

RF 마그네트론 스퍼터링법에 의한 투명 전도성 SnO₂박막의 제조

신성호 · 박광자 · 김현후*

무기 화학과, 국립공업기술원, *전자과, 두원공대
(1996년 1월 25일 접수)

Preparation of Transparent and Conducting SnO₂ Thin Films by RF Magnetron Sputtering Method

Sung Ho Shin, Kwang Ja Park and Hyun Hoo Kim*

Inorganic Chemistry Department, National Industrial Technology Institute
**Department of Electronic Eng., Doowon Institute of Technology*
(Received January 25, 1996)

요 약 - rf 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 투명 전도성 Sb-doped SnO₂ 박막을 증착하였으나 박막표면에서 막손상현상이 발생하였다. 특히 기판 중심부 및 타게트의 부식부위에 대응하는 부분에서 발생한 막손상을 방지하고자, 환원형의 마스크 유리가 타게트표면에서 1.5 cm 지점에 설치되었다. 또한 마그네트론 스퍼터링의 작동조건인 rf 전력, 스퍼터링 가스압력 및 기판온도를 최적으로 조절하면서 박막의 균일성과 전기적 특성을 평가하였다. 작동조건을 이용한 실험결과에서 균일하고 막손상이 없는 박막을 증착하는 최적온도는 압력 변화에 따라 변하며, 비율은 50 W의 rf 전력에서 5 mTorr당 약 100°C 정도였다. 유사하게 rf 전력의 증가에 대한 보상에서 최적온도는 적절한 비율로 내려간다.

Abstract - Transparent and conducting Sb-doped SnO₂ thin films were prepared by rf magnetron sputtering technology. But it showed a serious damage phenomenon on the surface of as-deposited films. In order to avoid a damage caused in the substrate center and location facing to target erosion, a ring plate of masking glass was installed at 1.5 cm above target surface. The uniformity and electrical characteristic of SnO₂ thin films were evaluated by the control of optimal conditions in the magnetron sputtering operation such as rf power, sputtering gas pressure, and substrate temperature. In the experimental results using the operating conditions, the optimum temperature, which produced uniform and damageless films, shifted with the change of gas pressure. The rate was about 100°C/5 mTorr at rf power of 50 W. Similarly, the optimum temperature in compensation for an increase of rf power shifted down to a proper rate.

1. 서 론

투명 전도성 ITO와 SnO_x (X=2) 박막은 액정표시소자, 태양전지, 박막 EL소자 등에 광범위하게 이용되고 있으며, 향후 급격한 수요의 증가가 예상된다. 현재 이들 박막은 다양한 방법으로 제작되고 있으나, rf 마그네트론 스퍼터링법은 제작과정의 조정이 용이하고, 박막 성형속도가 빠르고, 넓은 성형면적 등의 장점을 가진 제작 방식이다. 그러나, 최근 산화물 타게트를 이용한 반응성

(Reactive) 및 마그네트론 스퍼터링법에 의한 박막 제작에 있어 확실히 규명되지 않은 막손상현상이 일어난다는 보고가 많이 나오고 있다[1, 2]. 막손상을 초래하는 원인은 주로 높은 에너지를 가진 고속입자이며 타게트에서 튀어 나온 스퍼터 (sputter) 입자 혹은 반발되어 나온 스퍼터 가스원자보다도 훨씬 높은 에너지를 갖는 음이온과 중성 원자를 time of flight[1, 3] 등에 의해 측정하는데, 통상의 스퍼터 입자나 반발된 스퍼터 가스[4] (Argon)가 갖는 에너지는 10~15 eV인데 비해 ZnO의 경

우 산소 음이온 및 산소 원자의 에너지는 훨씬 큰 340 eV로 측정된 보고가 있었다[1, 5].

또한 dc 마그네트론 스파터링법으로 많이 제조되는 ITO에 있어서 타겟 (target)에는 350~450 V 정도의 음전위가 인가되고 이때 플라즈마중의 음이온이 타겟 전위와 거의 같은 에너지를 갖고 기판에 충돌하기 때문에 막손상을 일으키는 주된 원인이라는 것이 밝혀졌다. 따라서 막손상을 최소화하기 위해서는 저전압으로 박막을 제조하여야 한다.

rf 마그네트론 스파터링법에 의한 SnO₂ 투명 전도막 제조에 대해 실험을 한 결과, 특히 타겟의 부식부위 (erosion)에 대응하는 박막부분에서 제조조건에 따라 막손상현상이 심각하게 일어나는 것을 발견했다. 현재까지 rf 마그네트론 스파터링법에 의한 SnO₂ 제조가 매우 미비하였으나, 본 연구는 미량의 Sb를 도핑하여 전도도를 향상시키면서 박막제조 조건이 박막의 위치에 따라

전기적 및 구조적 특성에 미치는 영향과 에너지가 큰 고속입자의 직접적인 기판 충돌 방지를 위해 박막의 전기적 특성 변화 등을 검토하고자 한다.

2. 실험방법

SnO₂ 박막제조에 사용한 rf 마그네트론 스파터링 장치는 Fig. 1에 표시한 것과 같이 sputter-up 방식으로 기판을 설치하고 기판 윗 부분에 할로겐 램프를 설치하여 기판을 가열할 수 있게 하였다. 타겟의 하부는 수냉장치를 설치하였고, 필요에 따라 자석의 설치와 분리가 가능하게 외부에는 10 mm φ × 20 mmH 크기의 Cobalt (Co) 자석 22개를 설치하였으며 중심에는 20 mm φ × 20 mmH 크기의 Co 자석을 설치하였다. 타겟은 순도 99.99%, 크기 100 mm φ × 5 mmT의 후루우치화학사 SnO₂ (5% Sb₂O₃ 함유) 타겟을 사용하여 Ar 가스 (99.9999%) 분위기하에서 soda 유리 (Soda lime glass; 26 mmW × 76 mmL) 기판위에 박막을 제조하였다. 산소 가스 (99.9999%)는 먼저 1 × 10⁻⁶ Torr까지 배기한 후 산소 가스를 주입하여 진공도를 10⁻⁶~10⁻⁴ Torr로 조정한 후 Ar 가스를 주입하고, 박막제작 진공도를 조절하였다 (Ar:O₂ = 10:1-50:1). 박막 제조시 방전의 안정화와 박막 물성에 악 영향을 주는 타겟 표면층의 흡착수 및 오염도를 제거하기 위하여 10분 이상 pre-sputtering을 행한 후 스파터링 가스 압력, 기판 온도, rf 전력등을 변화시키면서 Sb를 도핑한 SnO₂ 박막들을 제조하였다. 박막의 증착율은 스파터링 조건과 기판의 위치에 따라 30~90 Å/min이었고, 기판온도는 유리와 기판 지지대 사이에 열전대 (thermocouple)를 설치하여 측정하였다. 상세한 스파터링 조건은 Table 1에서 보여준다.

중심자석과 외부자석 사이에는 국부적인 강한 자장에

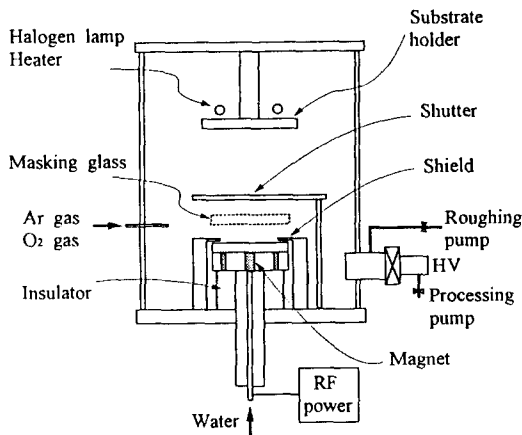


Fig. 1. Schematic diagram of RF magnetron sputtering apparatus.

Table 1. Sputtering condition

Target	SnO ₂ +5w% Sb ₂ O ₃ , (100 mm × 5 mmT)
Substrate	soda lime glass (26 mmW × 76 mmL)
Target-substrate distance	40 mm
Substrate Temperature	100~400°C
Sputtering gas	Ar, Ar+x% O ₂ (Ar:O ₂ =10:1-50:1)
Sputtering gas pressure	5 × 10 ⁻³ ~2.5 × 10 ⁻² Torr
Pre-sputtering time	upper 10 min
Sputtering time	30 min
RF power	50 and 60 W

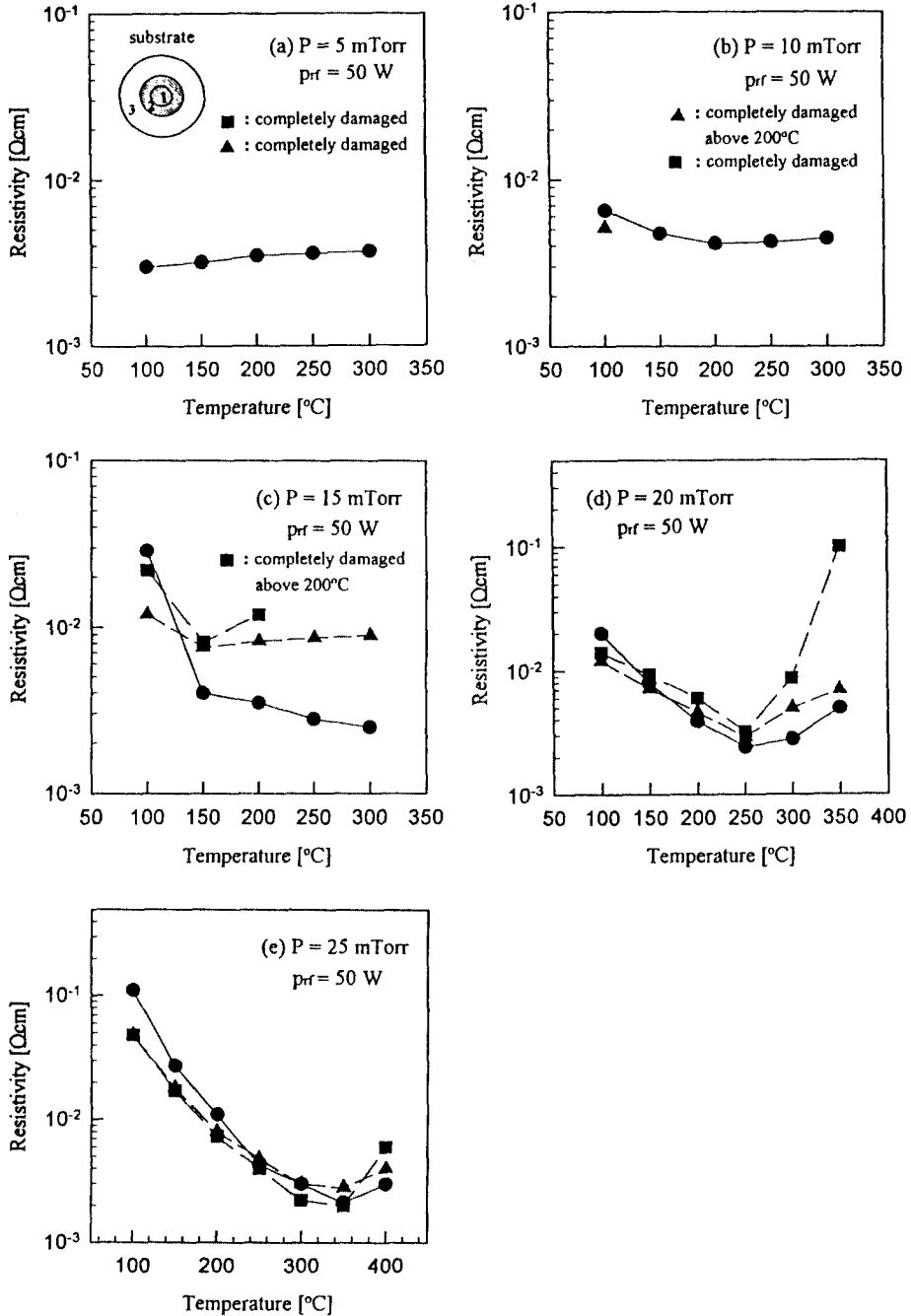


Fig. 2. Resistivity of Sb doped SnO₂ films as a function of substrate temperature at various positions. (\bullet : outer side, \blacksquare : erosion, \blacktriangle : center).

의해 속박된 전자의 영향으로 플라즈마 밀도가 높아져서 집중적으로 스퍼터링되기 때문에 타겟트의 부식부위

현상이 일어나는데, 이 부분에서 방출되는 높은 에너지의 고속 입자가 기판에 직접 충돌하는 것을 방지하도록

타겟에서 1.5 cm 떨어진 위치에 원환형의 마스크 유리를 놓아 박막을 제조하였다.

제작한 박막의 두께는 막의 일부분을 ZnO powder와 20% HCl 용액으로 에칭한 후 촉침식 박막두께 측정장치인 Stylus (ET-10, Kosaka Laboratory Co.)로 측정하였다. 전기저항을 측정은 dc 전원 (PAB18-3A, Kikusui Co.), 디지털 멀티미터 (CDA-701, Sanwa Co.와 R 6341A, Advantest Co.), 4단자 전극 (Kullicke & Soffa Co.) 등의 장치를 이용하여 4단자법으로 측정하였다. 제작한 박막의 결정상태는 박막용 X선 회절 장치 (Rotaflex, Rigaku Co.)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 스파터 가스 압력 및 기판온도의 영향

rf 전력은 50 W로 고정하고 스파터 가스는 각각 5 mTorr, 10 mTorr, 15 mTorr, 20 mTorr 및 25 mTorr로 증가시키며, 다양한 기판온도 변화에서 박막의 위치에 따른 비저항율의 변화를 Fig. 2에서 각각 나타내었다. 이때 박막의 위치는 타겟에 위치한 자석의 분포를 고려하여 3부분으로 분류하였고 (1) 기판의 중심부, (2) 타겟의 부식부위와 대응하는 부분 (기판 중심에서 2.5 cm), 그리고 (3) 기판의 외측부분 (기판 중심에서 4 cm)이며, Fig. 2의 상단에 간단히 도식화하였다. 또한, Fig. 3은 각 기판온도에 따른 XRD 스펙트럼을 보여준다.

우선 스파터 가스 압력이 가장 낮은 5 mTorr의 경우에는 타겟의 외부자석 바깥 부위에 해당하는 외측 부분만이 손상을 입지 않고, 타겟의 부식부위 및 중심에 상응하는 기판 위치에서 생성된 박막은 육안으로 확인하기에도 완전히 손상을 입었으며, 4단자법에 의한 전기특성 결과에서도 전혀 측정할 수 없는 상태였다. Fig. 3(a)의 XRD 패턴에 있어서도 SnO_2 특성 피크가 거의 보이지 않았는데, 이것은 박막의 결정화가 높은 에너지를 가진 고속입자의 충격으로 인하여 완전히 저해되었다고 추정된다. 박막 외측부는 (101)면으로 잘 배양된 결정 상태이며 비저항율도 기판온도의 영향을 거의 받지 않고, $3 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 양호한 전기적 성질을 나타냈다. 스파터 가스 압력이 10 mTorr인 경우도 박막의 외부를 제외한 부식부위의 대응부분 및 중심부에서 막손상이 일어났으나, 중심부에서는 단지 기판 온도가 낮을 경우에만 손상을 입지 않았고 기판온도가 높아짐에 따라 막손상의 정도가 심해졌다. XRD 스펙트럼 (Fig. 3(b))의

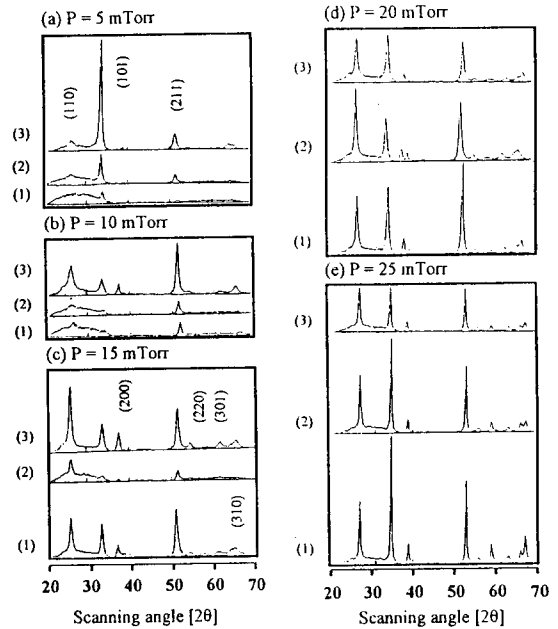


Fig. 3. X-ray diffraction spectrums of Sb doped SnO_2 films at various positions: (1) center, (2) erosion, and (3) outer side (substrate temp: 300°C, RF power: 50 W)

10 mTorr 가스 압력의 결과에서 외측부분의 주요 피크가 (101)에서 (211)로 바뀌면서 피크의 강도도 감소하였다.

스파터 가스 압력이 15 mTorr로 되면 기판온도가 100°C일 경우 외관상 막손상은 보이지 않으나 기판온도가 상승하면서 기판의 위치에 따라 막손상의 정도와 전기적 결과에서 많은 변화가 관측되었다. (Fig. 3(c)) 비저항율에 있어서 외측부분은 5 mTorr의 경우와는 달리 기판온도의 영향이 크며, 온도가 상승할수록 현저하게 낮아졌는데 300°C에 있어서는 $2.5 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 까지 낮아졌다. 또 박막의 부식 대응부위에 있어서는 기판온도가 상승하면서 막손상이 일어나 150°C를 최저점으로 하여 300°C에서는 측정불능 상태가 되었고 XRD 스펙트럼 (Fig. 3(c))에서도 일치하는 패턴이었다. 그러나 중심부에서는 대체로 일정한 비저항율이 관측되었다.

스파터 가스 압력이 20 mTorr로 되면 Fig. 2(d)에서와 보듯이 비저항율은 박막의 전부분에서 250°C의 기판온도까지는 온도에 비례적으로 낮아지나, 기판온도가 그 이상되면 부식 대응부위는 온도에 비례하여 큰 폭으로 증가하고, 중심부분은 부식 대응부위보다는 다소 완만

하게 증가한다. 외측부분도 증가하지만 증가폭은 부식 대응부위 및 중심부분에 비하여 현저히 낮았다. 기관온도가 250°C일 경우, 비저항율이 박막전체에 걸쳐 $2\sim 3\times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 비교적 양호한 막을 제작할 수 있었다. 그러나 기관온도가 약간 변하더라도 박막의 전기적 성질이 민감하게 변화하였으며, 온도가 상승하면서 위치에 따른 특성의 편차가 더욱 커지는 것을 알 수 있었다. Fig. 3(d)의 XRD 패턴을 보면, 300°C의 기관온도에서 부식 대응부분은 막손상에 기인한 특성 피크의 소실은 관측되지 않았으며, 외부보다는 중심부 쪽의 피크 강도가 큰 경향을 나타내었다.

스파터 가스 압력이 25 mTorr일 때 외관상 막손상은 관측되지 않고, Fig. 2(e)에서와 같이 비저항율은 350°C의 기관온도까지 박막의 전부분에서 온도에 비례하여 낮아지나, 기관온도가 그 이상이 되면 전체적으로 높아지는데, 부식 대응부위에서는 현저하게 높아졌다. 박막 전부분에서 균일하고 우수한 전기적 특성을 가진 기관온도는 350°C이며, 20 mTorr의 경우보다 상승하는 것으로 나타났다. 비저항율은 $2\sim 3\times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 양호한 값을 나타내었다. 기관온도 300°C의 XRD 스펙트럼 (Fig. 3(e))은 박막의 외부보다 부식 대응부위 및 중심부 쪽에서 피크의 강도가 커졌다.

이상의 결과를 종합하면, 막손상의 정도와 전기적 특성 변화폭은 외부보다는 중심부 및 특히 부식 대응부분이 크며, XRD 스펙트럼의 피크 강도의 변화도 동일한 부분에서 현저하게 나타났다. 이는 기관의 부식 대응부위에서 에너지가 높은 고속입자 (산소 음이온 또는 산소 원자)의 직접적인 충격을 받기 때문이며, 스파터 가스 압력이 증가하면 고속입자는 스파터 가스와의 충돌에 의한 에너지 손실 때문에 막손상을 일으키지 않고, 박막의 결정성이 향상하는 것으로 추정된다.

XRD 스펙트럼의 결과에서 스파터 가스 압력이 낮은 경우 (101) 배향형태가 먼저 나타나고 스파터 가스 압력이 증가함에 따라 다소 특성 피크의 강도에서 차이가 관측되지만, 전반적으로 SnO₂ powder의 XRD 패턴과 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 스파터 가스 압력이 증가할수록 균일한 박막과 전기적으로 양호한 특성을 얻기 위하여는 비례적으로 기관온도도 상승해야 하는 것을 알 수 있었다. 이것은 스파터 가스 압력의 증가에 따라 고에너지 입자가 스파터 가스와의 충돌에 의한 에너지 분산효과로 충돌 에너지가 감소되기 때문에 온도 상승이 이를 보완하는 것으로 추정된다. 그러나 임

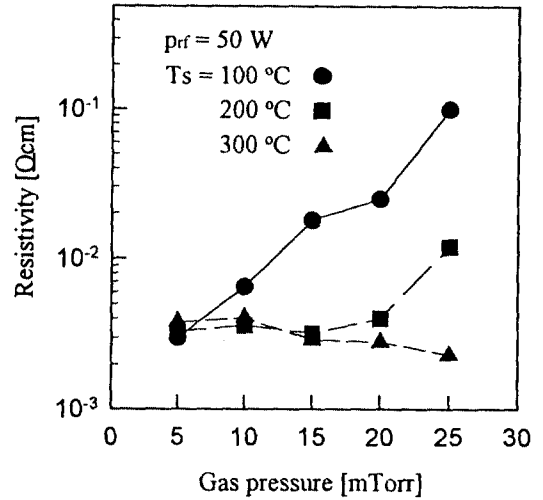
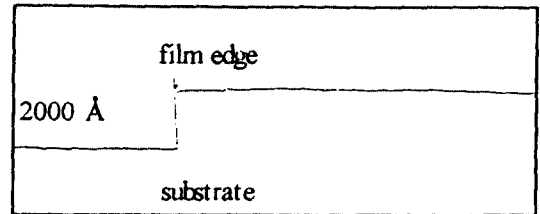
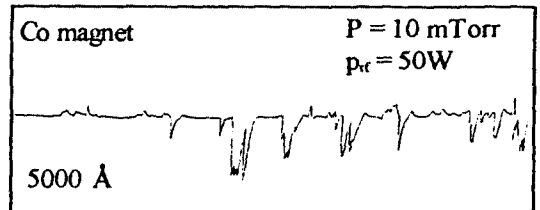


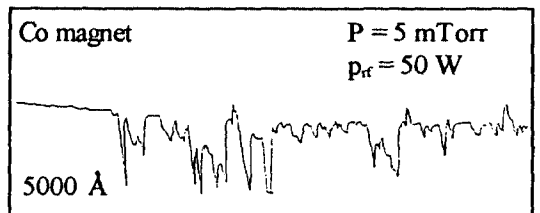
Fig. 4. Resistivity of Sb doped SnO₂ films as a function of substrate temperature at the outer side location.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Surface profiles in substrate center of SnO₂ films with sputtering conditions. (a) uniform, (b) partial damage, and (c) entirely damage.

의의 스파터 가스 압력과 적절한 기판온도값을 벗어나면 막의 특성이 급격하게 변화하며, 특히 부식 대응부분에서 현저하게 나타난다.

Fig. 4는 가스압력의 변화에 따른 실험결과 (Fig. 3)를 토대로 rf 전력은 50 W로 유지하고 양호한 특성을 보여준 기판 외측부분의 온도 변화에 따른 스파터 가스 압력과 비저항율의 관계를 나타내었다. 스파터 가스 압력이 5 mTorr일 경우에는 기판온도에 관계없이 $3 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 정도의 양호한 값을 나타내었다. 즉 스파터 가스 압력이 낮을 경우에는 타겟에서 방출되는 고에너지 입자가 박막의 특성을 지배하고, 스파터 가스 압력이 높을 경우에는 고에너지 입자의 평균자유행로가 낮아지며 스파터 가스와의 충돌로 에너지를 많이 소실하므로 박막 특성은 기판온도에 크게 의존하게 된다.

Fig. 5는 제작조건의 변화에 따른 기판의 중심에서의 막표면 상태를 도시한 것이다. Fig. 5(a)는 20 mTorr의 가스 압력에서 막손상이 없는 균일한 상태를 나타내고 있으나 (b)에서는 가스 압력이 감소함에 따라 부분적으로 막손상이 발생하고 있으며 (c)에서는 표면에서 완전히 막손상이 일어나 비저항율도 측정할 수 없는 상태를 도시하고 있다.

3.2 rf 전력의 영향

rf 전력이 50 W이고, 스파터 가스 압력이 20 mTorr와 25 mTorr인 경우, Fig. 2(d)와 (e)에서 보았듯이 부식 대응부분과 중심부위에서는 기판온도가 증가하면 비저항율이 급격히 상승하지만 낮은 스파터 가스 압력의 경우와 같이 완전한 막손상은 일어나지 않았다. 스파터 가스 압력이 20 mTorr와 25 mTorr이고 rf 전력을 60 W로 하여 기판온도와 비저항율과의 관계를 Fig. 6 및 Fig. 7에 표시하였다.

Fig. 6의 결과를 보면 200°C의 기판온도에서는 외측부분의 비저항율이 $3.8 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 를 나타내나, 중심부와 부식 대응부분은 각각 $1.2 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 및 $2.6 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 관측되었다. 기판온도가 300°C로 올라가면 외측부분의 비저항율은 조금 더 낮아져 $3 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 값을 나타내고, 중심부는 200°C와 거의 같은 값을 나타내나 부식 대응부분은 완전한 손상으로 인하여 전기적 측정을 할 수 없는 상태가 되었다. 즉 박막 부위별로 비저항율값의 편차가 크고 특히 부식 대응부분에서의 급격한 비저항율의 상승이 관측되었다. 가스압력 25 mTorr의 Fig. 7는 20 mTorr의 경우와 유사하지만 rf 전력이

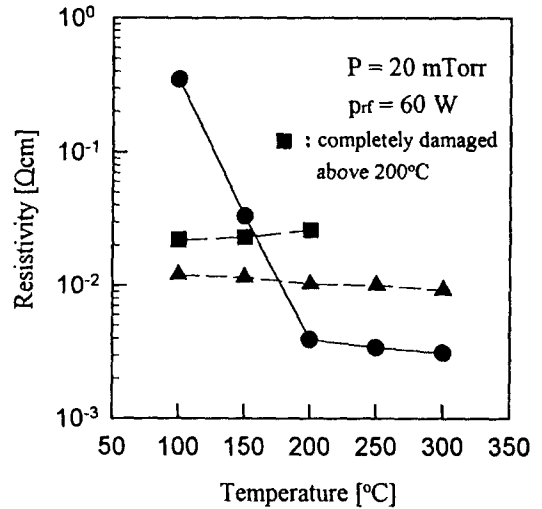


Fig. 6. Resistivity of Sb doped SnO₂ films as a function of substrate temperature at various positions. (●: outer side, ■: erosion, ▲: center).

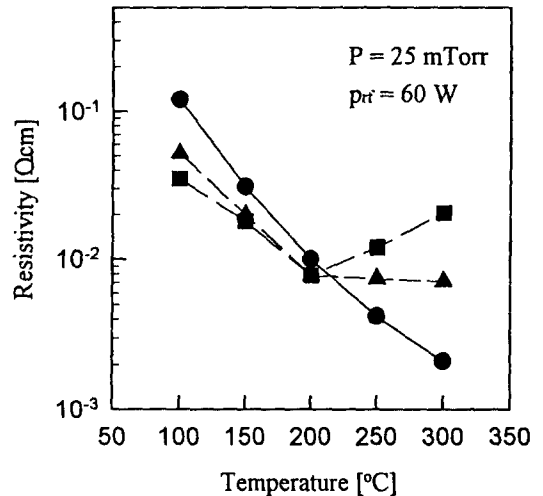


Fig. 7. Resistivity of Sb doped SnO₂ films as a function of substrate temperature at various positions. (●: outer side, ■: erosion, ▲: center).

증가할때 막손상이 일어나지 않는 박막을 얻기 위하여는 스파터 가스 압력을 높이거나, 기판온도를 낮추어야 하는데 이 경우 막손상은 일어나지 않으나 전기적 특성 및 박막의 결정성 등이 낮아지므로 바람직스럽지 못하다. 또한 rf 전력이 낮아지면 스파터 압력이 낮은 영역에서의 막손상현상은 약화되나 박막 성장 속도가

너무 낮아지기 때문에 전기적 특성이 균일한 박막을 찾기는 어렵다. 따라서 에너지가 큰 고속입자의 직접적인 충격을 분산시키는 방안이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

기관을 타겟에 대하여 측면으로 설치하거나[7, 8], 타겟 밑에 설치된 자석의 분포를 변경시켜 막 전체에 걸쳐 스퍼터링이 일어나게 하는 방안, 그리고 플라즈마 공간중에 고속입자의 경로를 일부 차단하여 분산시키는 방법 등 여러가지를 생각할 수 있으나, 우선 플라즈마 공간중에 마스크 유리 설치하여 고속 입자 경로를 일부 차단하고 분산 시켜서 박막의 특성변화를 검토하였다.

3.3 마스크 유리 형태의 영향

타겟의 부식부위 부분에서 튀어나오는 운동에너지가 큰 고속입자로 인한 기관과의 직접 충돌을 방지하면서 박막의 표면 상태와 전기적 성질의 변화를 검토하기 위하여 마스크를 하지 않는 경우와 원환 형태의 마스크 유리 (내경: 3 cm, 외경: 5 cm 폭: 1 cm 및 내경: 2.5 cm, 외경: 5.5 cm 폭: 1.5 cm)를 타겟로부터 1.5 cm 떨어진 공간에 설치하였다. 마스크 유리의 원환부분은 타겟의 부식부위부분의 바로 위에 배치하여 고속입자가 기관과의 직접적인 충돌을 피하도록 하였다.

마스크 유리없이 제작한 경우 전반적으로 고속입자의 직접적인 충돌에 의해 박막이 손상을 입게 되지만 내경이 3 cm, 외경이 5 cm 그리고 폭이 1 cm인 원환 형태의 마스크 유리를 설치하면 스퍼터 가스 압력이 낮은 5 mTorr에서는 마스크 유리없이 제작한 박막보다 막손상의 정도는 덜하나 중심부 및 부식 대응부분 전반에 걸쳐서 막손상을 보였다. 스퍼터 가스 압력이 10 mTorr의 경우는 마스크 유리없이 제작한 경우보다 막손상현상이 훨씬 덜 발생하였다.

내경이 2.5 cm, 외경이 5.5 cm, 폭이 1.5 cm인 원환으로 타겟의 부식부위 부분(대략 폭이 1.2~1.3 cm)를 완전히 가릴 수 있는 마스크 유리를 설치하였을 때는 스퍼터 가스 압력의 변화에 따른 막손상은 보이지 않고 있다. 타겟의 부식부위부분에서 튀어나온 에너지가 큰 고속입자에 의한 기관에서의 직접충돌이 막손상의 원인이라는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 8은 마스크 유리의 유무 및 형태와 비저항율의 상관 관계를 나타내었다. 마스크 유리를 설치하지 않은 경우는 기관온도 100 및 300°C에서 박막의 외부를 제외하고는 박막표면이 손

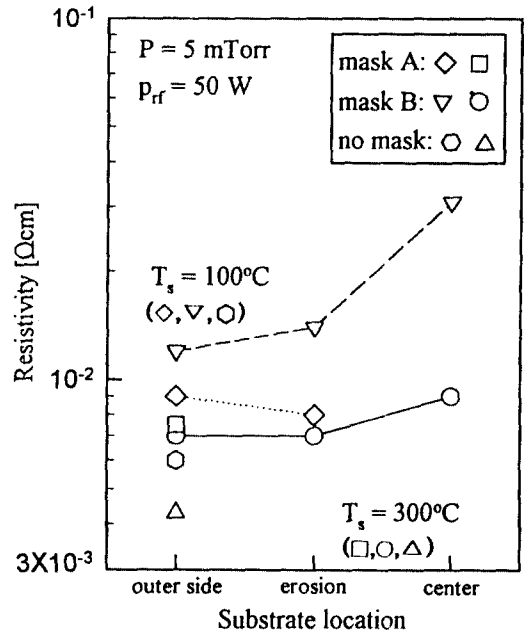


Fig. 8. Resistivity of Sb doped SnO₂ films at various positions with/without masking glass. Mask A: inside diameter 3 cm and outside diameter 5 cm Mask B: inside diameter 2.5 cm and outside diameter 5.5 cm.

상되었고, 비저항율을 측정할 수조차 없었다. 폭이 1 cm인 마스크 유리를 설치하여 제작한 박막은 기관온도가 300°C인 경우 외부를 제외한 부분의 비저항율을 측정할 수 없는 상태였고, 기관온도가 100°C인 경우는 중심 부분만 비저항율을 측정할 수 없었다. 폭이 1.5 cm인 마스크 유리를 설치하여 막을 제작한 경우에 있어서는 기관온도 300°C에서 중심에 약간의 손상이 관측되었지만 전체적으로 박막표면의 상태는 양호하여 비저항율 측정이 가능하였으며, 중심부의 비저항율이 약간 높았으나 전체적으로 비교적 균일한 비저항값을 나타내었다. 기관온도가 상승함에 따라 비저항값은 $7 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 까지 낮아졌다.

4. 결 론

rf 마그네트론 스퍼터링법에 의한 투명 전도성 Sb doped SnO₂ 박막의 제작과정에서 위치에 따른 막손상 및 비저항율의 차이를 최소화시키기 위해 원환형의 마스크 유리를 설치하였고, rf 전력, 가스압력과 기관온도 등의 스퍼터링 조건을 변화시키면서 실험한 결과 다음과 같

은 결론을 얻었다.

1. rf 전력이 50 W일때 균일하고 막손상이 없는 박막을 제조하기 위한 기판 온도와 압력의 관계는 15 mTorr의 압력에서는 기판온도 150°C, 20 mTorr에서는 250°C, 그리고 25 mTorr에서는 350°C로 압력이 5 mTorr 상승함에 따라 기판온도는 100°C 정도의 비율로 상승하였다.

2. 25 mTorr의 압력에서 rf 전력을 60 W로 상승시키면 최적온도는 200°C였다.

3. 환원형의 마스크 유리를 타겟으로 부터 1.5 cm위치에 설치하였을때, 타겟의 부식부위 부분에서 생성된 높은 에너지의 고속입자에 의한 기판으로의 직접충돌을 차단함으로써 5 mTorr의 비교적 낮은 압력에서도 전기적 특성이 균일한 박막을 얻을 수 있었다.

Reference

1. K. Tominaga, T. Yuasa, M. Kume and O. Tada, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **24**, 944(1985).
2. M. Minakata, N. Chubachu and Kikuch, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **11**, 1852(1972).
3. D.E. Voss and S.A. choen, Princeton Univ. *Plasma Phys. Lab. Rep.*, PPPL-1668(1980).
4. S.M. Rosnagel, *J. Vac. Sci. Technol. A*-**7**(3), 1025(1989).
5. K. Tominaga and Y.Shintani, *應用物理*, **62**(12), 1230(1993).
6. 石橋 曉 and 中村久三, *Ulvac Technical Journal*, **33**, 9(1989).
7. N. Nanto, T. Minami, S. Shooji and S. Takata, *J. Appl. Phys.* **55**(4), 1029(1984).
8. T. Nakazawa and K. Ito, *眞空* **26**, 889(1983).