

# 열처리 온도에 따른 P-doped ZnO 박막의 구조적 및 전기적 특성

한정우, 윤영섭  
인하대학교 전자공학과  
강성준, 정양희  
전남대학교 전기 및 반도체공학과  
e-mail : [dnwjde@naver.com](mailto:dnwjde@naver.com)

## Structure and Electrical Properties of P-doped ZnO Thin Films with Annealing Temperatures

Jung-Woo Han and Yung-Sup Yoon  
Dept. of Electronics Engineering, Inha University  
Seong-Jun Kang and Yang-Hee Joung  
Dept. of Electrical and Semiconductor Engineering, Chonnam National  
University

### Abstract

In this study, P-doped ZnO thin films were prepared on sapphire substrates by pulsed laser deposition and annealing method. The electrical properties were investigated as a function of annealing temperatures at a fixed oxygen pressure. The XRD measurement showed that p-doped ZnO thin films were c-axis oriented. The Hall measurement showed that p-type ZnO thin film was observed. The carrier concentration of  $1.18 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  and the mobility of  $0.96 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  were obtained for the P-doped ZnO thin film fabricated annealing temperature  $850^\circ\text{C}$

### I. 서론

ZnO 는 hexagonal wurtzite 구조의 직접 천이형 II-VI 족 화합물 반도체로 3.3 eV 의 넓은 에너지 밴드갭 (energy bandgap) 과 상온에서 60 meV 의 큰 엑시톤 결합에너지 (exciton binding energy) 를 가진다.<sup>[1]</sup> ZnO 를 기반으로 한 광소자를 개발하기 위해서는, p형 ZnO 박막의 제작이 필수적이다. 그러나, p형 ZnO 는 도핑 과정에서 역셉터 불순물의 낮은 용해도와 높은 자체 보상 (self-compensation) 효과에 의해 제작이 매

우 어렵다.<sup>[2]</sup> 최근에 ZnO 박막에 N, P, As 등의 V족 원소를 도핑해서 p형 ZnO 박막을 제작하는 연구가 이루어지고 있으나, 특성이나 재현성 측면에서 다소 미흡한 실정이다.<sup>[3]</sup>

본 연구에서는 PLD 법<sup>[4]</sup>으로 기판온도  $650^\circ\text{C}$  에서 P 도핑된 ZnO 박막을 제작하고,  $\text{O}_2$  분위기에서 후속 열처리를 통해 p형 특성이 기대되는 박막의 구조적 및 전기적 특성에 대해서 조사하였다.

### II. 실험방법

본 연구에서는 펄스 레이저 법을 사용하여 sapphire 기판에 P 도핑된 ZnO 박막을 제작하였다. 펄스 레이저 시스템에서 챔버 안의 초기 진공은  $5 \times 10^{-6} \text{ Torr}$  까지 형성하였으며, P 도핑된 ZnO 타겟 (97 wt.% ZnO + 3 wt.%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 을 사용하였다. 레이저 원으로는 248 nm 파장을 갖는 KrF 엑시머 레이저 (Lamda Physics, Compex 205) 를 이용하였으며, 레이저 에너지 밀도는  $2.0 \text{ J/cm}^2$  이었다. 레이저가 타겟의 새로운 면에 조사되도록 하기 위하여 타겟을 회전시켰다. 타겟과 기판간의 거리는 60 mm 로 유지하였다. 본 실험에서는 고정된 200 mTorr 산소 분압에서 기판온도  $650^\circ\text{C}$  에서 P 도핑된 ZnO 박막을 제작하고,  $\text{O}_2$  분위기에서 후속 열처리 온도의 변화에 따라 구조적 및 전기적 특성을 조사하였다.

### III. 결과 및 토의

그림 1 은 PLD 법을 이용하여 200 mTorr 의 산소 분압과 650 °C 의 기판온도에서 증착한 박막과 700 °C 에서 850 °C 범위의 산소분위기에서 열처리 한 P 도핑된 ZnO 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 모든 박막들은 결정 성장이 기판과 수직인 방향으로 성장했음을 의미하는 (002) peak 만이 관찰되었고 metallic Zn 나 P 특성 peak 은 관찰되지 않았다.

그림 2 는 650 °C 에서 증착한 P 도핑된 ZnO 박막의 후열처리 온도에 따른 캐리어 농도와 이동도를 van der Pauw 법으로 측정해서 나타낸 것이다. 열처리 온도 700 °C 에서 800 °C 의 범위에서 n 형 전도특성이 나타났으며, 이때 캐리어 농도는  $3.84 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  에서  $6.99 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  이고 이동도는  $4.21 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  에서  $10.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  으로 나타났다. 하지만 850 °C 에서 열처리된 박막은 p 형 전도성이 나타났다. 이는 P 도핑된 ZnO 박막 안에 P 도펀트 소스가 열적 활성화로 인해 억셉터로 작용한 결과로 생각된다. 이때 캐리어 농도는  $1.18 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  이고 이동도는  $0.96 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  이었다.

### IV. 결론

본 연구에서는 펄스 레이저법을 이용하여 650 °C 에서 P 도핑된 박막을 제작하여 열처리 온도 변화에 따른 구조적 및 전기적 특성을 조사하였다. XRD 측정을 통해 열처리 온도에 따라 모든 박막이 ZnO (002) peak 가 우선 배향되는 것이 관찰되었다. 850 °C 에서 제작한 박막에서 p 형 전도성을 가졌으며, 이때 캐리어 농도 값  $1.18 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  과 이동도  $0.96 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  을 나타내었다.

향후 증착 방법을 개선하고 조금 더 세밀한 연구가 이어진다면 디스플레이나 광소자 산업 분야의 발광소자에 매우 유망한 재료가 될 수 있을 거라고 생각한다.

### 참고문헌

- [1] C. C. Lin et al., Appl. Phys. Lett. 84, 5040, 2004.
- [2] J. L. Zhao et al., J. Crystal Growth, 208, 495, 2005.
- [3] Veeramuthu Vaithianathann et al. J. Appl. Phys. 99, 043519, 2005
- [4] X. I. Guo et al. J. Crystal Growth, 223, 135, 2005

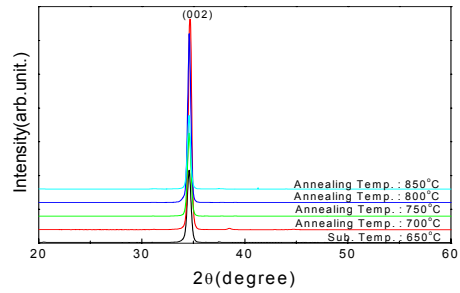
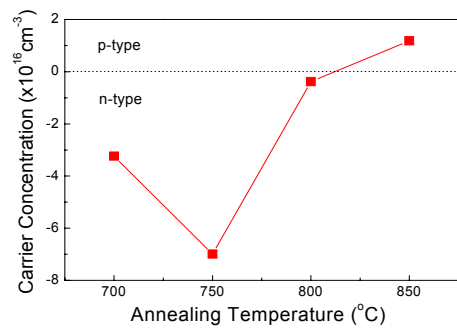
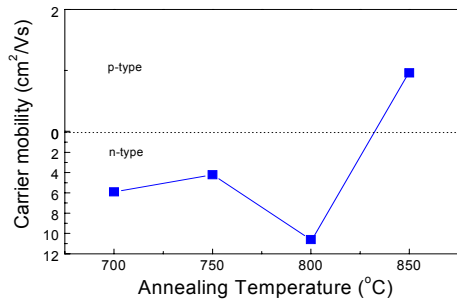


그림 1. 650 °C 에서 증착한 박막과 열처리 온도에 따른 P 도핑된 ZnO 박막의 XRD 패턴



(a)



(b)

그림 2. 후열처리에 의해 P 도핑된 ZnO 박막의 (a) 캐리어 농도 와 (b) 이동도.