

## ZnO:As/ZnO:Al homo-junction LED의 V-I 특성 분석

오상현, 정운환, 유연연, 박춘배  
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

### Analysis on the V-I Curve of ZnO:As/ZnO:Al homo-junction LED

Sang-Hyun Oh, Yun-Hwan Jeong, Yanyan Liu, Choon-Bae Park.  
Wonkwang Univ. School of Electrical Electronic and Information Engineering

**Abstract :** To investigate the ZnO LED which are interested in the next generation of short wavelength LEDs and Lasers, the ZnO thin films were deposited by RF magnetron sputtering system. 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. Analysis of ZnO LED V-I curve 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, V-I curve.

### 1. 서 론

II-VI 족 화합물 반도체인 ZnO는 최근 단파장 영역의 LEDs 나 LDs 로의 응용 재료로 각광을 받고 있다[1]. ZnO는 상온에서 3.37 eV의 직접천이 band gap을 가지고 있고 wide band gap영역에서 GaN 보다 전기적·광학적으로 우수한 특성을 가지고 있다. ZnO는 일반적으로 침입형 Zn 이온( $Zn_i^{2+}$ )이나 산소 공공 이온 ( $Vo^{2+}$ )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 결함과 도핑된 억셉터의 복합체 형성, 그리고 doping된 dopant의 침입형 자리에 위치함으로써 전기적인 비활성화 등의 이유로 매우 어려운 실정이다[2].

최근, p형 ZnO 박막 제작을 위한 연구가 활발히 진행되면서 As, N, P과 같은 5족 원소를 도핑한 p-type ZnO 박막에 관한 문헌이 많이 보고되었으며, 이를 바탕으로 ZnO 계 Homo-junction LED에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있다[3]. 하지만 ZnO LED의 특성분석의 중요한 요소인 V-I curve를 분석한 문헌은 전무한 실정이다.

본 논문에서는 RF sputtering 법과 ampoule-tube 법을 이용하여 ZnO:As/ZnO:Al homo-junction LED를 제작하고, 제작된 소자의 V-I curve를 분석하였다.

### 2. 실험

ZnO 박막은 RF sputtering 방법으로 5N ZnO 타겟을 이용하여 약 1.2 $\mu$ m 두께로 증착되었다. 증착에 사용된 기판은 (100) GaAs 2인치 웨이퍼를 이용하였다.

증착된 undoped ZnO 박막은 ampoule-tube 방식의 기상확산을 위해 ampoule-tube 내에 로딩하고 진공을

5 $\times 10^{-7}$ Torr 이하로 유지시키면서 산소와 수소를 이용하여 밀봉하여 제작하였다. ZnO p-n 접합을 위해 n-type ZnO 박막은 RF sputtering 방법으로 2 wt% Al 이 도핑된 5N AZO 타겟을 이용하여 약 1.0 $\mu$ m 두께로 증착하였다.

Ampoule-tube 법에 의해 얻어진 p-ZnO 박막의 carrier의 거동 분석을 위해 hall 측정장비를 이용하여 상온에서 측정하였으며, semiconductor parameter analyzer (HP 4155A)를 이용하여 제작된 ZnO LED의 V-I curve를 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

ZnO p-n 접합을 제조하기 위해 사용된 p-type, n-type 박막의 hall 측정 결과를 표 1에 나타내었다. Al 도핑된 n-type ZnO 박막의 캐리어 농도와 이동도는 각각 1.14 $\times 10^{21}$  cm $^{-3}$  과 7.67 cm $^2$ /Vsec 였다. 또한, As 도핑된 p-type ZnO 박막의 캐리어 농도와 이동도는 각각 7.83 $\times 10^{21}$  cm $^{-3}$  과 54.59 cm $^2$ /Vsec로 측정되었다. 지금까지 보고된 p-type ZnO 박막의 캐리어 농도를 보면 10 $^{17}$ ~10 $^{19}$ cm $^{-3}$  정도의 농도인 반면에 ampoule-tube 법으로 제조한 p-type ZnO 박막의 캐리어 농도는  $\sim 10^{21}$  cm $^{-3}$

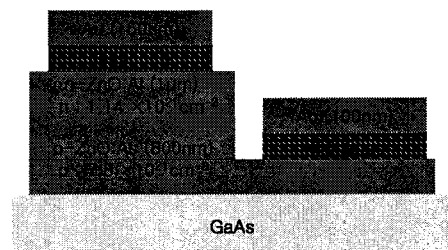


그림1. ZnO p-n 접합 LED의 구조 개략도.

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

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

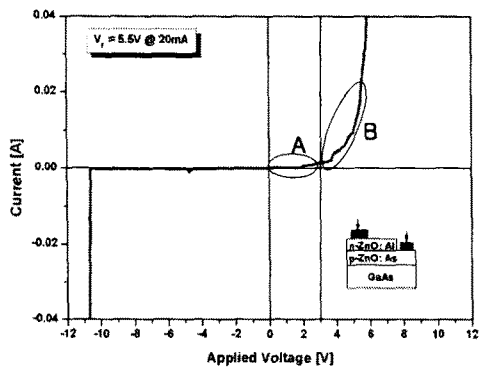


그림 2. ampoule-tube 법을 이용하여 제조된 ZnO p-n 접합 LED의 V-I 특성.

으로 상당히 높음을 알 수 있었고, 이동도 또한  $50 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  이상으로 우수한 특성을 보였다. 이러한 높은 캐리어 농도로 인하여 제작된 소자의 threshold 전압은 지금까지 보고된  $5.4 \sim 8 \text{ V}$ 의 전압에 비하여 낮은 값이다.

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 diode의 정류특성이 나타나고 있다. ZnO p-n 접합의 순방향 threshold 전압은  $\leq 3\text{V}$ 에서 나타났다. 이 값은 밴드갭과 관계있으며, 식(1)에 근접한 값이다. 여기서,  $V_D$ 는 Diffusion voltage,  $V_T$ 는 Threshold voltage를 나타낸다.

$$V_D = \frac{kT}{e} \ln \left[ \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right] \approx V_T \approx \frac{E_g}{e} = \frac{3.37 \text{ eV}}{e} \approx 3.37 \text{ V} \quad (1)$$

그림 2에서  $0 \sim V_T$  영역(A)에서의 기울기는 소자의 p-n 접합 결함과 표면 결함 등의 병렬저항 성분을 나타내며,  $V_T \sim \infty$  전압포화영역(B)에서의 기울기는 소자의 공핍층 저항과 박막-전극간의 ohmic접촉 저항 등의 직렬저항 성분을 나타낸다.

역방향 전압에서의 누설 전류 특성은  $0 \sim -10\text{V}$ 에서는  $0.1\text{mA}$  정도의 매우 낮은 누설 전류를 보였으며 항복전압은 약  $-11\text{V}$  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  $-11\text{V}$ 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.

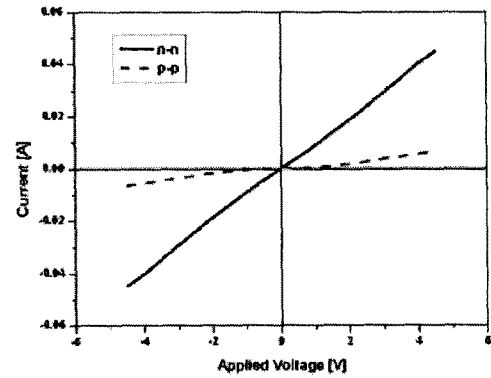


그림 3. n-ZnO와 p-ZnO의 오믹접촉에 대한 V-I 특성.

그림 3은 n-ZnO:Al과 p-ZnO:As 박막의 ohmic접촉에 대한 V-I 특성을 나타낸다. n-ZnO에 사용된 전극은 Ti/Au, p-ZnO 박막에 사용된 전극은 Ni/Au를 사용하였다. n-n 전극간에서는 우수한 ohmic접촉이 형성됨을 확인하였고, p-p 전극간에는 ohmic접합 특성을 나타내고, 매우 큰 저항성분을 갖고 있으며 비선형특성을 확인할 수 있었다. 이러한 저항성분은 앞에서 언급한 것과 같이 그림 2의 B영역 즉, 직렬저항 성분의 증가를 가져온 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 RF sputtering 법과 ampoule-tube 법을 이용하여 ZnO:As/ZnO:Al homo-junction LED를 제작하고, 제작된 소자의 V-I curve를 분석하였다. Ampoule-tube 법으로 제조한 p-type ZnO 박막의 전기적 특성은 매우 우수하였다. 그리고 제조된 ZnO p-n 접합의 전류-전압 특성은 전형적인 p-n 접합의 정류 특성을 보였고, threshold 전압은 식(1)에서 보인  $3.37\text{V}$ 와 근접한  $\leq 3\text{V}$ 를 나타냈다. 역방향 누설 전류는  $-10\text{V}$ 에서  $0.1\text{mA}$  정도의 매우 낮은 값을 나타내었다. 또한, p-p 전극간의 ohmic접촉 특성을 확인함으로써 V-I curve의 직렬저항 성분이 증가한 원인을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 산학연협력 기업부설연구소설치지원사업의 연구결과로 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] Yungryel Ryu, Tae-Seok Lee, Jorge A. Lubguban, Henry W. White, Bong-Jin Kim, Yoon-Soo Park and Chang-Joo Youn, Appl. Phys. Lett., 88, 241108, 2006.
- [2] D. C. Look and B. Clafin, Phys. Stat. Sol. (b), Vol. 241, No. 3, p. 624, 2004.
- [3] Atsushi Tsukazaki et., Jap. Jour. Appl. Phys., Vol. 44, No. 21, p. 643, 2005.