

논문 94-3-2-09

고주파 마그네트론 스퍼터링법에 의해 제조된 TO:F 투명도전막의 제조 및 특성(I)

박기철*, 김정규*

Fabrication and Characteristics of TO:F Thin Film Deposited by RF Magnetron Sputtering(I)

Ki-Cheol Park*, Jeong-Gyoo Kim*

요 약

고주파 마그네트론 스퍼터링법에 의해 TO:F(SnO₂:F)막을 제조하고 막의 구조적, 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. TO:F막은 SnF₂를 무게비로 첨가한 SnO₂타겟을 사용하여 증착되었으며 투명도전막으로서의 최적 증착조건은 타겟내의 SnF₂의 첨가량이 15wt.% 고주파출력이 150W, 기판온도가 150℃ 및 반응실내의 동작압력이 2mmTr일 때이다. 최적 증착조건에서 저항률은 $9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 였으며 광투과도는 550nm에서 88%였다. 광투과도로부터 구해진 광학적 밴드갭은 타겟내에 SnF₂가 첨가되지않은 경우 및 15wt.% 첨가된 경우에 각각 3.84eV 및 3.9eV로 나타났다. X-선회절분석의 결과 TO막 및 TO:F막은 (101),(200)방향으로 성장한 tetragonal rutile구조를 가지고 있었다.

Abstract

TO:F(SnO₂:F) thin films were prepared by RF magnetron sputtering system. The dependence of their structural, electrical, and optical properties on deposition conditions such as substrate temperature, working pressure and power was studied. The optimum conditions of TO:F thin film are SnF₂ content of 15wt.% in target, RF power of 150W, substrate temperature of 150℃ and working pressure of 2mmTr. The resistivity and transmittance at 550nm in visible spectrum of the TO:F film deposited at optimum condition are $9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ and above 85%, respectively. For the films deposited from the target without SnF₂ and with 15wt.% SnF₂, the optical bandgaps calculated from the transmittance curves are 3.84 and 3.9eV, respectively. X-ray diffraction patterns showed that TO and TO:F films had tetragonal rutile structure with (101), (200) direction.

I. 서 론

TO(Tin Oxide) 및 ITO(Indium Tin Oxide)막은 가장 널리 사용되고 있는 대표적인 투명도전막(TCO : Transparent Conductive Oxide)이다. 이들 투명도전막은 높은 전기전도도 및 가시광 영역에서의 높은 광투과도를 갖고 있을뿐 아니라 다양한 기판과의 부착성(adhesion)이 우수하며, 안정성(stability), 경도(hardness)등도 뛰어나서 액정디스플레이를 비롯한 각종 디스플레이, 이미지센서를 비롯한 각종 광센서, 박

* 正會員 : 경상대학교 전자재료공학과
(Dept. of Electronic Materials, Eng., Kyeongsang Nat'l Univ.)

<접수일자 : 1994년 5월 4일>

※ 본 논문은 센서기술연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

막형 태양전지등의 광전자소자에 널리 이용되고 있다.^[1] TO막은 ITO막에 비해 전기전도도는 떨어지나 광투과도가 우수하며 a-Si:H나 CdS/CdTe태양전지등에서 우수한 계면특성을 갖고있다.^[2~4] TO막의 전기전도도는 불순물을 도핑하는 방법으로 향상될 수 있는 것으로 알려져 있으며 이러한 불순물로는 Sb, F, Cl을 들 수 있으며 이중에서 F의 도핑이 가장효과적인 것으로 보고되어 있다.^[5~7, 14]

TO투명도전막을 형성하는 방법으로는 CVD법 (Chemical Vapor Deposition), sputtering법, evaporation법 등을 들 수 있으며 CVD법은 hydrosis 법 및 pyrosis법으로, sputtering법은 타겟의 종류에 따라 oxide 타겟 sputtering과 금속 타겟을 이용한 reactive sputtering으로, reactive evaporation법은 electron-beam evaporation과 2가지 소스를 동시에 증착하는 coevaporation으로 나눌 수 있다.^[1, 8~10] J. L. Vossen에 의해 작성된 투명도전막의 제조공정에 따른 비교표를 참조하면 sputtering법이 기타방법에 비해 장비의 가격면을 제외한 막의 특성, 막의 균질성, 막의 재현성, 막표면에서의 morphology등에서 가장 우수한 방법으로 평가되며, sputtering법 중에서도 oxide타겟을 사용한 방법이 더 우수한 것으로 평가되었다.^[1] F를 도핑한 TO막은 도핑의 용이성 때문에 CVD법을 이용하는 것이 일반적이나 공기중에서 증착되므로 불순물의 유입가능성이 크며 막증착시 소요되는 SnCl₄, NH₄F 와 같은 값비싼 반응제의 소모성이 심하며 다른 증착법에 비해 막의 재현성 및 표면 morphology가 떨어지는 단점이 있다.^[11,12] 이러한 단점들은 sputtering법에서는 무시될 수 있다. 본 연구에서는 SnF₂가 1wt.%-15wt.%의 무게비로 첨가된 4 inch SnO₂타겟을 제작하고 고주파 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 1mmTr의 낮은 동작압력에서 F가 도핑된 TO:F막을 제조하고 막의 구조적, 전기적 및 광학적특성을 구하였으며 순수한 SnO₂ 타겟만으로 제작된 TO막을 제조하여 그 특성을 비교하였다.

II. 실험 및 측정

TO막은 상용화되어 있는 SnO₂타겟(99.99%, 일본 고순도 화학)을 사용하여 증착되었으며 TO:F막의 증착에는 자체 제작된 SnF₂가 첨가된 SnO₂:F 타겟이 사용되었다. 기판으로는 Corning 7059 글라스 및 Si웨이

퍼를 사용하였다. TO:F막의 증착용 타겟을 제조하기 위하여 먼저 SnO₂분말(99.9% Aldrich Co.)에 SnF₂분말(99.99% ESIP CO.)를 1wt.%, 5wt.%, 10wt.% 및 15wt.%의 무게비로 각각 칭량하여 알루미늄 모타르를 이용하여 3시간 혼합하였다. 이 분말을 알루미늄 보트를 이용하여 450°C에서 3시간 하소하였다. 이때 승온률은 6°C/min 으로 하였다. 하소된 분말에 결합제로 2wt.%의 PVA수용액을 5wt.%혼합하여 건조시킨 후 알루미늄 모타르를 사용하여 1시간 30분동안 혼합하였다. 이것을 4inch 모듈드를 사용하여 총100g의 분말을 10ton의 압력을 가하여 성형하였다. 성형된 시편은 전기로에서 6°C/min의 상승률로 600°C까지 상승시킨 후 3시간동안 소결시켜 최종타겟을 제조하였다.

TO 및 TO:F막 제조시의 중요한 증착변수로는 고주파 출력, 작업실내의 동작압력, O₂/Ar+O₂의 비, 타겟내의 SnF₂의 첨가량 등을 들 수 있다. 충분한 예비 실험을 통하여 막의 균질성과 증착률을 고려하여 기판과 타겟과의 간격을 4cm로 고정하였다. 3cm의 경우에는 증착률은 높았지만 균질성이 떨어졌으며 5cm의 경우 균질성은 향상되었지만 증착률이 낮아졌다. 본 연구에서의 TO막은 Ar 및 Ar+O₂ 분위기에서 O₂를 2% 에서 10%로까지 변화시키며 증착되었다. 10% 이상의 O₂가스가 사용되는 경우에는 증착된 막의 저항률이 4점측정기의 면저항 측정범위를 벗어나므로 막의 증착시 10%이상의 O₂가스를 사용하지 않았다. 증착시 분위기압은 1mmTr에서 20mmTr까지, 기판온도는 상온에서 350°C까지, 고주파전력은 50W에서 300W까지 변화시키며 증착하였다.

증착된 막의 두께는 α -step 100(Tencor Co.)과 ellipsometer(Gaertner L116B)를 통하여 측정하였으며 막의 두께는 1000Å으로 고정하였다. 저항률은 4점측정시스템(four point probe, Keithley 220 current source, Keithley 617 electrometer)을 통하여 구하였다.

TO 및 TO:F막의 결정구조와 결정성을 알아보기 위해 회절각 $10^\circ < 2\theta < 70^\circ$ 범위에서 X-선회절분석을 행하였다.

광투과도는 UV-vis분광광도계를 통하여 측정하였으며 광투과도 특성으로 부터 광학적밴드갭을 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 증착률

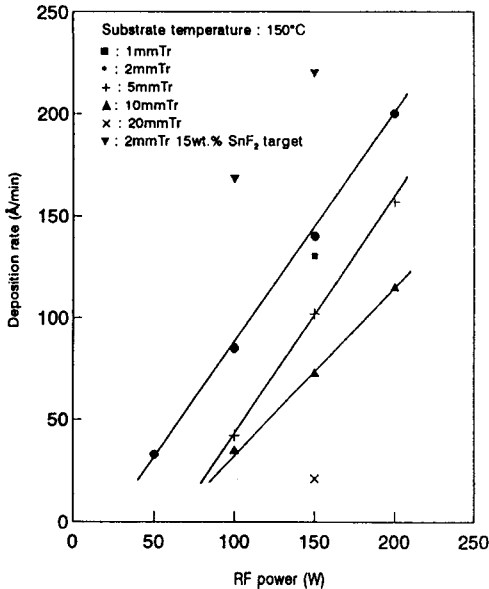


그림 1. 고주파 출력변화에 대한 증착률의 변화
Fig. 1. Deposition rate as a function of RF power for various working pressure at substrate temperature of 150°C.

그림 1은 기판온도를 150°C에 고정한 경우의 고주파 출력변화에 대한 증착률의 변화를 나타낸 것이다. 이 때 동작압력은 1mmTr로 부터 20mmTr까지 변화되었다. RF출력이 증가함에 따라 증착률은 선형적으로 증가하였으며 그림 1에서 2mmTr에서의 분위기압에서 증착된 막의 증착률과 고주파출력과의 관계곡선으로부터 구해지는 기울기는 $1(\text{Å}/\text{min})/\text{W}$ 이다. 300W 이상의 고주파출력에서 증착된 막은 저항률증가가 현저하고 증착률이 너무높아 막의 두께를 1000 Å으로 조정하는 데 어려움이 있었다. 작업실내의 분위기압이 감소함에 따라 증착률이 증가하였으나 150W의 고주파출력, 1mmTr의 동작압력에서 증착되는 경우에는 2mmTr의 경우에 비해 증착률이 약간 감소하였다. 높은 분위기압에서의 증착률의 감소는 sputter된 원자의 평균자유행정의 감소에 기인하며 낮은 분위기압에서의 감소는 Ar원자의 이온화률의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.^[15] 특히 SnF₂가 첨가된 타겟의 증착률이 첨가되지 않을 경우에 비하여 같은 고주파 출력에서는 85%정도 증가하였다. SnF₂가 첨가되지 않은 타겟에 비해 SnF₂가 첨가된 타겟에서 증착

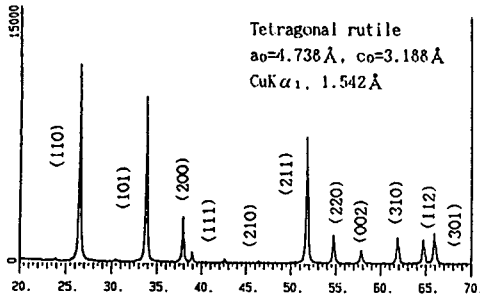
률이 현저하게 증가한 이유는 전자는 고온가열방식의 프레스법(hot pressing method)을 이용하여 제조되었으므로 일반 프레스법을 사용하여 제조된 후자에 비해 훨씬 밀도가 높기 때문으로 판단된다.

2. X-ray 분석

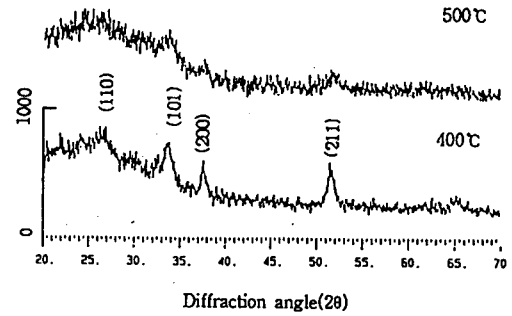
그림 2는 기판온도 변화에 따른 TO 및 TO:F막의 X-선 회절패턴을 나타낸 것이다. X-선 회절분석을 통한 결정구조는 tetragonal rutile 구조이며 spray hydrolysis 법에 의해 증착된 막에서 흔히 나타나는 β-SnO상은 관찰되지 않았다. (a)는 TO 타겟의 X-선 회절패턴을 나타낸 것으로 tetragonal rutile구조를 나타내었다. (b)는 기판온도 50°C에서 기판온도가 200°C까지 증가함에 따라 제1peak(101), 제2peak(110), 제3peak(211) 방향으로 현저하게 성장하였으나 기판온도가 300°C에서 350°C로 증가함에 따라 X-선 회절패턴의 감소가 관찰되었다. (c)는 SnF₂가 첨가되지 않은 타겟을 사용하여 고주파출력이 150W, 동작압력이 2mmTr, 기판온도가 150°C에서 증착된 막을 대기중 400°C 및 500°C에서 2시간 동안 열처리한 막의 X-선 회절패턴을 나타낸 것이다. 열처리온도가 400°C에서 500°C로 증가함에 따라 tetragonal rutile구조에서 비정질 구조로 옮겨감이 관찰되었다.

(d)는 SnF₂를 15wt.% 첨가한 경우의 X-선 회절패턴을 나타낸 것이다. SnF₂를 첨가하지 않은 경우와는 달리 온도가 증가함에 따라 피크치가 약하게 증가함을 알 수 있다. 이는 15wt.%의 SnF₂를 첨가한 타겟을 사용하여 증착된 막의 저항률이 SnF₂가 첨가되지 않은 타겟을 사용하여 증착된 막에 비해서 기판온도가 증가함에 따라 크게 증가하지 않은 결과와 일치하는 것으로 판단된다.

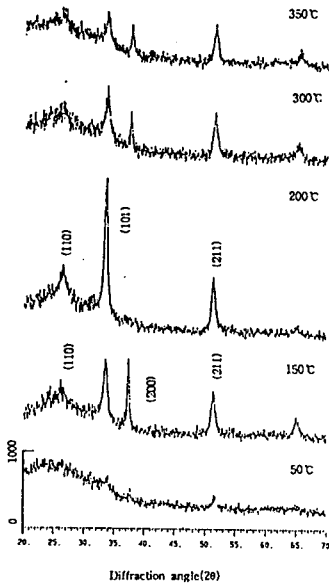
그림 3은 동작압력 변화에 따른 TO 및 TO:F막의 X-선 패턴을 나타낸 것이다. 고주파출력은 150W이며 기판온도는 150°C이다. (a)는 SnF₂를 첨가하지 않은 타겟을 사용하여 X선 패턴을 나타낸 것으로 2mmTr의 압력에서 증착된 막이 1mmTr와 5mmTr에서 증착된 막에 비해 상대적인 피크의 성장이 관찰되었다. (b)는 SnF₂를 15wt.%첨가한 경우 증착된막의 X-선패턴을 나타낸 것으로 2mmTr가 1mmTr에 비해 피크가 더 성장되었음을 나타내었다.



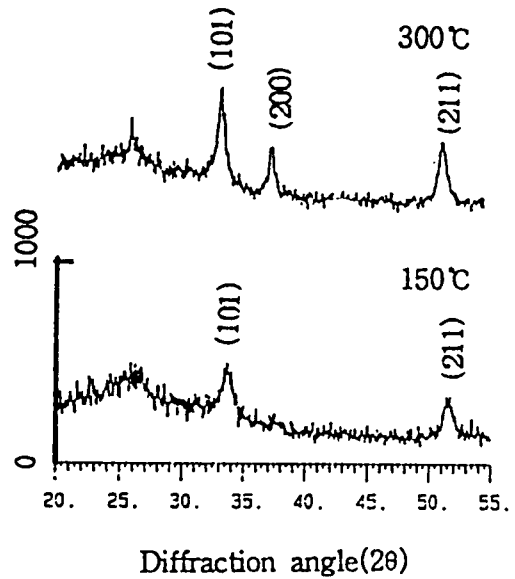
(a) XRD pattern of TO target.



(c) XRD patterns of TO films annealed at 400°C and 500°C in the air for 2 hours.



(b) XRD patterns of TO films for various substrate temperature.



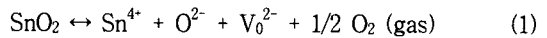
(d) XRD patterns of TO:F films deposited at target with 15wt.% SnF₂.

그림 2. 여러가지 기판온도에서의 TO 및 TO:F막의 X-선 회절도
Fig. 2. XRD patterns of TO and TO:F films.

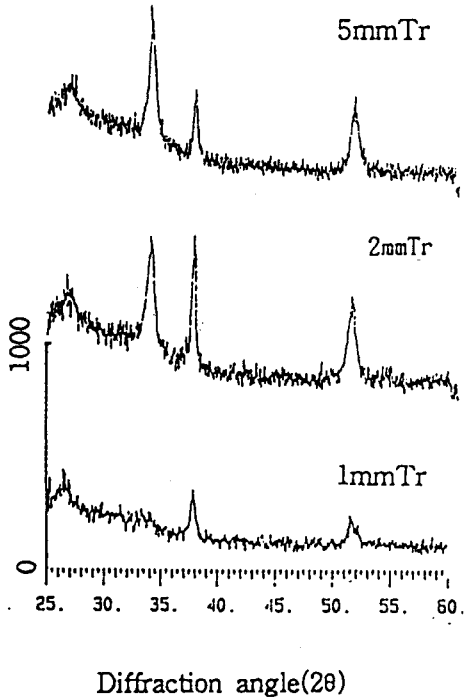
3. 저항률

TO막의 전기전도현상은 화학양론적 조성에서 벗어나는 비화학양론적인 조성에 기인하는 것으로 보고되어 있다. 전도도의 증가 또는 저항률의 감소는 막의 성장중에 발생하는 산소 vacancy와 격자사이에 존재하는 과잉 Sn등의 진성결함에 기인하며 산소 vacancy가 주도적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.^[7,10] 이러한 산소 vacancy와 Sn interstitial은 donor로서

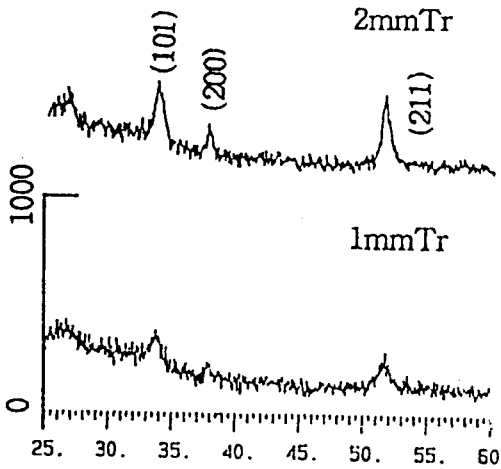
작용 한다. 산소 vacancy와 Sn interstitial에 의한 캐리어의 발생기구는 다음의 간단한 화학식에 의해 설명될 수 있다.^[5]



진성결함에 의한 TO막의 저항률 감소는 $\sim 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 정도까지로 제한을 받는다. 광투과도를 감소시키



(a) XRD patterns of TO films for various working pressure.



(b) XRD patterns of TO:F films deposited at target with 15wt.% SnF₂.

그림 3. 여러가지 동작압력에서의 TO 및 TO:F막의 X-선 회절도
 Fig. 3. XRD patterns of TO and TO:F films for various working pressure.

지 않고 전기전도도를 크게 향상시키는 방법으로 TO막의 증착중에 Sb나 F와 같은 불순물 원자의 도핑을 들 수 있다. 이러한 의도적인 불순물 도핑에 의하여 $6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 까지 저항률을 감소시킬수 있는 것으로 보고되고 있으며 이는 거의 ITO(Indium Tin Oxide)와 같은 수준이다. 이러한 저항률의 감소 이유는 이들 원자가 TO막 내에서 각각 0.03ev 와 0.005ev 정도에서 전자포획 준위를 형성하기 때문으로 알려져 있다. 이와 함께 Sb보다는 F가 더 전기전도도에 기여하는 바가 큰 것으로 보고되어 있으나 그 이유는 Sb나 F의 doping효과와 함께 명백히 밝혀져 있지 않다.^[5,6,14]

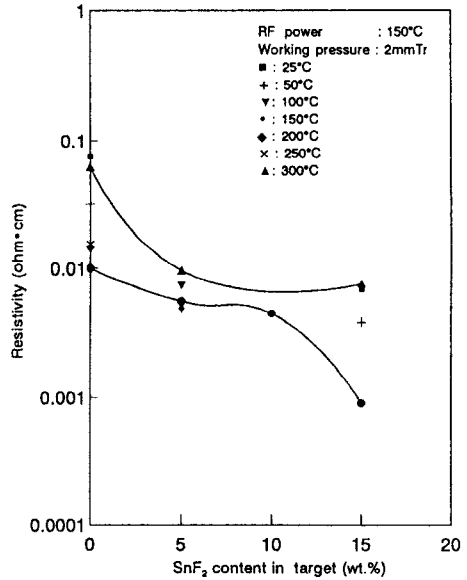


그림 4. 여러가지 기판온도에서의 타겟내의 SnF₂ 첨가량 변화에 대한 TO:F 막의 저항률변화
 Fig. 4. Dependence of resistivity of TO:F films on SnF₂ content in target for various substrate temperature.

그림 4는 고주파출력을 150W, 동작압력을 2mmTr에 고정시킨 경우 타겟내의 SnF₂ 첨가량의 변화에 따른 저항률의 변화를 구한 것이다. 이때 기판온도는 상온에서 300°C까지 변화시켰다. SnF₂의 첨가량에 무관하게 150°C와 200°C에서 최소저항값을 나타내었으며 기판온도가 감소하거나 증가함에 따라 대칭에 가깝게 저항률은 증가 하였다. 이러한 저항률의 증가는 결정 입자의 크기와 grain boundary의 증가에 기인한 scattering의 증가 때문으로 판단된다.

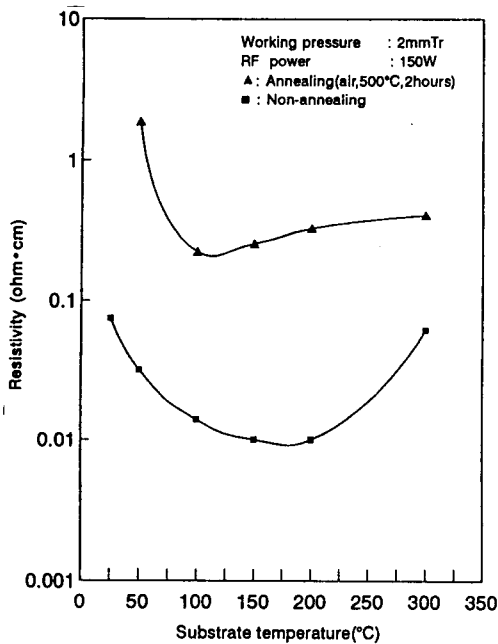


그림 5. 기판온도변화에 대한 TO막의 저항률 변화와 TO막의 열처리 효과

Fig. 5. Dependence of resistivity of TO films on substrate temperature and annealing effect.

그림 5는 TO막을 증착할 때 분위기압을 2mmTr, 고주파출력을 150W에 고정한 경우 기판온도변화에 대한 저항률의 변화 및 같은 증착조건에서 제조된 시편을 대기중 500°C 에서 2시간동안 열처리 한 시편의 저항률의 변화를 함께 나타낸 것이다. 기판온도 300°C 이상에서 증착된막의 저항률이 현저하게 증가하였다. 대기중에서 열처리한 막의 저항률은 열처리를 수행하지 않은 막에 비해 저항률이 2승정도 증가하였으며 열처리후 기판온도변화에 대한 저항률의 변화는 크게 관찰되지 않았다. 이러한 저항률의 현저한 증가는 전 기전도도에 기여하는 산소와의 결합을 통한 산소 vacancy의 감소에 기인한 것으로 판단된다. 또 대기중 500°C에서 2시간 열처리한 시편의 저항률의 현저한 증가는 그림 2의 X-선회절도에서 결정성을 상실하고 비정질로 상전이는 하는 결과와도 일치하는 것으로 판단 된다.

그림 6은 기판온도를 150°C, 고주파출력을 150W에 고정한 경우 타겟내의 SnF₂ 첨가량의 변화에 따른 저항률의 변화를 나타낸 것이다. 타겟내의 SnF₂의 첨가

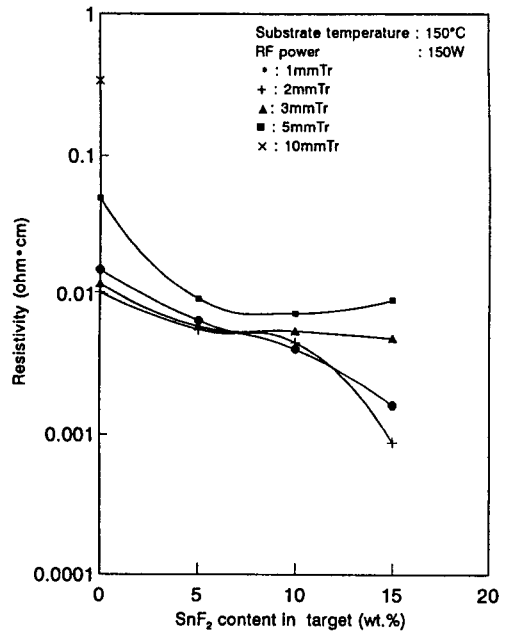


그림 6. 여러가지 동작압력에서의 타겟내의 SnF₂ 첨가량 변화에 대한 TO:F 막의 저항률변화

Fig. 6. Dependence of resistivity of TO:F films on SnF₂ content in target for various working pressure.

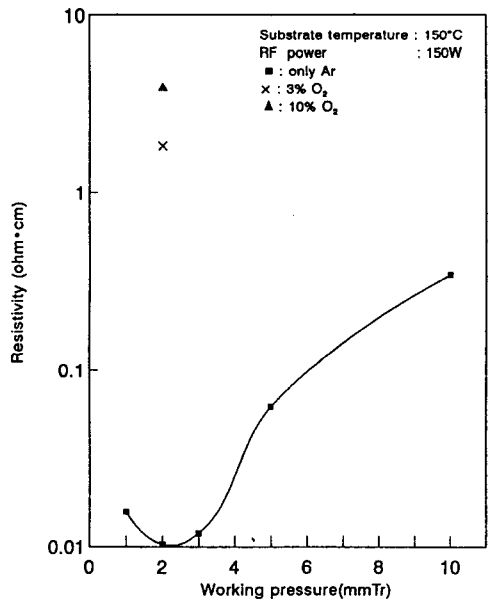


그림 7. 동작압력변화 및 O₂/Ar+O₂비 변화에 대한 TO막의 저항률 변화

Fig. 7. Dependence of resistivity of TO:F films on working pressure and O₂/Ar+O₂ ratio.

량이 증가함에 따라 저항률이 감소하며 동작압력이 증가함에 따라 저항률이 증가하였다.

그림 7은 분위기압변화에 대한 저항률의 변화 및 O₂ 첨가량 변화에 대한 저항률의 변화를 나타낸 것이다. 이때 기판온도는 150℃, RF power는 150W로 고정하였다. 20mmTr이상의 분위기압에서는 4점측정법으로는 면저항을 측정할 수 없었다. 2mmTr에서 가장 낮은 저항값을 나타내었다. 이 조건에서 산소를 3% 및 10% 도입하여 reactive sputtering한 결과 저항률이 2층 이상 증가함을 알 수 있었다. 이러한 현저한 저항률의 증가는 산소분위기에서의 TO막을 증착할 때 전기전도도에 기여하는 결정내의 산소 vacancy 수의 감소에 기인하는 것으로 판단된다. 20%이상의 산소를 도입하여 증착한 막의 경우에는 4점측정법의 면저항 측정범위를 벗어났다.

4. 광투과도

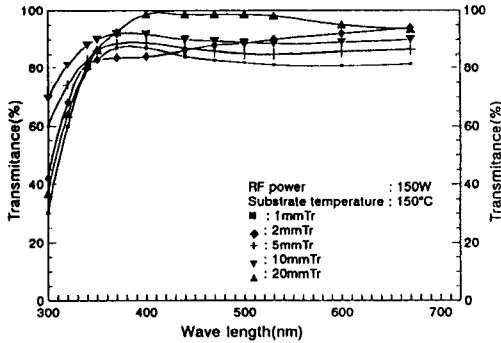


그림 8. 동작압력 변화에 대한 TO막의 광투과도 변화

Fig. 8. Dependence of transmittance of TO films on working pressure.

그림 8과 그림 9는 각각 고주파 출력을 150W, 기판온도를 150℃에 고정시키고 TO막을 증착시킨 경우 반응실내 동작압력의 변화에 따른 광투과도 및 광학적 밴드갭의 변화를 나타낸 것이다. 광학적 밴드갭은 광투과도 특성으로 부터 다음식들을 이용하여 구해진다.^[13]

$$I_t = I_0 e^{-\alpha t} \tag{3}$$

$$\alpha(h\nu) \propto (h\nu - E_g)^{1/2} \tag{4}$$

이식에서 I_t는 투과광의 강도, I₀는 입사광의 강도, α는 흡수계수, t는 막의 두께이다. 식(4)에서 α²과 hν의 관계로 부터 외삽법에 의해 E_g를 결정할 수 있다.

그림 8은 막 증착시의 동작압력변화에 대한 광투과도의 변화를 나타낸 것이다. 동작압력이 증가함에 따라 광투과도는 증가하였다. 이결과는 그림 7의 저항률의 결과와 잘 일치한다. 저항률의 증가는 donor로 작용하는 산소 vacancy의 감소를 의미하며, 이는 광흡수 에너지상태의 감소를 의미한다. 그림 8과 식 (3)과 (4)를 이용해서 광학적 밴드갭을 구하고 그림 9에 나타내었다. 2mmTr동작압력에서 얻어진 TO막의 광학적 밴드갭은 3.84eV였다.

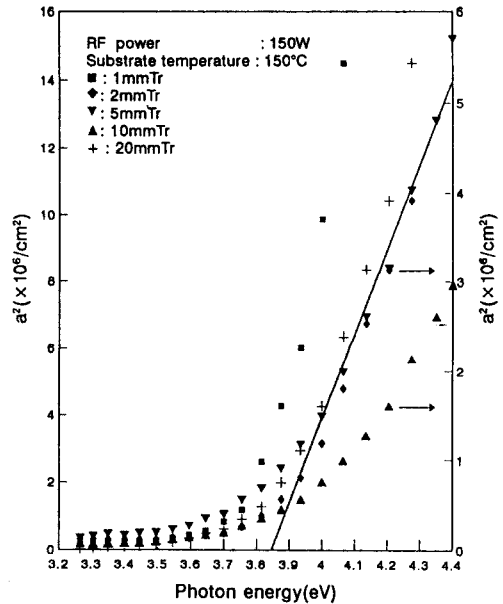


그림 9. 동작압력 변화에 대한 TO막의 광학적 밴드갭 변화

Fig. 9. Dependence of optical bandgap of TO films on working pressure.

그림 10과 그림 11은 각각 고주파출력을 150W, 기판온도를 150℃, 반응실내 동작압력을 2 mmTr로 한 경우 타겟내의 SnF₂ 첨가량 변화에 따른 광투과도 및 광학적 밴드갭의 변화를 나타낸 것이다. SnF₂의 첨가량이 증가함에 따라 광투과도는 감소 하였다. 이는 불순물의 의도적인 도핑에 의해서 광흡수 에너지상태의 증가에 기인한다. 또 SnF₂의 첨가량이 증가함에 따라 광흡수단이 단파장쪽으로 이동하였다. 이는 캐리어 밀도의 증가에 따른 Burstein-Moss shift에 기인하는 것

으로 판단된다. 그림 9와 그림 11은 (4)식의 선형관계를 잘 만족하므로 증착된 TO막은 직접전이형(direct transition) 투명도전막이다.^[13]

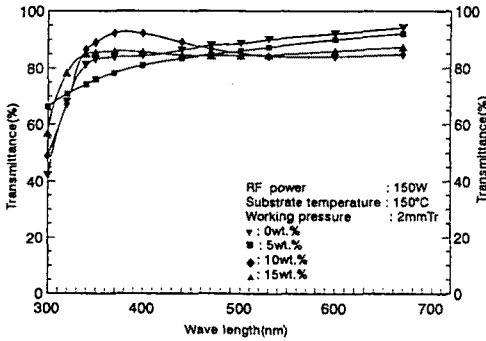


그림 10. 타겟내의 SnF₂ 첨가량변화에 대한 TO:F 막의 광투과도 변화

Fig. 10. Dependence of transmittance of TO:F films on SnF₂ content in target.

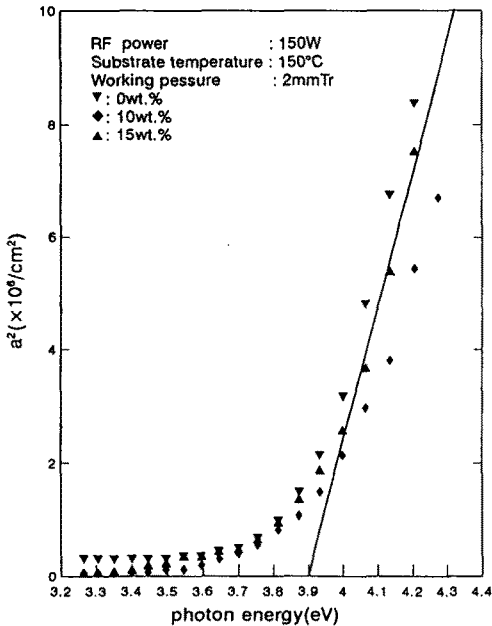


그림 11. 타겟내의 SnF₂ 첨가량변화에 대한 TO:F 막의 광학적 밴드갭 변화

Fig. 11. Dependence of optical bandgap of TO:F films on SnF₂ content in target.

IV. 결 론

저항률이 낮고 광투과도가 뛰어난 투명도전막을

증착하기 위하여 SnF₂가 첨가된 4inch 타겟을 제작하고 이를 이용하고 TO:F막을 제작하여 막의 구조적, 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. 순수한 타겟을 이용하여 증착된 TO막은 2mmTr의 가스분위기압, 150℃의 기판온도, 150W의 고주파 출력의 증착조건에서 막의 두께가 1000Å인 경우 $9 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 저항률과 550nm의 파장에서 약 90%이상의 광투과도를 나타내었다. 광투과도로 부터 측정된 광학적 밴드갭은 3.84eV 였다. X-선 분석결과 증착된 TO막은 tetragonal rutile구조를 가지며 제1피크(101), 제2피크(110)방향으로 성장하였다. 기판온도가 300℃ 이상인 경우에 피크의 현저한 감소가 관찰되었으며 대기중에서 2시간동안 500℃ 에서 열처리한 TO막은 결정성을 상실하고 비정질로 상전이 되었으며 저항률은 열처리 하지 않은 경우에 비해 2승정도 증가하였다. SnF₂가 첨가된 타겟을 사용하여 증착된 TO:F막은 TO막과 같은 조건에서 최적 증착조건을 나타내었으며 SnF₂의 첨가량이 증가할수록 저항률은 감소하였으며 최적 조건에서 증착된 순수한 TO막에 비해 1승이상 감소하였다. 두께 1000Å의 막을 비교한 결과 광투과도의 변화는 크지 않은 것으로 나타났으며 가시광 전영역에 걸쳐 약 85% ~ 90% 정도의 광투과도를 나타내었다. 광투과도 곡선으로 부터 구해진 광학적 밴드갭은 SnF₂의 첨가량이 증가함에 따라 광학적 밴드갭이 확장되었다. SnF₂가 15wt.% 첨가된 타겟을 사용하여 증착된 TO:F막의 저항률은 $9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, 광학적 밴드갭은 3.9eV, 광투과도는 85%이상 이었다.

참 고 문 헌

[1] J. L. Vossen, in "Physics of Thin Films" (Georg Hass, ed.), Vol.9, pp.1-71, Academic Press, New York, 1981.
 [2] N. Fukuda, Y. Fukushima, T. Imura and A. Hiraki, J. Non-Cryst. Solids, Vol.59-60, p.525, 1983.
 [3] Scot P. Albright, B. Ackerman and John F. Jordan, "Efficient CdTe/CdS Solar Cells and Modules by Spray Processing", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 37, No. 2, pp. 434-437, 1990.

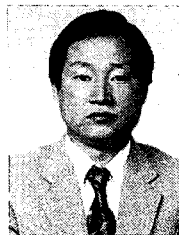
- [4] T. L. Chu, S. S. Chu, J. Britt, C. Ferekides, C.Wang, C. Q. Wu and H. S. Ullal, "14.6% Efficient Thin Film Cadmium Telluride Heterojunction Solar Cells", IEEE Electron Device Letters, Vol.13, No.5, pp.303-304, 1992.
- [5] Z. M. Jarzebski and J. P. Marton, "Physical Properties of SnO₂ Materials, I. Preparation and Defect Structure", J. Electrochemical Soc. Vol.123, No.7, pp.199c-205c, 1976.
- [6] Z. M. Jarzebski and J. P. Marton, "Physical Properties of SnO₂ Materials, II. Electrical Properties", J. Electrochemical Soc. Vol.123, No.7, pp.299c-310c, 1976.
- [7] Z. M. Jarzebski and J. P. Marton, "Physical Properties of SnO₂ Materials, III. Optical
- [8] W. Wang and K. Lioa, "Influence of Heat Treatment in Different Atmosphere on The Photoluminescence of SnO₂ Films", Thin Solid Films, Vol. 195, pp.193-198, 1991.
- [9] V. Vasu and A. Subrahmanyam, "Physical properties", J. Electrochemical Soc. Vol.123, No.7, pp.199c-205c, 1976. Properties of Sprayed SnO₂ Films", Thin Solid Films, Vol. 202, pp. 283-288, 1991.
- [10] D. Das and R. Banerjee, "Properties of Electron-Beam Evaporated Tin Oxide Films", Thin Solid Films, Vol. 147, pp. 321-331, 1987.
- [11] E. Shanthi, A. Banerjee, V. Dutta and K. L. Chopra, "Electrical and Optical Properties of Tin Oxide Films Doped with F and (Sb+F)", J. Appl. Phys., Vol. 53, No. 3, pp. 1615-1621, 1982.
- [12] M. Fantini and I. Torriani, "The Compositional and Structural Properties of Sprayed SnO₂:F Thin Films", Thin Solid Films, Vol. 138, pp.255-265, 1986.
- [13] R. H. Bubé, Electrons in Solid, Academic Press, 1981.
- [14] 丸山 敏朗, 熱分解法による 透明導電性 薄膜の 塗布形成, IPC press, 1990.
- [15] Chopra and Kaur, Thin Film Device Applications, pp.18-25, Plenum Press, New York, 1983.

著 者 紹 介



朴基徹

1959년 3월 25일생. 1982년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1984년 동대학원 졸업(공학석사). 1988년 동대학원 졸업(공학박사). 1989년-현재 경상대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심분야: 광 및 이미지센서와 투명도전막 및 II-VI계 화합물반도체 태양전지 및 박막 제조공정



金正圭

1960년 3월 4일생. 1983년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1985년 한국과학기술원 대학원 졸업(공학석사). 1989년 동대학원 졸업(공학박사). 1989년-1991년 금성일렉트론에서 16MDRAM개발 담당. 1991년-현재 경상대학교 전자재료공학과 조교수. 주관심분야 SOI, ULSI Si소자 및 공정, II-VI족 화합물반도체소자.