

## 박막트랜지스터 구동회로용 ZnO 박막의 구조적 특성에 관한 연구

손지훈<sup>1</sup> · 김상현<sup>2</sup> · 김홍승<sup>3</sup> · 장낙원<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2012년 10월 31일, 원고접수일 : 2012년 11월 6일, 심사완료일 : 2012년 11월 8일)

### The structural characteristics of ZnO thin films for TFT driver circuit

Jihoon Son<sup>1</sup> · Sanghyun Kim<sup>2</sup> · Hongseung Kim<sup>3</sup> · Nakwon Jang<sup>†</sup>

**요약:** RF 마그네트론 스퍼터링법의 스퍼터링 조건에 따른 TFT 구동회로를 위한 ZnO 박막의 구조적 특성에 관해 연구하였다. ZnO 박막은 RF 파워 및 증착압력을 변화시킴으로서 성장시켰다. 구조적 특성은 X-선 회절 분석기(XRD)와 원자력간 현미경(AFM)에 의해 분석되었다. ZnO 박막은 100W의 RF 파워에서 충분한 결정도를 가졌다. 그러나 RF 파워가 증가함에 따라 ZnO 박막의 표면 거칠기가 증가하였고 증착압력이 5mTorr에서 15mTorr로 증가함에 따라 ZnO(002) 피크의 반치폭(FWHM)이 증가하였다.

**주제어:** 박막트랜지스터, 박막, 산화물반도체, 그레인 크기, 원자력간 현미경

**Abstract:** The effect of sputtering condition on the structural properties of ZnO thin films grown by RF magnetron sputtering system was investigated for TFT driver circuit. ZnO thin films were grown with ZnO target varying RF power and working pressure. Structural properties were investigated by X-ray diffraction (XRD) and atomic force microscope (AFM). The ZnO thin films have sufficient crystallinity on the 100W RF power. But, the surface roughness of ZnO films was increased as increased RF power. As increased working pressure from 5 mTorr to 15 mTorr, a full width at half maximum (FWHM) of ZnO (002) peak was increased.

**Keywords:** Thin film transistor, Thin film, Oxide semiconductor, Grain size, Atomic Force Microscopy

## 1. 서 론

최근 선박의 평형을 유지하기 위해 선박에 유입되는 선박평형수(Ballast water)의 처리방법에 소비전력이 적은 자외선 발광 다이오드(UV LED)를 적용하려는 시도가 이루어지고 있다[1]. UV LED는 AlN 기반의 재료를 사용하여야 하나 격자부정합으로 인한 발광효율이 저하, 온도 민감성, 높은 Al 농도에서의 낮은 성장률 등으로 AlGaIn/GaN계를 이용한 UV LED는 제작에 많은 어려움이 있다[2].

또한 기존의 디스플레이를 대체할 수 있는 투명하고 유연한 특성을 가지는 차세대 투명 플렉시블 디스플레이(transparent flexible display)에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 플렉시블 디스플레이의 active matrix를 위한 구동소자는 수소화된 비정질 실리콘을 채널 물질로 사용한 박막 트랜지스터(hydrogenated amorphous silicon thin film transistor, a-Si:H TFT)가 증착공정이 간단하고 공정비용이 적게들어 주로 사용되고 있다[3].

†교신저자:(606-791) 부산광역시 영도구 태종로 727

한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail: nwjang@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4413

1 SK 하이닉스 DRAM개발본부 MM소자F팀, E-mail: jihoon1.son@skhynix.com, Tel: 031-639-6147

2 한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail: sh\_kim@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4925

3 한국해양대학교 나노반도체공학과, E-mail: hongseong@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4378

그러나 a-Si:H의 경우 비정질 구조에서 생기는 불포화 결합(dangling bond)에 의한 자유전자의 산란 및 포획으로 인해 전자 이동도가 낮으며 빛에 민감한 문제가 있다. 또한 저온 폴리실리콘 TFT는 전기적 특성이 각 화소마다 불균일하고, 장시간 사용 시 트랜지스터의 I-V 특성이 열화 되는 문제가 있다.

현재 UV LED 및 차세대 디스플레이의 광소자에서의 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중에 가시광의 투과가 가능하여 전류에 의한 가시광선에 크게 영향을 받지 않는 산화물 반도체(oxide semiconductor)를 적용하려는 연구가 이루어지고 있다. 그 중에 대표적인 것이 ZnO이다. ZnO는 대표적인 II-VI족 산화물 반도체로서 고유의 전기적, 광학적 특성으로 인해 태양전지, UV 센서, 표면 탄성파(SAW, Surface Acoustic Wave) 소자, 압전 소자 등 광범위한 분야에서 연구가 활발하게 이루어지고 있다[4]-[6]. ZnO는 상온에서 우르자이트(hexagonal wurtzite) 구조의 직접 천이형 반도체로서 열적·화학적으로 안정한 상태이며 높은 자유 엑시톤 결합 에너지를 가지고 있으며 고품질의 단결정 성장과 전기전도도의 제어가 용이하여 광소자 소자로 응용하기 위한 연구가 활발하게 진행 중이다[7][8].

그러나 ZnO를 활용한 광소자의 제작을 위해서는 많은 개선을 필요로 한다. ZnO는 박막 성장시 구조적 결함을 가지고 있는 전형적인 n형 반도체로 알려져 있고,  $Zn_xO_{1-x}$ 의 산소 결핍형 산화물로 ZnO계 p-type 반도체의 제작에 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다[9]. 또한 ZnO를 활용한 TFT의 경우 다결정임에도 불구하고 만족할 만한 전계효과 이동도를 얻고 있지 못하여 많은 연구와 노력이 필요한 실정이다[10].

따라서 본 연구에서는 UV LED 및 고안정, 고신뢰성 ZnO 박막트랜지스터 구동회로에 관한 연구를 위해 ZnO 박막의 특성에 대한 실험을 선행하였다. ZnO 박막은 상대적으로 가격이 저렴하고 대면적 및 저온성장이 가능한 Sputtering 법을 통해 증착하였다. 박막의 증착은 파워와 증착 압력 등 Sputtering 환경을 변화시키며 이에 따른 ZnO 박

막의 구조적 특성의 변화 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서 수행한 박막 증착에는 RF 마그네트론 스퍼터(4" RF-Co Sputter System, NCD Technology)를 사용하였으며 ZnO(4 inch, 99.999%) 4인치 타겟을 사용하였다. ZnO 박막의 성장에는 Si(100) 기판을 사용하였다. ZnO 박막을 성장시키기 전에 유기물 및 오염 물질을 제거하기 위해 Si(100) 기판은 Acetone과 Methanal 용액을 이용하여 초음파 세척 하였으며 유기 세척이 끝난 후  $NH_4OH : H_2O_2 : H_2O(1 : 1 : 3)$  용액으로 표면처리하고 HF 용액을 이용하여 기판 위의 자연 산화막을 제거하였다. ZnO 박막은 증착 전 Chamber 내의 압력을 약  $2 \times 10^{-6}$  Torr까지 유지시켰다.

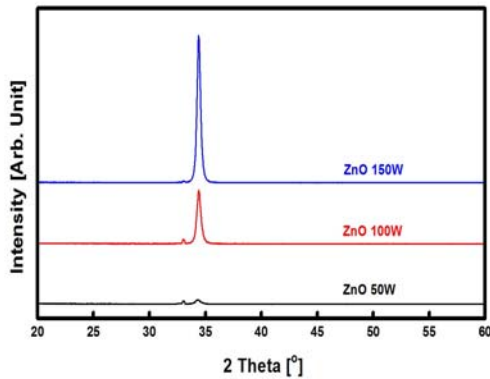
먼저 Sputtering 파워 변화에 따른 ZnO 박막의 특성을 알아보기 위해 ZnO 타겟의 파워를 50, 100, 150 W로 변화시켰으며, 상온에서 증착된 박막의 특성을 알아보기 위해 인위적인 가열은 하지 않았다. 이때 Chamber의 증착 압력은 5 mTorr로 설정하였다. 또한 증착 압력에 따른 ZnO 박막의 특성을 알아보기 위해 ZnO 파워를 100W로 고정한 후 증착 압력을 5, 10, 15 mTorr로 변화시키며 박막을 증착 하였다. 이때 Sputtering을 위해 고순도 Ar 가스를 사용하였다.

RF Sputter System을 이용하여 성장시킨 ZnO 박막의 구조적 특성을 XRD(X-Ray Diffraction), AFM(Atomic Force Microscopy) 측정을 통해 분석하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

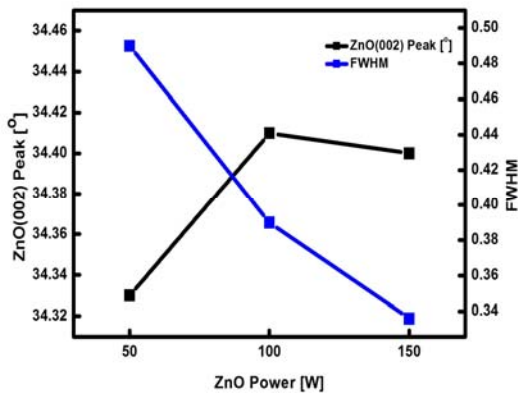
### 3.1 증착 파워 변화에 따른 박막의 구조적 특성

UV LED 및 TFT 구동회로에 사용되는 ZnO 박막의 특성을 알아보기 위해 sputtering 파워 변화에 따른 ZnO 박막의 구조적 특성을 알아보았다. ZnO 박막은 Si(100) 기판위에 약 250 nm의 두께로 증착하였다. Sputtering 파워를 50 W에서 150 W로 변화시키며 증착한 ZnO 박막의 XRD 결과는 Figure 1에 나타내었다.

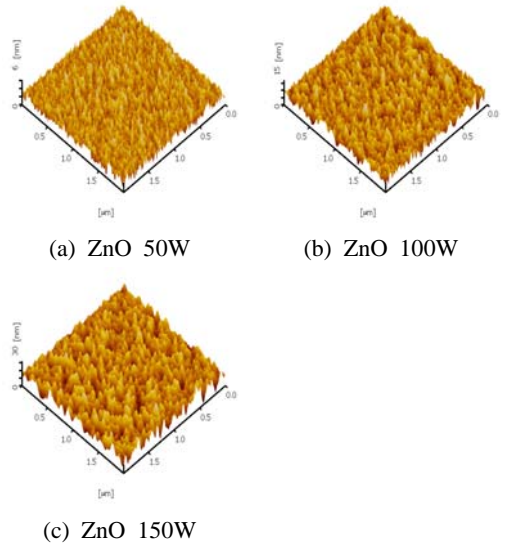


**Figure 1:** XRD patterns of ZnO thin films with different power

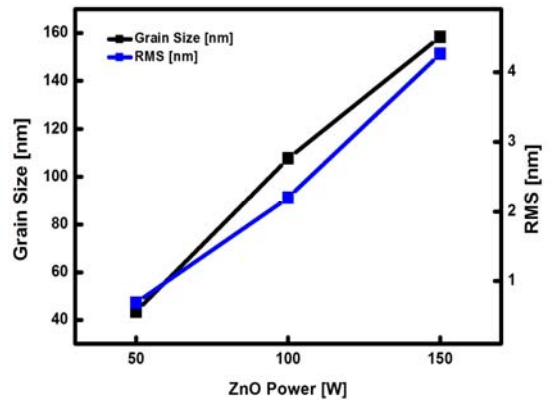
Figure 2에 XRD 측정결과에 대한 분석 값을 나타내었다. XRD 측정은 2θ-omega scan 방식으로 하였으며, 2θ의 범위는 ZnO(002) 면의 Peak 34.422° (ICDD card # : 00-036-1451)를 포함하는 20° ~ 60° 로 하였다. 각 파워에서 ZnO 박막은 Intensity의 차이는 있지만 34.4° 근처의 피크를 통해 (002) 면으로 성장한 Wurtzite 구조의 ZnO 박막임을 확인 할 수 있었다. 그러나 50 W에서는 ZnO(002)면의 피크가 크게 나타나지 않아 결정화가 잘 이루어지지 않은 것으로 생각된다. FWHM (Full Width Half Maximum)은 파워가 100 W에서 150 W로 변화함에 따라 0.3899에서 0.3361로 줄어들어 결정성은 좋아지는 경향을 보이고 있다.



**Figure 2:** Position and FWHM of ZnO(002) Peak with ZnO films different power



**Figure 3:** AFM surface image with different ZnO power



**Figure 4:** Variations of the grain size and RMS roughness of ZnO films different power

AFM을 통해 증착 파워에 따른 박막의 표면 거칠기와 그레인 크기를 분석하였다. Figure 3는 AFM을 통해 측정된 각 파워에서의 ZnO 박막의 표면 사진이다. Figure 4는 AFM 분석을 통해 측정된 ZnO 박막의 증착 파워에 따른 그레인 크기(Grain size)와 표면거칠기의 RMS 변화를 나타내었다. 측정된 ZnO 박막의 그레인 크기는 50 W에서는 43 nm 이었으나 100 W에서 110 nm, 150 W에서는 160 nm로

약 4배정도 증가하였다. 이는 앞의 XRD 분석 결과와 같이 파워가 증가함에 따라 ZnO 박막의 결정성이 좋아지는 것과 같은 결과를 보이고 있다. ZnO 파워가 증가함에 따라 RMS가 선형적으로 증가하는 경향이 나타나어 ZnO 파워가 50 W에서 150 W로 변화함에 따라 표면이 거칠어지는 것을 볼 수 있다. 150 W의 경우는 결정성은 좋으나 표면이 거칠어 다층으로 적층하는 버퍼층과 활성층으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

### 3.2 증착 압력 변화에 따른 박막의 구조적 특성

박막 증착시 증착 압력에 따른 ZnO 박막의 구조적 특성을 알아보기 위해 증착 압력을 5-15 mTorr로 변화시키며 ZnO 박막을 제작하였다. ZnO 박막은 Si(100) 기판위에 약 250nm의 두께로 증착하였다. 이때 ZnO 타겟에 인가되는 파워는 100 W로 하였다. Figure 5에 증착 압력에 따른 ZnO 박막의 XRD 측정 결과는 나타내었으며, 이에 대한 분석 값은 Figure 6에 나타내었다.

증착압력이 5 mTorr와 10 mTorr에서는 34.4° 에서 나타나는 ZnO(002) peak 가 동일한 위치에서 관찰되었으나 증착 압력 15 mTorr에서는 ZnO(002) peak가 34.3° 로의 이동이 나타나고 있다. 이는 증착 압력의 변화로 인해 ZnO 박막의 구조적 특성에 변화가 나타남을 알 수 있다. 또한 증착압력이 5 mTorr에서 10, 15 mTorr로 증가함에 따라 FWHM이 0.3899에서 0.4832로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 ZnO 박막 증착 시 증착 압력의 증가로 인해 박막의 질이 저하되고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과는 Sputtering 법을 통한 박막 증착 시 박막의 특성이 챔버(chamber) 내부의 환경에 많은 영향을 받는 것을 통해 설명할 수 있다. Sputtering 법을 통한 박막 증착 시 증착 압력을 증가시키면 챔버 내부에 존재하는 Ar 가스의 양이 증가하게 되며, 이로 인해 타겟과 충돌하는 Ar 이온이 증가하고 타겟으로 부터 떨어져 나오는 타겟 입자 또한 증가하게 된다. 따라서 챔버 내부는 타겟 입자, Ar 이온, 전자 등이 증가로 인해 타겟 입자의 이동에 방해가 일어나게 된다. 또한 타겟 입자의 이동 속도는 증착 압력의 증가로 인해 이동

에 방해가 많아진 경우 각 물질의 이동 속도 차이 또한 증가할 것으로 예상된다. 타겟 입자의 이동은 Cathode, Anode간 거리와 함께 Sputtering Yield에 직접적인 영향을 미치는 부분이며 이와 같은 입자의 이동 속도의 차이는 Sputtering 시 박막 특성에 큰 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

따라서 증착 압력의 변화는 Sputtering 되는 타겟 입자의 이동속도에 변화를 일으키고 이로 인해 박막의 구조적 특성이 변화됨을 ZnO(002) peak의 이동을 알 수 있으며, ZnO(002) peak의 FWHM 증가를 통해 증착된 박막의 질이 저하됨을 알 수 있다.

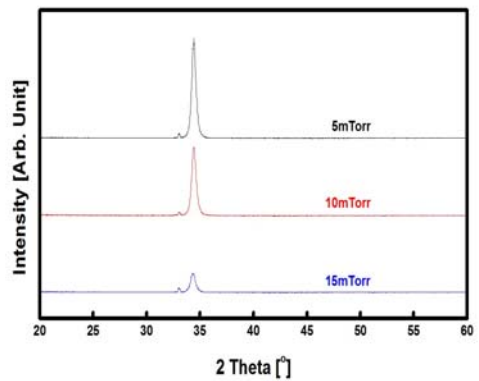


Figure 5: XRD patterns of ZnO thin films with different working pressure

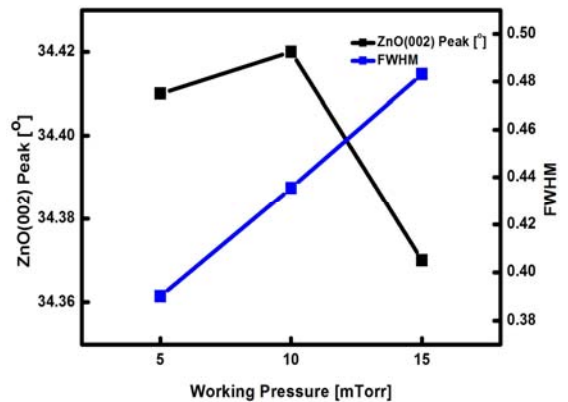


Figure 6: Position and FWHM of ZnO(002) Peak with ZnO films varying working pressure

AFM을 통해 증착시 증착 압력에 따른 ZnO 박막의 그레인 크기와 표면 거칠기를 분석하였다. Figure 7은 박막 증착 시 증착 압력에 따른 ZnO 박막의 AFM 분석 사진이다. Figure 8은 AFM 분석을 통해 측정된 각 박막의 그레인 크기(grain size)와 표면 거칠기를 나타내었다.

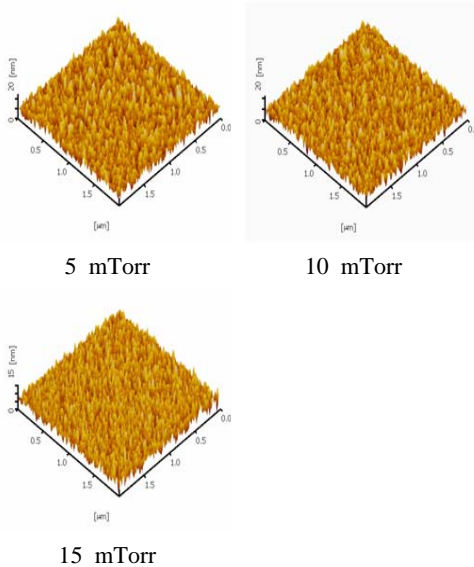


Figure 7: AFM surface image of Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O films with varying working pressure

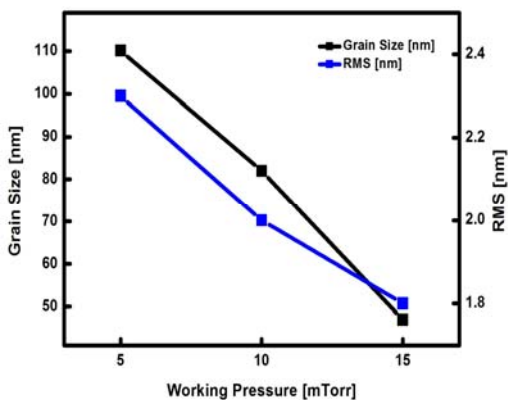


Figure 8: Variations of the Grain size and RMS of ZnO films varying working pressure

ZnO 박막의 증착 압력이 5 mTorr에서 15mTorr로

증가함에 따라 그레인의 크기는 110 nm에서 47.39 nm로 크게 감소함을 알 수 있다. 앞의 XRD 분석 결과와 같이 박막 증착 시 증착 압력을 증가시키면 챔버 내부의 타겟 입자의 이동에 방해가 일어나고 ZnO 박막의 그레인이 성장을 막아 그레인 크기가 감소하는 것으로 생각된다. 따라서 증착 압력의 변화는 ZnO(002) peak의 FWHM 증가와 그레인 크기의 감소를 일으켜 증착된 ZnO 박막의 결정성이 저하됨을 알 수 있다.

ZnO 박막의 증착 압력이 5 mTorr에서 15mTorr로 증가함에 따라 RMS 값은 2.3 nm에서 1.8 nm로 감소하였으나 큰 변화가 나타나지 않으며 전체 범위에서 평탄한 표면을 가지고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 구동회로용 박막트랜지스터 및 UV LED의 기반이 되는 ZnO 박막의 특성에 대한 연구를 수행하였다. RF 마그네트론 스퍼터를 사용하여 박막증착 시 증착 파워와 증착 압력에 따른 ZnO 박막의 성장 및 특성 분석을 수행하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 증착 파워를 50 W, 100 W, 150 W로 변화시키면 ZnO 박막을 증착할 경우, 파워가 증가함에 따라 결정성은 좋아지는 경향을 보이며, 그레인 크기는 43 nm에서 160 nm로 크게 증가하였으나 표면 거칠기도 같이 증가하는 것을 알 수 있었다.
2. ZnO 박막 증착 시 증착 압력을 5, 10, 15 mTorr로 증가시키며 따라 FWHM이 0.3899에서 0.4832로 증가하여 박막의 결정성이 저하되고 그레인 크기는 110 nm에서 47.39 nm로 크게 감소하나 표면 거칠기는 큰 변화가 나타나지 않았다.
3. ZnO 박막은 증착 시 100 W, 5 mTorr 조건에서 ZnO (002) peak의 FWHM은 0.3899, 그레인 크기는 110nm, RMS roughness는 2.3 nm의 표면 특성을 나타내었다.

#### 후 기

본 연구는 한국해양대학교 해외파견연구교수 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과이다.

## 참고문헌

- [1] G. S. Kil, S. K. Choi, D. W. Park, S. W. Kim, S. G. Cheon, "Analysis of disinfection performance of UV LEDs for a phytoplankton", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 33, no. 6, pp. 959-964, 2009 (in Korean).
- [2] D. J. Jones, R. H. French, H. Mullejans, S. Loughin, A. D. Dorneich, and P. F. Carcia, "Optical properties of AlN determined by vacuum ultraviolet spectroscopy and spectroscopic ellipsometry data", *Journal of Materials Research*, vol. 14, no.11, pp. 4337-4344, 1999.
- [3] P. G. Le Comber, W. E. Spear, and A. Ghaith, "Amorphous-silicon field-effect device and possible application", *Electronics Letters* vol. 15, no. 6, pp. 179-181, 1979.
- [4] F. C. Lin, Y. Takao, Y. Shimizu, and M. Egashira, "Zinc oxide varistor gas sensors: I, effect of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content on the H<sub>2</sub>-sensing properties", *Journal of American Ceramic Society*, vol. 78, no. 9, pp. 2301-2306, 1995.
- [5] M. H. Francombe and S. V. krishnaswamy, "Growth and properties of piezoelectric and ferroelectric films", *Journal of Vacuum Science and Technology A*, vol. 8, no. 3, pp. 1382-1390, 1990
- [6] M. S. Wu, A. Azuma, T. Shiosaki, and A. Kawavata, "Low-loss ZnO optical waveguides for SAW-AO applications", *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 36, no 4, pp. 442-445, 1989.
- [7] Y. Chen, D. Bangnall, and T. Yao, "ZnO as a novel photonic material for the UV region", *Materials Science and Engineering: B*, vol. 75, no. 2-3, pp. 190-198, 2000
- [8] D. C. Look, "Recent advances in ZnO materials and devices", *Materials science and engineering: B*, vol. 80, no. 1-3, pp. 383-387, 2001.
- [9] Y. R. Ryu, S. Zhu, D. C. Look, J. M. Wrobel, H. M. Joeng, and H. W. White, "Synthesis of p-type ZnO films", *Journal of Crystal Growth*, vol. 216, pp. 330-334, 2000.
- [10] Satoshi Masuda, Ken Kitamura, Yoshihiro Okumura, Shigehiro Miyatake, Hitoshi Tabata, and Tomoji Kawai, "Transparent thin film transistors using ZnO as an active channel layer and their electrical properties", *Journal of Applied Physics*. vol. 93, no. 3, pp. 1624-1630, 2003.