

정전용량식 터치스크린 패널을 위한 SiO₂ 버퍼층 두께에 따른 ITO 박막의 전기적 및 광학적 특성

정윤근* · 정양희** · 강성준***

Electrical and Optical Properties of ITO Thin Films with Various Thicknesses of SiO₂ Buffer Layer for Capacitive Touch Screen Panel

Yeun-Gun Chung* · Yang-Hee Joung** · Seong-Jun Kang***

요 약

본 연구에서는 Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층위에 ITO박막을 증착하여, SiO₂버퍼층 두께 변화(40~50 nm)에 따른 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다. Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층을 도입한 ITO박막의 표면 거칠기는 0.815에서 1.181 nm 범위의 작은 값을 가지는 매끄러운 형상을 보였고, 면저항은 99.3~134.0 Ω/sq. 범위로 정전용량식 터치스크린 패널에 적용하는데 문제가 없는 것으로 나타났다. 특히 Nb₂O₅(10 nm)/SiO₂(40 nm) 이중 버퍼층을 삽입한 ITO박막의 단파장(400~500 nm) 영역에서의 평균 투과도와 색도(b*)는 83.58% 와 0.05로 이중 버퍼층이 삽입되지 않은 ITO박막의 74.46% 와 4.28에 비해 상당히 향상된 결과를 나타내었다. 이를 통해 Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층을 도입한 ITO박막에서 인덱스 매칭 효과로 인해 단파장 영역의 투과도 및 색도와 같은 광학적 특성이 현저히 향상되었음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, we prepared ITO thin films on the Nb₂O₅/SiO₂ double buffer layer and investigated electrical and optical properties according to the change of SiO₂ buffer layer thickness (40~50nm). The ITO thin film fabricated on the Nb₂O₅/SiO₂ double buffer layer exhibited a broad surface roughness with a small value ranging of 0.815 to 1.181nm, and the sheet resistance was 99.3 to 134.0Ω/sq. It seems that there is no problem in applying the ITO thin film to a capacitive touch screen panel. In particular, the average transmittance in the short-wavelength (400~500nm) region and the chromaticity (b*) of the ITO thin film deposited on the Nb₂O₅(10nm)/SiO₂(40nm) double buffer layer showed significantly improved results as 83.58% and 0.05, respectively, compared to 74.46% and 4.28 of ITO thin film without double buffer layer. As a result, it was confirmed that optical properties such as transmittance in the short-wavelength region and chromaticity were remarkably improved due to the index matching effect in the ITO thin film with the Nb₂O₅/SiO₂ double buffer layer.

키워드

Capacitive Touch Screen Panel, ITO Thin Film, Nb₂O₅/SiO₂ Double Buffer Layer, Transmittance, Chromaticity
정전용량식 터치스크린 패널, ITO 박막, Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층, 투과도, 색도

* 전남대학교 기계설계공학과 (phycyg@jnu.ac.kr)

** 전남대학교 전기 및 반도체공학과
(jyanghee@jnu.ac.kr)

*** 교신저자 : 전남대학교 전기 및 반도체공학과

• 접수일 : 2022. 09. 21

• 수정완료일 : 2022. 11. 01

• 게재확정일 : 2022. 12. 17

• Received : Sep. 21, 2022, Revised : Nov. 01, 2022, Accepted : Dec. 17, 2022

• Corresponding Author : Seong-Jun Kang

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

Email : ferroksj@jnu.ac.kr

I. 서론

터치스크린 패널(Touch Screen Panel) 기술은 키보드나 마우스 같은 별도의 입력 장치를 사용하지 않고, 디스플레이 화면에 펜이나 손가락 등을 접촉하여 정보를 쉽고 빠르게 입력할 수 있는 장점이 있다. 현재는 터치스크린 패널이 소형 모바일 정보 기기에 주로 적용되고 있다. 그러나 향후 노트북, PC, TV 등 중대형 디스플레이 기기와 자동차, 생활가전 등으로 점차 확대될 전망이다[1-2]. 다양한 방식의 터치스크린 패널 중에서 정전용량 방식은 가격이 비싸다는 단점이 있다. 하지만 멀티 터치와 부드러운 터치감, 내구성, 고해상도, 디자인적으로 자유롭다는 장점이 있어 다양한 분야로 적용이 확대되고 있다[3-4]. 정전용량 방식의 터치스크린 패널에서는 유리 기판의 양면에 특수 전도성 금속을 코팅하여 투명전극을 형성해야 한다. 현재 투명전극으로는 ITO(Indium Tin Oxide)가 낮은 비저항과 가시광 영역에서의 높은 투과율 등 우수한 전기적 및 광학적 특성을 가지고 있어 가장 많이 사용되고 있다[5-6]. 그러나, ITO박막의 굴절률이 유리 기판 보다 상당히 커서, 공기/ITO/유리기판/공기 형태의 구조에서는 계면에서의 프레넬 반사(Fresnel Reflectance)때문에 약 16%의 광학적 손실이 발생한다. 또한 패턴된 ITO층과 베이스층 간의 반사도 차이(ΔR)에 의한 시인성 저하 문제도 야기된다[7]. 이 두 가지 문제를 해결하기 위해 베이스층에 버퍼층을 삽입해 가시광선 영역 전 파장에 걸쳐 비교적 균일한 투과도 특성을 나타나게 하여 시인성(visibility)을 높이는 인덱스 매칭(index matching) 기술이 필수적이다[8-9]. 시인성 측면에서 또 하나 고려해야 할 것이 ITO박막의 색도(chromaticity) 가운데 b^* 값인데, 이 값이 작을수록 눈의 피로감이 줄고 시인성이 높아지게 된다[10]. 그러나, 터치스크린 응용을 위한 인덱스 매칭이나 색도(b^*)에 대한 연구는 그 중요성에 비해 상당히 미흡한 형편이다.

이에 본 연구에서는 인덱스 매칭을 위해 베이스층인 유리기판위에 고굴절률의 Nb_2O_5 와 저굴절률의 SiO_2 층을 이용하여 이중 버퍼층을 제작하고, 그 위에 ITO 박막을 증착하여 터치스크린 패널 구조를 완성하였다. 완성된 구조에서 버퍼층으로 사용된 SiO_2 층의 두께를 변화시켜 가며 전기적 및 광학적 특성을 조사

하여 정전용량식 터치스크린 패널의 활용 가능성을 연구하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 유리기판에 Nb_2O_5/SiO_2 이중 버퍼층을 제작하고, 그 위에 ITO박막을 증착하여 정전용량식 터치스크린 패널으로의 활용 가능성을 조사하였다. 유리기판 표면에 있는 유기물 등을 제거하기 위하여 아세톤, 알코올, 1차 증류수, 2차 증류수 순서로 각각 15분, 15분, 10분, 15분 동안 초음파 세척을 하였고 고순도 질소 가스를 이용하여 건조하였다. 건조된 유리기판위에 Nb_2O_5 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착한 후, 그 위에 SiO_2 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착하여 버퍼층 구조를 완성하였다. 버퍼층 증착이 끝난 후, DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 ITO박막을 증착하였다. 그림 1 에 제작된 시료의 구조와 각각의 버퍼층들 및 ITO박막의 증착조건을 상세히 나타내었다.

ITO박막의 투과도는 UV-Vis Spectrometer (Varian, Cary-500)를 이용하여 관찰하였고, 표면형상과 표면 거칠기는 AFM(NanoFocus, Albatross)을 이용하여 측정하였다. ITO박막의 전기적 특성은 Hall effect measurement(Accent, HL5500PC)를 이용하여 조사하였다.

III. 결과 및 논의

그림 2는 Nb_2O_5/SiO_2 이중 버퍼층 구조에서 Nb_2O_5 박막의 두께를 10 nm로 고정시키고 SiO_2 버퍼층의 두께를 40, 45, 50 nm로 변화시켜 가며 증착한 ITO박막의 투과도 곡선을 나타낸 것이다. 그림 2에서 보듯이, Nb_2O_5/SiO_2 버퍼층을 삽입하지 않은 ITO박막의 투과도 곡선에 비해 버퍼층이 삽입된 ITO박막의 투과도 곡선이 약 500 nm 이하의 파장에서 증가했음을 볼 수 있다. 특히 Nb_2O_5 (10 nm) / SiO_2 (40, 45nm)의 이중 버퍼층을 삽입한 경우, 400 nm 이상의 파장에서 비교적 일정한 투과도를 나타내어 인덱스 매칭 효과가 잘 나타났음을 알 수 있다.

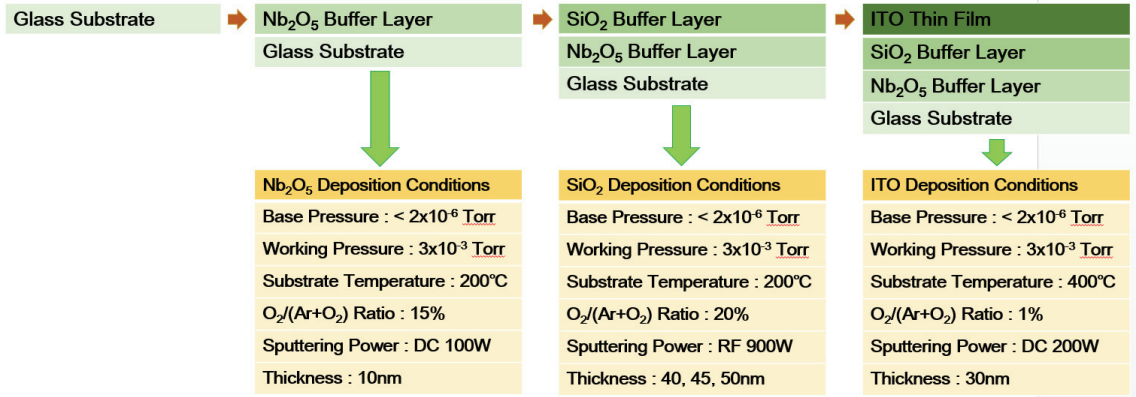


그림 1. Nb₂O₅/SiO₂ 버퍼층과 ITO 박막의 공정 조건
 Fig. 1 Process conditions for the Nb₂O₅/SiO₂ buffer layer and ITO thin film

인간의 시각이 가장 민감하다고 알려진 파장 550 nm 에서 투과도는 이중 버퍼층이 삽입되지 않은 ITO박막의 경우 82.68% 이었고, 이중 버퍼층에서 SiO₂박막의 두께가 40, 45, 50 nm로 증가함에 따라 83.11, 84.22, 85.10%로 커지는 추세를 나타내었다.

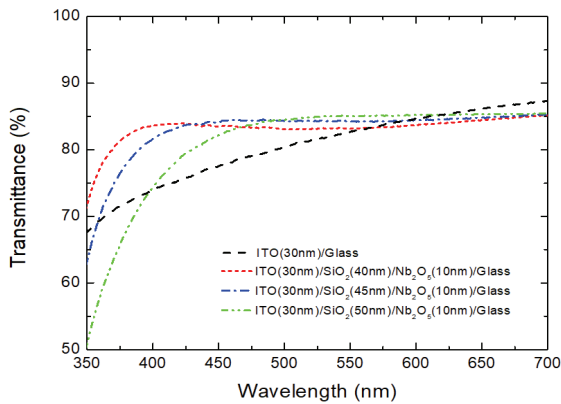


그림 2. SiO₂ 버퍼층 두께에 따른 ITO 박막의 투과도
 Fig. 2 Optical transmission spectra of the ITO thin films with various thicknesses of SiO₂ buffer layer

그림 3은 Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층 구조에서 SiO₂ 버퍼층 두께에 따른 ITO박막의 표면 형상을 2차원과 3차원으로 관찰한 AFM결과를 나타낸 것이다.

그림 3에서 보듯이, SiO₂버퍼층의 두께와 무관하게 모든 ITO박막은 크랙이나 핀홀과 같은 결함이 없이 비교적 매끈한 형상을 나타내었다. AFM을 이용하여 SiO₂박막의 두께 변화에 따른 ITO박막의 표면 거칠

기를 조사한 결과, SiO₂박막의 두께가 40에서 50 nm로 증가함에 따라 표면 거칠기 값은 0.815에서 1.181 nm로 점차적으로 커지는 추세를 나타내었다.

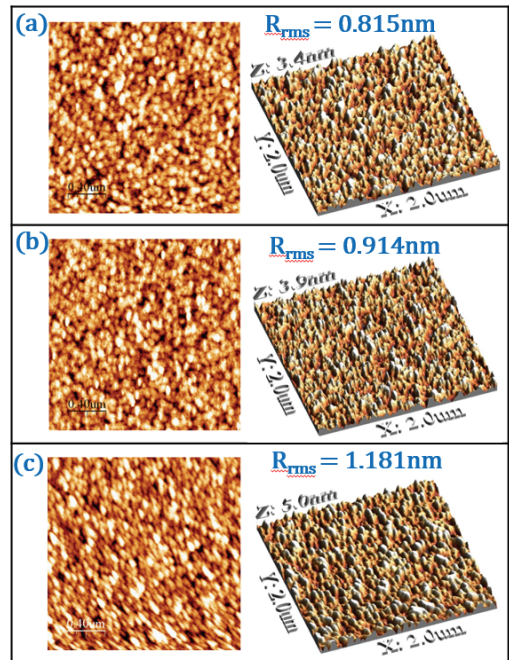


그림 3. SiO₂ 버퍼층 두께에 따른 ITO 박막의 AFM 표면 형상
 Fig. 3 The AFM images of the ITO thin films with SiO₂ buffer layers of different thicknesses : (a) 40nm, (b) 45nm, (c) 50nm

이는 SiO₂박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 ITO박막의 스트레스가 증가하여 결정성 및 표면 형상에 부정적인 효과를 일으키기 때문인 것으로 보인다. 보통 매끄러운 표면 형상은 비저항 등의 전기적 특성 향상을 이끄는 것으로 보고되고 있으며[11] 이는 그림 4에 나타난 ITO박막의 전기적 특성과 부합되는 결과이다.

그림 4는 Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층 구조에서 SiO₂ 버퍼층의 두께 변화에 따른 ITO박막의 면저항과 비저항의 변화를 나타낸 것이다.

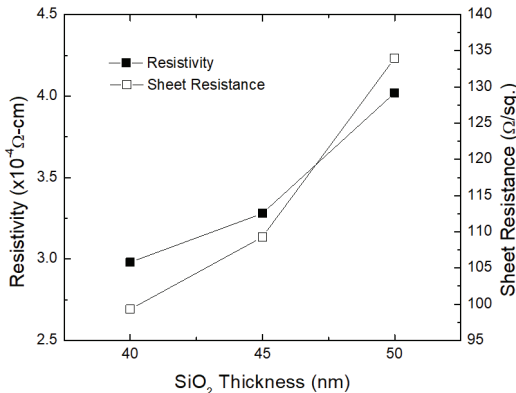


그림 4. SiO₂ 버퍼층 두께에 따른 ITO 박막의 비저항과 면저항

Fig. 4 Resistivity and sheet resistance of the ITO thin films with various thicknesses of SiO₂ buffer layer

SiO₂ 버퍼층 두께가 40에서 50 nm로 두꺼워짐에 따라 비저항은 2.98×10⁻⁴에서 4.02×10⁻⁴ Ω-cm로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 그림 3에 나타난 AFM 결과에서 보듯이, SiO₂박막 두께의 증가에 기인한 표면 형상에 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다. ITO박막의 면저항은 SiO₂박막 두께에 따라 99.3에서 134.0 Ω/sq.로 증가하였으며 비저항의 변화와 유사한 추세를 나타내었다. 대면적의 정전용량식 터치스크린 패널에서 요구되는 면저항은 ITO박막을 사용하는 경우 약 100~150 Ω/sq. 정도로 알려져 있다[12]. 본 연구에서 적용한 이중 버퍼층을 이용한 ITO박막의 경우 이 조건을 만족하므로 충분히 대면적의 정전용량식 터치스크린 패널에 적용이 가능하리라 생각된다.

그림 5에 SiO₂두께에 따른 ITO박막의 파장 550 nm에서의 투과도 및 이에 따른 재료평가지수(Figure of merit, Φ_{TC})를 나타내었다. Haacke가 제안한 식 (1)에

나타낸 재료평가지수[13]는 투명 전도막의 품질을 비교하는 매우 유용한 값이다.

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

여기서, T는 가시광 영역에서의 평균 투과도이고 R_{sheet}는 ITO박막의 면저항이다.

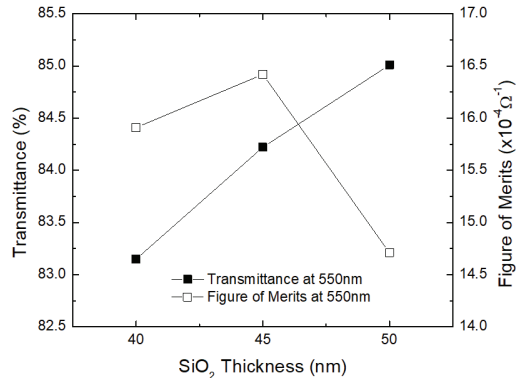


그림 5. SiO₂ 버퍼층 두께에 따른 ITO 박막의 파장 550 nm에서의 투과도와 재료평가지수

Fig. 5 Transmittance and figure of merits of the ITO thin films with various thicknesses of SiO₂ buffer layer for 550nm wavelength

SiO₂박막의 두께가 40, 45, 50 nm인 경우 파장 550 nm에서 투과도는 각각 83.11, 84.22, 85.10 % 이었고 면저항은 99.3, 109.3, 134.0 Ω/sq.이었다. 이때 재료평가지수는 각각 15.91, 16.42, 14.71×10⁻⁴ Ω⁻¹ 이었다.

그림 6은 SiO₂버퍼층의 두께에 따른 ITO박막의 색도(b*) 변화를 나타낸 것이다.

색도는 박막의 시인성을 평가하는데 유용한 척도로 사용될 수 있다. SiO₂박막의 두께가 40에서 50 nm로 두꺼워짐에 따라 색도는 0.05에서 1.93으로 증가하는 추세를 나타내었다. 이는 ITO박막이 파란색(blue) 색도에서 노란색(yellow) 색도로 이동했음을 의미하며, SiO₂버퍼층의 두께가 증가할수록 시인성이 악화되어 눈의 피로감이 커진다는 것을 나타내는 것이다. 이중 버퍼층이 삽입되지 않은 ITO박막의 색도 4.28에 비해 이중 버퍼층이 삽입된 ITO박막의 시인성에 상당한 개선이 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

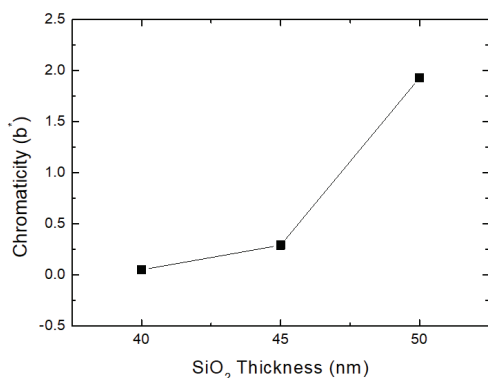


그림 6. SiO₂ 버퍼층 두께에 따른 ITO 박막의 색도
Fig. 6 Chromaticity of the ITO thin films with various thicknesses of SiO₂ buffer layer

IV. 결론

본 연구에서는 정전용량식 터치스크린 패널 응용을 위해 Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층을 삽입한 인덱스 매칭 구조에 ITO박막을 DC 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착하여 SiO₂버퍼층 두께에 따른 전기적 및 광학적 특성을 조사하였다.

SiO₂버퍼층 두께가 40 nm 인 경우에 증착한 ITO박막이 $2.98 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 비저항과 $99.3 \Omega/\text{sq}$ 의 면저항으로 가장 우수한 값을 나타내었다. 광학적 특성을 측정 한 결과, SiO₂버퍼층 두께가 40에서 50 nm로 두꺼워짐에 따라 550 nm 파장에서의 투과도는 83.11에서 85.10 % 로 증가하였으며 색도(b*) 도 0.05 에서 4.28 로 커지는 추세를 보였다. 특히, SiO₂ 버퍼층의 두께가 40 nm 에서 증착한 ITO 박막의 단파장 영역 (400 ~500 nm) 에서의 투과도와 색도(b*)는 각각 83.58 % 와 0.05 로 이중 버퍼층이 삽입되지 않은 ITO박막의 74.46 %와 4.28 에 비해 상당히 향상된 결과를 나타내었다.

본 연구를 통해 Nb₂O₅/SiO₂ 이중 버퍼층을 도입한 ITO박막은 인덱스 매칭 효과로 인해 투과도 및 색도 (b*) 등의 광학적 특성이 현저히 향상되었음을 확인할 수 있었고, 향후 공정 조건 등에 대한 심화된 연구를 수행한다면 정전용량식 터치스크린 패널 연구에 매우 큰 기여를 할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- [1] 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.
- [2] S. Kim, W. Choi, W. Rim, Y. Chun, H. Shim, H. Kwon, J. Kim, I. Kee, S. Kim, S. Lee, and J. Park, "A Highly Sensitive Capacitive Touch Sensor Integrated on a Thin-Film-Encapsulated Active-Matrix OLED for Ultrathin Displays," *IEEE Trans. Electron. Dev.*, vol. 58, no. 10, Oct. 2011, pp. 3609-3615.
- [3] C. Wu, "Ultra-high Transparent Sandwich Structure with a Silicon Dioxide Passivation Layer Prepared on a Colorless Polyimide Substrate for a Flexible Capacitive Touch Screen Panel," *Sol. Energy Mater Sol. Cells*, vol. 207, Apr. 2020, pp. 1-8.
- [4] 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.
- [5] L. Cao, T. Wang, K. Ma, Z. Zhang, F. Luo, H. Zhou, D. Liu, M. Miao, B. Luo, and Y. Xu, "A Leaf-like Structured ITO Conductive Transparent Thin Film from Visible to Near-infrared Region with Enhanced Stability," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 42, issue 6, June 2022, pp. 2836-2843.
- [6] C. Torasa and I. Srithanachai, "Optimization of Electrical and Optical Properties of ITO Thin Films by Annealing in Air and Nitrogen," *Mater. Today : Proc.*, vol. 65, part 4, June 2022, pp. 2439-2441.
- [7] C. Hong, J. Shin, B. Ju, K. Kim, N. Park, B. Kim, and W. 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] H. Joung and J. Kang, "Influence of DC Power on the Electrical and Optical Properties of ITO Thin Films Deposited on Nb₂O₅/SiO₂ Buffer Layer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 2, Apr. 2019, pp. 297-302.
- [10] M. Park, B. Kang, J. Kim, H. Kim, H. 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.
- [11] Y. Kwon and G. Jang, "Effect of SiO₂ and Nb₂O₅ Buffer Layer on Optical Characteristics of ITO Thin Film," *Trans. Electr. Electron. Mater.*, vol. 16, no. 1, Feb. 2015, pp. 29-33.
- [12] J. Seok, "Touch screen panel development trend," *Vacuum Magazine*, vol. 4, issue 3, Sept. 2017, pp. 29-31.
- [13] G. Haacke, "New Figure of merit for Transparent Conductors," *J. Applied Physics*, vol. 47, issue 9, Oct. 1976, pp. 4086-4089.



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

저자 소개



정윤근 (Yeun-Gun Chung)

1983년 중앙대학교 물리학과 졸업(이학사)
1985년 중앙대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)

1988년 중앙대학교 대학원 물리학과 졸업(공학박사)
현재 전남대학교 기계설계공학과 교수
※ 관심분야 : 반도체 특성 분석 및 simulation