리적 특성을 분석하였다. 증착 조건 중 전압에 따른 두께 변화를 관측했을 때 330V의 증착 조건에서 1.3 $\mu\text{m}$ 의 다른 조건에 비교해서 확연히 두꺼운 결과를 확인하였다.

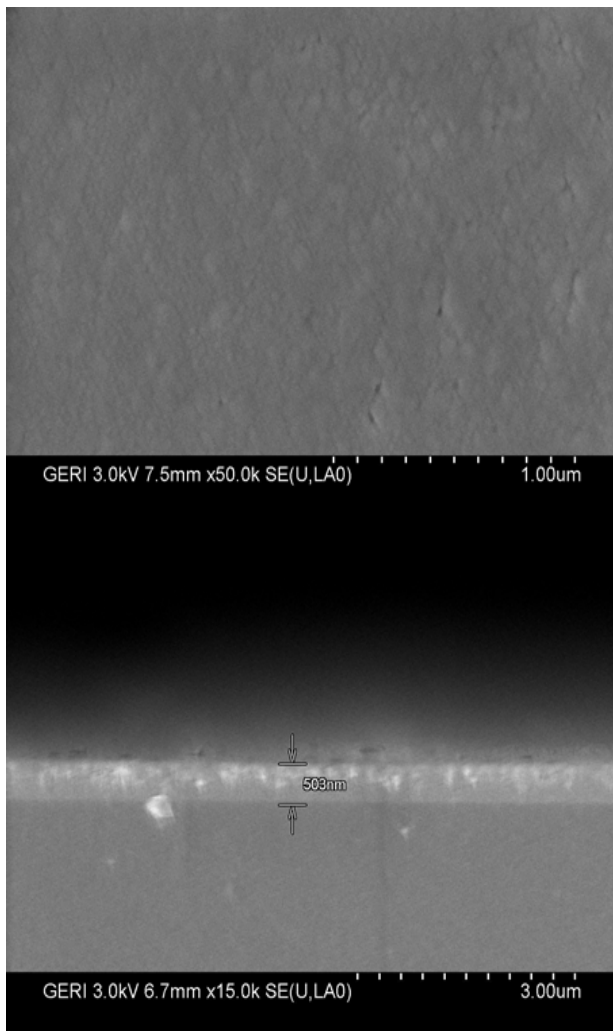


Fig. 6. The SEM picture of surface and crossection of thin film at 340V DC bias.

그림 6. 인가 전압 340V 일때 박막 표면 및 단면 SEM 사진

330V 조건의 표면 SEM 사진에는 다른 조건에 비해 입자들의 형태가 크고 뚜렷하게 관찰되었다. 위의 실험 결과를 종합적으로 판단할 때 330V 3mTorr 조

건에서 DC 마그네트론 스퍼터를 사용하여 증착한 ITO 박막이 증착속도가 우수하면서 광학적 특성이 우수하다고 생각된다. 굴절율 그래프에서는 투과율의 변화 그래프와 유사하게 330 V에서 굴절율이 2에서 1.75로 하락하는 결과를 보여주었다. 분위기압이 증가하게 되었을 때 성막 두께가 전체적으로 감소하는 것과 굴절율의 변화는 분위기압만을 증가시키는 것으로 박막두께와 품질의 향상을 이룰 수 없음을 보여준다. 따라서 양질의 투명 전도 박막을 형성하기 위해서는 분위기압 조절이 중요하지만 플라즈마 전원 전압과 다른 요소들을 더 고려해야 한다고 결론 내릴 수 있으며 추가적인 변인 제어가 필요한 상태다. 추가 변수를 제어한 상태에서 박막 성장 실험을 하는 것에 더해 투명산화막(TCO)의 특성 분석에 매우 중요한 요소인 저항률 측정을 하지 않았기 때문에 차후 저항률 측정을 위한 4 point probe법이나 Hall 측정법을 사용하여 저항율이나 면저항 값을 측정 하는 연구를 추가로 수행할 필요가 있지만, 현재까지 관측된 결과를 고려해 볼 때 DC 바이어스 330V 상온에서 증착한 ITO 박막은 증착속도가 매우 높으며 광학적 특성도 훌륭하다고 볼 수 있다.

### References

- [1] Ajinkya Bhorde, et al. "Room Temperature Synthesis of Transparent and Conducting Indium Tin Oxide Films with High Mobility and Figure of Merit by RF-Magnetron Sputtering," *Journal of Electronic Materials*, Vol.48, Issue11, pp.7192-7202, 2019. DOI: 10.1007/s11664-019-07533-8
- [2] F. Djeflal, et al. "Effects of annealing temperature and ITO intermediate thin-layer on electrical proprieties of Au/p-Si structure deposited by RF magnetron sputtering," *Superlattices and Microstructures*, Vol.128, pp.382-391, 2019. DOI: 10.1016/j.spmi.2019.02.015
- [3] Se-Il Kim, Yong-Min Kang, Se-Hee Kwon, Tae-Dong Jung, Seung-Ho Lee, Pung-keun Song, "Characteristics of ITO:Ce/PET Films for Flexible Display Applications," *J. Kor. Inst. Surf. Eng.* Vol.42, No.6, pp.276-279, 2009. DOI: 10.5695/JKISE.2009.42.6.276

- [4] Jin Yeol Kim, Sun Ig Hong, "Influence of ITO Thickness on the Deformation and Cracking Behaviors of ITO/PET Sheets," *Korean J. Mater. Res.* Vol.19, No.1, pp.1-6, 2009.  
DOI: 10.3740/MRSK.2009.19.1.001
- [5] Soo-Sun Lee, Na-Ri Lee, Kyeong-Il Kim, and Tae-Whan Hong, "Environmental Impacts Assessment of ITO (Indium Tin Oxide) Using Material Life Cycle Assessment," *CLEAN TECHNOLOGY*, Vol.18, No.1, pp.69-75, 2012.  
DOI: 10.7464/ksct.2012.18.1.069
- [6] Won-Ho Jang et al, *Electronic Display*, Sung-AnDang Publisher, 2002.3.
- [7] Yeong-Lee Kim, Cheol-Hyeon An, Si-U Gang, Dong-Chan Kim, Bo-Hyeon Gong, Won-Seok Han, Sang-Uk Jeon, Hyeong-Gyun Jo, "High temperature ZnO thin film deposition by sputtering to improve crystal property," *Proceedings of the Korean Institute of Surface Engineering Conference*, pp.163-164, 2007.
- [8] Seog-Sun Nam, "Expansion and Application of Publication Contents in the Era of Smart Media," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.9, No.3, pp.12-17, 2014.  
DOI: 10.20924/CCTHBL.2011.9.3.012
- [9] Young-Ho Son, Seung-Hoon Choi, Joong-Jin Park, Myoung-Hyo Jung, Youngjune Hur, In Soo Kim, "Fabrication and Study of Transparent Conductive Films ZnO(Al) and ZnO(AlGa) by DC Magnetron Sputtering," *Journal of the Korean Vacuum*, Vol. 22, No.3, pp.119, 2013.  
DOI: 10.5757/JKVS.2013.22.3.119
- [10] Dae-Han Seo, Sung-Yong Chun, "A Comparative Study of CrN Coatings Deposited by DC and Inductively Coupled Plasma Magnetron Sputtering," *J. Korean Inst. Surf. Eng.* Vol.45, No.3, 2012.  
DOI: 10.5695/JKISE.2012.45.3.123
- [11] Sung-Yong Chun, Se-Chul Kim, "A Comparative Study of Nanocrystalline TiAlN Coatings Fabricated by Direct Current and Inductively Coupled Plasma Assisted Magnetron Sputtering," *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol.51, No.5, pp.375-379, 2014. DOI: 10.4191/kcers.2014.51.5.375
- [12] Sang-Won Park, Sung-Yong 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. DOI: 10.4191/kcers.2013.50.6.390
- [13] C. David, et al. "Highly conductive and transparent ITO films deposited at low temperatures by pulsed DC magnetron sputtering from ceramic and metallic rotary targets," *Surface and Coatings Technology*, Volume, Vol.314, No.25 pp.113-117, 2017. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.09.022
- [14] Yilei Lu, et al. "Comparative study of AZO and ITO thin film sputtered at different temperatures and their application in Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> solar cells," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol.29, Issue20, pp.17525-17532, 2018. DOI: 10.1007/s10854-018-9853-y
- [15] A. Alyamani, N. Mustapha, "Effects of high dose gamma irradiation on ITO thin film properties," *Thin Solid Films*, Vol.611, pp.27-32, 2016.  
DOI: 10.1016/j.tsf.2016.05.022

---

## BIOGRAPHY

---

### Howoon Kim (Member)



1995 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

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

2004 : PhD degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2019~ : Professor Dept. of Aviations Information & Communication Engineering, Kyungwoon University

**Jeong-oh Yun** (Member)

1989 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

1991 : MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2002 : PhD degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

1991 ~ 1996 : Research Engineer, Taewon Electronics.