JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 3 : 578~584 Mar. 2017

SiO_2 버퍼층을 갖는 PET 기판위에 증착한 IZTO 박막의 전기적 및 광학적 특성

박종찬[1] · 정양희[2] · 강성준[2*]

Electrical and Optical Properties of the IZTO Thin Film Deposited on PET Substrates with SiO_2 Buffer Layer

Jong-Chan Park[1] · Yang-Hee Joung[2] · Seong-Jun Kang[2*]

[1]Department of Electronic Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea
[2*]Department of Electrical & Semiconductor Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

요 약

PET (Polyethylene terephthalate) 플라스틱 기판 위에 IZTO (In-Zn-Sn-O) 박막을 증착하기 전에, SiO_2 버퍼층을 전자빔 증착 방법으로 100 nm 의 두께로 증착하였다. IZTO 박막은 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 RF 파워는 30~60 W 로, 공정 압력은 1~7 mTorr 로 변화시켜가며 SiO_2/PET 에 증착하여 IZTO 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성을 분석하였다. RF 파워 50 W 와 공정 압력 3 mTorr 에서 증착한 IZTO 박막이 4.53×10^{-3}/Ω 의 제일 큰 재료평가지수와 이때 4.42×10^{-4} Ω-cm 의 비저항과 27.63 Ω/sq. 의 면저항으로 가장 우수한 전기적 특성을 보였고, 가시광 영역 (400 ~800 nm) 에서의 평균 투과도도 81.24 % 로 가장 큰 값을 나타내었다. AFM 으로 IZTO 박막의 표면 형상을 관찰한 결과, 모든 IZTO 박막이 핀홀이나 크랙 같은 결함이 없는 표면을 가지며, RF 파워 50 W 와 공정 압력 3 mTorr 에서 증착한 박막이 1.147 nm 의 가장 작은 표면 거칠기를 나타내었다. 이로부터 SiO_2/PET 구조위에 증착한 IZTO 박막이 차세대 플렉시블 디스플레이 소자에 응용될 수 있는 매우 유망한 재료임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

SiO_2 buffer layer (100 nm) has been deposited on PET substrate by electron beam evaporation. And then, IZTO (In-Zn-Sn-O) thin film has been deposited on SiO_2/PET substrate with different RF power of 30 to 60 W, working pressure, 1 to 7 mTorr, by RF magnetron sputtering. Structural, electrical and optical properties of IZTO thin film have been analyzed with various RF powers and working pressures. IZTO thin film deposited on the process condition of 50 W and 3 mTorr exhibited the best characteristics, where figure of merit was 4.53×10^{-3} Ω^{-1}, resistivity, 4.42×10^{-4} Ω-cm, sheet resistance, 27.63 Ω/sq., average transmittance (400-800 nm), 81.24%. As a result of AFM, all the IZTO thin film has no defects such as pinhole and crack, and RMS surface roughness was 1.147 nm. Due to these characteristics, IZTO thin film deposited on SiO_2/PET structure was found to be a very compatible material that can be applied to the next generation flexible display device.

키워드 : IZTO 박막 , 고주파 마그네트론 스퍼터링, PET 기판, 버퍼층, 투명 전도막

Key word : IZTO Thin Film, RF Magnetron Sputtering, PET Substrate, Buffer Layer, TCO

Received 06 October 2016, **Revised** 14 October 2016, **Accepted** 23 October 2016

* **Corresponding Author** Seong-Jun Kang (E-mail : ferroksj@chonnam.ac.kr, Tel:+82-61-659-7317)
Department of Electrical and Semiconductor Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.3.578 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근, 차세대 디스플레이 기술로 플렉시블 디스플레이 기술이 큰 관심을 끌고 있다. 플렉시블 디스플레이의 기판으로는 유연성이 있는 고분자 플라스틱 재료인 PET (polyethylene terephthalate), PC (polycarbonate), PES (polyether sulfone) 등이 이용되고 있다. 이와 같은 고분자 플라스틱 기판은 기존의 유리 기판에 비해 가격이 저렴하고 가벼운 장점이 있으나 인장강도 및 신장강도와 같은 물리적인 특성이 떨어지고 고온에서 기판이 변형될 우려가 있다[1,2]. 또한, 플라스틱 기판은 습기와 가스를 쉽게 흡수하여 증착공정 중에 증착 면에 불순물로 침투시켜 다공성 박막을 만드는 단점도 있다[3,4]. 이와 같은 플라스틱 기판의 단점을 해결하기 위해, 투명 전도막을 증착하기 전에 일함수가 높고 산소와의 반응성이 적은 물질을 버퍼 층으로 증착할 필요가 있다[5]. 이 버퍼 층은 플라스틱 기판으로부터 침투되는 불순물을 막아줄 뿐만 아니라, 기판에 매끄럽게 증착되어 점착성과 전기적 특성의 개선을 기대할 수 있다.

현재 유기발광다이오드 (OLED) 같은 플렉시블 디스플레이 소자의 투명 전도막으로는 우수한 광학적 및 전기적 특성으로 인해 ITO (In-Sn-O) 박막이 광범위하게 사용되고 있다[4]. 그러나, ITO 박막은 높은 증착온도와 거친 표면 등의 단점을 가지고 있기 때문에 이를 극복할 새로운 투명 전도막으로 IZTO (In-Zn-Sn-O) 박막이 주목받고 있다[6]. ITO 에 ZnO 를 첨가한 IZTO 박막은 In_2O_3 구조내에 SnO_2 와 ZnO 의 불혼화성 때문에 결정화가 방해를 받아 안정한 비정질 구조를 갖게 된다. 이 비정질 구조의 IZTO 박막은 저온에서 증착이 용이하여 매끈한 표면을 가지며 전기적 및 광학적 특성도 매우 우수하기 때문에 플렉시블 디스플레이 소자로의 적용에 적합하다[6-10].

투명 전도막을 유리 기판에 적용하는 방법에 대한 연구는 비교적 많이 이루어 졌으나, 플라스틱 기판과 버퍼 층을 이용한 연구는 매우 미흡한 형편이다. 따라서, 본 논문에서는 PET 플라스틱 기판 위에 전자 빔 증착 방법으로 SiO_2 를 버퍼 층으로 증착시킨 뒤, RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 IZTO 박막을 증착하여, 공정조건 변화에 따른 IZTO 박막의 구조적 특성과 전기적 및 광학적 특성의 변화를 조사하였다. 이를 바탕으로 플렉시블 디스플레이 소자로의 응용 가능성을 연구하였다.

Ⅱ. 실험 방법

기존의 유리 기판과 달리, PET 기판은 아세톤에 의해 기판이 손상되기 때문에, 알코올과 정제수로 각각 2~3 분의 초음파세척을 한 뒤 질소로 건조하였다. 세척된 PET 기판 (125um, Teijin Dupont, TETORON) 위에 공정 압력 6.5×10^{-5} Torr 에서 증착률 3.8 Å/s 의 조건으로 전자빔 증착 방법을 이용하여 SiO_2 버퍼층을 100 nm 의 두께로 증착하였다. 버퍼 층이 증착된 PET 기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 IZTO 박막을 증착하였다. 표 1 에 IZTO 박막의 공정 조건을 상세히 나타내었다.

Table. 1 Conditions of RF magnetron Sputtering

Base pressure	lower than 4.5×10^{-6} mTorr
Ar gas flow rate	20 sccm
Working pressure	1, 3, 5, 7 mTorr
Substrate temperature	Room temperature
RF power	30, 40, 50, 60W
Depositing time	10 min.

IZTO 박막의 구조적 특성은 X 선 회절분석기 (PANalytical, X'Pert Pro MRD) 를 이용하여 조사하였고, 박막의 표면 형상은 AFM (SII Nano Technology, SPA400) 을 사용하여 측정하였다. 전기적 특성은 Hall 효과 측정기 (Accent, HL5500PC) 를 이용하여 실시하였다. 광학적 특성은 UV-Vis Spectrometer (Varian, Cary-500) 를 이용하여 300~800 nm 파장 범위에서 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

그림 1 과 2 는 100 nm 두께의 SiO_2 를 버퍼층으로 증착한 PET 기판 위에 공정 압력은 3 mTorr 로 고정시키고 RF 파워를 30~60 W 로 변화시키며 증착한 IZTO 박막과, RF 파워를 50 W 로 고정시키고 공정 압력을 1~7 mTorr 로 변화시키며 증착한 IZTO 박막의 X선 회절 분석 결과를 나타낸 것이다.

그림 1 과 2 에서 버퍼층과 투명 전도막이 증착되지 않은 PET 기판 자체의 XRD 분석 결과를 보면, PET

기판은 2Θ 가 23° 와 26° 일 때 높은 피크 값을 가진다. 이는 반 결정 (semi crystal) 구조인 PET 기판의 특징이다[11]. PET 기판으로 인한 23° 와 26° 에서의 높은 피크를 제외하면 RF 파워와 공정 압력에 무관하게 증착된 모든 IZTO 박막은 비정질의 구조를 가짐을 알 수 있다.

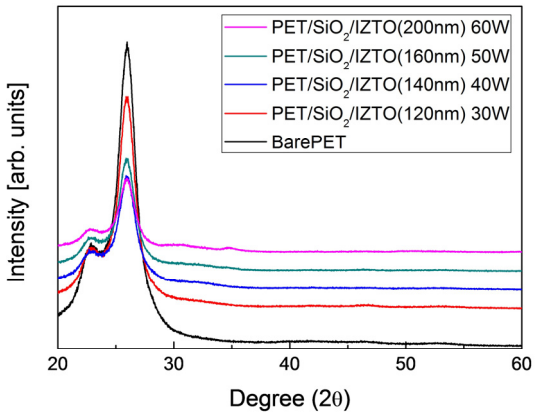

Fig. 1 XRD patterns of IZTO Films with different RF powers

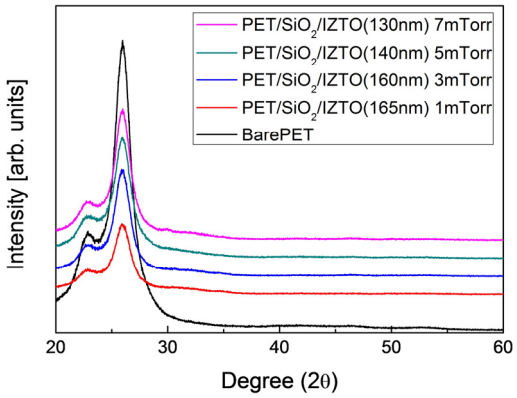

Fig. 2 XRD patterns of IZTO Films with different working pressures

그림 3 과 4 는 RF 파워와 공정 압력 변화에 따른 IZTO 박막의 표면 형상을 AFM 으로 관찰한 결과를 나타낸 것이다. RF 파워에 따른 IZTO 박막의 표면 거칠기 (rms roughness) 는 2.961 에서 1.147 nm 범위로 조사되었고, RF 파워 50 W 에서 증착한 박막이 1.147 nm 로 가장 작은 값을 나타내었다.

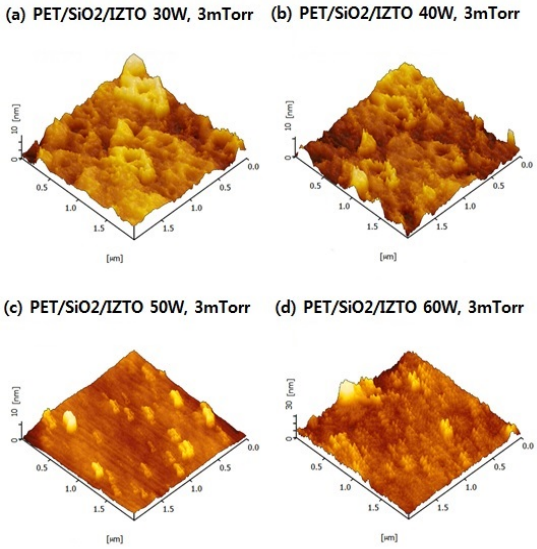

Fig. 3 AFM images of IZTO films with different RF powers

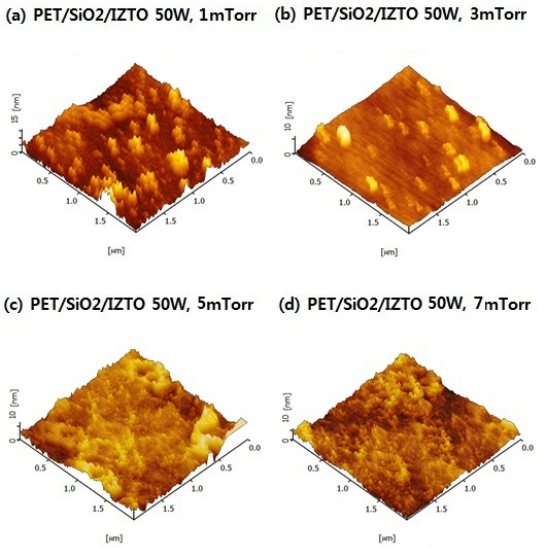

Fig. 4 AFM images of IZTO films with different working pressures

공정 압력의 변화에 따른 IZTO 박막의 표면 거칠기는 2.275 에서 1.147 nm 의 범위로 측정되었고, 공정 압력이 3 mTorr 일 때에 1.147 nm 로 가장 작은 값을 보였다. 유리기판에 비해 PET 기판의 표면 형상이 열악하고 이에 따라 표면 거칠기 값도 크게 나타난다.

따라서 유리기판위에 증착한 IZTO 박막에 비해서는 약간 큰 값의 표면 거칠기 값을 나타낸 것으로 생각된다. 증착된 IZTO 박막의 표면 형상은 전기적 특성에 영향을 미친다. 표면 거칠기가 작은 매끄러운 표면을 가질수록 박막의 전기적 특성 향상에 도움이 된다[12].

그림 5 와 6 에 RF 파워와 공정 압력 변화에 따른 IZTO 박막의 전기적 특성인 비저항과 면저항의 측정 결과를 각각 나타내었다.

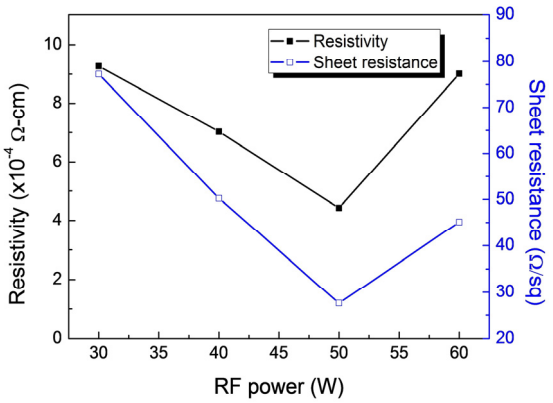

Fig. 5 Resistivity and sheet resistance of IZTO films with different RF powers

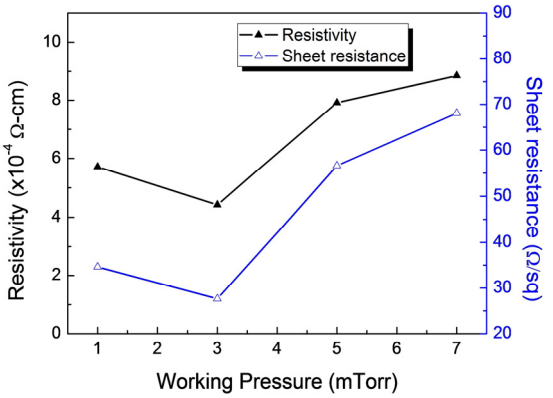

Fig. 6 Resistivity and sheet resistance of IZTO films with different working pressures

그림 5 에서 보듯이, RF 파워가 30 에서 50 W 로 증가함에 따라 비저항은 감소하는 추세를 보였다. RF 파워가 증가함에 따라 비저항과 면저항이 감소하는 원인은 IZTO 박막의 밀도와 밀접한 연관성을 가지고 있다. RF 파워가 증가하면 투명 전도막의 밀도가 커지고 캐리어의 산란이 감소하여 박막의 전기적 특성이 향상된다는 보고가 있다[10]. 그러나 RF 파워가 60 W 로 증가하면 비저항과 면저항이 다시 증가하는데, 이는 IZTO 박막의 화학양론적 변화에 기인한 것이라고 생각된다.

그림 6 에서 보듯이, 공정 압력이 7 에서 3 mTorr 로 감소함에 따라 IZTO 박막의 비저항 값이 작아지는 경향을 나타내었다. 공정압력이 1 mTorr 로 더 감소하면 비저항 값이 다시 증가하였다. 공정압력이 낮으면 우수한 이동도를 갖는 박막 구조가 얻어져서 비저항 값이 감소한다고 보고되고 있다[11]. 그러나, 공정압력이 너무 낮으면 스퍼터링 입자들의 평균자유경로가 길어져서 박막에 충돌하는 입자들의 에너지가 너무 크게 되어 박막에 결함을 야기해서 전기적 특성이 나빠지게 된다.

RF 파워 50 W 와 공정 압력 3 mTorr 에서 증착한 IZTO 박막이 4.42×10^{-4} Ω-cm 의 비저항과 27.63 Ω/sq. 의 면저항으로 가장 우수한 전기적 특성을 보였으며 그림 3 과 4 의 AFM 결과에서 보듯이 이 경우가 가장 작은 표면 거칠기 값을 나타내었다[13,14].

그림 7 과 8 은 RF 파워와 공정 압력의 변화에 따른 IZTO 박막의 투과도 곡선을 나타낸 것이다. RF 파워와 공정 압력에 따른 IZTO 박막의 두께 차이 때문에 상이한 형태의 투과도 곡선이 측정되었으며, 이는 박막 두께에 의한 간섭 현상에 의한 것으로 알려져 있다.

그림 9 와 10 은 RF 파워와 공정 압력 변화에 따른 IZTO 박막의 가시광 영역 (400~800 nm) 에서의 평균 투과도와 재료평가지수 (Figure of merit, Φ_{TC}) 를 나타낸 것이다. 재료평가지수는 투명 전도막의 성능을 비교하는 매우 유용한 도구이다. 면저항과 가시광 영역에서의 평균 투과도를 이용하여 Haacke 에 의해 제안된 식 (1) 의 재료평가지수를 구할 수 있다[15].

$$\phi_{TC} = T^{10}/R_{sh} \qquad (1)$$

여기서, T 는 가시광 영역에서의 평균 투과도이고 R_{sh} 는 IZTO 박막의 면저항 이다. RF 파워가 40 과 50 W 일 때 가시광 영역에서의 평균 투과도는 81~82 % 로

비교적 큰 값을 나타내었다.

공정 압력 변화에 따른 가시광 영역에서의 평균 투과도는 큰 변화가 보이지 않았다. 이로부터 가시광 영역에서의 평균 투과도는 공정 압력보다는 RF 파워에 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 가시광 영역의 투과도 변화에 비해 면저항의 변화가 매우 크기 때문에, 재료평가지수는 면저항 값의 경향에 의존하게 된다. 따라서 RF 파워 50 W 와 공정 압력은 3 mTorr 에서 $4.53\times10^{-3}/\Omega$ 의 가장 높은 재료평가지수를 얻을 수 있었다.

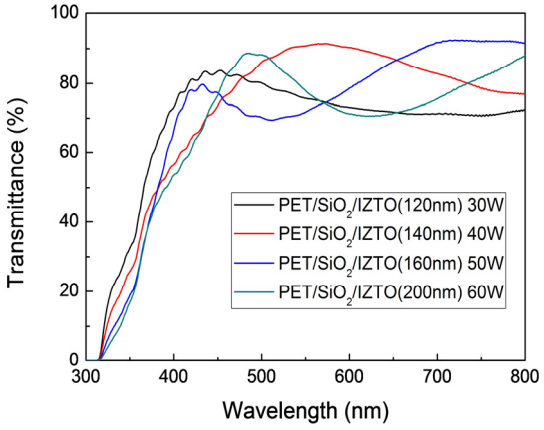

Fig. 7 Transmittance of PET / SiO_2 / IZTO films with different RF powers

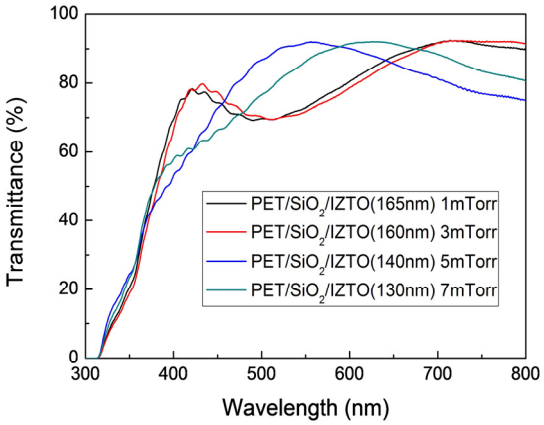

Fig. 8 Transmittance of PET / SiO_2 / IZTO films with different working pressures

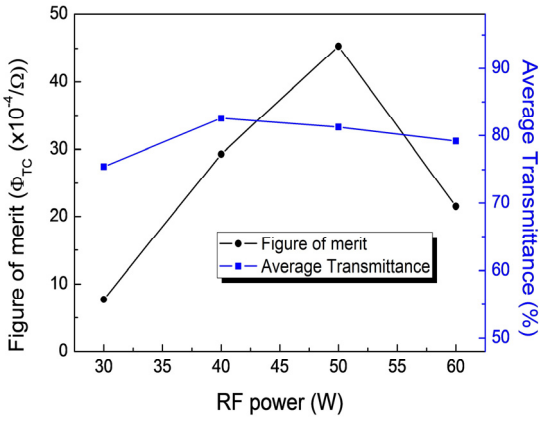

Fig. 9 Average Transmittance & Figure of Merits(Φ_{TC}) of PET/SiO_2/IZTO films with different RF power.

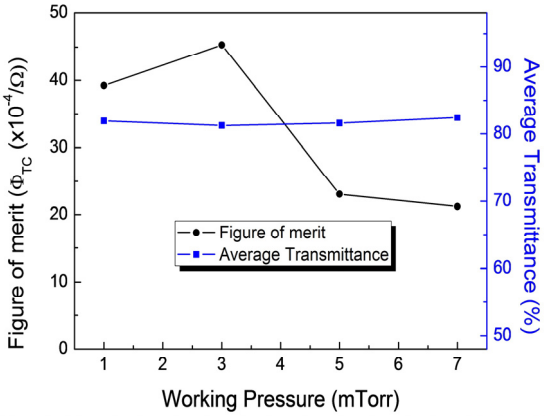

Fig. 10 Average Transmittance & Figure of Merits(Φ_{TC}) of PET/SiO_2/IZTO films with different working pressure.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 플라스틱인 PET 를 기판으로 사용하고 플라스틱 기판의 단점을 보완하기 위한 방안으로 SiO_2 를 버퍼 층으로 100 nm 의 두께로 증착한 후, IZTO 박막을 RF 파워 30~50 W, 공정 압력 1~7 mTorr 로 변화시켜가며 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 증착된 IZTO 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성을 분석하여 최적의 공정조건을 찾고자 하였다.

XRD 측정을 통해 공정조건에 무관하게 모든 IZTO 박막이 비정질 구조를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. IZTO 박막의 표면을 AFM 으로 관찰한 결과, 모든 박막이 핀홀이나 크랙 같은 결함이 없는 표면을 가지며, RF 파워 50 W 와 공정 압력 3 mTorr 에서 증착한 박막이 1.147 nm 의 가장 작은 표면 거칠기를 나타내었다. Hall 측정 결과, RF 파워 50 W 와 공정 압력 3 mTorr 에서 증착한 IZTO 박막이 4.42×10^{-4} Ω-cm 의 비저항과 27.63 Ω/sq. 의 면저항으로 가장 우수한 전기적 특성을 보였고, 가시광 영역 (400～800 nm) 에서의 평균 투과도도 81.24 % 로 가장 큰 값을 나타내었다. IZTO 박막의 면저항과 가시광 영역에서의 평균 투과도를 이용하여 구한 재료평가지수도 RF 파워 50 W 와 공정 압력 3 mTorr 일 때 4.53×10^{-3}/Ω 의 가장 좋은 값을 나타내었다.

본 연구를 통해 SiO_2/PET 구조위에 증착한 IZTO 박막이 차세대 플렉시블 디스플레이 소자에 응용될 수 있는 매우 유망한 재료라는 것을 알 수 있었다.

REFERENCES

[1] N. Ito, Y. Sato, P. K. Song, A. Kaijio, K. Inoue, Y. Shigesato, “Electrical and Optical Properties of Amorphous Indium Zinc Oxide Films,” *Thin solid Films*, vol. 496, pp. 99-103, Sep. 2005.

[2] K. H. Lee and H. W. Jang, “Mechanism for The Increase of Indium-Tin-Oxide Work Function by O_2 Inductively Coupled Plasma Treatment,” *Journal of Applied Physics*, vol. 95, pp. 586-590, Jan. 2004.

[3] H. Zhuang, J. Yan, C. Xu, D. Meng, “Transparent Conductive Ga_2O_3/Cu/ITO Multilayer Films Prepared on Flexible Substrates at Room Temperature,” *Applied Surface Science*, vol. 307, pp. 241-245, Apr. 2014.

[4] B. Houng, S. L. Lin, S. W. Chen, A. Wang, “Influence of An In_2O_3 Buffer Layer on The Properties of ITO Thin Films,” *Ceramics International*, vol. 37, pp. 3397-3403, Jun. 2011.

[5] T. Ishida, H. Kobayashi, Y. Nakato, “Structures and Properties of Electron Beam Vaporated Indium Tin Oxide Films as Studied by Xray Photoelectron Spectroscopy and Work Function Measurements,” *Journal of Applied Physics*, vol. 73, pp. 4344-4350, May 1993.

[6] J. H. Kim, K. A. Jeon, G. H. Kim, S. Y. Lee, “Electrical, Structural, and Optical Properties of ITO Tin Films Prepared at Room Temperature by Pulsed Laser Deposition,” *Applied Surface Science*, vol. 252, pp. 4834-4832, Nov. 2005.

[7] C. Jang, K. Kim, K. C. Choi, “Flexible Photoluminescent Display Fabricated With Low-Temperature Process Using PET Substrates,” *Journal of display technology*, vol. 8, pp. 250-255, May 2012.

[8] D. Y. Lee, J. R. Lee, G. H. Lee, P. K. Song, “Study on In-Zn-Sn-O and In-Sn-Zn-O Films Deposited on PET Substrate by Magnetron Co-sputtering System,” *Surface & Coating Technology*, vol. 202, pp. 5718-5723, Jun. 2008.

[9] Y. R. Denny, S. Y. Lee, K. I. Lee, S. J. Seo, S. K. Oh, H. J. Kang, S. Heo, J. G. Chung, J. C. Lee, S. Tougaard, “Effects of Gas Environment on Electronic and Optical Properties of Amorphous Indium Zinc Tin Oxide Thin Films,” *Journal of Vacuum Science & Technology A*, vol. 31, pp. 031508-1-7, Apr. 2013.

[10] B. J. Woo, J. S. Hong, S. T. Kim, S. H. Park, J. J. Kim, “Effect of A SiO_2 Buffer Layer on The Characteristics of In_2O_3-ZnO-SnO_2 Films Deposited on PET Substrates,” *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 48, pp. 1579-1582, Jun. 2006.

[11] X. Ding, J. Yan, T. Li, L. Zhang, “Effect of SiO_2 Buffer Layer Thickness on The Properties of ITO/Cu/ITO Multilayer Films Deposited on Polyethylene Terephthalate Substrates,” *Vacuum*, vol. 86, pp. 443-447, Sep. 2011.

[12] S. H. Kwon, Y.M. Kang, Y.R. Cho, S.H. Kim, P.K. Song, “Effect of TiO_2 Buffer Layer Thickness on Properties of IZTO Films Deposited on Flexible Substrate,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 205, pp.S312-S317, Aug. 2010.

[13] X. Ding, J. Yan, T. Li, L. Zhang, “Transparent Conductive ITO/Cu/ITO Films Prepared on Flexible Substrates at Room Temperature,” *Applied Surface Science*, vol. 258, pp. 3082-3085, Nov. 2011.

[14] C. M. Lee, A. Park, Y. J. Cho, M. W. Park, W. I. Lee, H. W. Kim, “Influence of ZnO Buffer Layer Thickness on The Electrical and Optical Properties of Indium Zinc Oxide Thin Films Deposited on PET Substrates,” *Ceramics International*, vol. 34, pp. 1093-1096, Oct. 2007.

[15] G. Haacke, “New Figure of merit for Transparent Conductors,” *Journal of Applied Physics*, vol. 32, pp. 4086-4089, Aug. 1976.

박종찬(Jong-Chan Park)

2015년 2월 인하대 전자공학과 졸업(공학석사)
2015년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정
※관심분야 : 투명전도막, 유기발광다이오드, 태양전지

정양희(Yang-Hee Joung)

1985년 8월 인하대 응용물리학과 졸업(공학석사)
1993년 8월 인하대 전자재료공학과 졸업(공학박사)
1988~1995년 LG반도체 선임연구원
1995~현재 전남대학교 전기 및 반도체공학과 교수
※관심분야 : VLSI 공정 및 반도체 물성

강성준(Jun-Seong Kang)

1994년 8월 인하대 전자재료공학과 졸업(공학석사)
1999년 2월 인하대 전자재료공학과 졸업(공학박사)
2000년 ~ 현재 전남대학교 전기 및 반도체공학과 교수
※관심분야 : II-VI 화합물 반도체, 기능성 박막, 반도체 공정 및 재료