

Nb₂O₅/SiO₂ 버퍼층위에 증착한 ITO 박막의 전기적 및 광학적 특성에 DC 파워가 미치는 영향

정양희* · 강성준**

Influence of the DC Power on the Electrical and Optical Properties of ITO Thin Films Deposited on Nb₂O₅/SiO₂ Buffer Layer

Yang-Hee Joung* · Seong-Jun Kang**

요 약

본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 ITO 박막을 Nb₂O₅ (8 nm)/SiO₂ (45 nm) 버퍼층위에 증착하여, DC 파워(100~400 W) 변화에 따른 박막의 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. ITO 박막의 표면을 AFM으로 관찰한 결과, 모든 박막이 핀홀이나 크랙 같은 결함이 없는 표면을 가지며, DC 파워 200 W에서 증착한 박막이 1.431 nm의 가장 작은 표면 거칠기를 나타내었다. 전기적 및 광학적 특성 측정 결과, DC 파워 200 W에서 증착한 ITO 박막이 $3.03 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 가장 낮은 비저항 값을 보였고 가시광 영역(400~800 nm)에서의 평균 투과도와 파장 550 nm에서의 투과도는 각각 85.8% 와 87.1%로 조사되었고 색도(b*) 값도 2.13 으로 비교적 우수한 값을 나타내었다. ITO 박막의 면저항과 가시광 영역에서의 평균 투과도 및 파장 550 nm에서의 투과도를 이용하여 구한 재료평가지수는 DC 파워 200 W일 때 각각 $2.50 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ 과 $2.90 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ 의 가장 우수한 값을 나타내었다.

ABSTRACT

In this study, we deposited ITO thin films on buffer layer of Nb₂O₅ (8nm)/SiO₂ (45nm) using DC magnetron sputtering method and investigated its electrical and optical properties with various DC powers(100~400 W). The surface of the ITO thin film was observed by AFM. All thin films had defect free surface such as pinholes and cracks. The thin film deposited at DC power of 200 W exhibited the smallest surface roughness of 1.431nm. As a result of electrical and optical measurements, the ITO thin film deposited at DC power of 200 W which showed the lowest resistivity of $3.03 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$. The average transmittance in the visible light region(400 to 800 nm) and the transmittance at the wavelength of 550nm were found to be 85.8% and 87.1%, respectively. The chromaticity(b*) was also a relatively good value as 2.13. The figure of merit obtained from the sheet resistance of the ITO thin film, the average transmittance in the visible light region and the transmittance at the wavelength of 550nm were the best values of $2.50 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ and $2.90 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ at a DC power of 200W, respectively.

키워드

Touch Screen, ITO Thin Film, Resistivity, Transmittance, Figure of Merit
터치 스크린, ITO 박막, 비저항, 투과도, 재료평가지수

* 전남대학교 전기 및 반도체공학과(jyanghee@jnu.ac.kr) • Received : Mar. 11, 2019, Revised : Mar. 28, 2019, Accepted : Apr. 15, 2019

** 교신저자 : 전남대학교 전기 및 반도체공학과

• Corresponding Author : Seong-Jun Kang

• 접수일 : 2019. 03. 11

Dept. of Electrical and Semiconductor Engineering, Chonnam National University.

• 수정완료일 : 2019. 03. 28

Email : ferroksj@jnu.ac.kr

• 게재확정일 : 2019. 04. 15

1. 서론

최근 정보화 기술의 급속한 발전과 더불어 멀티미디어 및 첨단 전자 기기들의 보급으로 평판 디스플레이 소자의 중요성이 높아지고 있다. 특히, 휴대폰과 태블릿 PC 등으로 대표되는 모바일 기기에서는 사용자의 편의성을 위하여 터치스크린 패널(TSP : Touch Screen Panel)을 채택한 디스플레이 소자의 비중이 점차 증대하고 있다. 터치스크린 패널은 ITO(Indium Tin Oxide) 투명전극이 증착된 상판과 하판으로 구성되며, 사용자가 손가락이나 펜 등으로 화면을 누르거나 접촉하면, 그 위치를 인지하여 시스템에 전달하는 입력장치이다[1-3].

터치스크린은 인식 방식에 따라 저항식(resistive)과 정전용량식(capacitive)으로 크게 구분할 수 있다. 저항식은 투명전극이 증착되어 있는 두 장의 기판을 도트 스페이서를 사이에 두고 서로 마주보도록 합착시키는 구조로 이루어져 있으며, 제조 비용이 저렴하고 다양한 장치를 입력 도구로 활용하고 있다는 장점을 갖고 있으나, 대형화에 어려움이 있고 내구성이 낮다는 단점이 있다. 정전용량식은 터치화면 센서를 구성하는 기판의 양면에 특수 전도성 금속을 코팅하여 투명전극을 형성하고, 일정량의 전류를 유리 표면에 흐르게 하면 두 도체 간의 전위차를 통해서 사용자가 터치를 할 때 사람의 몸에 있는 정전용량을 이용하여 전류의 양이 변경된 부분을 인식하고 크기를 계산하여 위치를 검출하는 원리로 작동한다. 정전용량식은 가격이 비싸다는 단점이 있지만 멀티터치와 고해상도가 가능해 스마트폰과 태블릿 PC 등에 광범위하게 적용되고 있다[4-6]. 정전용량식 터치스크린에서 가장 문제가 되는 부분은 베이스층과 박막층과의 굴절률 차이로 인해 ITO의 전극 패턴이 육안으로 관찰된다는 점이다. 따라서, 베이스층에 버퍼층을 삽입해 ITO 전극 패턴을 효과적으로 제거하여 가시광선 영역 전 파장에 걸쳐 비교적 균일한 투과도 특성을 나타내게 하여 시인성(visibility)을 높이는 인덱스 매칭(index matching) 기술이 필수적이다[7-8]. 시인성의 측면에서 또 하나 고려해야 할 것이 ITO 박막의 색도(chromaticity) 가운데 b^* 값인데, 이 값이 작을수록 눈의 피로감이 줄고 시인성이 높아지게 된다[9]. 그러나, 터치스크린 응용을 위한 인덱스 매칭이나 색도

(b^*)에 대한 연구는 그 중요성에 비해 상당히 미흡한 형편이다.

이에 본 연구에서는 인덱스 매칭을 위해 베이스층인 유리기관위에 Nb_2O_5 와 SiO_2 두 개층을 버퍼층으로 도입하였다. 그 후, ITO 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착하면서, DC 파워 변화에 따른 ITO 박막의 전기 전도성, 투과도, 색도(b^*) 값 등을 조사하여 정전용량식 터치스크린 패널의 활용 가능성에 대해 연구하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 정전용량식 터치스크린 응용을 위한 인덱스 매칭 구조로 유리기관위에 Nb_2O_5/SiO_2 버퍼층을 증착하였다. 유리기관 표면에 있는 불순물을 제거하기 위하여 아세톤 (15분)/알코올 (15분)/증류수 1차 (10분)/증류수 2차 (15분) 순서로 초음파 세척을 하였고 질소 가스를 이용하여 건조하였다. 건조된 유리기관위에 Nb_2O_5 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착한 후, 그 위에 SiO_2 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착하여 버퍼층 구조를 완성하였다. 각각의 증착조건은 표 1에 상세히 나타내었다.

표 1. Nb_2O_5 와 SiO_2 박막의 증착조건
Table 1. Deposition conditions for the Nb_2O_5 and SiO_2 thin films

	Nb_2O_5 buffer layer	SiO_2 buffer layer
Base Pressure	2×10^{-6} Torr	2×10^{-6} Torr
Working Pressure	3 mTorr	3 mTorr
Substrate Temp.	200°C	200°C
$O_2/(Ar+O_2)$ Ratio	15%	20%
Sputtering Power	DC : 100W	RF : 900W
Thickness	8 nm	45 nm

버퍼층 증착이 끝난 후, ITO 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착하였다. ITO ($In_2O_3:SnO_2 = 93 \text{ wt}\%:7 \text{ wt}\%$) 조성의 타겟을 사용하였고, 증착조건은 표 2에 정리해서 나타내었다.

표 2. ITO 박막의 증착조건

Table 2. Deposition conditions for the ITO thin films

	ITO thin film
Base Pressure	2×10 ⁻⁶ Torr
Working Pressure	3 mTorr
Substrate Temp.	400℃
O ₂ /(Ar+O ₂) Ratio	1%
Sputtering Power	DC : 100~400W

ITO 박막의 미세구조와 표면형상은 AFM(SII Nano Technology, SPA400)을 이용하여 측정하였다. 광학적 특성은 UV-Vis Spectrometer(Varian, Cary-500)를 이용하여 관찰하였고, 전기적 특성은 Van der Pauw 법을 이용한 Hall effect measurement (Accent, HL5500PC)를 실시하여 조사하였다.

III. 결과 및 논의

그림 1 은 DC 파워를 100 에서 400 W로 변화시키 가며 증착한 ITO 박막의 비저항과 면저항을 나타낸 것이다.

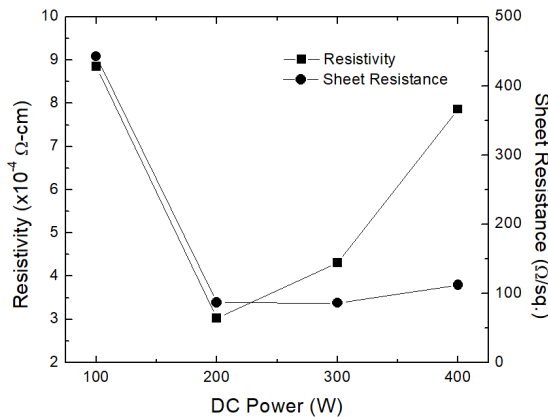


그림 1. DC 파워에 따른 ITO 박막의 비저항과 면저항
Fig. 1 Resistivity and sheet resistance of the ITO thin films with various DC power

그림 1 에서 보듯이, DC 파워가 100 에서 200 W로 증가하면 ITO 박막의 비저항은 8.85×10⁻⁴에서

3.03×10⁻⁴Ω-cm로 감소하였다. 이는 DC 파워가 증가함에 따라 ITO 박막의 밀도가 커지고 캐리어 산란이 감소하기 때문이다. DC 파워가 300 W, 400 W로 증가하면 ITO 박막의 비저항은 각각 4.31×10⁻⁴Ω-cm, 7.86×10⁻⁴Ω-cm로 커졌다. 이는 DC 파워가 증가하면 스퍼터링에 의해 발생된 Ar 중성원자 등과 같은 고에너지 입자들의 충돌에 의한 atomic peening effect 로 인해 박막이 손상되기 때문인 것으로 알려져 있다 [10]. 이런 현상은 그림 2 에 나타난 AFM결과로 부터도 확인 할 수 있다. 면저항의 경우, 비저항의 추세와 유사하나 DC 파워가 증가함에 따라 박막의 두께도 더 두꺼워져서 300 W에서 증착한 박막의 면저항이 86.2Ω/sq.로 200 W에서의 86.6Ω/sq.보다 약간 작은 값을 나타내었다.

그림 2 에 DC 파워 변화에 따른 ITO 박막의 표면 형상을 AFM으로 관찰한 결과를 나타내었다.

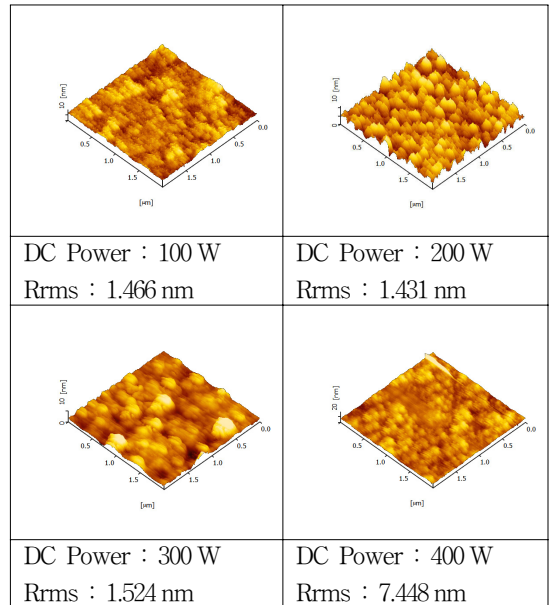


그림 2. DC 파워에 따른 ITO 박막의 AFM 표면 형상
Fig. 2 The AFM images of the ITO thin films with various DC power

DC 파워에 상관없이 모든 ITO 박막은 핀홀이나 크랙 같은 결함이 없는 표면 형상을 나타내었다. 그림 2 에서 보듯이, DC 파워가 100 에서 200 W로 증가함에 따라 박막의 표면 거칠기가 감소하다가 200 W이

상으로 증가하면 박막의 표면 거칠기가 다시 커지는 추세를 나타내었다. DC 파워 200 W 에서 가장 작은 1.431 nm의 표면 거칠기 값을 나타내었다. DC 파워가 400 W로 증가하면 박막의 표면 거칠기가 7.448 nm로 매우 큰 값을 나타내었다. 이는 앞에서 언급한 atomic peening effect 에 기인한 박막의 손상이 원인일 것으로 생각된다.

그림 3 은 DC 파워를 100 에서 400 W로 증가시켜 가며 증착한 ITO 박막의 투과도 곡선을 나타낸 것이다.

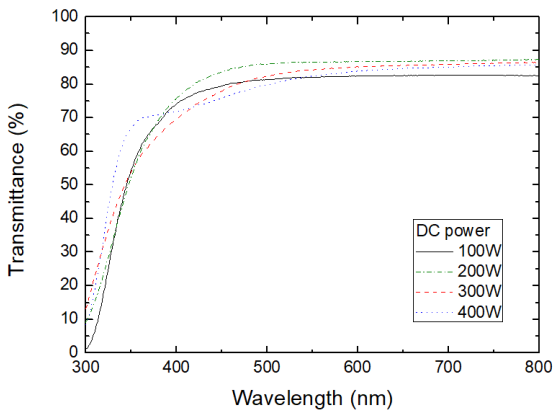


그림 3. DC 파워에 따른 ITO 박막의 투과도
Fig. 3 Transmittance of the ITO thin films with various DC power

그림 3 에서 보듯이, DC 파워 400 W에서 증착한 ITO 박막을 제외하고는 비교적 전 영역의 파장에서 일정한 투과도를 나타내었고, DC 파워가 증가함에 따라 투과도 곡선의 흡수단이 단파장 쪽으로 이동하는 것이 관찰되었다. DC 파워가 100, 200, 300, 400 W 일 때, 가시광 영역(400~800 nm)에서의 평균 투과도는 각각 81.5, 85.8, 83.3, 82.1%로 나타났다. 인간의 시각이 가장 민감하다고 알려진 파장 550nm에서의 투과도는 DC 파워에 따라 각각 82.6, 87.1, 84.6, 82.9 %로 나타났다.

그림 4 에 DC 파워에 따른 ITO 박막의 가시광 영역(400~800 nm)에서의 평균 투과도와 파장 550 nm에서의 투과도 및 이에 따른 재료평가지수(Figure of merit, Φ_{TC})를 나타내었다. 재료평가지수는 유사한 비저항 값과 투과도를 나타내는 투명 전도막의 성능을

비교하는 매우 유용한 도구이다. 면저항과 투과도를 이용하여 Haacke 에 의해 제안된 재료평가지수[11]를 식 (1) 에 의해 계산할 수 있다.

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

여기서, T는 가시광 영역에서의 평균 투과도이고 R_{sh} 는 ITO 박막의 면저항 이다.

DC 파워 200 W에서 증착한 ITO 박막의 면저항은 86.6 Ω /sq.이고 가시광 영역에서의 평균 투과도와 파장 550 nm에서의 투과도는 각각 85.8% 와 87.1%이었다. 이때 재료평가지수는 각각 $2.50 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ 과 $2.90 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ 로 가장 큰 값을 나타내었다.

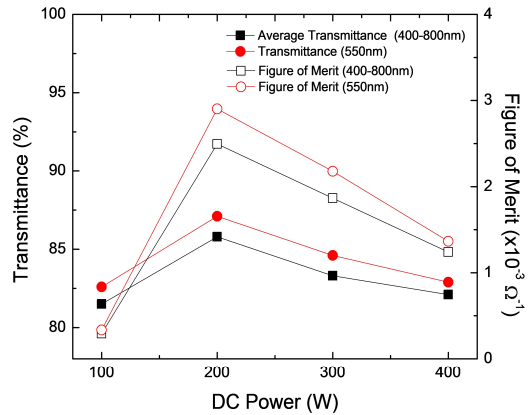


그림 4. DC 파워에 따른 ITO 박막의 파장 550 nm와 400~800 nm의 파장 범위에서의 투과도와 재료평가지수

Fig. 4 Transmittance and figure of merit of the ITO thin films with various DC power in wavelength ranges of 400~800 nm and for 550 nm wavelength

그림 5 는 DC 파워에 따른 ITO 박막의 색도(b^*) 변화를 나타낸 것이다. 색도(b^*)는 박막의 시인성을 평가하는데 유용한 척도로 사용될 수 있다. DC 파워가 100 에서 400 W로 증가함에 따라 색도(b^*)는 - 0.84 에서 5.02 로 증가하는 추세를 나타내었다. 이는 ITO 박막이 파란색(blue) 색도에서 노란색(yellow) 색도로 이동했음을 의미하며, DC 파워가 증가할수록 시인성이 악화되어 눈의 피로감이 커진다는 것을 나타내는 것이다.

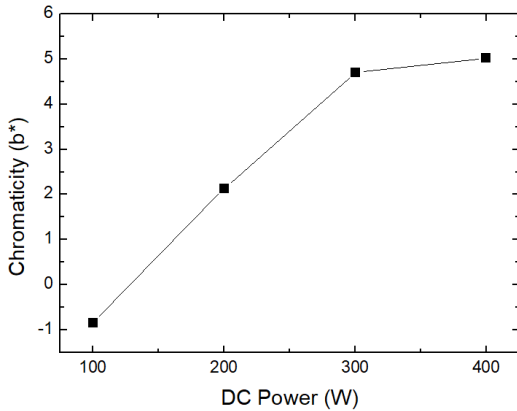


그림 5. DC 파워에 따른 ITO 박막의 색도(b*)
Fig. 5 Chromaticity(b*) of the ITO thin films with various DC power

IV. 결론

본 연구에서는 정전용량식 터치 패널 응용을 위한 인덱스 매칭 구조로 유리기판과 ITO 박막 사이에 Nb₂O₅ (8 nm)/SiO₂(45 nm) 구조의 버퍼층을 도입하였다. 그 후, ITO 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착하면서, DC 파워 변화에 따른 박막의 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다.

ITO 박막의 표면을 AFM으로 관찰한 결과, 모든 박막이 핀홀이나 크랙 같은 결함이 없는 표면을 가지며, DC 파워 200 W에서 증착한 박막이 1.431 nm의 가장 작은 표면 거칠기를 나타내었다. 전기적 및 광학적 특성 측정 결과, DC 파워 200 W에서 증착한 ITO 박막이 $3.03 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 의 비저항과 86.6 Ω/sq 의 면저항을 나타내었고, 가시광 영역(400~800 nm)에서의 평균 투과도와 파장 550 nm에서의 투과도는 85.8%와 87.1%로 조사되었고 색도(b*)의 값도 2.13으로 비교적 우수한 값을 나타내었다. ITO 박막의 면저항과 가시광 영역에서의 평균 투과도 및 파장 550 nm에서의 투과도를 이용하여 구한 재료평가지수는 DC 파워 200 W일 때 각각 $2.50 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ 과 $2.90 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ 의 가장 우수한 값을 나타내었다.

본 연구를 통해 Nb₂O₅/SiO₂ 두개의 버퍼층위에 증착한 ITO 박막을 이용한 구조는 정전용량식 터치 패널 연구에 매우 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] G. Barret and R. Omote, "Projected-capacitive touch technology," *Information Display*, vol. 26, no. 3, Mar. 2010, pp. 16-21.
- [2] X. Zhou, J. Xu, L. Yang, G. Zhu, and Z. Yu, "Effects of Tin Content on Structure, Properties Electrical Repeatability, Uniformity and Stability of High Sheet Resistance ITO Thin Films for Touch Panels," *J. Materials Science : Materials in Electronics*, vol. 26, issue 9, June 2015, pp. 6954-6960.
- [3] Y. Kim and A. Tewfik, "Low Power Detection on Capacitive Touch Screens", *2013 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing*, Austin, TX, USA, Dec. 2013, pp. 638-641.
- [4] R. Aguilar and G. Meijer, "Fast Interface Electronics for a Resistive Touch Screen," *In Proc. IEEE Sensors*, vol. 2, June 2002, pp. 1360-1363.
- [5] T. Hwang, W. Cui, I. Yang, and O. Kwon, "A Highly Area-Efficient Controller for Capacitive Touch Screen Panel Systems," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 56, issue 2, May 2010, pp. 1115-1122.
- [6] S. Hotelling and B. Land, "Double-Sided Touch-Sensitive Panel with Shield and Drive Combined Layer," *United States Patent*, no. 11650182, July 3, 2008.
- [7] C. Hong, J. Shin, B. Ju, K. Kim, N. Park, B. Kim, and W. S. Cheong, "Index-Matched Indium Tin Oxide Electrodes for Capacitive Touch Screen Panel Applications," *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 13, no. 11, Nov. 2013, pp. 7756-7759.
- [8] C. Kim, W. Choi, S. K. Cho, G. Daiji, D. Ham, K. Kim, J. Jeong, J. Lee, and S. Lee, "Fabrication of Structurally Simple Index-Matched ITO Films Using Roll-to-Roll Sputtering for Touch Screen Panel Devices," *Plasma Processes & Polymers*, vol. 12, issue -11,

Nov. 2015, pp. 1322-1327.

- [9] M. Park, B. Kang, J. Kim, H. Kim, H. S. Kim, W. Lim, and S. Choi, "Chromaticity (b^*), Sheet Resistance and Transmittance of SiO₂-ITO Thin Films Deposited on PET Film by Using Roll-to-Roll Sputter System," *Korean J. Materials Research* vol. 21, no. 5, May 2011, pp. 255-262.
- [10] S. Kim, S. Cho, S. Choi, H. Yoon, and P. Song, "Properties of ITO Films Deposited by RF Superimposed DC Magnetron Sputtering," *Current Applied Physics*, vol. 9, issue 3, Mar. 2009, pp. S262 - S265.
- [11] G. Haacke, "New Figure of merit for Transparent Conductors," *J. Applied Physics*, vol. 47, issue 9, Oct. 1976, pp. 4086-4089.

저자 소개



정양희 (Yang-Hee Joung)

1983년 단국대학교 응용물리학과 졸업(공학사)

1985년 인하대학교 대학원 응용물리학과 졸업(공학석사)

1993년 인하대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(공학박사)

현재 전남대학교 전기 및 반도체공학과 교수

※ 관심분야 : 반도체 공정 및 물성



강성준 (Seong-Jun Kang)

1989년 인하대학교 응용물리학과 졸업(공학사)

1994년 인하대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(공학석사)

1999년 인하대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(공학박사)

현재 전남대학교 전기 및 반도체공학과 교수

※ 관심분야 : 기능성 박막, 반도체 공정 및 재료