

SnO₂ 박막의 산소 빈자리에 관한 연구

A Study of Oxygen Vacancy on SnO₂ Thin Films

정진¹, 최승평^{1,a}

(Jin Jeong¹ and Seung-Pyung Choi^{1,a})

Abstract

The study of Oxygen Vacancy on SnO₂ thin films grown by thermal chemical vapor deposition were investigated with different substrate temperature. X-ray diffraction showed that the crystallinity of the grown thin films increased with increasing substrate temperature. Two narrow peaks and two broad peaks were observed from the photoluminescence measurements at 6 K. The intensity and shape of the broad peaks were changed with increasing substrate temperature. It was concluded that the origin of the broad peak at 2.4 eV was due to oxygen vacancies and that of peak at 3.1 eV was related to structural defects. Hall effect measurements showed that the carrier density was decreased as increasing deposition time from 10 to 30 min., but increased for the deposition of 60 min.

Key words : SnO₂, Thin films, Photoluminescence, Hall effect, Oxygen vacancy

1. 서론

SnO₂는 전형적인 n형 산화물 반도체로써 전도성이 우수하고 가시광선 영역에서 투명하기 때문에 디스플레이용 투명전극, 태양전지, transparent heating element, 가스센서 등으로 사용되고 있다 [1-4]. 이와 같이 태양전지나 디스플레이, 가스센서 등에 사용되는 SnO₂ 박막은 박막의 신뢰성을 향상시키기 위해 치밀성을 갖춤과 동시에 표면의 결함 정도와 수송전하밀도(carrier density)가 적절히 조절되어야 한다.

특히 센서에 적용되기 위해서는 감지 특성의 효율을 높이기 위하여 작은 입자의 크기를 가져야 하고 박막의 기계적 특성이 우수하면서도 충진도가 낮아 체적에 대한 표면적 비가 커야 한다[5,6]. 또한 SnO₂ 박막은 입자의 크기, 표면적, 결함의 종류와 밀도, 표면의 미세형상 및 구조 등에 따라 전

기적 광학특성이 달라진다. SnO₂ 박막의 센서작용은 결함(imperfection)의 양과 산소빈자리(oxygen vacancy)의 양과 밀접한 관련을 가지며, 이러한 박막의 특성은 표면의 원자구조와 계면 특성 등에 영향을 받을 것이다.

지금까지 SnO₂ 박막성장 에 대한 많은 연구에도 불구하고 박막 성장 시 기판온도와 증착시간과 같은 성장 조건의 변화가 박막의 표면 형상과 결정 구조, 전기적 광학적 특성에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구가 없었다. SnO₂ 박막이 가스 센서 등으로 응용되어지기 위해서는 박막의 전기적 특성이 명확하게 규명되어야 할 필요가 있다. 그러나 박막의 성장 조건에 따른 전기적 특성을 직접 측정하여 그 차이를 규명하기 위해서는 기판이 박막에 미치는 영향을 제거하고, ohmic 전극을 형성시켜야 하는 어려움이 있다. 또한 박막의 전기적인 특성에 중요한 영향을 미치는 결함의 종류와 농도를 구조적인 특성과 전기적인 특성 측정만으로 분석하는 것은 더욱 어려운 작업이다. 따라서 광학적 측정을 도입하여 박막의 구조적 특성과 전기적 특성을 연계하여 분석함으로써 박막의 다양한 특성을 보다 효과적으로 규명할 수 있는 방법의 개발

1. 조선대학교 물리학과

(광주시 동구 서석동 375)

a. Corresponding Author : spchoi@chosun.ac.kr

접수일자 : 2004. 11. 3

1차 심사 : 2004. 12. 6

심사완료 : 2005. 1. 5

이 필요하다.

본 연구에서는 열CVD법으로 기판온도, 증착시간, 가스유입량에 따른 SnO₂ 박막을 성장시켜 X-ray 회절 패턴으로부터 기판 증착 온도에 따른 우선성장면이 달라지는 현상과, 전계 방사형 주사현미경(TEM)측정을 통하여 박막의 결함과 관련되는 형상을 고찰하였고, 광발광(Photoluminescence)을 통하여 박막의 불순물 준위를 규명하였다. Hall 효과를 통하여 박막이 n 타입으로 성장됨을 알 수 있었고, 수송 전하밀도와 광발광의 산소빈자리와 관계를 설명하여 각 특성들 사이의 상호 연관 관계를 분석함으로써, 열CVD법에 의한 SnO₂ 박막의 최적 성장 조건을 찾아내고, 성장된 박막의 구조적, 광학 및 전기적 특성을 산소빈자리와 연관하여 연구 하였다.

2. 실험 방법

출발물질로는 Dibutyl tin diacetate (Aldrich, purity>99.99 %) 용액을 사용하였고 기판은 실리콘[110]을 사용하였다. 수송가스로는 아르곤(Ar), 첨가 가스로는 산소(O)를 사용하여 박막내의 산소의 화학 양론을 제어 하였다.

성장된 SnO₂ 박막의 결정 구조는 X선 회절분석기(Rigaku, RINT-2000, Japan)를 사용하여 얻은 X-선 회절무늬를 해석하여 구하였다. 이때 사용한 X-선은 CuK α 선으로 파장이 1.5405 Å 이다. 측정으로부터 얻어진 회절 무늬를 JCPDS 카드의 결정면 간격, 피크의 세기와 비교하여 측정된 회절무늬를 결정하였다. 고분해능 전계 방사형 투과 전자현미경(Ultra high Resolution Field Emission Transmission Electron Microscope; FE-TEM, Philips, Tecnai F20)을 이용하여, 고전압 200 kV에서 방출되는 전자빔을 이용하여 박막을 투과된 전자 밀도에 따라 미세구조를 관찰 하였다.

SnO₂ 박막의 광발광(Photoluminescence) 측정은 6 K에서 액체 헬륨 저온장치(APD, SH-4, USA)로 사용한 광원은 He-Cd Laser(Kimon, 1 K, Japan)였고, 파장 325 nm, 30 mW 의 세기의 빛을 사용하였다. f=0.85 m의 모노크로메타(SPEX, 1403, USA), 광증배관(Photomultiplier; PMT, Hamamatu, R94302, Japan)을 이용하였다.

SnO₂ 박막의 전기적 특성은 Hall 효과 측정 장치(Lakeshore, 7507, Canada)를 이용하였다. 상온에서 4극 탐침을 이용하여 5 kG 자기장세기에서

표 1. 기판온도, 증착시간, 가스유량 조건에 의한 SnO₂ 박막.

Table 1. Specimens of SnO₂ thin films depending on the substrate temperature, deposition time, and gas mass flow.

Condition Name	Gas Mass Flow Ar: O (sccm)	Substrate Temperature (°C)	Deposition Time(min.)
S425-30A	100: 100	425	30
S450-30A	100: 100	450	30
S475-30A	100: 100	475	30
S500-30A	100: 100	500	30
S475-60B	150: 150	475	60
S525-30B	150: 150	525	30
S525-60B	150: 150	525	60
S475-30C	100: 60	475	30
S475-30D	100: 50	475	30
S475-30E	100: 80	475	30
S475-30F	100: 100	475	30
S525-30G	150: 50	525	30
S500-30D	100: 100	500	30

(annealed at 400 °C, 2 hr. in oxygen atmosphere)

측정하여 Hall 계수 측정에 의해 박막의 운반자 농도 및 이동도를 계산하였다. 전기 전도도는 패쇄 회로(HP34401A, Multimeter)에 SnO₂ 박막을 넣고 질소를 흘려주면서 온도에 따른 전도도를 구하였고, 표 1과 같은 시료를 만들어 박막의 구조, 광전기적 특성을 구하여 산소 빈자리와 연관 관계를 설명 하였다.

3. 결과 및 논의

SnO₂박막의 조성 및 결정 구조를 알아보기 위하여 기판의 온도를 25 °C간격으로 박막을 성장시켰다. 그림 1은 기판 온도를 425(S425-30A), 450(S450-30A), 475(S475-30A), 그리고 500 °C (S500-30A)에서, 30분 증착시킨 SnO₂ 박막의 XRD 패턴 이다. 모든 박막의 XRD 피크는 다결정 SnO₂ 의 피크와 잘 일치하며 루타일(rutile) 타입을 가진 정방정계(tetragonal)구조로 해석 할 수 있다.

그림 1에서와 같이 기판의 온도가 증가함에 따라 SnO₂ 박막의 XRD 피크의 강도는 증가하였고 피크의 너비는 기판 온도의 증가와 더불어 좁아졌다.

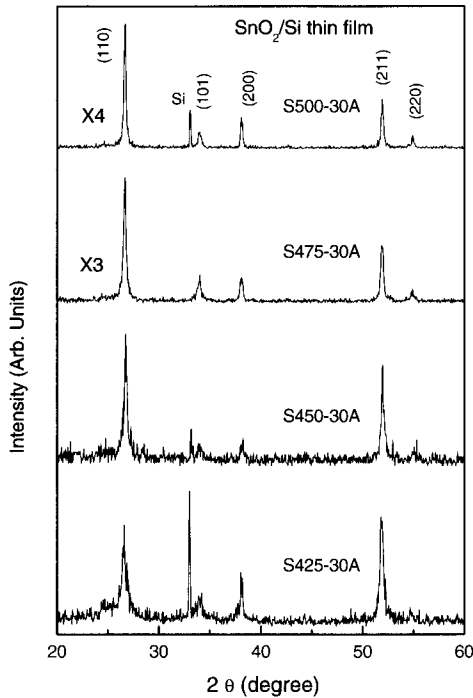


그림 1. 온도에 따른 SnO₂/Si 박막의 X-ray 회절 패턴.

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of the SnO₂/Si thin films grown at different substrate temperatures.

그림 1에서 보듯이 기판의 온도가 높아질수록 (110)면의 피크와 (211)면이 주 피크로 변해가는 것을 볼 수 있다. (200), (211), (110)면의 원자의 면 밀도는 50.68, 58.96, 71.68 %로 (110)면의 표면 에너지가 가장 낮아 기판 온도가 증가 할수록 (211)면보다 (110)면의 피크 강도가 증가 하였다. 이는 SnO₂ 박막이 Si기판 온도의 증가와 더불어 (110) 면을 따라 성장하여 다결정화를 보여 주고 있는 것이다. 기판 온도가 비교적 낮은 박막에서는 기판과 박막 사이의 열작용이 충분히 전달하지 못하여 박막의 구조 상태는 좋지 않으나, 기판의 온도가 올라 갈수록 기판에서 박막으로 충분한 열에너지가 전달되어 박막의 결정 상태는 좋아진 것으로 사료 된다. Si기판 온도의 증가에 따른 박막의 구조는 온도가 증가함에 따라 결정 구조가 나아짐을 확인할 수 있었다. 이것은 Kim등[7]이 전해분무 (spray pyrolysis)법으로 기판의 온도를 조절하여 SnO₂ 박막을 성장 시킨 결과와 일치 한다.

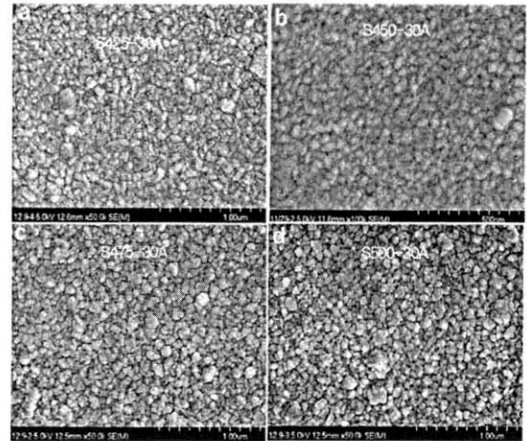


그림 2. 기판온도 425, 450, 475, 그리고 500 °C에서 성장한 SnO₂ 박막의 표면형상.

Fig. 2. SEM micrographs showing the surface morphology of SnO₂ thin films grown at a) 425, b) 450, c) 475, and d) 500 °C.

증착온도가 낮은 경우에는 이온들이 충분히 높은 운동에너지를 갖지 못하여 (200)면의 우선 방향을 갖지만 온도가 증가 할수록 이온들이 더 큰 운동에너지를 가지며 표면에서 확산을 하여 에너지 상태가 좀더 안정된 (211)면이나 (110)면으로 우선 성장 하여 결정 구조가 나아진다[7].

그림 2는 기판의 온도를 425, 450, 475, 그리고 500 °C로 변화시키면서 증착 시간 30분에 고정하여 성장시킨 S425-30A, S450-30A, S475-30A, 그리고 S500-30A 박막의 SEM사진이다. 입자의 평균크기는 0.12, 0.125, 0.13, 그리고 0.132 μm 로 측정되었다. 기판의 온도가 증가하면서 박막 입자들의 평균크기는 증가하는 경향을 보이고 있고, 입자의 형상은 비슷함을 보여주고 있다. 이는 그림 1에서 기판의 온도가 높아질수록 기판과 박막사이의 열작용이 활발하여 박막의 주성장면인 (110)면의 피크와 (211)면의 피크의 강도가 커지므로 결정성이 좋아지는 것으로 보인다. 그러나 증착 시간이 일정 시간 이상이면 비록 온도가 올라가더라도 입자 성장은 더디게 증가하여 입자의 형상은 비슷한 형태를 보여주고 있다.

그림 3a)는 기판 온도 475 °C 증착 시간 60분 성장한 S475-60B의 박막과 기판사이의 경계면 사진이다.

하얀색 부분은 비정질 상태의 박막이고, 검은색 부

분은 박막이 결정화 되었음을 보여주고 있다. 박막 증착 초기에는 기판과 박막사이의 열진달 작용이 원활하지 못하여 비화학양론적인 비정질 상태의 성장이 이루어지다 시간이 지나면 결정화가 됨을 보여주고 있다. 비정질 형상은 SnO₂ 박막내 결합을 많이 포함하고 있을 것이고 이는 산소 빈자리와 연관이 있을 것이다.

그림 3b)는 기판 온도 525 °C에서 성장한 S525-60B 박막의 기판과 박막사이의 경계면 사진이다. 기판 온도가 475 °C와 마찬가지로 초기에는 비정질 상태에서 결정 상태로 박막이 성장됨을 보여주고 있다. 기판 온도가 475 °C와는 다르게 기판과 박막사이의 비정질면의 두께가 작아짐을 볼 수 있다. 이는 기판 온도가 높아질수록 기판과 박막사이의 열작용이 빠르게 작용하여 박막성장이 빠르게 되므로 비정질부분이 감소되어, 두께가 좁아지는 것으로 사료된다.

그림 4는 기판 온도 475 °C에서 성장된 S475-60B 박막내부의 고배율TEM사진으로 줄무늬(stripe) 형상이 나타났다. SnO₂ 박막 성장시, 박막을 증착하는 시간, 유입되는 가스양, 첨가가스의양, CVD내 챔버내 압력상태 등 환경요인은 박막 성장에 중요한 변수가 될 것이다. 이로 인하여 박막의 두께는 일정하게 성장 되지 않을 것이고, 줄무늬형상도 이 원인으로 나타나는 것으로 사료된다.

그림 5는 525 °C에서 성장된 S525-60B 박막내부의 고배율 TEM사진으로, 박막내부의 흰색 부분은 주변과 다르게 성장되었음을 보이고 있다.

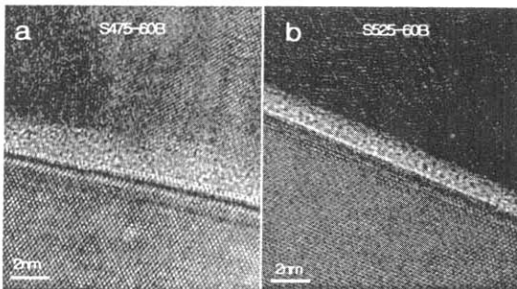


그림 3. 기판온도 475, 525 °C에서 성장한 SnO₂ 박막의 기판과 박막사이의 경계면 고배율 TEM 사진.

Fig. 3. HRTEM micrographs showing the interface between substrate and SnO₂ thin films grown at a) 475 and b) 525 °C, respectively.

비록 기판의 온도가 올라가서 환경이 달라졌지만 박막 성장이 성장 시 영향으로 격자무늬가 다른 형상이 관찰 되었다. 격자무늬가 다른 형상의 출현은 박막 내의 화학 양론적으로 비정상 산화물이 형성되는 것을 의미하며 산소결함을 많이 포함하고 있을 것이다.

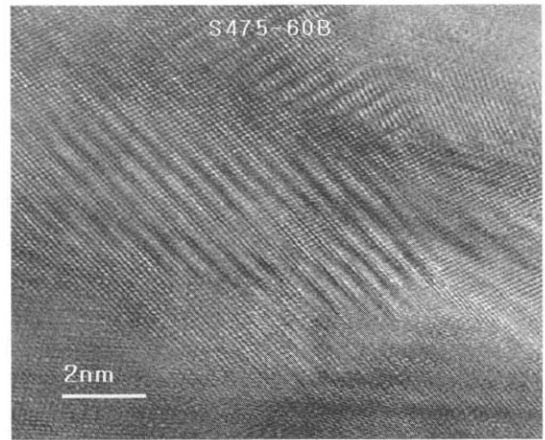


그림 4. 기판온도 475 °C, 증착시간 60분인 SnO₂ 박막 표면 고배율 TEM사진.

Fig. 4. HRTEM micrographs showing the surface morphology of SnO₂ thin films grown for 60 min at 475 °C.

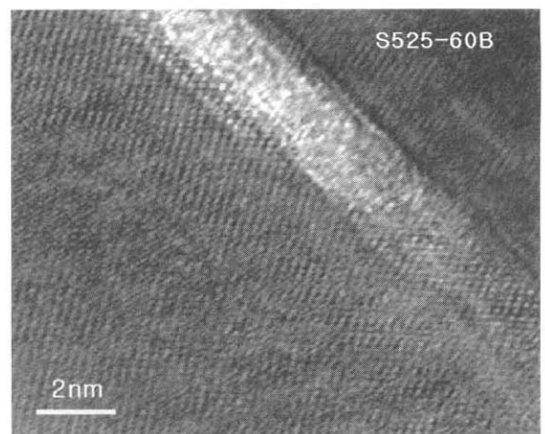


그림 5. 기판온도 525 °C, 증착시간 60분인 SnO₂ 박막 표면 고배율 TEM사진.

Fig. 5. HRTEM micrographs showing the surface morphology of SnO₂ thin films grown for 60 min at 525 °C.

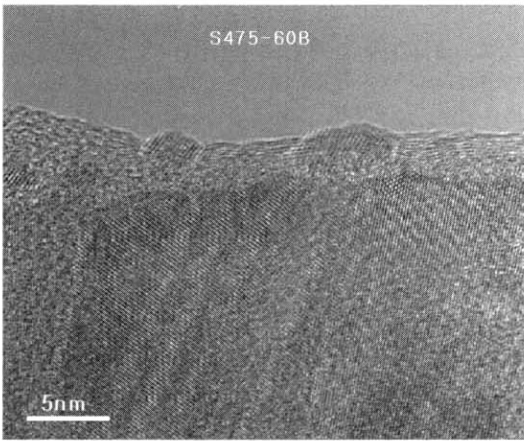


그림 6. 기판온도 475 °C, 증착시간 60분인 SnO₂ 박막 단면 고분해능 TEM사진.

Fig. 6. HRTEM micrographs showing the cross section of SnO₂ thin films grown at 475 °C for 60 min.

그림 6은 기판온도 475 °C, 60분에서 성장된 S475-60B 의 고배율 단면 TEM 사진이다. 박막의 끝부분에서 보듯이 박막은 불분명 한 격자무늬가 많이 보였다. 박막성장이 같은 두께, 일정한 방향으로 성장이 되는 것이 아니고 박막내부의 형상이 박막위치에 따라 변화하고 있다는 것을 보여주고 있다. 이는 그림 4의 TEM 사진에서 보인 줄무늬 형상의 원인이 단면의 불분명한 격자 상태와 관련이 있는 것으로 보이고, 이형상은 박막내부의 산소 결합농도에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

그림 7은 성장된 SnO₂ 박막의 6 K에서 측정된 PL 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 7에서 단파장대 지역의 366.8 nm(3.38 eV)와 372.3 nm(3.33 eV)의 봉우리는 얽매인 엑시톤 방출(bound exciton emission) 스펙트럼으로 여겨진다. 얽매인 엑시톤(bound exciton)은 중성 혹은 대전된 주개(donor)와 받개(acceptor)에 자유 엑시톤(free exciton)이 속박되어 그 주위궤도를 운동하는 계를 말한다.

얽매인 엑시톤 복합체(bound exciton complex)가 소멸할 때 생기는 발광스펙트럼은 자유 엑시톤(free exciton)보다 장파장대에 나타난다. 366.8 nm(3.38 eV)의 봉우리는 중성 주개 얽매인 엑시톤(neutral donor-bound exciton)인 V₀에 기인하는 엑시톤 I₂(D₀, X)인 것으로 생각된다. 6 K일 때 에너지 갭 E_g=3.593 eV일 때 주개 얽매인 엑시톤

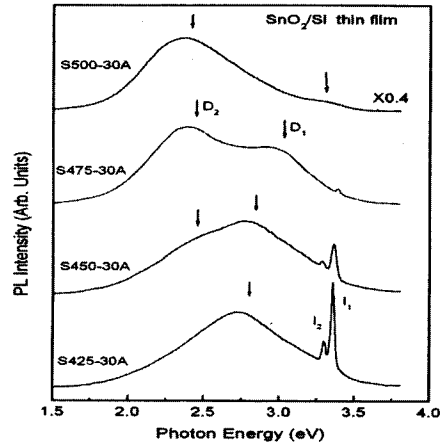


그림 7. 기판온도에 따른 SnO₂/Si 박막의 광발광 스펙트럼.

Fig. 7. Photoluminescence spectra of the SnO₂/Si thin films grown at different substrate temperatures.

결합 에너지(donor-bound exciton binding energy)는 216 meV이고, 이 값은 Blattner[8]가 구한 233 meV와 17 meV의 오차값을 가지고 잘 일치함을

알 수 있었다. Haynes rule에 의하여 $\frac{E_{BX}}{E_D} \cong 0.2$ 로부터 주개의 이온화 에너지 E_D값이 1165 meV임을 알 수 있었다. PL 봉우리 372.3 nm(3.33 eV)는 중성 주석 빈자리(neutral Sn vacancy) V_{Sn}⁰인 받개에 구속된 엑시톤 I₁(A₀, X)으로 보인다. I₁의 에너지 hν는 3.33 eV이므로 정의식에 의해서, V_{Sn}⁰인 받개(acceptor)에 구속된 엑시톤(exciton) I₁(A₀, X)의 결합에너지(binding energy)는 226 meV임을 알 수 있다. Haynes rule에 의하여 $\frac{E_{BX}}{E_A} \cong 0.1$ 로부터 구한 받개의 이온화 에너지는 2260 meV임을 알 수 있었다. 이때 광발광 봉우리 세기의 반폭치(full width half maximum: FWHM)값은 13.5 meV였다.

SnO₂ 시료는 얽매인 엑시톤(bound exciton)이 관측되는 것으로 보아 양질의 박막으로 성장되었음을 알 수 있었다.

그림 7에서 기판 온도의 증가와 더불어 새로운 D₂피크가 S450-30A 샘플에서 관찰되었고 넓은 피크는 S475-30A 샘플에서 D₁ 과 D₂ 가 두개의 별도의 피크로 분리되었다. D₁ 과 D₂ 피크의 에너지는 각각 3.1 eV 와 2.4 eV 였다. D₂ 피크의 강도는

기관 온도의 증가와 더불어 증가하였다. 그러나 D₁ 피크의 강도는 감소하였고 에너지는 기관 온도의 증가에 따라 청색 쪽으로 이동을 하였다. D₁ 및 D₂ 피크의 기원을 파악하기 위해 SnO₂ 박막을 475 °C 기관 온도에서 낮은 산소 부분 압력을 사용하여 성장시켰다.

그림 8a)는 S475-30A를 낮은 산소 압에서 성장한 S475-30C 박막과 S475-30A의 PL 스펙트럼이다. 낮은 산소 압에서 성장된 S475-30C 박막의 D₂ 피크의 강도는 크게 증가하였다. 이는 D₂ 피크가 산소빈자리의 농도와 밀접한 관련이 있음을 보인다. n형 SnO₂ 박막의 산소빈자리(oxygen vacancy)는 전도대(conduction band) 아래 주계 준위를 생성한다. D₂ 피크의 강도는 산소빈자리 농도 증가와 더불어 증가하였다.

그림 8b)는 S500-30A 샘플을 400 °C에서 두 시간 동안 산소 분위기에서 소결한 S500-30D 박막의 PL 스펙트럼이다. 산소 분위기에서 소결한 박막에서 산소빈자리라 사료되는 D₂ 피크의 강도가 감소함을 알 수 있었다. D₂ 피크의 위치는 SnO₂/InP박막에서 Kim 등[9]이 연구 발표한 피크와 유사하였고, 그림 7의 결과에 의하면, D₁ 피크의 생성기원은 불확실하나 PL 측정에서 그 강도와 위치는 산소빈자리의 농도와는 무관하여서 구조적인

결함으로 생각된다. 기관 온도의 증가에 따라, Sn-O 결합간격과 원자의 공간 배열 분포가 변하여 SnO₂ 박막의 결정성이 개선되기 때문에, D₁ 피크의 강도는 감소되는 것으로 사료 된다.

표 2는 SnO₂ 박막의 산소빈자리와 수송전하밀도를 알아보기 위하여 기관 온도를 475 °C로 고정하고 수송가스인 아르곤의 분압을 100 sccm으로 고정하고, 첨가가스인 산소의 분압을 50, 80, 그리고 100 sccm으로 하여 성장된 S475-30D, S475-30E, 그리고 S475-30F 박막의 Hall 자료이다. 측정된 Hall계수가 음의 값으로 측정되어 SnO₂ 박막은 n형으로 성장됨을 알 수 있었다. 첨가되는 산소량이 증가 했을 때 수송전하밀도는 감소하였다. 이는 박막 성장시 첨가하는 산소량에 따라 박막의 수송전하밀도가 영향을 받고 있다는 것이다. 이는 그림 8의 광발광 스펙트럼의 산소빈자리에 해당하는 D₂ 피크와 경향이 일치하고 있다. 따라서 박막 성장시 전기적 성질은 박막의 두께뿐만 아니라 첨가되는 산소의 양에 의한 산소빈자리에 대한 조건이 고려되어야 할 것이다.

그림 9는 기관 온도 525 °C의 증착 시간 30분 박막의 첨가 산소 양을 다르게 만든 S525-30B, S525-30G 박막의 전도도 곡선이다. SnO₂박막은 비화학양론(nonstoichiometry)을 갖는 SnO_{2-x} 조성 상태이고, 산소빈자리에 의한 전기적 중성을 유지하기 위한 전자를 갖는 n형 반도체 산화물이다. 박막을 첨가하는 산소 양에 따라 다르게 만들었을 때 산소빈자리는 변화가 되고 전도 이동자인 전자의 농도는 변화가 있을 것이다[10,11].

그림 9에서 보듯이 두 박막은 전도도가 차이가 있었으며, 첨가가스인 산소를 적게 흘린 경우는 산소빈자리가 많아 전기 전도도가 높았지만, 산소의 양을 아르곤 가스와 동일하게 한 박막은 산소빈자리가 작아 전기 전도도가 낮았다. 산소가스의 양이

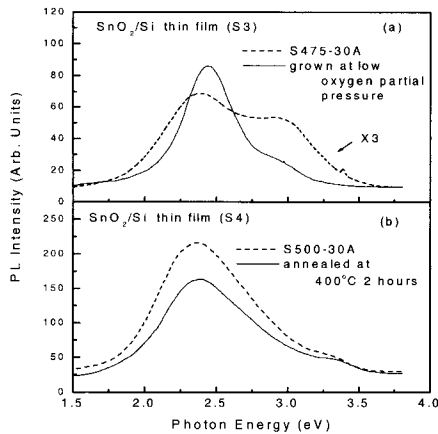


그림 8. 낮은 산소분압에서 성장한 SnO₂/Si 박막 (a), 산소분위기에서 400 °C, 2시간 소결한(b) 광발광 스펙트럼.

Fig. 8. Photoluminescence spectrum of a SnO₂/Si thin film grown at a low oxygen partial pressure (a) and annealed in an O₂ atmosphere for two hours at 400 °C (b).

표 2. 기관온도 475 °C에서 다른 산소분압에서 성장한 SnO₂ 박막의 Hall 자료.

Table 2. Hall Data of SnO₂ thin films grown at 475 °C different oxygen pressure.

Hall Data Name	Carrier Density (cm ⁻³)	Mobility (cm ² /V-s)	Hall coefficient (cm ³ /c)
S475-30D	5.20 × 10 ¹⁹	26.1	-0.21
S475-30E	4.55 × 10 ¹⁹	12.1	-0.14
S475-30F	2.28 × 10 ¹⁹	20.3	-2.73

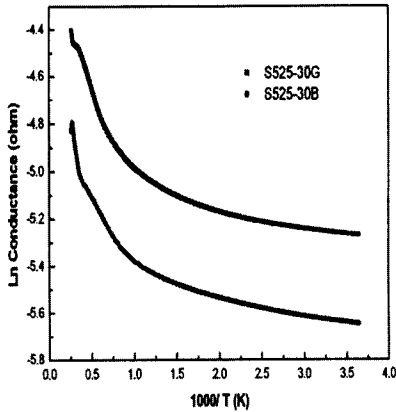


그림 9. 525 °C에서 다른 산소분압에서 성장한 SnO₂ 박막의 전기전도도.

Fig. 9. Conductivity of the thin films grown at 525 °C different oxygen pressure.

적게 첨가된 박막은 비화학양론적인 박막이 형성이 되기 때문에 전기 전도도가 클 것이다. 하지만 같은 비율로 Ar과 산소를 흘려준다면 박막의 산소빈자리가 적게 일어나 전도도가 적은 것으로 사료되고, 그림 8의 광발광 스펙트럼 경향과 일치 하였다.

4. 결 론

SnO₂ 박막의 광발광 측정으로부터 구속 엑시톤 (bound exciton) 광발광 봉우리가 관측되는 것으로 보아 양질의 박막으로 성장되었음을 알 수 있었다. 기판온도가 증가함에 따라 그 세기가 급격하게 증가하는 넓은 폭을 갖는 광발광 피크는 산소 분압을 조정된 박막 성장과 산소 분위기에서 소결실험을 통하여 산소 빈자리에 기인한 피크임을 밝혔다. 산소 분압을 변화시킨 Hall 수송전하밀도는 낮은 산소 분압에서 성장 시킨 SnO₂ 박막의 광발광 스펙트럼의 산소빈자리 피크와 경향이 일치됨을 알 수 있었다. 낮은 산소 분압에서 성장 시킨 SnO₂ 박막의 전기 전도도를 측정한 결과 그 값이 증가하여 산소 빈자리가 전기적인 특성에 영향을 미치는 사실을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 조선대학교 학술 연구비 지원에 의해 이루어 졌습니다.

참고 문헌

- [1] Z. M. Jarzebski and J. P. Maraton, "Physical properties of SnO₂ materials", J. Electrochem. Soc., Vol. 123, p. 199, 1976.
- [2] V. Vasu and A. Subrahmanyam, "Electrical and optical properties of sprayed SnO₂ films", Thin Solid Film., Vol. 193/194, p. 973, 1990.
- [3] A. Tsunashima, "Preparation and properties of antimony-doped SnO₂ films by thermal decomposition of tin 2 ethyhexanoate", J. Mater. Sci., Vol. 21, p. 2731, 1986.
- [4] H. Pink, L. Treitinger, and L. Vite, "Preparation of fast detecting SnO₂ gas sensors", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 19, No. 3, p. 513, 1980.
- [5] K. Ihokura and J. Watson, "The stannic oxide gas sensor principles and applications", CRC Press, Boca Raton, FL, 1994.
- [6] J. I. Jung, B. C. Kim, S. H. Chang, and J. J. Kim, "Effect of sintering atmosphere and dopant addition on the densification of SnO₂ ceramics", J. Kor. Ceram. Soc., Vol. 34, p. 1221, 1997.
- [7] 김혜동, 박민수, 이범주, 안병태, "Spray pyrolysis 방법으로 증착된 SnO₂ 박막의 전기 및 광학적 특성", 한국재료학회지, 6권, 2호, p. 145, 1996.
- [8] G. Blattner and C. Klingshirn, "Impurity transition in the photoluminescence spectra of SnO₂", Solid State Commun., Vol. 33, p. 341, 1980.
- [9] T. W. Kim, D. U. Lee, and Y. S. Yoon, "Microstructural, electrical, and optical properties of SnO₂ nanocrystalline thin films grown on InP(100) substrate for applications as gas sensor device", J. Appl. Phys., Vol. 88, No. 6, p. 3759, 2000.
- [10] J. S. Park and H. G. Kim, "Thermal analysis of the Bi-Sr-Ca-Cu-O system by and Electrical properties", J. Appl. Phys., Vol. 65, No. 2, p. 877, 1989.
- [11] Per Kofstad, "Nonstoichiometry, Diffusion, and Electrical Conductivity in Binary Metal Oxides", Jon Willy & Sons, New York, p. 221, 1972.