

## 반응성 DC 마그네트론 스퍼터법에 의한 SnO<sub>2</sub>:F 박막의 전기광학적 특성

\*정영호, \*김영진, 신재혁, 송국현, 신성호, 박정일, 박광자

\*경기대학교 재료공학과, 국립기술품질원

## Electrical and Optical Properties of SnO<sub>2</sub>:F Thin Films by Reactive DC Magnetron Sputtering Method

\*Y. H. Jeong, \*Y. J. Kim, J. H. Shin, K. H. Song,  
S. H. Shin, J. I. Park, K. J. Park

\*Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-Do 442-760, Korea  
National Institute of Technology and Quality, 2, Joongang-Dong,  
Kwacheon-City, Kyonggi-Do, Korea

### Abstract

Fluorine-doped SnO<sub>2</sub> thin films were deposited on soda-lime glass substrates by reactive DC magnetron sputtering method. Crystallinity as well as electrical and optical properties of SnO<sub>2</sub>:F thin film were investigated as the variations of deposition conditions such as substrate temperature, DC power, O<sub>2</sub> gas pressure, SF<sub>6</sub> gas pressure. SnO<sub>2</sub>:F thin film deposited with 5% SF<sub>6</sub> gas pressure showed electrical resistivities of  $2.5 \times 10^{-3} \text{cm}$  with the average optical transparency (about 80%). These electrical and optical properties were found to be related to the crystallinity of SnO<sub>2</sub>:F thin films.

### 1. 서 론

현재 투명전도막으로 가장 폭 넓게 사용되어지는 것은 산화주석(SnO<sub>2</sub>)과 산화인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 화합물인 ITO(indium tin oxide)로서 비저항이 낮고 투명하기 때문에 각종 투명전극재료에 사용되어 왔지만 가격이 비싸기 때문에 대체재료로서 SnO<sub>2</sub>의 연구가 활발히 진행되어 왔다.

SnO<sub>2</sub>는 높은 기계적, 화학적 안정성을 갖는 재료로서 넓은 밴드갭(3.7eV)을 갖고 있으며 n형 반도체로서 전기전도성은 격자불안정과 산소부족에 의한 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. Sn과 산소는 rutile 구조안에서 두 개의 Sn과 4개의 산소원자로 구성되고 α-SnO와 SnO<sub>2</sub>의 두 가지 안정한 화합물을 만드는데 α-SnO는 tetragonal 구조를 이루며, Sn<sup>2+</sup> 이온이 (1/2, 0, 3/4) 과 (0, 1/2, 1/2) 자리를

차지하고 있다.  $\text{Sn}^{4+}$ 와  $\text{O}^{2-}$  이온이  $\text{SnO}_2$ 에 일반적으로 존재한다고 가정되고 있지만, 결합은 매우 강하나 순수한 이온결합은 아니다<sup>2)</sup>. 또한, 도핑제를 첨가할 경우에 가시광선 영역에서는 높은 광투과도 ( $>80\%$ )를, 적외선 영역에서는 높은 반사율의 광학적 특성을 가지며, 비화학양론조성에 기인된 낮은 비저항의 전기적 특성 ( $<10^{-4}\Omega\text{cm}$ )과 높은 내마모성을 갖는 물질이다. 화학양론조성의  $\text{SnO}_2$  박막은 Sb나 F의 도핑제를 적절히 첨가하였을 경우 도핑 되지 않았을 경우보다 더 낮은 비저항을 얻을 수 있는 것으로 보고되어 왔다<sup>3)</sup>. 비화학양론 조성 또는 Sn 자리에 5가의 Sb를 첨가하거나 산소자리에 1가의 F를 첨가할 경우  $10^{-3}\Omega\text{cm}$  정도의 낮은 비저항을 나타내는 것으로 알려져 있다. Stjerna 등은 도핑된  $\text{SnO}_2$  박막의 전기광학적 특성을 자유전자들의 이온화 불순물 산란(ionized impurity scattering)을 포함하는 산소빈자리나 Sb, F 원자에 의한 결과로서 보고하기도 하였다<sup>4)</sup>. F-doped tin oxide film의 이동도는 Sb-doped tin oxide 박막보다 더 높은 것으로 알려졌다<sup>5)</sup>.

투명전도성  $\text{SnO}_2$  박막은 heat mirror, display system, solar cell 등으로 응용되기에 충분한 특성을 갖고있기 때문에 그 동안 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 박막의 증착방법은 spray pyrolysis<sup>6)</sup>, chemical vapor deposition (CVD)<sup>7, 8)</sup>, oxydation of evaporated thin films of tin<sup>9)</sup>, reactive dc ion sputtering of tin target<sup>10)</sup>, rf planar magnetron sputtering<sup>11)</sup> 등의 다양한 방법에 의해 제조되어왔다. CVD 방법으로 제조한 fluorine-doped 박막은  $5.9 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ 의 낮은 비저항을 갖지만<sup>12)</sup>, 스퍼터링방법을 이용한 보고는 그리 많지 않다<sup>13)</sup>. 산화물이나 금속 alloy 타겟을 스퍼터링하는 기술은 우수한 uniformity의 박막을 얻는데 폭넓게 사용되어 왔다. 따라서 스퍼터링조건의 제어는 질 좋은 스퍼터박막을 얻는데 중요하다. 그러나 반응성 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의한  $\text{SnO}_2$  박막의 제조에 대해서는 그리 많은 연

구가 진행되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 금속 Sn 타겟을 사용하여 반응성 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 F를 도핑하여 박막을 제조하고, 증착변수에 따른 증착특성과 전기광학적 성질을 연구하였다.

## 2. 실험 방법

Fig. 1은 본 논문에서 사용된 타겟과 기판이 마주보는 DC 마그네트론 스퍼터링장치를 나타낸 것으로서 이와 같은 장치를 이용하여 F가 도핑된  $\text{SnO}_2$  박막을 제조하였다. 본 연구에서 사용된 타겟은 도핑 되지 않은 직경이 2 inch인 금속 Sn 타겟(Cerac사, 99.999%)를 사용하였다.  $\text{SnO}_2$  : F 박막증착에 사용된 기판은 슬라이드 글라스( $76 \times 26\text{mm}/3 \times 1$  inch)로서 메탄올에 5분간 초음파 세척후 사용하였다. F를 도핑 시키기 위해  $\text{SF}_6$  가스를 사용하였고, 스퍼터링시  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{SF}_6$ 의 혼합가스를 주입시켰다. 챔버내의 초기 진공도는  $2.5 \times 10^{-5}$  Torr로 하였다. 기판과 타겟사이의 거리는 60 mm로 유지하여 박막을 증착하였다. 또한 기판을 6rpm으로 회전시켜 균일한 박막이 형성될 수 있도록 하였다. 증착변수로서 DC 전력, 기판 온도,  $\text{O}_2$  가스비,  $\text{SF}_6$  가스비등을 고려하여 박막을 제조하였고, 이때  $\text{O}_2$ 의 조성비는 45%~60%로 변화

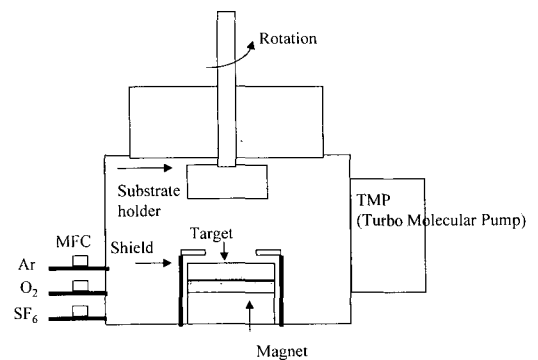


Fig. 1. Schematic diagram of DC magnetron sputtering system.

시켰으며, 박막 증착시 작업진공도는 3mTorr로 하였다. 기판의 온도는 상온~450°C로, DC 전력은 20~40W, SF<sub>6</sub> 가스는 0~5%로 변화시켰다. 증착된 SnO<sub>2</sub>:F 박막의 면저항은 4-탐침법(Changmin사)을 이용하였으며, 제조된 박막의 두께는 surface profiler(Tencor사,  $\alpha$ -step 500)를 사용하였으며 이로부터 증착된 박막의 증착속도를 계산하였다.

결정상분석은 SIEMENS사의 X-ray diffractometer(D 5005 XRD)를 사용하여 분석하였다. 사용한 X-ray는 CuK $\alpha$ 선으로 파장은 1.5406 Å이며 분석 조건은 40KeV, 50mA이고, 2 $\theta$ 는 20~70°로 하였다. 박막내의 캐리어농도와 이동도는 상온에서 Hall 상수 측정장치(Keithley사, 7065 Hall effect card, Lake-shore사 EMA-CS Electromagnet system)를 사용하여 Van der Pauw 방법으로 측정하였고 이때 가해진 자기장은 5kG였다. 광학적 성질은 UV-visible spectrophotometer(Phillips사, UNICAM 8700)를 사용하여 200~900nm의 파장범위에서 투과율(transmittance)을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

SnO<sub>2</sub> 분말의 X-선 회절패턴의 주피크는 (110) 면에서 나타나며, (101), (200), (211), (002)의 순서대로 강도가 감소한다. 여러 종류의 도핑제를 첨가하여 실험하였을 경우에 (101)피크가 주피크로 성장할 때 가장 낮은 비저항을 갖는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 결과는 Suzuki등이 보고한 스퍼터된 SnO<sub>2</sub>:Sb 박막의 결정상 분석에서도 나타나 있다<sup>11)</sup>. Fig. 2의 온도에 따른 결정상의 분석에서 처럼 박막의 경우에는 분말 X-선 회절패턴이 거의 적용되지 않고 있음을 관찰할 수 있었다. 온도에 따른 결정상은 300°C까지의 온도에서는 강도가 매우 약한 결정질상이 관찰되고 있으며, 350°C이상 이 되어야 (101)피크를 주피크로

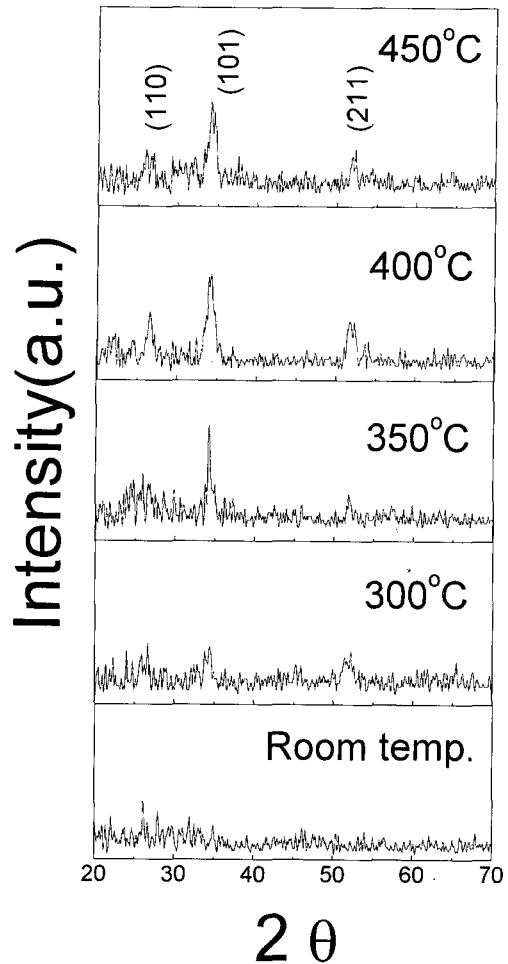


Fig. 2. Variation of XRD patterns of SnO<sub>2</sub>:F thin films(40W, O<sub>2</sub> gas pressure of 54%), deposited on soda-lime glass with a substrate temperature

갖는 뚜렷한 결정상을 얻을 수 있었고, 온도가 올라갈수록 결정상의 전이나 상대적인 강도의 차이에는 큰 변화가 없었다. 또한, 본 실험에서 SnO와 같은 상이 관찰되지 않는 이유는 300°C이상의 온도에서 SnO는  $2\text{SnO} \rightarrow \text{Sn} + \text{SnO}_2$ 의 반응에 따라 해리 하기 때문이다<sup>2)</sup>. 보다 우수한 결정성을 갖는 박막을 제조하고, 위의 증착온도의 변화를 설명하기 위해서는 증착온도를 450°C이상으로 증가시킬 필요가 있으나, 슬라이드 글래스 기판으로부터 so-

dium 이온의 확산이 일어날 수 있기 때문에 증착 온도를 450°C로 고정하여 실험하였다<sup>14)</sup>.

Fig. 3은 산소첨가량을 변화시킴에 따른 SnO<sub>2</sub>:F 박막의 XRD 패턴을 나타내고 있다. 일반적으로 스퍼터링 가스 안에서의 산소첨가는 박막의 결정성을 증진시키고, 증착속도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>15)</sup>. Marchwicka등은 SnO<sub>2</sub> 결정 구조내에서 산소의 최밀충진면이 (110) 방향이기 때문에 산소첨가량의 증가에 따라 주피크가 (101) 방향에서 (110) 방향으로 변화한다고 보고한

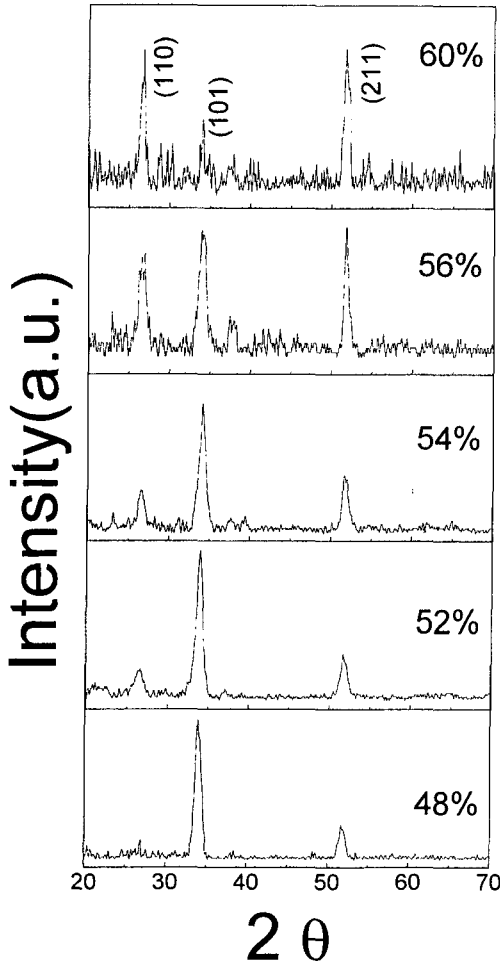


Fig. 3. Variation of XRD patterns of SnO<sub>2</sub>:F thin films(40W, 450°C) with an O<sub>2</sub> gas pressure.

바 있다<sup>16, 17)</sup>. 본 실험에서도 산소가스비의 증가에 따라 (110), (211) 피크의 상대적인 강도가 증가하고 (101) 피크의 강도는 감소하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 4는 DC 전력에 따른 XRD 패턴을 분석한 결과이다. 본 실험의 경우 20W에서는 비정질상이 관찰되었고 30W에서는 기판온도와 산소첨가량의 변화에서처럼 (110), (101), (211) 피크가 성장하고 있지만 40W에서는 (101) 피크가 (110), (211) 피크에 비해 상대적으로 크게 성장하고 있는 결과를 얻었다. 이와 같은 결과는 Stjerna등이 반응성 rf 스퍼터링으로 SnO<sub>x</sub> 박막을 제조할 경우에 rf 전력의 증가에 따라 최적 산소유량이 증가한다는 결과에 일치하는 것으로 30W에서 40W로 DC 전력이 증가함에 따라 상대적인 산소유량

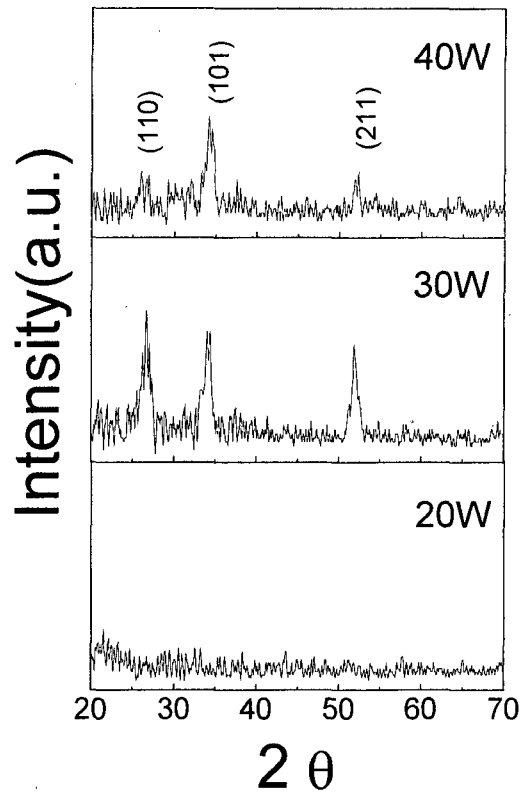


Fig. 4. Variation of XRD patterns of SnO<sub>2</sub>:F thin films(O<sub>2</sub>: 54%, 450°C) with a DC power.

의 감소에 의해 산소의 결정면인 (110) 피크의 성장이 억제되고 (101) 피크의 강도가 더 크게 나타남을 알 수 있었다<sup>18)</sup>.

SnO<sub>2</sub>에 사용될 수 있는 양이온과 음이온 도핑제 중에서 F는 산소의 이온크기에 좀더 가깝기 때문에 가장 효과적인 도핑제로 이용되어져 왔다<sup>19)</sup>. 본 실험에서도 이와 같은 이유로 F를 도핑하기 위해 SF<sub>6</sub> 가스를 사용하였다. Fig. 5(a)와 (b)는 SF<sub>6</sub> 가스첨가량에 따른 증착속도의 변화와 XRD 패턴을 나타낸 것이다. Agashe 등은 F의 높은 도핑농도에서는 SnF<sub>x</sub> 형태의 화합물이 SnO<sub>2</sub> 형성을 방해할 수 있는 요소로 작용하여 증착속도의 감소를 초래할 수 있으며, 일반적으로 증착속도가 감소함에 따라서 고밀도 원자면 (high atomic density plane)이 우선적으로 성장하기 때문에 증착속도가 우선성장방향을 결정하는 중요한 요소가 된다고 보고한 바 있다<sup>20)</sup>. 그러나 Fig. 5(a)에서처럼 SF<sub>6</sub> 가스첨가량에 따라 증착속도가 감소하고 있는 이유는 박막을 증착하는 방법의 차이 때문에 본론에 적용하기에는 부적절하다고 판단되며, 이에 대한 연구가 앞으로 진행되어야 할 것으로 생각된다. Fig. 5(b)의 SF<sub>6</sub> 가스비에 따른 결정상은 가스비에 따라 큰 변화가 없어서 우선성장방향을 판단할 수 없었고, 뚜렷한 (101) 피크가 주피크로 성장한다는 것을 확인할 수 있었다.

투명전도막으로 사용되기 위해서는 낮은 면저항과 높은 투과도가 요구되지만, 두 요소가 두께에 따라 반대되는 효과를 나타내므로 적절한 두께의 박막을 증착하는 것이 요구된다. Haccke는 이와 같은 두요소로부터 식 (1)과 같이 figure of merit 값을 제안하고 이 값이 가장 클 때 투명전도막으로서 가장 적절한 박막으로 사용될 수 있음을 보고한 바 있다<sup>21), 22)</sup>.

$$\phi = \frac{T^{10}}{R_{sh}} \quad \text{식 (1)}$$

여기서, T는 박막의 평균투과도, R<sub>sh</sub>는 박막의 면

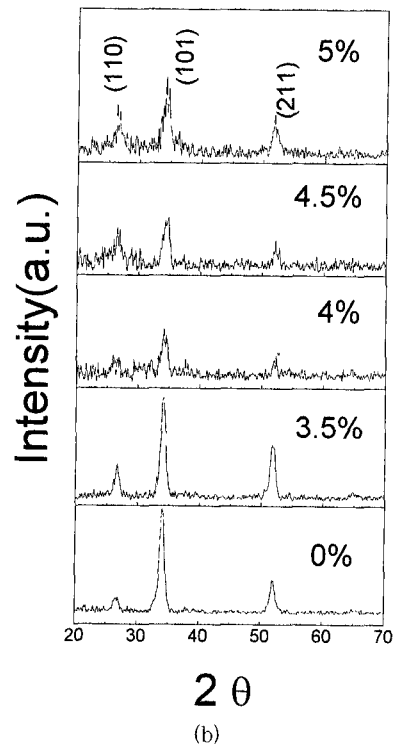
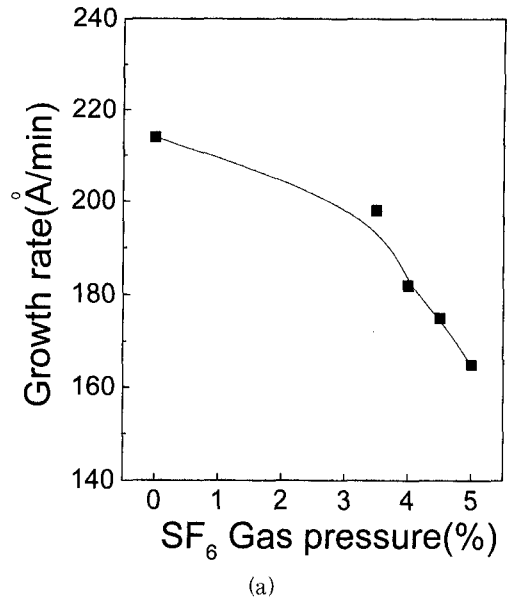


Fig. 5. Variation of growth rate (a) and XRD patterns (b) of SnO<sub>2</sub>:F thin films (40W, 450°C, O<sub>2</sub>: 54%) with a SF<sub>6</sub> gas pressure.

저항을 각각 나타낸다.

Fig. 6 (a)와 (b)는 450°C에서 증착된 박막의 두께에 따른 400~900nm 파장영역에서의 면저항과 평균 투과도를 나타낸 것으로 두께가 증가할수록 면저항은 감소하고 광투과도도 감소하였다. Fig. 6 (b)로 부터 두께가 약 4000 Å일 때 figure of merit 값이 가장 큰 것으로 보아 우수한 투명 전도막을 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

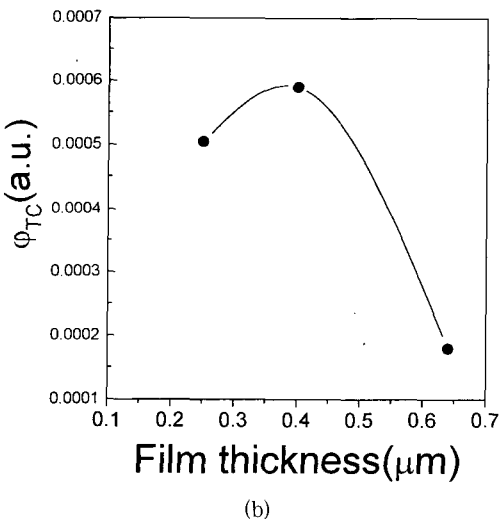
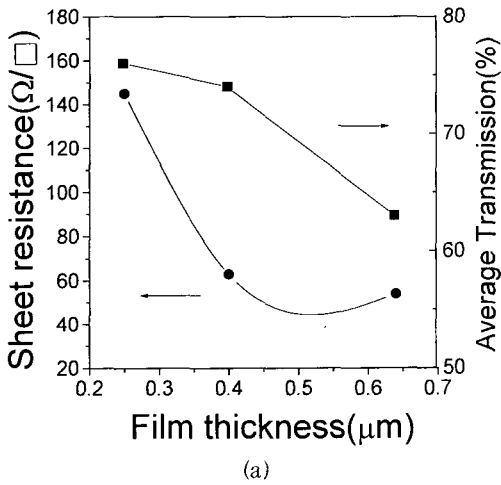


Fig. 6. Variations in the sheet resistance and average visible transmittance (a) and figure of merit (b) of SnO<sub>2</sub>:F thin films.

Fig. 7은 4000 Å의 두께로 증착된 박막에 대해 산소첨가량에 따른 비저항의 변화를 나타낸 결과로서 54%의 산소를 첨가하였을 때 비저항, 전하농도, 이동도는 각각  $2.7 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ ,  $2.5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ,  $8.9 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 의 값을 나타내었다. 이와같은 전기적특성은 앞서 언급한 박막의 결정성과 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 54%의 산소첨가량을 기준으로 그 이상에서의 XRD 패턴은 (101) 주피크의 강도가 점점 줄어들고 있으며, (110), (211)의 상대적인 강도의 증가로 부터 전기적특성이 저하됨을 관찰할 수 있었다. 54%의 산소첨가에서 가장 낮은 전기적특성을 보인것은 (101) 피크가 주피크로 성장할때 가장 우수한 전기적 특성을 갖는다는 Suzuki등의 보고와 일치하는 것이다<sup>11)</sup>. Fig. 8은 기판온도의 함수에 따른 비저항, 이동도, 전하농도를 나타내고 있다. 증착온도의 증가로 이동도는 증가하였으나 전하농도가  $2.0 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 으로 감소하였다. 전하농도의 감소는 산소 빈자리와 fluorine 자리의 감소에 기인하는 것으로 비저항의 감소를 초래하는 것으로 알려져 있다<sup>21)</sup>. 이것은 fluorine 농도의 감소에 기인된 전하농도의 감소로 설명할 수 있다. 비저항은 300°C에서  $2.6 \times 10^{-3}$ 으로부터 450°C에서 증착된 박막에 대해  $2.8 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ 로 큰 변화를 관찰할 수 없었다.

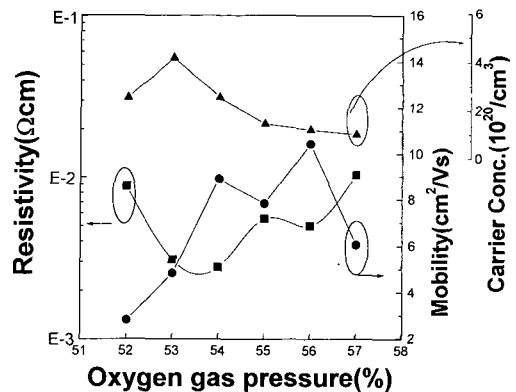


Fig. 7. Resistivity (■), carrier concentration (▲), and mobility (●) of SnO<sub>2</sub>:F thin films (40W, 450°C) with an O<sub>2</sub> gas pressure.

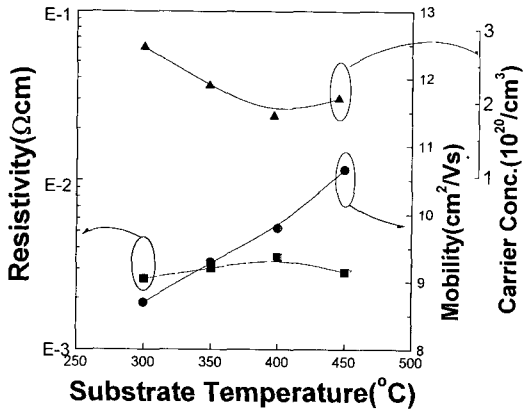


Fig. 8. Resistivity(■), carrier concentration(▲), and mobility(●) of SnO<sub>2</sub>:F thin films (40W, O<sub>2</sub>: 54%) with a substrate temperature.

Fig. 9는 fluorine 농도의 변화에 따른 비저항, 이동도, 전하농도를 나타내고 있다. 5% 까지 SF<sub>6</sub> 농도를 증가시키면 전하농도는 도핑 되지 않은 SnO<sub>2</sub> 박막과 비교하여 약간 증가하며, 이동도는 도핑량에 따라 상대적으로 많이 증가되는 경향을 나타내고 있었다. 비저항은 도핑 되지 않은 박막에 비해 fluorine이 도핑된 박막에서 상당히 낮은 값을 갖고 있으며 도핑농도의 증가에 따라 약간씩 감소하였으나 더 이상의 변화는 관찰되지 않았다.

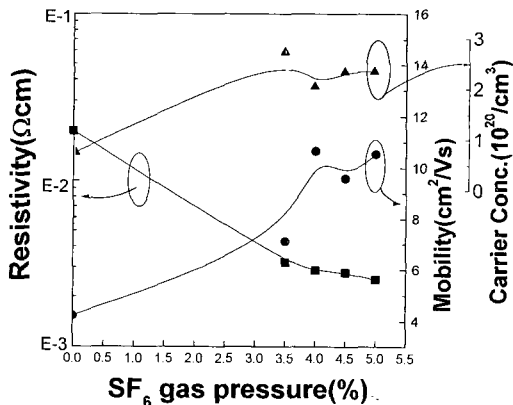


Fig. 9. Resistivity(■), carrier concentration(▲), and mobility(●) of SnO<sub>2</sub>:F thin films (40W, 450°C, O<sub>2</sub>: 54%) with a SF<sub>6</sub> gas pressure.

도핑제의 첨가에 따른 전기적 특성의 변화는 Agashe 등이 보고한 논문에서 잘 나타나 있는데, 도핑제의 첨가가 SnO<sub>2</sub> 격자내부에서 전기적 특성에 미치는 영향은 다음과 같다. 일반적으로 SnO<sub>2</sub> 박막은 산소빈자리를 포함하고 있으며 도핑제가 산소빈자리를 채우게 되면 전하농도는 감소하게 되고, 산소자리를 치환하게 되면 전하농도는 증가하게 된다. 도핑제가 일정량 이상 첨가되는 경우에는 fluorine이 침입형으로 존재하고, electron acceptor로서 작용하게 되어 전하농도는 감소하게 된다고 보고하였다. 본 논문에서는 전하농도가 도핑량에 따라 큰 변화는 나타나지 않았고, 도핑되지 않은 박막에서의 전하이동도는 도핑된 박막에 비해 상대적으로 낮는데 그 이유는 산소 빈자리에 기인된 격자 왜곡 때문으로 설명할 수 있으며, fluorine 도핑이 시작되면서 도핑제가 빈자리를 채우고 격자 무질서를 감소시키게 되어 전하이동도의 상당한 향상을 관찰할 수 있었다고 생각된다<sup>2)</sup>.

Fig. 10과 11은 soda-lime 글래스 기판에서 기판온도와 SF<sub>6</sub> 가스 첨가량에 따라 증착된 박막의 투과도를 200~900nm의 가시광선영역에서 측정된 결과를 나타낸 것이다. 투과율은 일반적으로 기판온도에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다.

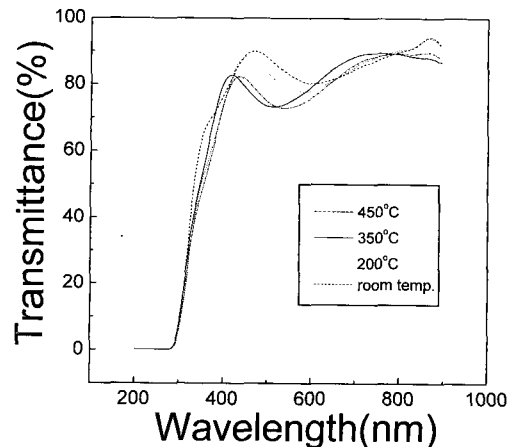


Fig. 10. Transmittance of SnO<sub>2</sub>:F thin films (40W, O<sub>2</sub>: 54%) with a substrate temperature.

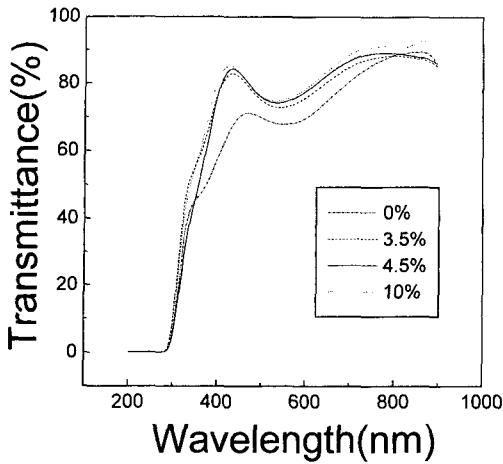


Fig. 11. Transmittance of SnO<sub>2</sub>:F thin films (450 °C, 40W, O<sub>2</sub>: 54%) with a SF<sub>6</sub> gas pressure.

기판온도가 상온~450 °C일 때의 가시광선 영역에서 평균적으로 80% 이상의 높은 투과율을 나타내었다. 상온과 200 °C의 투과도가 350 °C와 450 °C의 투과도보다 더 높게 나타나고 있었다. 또한 Burstein 과 Moss가 제안한 B-M shift 모델에 의하면 박막내의 전하농도 증가에 따라 흡수단이 왼쪽으로 이동한다고 하였는데, 본 연구에서는 이와 같은 현상이 발견되지 않았고, 200~300nm 파장 영역에서 뚜렷한 흡수단만을 관찰하였다<sup>23)</sup>. Fig. 11에서 처럼 F 도핑양에 따른 가시광선영역에서 광학적 투과도에서는 도핑시에 더 높은 투과율을 나타내었고, 도핑시에 전하농도의 증가에 따라 흡수단도 약간 왼쪽으로 이동되어 있는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

증착변수에 따라 DC 마그네트론 스퍼터법에 의해 증착된 F가 도핑된 SnO<sub>2</sub> 박막의 결정상 및 전기광학적 특성을 연구하였다. 온도, O<sub>2</sub> 가스압력, DC 전력, SF<sub>6</sub> 가스압력 등의 증착변수가 결정성이나 전기광학적 성질에 크게 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 온도에 따른 결정상은 300 °C까지의

온도에서는 강도가 매우 약한 결정상이 관찰되었고, 350 °C이상이 되어야 (101)피크가 주피크로 성장하였다. 또한 결정상은 산소가스비의 증가에 따라 (110), (211)피크의 상대적인 강도가 증가하고 (101)피크의 강도가 감소하였는데 (101) 주 피크의 성장이 전기적 특성과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되었다. 최적조건(기판온도: 450 °C, 산소분압: 54%, DC 전력: 40W, SF<sub>6</sub> 가스분압: 5%)에서 증착된 SnO<sub>2</sub>:F 박막의 비저항, 전하농도 및 이동도는 각각  $2.5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ ,  $2.35 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ,  $10.5 \text{cm}^2 / \text{Vs}$ 의 값을 나타내었으며, 기판온도가 상온~450 °C일 때의 가시광선 영역에서 평균적으로 80% 이상의 투과율을 관찰하였다.

#### 참고문헌

1. H. De Wall and F. Simonis, *Thin Solid Films*, 77, 253(1981)
2. E. Leja, J. Korecki, K. Krop and K. Toll, *Thin Solid Films*, 59, 147(1979)
3. G. Blandenet, M. Court and Y. Lagarde, *Thin Solid Films*, 77, 81(1981)
4. B. Stjerna and E. Olsson and C. G. Granqvist, *J. Appl. Phys.*, 76(6), 3797(1994)
5. E. Shanthi, A. Banerjee and K. L. Chopra, *Thin Solid Film*, 88, 93(1982)
6. J. C. Manificier, *Thin Solid Films*, 90, 297(1982)
7. J. Kane, H. P. Schweizer and W. Kern, *J. Electrochem. Soc.*, 122, 1144(1975)
8. K. B. Sundaram and G. K. Bhagavat, *J. Phys. D*, 14, 333(1981)
9. N. P. Sinha and M. Misra, *Thin Solid Films*, 101, L33(1983)
10. G. Beensh-Marchwicka, L. K. Stepniewska, and A. Misiuk, *Thin Solid Films*, 113, 215



- (1984)
11. K. Suzuki and M. Mizuhashi, *Thin Solid Films*, 97, 119(1982)
12. T. Maruyama and K. Tabata, *J. Appl. Phys.*, 68, 4282(1990)
13. C. Geoffroy, G. Campet, F. Menil, J. Portier, J. Salardienne, and G. Couturier, *Active Passive Elect. Comp.*, 14, 111(1991)
14. J. Dutta, P. Roubean and T. Emeraud, J. M. Laurent, and A. Smith, F. Leblanc, J. Perrin, *Thin Solid Films*, 239, 150(1994)
15. C. R. Aita, A. J. Purdes, R. J. Lad and P. D. Funkenbusch, *J. Appl. Phys.*, 51(10), 5533(1980)
16. B. Beensh-Marchwicka, L. Krol-Stepniwsk and A. Misiuk, *Thin Solid Films*, 113, 215(1984)
17. K. Suzuki, M. Mizuhashi and H. Sakata, *Vacuum/Japan*, 21, 158(1978)
18. B. Stjerna and C. G. Granqvist, *Thin Solid Films*, 193/194, 704(1990)
19. C. Agashe, S. S. Major, *J. Mater. Sci.*, 31, 2965(1996)
20. G. Haacke, *J. Appl. Phys.*, 47, 4086(1976)
21. K. L. Chopra, S. Major and D. K. Pandya, *Thin Solid Films*, 102, 1(1983)
22. Wen-Fa Wu, Bi-Shiou Chiou, *Thin Solid Films*, 293, 224(1997)
23. E. Shanthi, A. Banerjee, V. Dutta, and K. L. Chopra, *J. Appl. Phys.*, 53(3), 1615(1982)