

마그네트론 스퍼터링법을 이용한 Indium-Tin Oxide 박막의 제작과 그 특성에 관한 연구

조길호* · 김여중** · 김성종** · 문경만*** · 이명훈***

A Study on the Fabrication and Characteristics of ITO Thin Film Deposited by Magnetron Sputtering Method

K-H Cho* · Y-J Kim** · S-J Kim** · K-M Moon*** · M-H Lee***

Key words : Indium-Tin Oxide Films(ITO 박막), Magnetron Sputtering Method(마그네트론 스퍼터링법), 4-Point Probe(4점 전극 측정기), Hall effect measurement system(홀 효과 측정기), Transmittance(투과도)

Abstract

Indium-Tin Oxide (ITO) films were prepared on the commercial glass substrate by the Magnetron Sputtering method. The target was a 90wt.% In_2O_3 -10wt.% SnO_2 with 99.99% purity. The ITO films deposited by changing the partial pressure of oxygen gas ($\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$) of 2, 3 and 5% as well as by changing the substrate temperature of 300°C or 500°C. The influence of substrate pre-annealing and pre-cleaning on the quality of ITO film were examined, in which the substrate temperature was 500°C and oxygen partial pressure was 3%. The characteristics of films were examined by the 4-point probe, Hall effect measurement system, SEM, AFM, Spectrophotometer, and X-ray diffraction.

The optimum ITO films have been obtained when the substrate temperature is 500°C and oxygen partial pressure is 3%. At optimum condition, the film showed transmittance of 81%, sheet resistivity of $226\Omega/\text{cm}^2$, resistivity(ρ) of $5.4 \times 10^{-3}\Omega\text{cm}$, carrier concentration of $1.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, and carrier mobility of $150\text{cm}^2/\text{Vsec}$. From XRD spectrum, $c(222)$ plane was dominant in the case of substrate temperature at 300°C, without regarding to oxygen partial pressure. However, in the case of substrate temperature at 500°C, $c(400)$ plane was grown together with $c(222)$ plane, only for oxygen partial pressure of 2 and 3%. In both case of chemical and ultrasonic cleaning without

* 육군사관학교(원고접수일 : 2000년 8월)

** 한국해양대학교 대학원

*** 한국해양대학교

pre-annealing the substrate, it showed much almost same sheet resistivity, resistivity(ρ), transmittance, carrier concentration, and carrier mobility.

In case of 500°C/60min pre-annealing before ITO film deposited, both transmittance and carrier mobility are better than no pre-annealing, because pre-annealing is supposed to remove alkali ions diffusion from substrate.

ITO film deposited on the Corning 0080 substrate showed a little bit better sheet resistivity, resistivity(ρ), transmittance, carrier concentration than the film deposited on commercial glass. But no differences between Corning substrate and pre-annealed commercial glass substrate are found.

1. 서 론

전도성 투과 산화 박막(transparent conducting oxide film)은 1907년 Badeker가 CdO 박막을 제작한 이래 이에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔다. 이 박막은 그 응용 범위가 넓기 때문에 태양전지의 selective filter나 광학 소자, 전열 거울 및 액정 표시소자(liquid crystal display)와 FPD(flat panel display)의 ELD(electroluminescent display) 전도성 전극으로 사용될 뿐만 아니라, 반도체 장비와 전기 전자 장비 등의 정전기 방지용 코팅 등에 투명전도막으로 다양하게 응용되고 있다¹⁻⁴⁾. 일반적으로 투명 전도막으로서 요구되는 필수적인 조건에는 가시광선 영역에서의 높은 광 투과도(80% 이상)와 높은 전기 전도도(비저항 $10^{-3}\Omega\text{cm}$ 정도)를 동시에 갖추어야 한다. 이와같이 두 가지 상반된 기능을 어느 정도 동시에 보유하도록 하기 위해서는 적절한 dopant를 사용한 산화물 박막이 각광을 받고 있으며, 그러한 물질들로서 ITO(Indium Tin Oxide), Sb/Sn 산화물, F/Sn 산화물, In/Sn 산화물 등이 있다. 이들 중에는 ITO가 가장 광범위하게 이용되고 있다. ITO 박막을 제작하는 방법에는 전자빔 증착, 열 증착, CVD, Spray Pyrolysis 및 Sputtering⁵⁻⁷⁾ 등이 있고, 이 중 CVD 및 Sputtering이 가장 범용되고 있다. 일반적으로 ITO 박막을 제작할때 가장 중요한 변수는 기판의 재료와 온도 및 산소의 함량이다. 특히, 기판재료의 경우 지금까지 연구-사용되고 있는 것의 대부분은 양질의 유리인 Corning 7059나 7740으로 하고 있다. 즉, ITO박막제작용 기판재료는 값 비싼 고내열성

유리를 사용하고 있는 형편이다. 그 이유는 어떠한 제작방법이라 할지라도 박막의 부착율과 질을 높이기 위해 기판의 온도를 500°C 이상 유지해 주어야 하기 때문이다. 그러나 현재 태양전지, 벽걸이 TV 등에 다량으로 사용되고 있는 ITO박막의 모재를 이와 같은 고온 열처리를 해야 하는 관계 때문에 값비싼 고급 유리로 사용한다는 것은 상용화 입장에서 재고를 필요로 하는 중요한 부분이다.

따라서 본 연구에서는 불순물이 많고 질이 좋지 않은 상용 현미경용 유리를 기판재료로 사용하여 ITO박막의 제작을 시도하였다. 이때 기판 표면의 불순물은 NH_4OH , HCl , H_2O_2 , H_2O 등을 적당한 비율로 혼합한 것을 사용하여 제거한 후, 기판 온도 및 산소분압을 변화시키며 제작실험을 하였다. 또한 기판의 전처리과정으로 종래 많이 사용하고 있는 초음파세척과 본 연구에서 행한 방법을 비교 분석하였으며, 이때 기판재료인 코닝(Corning) 유리와 현미경용 유리가 ITO 박막에 미치는 영향을 고찰하였다. 즉, 이상의 연구를 통하여 기판재료의 차이에 따른 ITO박막의 제작과정에 대한 설계에 새롭고 기초적인 응용지침을 제시하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서는 높은 증착율과 양질의 박막 제조에 유리한 rf-마그네트론 스퍼터링법을 사용하였고, 타겟은 미국 CERAC Co.가 제작한 순도 99.99%의 90wt.% In_2O_3 -10wt.% SnO_2 이었으

며, 스퍼터 가스로는 아르곤(99.99%)을 사용하였다. 산소(99.99%)가스의 영향을 알아보기 위해서 $O_2/(Ar+O_2)$ 의 비율로 0.1sccm까지 제어 가능한 MFC(Mass Flow Controller)를 사용하여 주입량을 조절하였으며, rf power 공급기를 사용하였다. 타겟 assembly는 영구자석을 사용한 마그네트론형이다. 기판은 일반 상용 현미경용 유리 및 코닝 0080을 사용하였으며, 기판 홀더(holder)에 고정 후 1mm 두께의 구리판을 배면에 부착하여 기판에 열이 고르게 전도되도록 하였고, 균일한 증착을 위해서 5rpm으로 기판을 회전시켰다. 박막증착시 기판온도는 SiC 재질의 온도 가열기를 사용하여 300°C 및 500°C로 조절하였으며, 박막의 두께는 챔버안의 센서(sensor)를 이용하여 조정하였다. 스퍼터 전에 원하는 진공도를 얻기 위하여 로터리 펌프로 10^{-3} torr까지, turbo molecular pump로 2×10^{-6} torr의 진공도를 얻었다. 진공도는 7×10^{-4} torr 이상에서는 피라니(pirani) 게이지를, 그 이하에서는 이온(ionization) 게이지를 사용하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 마그네트론 스퍼터링 장치의 개략도를 나타내고 있다.

2.2 실험 방법

타겟은 지름 5cm, 두께 0.62cm 크기의 원통형이다. 기판으로는 일반 상용 현미경용 유리 및 코닝 0080을 사용하였으며 박막의 두께는 2000Å 이었다. 기판은 고온에서 표면으로 확산되어 나오는 알카리 이온²⁴⁾ 등의 불순물을 제거하기 위해 전기로

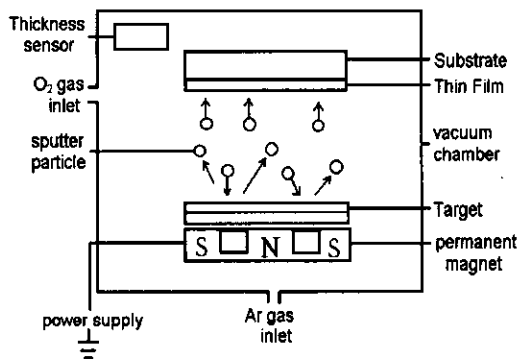


Fig. 1 Schematic diagram of magnetron sputtering system

(furnace)에서 500°C/60분 동안 열처리 후, $NH_4OH : H_2O_2 : H_2O$ 를 1 : 1 : 5로 희석된 용액으로 75°C에서 10분 동안 가열하여 기판표면의 유기물을 제거하였으며, $HCl : H_2O_2 : H_2O$ 를 1 : 1 : 5로 희석된 용액으로 75°C에서 10분 동안 가열하여 기판 표면의 무기물을 제거하였다. 또한 각 단계마다 5분 동안 증류수로 세척 후, 질소 가스로 불어 건조시켰다. 2.0×10^{-4} torr의 초기 진공도를 얻은 후에는 증착과정 초기에 불안정한 플라즈마, 타겟표면의 흡착수 및 오염층 등을 제거하기 위해 약 10분 정도 presputtering을 행한 후, 설정한 아르곤과 산소 가스 주입량을 조절하기 위하여 MFC를 이용하면서 main sputtering을 시작하였다. 균일한 박막을 얻기 위하여 타겟과 기판의 거리는 10cm, rf power는 100W로 고정하였다. 기판온도는 300°C 및 500°C, 증착압력은 5mtorr 이었으며 산소가스는 $O_2/(Ar+O_2)$ 의 비율로 2, 3, 5%까지 변화시키며 실험을 행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 상용 유리기판의 ITO 특성

3.1.1 투과도 및 면저항

Fig. 2는 rf power 100W, 증착압력 5mtorr, 기판온도 300°C 및 500°C, 산소분압 3%에서 측정된 가시광선 영역에서의 투과도를 나타낸 그래프이다. Fig. 2(a)은 ITO 박막 증착 전 상용 현미경용 유리의 투과도로서 평균 90%를 나타냈다. Fig. 2(b)과 (c)에서 보는 것처럼 기판온도가 올라감에

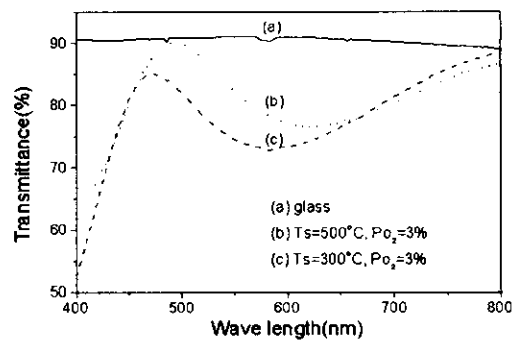


Fig. 2 Transmittance of ITO films

따라 투과도(transmittance)가 증가함을 알 수 있다. 이것은 기판온도가 높을 경우 격자결합이 줄어들고 결정화가 진행되어 결정립의 크기(grain size)가 커져서 빛의 산란(scattering)이 감소되었기 때문이라고 사료된다⁹⁾. Fig. 3은 rf power 100W, 증착압력 5mtorr, 기판온도 300°C 및 500°C, 산소분압 2, 3, 5%에서 증착된 ITO 박막의 면저항(sheet resistivity)을 나타낸 그래프이다.

Fig. 3에서 알 수 있듯이, 기판온도가 300°C 및 500°C이고 산소분압이 2%나 3%일 때는 면저항이 미세하게 증가하지만, 5%의 산소분압에서는 급격히 증가하였다. 또한 기판온도가 500°C이고, 산소분압이 2, 3%일 때는 210 및 226Ω/cm²를 각각 나타내었으나, 300°C의 기판 온도에서 산소분압이 2, 3%일 때는 면저항이 4500 및 8500Ω/cm²로 급격히 증가하였다. ITO 박막의 경우 기판온도가 높게 되면 원자 재배열에 의해 결정성이 향상되고, 이 때 산소 공공이 증가하므로 결정립 크기가 증가하며 전하이동도(carrier mobility)가 증가하게 된다⁹⁾. 따라서 기판온도 500°C의 경우가 300°C

에 비하여 상대적으로 면저항이 낮은 것은 전하이동도의 증가에 기인한 것으로 사료된다.

3.1.2 전하농도 및 이동도

Fig. 4는 rf power 100W, 증착압력 5mtorr, 기판온도 300°C 및 500°C, 산소분압 2, 3, 5%에서 증착된 ITO 박막의 전하농도를 나타낸 그래프이다.

기판온도가 500°C일때, 산소분압이 2, 3%에서는 각각 1.08×10¹⁸과 1.0×10¹⁸ cm⁻³의 농도를 나타내었으며, 산소분압이 5%에서는 4.0×10¹⁸ cm⁻³의 값으로 낮아졌다. 또한, 기판온도가 300°C일 때, 산소분압이 2%에서의 전하농도는 1.9×10¹⁸ cm⁻³이었으며, 산소분압이 3, 5%로 증가함에 따라 전하농도가 10¹⁶ cm⁻³으로 감소하였다. 기판온도의 증가에 대한 전하농도의 증가는 박막을 형성하는 결정립의 결정성이 향상되기 때문에 도너(donor)를 포획하는 격자결합이 감소하고 전기적으로 활성인 도너(donor) site의 밀도가 커지는 것에 기인한 것으로 사료된다¹⁰⁾. 기판온도가 500°C일때, 산소분압이 2%와 3%에서의 전하이동도는

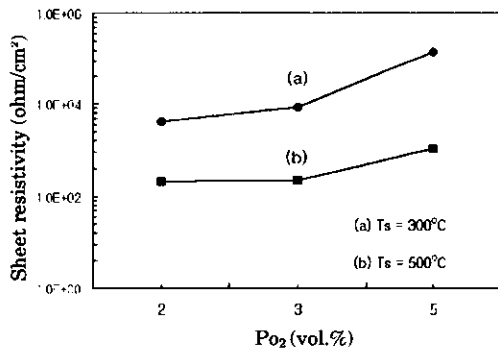


Fig. 3 Sheet resistivity of ITO films

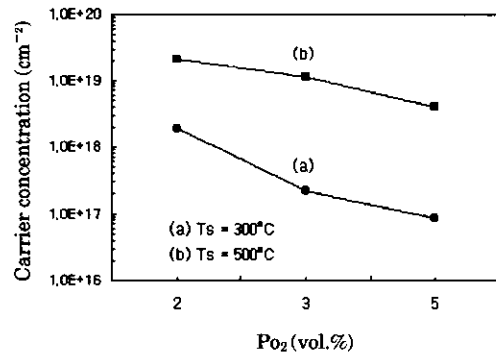


Fig. 4 Carrier concentration of ITO films

Table 1. Properties of ITO films by substrate temperature and oxygen partial pressure

		300°C			500°C		
		2%	3%	5%	2%	3%	5%
Commercial glass	Transmittance(%)	78	78	79	83	81	82
	Sheet resistivity(Ω/cm ²)	4200	8500	145000	210	226	1050
	Resistivity(Ω·cm)	8.4×10 ⁻²	1.7	2.9	5.0×10 ⁻³	5.4×10 ⁻³	1.4×10 ⁻²
	Carrier concentration(cm ⁻³)	1.9×10 ¹⁸	2.2×10 ¹⁷	8.5×10 ¹⁶	1.1×10 ¹⁸	1.0×10 ¹⁹	4.0×10 ¹⁸
	Carrier mobility(cm ² /Vs)	38	20	22	138	150	61
	Crystal orientation	(222)	(222)	(222)	(222), (400)	(222), (400)	(222)
	Roughness(μm)	36	63	46	17	25	20

각각 138 및 150cm²/Vsec를 나타내었고, 산소분압이 5%에서는 61cm²/Vsec으로 감소하였다. 또한, 기판온도가 300°C일때, 산소분압이 2%와 3% 그리고 5%에서는 38, 20 및 22cm²/Vsec를 각각 나타내었다. Takao nagatomo의 연구¹¹⁾에 의하면, 가장 높은 전하이동도를 나타낸 것은 180cm²/Vsec이 c(222)면의 우선 배향성과 결정성의 기인에 따른 것으로 보고하고 있다. 또한 ITO 박막의 결정성은 c(400) 및 c(222) 방향이 주종을 이루며, 실험 조건에 따라서는 이 중의 어느 하나가 주된 결정성을 갖는다고 하였다. 본 연구에서도 기판온도가 500°C에서 증착된 ITO 박막의 c(222) 및 c(400) 결정성이 나타나고 있다. 이것은 3.1.2에서도 언급한 바와 같이 300°C의 경우보다 면저항이 낮으므로 양호한 전하이동도를 나타내는 것으로 생각된다. Table 1에서는 이들 결과에 대한 구체적인 값을 제시하고 있다. Table 1에서 보이는 바와 같이 기판온도가 500°C이고, 산소분압이 3%일때 가장 양호한 특성을 나타냈으며, 그때의 투과도는 81%, 면저항 226Ωcm², 비저항 5.4×10⁻³Ωcm, 전하농도 1.0×10¹⁹cm⁻³, 전하이동도 150cm²/Vsec이었다. 따라서 열에 강하고 손상이 적은 코닝 유리에 비하여 전기적 특성은 다소 떨어지지만 코닝 유리의 값이 현미경용 유리에 비하여 수천 배 비싼 것을 감안하면 시사하는 바가 크다고 생각된다. 즉, 높은 전기적 특성이 요구되는 곳에서는 코닝에 증착된 ITO 박막을 사용하는 것이 적절할 것이며, 경제성이 요구되는 곳에서는 상용 현미경용 유리에 증착된 ITO 박막을 선택하여 사용하는 것이 가능하기 때문이다.

3.1.3 결정성과 표면형상

Fig. 5는 ITO박막의 XRD 분석결과를 나타내고 있다. 즉, 이것은 기판온도가 300°C 및 500°C에서 산소분압이 2, 3, 5%일 때의 XRD 분석결과로써, 기판온도가 500°C일때, 산소분압이 2%와 3%에서는 c(222) 및 c(400) peak가 거의 대등하게 나타나고 있다. 또한, 기판 온도 300°C에서는 c(222)가 주 결정방향을 이루고 있다. 기존의 여러 문헌에서 제시하고 있는 공통적인 내용은 ITO 박막의 결정성이 c(400) 및 c(222) 방향으로 주종을 이루며, 실험

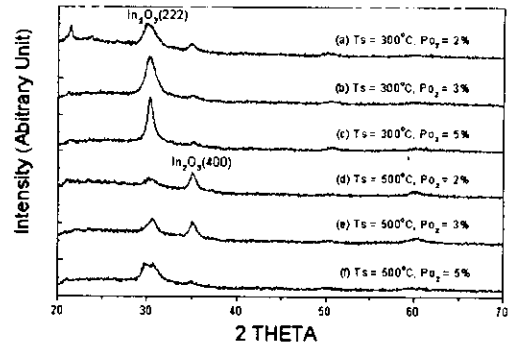


Fig. 5 X-ray diffraction of ITO films

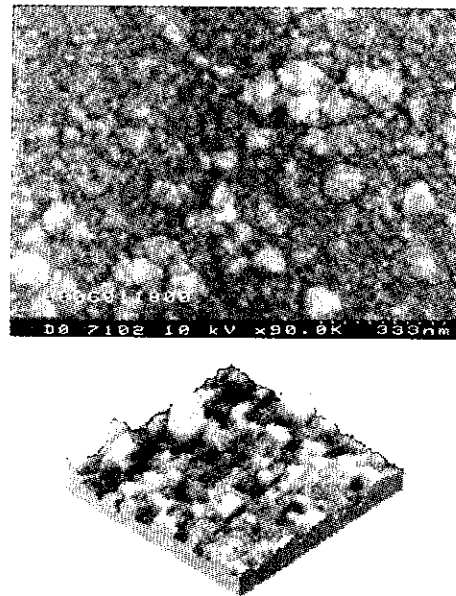


Fig. 6 Surface morphologies of ITO films on commercial glass by chemical clean (Ts : 300°C, Po₂ : 3%)

험 조건에 따라 그 중의 어느 하나가 주된 결정성을 갖는다고 하고있다¹²⁾. 본 연구결과에서는 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 상기설명 내용과 잘 일치하고 있었다.

Fig. 6, 7은 SEM과 AFM에 의한 표면형상을 나타내고 있다. Fig. 6은 기판온도 300°C, 산소분압 3%일 때의 ITO 박막의 SEM 및 AFM 형상이다. 여기서는 원자의 아일랜드 형성과정으로 전체적으로 표면이 거친 상태를 보이고 있다. 즉, 표면에 도달한 원자들이 충분히 이동-확산되지 못하고 소수 결정입자만이 집중 성장하고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Properties of ITO films on commercial glass

	Sheet resistivity (Ω/cm^2)	Resistivity (Ωcm)	Transmittance (%)	Carrier concentration (cm^{-3})	Carrier mobility (cm^2/Vsec)	Crystal orientation
Pre-annealing(×)+ Ultrasonic cleaning	173	3.6×10^{-3}	79	5.3×10^{19}	24	(222)
Pre-annealing(×)+ Chemical cleaning	210	4.6×10^{-3}	78	3.0×10^{19}	33	(222)
Pre-annealing(○)+ Chemical cleaning	226	5.4×10^{-3}	81	1.08×10^{19}	150	(222)

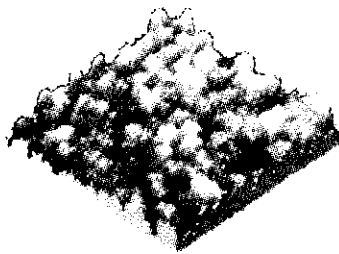
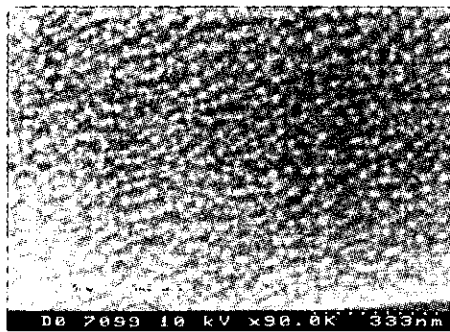


Fig. 7 Surface morphologies of ITO films on commercial glass by chemical clean (Ts : 500° C, Po₂ : 3%)

Fig. 7은 기판온도가 500° C에서 산소분압이 3% 일때의 SEM 및 AFM 형상을 보인다. Fig. 6의 기판온도 300° C의 경우에 비하여 상대적으로 높은 기판온도의 영향으로 핵 원자들의 확산이 이루어지며, 모든 결정입이 균일한 성장형태를 나타내는 것으로 생각할 수 있다.

3.1.4 기판 전처리 및 열처리의 영향

일반적으로 투명 전도막에 대한 기판 전처리(clean)는 초음파 세척에 의존하고 있다. 본 연구에서는 기판을 NH₄OH : H₂O₂ : H₂O를 1 : 1 : 5 비율로 희석된 용액 중 75° C에서 10분 동안 가열한 후, HCl : H₂O₂ : H₂O를 1 : 1 : 5로 희석된 용액

으로 75° C에서 10분 동안 가열하였으며, 각 단계마다 증류수로 5분 동안 rinse하였다. 기판온도가 500° C이고 산소분압이 3%의 경우에 화학약품과 초음파에 의한 전처리한 후 증착시킨 ITO 박막의 특성은 Table 2와 같다. 한편, 지금까지 ITO 박막 증착 후의 경우에 열처리 등을 하여 전기전도도가 낮아지는 등의 연구보고는 있었으나¹⁰⁾, 박막증착 전의 열처리에 대한 연구보고는 거의 없는 것으로 사료된다.

Table 2에서 보이는 바와 같이 500° C/60분 동안 열처리 없이 화학약품 및 초음파에 의한 기판 전처리한 후에 증착된 ITO 박막의 면저항은 210 및 173 Ω/cm^2 로 거의 유사하였다. 또한 비저항, 투과도, 전하농도, 전하이동도 등도 비슷한 결과를 나타냈다. 이는 화학약품 및 초음파에 의한 기판 전처리가 기판 표면의 불순물을 충분히 제거하였으며, 불순물 제거 정도가 비슷한 것으로 생각된다. 또한, 기판 열처리(500° C/60분) 및 열처리 없이 화학약품 처리한 후에 증착된 박막의 경우는 면저항이나 비저항 및 전하농도가 거의 유사하였다. 그러나 투과도 및 전하이동도는 열처리한 경우의 박막이 양호한 결과를 나타내고 있었다. 이것은 고온상태에서 표면내부로부터 확산되어 나오는 알카리이온 등을 증착전에 제거함으로써 박막의 투과도와 전하이동도가 비열처리 때 보다 양호한 것으로 사료된다. 즉, 상용 현미경용 유리에 증착된 ITO 박막은 기판 전처리의 종류에 무관하게 전기적, 광학적 특성이 비슷하였다. 또한 열처리(500° C /60분)와 비열처리의 경우에는 면저항, 비저항 및 전하농도는 비슷하였으나, 투과도와 전하이동도는 열처리한 경우가 다소 양호하게 나타났다.

3.2 코닝 0080의 ITO 특성

앞 3.1절에서는 불순물이 많고 열에 약한 상용 현미경용 유리에 ITO 박막을 증착하여 각종 특성을 분석하였다. 본 단락에서는 양질의 코닝 0080을 사용하여 화학약품 및 초음파에 의한 기판 전처리(clean) 후, 기판온도가 500°C이고, 산소분압이 3%일때 증착한 ITO 박막에 대한 특성을 Table 3에 나타낸다.

Table 3에서 나타낸 바와 같이 화학약품에 의한 기판 전처리시 면저항은 44Ω/cm², 초음파 세척시 31Ω/cm² 이었으며, 비저항, 투과도, 전하농도, 전하이동도 등도 기판 전처리에 관계없이 비슷하였

다. Table 2 및 3에서 보는 바와 같이 열에 강하고 손상이 적은 코닝 0080은 일반 상용 현미경용 유리에 증착된 ITO 박막에 비하여 면저항, 비저항, 전하농도 등에서 다소 양호한 전기적 특성을 나타내고 있다. 이것은 코팅 기판이 열에 강하고 결합이 적기 때문에 양질의 ITO 박막이 성장하여 제작된 것으로 생각된다.

Fig. 8은 화학약품, Fig. 9는 초음파 전처리한 후에 코닝 0080에 증착한 박막에 대한 SEM 및 AFM 형상을 나타낸다. 이들 사진에서 알 수 있는 바와 같이 코닝 0080에 증착한 ITO 박막은 기판 전처리의 종류에 관계없이 특성상의 차이점이 거의 나타나지 않았다.

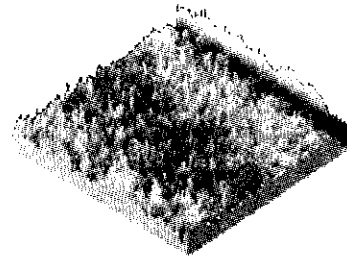
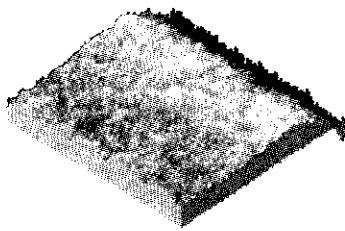
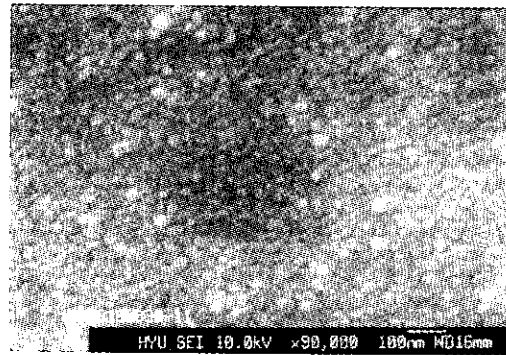
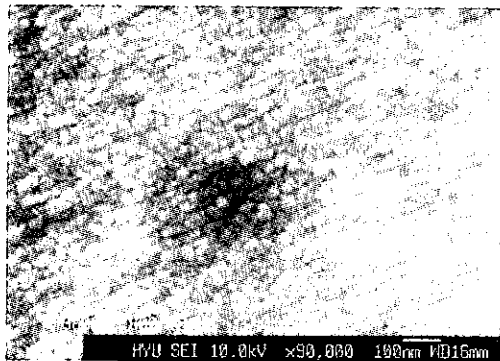


Fig. 8 Surface morphologies of ITO films on corning glass by chemical clean(Ts : 500°C, Po₂ : 3%)

Fig. 9 Surface morphologies of ITO films on corning glass by ultrasonic clean(Ts : 500°C, Po₂ : 3%)

Table 3. Properties of ITO films on corning glass

Corning 0080	Sheet resistivity (Ω/cm ²)	Resistivity (Ωcm)	Transmittance (%) (cm ⁻¹)	Carrier concentration (cm ⁻³ /Vsec)	Carrier mobility	Crystal orientation
Pre-annealing(×)+ Chemical cleaning	44	9.2 × 10 ⁻⁴	81	1.27 × 10 ²⁰	40	(222)
Pre-annealing(×)+ Ultrasonic cleaning	31	3.0 × 10 ⁻⁴	82	12.06 × 10 ²⁰	48	(222)

4. 결 론

전도성 투과 산화막을 상용 현미경용 유리 및 코닝 0080에 증착시키기 위하여 마그네트론 스퍼터링법을 사용하였으며, 그리고 90wt.% In_2O_3 : 10wt.% SnO_2 의 타겟을 스퍼터링시켜 기판온도 500°C 및 300°C에서 산소분압을 각각 2, 3, 5%에서 증착시킨 ITO 박막의 면저항, 비저항, 투과도, 전하 농도, 전하 이동도 등을 분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 ITO 박막의 최적조건은 기판온도 500°C, 산소분압 3%이었다. 이 때의 박막 투과도는 81%, 면저항 $226\Omega/\text{cm}^2$, 비저항 $5.4 \times 10^{-3}\Omega\text{cm}$, 전하농도는 $1.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, 전하이동도는 $150\text{cm}^2/\text{Vsec}$ 이었으며 박막의 결정성은 (400) 및 (222) 방향이 주종을 이루었다.
2. 기판온도 500°C의 경우 300°C 보다 격자결함이 줄어들고 결정화가 진행되어 결정립의 크기가 커짐으로서 빛의 산란이 감소되었기 때문에 높은 투과도를 나타내었다고 판단된다. 또한 500°C의 경우 높은 기판온도에 의해 원자들이 표면으로 확산되므로써 다수의 산소 공공이 발생할 수 있으며 이로 인하여 전기적 특성이 우수해진 것으로 판단된다.
3. 상용 유리기판의 경우 사전 열처리(500°C/60분)를 해 주었을 때의 전하이동도는 $150\text{cm}^2/\text{Vsec}$ 이었다. 반면에 사전 열처리를 하지 않는 경우에는 $24 \sim 33\text{cm}^2/\text{Vsec}$ 이었으며, 나머지 특성인 투과도, 비저항 및 전하농도 등은 거의 유사하였다.
4. 상용 유리 기판을 사전 열처리 없이 아세톤 분위기에서 초음파 세척을 해 준 경우와 화학약품에 의해 세척을 해 준 경우, 광학적 및 전기적 특성은 비슷하였다. 따라서 복잡한 화학약품에 의한 세척보다는 간단한 아세톤 초음파 세척만으로도 양호한 ITO 박막을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.
5. 기판으로서 상용 현미경용 유리와 코닝 0080에 최적조건(500°C, 3% PO_2)으로 증착된 ITO 박막은, 코닝기판의 경우 상용 유리기판

에 비하여 비저항, 전하농도가 약간 우수한 반면, 전하이동도는 상용유리기판이 3배정도 더 우수한 특성을 보였다. 따라서 경제성을 고려하면서 ITO 박막의 이용 목적에 부합되도록 상용유리 또는 코닝 0080을 선택하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. E. Burstein, Phys. Rev. Vol. 93, p. 632 (1954)
2. R. L. Weiher, J. Appl. Phys. Vol. 33, p. 2834 (1962)
3. D. B. Fraser and H. D. Cook, J. Electrochem. Soc. Vol. 119, p. 1368 (1972)
4. N. Basu, A. K. Batabyal, and A. K. Barua, J. Appl. Phys. Vol. 54, p. 6 (1983)
5. Ph. Parent, H. Dexpert, and G. Tourillon, J. Electrochem. Soc. Vol. 139, p. 1 (1992)
6. S. Ishibashi, Y. Higushi, Y. Ota, and K. Nakamura, J. Vac. Soci. Technol. A Vol. 8, p. 1399 (1990)
7. T. J. Coutts, X. Li, M. W. Wanlass, K. A. Emery and T. A. Cessert, IEEE Electron Lett. Vol. 26, p. 660 (1990)
8. H. Kenko, and K. Miyake, J. Appl. Phys. Vol. 53, p. 3629 (1982)
9. T. Nagatomo, Y. Maruta and O. Omoto, Thin Solid Films Vol. 192, p. 17 (1990)
10. S. H. Shin and H. H. Kim, J. Korea Physical Society Vol. 10, p. 453 (1997)
11. Takao Nagatomo, Yukihiro Maruta and Osamu Omoto, Thin Solid Films Vol. 192, p. 17 (1990)
12. W. K. Lee, T. Machino and T. Sugihara, Thin Solid Films Vol. 224, p. 105 (1993)
13. K. H. Cho and Y. J. Kim, 육사논문집 Vol. 54, p. 423 (1998)

저 자 소 개



조길호(曹吉壕)

1946년생. 1969년 육군사관학교 졸업. 1973년 서울대학교 물리학과 졸업. 1979년 서울대학교 물리학과 졸업(석사). 1985년 North Carolina대학 고체물리전공(박사). 1973년~현재 육군사관학교 물리학과 교수



이명훈(李明勳)

1959년생. 1983년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1987년 동대학원 졸업(석사). 1994년 일본나고야대학 재료공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수



김여중(金余重)

1968년생. 1991년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1998년 육군사관학교 군사과학대학원 졸업(석사). 2000년~현재 한국해양대학교 기관시스템공학부 박사과정



김성종(金晟鍾)

1968년생. 1991년 한국해양대학교기관공학과졸업. 1997년 동대학원 기관공학과 졸업(석사). 1998~현재 동대학원 박사과정



문경만(文康萬)

1954년생. 1976년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1979년 동대학원 박용기관학과졸업(석사). 1986년 일본나고야대학원재료 공학과 졸업(박사). 현재 한국해양대학교 기계소재공학부 교수.