

## ITO 박막의 공정변수에 따른 특성 연구

김소라, 서정은, 김상호\*

한국기술교육대학교, 신소재공학과

### Dependance of the Process Parameters on the Characteristic of the ITO Thin Films

So-Ra Kim, Jung-Eun Seo, Sang-Ho Kim\*

Korea University of Technology and Education, Advanced Materials Engineering, 307 Gajeon-ri  
 Byungcheon-myun Cheonan Chungnam, 330-708, Korea

(Received 7 June 2004 ; accepted 22 June 2004)

#### Abstract

ITO thin film was deposited on the glass by RF magnetron sputtering. Dependence of the process parameters such as thickness, target-to-substrate distance, substrate temperature and oxygen partial pressure on the transmittance and electrical resistance of ITO film were investigated. The deposition conditions for getting better optical and electrical ITO characteristics were the 1800~2300 Å thickness, 65mm substrate-to-target distance, 350°C substrate temperature and 8% oxygen partial pressure. At these conditions, the transmittance and sheet resistance of the ITO film were 83.3% and 77.86Ω/□, respectively.

*keywords* : Indium Tin Oxide (ITO), RF Sputtering, Process parameters, Transmittance, Sheet resistance

## 1. 서 론

투명 전도막은 지금까지 열반사막, 광전변환소자 및 각종 flat panel display의 투명 전극등으로 사용되어왔다. 특히 최근에서 작고 얇은 LCD(Liquid Crystal Display)의 등장으로 소형기에 응용되면서 그 수요가 더욱 증가하고 있다. 특히 LCD에 사용되는 투명전극은 전기적 특성 및 에칭 특성이 우수하고 광 투과율 특성이 우수한 재료가 필요하다. 이러한 TCO(Transparent Conducting Oxide) 재료 중 ITO는 가시광선 영역의 스펙트럼에서 높은 투과율과 낮은 전기저항을 나타내어 LCD의 구조적, 기능적 코팅막으로 사용되어 왔다. 또한 오늘날 TFT-LCD와 PDP, OLED등을 이용한 디스플레이 장비가 발전하면서 ITO박막 기판은 수요가 늘어나고 있는 현실이다<sup>1)</sup>.

일반적으로 ITO박막은 화학기상증착법, 스프레이법, 이온플레이팅법, 스퍼터링법 등 다양한 제조방법을 가지고 있다. 이중 대형기판에 균일한 고품질의 막을 얻을 수 있는 스퍼터링법을 주로 이용하고 있다. 본 연구에서는 고품질의 막을 빠르게 얻기 위해 RF Magnetron Sputtering 방법을 이용하였다.

유리 기판은 부착력이 강하고 화학적으로 안정하여 ITO박막에 가장 이상적인 물질이라고 하겠다. 본 연구에서는 유리기판 위에 타겟과 기판의 간격(T-S 간격), 기판온도, 박막의 두께, 산소분압 등의 증착조건에 따라 높은 광 투과율과 낮은 전기저항을 갖는 연구를 진행하였고 이에 대한 원인을 분석하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 ITO박막을 RF Magnetron Sputter를 이용하여 Glass기판에 증착하였다. 본 실험에 사

\*Corresponding author. E-mail : shkim@kut.ac.kr

용된 Glass는 Soda-lime glass 기판 표면에 SiO<sub>2</sub>가 덮 코팅되어 있는 것을 이용하였다. Glass 위의 먼지나 유지 등 불순물들은 증착 시 막의 질을 떨어뜨리고 접착성을 떨어뜨리며 핀 홀의 영향이 되므로, 아세톤으로 10분 동안 초음파 세척한 후 증류수로 린스하고 질소로 드라이하였다.

ITO박막은 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(90 mol%) : SnO<sub>2</sub>(10 mol%)의 조성비를 가지는 타겟을 사용하여 증착되었으며, 진공은 로타리 펌프와 디퓨전 펌프로 초기 진공도인 1×10<sup>-6</sup>Torr까지 도달된 후 아르곤 가스를 이용하여 챔버 내부의 진공도를 플라즈마 시동이 용이할 수 있는 환경을 조성하였고, ITO박막 증착 중 진공도는 4.0×10<sup>-3</sup>Torr로 유지하였다.

ITO박막증착 시 RF 파워는 60 W로 고정하고 증착시간을 4분에서 25분까지 변화시켜가며 100~4000 Å까지 박막의 두께 변화를 주었고 타겟과 기판 간격(T-S 간격)을 65 mm와 95 mm로 변화시켜 증착 속도에 따른 영향을 보았다. 기판온도 200, 350, 500°C로 변화시키며 증착하였으며 또, 아르곤 대비 산소분압은 5, 8, 10, 15%로 조절하여 실험하였다. 증착 후 어닐링처리는 350°C로 30분간 공기 중에서 행하였다. 이상의 증착 조건을 표 1에 정리하여 나타내었다.

4 point probe와 UV spectrophotometer를 사용하여 전기적 특성과 광 투과율이 가장 좋은 증착 조건을 구하고 XRD, SEM, AFM 등의 분석을 통하여 그 이유에 대해 조사하였다.

Table 1. RF Magnetron sputtering conditions

Target	(90%)In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(10%) SnO <sub>2</sub>
Substrate	Glass
Basal Pressure	1×10 <sup>-6</sup> torr
Working Pressure	4×10 <sup>-3</sup> torr
Gas (O <sub>2</sub> /(Ar + O <sub>2</sub> ))	5, 8, 10, 15%
RF power	60 W
Heat treatment	350°C annealing
Substrate Temp.	200°C, 350°C, 500°C
Distance Sub.~Target	65 mm 95 mm
Thickness	100~4000 Å
analysis equipment	4 point probe, UV spectrometer, AFM, α-step, XRD, FE-SEM

### 3. 결 과

#### 3.1 박막 두께

박막 두께의 변화에 따른 광 투과율과 면저항의 변화에 대해 살펴보았다. 그림 1은 본 연구에서 증

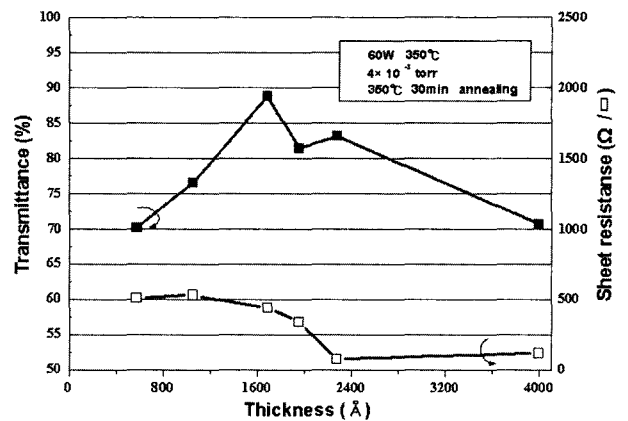


Fig. 1. Effect of film thickness on the transmittance and sheet resistance of ITO thin films.

착조건을 60 W, 350°C, 4×10<sup>-3</sup> torr, T-S간격을 65 mm, 산소 유량비를 8%로 고정하고 박막의 두께만 변화를 주었을 때의 광 투과율과 면저항에 대해서 측정한 그래프이다. 박막의 두께가 1800Å~2300 Å일 때 83.3%의 광 투과율과 77.86 Ω/□ 면저항을 나타낸다.

그 이유를 알아보기 위해 FESEM(그림 2), XRD(그림 3), AFM(그림 4) 분석을 하였다.

10만배의 배율로 FESEM을 정면과 단면을 촬영하였을 때 그림 2에서 보여지는 것처럼 두께가 두꺼워 질수록 결정립이 성장한 것을 확인할 수 있다. 결정립의 성장은 면저항을 감소시키는 영향으로 작용하여 결정립의 성장이 가장 작은 1600 Å일 때 높은 면저항을 보인다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 주상의 결정립이 박막 성장 방향으로 나열되어 있으므로 결정립이 미세할 경우 전류의 흐름에 수직으로 배열되는 결정입계의 수가 증가하기 때문으로 생각된다.

그림 3은 1600, 2300, 4000 Å으로 두께를 다르게 했을 때 X선 회절패턴을 나타낸 것이다. 박막의 두께에 상관없이 (2 2 2) 우선방위로 성장되었음을 확인할 수 있다.

그림 4에서 나타낸 AFM의 결과는 두께가 두꺼워질수록 표면 상태가 거칠어짐을 알 수 있었다. 그림 1에서 ITO박막의 두께가 1600 Å, 2300 Å일 때 광투과율이 각각 89%, 83.2%인 것에 비해 박막의 두께가 4000 Å으로 증가하였을 때 광 투과율이 71%로 급격히 감소하는데 이것은 AFM결과에서 볼 수 있듯이 표면 거칠기가 급격히 증가하는 것 때문으로 판단된다.

#### 3.2 T-S 간격변화

T-S간격의 변화에 따른 광 투과율과 면저항의 변

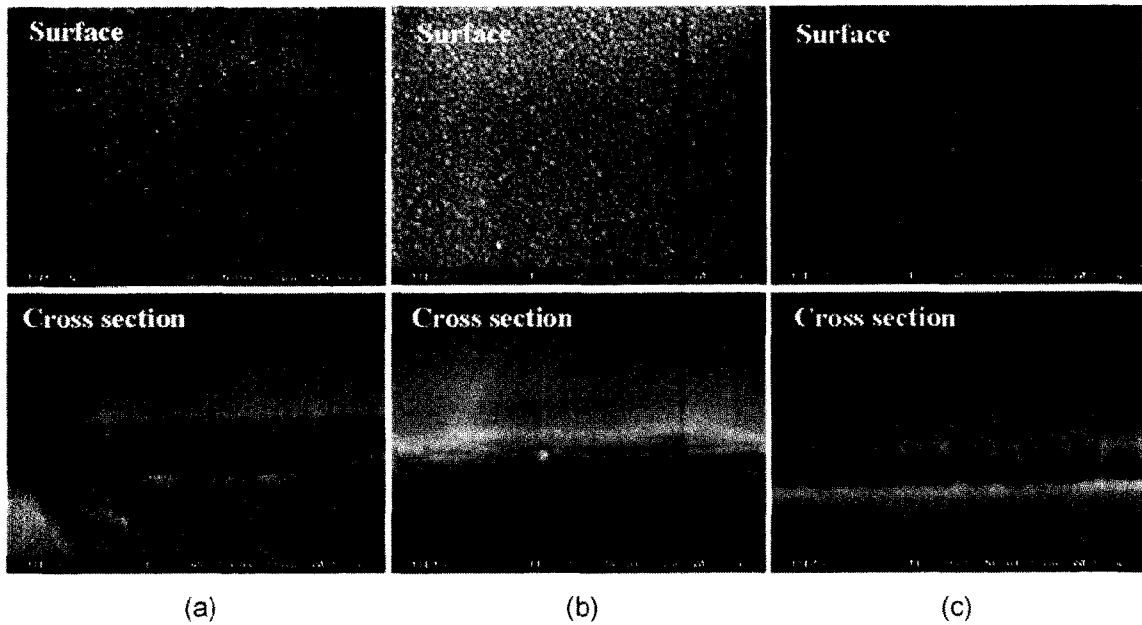


Fig. 2. FESEM images of ITO thin films with different thickness (a) 1600 Å (b) 2300 Å (c) 4000 Å.

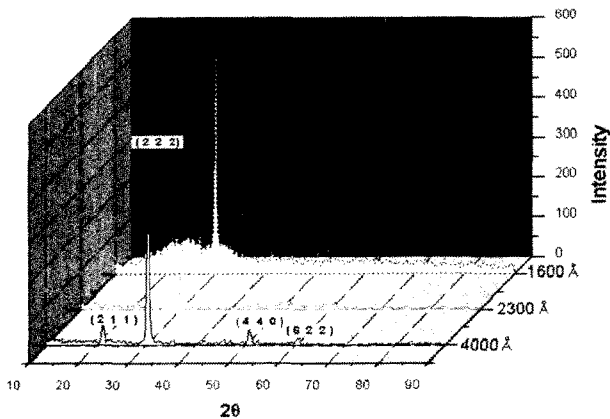


Fig. 3. XRD patterns of ITO thin films with different thickness.

화에 대해 살펴보았다. 그림 5는 증착조건을 60 W, 350°C,  $4 \times 10^{-3}$  Torr, 산소 유량비를 8%을 고정하고 T-S간격만 65 mm, 95 mm로 변화를 주었을 때의 투

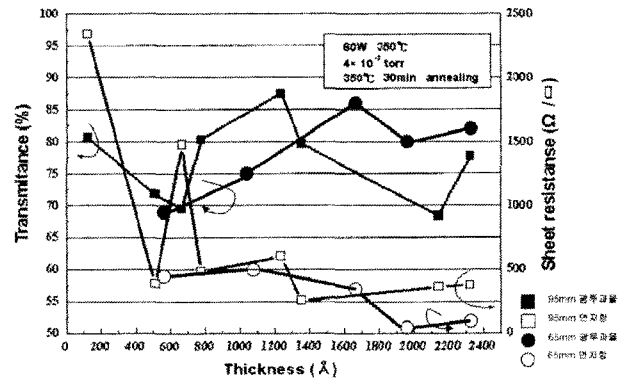


Fig. 5. Effect of T-S distance on the transmittance and sheet resistance of ITO thin films.

과율과 저항에 대해서 측정한 그래프이다. T-S가 95 mm일 때 2300 Å에서 면저항이  $356.9 \Omega/\square$ 로 T-S가 65 mm일 때  $77.86 \Omega/\square$ 에 비해 높은 수준을 보이고 있다. 이러한 결과를 보인 원인을 알기 위해

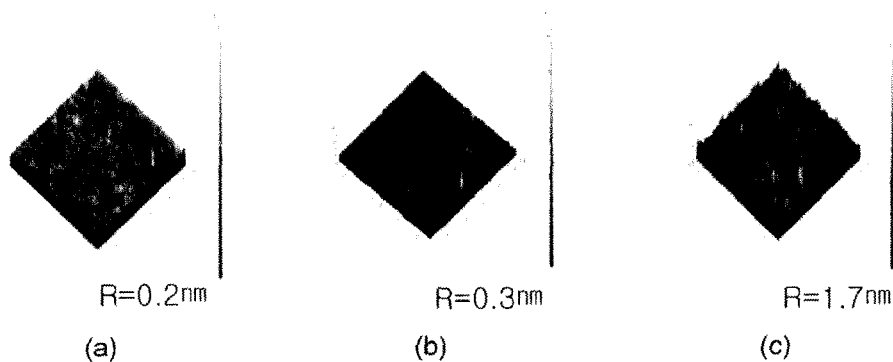
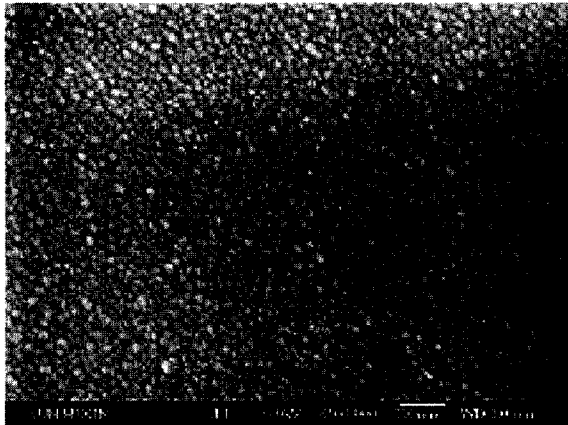


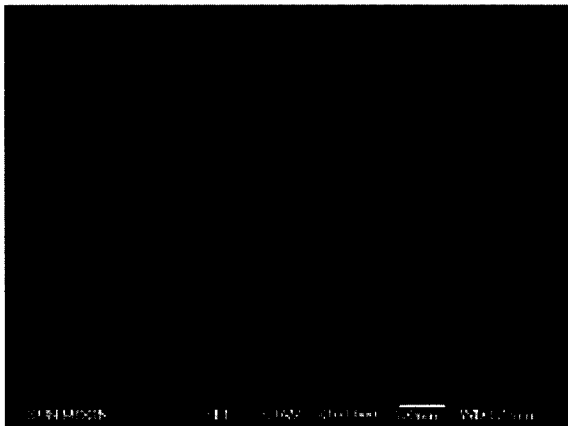
Fig. 4. AFM images of ITO thin films with different thickness (a) 1600 Å (b) 2300 Å (c) 4000 Å.

두께를 2300 Å으로 고정한 후 FESEM(그림 6), AFM(그림 7)을 통해 분석하였다.

그림 6에서 10만배의 배율로 FESEM을 정면을 촬영한 사진을 살펴보면 65 mm일 때가 결정립의 크기가 조금 큰 것을 알 수 있다. 결정립성장의 영향으로 65 mm일 때 면저항이 훨씬 작게 나타나는



(a)



(b)

Fig. 6. FESEM images of ITO thin films with different T-S distance (a) 65 mm (b) 95 mm.

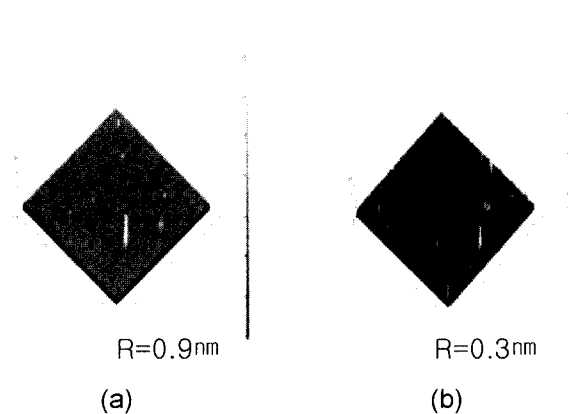


Fig. 7. AFM images of ITO thin films with different T-S distance (a) 65 mm (b) 95 mm.

것을 알 수 있다. 그림 7에서 나타나는 AFM 결과를 살펴보면 65 mm일 때 보다 95 mm일 때 표면이 더욱 거칠다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 박막두께에서 살펴본 표면이 거칠 때 광 투과율이 감소하는 연구결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

ITO박막의 전기 전도특성은 박막 제조 시 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 산소가 분리되어 산소가 결핍된 막을 형성하여 이루어진다. ITO박막을 증착할 때 T-S간격이 멀면 캐리어로 작용하는 산소공공의 수가 감소하므로 전기전도성이 나빠지게 되고, 또 너무 가까울 경우에는 기판에 손상을 주어 결정성장이 잘 이루어지지 않아 전기전도성이 나빠지며 박막의 표면도 거칠어져 광 투과율이 떨어지게 된다는 보고가 있는데<sup>4,5)</sup> 본 연구에서의 결과를 보면 T-S 65 mm에서 기판 손상에 의한 결정성장 저하가 관찰되지 않았고 면저항도 낮았다. 즉 전체적인 경향을 보면 T-S가 65 mm일 때 광 투과율은 높게 면저항은 낮게 나타나는 것을 볼 수 있어 T-S가 65 mm일 때의 증착속도가 높은 광 투과율과 낮은 면저항을 결정하는 증착속도로 적합함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들로부터 본 실험에서는 다른 변수에 의한 광투과율과 면저항의 실험에 T-S간격을 65 mm로 고정하여 실험하였다.

### 3.3 산소 유량비

산소유량비의 변화에 따른 광 투과율과 면저항의 변화에 대해 살펴보았다. 그림 8은 증착조건을 60 W, 350°C, 4 × 10<sup>-3</sup> Torr, 두께를 2300 Å로 고정하고 산소 유량비를 5%, 8%, 10%, 15%로 변화시켰을 때 산소 유량비에 따른 광 투과율과 면저항을 측정된 그래프이다. 산소유량비가 8%일 때 광 투과율은 83.18%, 면저항은 77.86Ω/□을 나타낸다. 이러한 결과의 원인을 알기 위해 FESEM(그림 9), AFM(그림

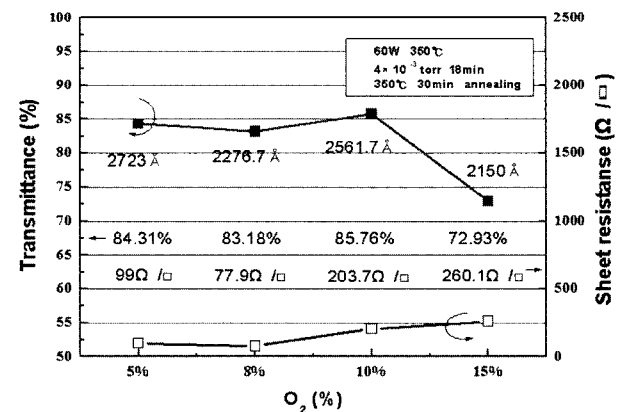


Fig. 8. Effect of O<sub>2</sub> flow ratio on the transmittance and sheet resistance of ITO thin films.

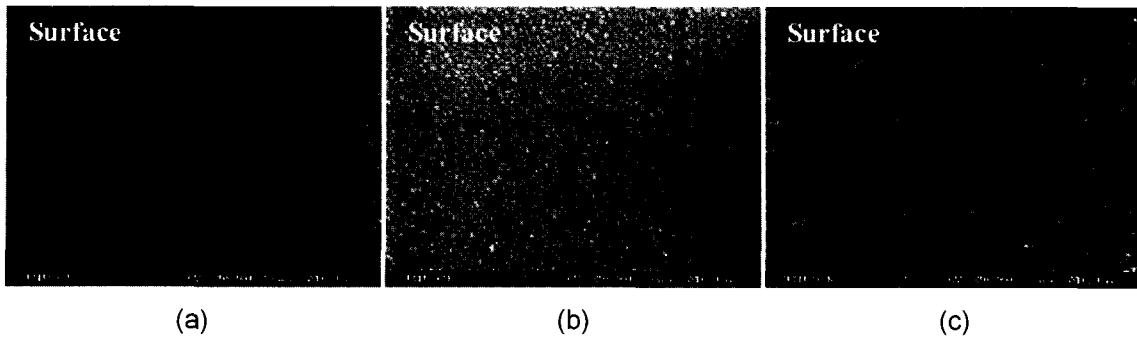


Fig. 9. FESEM images of ITO thin films with different O<sub>2</sub> flow ratio (a) 5% (b) 8% (c) 15%.

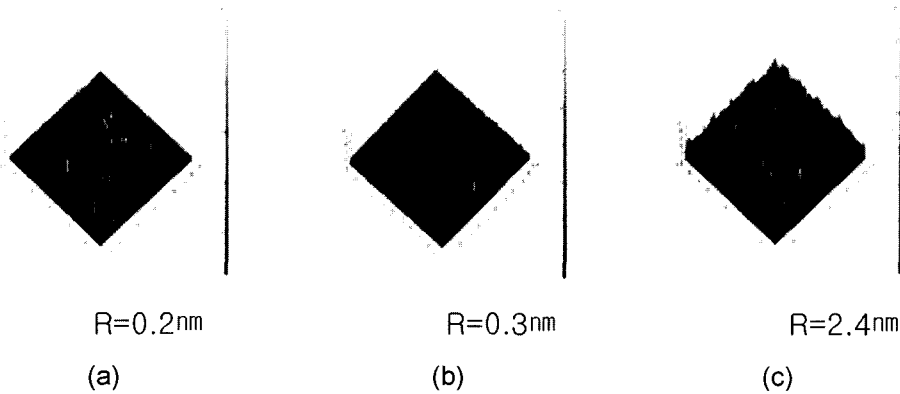


Fig. 10. AFM images ITO thin films with different O<sub>2</sub> flow ratio (a) 5% (b) 8% (c) 15%.

10)을 통해 분석하였다.

FESEM으로 정면을 촬영한 그림 9를 살펴보면 산소농도가 5%일 때와 8%일 때는 결정립의 성장이 비슷하지만 15%일 때는 조대한 결정립으로 성장된 것을 볼 수 있다. 산소공급이 증가 할수록 홀의 농도가 증가하게 되고 일정한 범위에서 홀의 농도가 증가 할수록 캐리어의 이동성이 증가하게 되는데 그 홀이 과포화 되는 시점이 되면 오히려 이동성을 방해하는 요인으로 작용할 수 있다<sup>3)</sup>. 본 실험에서는 산소농도 10%를 기점으로 홀의 이동성이 포화되어 면저항이 증가하는 것으로 판단되어진다.

그림 10의 AFM결과에서는 산소유량비가 15%일 때 표면이 거칠다는 것을 알 수 있다. 표면이 거칠다는 것은 광 투과율이 감소하는 원인이 된다. 그림 8을 보면 산소유량비가 15%에서 광 투과율이 10% 이상 떨어진 것을 볼 수 있다. 이러한 결과들을 종합하여 보면 표면이 거칠지 않고 결정립이 잘 성장되어있는 산소농도 8%에서 가장 광 투과율이 높고 면저항이 낮은 ITO박막을 얻을 수 있는 증착 조건임을 알 수 있다.

3.4 증착온도

증착온도의 변화에 따른 광 투과율과 면저항의 변화에 대해 살펴보았다. 그림 11은 증착조건을

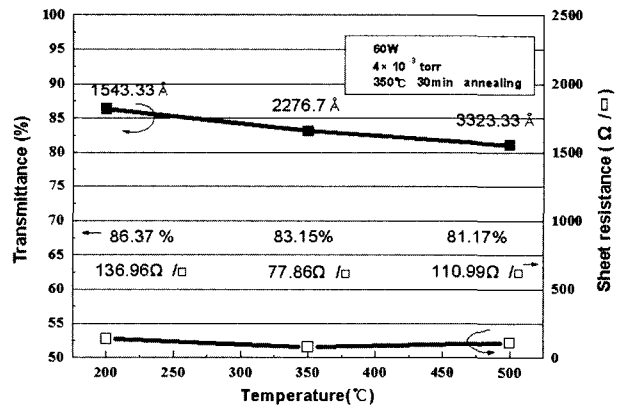


Fig. 11. Effect of depositional temperature on the transmittance and sheet resistance of ITO thin films.

60 W, 4×10<sup>-3</sup>Torr, T-S간격 65 mm, 산소 유량비 8%를 고정하고 증착온도만 200, 350, 500°C로 변화를 주었을 때의 광 투과율과 저항을 대해서 측정 한 그래프이다. 기판의 온도가 350°C일 때 83.15%의 광 투과율과 77.86Ω/□ 면저항을 나타낸다. 이러한 결과를 보인 원인을 알기 위해 FESEM(그림 12), XRD(그림 13)로 분석하였다.

그림 12의 FESEM 사진을 살펴보았을 때 미세한 결정입자들을 관찰할 수 있는데 증착온도의 증가에

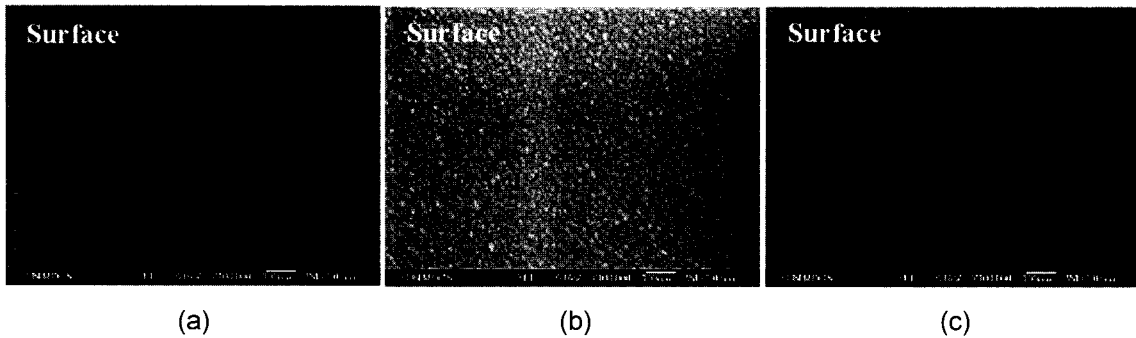


Fig. 12. FESEM images of ITO thin films with different deposition temperature (a) 200°C (b) 350°C (c) 500°C.

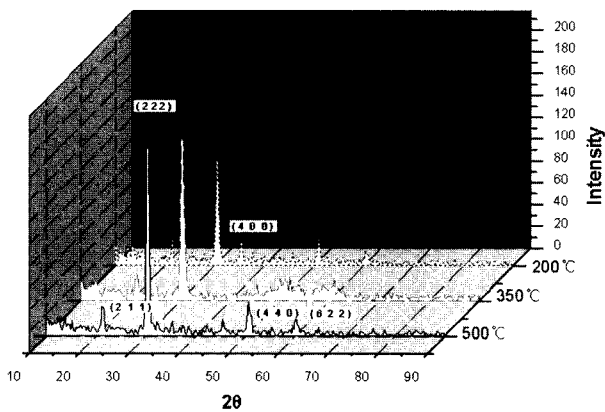


Fig. 13. XRD patterns of ITO thin films with different deposition temperature.

따른 결정립의 현저한 성장이 관찰되지 않았다. 기판의 온도를 높게 하여 제작한 ITO박막에서는 원자의 확산속도가 빨라져 결정화가 진행되어 캐리어의 농도가 증가하고 이동도도 증가하고, 기판온도가 500°C 이상이 될 때 캐리어의 농도가 오히려 포화상태에 이르게 되어 이동도를 감소시키는 역할을 한다. 그럼으로 해서 면저항은 감소하다가 증가하는 현상이 보인다고 보고되었다<sup>6)</sup>.

그림 13에서 XRD결과를 살펴보면 증착 온도가 증가할수록 결정성이 증가하는 것을 (2 2 2) peak의 강도가 증가하는 것으로부터 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구의 증착조건에서도 증착온도 350°C에서 적당한 결정성에 의한 적당한 캐리어 농도와 이동도를 가지기 때문에 면저항이 가장 우수한 성질을 갖는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

유리기판 위에 ITO를 박막의 두께, T-S 간격, 산

소분압, 기판온도 등의 조건에 따라 증착하였다. 이때 박막의 두께를 1800~2300 Å로 유지하고, T-S간격을 65 mm로 증착속도를 빠르게 하며 기판온도는 350°C, 아르곤 대비 산소분압을 8%로 유지하며 ITO 박막을 증착하였을 때 Transmittance은 83.3%, Sheet resistance는 77.86Ω/□로 가장 좋은 결과가 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 한국 산업 기술재단에서 지원된 지역 혁신 인력 양성 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. J. E. Costellamo, Handbook of Display Technology, Academic Press, New York, (1992).
2. E. Aperathitis, M. Modreanu, M. Bender, V. Cimalla, G. Ecke, M. Androulidaki, N. Pelekanosa, Optical characterization of indium-tin-oxynitride fabricated by RF-sputtering, Thin Solid Films, (2003).
3. T. C. Gorjanc, D. Leong, C. Py, D. Roth, Room temperature deposition of ITO using r.f. magnetron sputtering, Thin Solid Films, 413 (2002) 181-185.
4. Aldrin Antony, M. Nisha, R. Manoj, M. K. Jayaraj, Influence of target to substrate spacing on the properties of ITO thin films, Applied Surface Science, 225 (2004) 294-301.
5. 최병진, 최규만, 김기완, 이미지센서를 위한 ITO투명전극의 제조 및 그 특성, 센서기술 학술대회 논문집, 3(1) (1992) 318-323.
6. S. Ghosh, Hyunsoo Kim, Kwangpyo Hong, Chongmu Lee, Micro structure of indium tin oxide deposited on porous silicon by rf-sputtering, Materials Science and Engineering, B95 (2002) 171-179.