

Sputtering 방법에 의해 제조된 Sb가 도핑된 주석산화물 박막의 특성에 관한 연구

김충완 · 김광호 · 이환수* · 이혜용*

부산대학교 무기재료공학과

*삼성코닝연구소

(1996년 2월 21일 접수)

Study on Properties of Antimony-doped Tin Oxide Thin Films Prepared by Sputtering

C. W. Kim, K. H. Kim, H. S. Lee* and H. Y. Lee*

Dept. of Inorg. Mater. Eng., Pusan Nat. Univ.

*Samsung Corning Co. Ltd.

(Received February 21, 1996)

요 약

DC magnetron sputtering 방법을 사용하여 일반 소다라임 유리 위에 Sb 도핑된 주석산화물(ATO)박막을 증착시켰고, DC power, 박막두께, 그리고 후열처리가 박막의 전기전도도에 미치는 영향을 연구하였다. 또한 ATO 박막의 광학적, 내화학, 마모 특성들도 함께 보고하였다. 제조된 ATO 박막들은 평균 80% 이상의 광학적 투과도를 보이면서, $3 \times 10^{-1} \Omega\text{cm}$ 에서 $5 \times 10^{-1} \Omega\text{cm}$ 범위의 전기비저항을 가졌으며, 1M HCl과 1M NaOH 표준용액에서 10일동안 유지하여도 박막의 전기전도도 변화가 거의 없는 우수한 내화학특성을 나타내었다. ATO 박막의 제반 성질들은 박막의 결정성과 깊은 관계를 가졌으며, 결정성이 큰 ATO 박막에서 우수한 특성들을 나타내었다.

ABSTRACT

Antimony-doped Tin oxide (ATO) thin films were deposited on soda-lime glass substrates by DC magnetron sputtering technique. Effects of DC power, film thickness, and post heat-treatment on electrical conductivity of ATO film were investigated. Other properties of ATO film such as optical, anti-chemical, and wear properties were also reported in this work. The obtained ATO films showed electrical resistivities ranging from $5 \times 10^{-1} \Omega\text{cm}$ to $3 \times 10^{-1} \Omega\text{cm}$ with the average optical transparency above 80% in visible wavelength range, and excellent anti-chemical properties, where the electrical resistivity was not changed even after soaking the films in 1M HCl or 1M NaOH solution for 10 days. These properties were found to be related to the crystallinity of ATO film, and the films having higher crystallinity showed better properties.

Key words: ATO film, DC magnetron sputtering, Film properties

1. 서 론

투명전도막은 항공기 창유리의 성애 방지용, 태양전지, LCD(Liquid Crystal Display), 각종 전자제품의 투명 전극물질에 응용되고 있으며 그 산업적 응용이 증가되고 있다¹⁾. 투명전도막이 성공적으로 산업 제품에 응용되기 위해서는 우선 전기전도도가 커야 하며 광학적 투과성이 우수해야 한다. 광학적 투과도는 박막의 두께를 감소시킴으로써 증가시킬 수 있어서 크게 문제되지 않으므로

가장 핵심적인 특성은 박막의 전기전도도가 된다. 뿐만 아니라 투명전도막의 실제 응용을 위해서는 막의 내화학성이나 내마모특성들도 우수해야 한다.

투명전도체의 대표적 소재로서 SnO₂, ZnO, ITO의 산화물 박막이 잘 알려져 있다. 광학적 투과도를 고려한 전기전도도면에서 ITO 막이 가장 우수하다고 알려지고 있으나 이 막은 산이나 염기에 의해 쉽게 부식이 되고 기계적 강도도 약하다. 또한 ITO 막의 주성분을 이루는 Indium의 가격이 높기 때문에 생산원가를 높이게 된다.

ITO에 비하여 제조원가가 저렴하고 증착조건을 조절할 때 ITO 막에 근접하는 우수한 광학적, 전기적 특성을 나타내는 ZnO 막의 경우도 산, 알칼리에 취약하고 기계적 성질이 우수하지 못하다⁴⁻⁶⁾. 반면에 SnO₂는 가시광선 영역에서의 평균 광학적 투과율이 85% 이상이 되며 상온에서의 전기비저항이 10⁻²~10⁻¹ Ωcm의 영역에 있고, 내산, 내염기성, 기계적 성질이 우수할 뿐만 아니라 제조원가도 저렴하여 대량생산을 위해 적합하다. 그러나 SnO₂ 막을 투명전도체로 사용하기 위해서는 전기전도도를 향상⁷⁻⁹⁾시킬 필요가 있다

SnO₂의 전기비저항을 낮추기 위해 여러 원소들 즉, Sb, Cl, F, P 등의 원소들 doping¹⁰⁻¹²⁾ 한 필요성이 있는데 가장 적절한 doping 원소로서 +5가 원소인 Sb를 들 수 있다. Sb를 doping 한 SnO₂ 막을 ATO(Antimony Tin Oxide) 박막이라고 한다. ATO 박막은 SnO₂ 박막에 비해 광학적 투과도를 크게 변화시키지 않으면서도 대략 10배 이상 전기전도도를 증가시키며 전기전도의 안정성을 확보할 수 있다.

ATO 박막의 제조 및 전기, 광학적 특성을 연구하기 위하여 여러 증착방법들이 사용되어왔다¹³⁻¹⁵⁾ 그러나 DC magnetron sputtering법에 의한 제조 및 특성 연구는 거의 없는 실정이고, 특히 ATO 박막의 내화학적 및 내마모특성에 관한 보고는 전혀 없다. 본 연구에서는 DC magnetron sputtering법으로 ATO 박막을 제조하고, 제조조건 및 후열처리에 따른 전기전도도 특성을 연구하였으며 기타 제반물성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1. ATO 박막의 제조

본 연구에서 ATO 박막을 제조하기 위하여 DC magnetron sputtering 장치를 사용하였다. ATO 성막을 위해 사용한 target은 SnO₂ : Sb₂O₃ 비가 90 : 10(wt%)인 순도 99.9% 이상, 밀도 90% 이상의 산화물 target이었다. 기판으로는 30×30×1.1 mm의 소다라임 유리를 사용하였다. 증착조건은 다음과 같다. 초기진공을 3×10⁻⁶ Torr 이하로 설정하였고, 성막압력 2×10⁻¹ Torr 상태에서 기판 heater 온도를 400℃로 고정하였다. Ar/O₂ 유량을 100/15 sccm으로 고정하였으며 DC power를 0.15~0.55 KW까지 변화시키고 증착시간을 조절해서 두께가 다른 ATO 박막을 제조하였다. 제조된 ATO 박막의 열처리 조건은 대기중에서 승온속도 10℃/min으로하여 450℃에서 10분간 유지하였으며 냉각은 로냉을 행하였다.

2.2. ATO 박막의 물성측정

증착된 박막의 두께는 Plas Mos사의 SD2000 Ellipsometer로 측정하였는데 Ellipsometer의 레이저광원으로서 6328 Å의 파장을 사용하였다. 또한 Surface Profile Meter(DecTak, 3030)를 사용하여 두께를 상호 비교 검토하였다. 증착된 ATO 박막의 전기비저항을 알아보기 위하여 4-point probe(Nepson, RF-8)방법을 사용하였다. 또한 더욱 구체적인 전기적 성질을 조사하기 위하여 Bio-Rad사의 Hall 측정기를 사용하여 Van der Pauw방법으로 전기비저항, 전자농도, 전자기동도를 조사하였다. 측정은 Indium을 전극물질로 사용하여 Au wire에 연결하고 ohmic contact 됨을 확인한 후 Hall 측정을 행하였다. 박막의 결정학적 특성은 X-ray 회절기(Rikaku사 Cu Kα radiation)를 이용하여 관찰하였으며, 조성분석을 위해 AES를 사용하였다. UV-spectrometer를 사용하여 300~700 nm 가시광선 파장영역에서 광투과도를 측정하였다. Reference로서 증착되지 않은 유리 기판을 사용하였고 코팅면쪽으로의 광입사방법(Forward)을 사용하였다.

2.3. 내화학적 및 내마모성 조사

내산성 및 내염기성 측정을 위하여 표준용액 HCl(1M), NaOH(1M)을 만들고 각 증착조건외의 박막 sample을 5 min, 2 hr, 1 day, 4 day, 10 day의 시간 동안 상온에서 각 표준용액에 유지하였다 일정 시간이 지난 후 표준용액으로부터 꺼내어진 sample은 증류수에서 10회 정도 세척하여 상온에서 건조시킨 후 ATO 박막의 전기비저항을 측정하였다. 자체 제작한 내마모성 test 기기에 직경 7 mm의 고무를 상대 재질로 하여 1 Kg의 하중으로 1000 회 왕복 rubbing 실험을 하였다. 내마모성 특성평가는 마모된 두께 또는 두께로 측정할 수 있으나 본 연구에서는 ATO 박막의 저항변화로써 나타내었다 저항변화를 4 point probe 방법으로 마모된 부위와 기존의 박막 부위를 각각 5회 측정하여 평균저항값으로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. ATO 박막의 전기적 성질에 미치는 dc power, 두께, 그리고 열처리의 효과

Fig. 1에 dc power(0.15, 0.24, 0.35, 0.45, 0.55 KW)의 변화에 따라 제조된 ATO 박막들의 전기비저항을 4 point probe 방법으로 측정하여 나타내었다. 박막의 두께 자체가 전기비저항에 영향을 미칠 수 있으므로 각 증착 조건에서 두께를 일정히 하였으며, 박막의 두께효과를

관찰하기 위하여 600 Å, 1100 Å, 2100 Å의 3단계로 두께 변화를 주었다. 또한 열처리 효과의 효과를 비교하기 위해 열처리 전, 후의 전기비저항을 나타내었다. Fig. 1의 결과로부터 as-deposited 상태의 ATO 박막의 전기비저항은 $3 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ 이하의 범위에 있었으며 비교적 양호한 전기적 특성을 나타내었다. ATO 박막의 전기비저항에 미치는 dc Power 효과는 박막의 두께에 따라 다르게 나타나고 있다 박막의 두께가 2100 Å 정도로 상대적으로 두꺼울 경우 박막의 비저항에 미치는 dc power 효과는 아주 작다. 반면에 박막의 두께가 상대적으로 얇은 1100 Å 또는 600 Å의 경우에는 dc power 효과가 크게 나타

나고 있으며, 이 경우 dc power가 증가함에 따라 박막의 비저항은 증가함을 보여주고 있다. 한편, 열처리 전과 열처리 후의 ATO 박막의 전기비저항을 비교해 보면 1100 Å, 2100 Å의 두께에서는 열처리 후 비저항이 감소하나, 600 Å의 두께에서는 오히려 증가하고 있다. Fig. 1의 결과로부터 열처리 전, 후에 dc power에 따른 비저항값은 대부분의 시편에서 0.15~0.24 KW 범위에서 최소를 보이며 시편의 두께가 두꺼울수록 작아지는 경향을 발견할 수 있다. ATO 박막의 비저항은 0.24 KW, 2100 Å의 성장조건 및 열처리후에서 $5.54 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 의 최소 전기비저항을 나타내었다.

Fig. 1의 전기비저항값은 carrier concentration과 mobility 인자가 동시에 관제하므로 Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에 시편의 각 두께별로 dc power 및 열처리에 따른 ATO 박막의 전기적 성질들을 Hall 측정하여 나타내었다. Fig. 2에 2100 Å 두께로 비교적 두껍게 증착된 ATO 박막들에 대해서 dc power 변화와 열처리전, 후에 따른 Hall 측정 결과를 나타내었다. 박막의 두께가 2100 Å 일 경우 dc power 증가에 따라 전자농도 및 전하이동도의 변화는 뚜렷한 경향이 없이 크지 않음을 알 수 있고 결과적인 전기비저항의 변화에도 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 열처리전, 후에 따른 전기적 성질 변화를 보면, 열처리후에 전자농도 및 전하이동도가 전체적으로 모두 증가하여 결과적으로 전기비저항이 감소하였음을 알 수 있다. Fig. 3에 1100 Å 두께의 ATO 박막에서 dc power 변화와 열처리 전, 후에 따른 Hall 측정 결과를 나타내었다. 두께 1100 Å로 증착된 ATO 박막에서는 dc power가 증가함에 따라 전자농도 및 전하이동도가 전체적으로 감소하는 경향을 보이며 따라서 dc power 증가에 따라 전기비저항은 증가하였음을 알 수 있다. 열처리전,

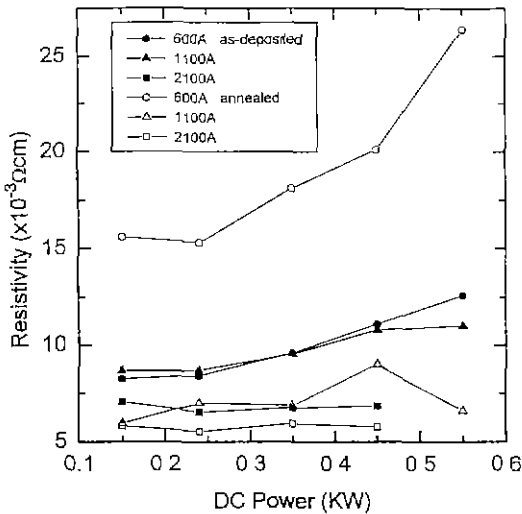


Fig. 1. Resistivity as a function of DC power with various film thickness before (closed mark) and after (open mark) heat-treatment in air.

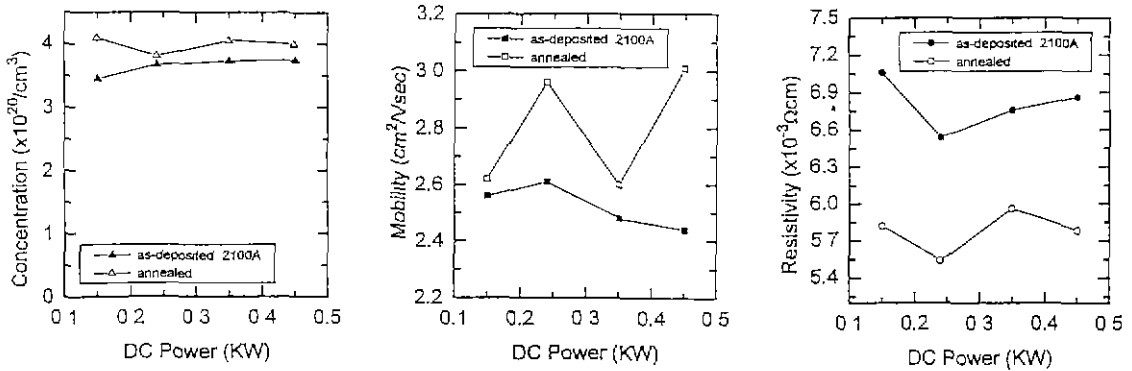


Fig. 2. Carrier concentration, mobility and resistivity of 2100 Å film as a function of DC Power before (closed mark) and after (open mark) heat-treatment in air.

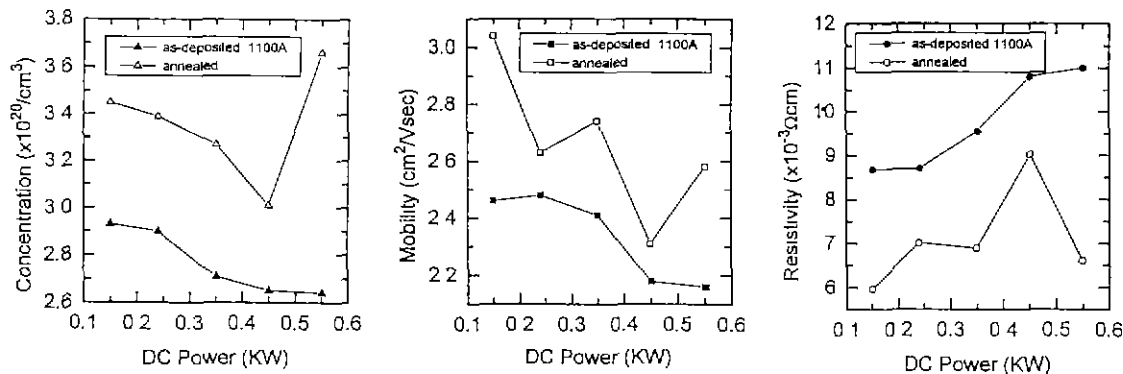


Fig. 3. Carrier concentration, mobility and resistivity of 1100 Å film as a function of DC Power before (closed mark) and after (open mark) heat-treatment in air.

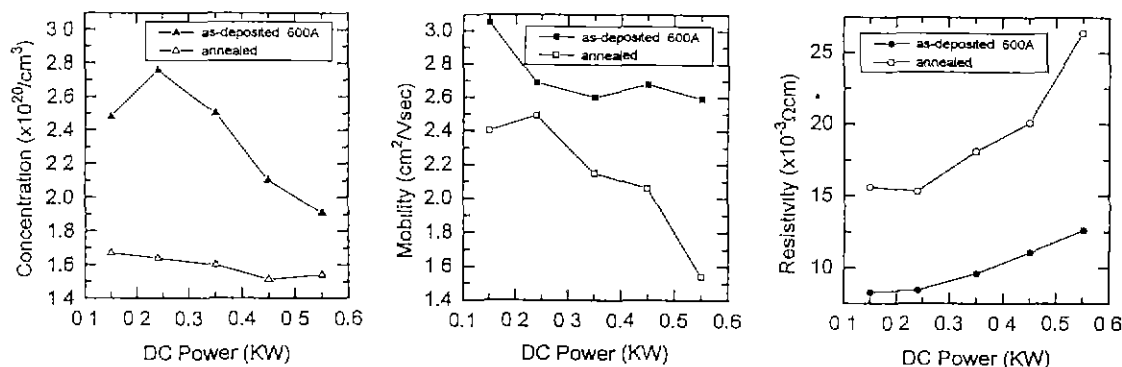


Fig. 4. Carrier concentration, mobility and resistivity of 600 Å film as a function of DC Power before (closed mark) and after (open mark) heat-treatment in air.

후를 비교하면 전자농도 및 전하이동도 모두가 열처리 후에 증가하는 것으로 나타나고 그에 따른 전기비저항은 열처리후에 감소하였다. Fig. 4는 600 Å 두께의 ATO 박막에서 dc power 변화와 열처리전, 후에 따른 Hall 측정 결과를 나타낸다. 두께가 600 Å로 얇게 증착된 ATO 박막에서도 dc power가 증가함에 따라 전자농도 및 전하이동도가 전체적으로 감소하는 경향을 보이며 결국 dc power가 증가함에 따라 비저항은 증가함을 보여준다. 그러나 열처리전, 후의 전기적 성질 변화는 2100 Å, 1100 Å의 박막들과는 다르게 열처리후의 전자농도 및 전하이동도는 열처리전에 비하여 감소하여 결과적으로 전기비저항이 증가하는 현상을 보였다.

본 연구에서 열처리가 박막의 전기적 성질에 미치는 영향은 두께가 얇은 600 Å와 비교적 두꺼운 1100 Å 및 2100 Å에서 상반되게 나타났다. 열처리효과가 박막의 전기적 성질에 미치는 영향은 열처리 전, 후에 박막의 결정성변화와 관계되는 것으로 생각할 수 있으므로 서로

다른 두께로 증착된 박막의 열처리 전, 후의 X-선 회절 분석결과를 비교해 보았다. Fig. 5에 dc power가 0.24 KW에서 제조된 ATO 박막에 대해 막두께 및 열처리전, 후의 변화에 따른 X-선 회절결과들을 나타내었다. 먼저 열처리전의 X-선 회절결과를 비교해 보면, 박막의 두께가 600 Å인 ATO 박막의 경우 SnO₂의 (101), (211) 피크 강도가 약하게 나오는데 비해 박막의 두께가 두꺼워질수록 (110), (101), (211) 피크 강도가 성장하여 강하게 나올 수 있다. 박막의 두께가 작은 범위 내에서 박막의 두께가 증가할수록 회절 피크의 강도가 증가하는 것은, 두께가 증가할수록 X-선 회절의 절대량이 증가하는 것이므로 반드시 결정성의 향상이라고 볼 수 없다. 본 연구에서는 (101) 피크의 반가폭을 비교하였으며, 막두께가 증가함에 따라 (101) 피크의 반가폭이 점차 감소하였음을 알 수 있었다. 일반적으로 박막의 두께가 증가할수록 박막의 결정성은 향상된다고 알려져 있다. 한편, 열처리후의 박막의 X-선 회절결과들을 살펴보면 박

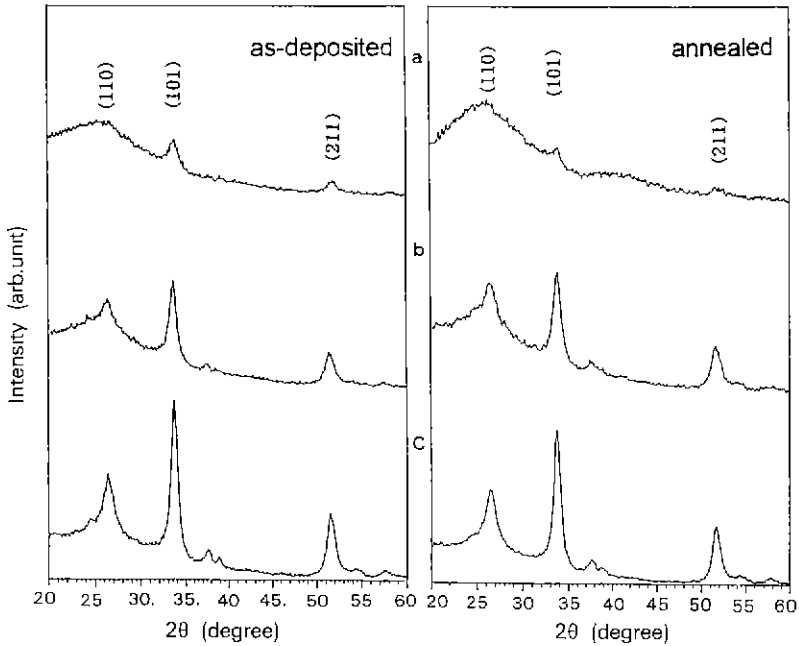


Fig. 5. XRD patterns before and after heat-treatment in air for the films of a) 600 Å, b) 1100 Å, c) 2100 Å. (DC Power: 0.24 KW)

막의 두께가 1100 Å, 2100 Å 일 경우 회절피크의 강도 변화가 거의 없는 반면에 600 Å의 경우에는 열처리후의 피크강도가 상대적으로 크게 감소하여 결정성이 퇴화되었음을 볼 수 있다.

본 연구에서와 같이 유리기판 위에 제조된 ATO 박막을 증착온도 보다 높은 온도에서 열처리할 경우, 박막의 전기전도성에 미치는 다음과 같은 2가지의 효과를 고려해 볼 수 있다. 첫째로, 박막을 열처리하는 과정에서 기판으로부터 Na^+ , Ca^{+1} 이온이 박막쪽으로 확산된다. 이러한 이온들은 박막내부에서 불순물로 작용하여 막의 결정성을 감소시키고 동시에 acceptor 준위를 형성하여 전도전자를 trap 하는 역할을 할 수 있다. 확산되는 Na^+ , Ca^{+1} 불순물이온의 양이 증가할수록 막의 결정성감소나 전도전자의 trap 현상은 증가하여 전도전자회 이동도와 농도를 감소시킨다. 둘째로, 박막을 열처리에 따라 막 내부의 원자들은 열적평형을 이루기 위해 보다 안정한 위치로 재배열하게 되고 막내부에서 존재하던 여러종류의 결함들(예를 들면, vacancy, interstitial, Ar ion 또는 중성원자 불순물등)의 농도도 평형농도를 향하여 변화하게 된다. 또한, 다결정박막의 경우 열처리시에 결정립 성장이 이루어져서 결정입계의 양이 감소할 수 있다. 결과적으로 열처리에 여러종류의 점결함농도의 변화

및 결정립성장이 복합적으로 작용하여 전도전자의 이동도와 농도를 증가시킨다.

600 Å 두께 박막의 경우, Fig.5의 X-선 회절분석결과로부터 알 수 있듯이 박막의 결정성이 우수하지 못하고 거의 비정질 상태이다. 일반적으로 비정질상의 경우 개방구조를 가지며 원자간의 결합력이 약하기 때문에 확산을 위한 활성화에너지가 낮다. 따라서 600 Å 박막은 열처리시에 기판으로부터 Na^+ , Ca^{+1} 등의 불순물이온의 확산속도가 빠르고 상대적으로 두께가 얇아서 이러한 불순물이온이 막의 전기적 성질에 미치는 효과는 클 것으로 생각된다. 즉, 전술한 2가지의 열처리효과중 전자의 효과가 지배적일 것으로 생각되고, 따라서 전도전자의 농도와 이동도는 열처리후에 오히려 감소할 것으로 생각할 수 있다.

반면에 1100 Å, 2100 Å 두께의 박막일 경우 600 Å 박막에 비해 결정성이 상당히 향상된 것을 Fig.5의 결과로부터 알 수 있다. 결정상의 경우 원자간의 큰 결합력에 기인하여 확산을 위한 활성화에너지는 크며, 결정성이 증가할수록 존재하는 입계의 양이 감소하여 입계를 통한 이온확산이 감소할 수 있다. 따라서 기판으로부터의 불순물이온 확산이 600 Å의 경우에 비해 상당히 억제된 것으로 생각된다. 두께가 두꺼운 박막이 열처리후에 전

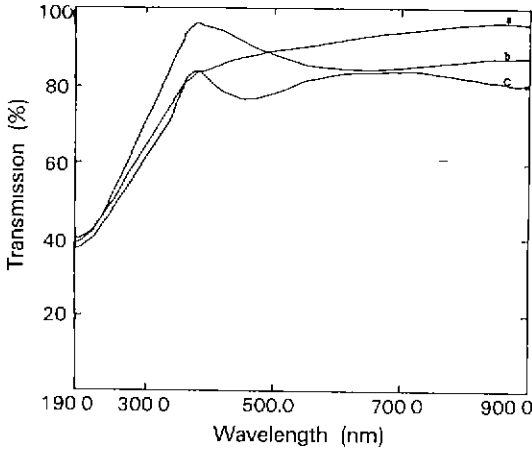


Fig. 6. Optical transmission as a function of wavelength with various film thickness a) 600 Å, b) 1100 Å, c) 2100 Å.

기적 성질이 향상된 이유는 기판으로부터의 불순물확산이 억제되는 반면에 점결함의 감소나 결정립성장과 같은 후자의 열처리효과가 크게 작용하였기 때문으로 사료된다. 이러한 이유로 1100 Å, 2100 Å 박막의 경우 열처리 후에 전도전자의 농도와 이동도가 증가한 것으로 생각할 수 있었다.

3.2. ATO 박막의 기타 성질

비교적 우수한 전기적 성질을 나타내었던 0.24 KW의 dc power 조건에서 두께별로 제조된 ATO 박막에 대하여 광학적 특성, 내화학특성, 내마모특성을 조사하였다.

Fig. 6에 ATO 박막의 가시광선 영역에서의 광투과도를 나타내었다. 열처리전의 as-deposited ATO 박막의 광투과도는 평균 80%의 광투과율을 보이고 있으며 두께가 600 Å, 1100 Å, 2100 Å으로 증가함에 따라 광투과도는 다소 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 7에 dc power 0.24 KW에서 제조된 ATO 박막들에 대하여 10일동안 내화학성실험을 한 결과를 나타내었다. ATO 박막을 상온의 1M HCl 및 1M NaOH 용액에서 10일동안 유지한 결과 박막의 두께와 관계없이 내화학성 실험전, 후의 저항변화가 거의 없었고 모두 저항의 측정오차범위내에 있었으므로 실제로 산, 알칼리에 영향을 받지 않는 우수한 내식성의 박막으로 평가되었다. 이에 반하여 기판으로 사용된 유리는 이미 상당히 부식되어 부식과괴가 눈으로 확인할 정도임을 관찰할 수 있었다. 본 연구의 여러 증착조건에서 제조된 박막중, X-선 회절로서 결정질박막으로 확인된 모든 ATO 박막들은 내

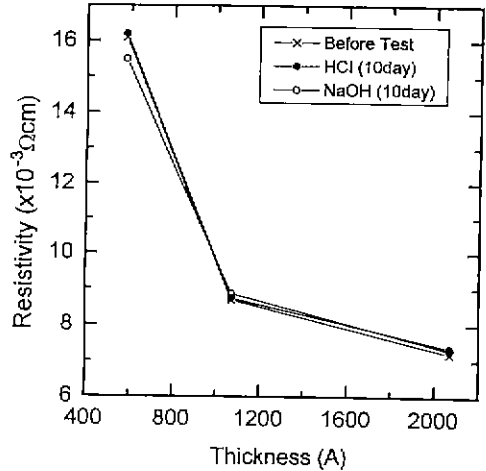


Fig. 7. Resistivity as a function of thickness for ATO film deposited at 0.24 KW before and after solution test.

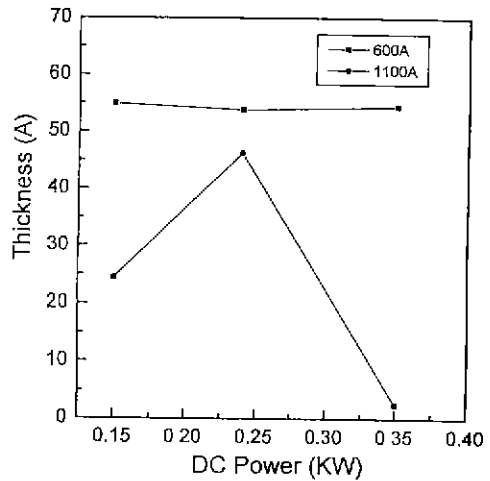


Fig. 8. Thickness reduction as a function of DC Power after rubbing test.

화학성 실험결과 Fig. 7과 같은 우수한 내식성의 박막으로 평가되었다. 그러나 결정성이 확보되지 않은 ATO 박막들은 내식성이 다소 떨어졌는데 이 경우 같은 방법으로 내화학특성을 조사한 결과 산, 알칼리와 관계없이 40% 정도의 저항증가현상이 발견되었다. 산이나 염기가 ATO 박막의 저항증가에 영향을 미치는 이유로서, 이들이 ATO 박막표면에 있는 Sb, Sn, O ion들을 침출하여 막의 두께를 감소시키는 것 이외에 표면에 V_{Sb} , V_{Sn} 과 같은 양이온 베이컨시들을 형성시키고 이러한 점결함이 박막 내에서 acceptor 준위를 만들어 주기 때문이라고 생각

된다. 대부분의 ATO 박막의 내화학성 실험전, 후의 저항변화가 없는 것으로 보아 박막을 이루고 있는 Sn-O, Sb-O 결합력이 큼을 알 수 있었고, 박막의 내화학성은 막의 결정성과 관계가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8에 ATO 박막의 내마모특성을 조사한 결과를 나타내었다. 상대재질을 고무로 하여 1 Kg의 하중 하에서 1000회 rubbing한 후의 전기저항증가를 측정하였고, 모든 시편에서 rubbing 후의 전기저항이 증가함을 볼 수 있었는데 이것은 마모실험후의 박막두께가 감소하였기 때문이다. 실제 Rubbing 된 부위의 박막두께를 Ellipsometer로 측정한 결과 수~수십 Å 정도의 박막두께감소를 확인할 수 있었다. 그러나 Ellipsometer에 의한 두께측정은 측정오차가 컸기 때문에 전기저항변화를 측정하여 두께변화로 환산하여 나타내었다. Fig. 8의 결과는 DC Power 0.24 KW 근처의 성장조건에서 제조된 600 Å 및 1100 Å의 두 ATO 박막들에 대하여 내마모실험후의 두께감소량을 나타낸 것이다. 전체적으로 1100 Å 박막의 내마모특성이 600 Å의 박막보다 우수함을 보여준다. Fig. 5의 X-선회절결과로부터 600 Å 박막보다 1100 Å 박막의 결정성이 우수함을 고려할 때 내마모특성은 박막의 결정성과 관계가 있고 결정성이 클수록 내마모특성이 증가한다고 생각된다.

4. 결 론

DC magnetron sputtering 방법에 의해 제조된 Sb-doped SnO₂(ATO) 박막의 전기적 성질 및 광학적, 내화학, 내마모특성들을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ATO 박막의 전기비저항은 dc power가 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 박막의 두께가 얇을수록 이런 경향은 크게 나타났다. 또한 열처리후에 ATO 박막의 전기전도도는 향상되었으나, 두께가 아주 얇은 600 Å의 박막에서는 오히려 감소하였다. 제조된 ATO 박막들의 전기비저항은 $3 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ 에서 $5 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ 의 범위에 있었으며, 가시광선영역에서 평균 80% 이상의 광학적 투과도를 보였다. ATO 박막의 내화학특성은 1M HCl 및 1M NaOH 표준용액에서 10일동안 유지하여도 박막의 전기전도도 변화가 거의 없는 것으로 나타나 우수한 내식성을 나타내었으며 내마모특성 또한 우수하였다.

2. 전술된 ATO 박막의 제반 성질들은 제조조건 및 후처리에 따른 박막의 결정성과 깊은 관계를 가졌으며, 결정성이 큰 ATO 박막에서 우수한 특성들을 나타내었다.

REFERENCES

1. K.L. Chopra, S. Major, and D.K. Pandya, "Transparent Conductors-A Status Review," *Thin Solid Films*, **102**, 1-46 (1983).
2. E. Kamijo, "Application of Optical Thin Films," *New Glass*, **10**, 2, 10 (1995).
3. Z.M. Jarzebski, "Physical properties of SnO₂ Materials I. Preparation and Defect Structure," *J. Electrochem. Soc.*, **123**, 199c (1976).
4. K. Adachi, "The Textured SnO₂ Film for an a-Si Solar Cell," *New Glass*, **10**, 2, 34 (1995).
5. B. Beensh-Marchwicka, L. Krol-Stepniewsk and A. Misiuk, "Influence of Annealing on the Phase composition, Transmission and Resistivity of SnO, thin films," *Thin Solid Films*, **113**, 215 (1984).
6. H.D.E. Waal and F. Simons, "Tin Oxide Coatings: Physical Properties and Applications," *Thin Solid Films*, **77**, 253 (1981).
7. V. Vasu and A. Subrahmanyam, "Electrical and Optical Properties of Pyrolytically Sprayed SnO₂ Films," *Thin Solid Films*, **189**, 217-25 (1990).
8. A. Czaplá, E. Kustor, and M. Bucko, "Optical Properties of Nonstoichiometric Tin Oxide Films Obtained by Reactive Sputtering," *Thin Solid Films*, **182**, 15-22 (1989).
9. K.B. Sundaram and G.K. Bhagavat, "High-Temperature Annealing Effects on Tin Oxide Films," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **16**, 69-76 (1983).
10. D. Belanger, J.P. Dodelet, B.A. Lombos, and J.I. Dickson, "Thickness Dependence of Transport Properties of Doped Polycrystalline Tin Oxide Films," *J. Electrochem Soc.*, **132**(6), 1398-405 (1985).
11. C.F. Wan, R.D. McGrath, W.F. Keennan, Y.S. Tung, and S.N. Frank, "Doping Tin-Oxide Films by Ion Implantation," *J. Electrochem. Soc.*, **135**(4), 985-88 (1988).
12. B. Gottlieb, R. Koropecski, R. Arce, R. Crisalle, and J. Ferron, "Characterization of Fluorine-Doped Tin Oxide Produced by the Pyrosol Method," *Thin Solid Films*, **199**, 13-21 (1991).
13. T. Arai, "The Study of the Optical Properties of Conducting Tin Oxide Films and Their Interpretation in Terms of a Tentative Band Scheme," *J. Phys Soc Jpn.*, **15**(5), 916-27 (1960).
14. D. Elliott, D.L. Zellmer, and H.A. Latinen, "Electrochemical Properties of Polycrystalline Tin Oxide," *J. Electrochem. Soc.*, **117**, 1343-48 (1970).
15. A. Rohatgi, T.R. Viverito, and L.H. Slack, "Electrical and Optical Properties of Tin Oxide Films," *J. Am. Ceram. Soc.*, **57**(6), 278-79 (1974).
16. A.F. Carroll and L.H. Slack, "Effects of Additions to

- SnO₂ Thin Films," *J. Electrochem Soc.*, **123**(12), 1889-93 (1976).
17. A.G. Sabnis and L.D. Feisel, "Tin Dioxide Films Prepared by dc Sputtering from a Pressed Powder Target," *J. Vac. Sci. Technol.*, **14**, 685-89 (1977).
18. N.S. Murty and S.R. Jawalekar, "Characterization of Antimony-Doped Tin Oxide Films for Solar Cell Applications," *Thin Solid Films*, **108**, 277-83 (1983).
19. E. Shanthi, V Dutta, A. Banerjee, and K.L. Chopra, "Electrical and Optical Properties of Undoped and Antimony-doped Tin Oxide Films," *J Appl. Phys*, **51** (12), 6243-51 (1984).
20. Y. Takahashi and Y. Wada, "Dip-Coating of Sb-Doped SnO₂ Films by Ethanolamine-Alkoxide Method," *J. Electrochem. Soc.*, **137**(1), 267-72 (1990).
21. K.H. Kim and S.W Lee, "Effect of Antimony Addition on Electrical and Optical Properties of Tin Oxide Film," *J. Am. Ceram. Soc.*, **77**(4), 915-21 (1994).