

D.C. 마그네트론 스퍼터링법으로 제조한 ITO 및 ITO/Ag/ITO 박막의 미세조직과 투명 전극 특성

최용락[†] · 김선화

순천향대학교 신소재공학과

Microstructure and Properties of ITO and ITO/Ag/ITO Multilayer Thin Films Prepared by D.C. Magnetron Sputtering

Yong-Lak Choi[†] and Seon-Hwa Kim

Department of Materials Engineering, Soochunhyang University, Asan 336-745, Korea

(2006년 5월 22일 편집, 2006년 8월 7일 최종수정본 편집)

Abstract ITO monolayer and ITO/Ag/ITO multilayer thin films are prepared by D.C. magnetron sputtering method. Ag layer was inserted for applying ITO to a flexible substrate at low temperature. Carrier concentration and carrier mobility of ITO and ITO/Ag/ITO thin films were measured, the transmittance of them also was done. The amorphous phase was confirmed to be combined in addition to (400) and (440) peaks from XRD result of ITO thin film. As the substrate temperature increased, the preferred orientation of (400) appeared. From the result of application of Ag layer at room temperature, the growth of columnar structure was inhibited, and the amorphous phase formed mostly. The ITO/Ag/ITO thin film represented the transmittance of above 80% when the thickness of Ag layer was 50 Å, and the concentration of carrier increased up to above 10 times than that of ITO thin film. Finally, since very low resistance of $3.9\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$ was observed, the effective application of low temperature process is expected to be possible for ITO thin film.

Key words ITO thin film, flexible display, multilayer, transmittance, sheet resistance.

1. 서 론

가시광선 영역에서 우수한 투과율 및 전기 전도도를 가지는 투명전도막(TCO: Transparent Conductive Oxide)의 개발은 1907년에 CdO가 개발된 이후 지속적인 연구가 이루어져, Indium oxide, Tin oxide, Indium Zinc oxide 및 Antimony doped Tin oxide 등의 많은 재료가 개발되었으며,¹⁻³⁾ 대전 방지막, 면 발열체, 광전변환소자 등에 널리 사용되어져 왔다.⁴⁻⁷⁾ 여러 투명전도막 중 ITO(Indium Tin Oxide) 박막은 In_2O_3 에 Sn을 도핑한 형태로서 다른 투명박막에 비하여 매우 낮은 전기저항을 나타내며, 또한 3.5 eV 이상의 높은 밴드갭을 가진으로 인해 가시광선 영역에서 높은 투과도를 가지는 특성을 가지고 있다.⁸⁻¹⁰⁾ 이러한 ITO 재료는 태양전지, 가스 센서, 액정 샌 등 많은 분야에 널리 이용되어 왔으며, CRT를 대체하는 차세대 디스플레이인 LCD의 액정에서 구성 성장을 유도하기 위하여 필요한 전기상을 형성할 수 있는 전극이나 PDP 등의 평판디스플레이의 화소전극 및 공통

전극으로서 주요한 자리를 차지하고 있다.^{11,12)} 디스플레이 이에서 금속전극이 아닌 ITO와 같은 산화물 전극을 사용하는 이유는, 금속박막은 얇게 증착하는 것으로 투과율을 높일 수는 있지만 투과율이 증가하면서 면적항도 규칙히 증가하는 단점이 있으며, 특히 ITO는 공정시에 필요한 에칭특성 및 화학적 안정성, 내마모성 등의 특성이 우수하기 때문이다. 또한, ITO 박막은 완성품이 아닌 디스플레이 내에 사용되는 여러 종의 박막 중 하나로 증착되며 되도록, 이를 다른 종들과 접합하여 우수하고 화학적으로 안정하다는 장점이 있다.

ITO 박막을 제조하는 방법으로는 구입하고 고온전의 박막을 얻기 위하여 스퍼터링법이 주로 사용되고 있으며,^{13,14)} 인가전력, 산업전력, 코팅온도 및 산소 분압 등의 다양한 공정변수에 의해 박막의 결정성과 미세구조가 매우 큰 차이를 보이게 되어 이에 따라 전기전도도와 투과율 또한 큰 차이를 나타내게 된다.¹⁵⁻¹⁸⁾ 일반적으로 스퍼터링 법으로 ITO 박막을 제조할 경우, 기판의 온도는 약 200~300°C 범위를 사용하고 박막의 손상을 최대한 방지하기 위하여 전압은 가능한 낮게 유지한다. 그러나, 차세대 디스플레이로 개발 중인 플렉시블(flexible) 디스플레이에 저

E-Mail : marriott@hanmail.net

용하기 위해서는 폴리미 기판 재료를 사용하기 때문에 기존의 높은 온도를 사용하는 공정법으로는 제조가 어렵다는 문제가 있다.^{19,20)}

현재 개발되어져 사용되고 있는 디스플레이 기판 중 풀렉시블이 가능한 폴리미 기판으로는 PAR(polyacrylate), PEN(polyethylenenaphthalate), PES(polyethersulphone), Polycarbonate, Polyimide, PET(polyethyleneterephthalate) 등이 있다.^{21,22)} 하지만 이들 기판들 중 PES의 경우 200°C의 온도를 견뎌낼 수 있고 나머지 기판들의 사용 가능한 온도는 약 150°C 이내이기 때문에, 고온에서 사용이 가능한 기판의 개발과 함께 시온에서 증착 가능한 새로운 공정을 개발해야 할 필요성이 매우 중요하게 대두되고 있다. 그러나 시온에서 제조된 박막은 결정성이 강조하여 면적항성이 규칙히 증가하고 전극에서 요구되는 전기전도도를 얻기가 어려우므로, 이에 대한 해결책도 함께 요구되어 진다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 D.C. 마그네트론 스팡터링 법을 사용하여 ITO 박막 내에 전기전도성이 우수한 Ag를 다중·증착하여 이에 따른 미세조직 및 전기적 특성의 변화를 알아보고, 풀렉시블 디스플레이의 적용을 위한 상온 공정이 가능한 방법을 찾아보고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 스팡터링 장치 및 ITO 박막 시편 제조

ITO 및 ITO/Ag/ITO 박막은 D.C. 마그네트론 스팡터링 장치를 사용하여 증착되었으며, MKS사의 Ar용 MFC와 O₂용 High-grade MFC(Model 3200, KOFLOC)을 신시하여 0.1 sccm 단위로 미세조절이 가능하도록 하였다. Ar 가스와 반응성 기체인 O₂ 가스는 99.99%의 초고순도 기체를 사용하였고, 스팡터링 용 ITO(90 wt% In₂O₃-10 wt% SnO₂)와 Ag 터켓은 CERAC사의 순도 99.99%의 지름 3.0", 두께 0.25"의 터켓을 사용하였다. ITO 코팅용 시편은 coming 1737 glass를 45×45 mm 크기로 레이저 가공하여 사용하였으며, 면적과 표면의 불순물 제거를 위해 아세톤 내에서 초음파세척기로 15분간 세척한 뒤, 에탄올로 수세하고 진소가스로 진조하여 스팡터의 전공 칸버 내에 상작 하였다. ITO 터켓 표면의 세척을 위하여 예비 스팡터링을 10분간 행하고, 예비실험을 거쳐 Ar과 O₂의 분압, 코팅시간, 기판온도, 작업압력 및 직류전력을 설정하였다(Table 1).

2.2 코팅층의 미세조직 및 두께 관찰

제조된 ITO 박막의 상분석 및 결정화 특성을 알아보기 위하여 XRD(D/Max-2200PC, Rigaku, Japan) 회전실험을 행하였고, Kosaka Laboratory 사의 α-step(Surfcoorder ET3000)을 사용하여 박막의 두께를 측정하였다. 또한

Table 1. Deposition conditions of ITO and ITO/Ag/ITO thin films.

Deposition Parameter	Value
Background Pressure	6×10 ⁻⁶ torr
Working Pressure	4×10 ⁻⁴ to 7×10 ⁻³ torr
Target Materials	ITO(10 wt% SnO ₂) and Ag
Substrate	Corning 1737 glass
Substrate Temperature	R.T. to 350°C
O ₂ -gas Flow Rate	0 to 0.5 sccm
Ar-gas Flow Rate	53 sccm
D.C. Power	40 W(0.37 W/cm ²)
Source to Substrate Distance	5 cm
Sputtering Time	3 to 60 min
Pre-sputtering	Ar 30 sccm, 60 W
	10 min. at 7×10 ⁻³ torr
Substrate Rotation Speed	8 rpm

ITO 박막의 표면과 단면 미세조직 관찰을 위하여 Field Emission Scanning Electron Microscopy(FESEM, FEI Quanta 200F, USA)를 사용하였다.

2.3 코팅층의 전기적 특성 및 투과율 측정

제조된 ITO 박막의 면적항을 Four point probe(A.I.T., CMT-SR1000N)를 사용하여 측정하였고, 박막의 투과율은 UV/VIS Spectrometer(Perkin Elmer, Lambda 35)를 이용하여 340~780 nm의 가시광선 파장 범위에서 측정하였다. 캐리어의 농도(n)와 이동도(μ)는 Hall effect measurement system(Ecopia, HMS-300)을 이용하여 hall 계수를 측정한 뒤, Van der Pauw식인 식 (1)과 식 (2) 및 (3)을 이용하여 농도와 이동도를 각각 구하였다.

$$R_h = \frac{d}{BI} \times \Delta V \quad (1)$$

위 식에서 R_h 는 Hall 계수, B 는 자기장, I 는 전류, d 는 시편의 한 변의 길이, ΔV 는 자기장을 가했을 때와 가하지 않았을 때의 전압차이다며, 측정시 값은 $B=0.51T$, $I=10\text{ mA}$, $delay=0.5\text{ s}$, $T=300\text{ K}$ 의 조건으로 측정되었다.

$$n = \frac{1}{pe\mu} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{R_h}{p} \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 기판 온도 변화에 따른 ITO 박막의 미세조직

ITO 박막 내에 Ag 증이 있을 경우와 없을 경우를 비교

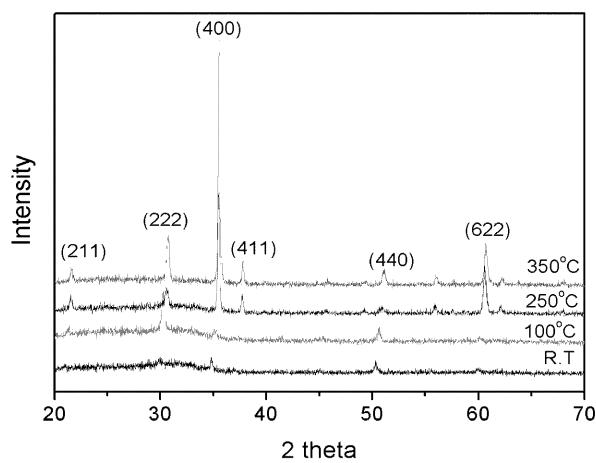


Fig. 1. XRD patterns of ITO thin films deposited at different substrate temperatures.

교하기 위하여 먼저 ITO 박막을 최적의 특성을 가지는 조건을 찾아 제조하였다. 예비실험을 통하여 스퍼터링시 산소의 분율은 0.6%로 결정되었으며, 인가전력 D.C 40 W,

작업진공 8×10^{-4} torr, 박막 두께 150 nm의 조건으로 기판의 온도를 변화시켜 가며 ITO 박막을 제조하였다. Fig. 1은 위 조건에서 제조된 ITO 박막의 XRD 측정결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이, 상온에서 증착한 ITO 박막에서는 약한 (400), (440) 피크와 함께 비정질이 검출되어 두 상이 혼재하는 것을 알 수 있었다. 박막의 제조온도가 100°C로 증가하면 ITO 결정의 (222) 피크가 나타나기 시작하였으며, 250°C의 온도에서는 ITO 결정의 부피 분율이 증가하고 (400) 피크의 우선결정성장이 일어나고 있는 것을 알 수 있었다. 350°C에서는 비정질영역은 사라지고 (400)의 우선방향으로 성장하고 있음을 나타내었다. 스퍼터링 시 기판의 온도는 반응가스의 분압과 함께 박막의 최종적인 상과 미세구조를 결정짓는 매우 중요한 인자로 작용하게 되며, ITO 박막 내에 비정질과 결정질이 혼재되었을 경우엔 전기전도도 및 애칭특성에 악영향을 줄 수 있으므로, 우수한 특성의 ITO 박막을 형성하기 위해서는 박막 제조 시 비정질이 생성되는 온도를 피해야 할 필요가 있다.

Fig. 2의 (a)와 (b)는 각각 상온과 250°C에서 증착시킨

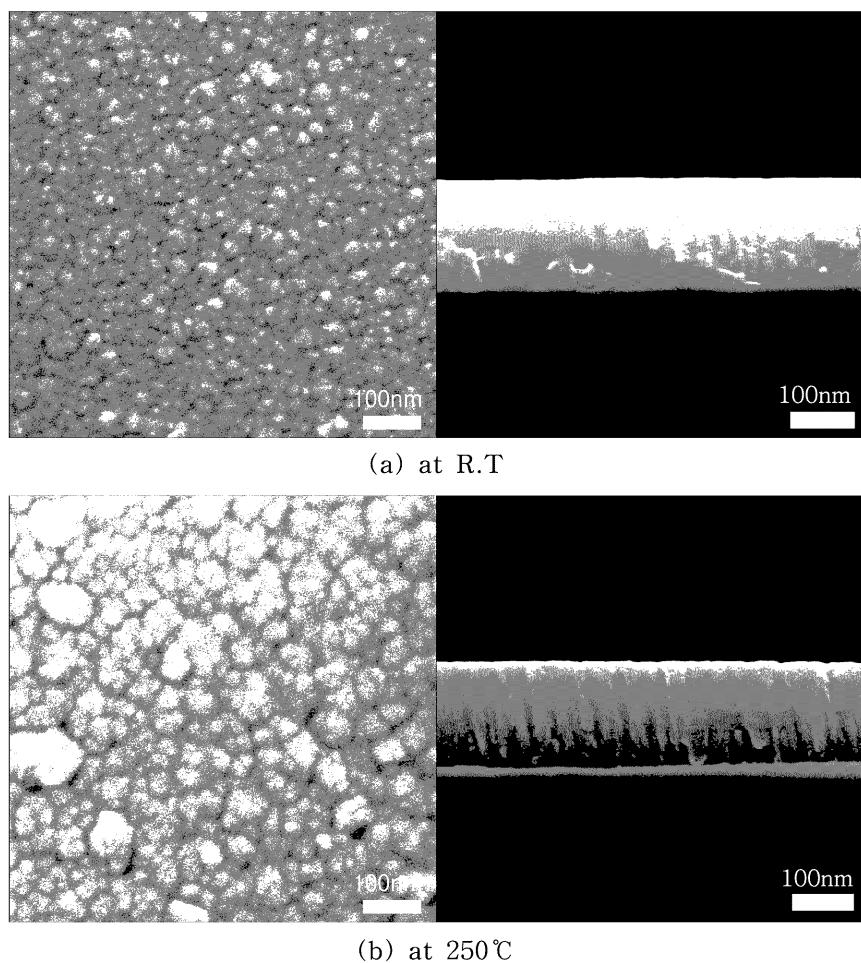


Fig. 2. Morphology and cross section image of ITO thin film.

ITO 박막의 표면 및 단면의 미세조직을 FESEM으로 관찰한 것이다. 상온에서 증착된 박막의 표면은 50 nm 이하의 미세한 섬상구조(island structure)를 나타내었고, 단면은 일부 희미한 주상(columnar structure)의 형태를 보이지만 대부분 비정질로 형성되었음을 알 수 있었다. Fig. 2(b)의 250°C에서 형성된 박막의 표면은 섬상구조가 발달하여 일부는 100 nm 이상으로 성장하였고, 단면조직의 경우 기판에서부터 뚜렷하게 주상조직으로 성장하고 있음을 나타내어 앞의 XRD 결과와 일치하고 있음을 알 수 있었다. 이것으로 보아 증착 시 기판 온도가 박막의 결정성이 매우 주요한 인자로 작용하고 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 기판 온도에 따른 ITO 박막의 전기적 특성 및 투과율

Fig. 3은 앞의 조건에서 제조된 박막의 투과율 및 면저항 측정결과이다. 상온에서 증착된 ITO 박막은 550 nm 영역에서 약 83%의 투과율을 보였고, 250°C에서는 86%, 그리고 350°C에서 증착된 박막은 약 88%의 광 투과율을 나타내었다. 이것은 박막제조 시 기판온도가 증가할 수록 박막의 결정성이 우수해지고 결정립의 크기가 증가하여 광산란이 감소하기 때문으로 여겨진다. 특히 250°C 이상의 높은 온도에서 제조된 ITO 박막의 투과율 분포는 상온에서 제조된 시편에 비하여 고른 분포를 나타내었는데, 높은 기판 온도로 인하여 ITO 박막의 성장이 안정화 되는 것으로 보인다. 면저항값은 상온에서 증착된 박막은 약 $35\Omega/\square$ 의 값을 보였으나, 온도가 증가하면서 급격히 감소하여 250°C에서는 $15\Omega/\square$ 이하의 낮은 면저항 값을 나타내었고, 350°C에서는 $10\Omega/\square$ 까지 감소하였다. 박

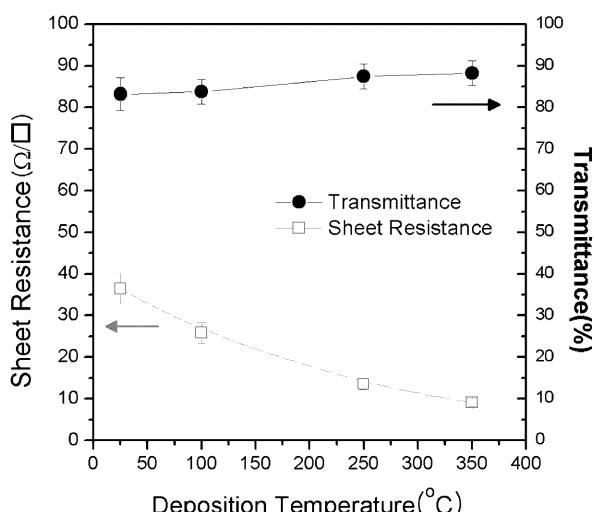


Fig. 3. The transmittance which was measured in 550 nm wavelength and the sheet resistance properties of ITO thin films deposited at different substrate temperature.

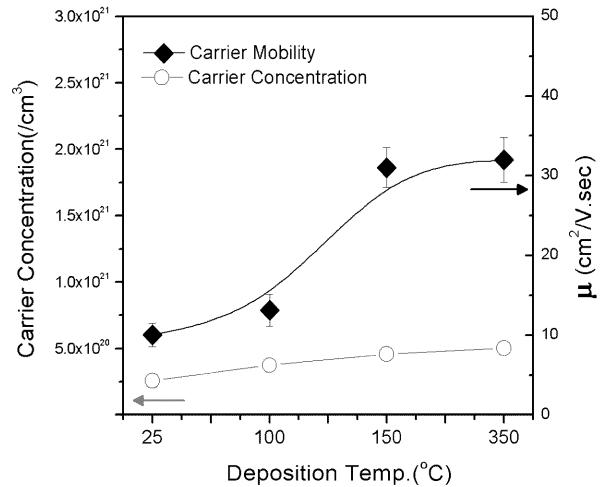


Fig. 4. Carrier concentration and mobility properties of ITO thin films deposited at different substrate temperatures.

막의 제조 온도가 저온일 경우에는 박막이 보통 비정질 상태로 제조되거나 아주 미세한 결정립이 형성되며, 이것은 Sn dopant를 활성화 시키지 못하고 박막내 캐리어의 운동도를 감소시키는 영향을 가져와 전기전도도를 감소시키게 된다. 그러나 온도가 증가함에 따라 +3가의 In 자리에 +4가의 Sn이 치환되는 양이 증가하고 결합의 감소로 이동도가 증가하기 때문에 면저항이 감소하는 것으로 보여진다.

Fig. 4는 박막 증착 시 기판 온도 증가에 따른 캐리어 농도와 이동도를 나타낸 것이다. 기판 온도가 상온에서 350°C로 증가하면서 캐리어 농도는 상온의 경우보다 약 2배 증가하였다. 캐리어 이동도도 기판온도가 상온인 경우 $10 \text{ cm}^2/\text{V.sec}$ 정도의 값을 나타내다가 기판온도가 100°C 이상으로 증가하면 이동도가 급격히 증가하는 현상을 나타내었다. 이것은 저온에서 박막을 증착할 경우, 박막내에 비정질이 형성되고 단면위 규칙도를 갖는 비정질의 특성으로 캐리어의 이동이 방해 받았다가 기판온도가 증가함에 따라 비정질의 분율이 감소하고 결정성의 증가 및 결정립의 크기가 증가하게 되어 캐리어 이동을 방해하는 요인이 감소되었기 때문으로 여겨진다. 또한, ITO 박막 생성 시 충분한 열에너지에 의하여 확산이 용이하게 일어날 수 있어서 Sn의 치환이 안정적으로 이루어지고 있다는 것을 짐작할 수 있다.

3.3 상온에서 제조된 ITO/Ag/ITO 박막의 투과율 및 미세조직

본 연구에서는 ITO 박막의 전기전도도 증가 방안으로 박막 내에 금속을 단일 상의 층(layer)으로 도포시켜 이를 금속으로 인한 저항감소 효과를 기대하였다. 이에 따라 전기전도율이 제일 우수한 금속중 하나인 Ag를 선

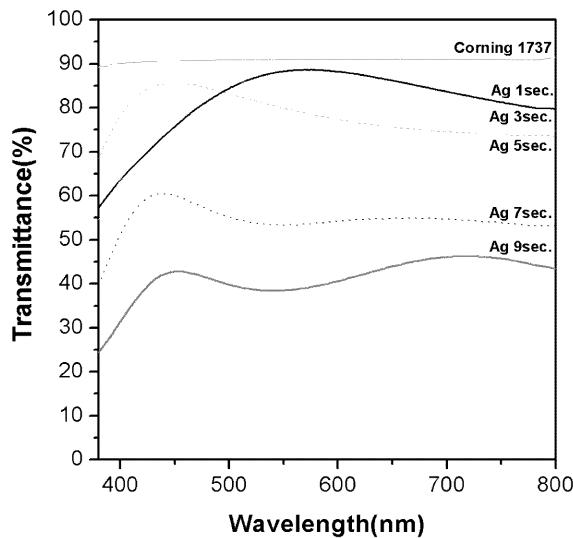


Fig. 5. Transmittance properties of ITO/Ag/ITO thin films deposited at R.T.

택하여 ITO 박막 중간에 다층으로 삽입하여 전하운반체인 자유전자를 증가시키고 전자이동 통로로 이용할 수 있게 하여 전기전도도를 증가시킬 수 있도록 하였다. 그러나 ITO 박막에서 투과율과 비저항은 반비례 관계에 있으므로, 금속층은 투명전극의 역할을 갖기 위한 최소한의 투과율을 유지하는 범위 내에서 적절한 두께로 형성되어야 할 필요가 있다. Fig. 5는 인가전력 D.C 40 W, 작업압력 8×10^{-4} torr, 기판온도 상온, O₂ 분율 0.6%의 조건에서 ITO 박막을 약 100 nm 두께로 형성시킨 뒤, D.C 전력 12 W, Ar 8 sccm 조건으로 Ag 층을 증착시키고 그 위에 다시 ITO를 다층 코팅시킨 ITO/Ag/ITO 박막에서 Ag 층의 증착시간에 따른 투과율의 변화를 나타낸 것이다. Ag를 1초간 증착 시켰을 경우에는 550 nm 영역에서 약 3% 정도의 투과율 감소가 나타났으며, Ag

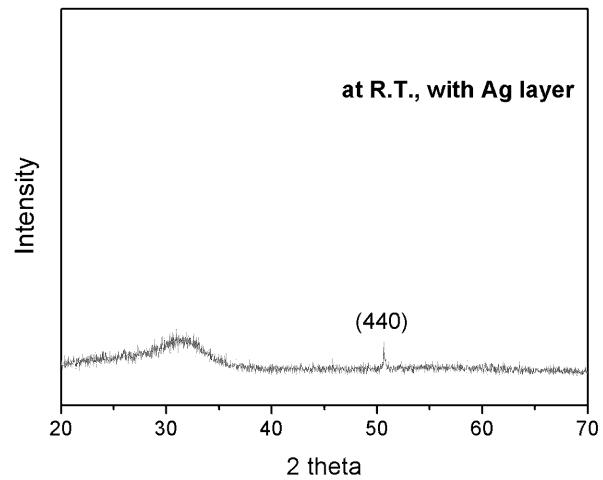


Fig. 6. XRD patterns of ITO/Ag/ITO thin film deposited at R.T.

증착시간이 5초까지는 투과율이 약 80%를 유지하는 것을 알 수 있었다. 그러나 Ag의 증착시간이 그 이상 증가함에 따라 투과율은 급격히 감소하여 7초에서는 약 50%, 그리고 9초에서는 40% 이하의 낮은 투과율을 나타내었다. 이 결과로 보아, 상기 실험 조건에서 Ag 층의 증착시간은 5초 이내로 하는 것이 적합하다 하겠으며, 이때의 Ag 층의 두께를 α -step으로 측정한 결과, 약 50 Å의 두께로 형성된 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 기판온도 상온에서, Ag 층의 두께를 50 Å로 하여 제조된 ITO/Ag/ITO 박막의 XRD 결과를 나타낸 것이다. 앞의 Fig. 1의 상온에서 증착시킨 박막의 XRD 결과와 거의 같은 약한 (400)의 피크와 비정질이 혼재된 형태로 제조되었음을 알 수 있다. Fig. 7은 ITO/Ag/ITO 박막의 표면 및 단면의 FESEM 관찰 사진이다. 박막의 표면은 사진에서 확인 할 수 있는 것과 같이 미세한 섬상구조로 이루어졌으나, 같은 상온의 조건임에도

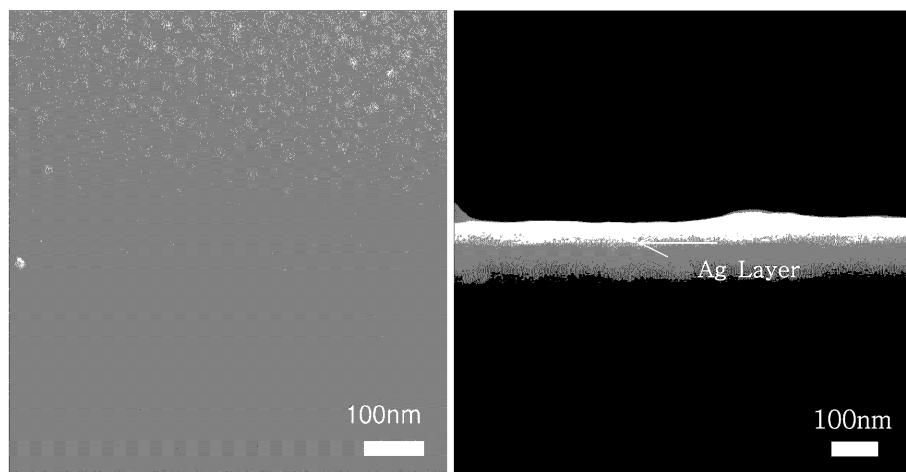


Fig. 7. Morphology and cross section image of ITO/Ag/ITO thin film.

불구하고 Fig. 2(a)의 경우보다 더욱 미세하고 경계가 불분명한 표면의 특성을 나타내었다. 이것은 비정질과 함께 약간의 결정성을 가지고 성장하던 박막이 100 nm 위치에 증착된 Ag층의 영향으로 성장을 방해받게 되고, Ag 층 이후로 다시 초기부터 성장을 시작하였기 때문으로 생각된다. 단면 미세조직 또한 경계가 뚜렷하지 않은 비정질 특성을 띠고 있으며, 박막 두께 약 100 nm 부근에 Ag 층이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, Ag 층의 삽입으로 인해 ITO의 박막표면까지 주상조직의 성장이 억제되고 비정질로 형성되었음을 짐작할 수 있다.

3.4 상온에서 제조된 ITO/Ag/ITO 박막의 전기적 특성

Fig. 8은 ITO/Ag/ITO 박막 제조시 Ag 층의 증착시간에 따른 면저항 변화를 나타낸 것이다. Ag 층에 대한 효과적인 비교를 위하여 앞의 실험에서 최적의 산소량 조건으로 선택된 산소분율 0.6%로 제조된 시편과, 산소분율을 1%로 하여 박막의 투과율을 최대로 높이고, 반면에 전기저항은 증가시킨 시편을 각각 제조하여 비교 측정하였다. 산소분율 0.6%에서 제조된 시편에서 Ag 층이 없을 경우에는 약 $35\Omega/\square$ 의 면저항을 나타내었으나, 1초 동안의 Ag 증착 후 면저항은 $18\Omega/\square$ 으로 크게 감소하였다. 증착시간의 증가에 따라 면저항은 계속 감소하여 투과율 80%의 한계를 보였던 5초에서는 $3.9\Omega/\square$, 9초에서는 $0.92\Omega/\square$ 의 초저저항 값을 나타내었다. 산소분율 1%로 제조된 박막에서는 높은 산소함유량으로 인해 초기 $190\Omega/\square$ 의 매우 높은 면저항을 나타내었는데, 1초 동안의 Ag 코팅에서 $77\Omega/\square$ 으로 급격한 감소를 나타내었고 5초에서 $12\Omega/\square$, 9초에서는 $10\Omega/\square$ 이하의 낮은 면저항 값을 나타내었다. Fig. 9는 ITO/Ag/ITO 박막의 캐리어 농도 및 이동도를 측정한 것이다. ITO 박막 내에

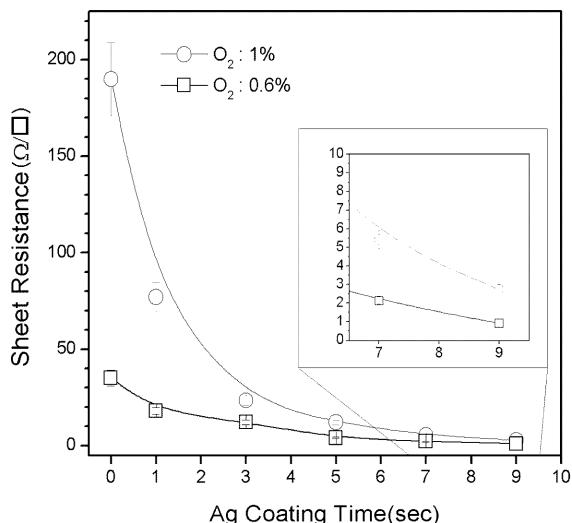


Fig. 8. Sheet resistance properties of ITO/Ag/ITO thin films.

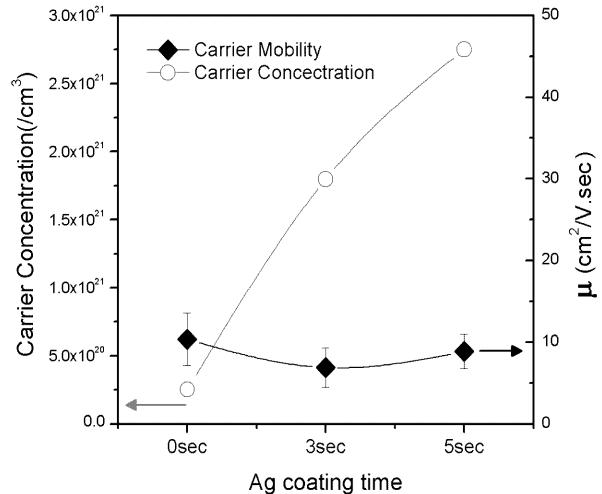


Fig. 9. Carrier concentration and mobility properties of ITO/Ag/ITO thin films.

Ag 층이 없을 경우엔 캐리어 농도가 약 $1.2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 이었으나, Ag를 3초간 증착시켰을 때 $1.7 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 로 10배 이상 크게 증가하였으며, Ag를 5초간 증착시킨 경우 $2.7 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 까지 증가함을 나타내었다. 그러나 전하 이동도는 Ag 층의 두께가 증가하여도 큰 차이 없이 약간 감소하는 경향을 나타내어, 이 경우의 박막의 면저항의 감소는 전하이동도 보다는 농도에 의해 지배되고 있는 것으로 여겨진다. 일반적으로 금속의 전기저항은 불순물이 존재하면 자유전자의 산란이 증가하여 전하이동이 감소하는 역할을 가져오는데, ITO와 Ag의 계면에서 전하이동을 방해하는 요인이 있었을 것으로 추측되며, 이러한 Ag 층이 전하이동에 미치는 역할에 대하여 차후 더욱 세밀한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다. 이를 결과에서, ITO/Ag/ITO 박막은 상온에서 비정질이 혼재된 조직으로 제조되었음에도 불구하고 350°C 의 기판온도에서 결정화 시킨 ITO 박막보다도 더욱 우수한 전기전도도를 나타내었으며, 투과율도 80% 이상을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 그러므로 이 방법은 100°C 이하의 저온공정이 필요한 플렉시블 기판의 ITO 박막 형성에 매우 효과적으로 적용 할 수 있을 것이라 여겨진다.

4. 결 론

플렉시블 디스플레이 기판의 상온공정 적용 가능성을 알아보고자 D.C. 마그네트론 스퍼터링 법을 사용하여 ITO 및 ITO/Ag/ITO 박막을 제조하고 미세조직과 전기적 특성을 측정한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기판온도에 따라 제조된 ITO 박막의 XRD 측정결과 상온에서는 (400), (440) 피크 외에 비정질이 혼재되어 있는 것으로 나타났으며, 기판온도 350°C 이상에서 비

정전영역이 사라진을 나타내었다. 상온에서 증착한 ITO 박막의 표면은 미세한 선상구조를 나타내었고, 온도가 증가함에 따라 선상의 형태가 크게 성장하여 박막 계조 시기판 온도가 박막의 결정성에 매우 주요한 인자로 작용하고 있음을 확인할 수 있었다.

2. 상온에서 증착된 ITO 박막은 파장영역 550 nm에서 약 83%의 투과율을 보였고, 온도가 증가함에 따라 광산란이 감소하여 88%의 까지 투과율이 증가하였다. 먼저 항온 상온에서 약 $35\Omega/\square$ 의 값을 보였으나, 온도가 증가하면서 캐리어농도와 이동도의 증가로 350°C 에서 $10\Omega/\square$ 까지 감소하였다.

3. 상온에서 제조한 ITO/Ag/ITO 박막은, Ag 층의 두께 50 Å에서 80% 이상의 투과율을 유지하였으며, XRD 측정 결과 대부분은 비정질로 형성되었음을 나타내었다. ITO/Ag/ITO 박막의 표면은 매우 미세하고 경계가 불분명한 선상구조로 형성되었으며, Ag 층의 영향으로 주상조직의 성상이 어색되었다.

4. 상온에서 증착시킨 ITO/Ag/ITO 박막의 캐리어 농도가 350°C 에서 증착한 ITO 박막보다 10배 이상 증가하였으며, Ag 층 두께 50 Å에서 $3.9\Omega/\square$ 의 매우 낮은 저항 값을 나타내어 ITO 박막을 저온공정에서 형성 시 $\text{Ag}_{\text{과제}}$ 저용이 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- S. J. Lee, H. W. Yoon, B. S. Kim, S. U. Lee, M. W. Park and D. J. Kwak., J. Kor. Inst. Met.& Mater., **42**(9), 745 (2004).
- W. J. Jeong, J. C. Cho, Y. K. Jeong and Y. T. Yoo, J. of the Korean Sensors Society, **6**, 49 (1997).
- J. Y. Kim, Y. E. Lee, H. S. Cho, D. H. Lee and Y. J. Kim, Kor. J. Mater. Res., **5**(3), 280 (1995).
- Sung Kyu Park, Jeong In Han, Dea Gyu Moon, Won Keun Kim and Min Gi Kwak, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., **747** (2003).
- N. Basu, A. K. Batabyal and A. K. Barua, J. Appl. Phys., **54**, 6 (1983).
- H. Sirringhaus, P. J. Brown, R. H. Friend and M. M. Nielsen, Nature, **401**, 685 (1999).
- J. S. Kim, R. H. Friend and F. Cacialli, Appl. Phys. Lett., **74**, 3084 (1999).
- S. Takaki, K. Matsumoto and K. Suzuki, Appl. Surf. Sci., **33/34**, 919 (1988).
- K. L. Chopra, S. Major and D. K. Pandya, Thin Solid Films, **102**, 1-8 (1983).
- Y. S. Kim, Y. S. Jeon and S. S. Kim, Kor. J. Mater. Res., **9**(11), 1055 (1999).
- E. Kaneko, Liquid Crystal Displays, KTK Scientific, Tokyo (1987).
- J. R. Bellingham, W. A. Philips and C. J. Adkins, Thin Solid Films, 195 (1991).
- T. W. Park, S. J. Yoon, J. W. Choi, H. J. Kim, H. J. Jung and C. Y. Park, J. of KIEEME, **11**, 833 (1998).
- W. F. W and B. S. Chiou, Appl. Surf. Sci., **68**, 497 (1993).
- K. D. Leaver and B. N. Chapman, Thin Films, p29, Whigham Publication, London (1971).
- K. K. Yee, Int. Met. Rev., **23**, 19 (1978).
- Leon Maissel and Reinhard Glang, Handbook of Thin Film Technology, p18, McGraw-Hill, (1970).
- Kwang-Hyun Ro, Won Park, Geon Choe and Jong-Chun Ahn, Kor. J. Mater. Res., **7**(1), 21 (1997).
- J. McMillan and E. Petersson, J. Appl. Phys., **8**, 5238 (1979).
- S. Maniv, C. J. Miner and W. D. Westwood, J. Vac. Sci. Technol., **A1**(3), 1379 (1983).
- T. Karasawa and Y. Miyata, Thin Solid Films, **223**, 135 (1997).
- A. Kulkarni, T. Lim, M. Khan and K. Schulz, J. Vac. Sci. Technol., **A16**, 1636 (1998).