

## RF 마그네트론 스퍼터를 이용한 ATO 박막의 열처리 효과

박세용, 이성욱, 박미주, 김영렬, 홍병유\*  
성균관대학교 정보통신공학부

### The effects of annealing of the ATO films prepared by RF magnetron sputtering

Sei-Yong Park, Sung-Uk Lee, Mi-Ju Park, Young-Ryeol Kim and Byungyou Hong\*  
School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University.

**Abstract** : Antimony (6 wt%) doped tin oxide (ATO) films to improve conductivity were deposited on 7059 corning glass by RF magnetron sputtering method for application to transparent electrodes. The ATO film was deposited at a working pressure of 5 mTorr and RF power of 175 W. We investigated the effects of the post-annealing temperature on structural, electrical and optical properties of the ATO films. The films were annealed at temperatures ranging from 300 °C to 600 °C in step of 100 °C using RTA equipment in vacuum ambient. X-ray diffraction (XRD) measurements showed the ATO films to be crystallized with a strong (101) preferred orientation as the annealing temperature increased. Electrical resistivity decreased significantly with annealing temperatures up to 600 °C. ATO film annealed at temperature of 600 °C showed the lowest resistivity of  $5.6 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ . Optical transmittance increased significantly with annealing temperatures up to 600 °C. The highest transmittance was 90.8 % in the visible range from 400 to 800 nm.

**Keywords** : Antimony-doped tin oxide, transparent conductive oxide, RF sputtering, resistivity, annealing

### 1. 서론

최근 TCO 박막은 FPD의 투명 전극 소자 및 태양전지의 광전자 소자에 광범위하게 응용되고 있다.[1] 특히 FPD의 경우 점점 대면적화, 고기능화 되어 가고 있어 TCO 박막은 FPD를 제작함에 있어 중요한 요소가 되고 있다. TCO가 산업 제품에 성공적으로 응용되기 위해서는 광학적 투과율과 전기전도도가 좋아야 한다. 이러한 TCO의 대표적 소재로는 ITO 박막이 잘 알려져 있다. 그러나, ITO는 전기전도도는 뛰어나지만, 내화학적 내마모 특성이 우수하지 못하다. 또한, 최근 ITO막의 주성분인 Indium 가격의 급상승으로 제조단가가 매우 높은 단점이 있다. 이에 반해 ATO ( $\text{SnO}_2\text{:Sb}$ ) 박막은 광학적 투과율 평균 85% 이상이며, 내화학적, 내마모성이 우수할 뿐만 아니라 제조원가가 저렴하다는 장점이 있다.[2] 그러나 ATO가 ITO를 대체하기 위해서는 전기전도도를 향상시켜야 하는 과제가 남아있다. 본 실험에서는 ATO 박막의 전기전도도를 향상시키기 위하여 열처리를 하였으며, 이에 따른 박막의 구조적, 전기적 그리고 광학적 특성에 대해서 알아보려고 한다.

### 2. 실험 방법

열처리 온도에 따른  $\text{SnO}_2\text{:Sb}$  박막의 재료, 전기적 특성 변화를 실험하기 위하여 먼저  $10 \times 20\text{mm}$  크기의 corning 7059 glass 기판을 준비하여 DI water, acetone, alcohol, DI water 순서로 각각 5분간 초음파 세척 실시한 후  $\text{N}_2$ 로 통풍 건조하였다. 박막의 증착은 표.1과 같이 Sb를 6 wt%첨가한  $\text{SnO}_2$  target을 이용하여 RF magnetron sputtering으로 상온에서 증착하였으며, 반응

가스로는 Ar가스를 사용하였다. Glass 기판위에 증착시킨  $\text{SnO}_2\text{:Sb}$  박막은 약  $150 \pm 10 \text{ nm}$ 의 두께로 일치시켰으며 열처리는 Ar 분위기에서 300, 400, 500, 600°C의 온도에서 RTA (Rapid thermal annealing)로 각각 1분간 열처리를 실시하였다. 이와 같은 방법으로 제조된 박막의 결정성을 분석하기 위해 X-ray diffractometer (XRD: Bruker AXS D8 discover)를 이용하였고, ATO 박막의 전기적 특성은 Hall measurement (ECOPIA)으로 측정하였으며, 광 투과도는 UV-visible spectrophotometer (Hitachi U 300)를 이용하여 측정하였다.

표. 1 ATO 박막의 열처리 조건

parameter	value
Target	$\text{SnO}_2\text{:Sb}$ (94:6 wt%)
Substrate	Corning glass 7059
Substrate temperature	RT
RF power	175 W
Working pressure	5 mTorr
Annealing temperature	300, 400, 500, 600 °C
Annealing ambient	Vacuum

### 3. 결과 및 고찰

그림. 1은 ATO 박막의 RF magnetron sputtering 시 열처리 온도 변화에 따른 X선 회절분석 결과를 나타낸 것이다. XRD 패턴에서 보여 지듯이 박막의 열처리 온도가 증가함에 따라 (101) 방향의 피크의 강도가 우세해지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 박막을 열처리함에 따라 막 내

부의 원자들은 열적 평형을 이루기 위해 보다 안정한 위치로 재배열하게 되고 막내부에서 존재하던 여러 종류의 결함들의 농도도 평형 농도를 향하여 변화하기 때문이다.

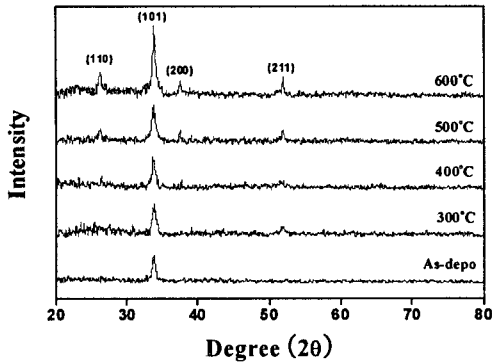


그림. 1 XRD patterns of ATO films as a function of annealing temperatures

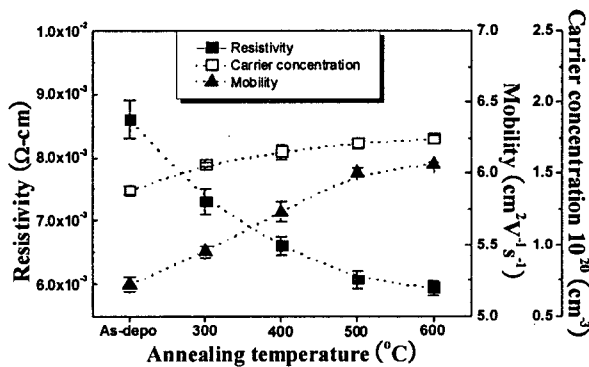


그림. 2 Resistivity, mobility, and carrier concentration of ATO films as a function of annealing temperatures

그림. 2는 열처리 온도에 따른 전기적 성질 변화를 나타낸 것이다. 이를 관찰해 보면 열처리 온도가 증가함에 따라 전자농도 및 전자 이동도가 전체적으로 모두 증가하여 결과적으로 전기비저항이 감소하였음을 알 수 있다. Sb 도핑에 의한 전기전도도의 향상은 SnO<sub>2</sub>:Sb 격자 내의 산소공공, Sb 또는 Sn 침입형 원자, Sn 이온 위치에 Sb 이온의 치환 등에 의해 이루어지는데, 열처리 온도의 높고 낮음에 따라 격자 내에서 위와 같은 원자운동이 활발하게 일어나 전기적 특성이 향상된 것으로 판단된다. 또한, 위 그림은 XRD 패턴과 유사한 경향을 보이는데 이는 박막의 결정립 성장으로 인하여 전기적 특성이 향상됨을 알 수 있다.

그림. 3은 박막의 열처리 온도에 따른 광 투과도를 나타낸 것이다. 열처리를 실시하지 않은 ATO 박막의 경우, 400~800 nm의 가시 광 영역에서 평균 약 86 %의 투과도를 보였다. 하지만 열처리 온도가 높아질수록 투과도는 증가하여 600 °C에서는 약 90 % 이상의 높은 투과도를 보였다. 이러한 결과는 열처리된 박막은 전체적으로 큰 결정립들을 형성하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 결정

립이 큰 박막은 미세결정립에 비해 결정립계가 차지하는 면적이 작기 때문에 투과하는 빛에 대한 간섭이 줄어들어 더 우수한 광학적 특성을 보일 수 있다.

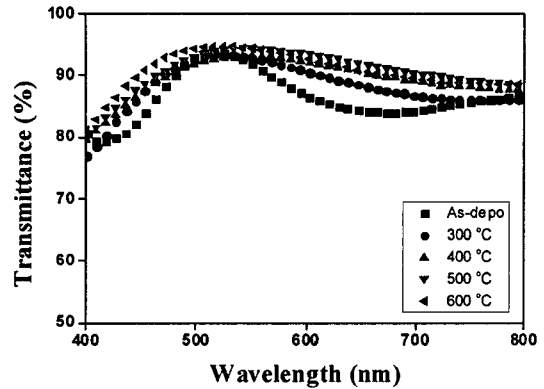


그림. 3 Transmittance of ATO films as a function of annealing temperatures

#### 4. 결론

본 실험에서는 RF magnetron sputtering을 이용하여 corning glass 위에 SnO<sub>2</sub>:Sb 박막을 증착시키고 300, 400, 500, 600 °C에서 열처리를 실시하여 열처리 온도에 따른 구조적, 전기적, 광학적 특성에 대하여 연구하였다. X선 회절분석 결과 열처리 온도가 증가할수록 상대적으로 (101) 피크가 우세하였으며, 600 °C에서 가장 높은 피크를 관찰할 수 있었다. 또한, 열처리 온도의 증가로 결정성이 향상되어 grain size의 크기가 증가하고 grain boundary가 감소하였다. 따라서 박막의 surface mobility가 증가하여 전기적 특성이 향상되었으며, 600 °C에서 열처리된 박막은 5.6×10<sup>-3</sup> Ω-cm의 우수한 비저항과 가시광영역에서 90.8 %의 높은 투과도를 보였다.

#### 참고 문헌

- [1]. E. Kamijo, *New Glass*, 10, 2, 1995.
- [2]. Z.M. Jarzelski, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 123, P. 199, 1976.
- [3]. A. Czapla, E. Kusior, and M. Bucko, *Thin Solid Films*, Vol. 182, P. 15, 1989.
- [4]. A. Rohatgi, T.R. Viverito, and L.H. Slack, *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 57, P. 278, 1974.
- [5]. E. Shanthi, V. Dutta, A. Banerjee, and K.L. Chopra, *J. Appl. Phys.*, Vol. 51, P. 6243, 1984.