

# Si 기판위에 형성된 ZnO 박막의 도핑 농도에 따른 다이오드 특성 연구

이종훈, 장보라, 이주영, 김준제, 김홍승\*, 장낙원, 조형균\*\*, 공보현\*\*, 이호성\*\*\*  
한국해양대학교\*, 성균관대학교\*\*, 경북대학교\*\*\*

## The study of diode characteristics on the doping concentration of ZnO films using the Si Substrate

J. H. Lee, B. L. Jang, J. H. Lee, J. J. Kim, H. S. Kim\*, N. W. Jang, H. K. Cho\*\*, B. H. Kong\*\*, H. S. Lee\*\*\*  
Korea maritime Univ.\*, SungKyunKwan Univ.\*\*, Kyungpook National Univ.\*\*\*

**Abstract :** Zinc-oxide films were deposited by pulsed laser deposition (PLD) technique using doped ZnO target (mixed  $In_2O_3 = 0.1, 0.3, 0.6$  at. % - atomic percentage) on the p-type Si(111) substrate. A little Indium has added at the n-ZnO films for the electron concentration control and enhanced the electrical properties. Also, post thermal annealed ZnO films are shown an enhanced structural and controled electron concentration by the annealing condition for the hetero junction diode of a better emitting characteristics. The electrical and the diode characteristics of the ZnO films were investigated by using Hall effect measurement and current-voltage measurement.

**Key Words :** ZnO, p-Si, PLD, diode, Indium

### 1. 서 론

현재 광소자에 대한 수요 및 투자는 꾸준히 증가 하고 있으며 이러한 이유는 기존의 광원보다 에너지 절감 효과가 상당히 크며, 또한 수명이 우수하다는 장점이 있다. 이러한 광소자를 제작 하기위해서 고품질의 박막을 성장시키는 기술이 반드시 필요로 하며, 또한 발광특성이 우수한 물질을 사용해야 한다. 이러한 물질로는 GaAs, GaN 이나 ZnO(Zinc Oxide)를 이용한 화합물 반도체가 대표적이다. 특히 최근에 각광 받고 있는 ZnO는 2-6족 화합물 반도체로서 3.3 eV의 넓은 띠 간격 에너지를 가지는 직접 천이형 반도체 이며, 상온에서 60 meV의 큰 엑시톤 결합 에너지를 가진다.[1] 일반적으로 도핑 하지 않은 ZnO는 n형의 전기적인 특성을 가지며 재현성 있고, 특성이 좋은 p형 ZnO 구현이 어려워 p-GaN, SiC, p-다이아몬드 기판을 이용한 헤테로 접합을 많이 시도 하고 있다. 하지만 위 기판들은 고 가격이라는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 가격이 저렴한 p-Si(111)기판을 이용하여 헤테로접합을 시도 하였다.

ZnO 박막에 In을 도핑 할 경우 ZnO 박막의 전기적 광학적 특성이 향상된다고 많이 알려져 있지만,[2] In이 도핑된 ZnO 박막을 이용한 p-n 접합 다이오드 특성을 정성적으로 기술한 보고는 아직 미비한 실정이다. 그리고 In을 극소량 첨가하면 전자의 농도를 조절 가능 할 것이라고 사료되며, 또한 후속 열처리를 통한 n-ZnO 박막의 전자 농도 조절이 가능 하였고, 구조적인 특성이 향상 되는 결과를 얻었다.[3] 이와 같이 박막의 전자농도와 기판의 정공농도를 조절하여 ZnO 쪽에 Si쪽의 홀이 유입되어 재결합을 통한 발광이 일어나도록 하여야 한다.

본 연구에서는 아주 극소량의  $In_2O_3$ 를 0.1, 0.3, 0.6 at. %로 도핑하여 ZnO 박막의 전자의 농도를 조절을 시도 하였으며, 이동도를 증가시키고 비저항을 감소시키고자

하였다. 우선 IZO ( $In_2O_3$ -ZnO)타겟을 제조하여 PLD를 사용하여 p-Si(111) 기판위에 증착 하였다. 증착된 ZnO 박막의 전기적 특성을 조사하기 위해 Van der paw법을 이용한 홀 측정과 포토리소그래피 공정으로 패턴을 형성 하여 다이오드를 제작한 후 hp4145b 계측기를 이용하여 I-V 특성곡선을 알아보았다. 또한 PLD와 스퍼터로 각각 증착된 ZnO박막을 비교 분석 하였다.

### 2. 실험

본 실험에 사용한 기판은 p-형 Si(111)기판이며, 1 ~ 20  $\Omega$ 의 저항을 가진다. 실험에 사용될 타겟을 제조하기 위해 ZnO(4N) 분말을 사용하였으며, 우선 분말을 고르게 하기 위해 플라스틱 용기 안에 알루미늄이나 볼을 넣고 알코올을 같은 부피로 넣은 후 회전 불밀을 24시간 동안 실시한 후 건조하여 알코올을 휘발시켰다. 건조된 ZnO 분말을 알루미늄 사발과 막대를 이용하여 고르게 분쇄 후 ZnO분말에  $In_2O_3$ (4N) 분말을 각각 0.1 at.%( ZnO :  $In_2O_3 = 99.9 : 0.1$ ), 0.3 at.%, 0.6 at. %의 극미량의  $In_2O_3$ 를 첨가 하여 고르게 혼합 하였다. 분말을 성형하기 위해 결합재를 사용 후 성형장치로 30 MPa의 압력을 1분간 인가하여 1인치 타겟을 제작 한 후 전기로에서 소결을 하였다. 증착 전 Si(111)기판은 유기 세척 한 후 불산(HF)을 이용하여  $SiO_2$ 를 제거 하였다. 본 실험에 사용한 PLD는 248 nm의 파장을 가지는 excimer laser가 사용되었으며, 5 Hz의 입사펄스로 단위면적당 2 ( $J/cm^2$ )의 에너지를 인가하여 증착 하였고, 챔버내 산소분압은 130 mTorr를 유지하며, 600  $^{\circ}C$ 에서 30분간 증착하였다. 증착된 ZnO 박막의 두께는 약 250 nm정도 이다. 증착된 ZnO 박막은 홀 측정과 포토리소그래피 공정을 통해 다이오드 제작 후 I-V를 측정을 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

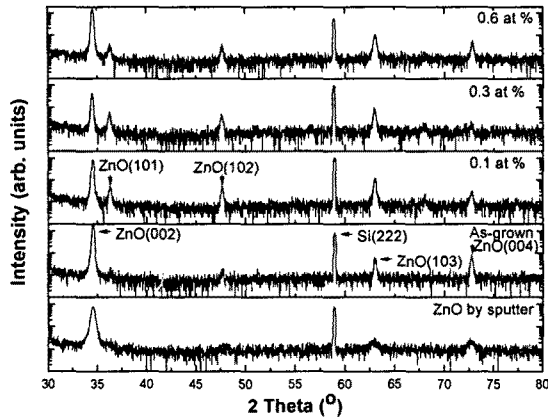


그림 1. In 도핑 농도 및 Sputter로 증착된 ZnO 박막의 XRD 모양

그림 1은 p-Si(111) 기판 위에 증착된 ZnO 박막의 XRD 측정 결과이다. PLD로 증착된 ZnO 박막의 특성을 비교분석 하기 위해 상온에서 스퍼터로 증착된 후 질소분위기에서 800 °C로 1시간 동안 열처리된 ZnO 박막을 준비 하였다. PLD와 스퍼터로 증착된 ZnO 박막의 경우  $2\theta = 34.4^\circ$  우세한 피크가 관찰 되었으며, 이는 ZnO(002) 방향의 결과와 일치 하며, 이것은 Si(111) 기판의 a축 방향으로 수직방향인 c축 방향으로 우성 배향성을 가지고 결정성장이 잘 이루어 진 것을 알 수 있다. 그리고 스퍼터로 증착된 ZnO 박막의 경우 (002) 방향의 FWHM(full-width at half-maximum)은  $2\theta = 0.41^\circ$ 이었으며, PLD로 증착된 경우는  $2\theta = 0.14 \sim 0.19^\circ$  정도 이다. 일반적으로 작은 FWHM의 가질수록 결정성이 향상된다고 할 수 있다.[4] 또한  $In_2O_3$ 를 도핑한 경우 ZnO의 (101), (102) 방향으로 일부 결정 성장이 이루어 진 것을 알 수 있으며, 이 결과는 이온화된  $In^{3+}$  (이온 반경 = 0.060 nm) 원자가  $Zn^{2+}$  (0.062 nm) 원자 자리에 치환 될 때 두 이온들의 반경차이에 의한 결과로 판단된다.

Condition	Concentration [ $cm^{-3}$ ]	Mobility [ $cm^2/V \cdot s$ ]	Resistivity [ $\Omega \cdot cm$ ]
As-grown	$3.86 \times 10^{17}$	20.45	$9.13 \times 10^{-1}$
0.1 at.%	$2.53 \times 10^{18}$	17.18	$1.57 \times 10^{-1}$
0.3 at.%	$3.38 \times 10^{18}$	33.1	$5.6 \times 10^{-2}$
0.6 at.%	$3.16 \times 10^{18}$	24.44	$8.34 \times 10^{-2}$
annealed ZnO	$4.31 \times 10^{18}$	9.87	$1.5 \times 10^{-1}$

표 1.  $In_2O_3$  도핑 농도에 따른 전기적 특성

표 1은 PLD와 스퍼터로 증착된 ZnO 박막의 홀 측정 결과이다. 스퍼터로 증착된 ZnO 박막의 경우 보다는 도핑하지 않은 ZnO 박막을 PLD로 증착 한 경우가 상대적으로 더 낮은 농도를 가지며, 비저항도 높지만 이동도는 훨씬 뛰어 난 것으로 보인다. 이것은 PLD로 증착된 ZnO 경우 박막의 결정성이 훨씬 뛰어나 전자가 잘 이동하는 것으로 판단된다. 또한  $In_2O_3$ 가 도핑된 경우 전반적으로 전자농도

는 높아지며, 이동도는 증가하였고, 비저항은 상당히 낮아지는 것을 알 수 있다.

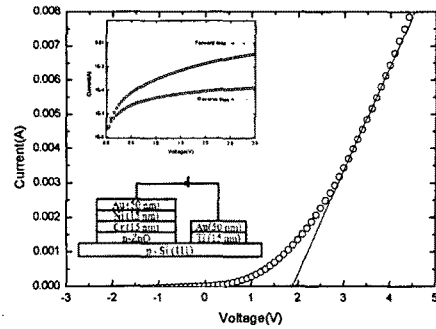


그림 2. Sputter로 증착된 ZnO의 전류-전압 특성 곡선

그림 2는 Sputter로 증착된 ZnO 박막의 ZnO/p-Si (111) 다이오드 특성 곡선이다. 역방향 전압에서는 전류가 거의 흐르지 않으며, 완벽한 정류특성 곡선을 보이고 있다. 이때 문턱전압은 약 1.8 V 정도로 나타났다. 또한 순방향 전류와 역방향 전류 비  $I_F/I_R (\pm 5 V) = 301$  정도 이다.

### 4. 결론

$In_2O_3$ 의 비율(0.1, 0.3, 0.6 at. %)이 다른 IZO타겟을 제작하여 PLD 방법으로 p-Si(111)기판위에 증착을 하였다. In이 극소량 도핑된 경우 (101) (102) 방향으로 일부 결정 성장이 이루어 졌다. 그리고 전기적인 특성 조사 결과 In이 도핑된 ZnO 박막 경우 전자농도와 이동도는 증가 하였으며, 비저항은  $\sim 10^{-2} \Omega \cdot cm$  까지 감소 하였다.

### 참고 문헌

- [1] J. Y. Lee, Y. S. Choi, J. H. Kim, M. O. Park, S. Im, "Optimizing n-ZnO / p-Si heterojunctions for photodiode applications", Thin Solid Films, 403/404, p. 553, 2002.
- [2] C. S. hong, H. H. Park, J. H. Moon, H. H. Park, "Effect of metal (Al, Ga, and In)-dopants and/or Ag-nanoparticles on the optical and electrical properties of ZnO thin films ", Thin Solid Films, Vol. 515, No. 3, p. 957, 2006.
- [3] E. S. Jung, H. S. Kim, B. H. Kong, H. K. Cho, N. K. Park, H. S. Lee, "The effect of oxygen content on the electrical characteristics of ZnO", phys. stat. sol.(b), Vol. 244, No. 5, p. 1553, 2007.
- [4] J. N. Zeng, J. K. Low, Z. M. Ren, T. Liew, Y. F. Lu, "Effect of deposition conditions on optical and electrical properties of ZnO films prepared by pulsed laser deposition", Appl. Surf. Sci. Vol. 197/198, p. 136, 2002.