

PLD법으로 증착된 n-ZnO:In/p-Si(111) 이종접합구조의 특성연구

장보라¹, 이주영¹, 이종훈¹, 김준제¹, 김홍승^{1*}, 이동욱², 이원재², 조형근³, 이호성⁴
 한국해양대학교¹, 동의대학교², 성균관대학교³, 경북대학교⁴

The study of the characteristic of n-ZnO:In/p-Si(111) heterostructure using Pulsed Laser Deposition

B. L. Jang,¹ J. Y. Lee¹, J. H. Lee¹, J. J. Kim¹, H. S. Kim^{1*}, D. W. Lee², W. J. Lee², H. K. Cho³, H. S. Lee⁴

¹ Department of Semiconductor Physics, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

² Department of Information Material Engineering, Dong-Eui University, Busan, Korea

³ School of Material Science Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea

⁴ Department of Material science and Metallurgy, Kyongpook University, Daegu, 702-701, Korea

Abstract : In this work, ZnO films doped with different contents of Indium (0.1at.%, 0.3at.%, 0.6at.%, respectively) were deposited on Si (111) substrate that has 1~20 Ωcm by pulsed laser deposition (PLD) at 600℃ for 30min. The thickness of the films are about 250 nm. The structural, optical and electrical properties of the films were investigated using X-ray Diffraction (XRD), Atomic force microscope (AFM), Photoluminescence (PL) and Hall measurement. It has been found that RMS of the films is decreased and grain size is increased with increasing the contents of doped Indium. The results of the Photoluminescence properties were indicated that the films have UV emission about 380nm and shows a little red shift with increasing contents of doped indium. The result of the Hall measurement shows that the concentration and resistivity in doped ZnO are as changing as one order, respectively $\sim 10^{18}/\text{cm}^2$, $\sim 10^{-2}\Omega\text{cm}$

Key Words : ZnO, PLD

2. 실험

1. 서론

ZnO는 II-VI족 화합물 반도체로서 상온에서 큰 엑시톤 결합에너지(60meV)를 가지며 에너지 밴드갭이 3.37eV인 직접천이형 반도체로 잘 알려진 물질이다. 이러한 ZnO의 물리적 특성은 광학소자로 상용화된 GaN와 유사하기 때문에 LEDs 나 LDs 등의 소자 재료로 주목받고 있다.

ZnO는 일반적으로 침입형 Zn 이온이나 산소공공 이온 등과 같은 형태의 결함에 의한 도너이온이 존재 하여 n형 전기 전도성을 가지게 된다. ZnO를 기반으로 하는 발광소자나 레이저 다이오드를 제조 하는데 있어서 가장 중요한 연구 과제는 결함이 적고 화학양론비가 우수한 p형 ZnO 박막의 제작이다. 최근 다양한 방법을 이용하여 시도 되어 지고 있으나 재현성 문제와 박막의 품질 문제로 인하여 소자로 응용하는데 많은 어려움이 있다. 이에 대한 대처 방안으로 GaN, AlGaN 등과 같은 p-type 물질 위에 n-type ZnO 박막을 성장함으로써 LED를 구현 하고자 하는 몇몇 연구가 시도 되고 있다.

본 연구에서는 p-type Si 기판 위에 n-type ZnO 박막을 증착하여 p-n 이종 접합 구조를 형성하였으며 ZnO에 In(dopant)을 도핑 함으로써 전하농도 및 전기전도도를 높여주고 외부환경에 안정적인 n-type ZnO 박막을 제조하여 광소자로서의 특성을 살펴보고자 하였다.

타겟은 순도 99.99%의 In₂O₃ 가 0.1, 0.3, 0.6 at.% 로 함유된 ZnO (99.99%) 1인치 타겟을 사용하였다. In₂O₃와 ZnO가 혼합된 분말을 울드를 이용하여 성형한 후 600℃에서 2시간 1200℃에서 4시간동안 소결하였다. ZnO와 IZO박막은 저항 1~20 Ωcm를 가지는 Si(111)기판에 증착하였으며 챔버 내의 초기진공도를 5×10^{-6} torr로 유지한 후 산소가스 27 sccm을 유입시켜 130 mtorr의 압력 하에서 PLD 법으로 600℃에서 30분간 증착하였다. 본 연구에 사용된 레이저는 excimer laser ($\lambda=248$ nm, $\tau=25$ ns)로 5 Hz의 입사펄스로 단위면적당 2J의 에너지를 가하였다. 증착된 ZnO와 IZO박막의 두께는 약 250nm이다. 성장시킨 박막의 결정성과 구조적 특성을 알아보기 위해 X-선 회절분석기(XRD ; X'Pert PRO MPD)와 탐침형 원자 현미경(AFM : SPA-400)을 이용하였다. 전기적인 특성과 광학적 특성을 알아보기 위해 홀 측정 과 광 발광성(Photoluminescence)을 측정을 하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 ZnO와 IZO박막의 XRD 패턴을 나타낸다. 이 XRD 패턴에서 ZnO와 IZO박막은 34.4°에서 (002)방향의 2θ값을 가진다. 이 값은 Hexagonal ZnO 결정구조의 (002)면에 의한 피크 값과 일치하는 값으로 Si(111)기판위에 c축으로 우선성장 되었음을 보여준다. 그러나 IZO박막의

경우 도핑 된 In의 양이 증가 할수록 (002)방향의 강도는 감소하며 (101)방향의 배향성이 증가 하는 것을 보인다. [1]

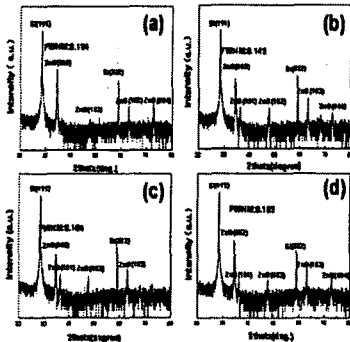


그림 1. 도펀트 첨가량에 따른 시편의 XRD 모양. (a) undoped ZnO, (b) 0.1at.% IZO, (c) 0.3at.% IZO, (d) 0.6at.% IZO

표 1은 AFM결과로부터 얻은 각 조건에 대한 아일랜드 크기와 표면 거칠기를 나타내었다. 증착된 박막의 표면 거칠기는 도핑 된 In의 양이 증가 할수록 감소하였으나 아일랜드의 크기는 증가하는 것을 보인다.

표 1. 박막의 아일랜드 크기와 표면 거칠기

| Sample(2micron) | Grain Size(nm) | RMS (nm) |
|-----------------|----------------|----------|
| ZnO | 236.4 | 17.68 |
| IZO(0.1at.%) | 157.3 | 11.28 |
| IZO(0.3at.%) | 159.7 | 12.27 |
| IZO(0.6at.%) | 205.0 | 9.67 |

그림 2는 ZnO와 IZO박막의 상온 PL특성을 나타내는 그림이다. ZnO 박막과 IZO박막은 380 nm부근에서 발광이 일어났으며 도핑 된 In의 양이 증가 할수록 장파장대로 이동함을 보인다. 이것은 In³⁺와 Zn²⁺의 치환에 의해 자유 전자가 생성되었고 생성된 자유전자에 의해 전도대 아래에서 In_{Zn} level이 형성된 것으로 보인다.[2] 또한 PL 측정에서 불순물에 의한 발광은 관찰 할 수 없었다.

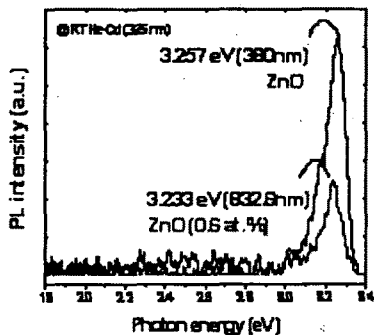


그림 2. ZnO박막과 0.6at.% IZO박막의 PL 스펙트럼

그림 3은 홀 측정에 의한 ZnO와 IZO박막의 전자농도, 이동도와 비저항 값을 나타낸다. ZnO박막은 $\sim 10^{17}/\text{cm}^3$ 의 전자 농도와 $9.1 \times 10^{-1} \Omega\text{cm}$ 의 비저항 값을 가지는 반면에 IZO박막은 $\sim 10^{18}/\text{cm}^3$ 의 전자농도와 $\sim 10^{-2} \Omega\text{cm}$ 의 비저항 값을 가지며 0.3at.%로 In이 도핑 되었을 때 가장 낮은 비저항 값과 높은 이동도를 가진다. 전자농도의 증가와 비저항의 감소는 In과 Zn의 치환에 의한 자유전자의 밀도가 증가에 의한 영향이라고 생각된다.

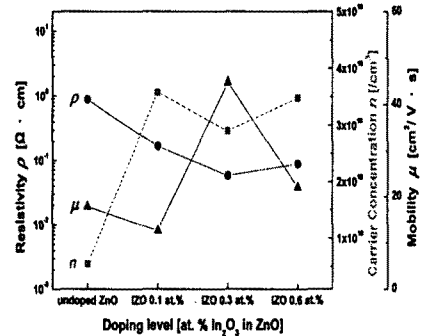


그림 3. 도펀트 첨가량에 따른 시편의 비저항과 전자농도, 이동도

4. 결론

Si(111)기판위에 In(0.1, 0.3, 0.6)at.%로 도핑 된 IZO박막과 ZnO박막을 PLD 법으로 증착시켰다. 증착된 박막은 34.4°에서 (002)방향의 2θ값을 가지며 이것은 Si(111)기판위에 c축으로 우선성장 되었음을 나타낸다. 그러나 도핑된 In의 양이 증가 할수록 (101)방향의 배향성이 증가하며 박막 표면의 거칠기가 감소하는 것을 보인다. 대체적으로 박막의 PL 스펙트럼은 불순물 발광 없이 380 nm 부근에서 발광 하였으며 도핑농도가 증가함에 따라 약간 장파장대로 이동함을 보인다. 또한 0.3at.%로 In이 도핑 된 IZO박막이 $2.39 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 의 전자농도와 $5.60 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ 의 낮은 비저항을 가진다. 이러한 광학적 특성과 전기적 특성의 변화는 In과 Zn의 치환에 의한 자유전자밀도의 증가 때문이라고 보여진다.

참고 문헌

- [1] Mujdat Caglar, Yasemin Caglar, Saliha Ilcan, phys. stat. sol., (c)4, 3, 1337-1340, (2007).
- [2] Xingping Peng, Hang Zang, Zhiguang Wang, Jinzhang Xu, Yinyue Wang, J. Lumin., 128, 328-322, (2008).