

RF magnetron sputter에 의한 PET기판상 ITO/Al/ITO 박막의 증착 압력이 광학적 전기적 특성에 미치는 영향

서정은^{a*}, 김상호^a, 이인선^a, 김동원^b

^a한국기술교육대학교 신소재공학과, ^b경기대학교 신소재공학과

Influence of Deposition Pressure on Optical and Electrical Properties of ITO/Al/ITO Thin Films on PET by RF Magnetron Sputtering

Jung-Eun Seo^{a*}, Sang-Ho Kim^a, In-Seon Lee^a, Dong-Won Kim^b

^aKorea University of Technology and Education, Advanced Materials Engineering, 307 Gajeon-ri Byungcheon-myun Cheonan Chungnam 330-708, Korea

^bKyonggi University, Yeongtong-gu, Suwon-city, Gyeonggi-do 443-760, Korea

(Received 20 March 2005 ; accepted 1 April 2005)

Abstract

ITO-Al-ITO multi-layers were deposited at room temperature by RF magnetron sputtering on polyethylene terephthalate (PET). The films were deposited at various pressures of 8×10^{-4} , 1×10^{-3} , 4×10^{-3} , 8×10^{-3} and 1×10^{-2} Torr. A correlation between microstructure and electro-optical properties was studied. Films deposited? at low pressure have higher transmission, and lower reflectance and resistance than film deposited at high pressure. Sheet resistance, transmission, and reflectance were $141.6 \Omega/\square$, 88% and 6.8% respectively when the deposition pressure was 8×10^{-4} torr, that was the optimum condition.

Keywords : ITO, Al, PET, RF magnetron sputtering, Optical transmission, Sheet resistance

1. 서 론

각종 전자기기의 소형화 경량화가 이루어지고 있으며 이런 기기들은 인간의 삶에 큰 비중을 차지하는 것이 현실이다. 또한 이런 전자기기를 쉽게 제어할수 있는것 중 하나가 touch panel display 장치이며, OLED, PDP, LCD 등 여러 가지 display 장치를 통하여 전자기기의 상태 또는 여러 가지 정보를 수집 관찰할 수 있다. 이런 전자기기의 휴대성을 높이기 위하여 display의 flexible한 성능이 요구되어지고 있다. 종래의 유리 기판의 고정적이며 유동이 불편한 유리기판 display의 장점인 저전력, 고화질의 성능에, flexible한 성능을 추가시켜 휴대성을 향상 시키기 위하여 본 실험에서는 polymer

기판을 이용한 flexible display의 핵심인 ITO박막과 anti-reflective 기능을 부여하는 Al박막을 PET기판 위에 ITO-Al-ITO 다층박막의 형태로 증착 시켰다. ITO-Al-ITO 다층박막을 증착 함에 있어 증착 압력에 변화를 주고 성막의 상태에 변화를 주어 압력 변화에 따라 증착된 박막이 TCO로써 쓰이기에 알맞은 낮은 면저항과 높은 광 투과율 낮은 반사율이 관찰되는 조건을 찾아 그 원인을 분석하여 보았다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 장비는 RF magnetron sputter 로, 로타리 펌프와 확산 펌프를 이용하여 8×10^{-6} 까지 초기진공분위기를 유지하였다. 사용한 target중 ITO target은 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2(90:10 \text{ wt.}\%, 99.99\% \text{ purity})$ 의 조성으로 구성되 있으며, Al target은 순도 99.9%

*Corresponding author. E-mail : seoje3000@kut.ac.kr

의 target으로 size는 직경과 두께가 각각 2 in, 1/4 in 것을 사용하였다. Target의 표면세정을 위하여 ITO target은 5분동안 Al target은 30분동안 각각 pre-sputter를 실시하였다. Substrate는 PET(Poly Ethylene Terephthalate)로 초음파세척기를 이용하여 acetone과 ethanol 중에서 각각 10분씩 초음파세척 후 증류수로 린스하고 질소를 이용하여 건조를 시켰다. Target과 substrate와의 거리는 65 mm로 유지하였으며, 증착시 온도는 실험실 온도에서 실시하였다.

ITO박막 증착은 상, 하층 모두 동일 조건으로 RF 전력 60 W, plasma 시동 가스는 Ar가스를 사용하였으며, 증착시 chamber내 가스 조성은 $O_2/(Ar+O_2)$ 비율은 8%로 유지하여 증착을 실시하였으며, 증착 압력은 8×10^{-4} , 4×10^{-3} , 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr으로 변화를 주어 증착을 실시하였다. Al박막 증착은 RF 전력을 200 W로 plasma 시동 가스는 Ar가스를 사용하였으며, 증착시 chamber 내 가스는 Ar만을 주입하여 3×10^{-3} Torr로 유지하여 증착을 실시하였다. 또 그 위에 다시 ITO박막을 증착 하여 ITO-Al-ITO 박막을 증착하여 실험을 진행하였다. 증착된 박막의 두께는 증착 속도를 고려하여 ITO박막은 상하 모두 500Å정도, Al박막은 100Å정도로 각각 유지하여 총 두께는 1100Å정도로 유지 하였다. 증착 후 annealing 처리는 대기압 중 대기 분위기에서 100°C로 5시간 동안 실시하였다. 이상의 증착 조건을 표 1에 정리하여 나타내었다. 표 2는 증착 압력에 따른 ITO의 증착 속도를 나타낸 것이다.

분석을 위하여 사용한 장비는 증착막의 두께를 측정하기 위하여 surface profiler(Tencor)를 이용하

Table 1. Experiment conditions of RF magnetron sputtering

Specification	Condition
Target	ITO: (90%) In_2O_3 -(10%) SnO_2 Al: 99.9%
Substrate	Polyethylene terephthalate (PET)
Basal Pressure	8×10^{-6} torr
Deposition Pressure	ITO: 8×10^{-4} , 4×10^{-3} , 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr Al: 3×10^{-3} Torr
Deposition gas	ITO: ($O_2/(Ar+O_2)$) 8% Al : Ar
Presputter	ITO : 5 min, Al : 30 min
RF power	ITO : 60 W, Al : 200 W
Heat treatment	100°C annealing, 5 h
Substrate Temp.	Room Temp.
Distance Sub. ~ Target	65 mm
Thickness	1000 Å

Table 2. Deposition rate according to deposition pressure

Deposition pressure	Deposition rate
1×10^{-2} torr	1.19 Å/s
8×10^{-3} torr	1.42 Å/s
4×10^{-3} torr	1.57 Å/s
1×10^{-3} torr	1.61 Å/s
8×10^{-4} torr	2.02 Å/s

였으며, 광학적 특성을 측정하기 위하여 UV spectrophotometer(Varian)를 이용 하였으며, 표면 저항을 측정하기 위하여 4-point probe(Guardian scientific 402S)를 사용하여 전기적 특성과 광학적 특성이 우수한 증착 조건을 구하였고, 표면저항의 특성을 분석하기 위하여 hall effect measurement(ECOPIA)를 이용하여 캐리어 농도와 이동도를 관찰 하였고, 광학적 특성을 분석하기 위하여 FESEM(JEOL)과 AFM(PSIA)을 이용하여 표면의 구조 및 형상을 관찰하였다.

3. 결 과

3.1 전기적 특성

증착 압력의 변화에 따른 ITO-Al-ITO 다층박막의 전기적 특성의 변화를 알아보기 위하여 면저항을 측정하여 보았다. 그림 1은 ITO박막 증착시 압력의 변화를 8×10^{-4} , 4×10^{-3} , 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr의 네단계로 구분하여 증착 후 annealing을 실시한 다음 면저항과 비저항의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 8×10^{-4} , 1×10^{-3} Torr의 낮은 압력에서 증착시 면저항은 $141.6 \Omega/\square$, $132.7 \Omega/\square$ 으로 낮게 측정이 되었으나, 4×10^{-3} torr에서는 $311 \Omega/\square$ 로 다소 높게 측정이 되었고, 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr의 압력에서 증착된 시편의 면저항은 매우 높게 측정이 되

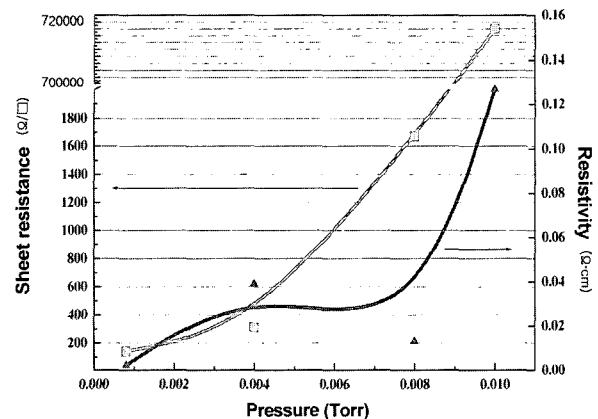


Fig. 1. Sheet resistance and resistivity of the multi-layer films deposited by the variable working pressures on PET substrate at room temperature.

었다. 이것을 분석하기 위하여 hall effect를 측정하였다. 그림 2는 증착 압력별 hall effect measurement을 나타낸 그래프이다. 그래프를 보면 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr의 압력에서는 캐리어의 이동도가 매우 낮음을 알 수 있다. 4×10^{-3} Torr에서는 캐리어의 이동도는 높으나 캐리어의 농도가 매우 낮아 저항이 다소 높게 나타난다. 증착 압력이 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr에서는 증착 압력이 4×10^{-3} Torr에서 보다 캐리어의 농도와 이동도가 잘 조화된 값을 가져 면저항의 감소가 나타남을 알 수 있다. 이것은 ITO 증착 시 증착 압력이 낮아지면 증착 되는 속도는 높아지고, 이것이 substrate와 충돌 시 높은 에너지로 충돌이 일어나며 이 에너지는 증착된 입

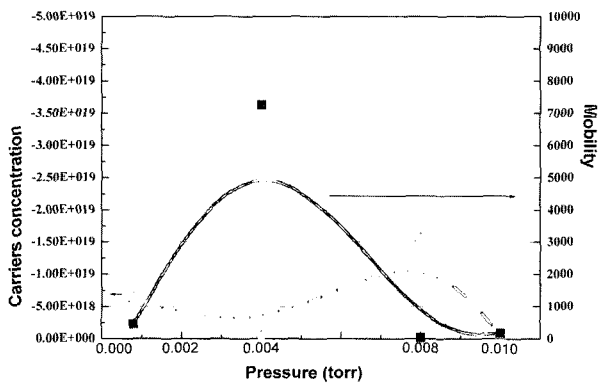


Fig. 2. Carrier concentration and mobility of the multy-layer films deposited by the variable working pressures on PET substrate at room temperature.

자의 확산과 grain의 성장에 이용됨으로 grain이 커지고 입자경계면이 상대적으로 적어 면저항이 감소하는 것으로 보고되고 있다¹⁾.

3.2 광학적 특성

증착 압력의 변화에 따른 ITO-Al-ITO의 다층박막의 광학적 특성의 변화를 알아보기 위하여 광 투과율과 반사율을 측정하여 보았다. 그림 3은 ITO박막 증착시 압력의 변화를 8×10^{-4} , 4×10^{-3} , 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr의 네단계로 구분하여 증착 후 광 투과율과 반사율의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 8×10^{-4} Torr의 압력에서 증착된 박막의 광 투과율과 반사율이 각각 88%, 6.8%가 측정되었다. Substrate

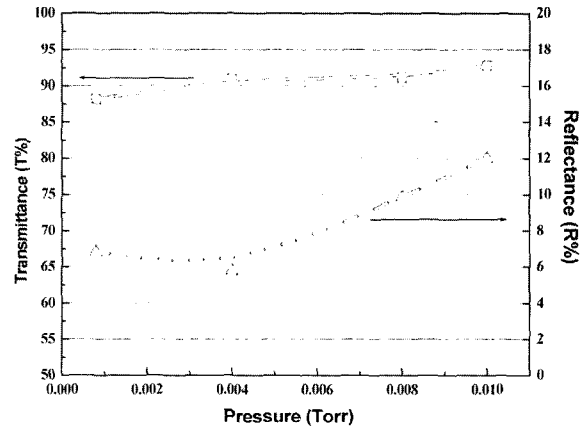


Fig. 3. Transmittance and reflectance of the multy-layer films deposited by the variable working pressures on PET substrate at room temperature.

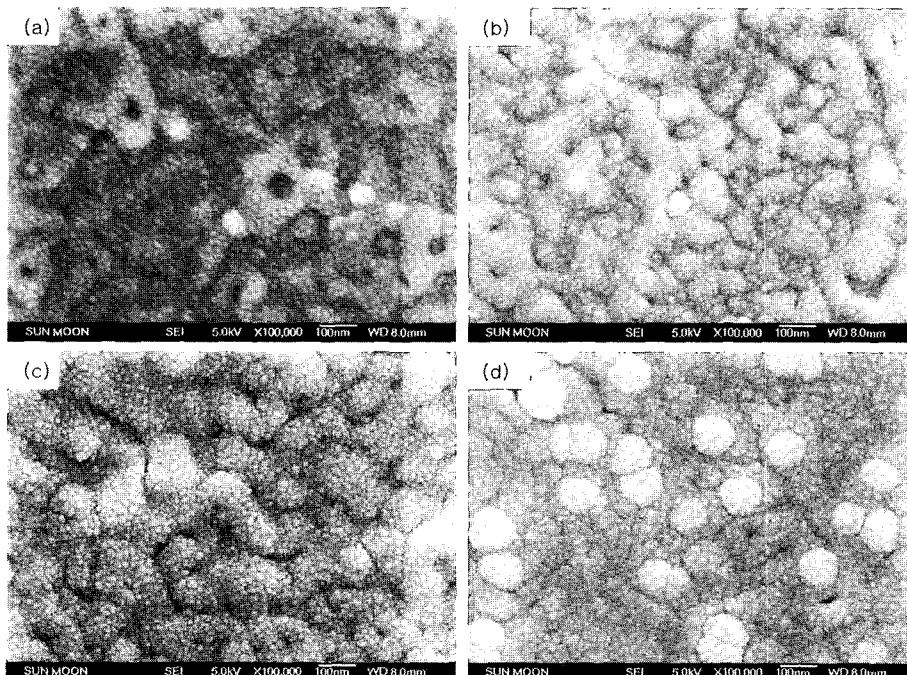


Fig. 4. Microstrueter of the multy-layer films deposited by the variable working pressures on PET substrate at room temperature: (a) 8×10^{-4} Torr, (b) 4×10^{-3} Torr, (c) 8×10^{-3} Torr, (d) 1×10^{-2} Torr.

인 PET의 원래 반사율이 8.96%인 것과 비교하여 보면 반사율이 감소하였음을 알 수 있다. 4×10^{-3} Torr의 압력에서 증착된 박막의 광 투과율과 반사율은 각각 90%, 5%로 나타나 매우 좋은 결과가 나타났고, 8×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr의 압력에서 증착된 박막은 광 투과율은 각각 91%, 92.7% 반사율은 각각 12.3%, 12.2%로 나타나 증착 압력이 증가하면 투과율은 다소 향상되나 반사율의 상대적으로 급격히 증가되는 것을 알 수 있다.

광학적 특성에 영향을 주는 요인을 알기 위하여

Table 3. Roughness according to deposition pressure

Deposition pressure	Rq	Ra
1×10^{-2} torr	22.219	18.167
4×10^{-3} torr	12.351	9.933
8×10^{-4} torr	10.168	8.139

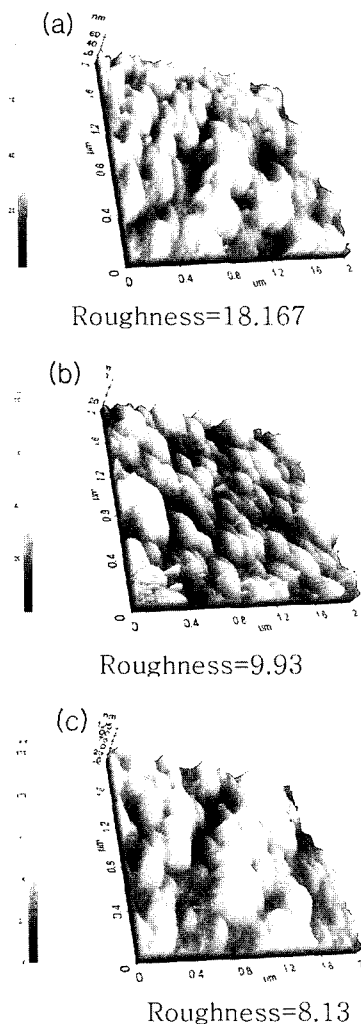


Fig. 5. Surface roughness of multy-layer films deposited by variable deposition pressures on PET substrate at room temperature: (a) 8×10^{-4} Torr, (b) 4×10^{-3} Torr, (c) 1×10^{-2} Torr.

주사전자현미경(FESEM)으로 표면의 형상을 관찰하여 보았다. 그림 4는 각각의 증착 압력별로 증착된 박막의 표면을 FESEM으로 관찰한 것이다. 증착 압력이 증가하면 작은 입자들이 균집체를 형성하며, 균집체들 간에 두꺼운 경계면이 형성되어 높은 증착 압력에서는 grain 균집체들이 섬구조를 이루는 것처럼 보이며, 표면이 거칠어진다¹⁾. 증착 압력이 낮아지면 grain의 구조가 밀집되고, 입자의 크기가 증가하며, 표면이 편평해진다^{2,3)}. 이를 확인하기 위하여 AFM으로 표면의 roughness를 측정할 결과를 표 3의 RMS 값을 통하여 증착압력이 높을수록 표면이 거칠어짐을 확인할 수 있다. 그림 5는 8×10^{-4} , 4×10^{-3} , 1×10^{-2} Torr에서 증착된 박막의 AFM 사진이다. 즉 증착압력이 증가하면 표면 거칠기가 증가하고 이 영향으로 광투과율은 다소 증가하나 반사율은 급격히 증가함을 알 수 있었다.

4. 결 론

이번 실험에서 PET기판 위에 ITO-Al-ITO를 다층 박막 증착시 증착압력의 변화에 따른 광학적 전기적 특성의 변화를 관찰하고 최상의 증착 조건을 찾는 결과는 다음과 같다.

1) 전기적 특성: 8×10^{-4} Torr의 증착 압력에서 증착시 면저항은 $141.6 \Omega/\square$ 로 측정되며, 캐리어의 농도와 캐리어의 이동도는 각각 $-6.26 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $452 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ 로 측정이 되었다.

2) 광학적 특성: 8×10^{-4} Torr의 증착 압력에서 증착시 광 투과율과 반사율은 각각 88%, 6.8%로 측정이 되었으며 반사율은 증착을 실시하지 않은 PET 원판의 반사율 7.3%보다 낮게 측정이 되었다.

후 기

본 연구는 한국 산업 기술재단에서 지원된 지역 혁신 인력 양성 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. L. R. Cruza, C. Legnania, I. G. Matosoa, C. L. Ferreira, H. R. Moutinho, *Materials Research Bulletin*, 39 (2004) 993.
2. L.-J. Meng, M. P. Dos Santos, *Thin Solid Films*, 303 (1997) 151.
3. Y.-S. Kim, Y.-C. Park, S. G. Ansari, J.-Y. Lee, B.-S. Lee, H.-S. Shin, *Surface and Coatings Technology*, 173 (2003) 299.