

---

# ITO 박막의 DC 마그네트론 스퍼터링 진공 증착

허창우\*

The DC magnetron sputtering vacuum deposition of indium tin oxide thin film

Chang-wu Hur\*

## 요 약

현재까지 개발된 투명전극재료 중에는 ITO가 가장 투명하면서 전기도 잘 통하고 생산성도 좋다. 투명전극은 비저항이  $1 \times 10^{-3} \Omega/\text{cm}$  이하, 면저항이  $10^3 \Omega/\text{sq}$  이하로 전기전도성이 우수하고 380에서 780nm의 가시광선 영역에서의 투과율이 80% 이상이라는 두 가지 성질을 만족시키는 박막이다. 본 연구에서는 스퍼터링 진공 증착 장치를 이용하여 투명 도전막(ITO: Indium Tin Oxide)을 제작하고 제작된 ITO 박막의 광 및 전기 그리고 물성적 특성을 조사하여 최상의 공정 조건을 확립하였다.

본 실험에서는  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2$ 의 조성비는 90:10 wt% 인 타겟의 특성이 우수하였고, Ar:O<sub>2</sub>의 분압비는 100:1 및 42:8의 조건이 적당하였으며, 온도는 200°C 가장 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 제작한 박막은 광 투과도가 90% 이상, 비저항이  $300 \mu\Omega\text{cm}$  이하의 특성을 갖게되어 이미지 센서, 태양전지, 액정 텔레비전 등 빛의 통과와 전도성 등 두가지 특성에 동시에 만족 될만한 성능을 가질 수 있음을 확인하였다.

## ABSTRACT

Indium-tin-oxide (ITO) films show a low electrical resistance and high transmittance in the visible range of an optical spectrum. The transparent electrodes have to get resistivity and sheet resistance less than  $1 \times 10^{-3} \Omega/\text{cm}$  and  $10^3 \Omega/\text{sq}$  respectively and transmittance over 80% at wavelength of 380nm~780nm. This study establishes DC magnetron sputtering process condition on ITO thin film by measuring electrical and optical properties of the thin film. As results, we obtained  $300 \mu\Omega\text{cm}$  resistivity of ITO films with good transmittance (above 90 %) under 90:10 wt% composition rate of  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2$ . Also, we understood that the ITO thin film by DC magnetron sputtering depends on the deposition condition, especially substrate temperature, and the composition rate of  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2$  that is one of the most critical parameters was successfully optimized for high qualified transparent electrodes.

## 키워드

스퍼터링 진공 증착 장치, 투명 도전막, 광투과도, 조성비, 비저항

## Key word

DC magnetron sputtering, transparent electrode, optical transmittance, stoichiometry

## I. 서 론

투명 도전막은 이미지센서, 태양전지, 액정 텔레비전, 발광 디스플레이등 빛의 통과와 전도성등 두 가지 목적을 동시에 필요로 하는 소자에 폭 넓게 사용되고 있는 재료이다. 이러한 목적에 가장 적합한 재료로는 ITO(indium tin oxide)로써 유리기관 위에서 박막을 형성하기 쉽고 광투과 특성 및 우수한 도전성을 갖고 있다. ITO는 Indium-Tin Oxide(인-주석 산화물)의 줄인 말로 투명하면서 전기가 통한다. 모든 디스플레이에서 필요한 것이 아니라 매트릭스 방식으로 구동되는 PDP, LCD 등의 얇고 편평한 디스플레이에서 사용된다.

ITO 박막의 형성 장비로는 진공증착 장비를 사용하게 되는데 그 중에서도 특성이 가장 우수한 스퍼터링 장비가 많이 사용되고 있다. 이 ITO 박막의 형성을 위한 스퍼터링 진공증착 장비의 최적 증착 조건과 우수한 특성을 갖는 ITO박막을 개발하는 것은 현재 여러 소자에 적용되고 있고 앞으로 정보화시대에 필요한 소자등에 그 응용을 생각 할 때에 적합하다. ITO(indium tin oxide)박막은 국내의 대기업 삼성, 현대, 금성등 반도체 3사에서 이의 박막화에 대한 연구가 진행되고 있으며,일본의 샤프, 히타찌 그리고 시티즌등에서도 활발히 연구개발하고 있다.

ITO(indium tin oxide)박막은 면저항(sheet resistance)이 10~1KΩ/sq의 값으로 조건에 따라 다르며, 광투과도(transmittance)가 90% 이상의 값이 요구된다. 일반적으로 박막의 제작에는 저항 가열법(thermal evaporation) 과 전자선 가열법(electron beam evaporation) 그리고 스퍼터링(sputtering) 법의 물리적 증착 (physical evaporation) 과 화학적 증착(chemical deposition)으로 나뉜다. 스퍼터링(sputtering)이란 힘이 있는 즉, 에너지틱(energetic)한 입자를 고체물질의 표면에 충돌시켜 표면으로부터 원자(Atom)나 분자(Molecule)를 여기 시킨 것으로 제 4의 불이라고 하는 플라즈마(Plasma)를 이용한다.

이 플라즈마는 양성이온(Ion)과 전자(Electron)가 같은 수로 중성원자 또는 분자와 혼합되어 있는 상태이고, 이 플라즈마를 얻기 위해 그로우 방전(Glow discharge)에서 Ar 가스와 반응가스(reactive gas)를 이용하여 단일불질과 화합물 등의 박막을 제작하는 방법이다. 이 경우 스퍼터링 수율(sputtering yield)을 고려하면 타겟(Target)의 재료와 충돌 여기종 그리고 에너지와 입사각(incident

angle)에 의존한다. 이 일들은 충돌 입자의 질량이 타겟 원자 또는 분자의 질량보다 크거나 같을 때 최대가 된다.

본 연구에서는 투명 도전막인 ITO(indium tin oxide)박막을 형성하기 위하여 DC magnetron sputtering 진공증착장비를 사용하였다. 우수한 투명 도전 박막을 형성하기 위하여 DC magnetron sputtering 진공증착장비의 최적 증착조건을 구하고자 한다. 이를 위하여 여러 실험조건(증착온도와 가스유량의 변화 그리고 증착 rf power density, chamber pressure 등)에서 행한 실험을 여러 분석 장비를 통하여 가장 우수한 특성을 갖게 되는 증착조건을 확립하였다.

## II. 박막제조

본 연구에서 사용한 박막 제조 장치는 DC 실린더형 마그네트론 스퍼터링 (Cylindrical magnetron sputtering)이며, 자기장의 세기는 전자에는 영향을 미치고 이온에는 영향을 미치지 못하나, 플라즈마가 균일하게 형성하는 것에 도움을 준다. 진공 시스템은 Turbo molecular pump를 사용하고, 8 inch 원형의 타겟을 사용하며, 기관의 크기가 300\*300mm인 유리기관에서 박막두께 분포(thickness uniformity)를 ±5%로 제작할 수 있고, 캐리어 가스(carrier gas)로 Ar 가스를, 반응가스(reactive gas)는 O<sub>2</sub> 와 N<sub>2</sub>를 사용할 수 있는 직류 마그네트론 스퍼터(DC magnetron sputter)로 최대 5kW의 출력을 가진 파워 서플라이가 장착되어 있다.

투명전극은 광투과도와 비저항값이 고려대상이고, 특히 광투과도와 비저항은 O<sub>2</sub> 가스의 사용량에 대해서도 반비례하는 경향이 있으므로 이번 실험에서는 Ar:O<sub>2</sub>의 분압비, 스퍼터링 시의 기판온도(substrate temperature)를 주요 변수로 하였다.

타겟은 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:SnO<sub>2</sub>의 조성비가 90:10wt%인 것으로 미쓰이 금속(mitsui mining Co.)의 것을 사용하였다.

조건은 표1 과 같고, 박막의 두께는 1,500 Å, base pressure 는 9X10<sup>-7</sup> torr, deposition pressure 는 5.0X10<sup>-3</sup> torr 로 고정하였다. 타겟의 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:SnO<sub>2</sub>의 조성비는 90:10 wt% 으로 하였다. 동일한 조건에서 기판 온도는 200℃와 23℃의 두가지 조건을 실험하여 증착시 기판온도가 박막에 어떠한 영향을 미치게 될지를 판단하고자 하였다. 그 외에 Ar 가스의 flow rate를 50sccm으로 고정하고 상대적

으로 O<sub>2</sub>가스의 flow rate를 0, 0.5, 5.0sccm 으로 변화시켜 Ar:O<sub>2</sub> 분압비에 따른 박막의 특성차이를 비교 하였다.

표 1. ITO 박막의 형성 조건  
Table 1. Deposition condition of ITO film

Film thickness : 150 nm
Base pressure : $9 \times 10^{-7}$ torr
Deposition pressure : $5.0 \times 10^{-3}$ torr
Target (In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : SnO <sub>2</sub> ) : 90:10 wt%

Parameter	1	2	3	4	5	6
Sub. Temp.(°C)	200	200	200	23	23	23
Ar flow rate (sccm)	50	50	50	50	50	50
O <sub>2</sub> flow rate (sccm)	0	0.5	5.0	0	0.5	5.0

### III. 박막특성 및 결론

스퍼터링 장치를 이용하여 투명도전막을 제작하고 광 및 전기 그리고 물성측정을 하였다. 크게 Ar:O<sub>2</sub>의 분압비 그리고 온도 의존성으로 나눌 수가 있는데 가장 좋은 조건에서 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>과 SnO<sub>2</sub>의 조성비가 90:10 wt%인 것을 사용한 결과 Ar:O<sub>2</sub>의 분압비가 100:1, 42:8 인 것 그리고 온도 의존성으로는 200°C의 값은 비정질 실리콘의 온도에 대한 성능 저하를 고려한 온도이며, 알려진 것 과 같이 23°C 즉, 실온의 경우에 비해 막의 균질성 및 특성이 우수한 것을 알 수 있다.

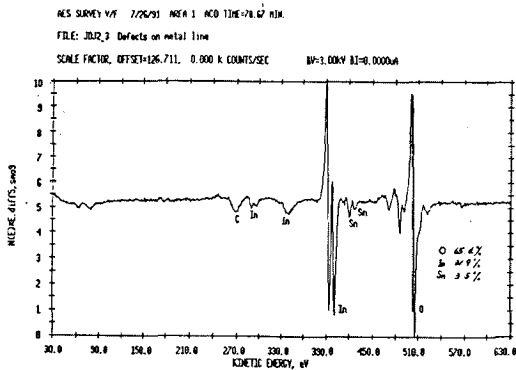


그림1. 제조된 ITO 박막의 표면의 AES데이터  
Fig. 1. AES data of ITO film

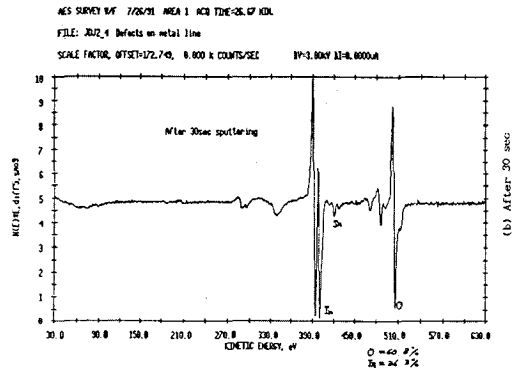


그림2. 제조된 ITO 박막 표면의 30초 스퍼터 에칭후의 AES데이터  
Fig. 2. AES data of etched ITO film during 30 seconds

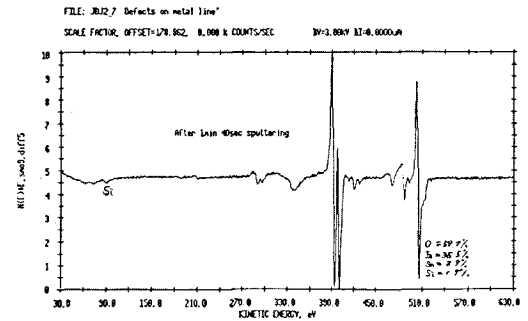


그림3. 제조된 ITO 박막 표면의 1분 40초 스퍼터 에칭후의 AES데이터  
Fig. 3. AES data of etched ITO film during 1 minute 40 seconds.

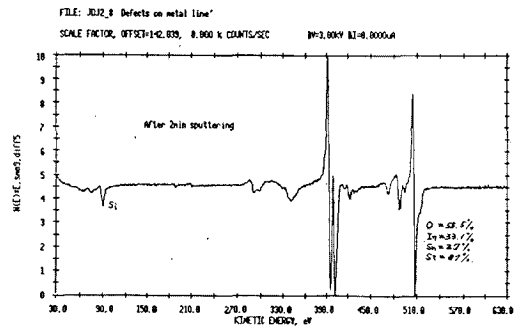


그림4. 제조된 ITO 박막 표면의 2분 스퍼터 에칭후의 AES데이터  
Fig. 4. AES data of etched ITO film during 2 minutes.

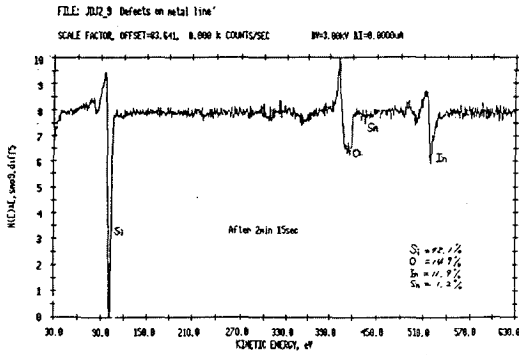


그림5. 제조된 ITO 박막 표면의 2분 15초 스퍼터 에칭 후의 AES데이터  
 Fig. 5. AES data of etched ITO film during 2 minutes 15 seconds.

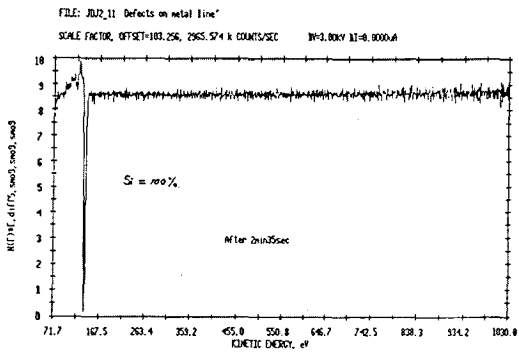


그림6 제조된 ITO 박막 표면의 2분 35초 스퍼터 에칭 후의 AES데이터  
 Fig. 6. AES data of etched ITO film during 2 minutes 35 seconds.

AES를 통해 분석한 (그림1~6) 투명전극의 표면에서  $\text{In}_2\text{O}_3$  는 32%  $\text{SnO}_2$ 는 3.5% 인 것을 확인 할 수 있었다. 각각의 그림에서 그림1는 표면, 그림2는 30초 스퍼터 에칭 후, 그림3은 1분 40초 스퍼터 에칭 후, 그림4는 2분 스퍼터 에칭 후, 그림5는 2분 15초 스퍼터 에칭 후, 그림6은 2분 35초 스퍼터 에칭 후 AES 데이터를 나타낸다. 광투과도의 경우는  $\text{Ar}:\text{O}_2$ 의 분압비와 가온온도에 밀접한 관계가 있는 것을 알 수 있었다. 또한 가온온도는 450~500℃의 것이 더욱 우수하다고 보고되었으나, LCD 나 이미지 센서의 투명전극으로 사용하기 위해서는 이 정도의 고온으로도 아몰퍼스 실리콘박막을 손상시킬 수 있으므로 제작 특성상 사용할 수 없다. 투명전극의 특성은 마그

네트론의 영향으로 타겟의 조성비가 90:10인 경우 타겟 표면의  $\text{O}_2$  분포가 우수하다고 생각된다.

참고문헌

[1] Glliott Schlam, "Status of Flat Panel Display", SID Vol. 11 May. pp. F-1-1-40, 1990  
 [2] D.Y. Lee, H.K. Baik, Appl. Surf. Sci. 254, 6313 (2008).  
 [3] T.K. Yong, T.Y. Tou, R.B. Yang, B.S. Teo, H.K. Yow, Vacuum 82, 1445 (2008)  
 [4] J.-O. Park, J.-H. Lee, J.-J. Kim, S.-H. Cho, Y.K. Cho, Thin Solid Films 474, 127 (2005).  
 [5] F. Kurdesau, G. Khripunov, A.F. da Cunha, M. Kaelin, A.N. Tiwari, J. of Non-Crystalline Solids 352, 1466 (2006).  
 [6] C. Guillen, J. Herrero, Vacuum 80, 615 (2006).

저자소개

허창우(Chang-wu Hur)



1991.2 : 연세대학교 전자공학과 공학박사  
 1986~1994: LG 중앙 연구소  
 1994.3 ~ 현재 : 목원대학교 IT공학부 교수

※주요연구분야: 반도체공학 및 VLSI 설계