

ZnO:As/ZnO:Al homo-junction LED의 제조와 전기적 특성 분석

김경민, 소순진*, 박춘배

원광대학교 전기전자 및 정보공학부, (주) 나리지*온*

Electric properties Analysis and fabrication of ZnO:As/ZnO:Al homo-junction LED

Kyeong-Min Kim, Soon-Jin So*, Choon-Bae Park.

Wonkwang Univ. School of Electrical Electronic and Information Engineering, Knowledge*On Semiconductor Inc.*

Abstract : The p-type ZnO thin film, fabricated by means of the ampoule-tube method, was used to make the ZnO p-n junction, and its characteristics was analyzed. The ampoule-tube method was used to make the p-type ZnO based on the As diffusion, and the hall measurement was used to confirm that the p-type is formed. the current-voltage characteristics of the ZnO p-n junction were measured to confirm the rectification characteristics of a typical p-n junction and the low leakage voltage characteristics . Using the ampoule-tube to fabricate the p-type ZnO will provide a very useful technology for producing the UV ZnO LED and ZnO-based devices.

Key Words : ZnO p-n junction LED, Ampoule-tube method, p-type ZnO:As, n-type ZnO:Al

1. 서 론

II-VI 족 화합물 반도체인 ZnO 가 단파장 영역의 LEDs 나 LDs 로의 응용 재료로 각광을 받고 있다[1]. ZnO 는 상온에서 3.37 eV 의 직접 천이 band gap 을 가지고 있고 wide 밴드갭 영역에서 GaN 보다 우수한 특성을 가지고 있다. ZnO는 일반적으로 침입형 Zn 이온(Zn^{2+})이나 산소 공공 이온 (V_{O}^{2+})등과 같은 자연적인 도너 이온이 존재하기 때문에 n형 전도특성을 보인다. 그러나, p형 전도특성을 갖는 ZnO 박막 제작은 자연적인 도너 이온에 비해 억셉터 이온의 낮은 doping 용해도, 결정 내에 결정과 도핑된 억셉터의 복합체 형성, 그리고 doping된 dopant의 침입형 자리에 위치함으로써 전기적인 비활성화 등의 이유로 매우 어려운 문제로 알려져 있다[2].

최근, p형 ZnO 박막 제작을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. p-type 도핑 소스로 As, N, P과 같은 5족 원소가 사용되고 있고 도핑하는 방법도 다양해지고 있다[3]. Ryu와 그의 공동 연구자들은 GaAs 기판을 이용하여 ZnO 박막의 증착 온도를 조절함으로써 p-type ZnO 박막을 증착한 보고가 있다[4]. 그러나 현재 LED 양산공정 중의 한 방법인 ampoule-tube 법으로 p-type ZnO 박막을 제조하고 p-n 접합 특성을 보고된 문헌은 전무한 실정이다.

본 논문에서는 rf sputtering 법으로 증착된 undoped ZnO 박막을 ampoule-tube를 이용하여 p-type ZnO 박막을 제조하고 Hall특성 분석을 하였다. 또한 rf sputtering 법을 이용하여 ZnO p-n 접합 다이오드를 제작하고 V-I 특성을 분석하였다.

2. 실험

ZnO 박막은 rf sputtering 방법으로 ZnO (99.999%) 타겟을 이용하여 약 1.2 μ m 두께로 증착되었다. 증착에 사용

된 기판은 (100) GaAs 2인치 웨이퍼를 이용하였다.

이렇게 증착된 undoped ZnO 박막은 ampoule-tube 방식의 기상확산을 위해 ampoule-tube 내에 로딩하고 진공을 5×10^{-7} Torr 이하로 유지시키면서 산소와 수소를 이용하여 밀봉하였다. ZnO p-n 접합을 위해 n-type ZnO 박막은 rf sputtering 방법으로 2 wt% Al 이 도핑된 ZnO (99.999%) 타겟을 이용하여 약 1.0 μ m 두께로 증착되었다. 자세한 조건은 그림 1의 ZnO p-n 접합 LED의 모식도를 나타내었다.

Ampoule-tube 법에 의해 얻어진 p-ZnO 박막의 carrier의 거동 분석을 위해 hall 측정장비 (HL5500PC) 를 이용하여 van der pauw 방법으로 상온에서 측정하였다. 그리고, semiconductor parameter analyzer (HP 4155A) 를 이용하여 제작된 ZnO p-n 접합의 전기적인 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

ZnO p-n 접합을 제조하기 위해 사용된 p, n 박막의 hall 측정 결과를 표 1에 나타내었다. Al 도핑된 n-type

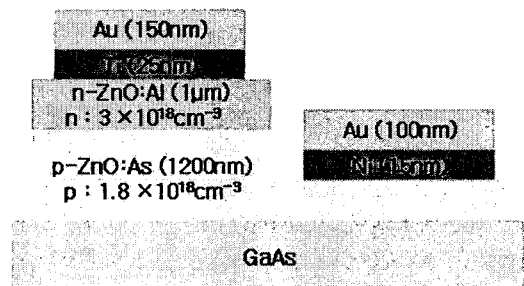


그림1. ZnO p-n 접합의 구조 개략도.

ZnO 박막의 캐리어 농도와 이동도는 각각 $1.14 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 과 $7.67 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 였다. 또한, As 도핑된 p-type ZnO 박막의 캐리어 농도와 이동도는 각각 $7.83 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 과 $54.59 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 로 측정되었다. 지금까지 보고된 p-type ZnO 박막의 캐리어 농도를 보면 $10^{17} \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 정도의 농도인 반면에 ampoule-tube 법으로 제조한 p-type ZnO 박막의 캐리어 농도는 $\sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 으로 상당히 높음을 알 수 있었고 이동도 또한 $50 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 이상으로 우수한 특성을 보였다.

표 1. ZnO p-n 접합을 위한 p, n 박막의 hall 측정결과.

	source	Carrier Con. [cm^{-3}]	Mobility [$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$]
n-type	Al	1.14×10^{21}	7.67
p-type	As	7.833×10^{21}	54.59

앞서 언급한대로 p-type ZnO 박막위에 n-type ZnO 박막을 증착하여 ZnO p-n 접합 다이오드를 제조하였다. 그림 2는 이렇게 제조된 ZnO p-n 접합 다이오드의 V-I 특성을 나타낸다. 그림에서 보여지 듯 순방향 전압에서 전형적인 p-n 접합의 정류 특성이 나타나고 있다. ZnO p-n 접합의 순방향 threshold 전압은 $\leq 3\text{V}$ 에서 나타났으며 20 mA 에서의 전압 (V_F) 는 대략 5.5V 이었다. 역방향 전압에서의 누설 전류 특성은 -10V 에서 0.1mA 정도의 매우 낮은 누설 전류를 보였으며 항복전압은 약 -11V 이었다. 보고된 ZnO p-n 접합 다이오드 결과들의 항복전압은 $\leq -5\text{V}$ 로 낮은 값들을 보이고 있는 반면 ampoule-tube 법으로 제조한 ZnO p-n 접합의 항복전압은 -11V 로 매우 높음을 확인하였다. 이는 홀측정 결과에서와 같이 ampoule-tube 법으로 제조한 p-type ZnO 박막의 영향으로 ZnO p-n 접합의 특성이 우수하게 나타났다고 판단된다.

그림 2에서 나타난 정류 특성이 ZnO 박막에서의 p-n 접합 특성임을 확인하기 위해 전극간 오믹 접촉 특성을 확인하였다. 그림 3은 n-ZnO:Al과 p-ZnO:As 박막의 오믹 접촉에 대한 V-I 특성을 나타낸다. n-ZnO 에 사용된 전극은 Ti/Au, p-ZnO 박막에 사용된 전극은 Ni/Au 를 사용하였다. 비슷한 에너지 밴드갭을 갖는 GaN 에 일반적으로 사용되는 전극을 이용하였다. n-n 전극간에 오믹 접촉이 형성됨을 확인하였고 p-p 전극 간에는 오믹 접촉에 가까운 접촉이 형성됨을 확인하였다. 따라서, 그림 2에 나타난 정류 특성은 ZnO 박막에서의 p-n 접합 특성임을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 ampoule-tube 법으로 제조한 p-type ZnO 박막을 이용하여 ZnO p-n 접합 다이오드를 제작하고 p-n 접합 특성을 연구하였다. ampoule-tube 법으로 제조한 p-type ZnO 박막의 전기적 특성은 매우 우수하였다. 그리고 제조된 ZnO p-n 접합의 전류-전압 특성은 전형적

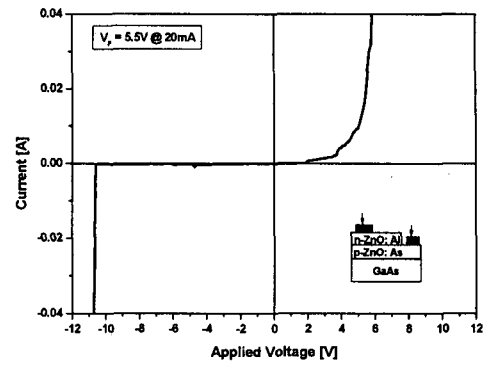


그림 2. ampoule-tube 법을 이용하여 제조된 ZnO p-n 접합 LED의 V-I 특성.

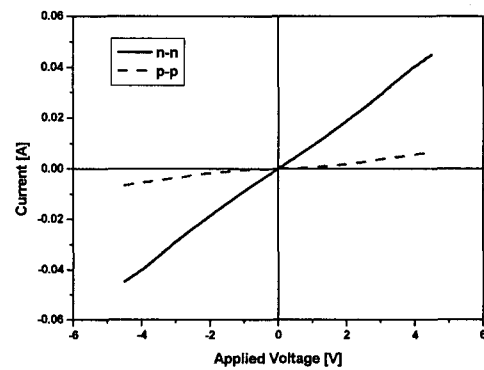


그림 3. n-ZnO 와 p-ZnO 박막의 오믹 접촉에 대한 V-I 특성.

인 p-n 접합의 정류 특성을 보였고 20 mA 에서의 순방향 전압 (V_F) 은 대략 5.5V 이었다. 역방향 누설 전류는 -10V 에서 0.1mA 정도의 매우 낮은 값을 나타내었다. 이는 p-type ZnO 박막의 우수한 전기적 특성으로 인해 p-n 접합 다이오드도 매우 우수한 특성을 보임을 확인하였다. 이러한 공정은 UV ZnO LED 와 ZnO 계 소자 제작에 있어서 매우 유용한 기술을 제공할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] D. C. Look and B. Claflin, Phys. Stat. Sol. (b), Vol. 241, No. 3, p. 624, 2004.
- [2] A. V. Singh, R. M. Mechra, A. Wakahara, A. Yoshida, J. Appl. Phys. Vol. 93, No. 1, p. 396, 2003.
- [3] S. J. So, C. B. Park, J. Crystal Growth Vol. 285, p. 606, 2005.
- [4] Y. R. Ryu, S. Zhu, J. D. Budai, H. R. Chandrasekhar, P. F. Miceli and H. W. White, J. Appl. Phys., Vol. 88, No. 1, p. 201, 2000.