



대면적 상온 Indium Zinc Oxide 투명 도전막의 물성 특성 비교

정대영^{a*}, 이영준^a, 박준용^b, 이준신^c

^a삼성전자 LCD 총괄 차세대 연구소, ^b삼성전자 LCD 총괄 TFT3 파트(Mobile),
^c성균관대학교 정보통신공학부 정보통신소자 Lab.

The Comparison to Physical Properties of Large Size Indium Zinc Oxide Transparent Conductive Layer

DaeYoung-Joung^{a*}, YoungJoon-Lee^a, JoonYong-Park^b, Junsin-Yi^c

^aSamsung Electronics, Co., Ltd., LCD Business, R&D Center

^bSamsung Electronics, Co., Ltd., LCD Business, TFT 3 Part(Mobile)

^cSungKyunKwan University, School of Information & Communication Engineering, Information & Communication Devices Lab.

(Received January 4, 2008 ; accepted February 19, 2008)

Abstract

An Indium Zinc Oxide(IZO) transparent conductive layer was deposited on a large size glass substrate by using magnetron dc sputtering method with varying a deposition temperature. As the deposition temperature decreased to a room temperature, the sheet resistance of IZO film increased. But this deposition temperature range is included in an applicable to a device. From a standpoint of the sheet resistance, the differences of the sheet resistance were not great and the uniformity of the layer was uniformed around 10%. Crystallization particles were shown on the surface of the layer as deposition temperature increased, but these particles were not shown on the surface of the layer as deposition temperature decreased to the room temperature. It didn't make a scrap of difference in a transmittance of varying deposition temperature. Therefore, it is concluded that IZO thin film manufactured by the room temperature deposition condition can be used as a large size transparent conductive layer of a liquid crystal display device.

Keywords: Indium Zinc Oxide, Room temperature deposition, Liquid crystal display, Large size

1. 서 론

투명 전도성 산화물(TCO : transparent conducting oxide) 박막은 액정 표시 소자(LCD : liquid crystal display), 전자 발광 소자(ELD : electroluminescent display), 전자 크로믹 소자(ECD : electro-chromic display)를 포함하는 평판형 표시소자(FPD : flat panel display), 태양 전지(solar cell) 그리고 액정(liquid crystal) 등과 같은 다양한 광전자 소자의 투명 전극으로 널리 사용되고 있다. 일반적으로, TCO 박막은 가시광선 영역(380~780 nm)에서 높은 광 투

과율과 전기 전도도 및 균일한 표면 조도(surface roughness) 뿐만 아니라 공정 과정의 편리성에서도 우수한 특성을 지녀야 한다. 이들 전극으로써, 초기에는 광학적 특성이 우수한 산화주석(tin oxide) 박막이 이용되었고, 현재는 전기적 특성을 개선하기 위하여 산화인듐주석(ITO : indium tin oxide) 박막이 널리 이용되고 있다^{1-3,15)}. 그러나, 낮은 전기 비저항과 높은 투과도를 갖는 ITO 박막을 얻기 위해서는 300°C 이상의 고온에서 성막되어야 하는 것으로 알려져 있다^{4,13)}. 이러한 문제점을 지닌 ITO 박막을 대체할 수 있는 박막으로서 산화인듐아연(IZO : indium zinc oxide) 박막이 활발히 연구되고 있다. IZO 박막은 저온(100°C 이상)에서 증착

*Corresponding author. E-mail : dy8160.joung@samsung.com

이 가능하고 추가적인 열처리 없이도 가시광 영역에서 90% 이상의 높은 광 투과도와 $3.8 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 이하의 낮은 전기 비저항을 갖는 것으로 보고되고 있다^{5,6,13}. 이러한 IZO 박막은 성막 후 고온의 후 열처리 과정이 필요 없기 때문에 폴리카보네이트(PC : polycarbonate)와 같은 유기물 기판을 사용하여 제작 가능한 유연한 평판형 표시소자의 제작에도 적용될 수 있다¹³. 이미, IZO 박막은 FPD 소자로의 응용에 있어서 중요한 요소들인 표면저항, 광 투과율, 전기적 안정성, 표면 조도(surface roughness) 그리고 기판에 대한 부착력 등이 PET 위에 제작된 ITO 박막보다 우수하다는 점이 보고된 바 있다^{4,7-9}. 그러나, 이러한 IZO 박막의 특성연구는 주로 In, Zn 또는 O₂의 함량, 기판 종류 그리고 열처리 온도에 따른 박막특성 연구가 활성화된 반면¹¹⁻¹³, 열처리 없이 순수한 증착 온도 변화에 따른, 특히 100°C 이하의 상온 근처에서 증착된 IZO 박막에 대한 종합적인 물성 연구는 알려진 바가 없다. 더욱이, IZO 박막이 TFT 액정표시장치에 점점 더 그 응용이 증가되는 점에서, 대면적 기판에서의 증착 온도의 변화에 따른 물성 연구는 생산성 향상 및 경비절감 측면에서 특히 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 마그네트론 DC 스퍼터링 방법에 의해 후 열처리 공정없이 상온에 가까운 낮은 온도에서 대면적의 유리 기판 상에 IZO 투명 도전막을 증착하여, 기존의 100°C 이상의 저온 및 200°C 이상의 고온에서 성막한 IZO 투명 도전막의 물성 특성과 서로 비교하여 실제 TFT 액정표시장치 전기소자 제작 공정에서의 적용 가능성을 살펴보고자 하였다.

2. 실험

IZO 박막은 마그네트론 DC 스퍼터링 방법을 사용하여 증착 하였다. 기판은 4세대용 유리기판으로 사용되는 730×920 mm의 크기를 갖고 두께는 6.3 mm의 두께를 갖는 대면적 유리 기판을 사용하였다. 유리 기판 상에 마그네트론 DC 스퍼터링 장비(ULVAC, SMD-950X)를 이용하여 증착 온도를 상온, 저온 및 고온으로 변화시켜 IZO 박막을 450Å의 두께로 증착하였다. 본 연구에 있어서, 마그네트론 DC 스퍼터링 방법에 의해 증착된 IZO 박막은 증착된 박막의 온도 변화에 따른 특성을 비교하기 위해 성막 두께의 두께를 450Å로 동일하게 하였고, 기판의 온도를 40°C, 130°C 및 250°C로 변화시켜 IZO 박막을 증착하였다. 증착 이후, IZO 박막은 열처리 하지 않았다. 스퍼터링용 IZO의 타겟은 In₂O₃

와 ZnO 분말 재료를 사용하였고 In₂O₃와 ZnO의 성분 조성비를 90:10 wt%가 되도록 혼합하였고, IZO 타겟까지의 거리는 55 mm로 고정하였다. 스퍼터링 압력은 0.67 Pa을 유지하였고, 증착 시 power는 9 Kw를 유지하였으며, 사용 gas는 Ar(200 sccm), O₂(0.2 sccm)의 유량을 유지하였다. 증착된 박막의 면저항은 4 point probe(NAPSON, RT80-RG1000F)를 이용하여 측정하였다. 증착된 박막의 결정성과 표면 미세 구조는 field-emission scanning electron microscope(FESEM, Hitachi S-4700) 이미지로부터 분석하였다. 증착된 박막의 표면은 atomic force microscopy(AFM, Seiko SPA500)를 이용하여 시료별 3 μm scan으로 3회 분석한 후 표면 이미지를 살펴보았다. 증착된 박막의 표면 접착성(adhesion) 측정은 22°C 온도에서 Conical 1 μm의 Tip을 사용하여 최대 힘(Peak force)을 700 μN까지 가변시키면서 10 μm 두께의 표면에 스크래치를 행하였다. 증착된 박막의 광투과도는 자외/가시광선 분광 광도계(UV/VIS Spectrophotometer, SHIMADZU, UV-2450/2550)를 이용하여 스캔 속도를 약 3,200 nm/min 로 하여 파장을 300~800 nm까지 변화시키면서 단파장의 빛을 박막에 조사하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

IZO의 증착 온도 변화에 따른 즉, 상온, 저온 및 고온에서의 IZO 박막의 면저항 분포, 평균 면저항 값 및 균일도를 그림 1 및 표 1에 나타내었다. 증착 온도의 변화에 따라 증착된 IZO 박막의 면저항 분포를 살펴보면, 증착 온도의 변화에 무관하게 박막의 중앙부에서 면저항이 커지고 측면으로 갈수록 면저항이 작아지는 일정한 분포를 나타내었다. 일반적으로, 박막의 면저항은 $R_s = \rho/d$ 로 나타내는데, ρ 는 비저항, d 는 박막의 두께를 나타낸다. 여기서, 박막의 두께 d 는 박막의 면저항 R_s 와 반비례 관계가 성립 되는데, 그림 1의 결과에서 보듯이 중앙부와 측면부의 R_s 값이 증착 온도의 변화에도 일정한 패턴을 보이는 것은 증착된 박막의 두께 변화에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 본 스퍼터링 시스템에 gas를 공급하는 시스템이 챔버 외곽부에 형성되어 있어서 상대적으로 중앙부보다는 외곽부의 증착 두께가 높고, 따라서 R_s 값이 상대적으로 작은 값을 보이는 것으로 사료된다. 그러나, 표 1에서 보듯이, 상온 근처의 낮은 온도, 저온 및 고온에서 IZO 박막을 증착하였을 때의 평균 면저항 값은 그림 1에서 나타난 증착 온도 변화에 따른 대면적 기판에서의 면저항 분포와는 달리 각각 평균 95.5 Ω/\square , 88.4

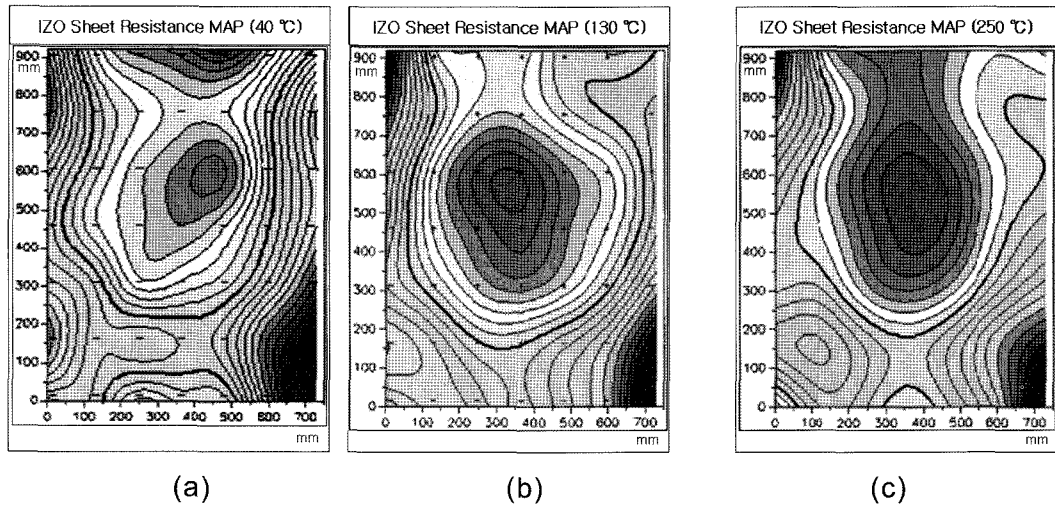
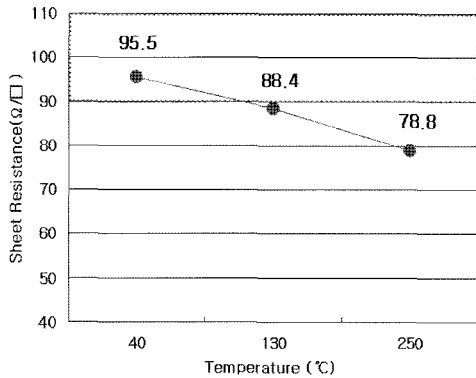


Fig. 1. Sheet Resistance Maps of IZO layer by varying deposition temperature.

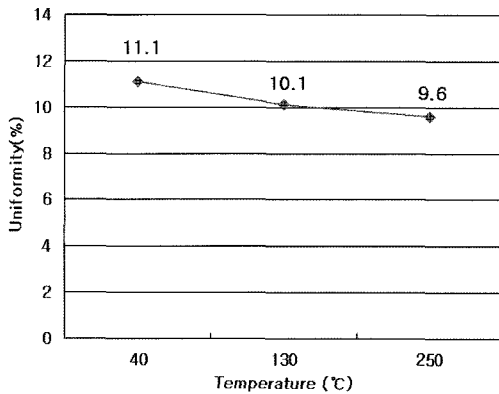
Table 1. Sheet Resistance and Uniformity by varying deposition temperature

Temperature (°C)	Rs (Ω/□)			UNIF (%)
	MAX	MIN	AVE	
40	103.8	83.0	95.5	11.1
130	94.9	77.5	88.4	10.1
250	84.8	69.9	78.8	9.6

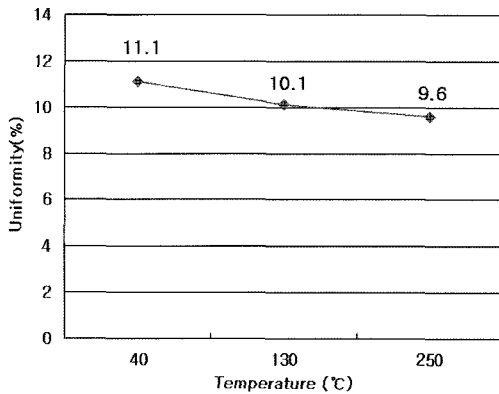
(a) Sheet Resistance



(b) Average Sheet Resistance

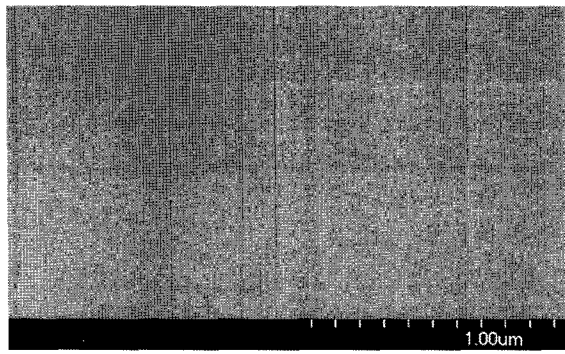


(c) Uniformity

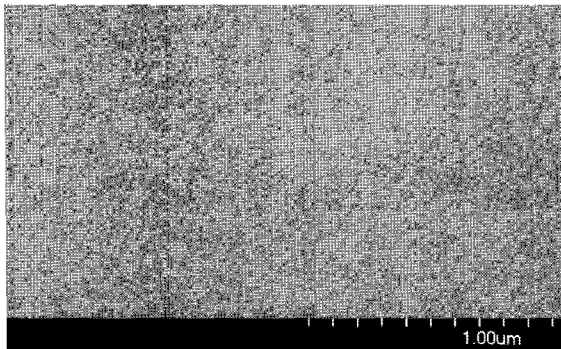


Ω/□, 78.8 Ω/□의 차이를 나타내었다. 즉, 고온에서 증착된 박막은 저온에서 증착된 박막에 비해 11% 정도의 면저항 감소가 있었고, 저온에서 증착된 박막은 상온 근처의 낮은 온도에서 증착된 박막에 비해 8% 정도의 면저항 감소가 있었다. 최종적으로, 고온에서의 증착은 상온 근처의 낮은 온도에 비해 약 18% 정도의 면저항이 감소되는 것을 관찰하였다. 면저항 R_s 의 균일도(uniformity)의 경우에는, 증착 온도가 증가함에 따라 균일도 값이 다소 증가되는 결과를 보여주나, 그 차이는 그렇게 크지 않은 것으로 판단되며, 그림 1의 결과와도 일치하는 결과를 보여준다. TFT 액정표시장치의 제품화 관점에서 볼 때, 450Å 두께의 IZO 박막은 면저항 범위가 90~110 Ω/□ 범위 이내에 들어갈 경우, IZO 박막은 대면적 TFT 액정표시장치의 투명 전극으로 사용될 수 있다. 일반적으로, 열처리 온도가 증가할수록 IZO 박막의 결정성이 증가하는 것으로 알려져 있다¹¹⁾. 본 실험에서는 증착 공정 이외에 별도의 열처리 공정을 진행하지 않았으나, 표 1의 결과에서 알 수 있듯이 증착온도가 증가함에 따라 R_s 값이 감소하는 이유는 높은 증착온도에서 증착한 IZO 박막이 열처리 온도를 증가시킨 효과와 유사하게 부분적으로 결정화가 이루어지는 것으로 사료된다. 그림 2는 증착 온도의 변화에 따른 IZO 박막의 표면을 FESEM을 통해 측정된 결과를 나타내었다. FESEM으로 살펴본 증착 온도별 박막의 표면 확인 시, 고온에서 증착된 IZO 박막의 표면이 저온 IZO박막의 표면에 비해 상대적으로 더 많은 결정립 형태의 입자가 관찰되었음을 확인할 수 있다.

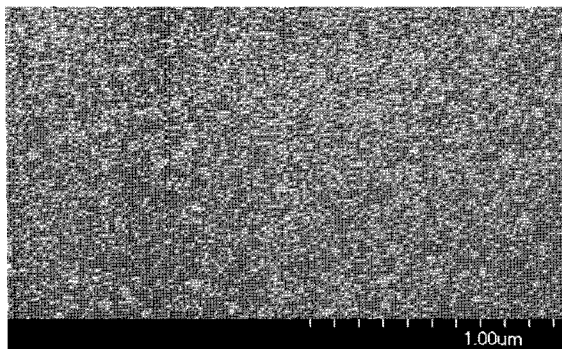
TFT 액정표시장치의 제품화 관점에서 볼 때, 통상 450Å 두께의 IZO 박막은 면저항 범위가 90~110 Ω/□ 범위 이내에 들어갈 경우, 대면적 TFT 액



(a) 40°C



(b) 130°C

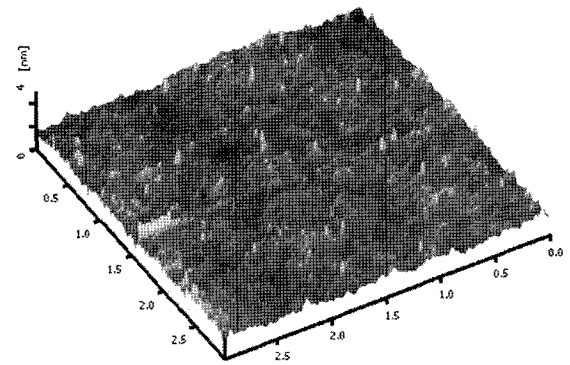


(c) 250°C

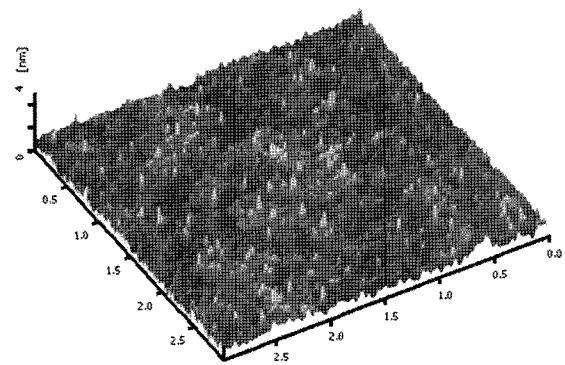
Fig. 2. SEM Images of IZO layer by varying deposition temperature.

정표시장치의 투명 전극으로 사용될 수 있다. 앞서 결과에서 살펴볼 수 있듯이, 증착온도를 증가시키면 따라 면저항값 자체는 부분적 결정화의 영향으로 낮은 값을 보이거나, 상온에 가까운 낮은 온도에서 증착시킨 경우에도 Rs 평균값이 약 95.5 Ω/□로써 실제로 대면적 TFT 액정표시장치의 투명 전극으로 사용될 수 있는 범위에 있는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 대면적 TFT 액정표시장치의 제조에서 가장 중요한 인자중의 하나인 균일도 또한 증착 온도에 따라 큰 유의차는 없으며 각각의 조건에서 IZO 박막은 Rs 균일도가 약 10% 내외의 분포를 보임을 확인하였다.

그림 3은 증착된 박막의 표면을 AFM 분석을 이



(a) 40°C



(b) 130°C

Fig. 3. AFM Analysis Images of IZO layer by varying deposition temperature.

용해 물리적인 표면 이미지를 살펴 본 결과를 나타낸다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 40°C 및 130°C에서 각각 증착된 IZO 박막의 자승 평균면 거칠기 (Rms roughness)는 각각 0.23 nm, 0.29 nm가 각각 측정되었다. 그림 1의 결과와 마찬가지로 증착 온도변화에 따른 박막 표면의 거칠기 또한 그 유의차가 거의 없음을 확인할 수 있다.

일반적으로, 박막의 접착성은 기판과 박막 사이의 상호작용으로 표현되는데, 접착성은 박막의 증착 중 혹은 증착 후의 가열 온도에 비례한다고 알려져 있다¹⁴⁾. 따라서, 증착 온도가 감소하면 하부기판과의 접착성의 문제가 발생할 수 있다. 접착성을 확인하기 위하여 일반적으로 많이 사용되는 접착테이프를 이용한 접착력 측정을 행하였으나 큰 유의차는 확인되지 않았다. 따라서, 본 실험에서는 간접적으로 접착성을 확인할 수 있는 스크래치 테스트를 수행하였으며 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

그림 4는 유리기판 상에 증착된 IZO 박막에 대하여 증착된 박막의 표면 스크래치를 측정된 결과를 보여준다. 스크래치 실험을 위해, 박막의 두께 방향으로 수직 힘(normal force)을 700 μN로 가하고 수

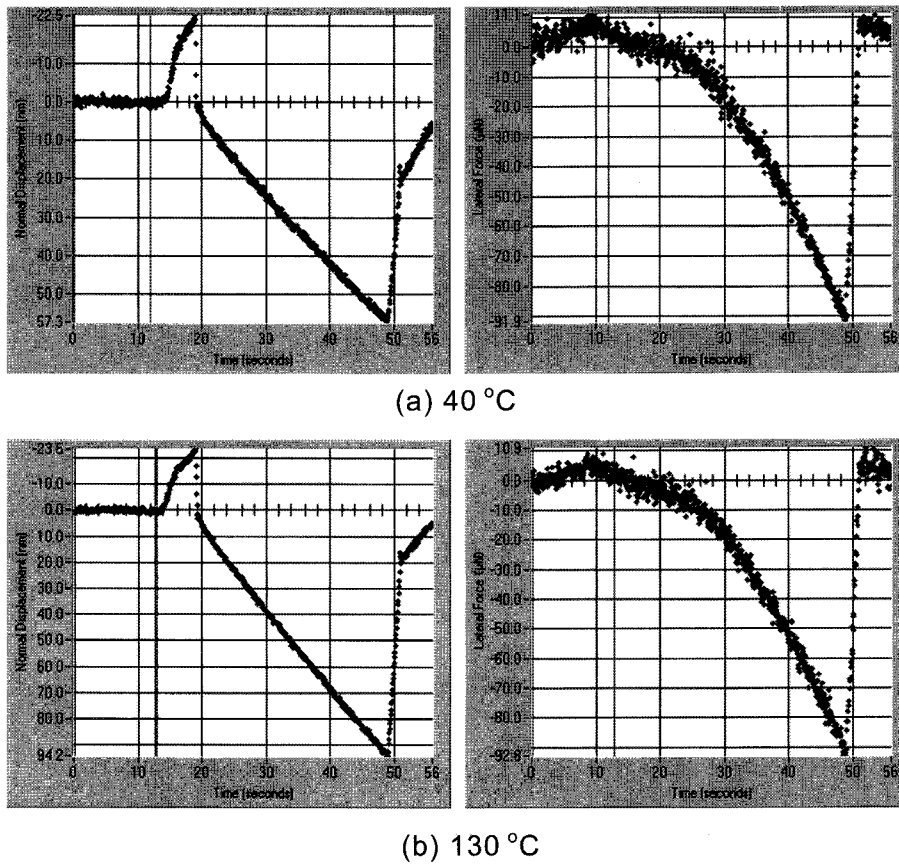


Fig. 4. Adhesion test results of IZO layer by varying deposition temperature.

평 방향으로 이동시키며 박막의 스크래치를 측정하였다. 측정 결과, 40°C에서 증착된 박막과 130°C에서 증착된 박막의 시료 모두 박막이 깨지는 포인트는 없었다. 그러나, 40°C에서 증착된 박막의 경우는 130°C에서 증착된 박막보다 normal displacement (depth)가 더 작게 측정되었다. 그림 4에서의 측정 결과를 보면, normal displacement(depth)가 40°C에서는 -22.5 nm, 130°C에서는 -23.5 nm로 측정되었다. 이는, 40°C에서 증착된 박막이 130°C에서 증착된 박막에 비해 박막의 내부 경도가 약한 것으로 판단된다. 그러나, 그림 4의 결과를 통하여 증착 온도에 따른 IZO 박막의 접착성은 큰 차이가 없는 것으로 사료된다.

그림 5는 증착 온도에 따른 IZO 박막의 투과도 (transmittance)를 측정한 결과를 나타내었다. 측정 결과, 40°C 그리고 130°C에서 증착된 박막의 투과도는 가시광선 영역에서 투과율이 거의 동일하였다. 특히, 가시광선 영역인 460~800 nm의 파장 영역에서는 거의 80% 이상의 투과도를 나타내었는데, 이것은 일반적으로 알려져 있는 유리 기판 위의 IZO (90:10) 박막의 경우, 가시광선 영역에서 평균 투과율이 80~90%인 결과¹⁰⁾와 동일한 결과를 보여주고 있다. 이로부터, 성막 온도를 상온으로 유지하여 박

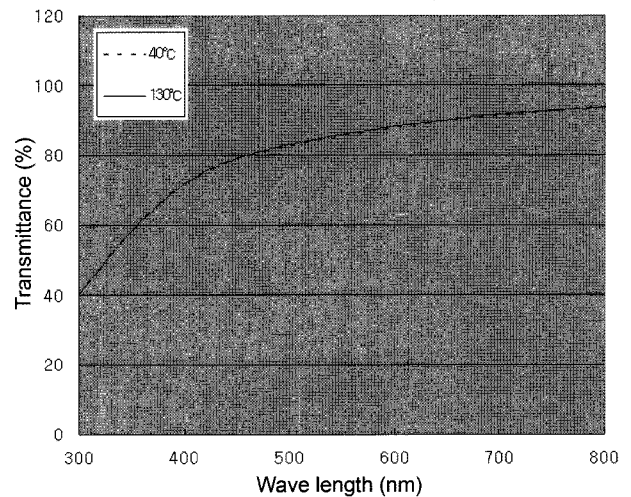


Fig. 5. Transmittance of IZO layer by varying deposition temperature.

막을 형성하더라도 IZO의 증착 온도에 따른 투과도의 변화는 없다.

4. 결 론

본 논문에서는 마그네트론 DC 스퍼터링 방법에 의해 후 열처리 공정 없이 상온에 가까운 낮은 온

도에서 대면적의 유리 기판 상에 IZO 투명 도전막을 증착하여, 기존의 100°C 이상의 저온 및 200°C 이상의 고온에서 성막한 IZO 투명 도전막과 전기적, 물리적, 그리고 광학적인 물성 특성을 서로 비교하였다.

증착 온도의 변화에 따라, 면저항은 박막의 증착 온도가 40°C로 내려갈수록 약 18% 정도 증가하였다. 그러나, 상온 근처의 저온 부근에서 증착시킨 경우에도 면저항의 평균값이 약 95.5 Ω/\square 의 실제적으로 대면적 TFT 액정표시장치의 투명 전극으로 사용될 수 있는 범위에 있는 것을 관찰할 수 있었으며, 또한, 대면적 TFT 액정표시장치의 제조에서 가장 중요한 인자중의 하나인 균일도 또한 증착온도에 따라 큰 유의차는 없이 각각의 조건에서 IZO 박막은 Rs 균일도가 약 10% 내외의 분포를 보임을 확인하였다. 또한, FESEM으로 살펴본 증착 온도별 박막의 표면 확인 시, 고온에서 증착된 IZO 박막의 표면이 저온 IZO 박막의 표면에 비해 상대적으로 더 많은 결정립 형태의 입자가 관찰되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 유리기판 상에 증착된 IZO 박막에 대하여 증착된 박막의 표면 스크래치를 측정하여 물리적인 접착력 특성을 살펴본 결과, 증착온도에 따른 IZO 박막의 접착성은 큰 차이가 없는 것을 확인하였다. 광학적인 물성 특성 비교는, 증착 온도에 따른 IZO 박막의 투과도를 측정하였으며, 40°C 그리고 130°C에서 증착된 박막의 투과도는 가시광선 영역에서 투과율이 거의 동일하였으며, 그 값 또한 일반적으로 알려져 있는 유리 기판 위의 IZO(90:10) 박막의 경우와 동일하게 가시광선 영역에서 평균 투과율이 80~90%인 결과와 동일한 결과를 보여주었다.

그러므로, 상온에 가까운 낮은 온도에서 증착된 IZO 투명 도전막은, 박막에 대한 여러 가지 측정 결과를 고려해 볼 때 대면적의 액정표시장치 투명 도전막으로서 사용이 가능하리라 사료된다.

참고문헌

1. A. C. Arias, L. S. Roman, T. Kugler, R. Toniolo, M. S. Meruvia, I. A. Hummelgen, *Thin Solid Film*, 371 (2000) 201.
2. F. Zhu, K. Zhang, B. L. Low, S. F. Lim, S. J. Chua, *Materials Science and Engineering*, B85 (2001) 114.
3. D. Vaufrey, M. B. Khalifa, M. P. Besland, J. Tardy, C. Sandu, M. G. Blanchin, J. A. Roger, *Materials Science and Engineering*, C21 (2002) 265.
4. A. Kaijou, M. Ohyama, M. Shibata, K. Inoue, U. S. Patent No. 5, 972,527 (1999).
5. T. C. Gorjanc, D. Leong, C. Py, D. Roth, *Thin Solid Films*, 413 (2002) 181.
6. J. Tashiro, A. Sasaki, S. Akiba, S. Satoh, T. Watanabe, H. Funakubo, M. Yoshimot, *Thin Solid Films*, 415, 272 (2002)
7. S. H. Park, H. M. Kim, B. R. Rhee, E. Y. Gho, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 40 (2001) 1429.
8. H. M. Kim, S. K. Jeung, J. S. Ahn, Y. J. Kang, C. K. Je, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42 (2003) 1.
9. K. Noda, H. Sato, H. Itaya, M. Yamada, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42 (2003) 1.
10. K. H. Kim, S. H. Park, J. J. Kim, H. M. Kim, *Saemuli*, 46(4) (2003) 213.
11. H. N. Cho, Yue Long Li, S. R. Min, C. W. Chung, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 17(6) (2006) 644.
12. J. S. Hong, J. K. Yoon, B. R. Rhee, S. H. Park, J. J. Kim, H. M. Kim, *Sae Mulli*, 48(4) (2004) 339.
13. B. Shin, C. W. Chung, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 15(3) (2004) 300.
14. C. Y. Choe, D. Y. Ma, W. D. Park, G. M. Choe, K. W. Kim, *Basic of Thin Film Technology*, p. 173,188, Iljin, Seoul, (2001) 310.
15. C. H. Park, H. J. Lee, H. B. Kim, D. H. Kim, G. H. Lee, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 38(5) (2005) 188.