

## p형 반전층을 갖는 ZnO계 자외선 수광소자의 제작과 전기적 · 광학적 특성 분석

오상현, 김덕규\*, 최대섭\*\*, 박준배  
원광대학교 전기전자 및 정보공학부, 청주대학교\*, 서일대학교\*\*

### Analysis on the Electrical · Optical Properties and Fabrication of ZnO Based UV Photodetector with p-type Inversion Layer

Sang-Hyun Oh, Deok-Kyu Kim\*, Dai-Seub Choi\*\*, Choon-Bae Park  
School of Electrical Electronic and Information Engineering, Wonkwang Univ.  
Cheongju Univ.\*, Seoil Coll.\*\*

**Abstract :** To investigate the ZnO thin films which are interested in the next generation of short wavelength LEDs and Lasers and UV photodetector with p-type inversion layer, the ZnO thin films were deposited by RF sputtering system. Gas ratios and work pressure is Ar : O<sub>2</sub> = 4 : 1 and 15 mTorr, respectively, and the purity of ZnO target is 5N. The ZnO thin films were deposited at 300, 450, and 650°C. The current-voltage, responsivity and quantum efficiency of devices were studied and compared with each devices.

**Key Words :** UV Photodetector, P-type inversion layer, ZnO thin films, RF sputtering system

#### 1. 서 론

최근 화합물 반도체를 이용한 광 디바이스 산업이 각광 받고 있으며, 광 디바이스 중 자외선 수광소자는 상업용, 의학용, 우주 항공, 통신 및 군사용 등으로 광범위하게 사용이 가능하다[1]. 이에 따라 자외선 수광소자에 관한 관심이 집중되고 있다. 현재 사용되고 있는 반도체형 자외선 센서의 재료로는 Si, SiC, GaAs 등이 널리 사용되고 있다. 이러한 재료의 수광소자는 light-current와 dark-current의 차이가 작고, 극한의 환경에서의 동작 시 잡음이 큰 단점을 가지고 있다[2]. 또한, 현재 사용되고 있는 p-n 접합형 자외선 센서는 p 층의 두께가 두꺼워 접합이 깊은 곳에서 형성됨으로써 파장이 짧은 빛의 도달에 문제가 발생하며 이로 인해 효율이 감소하는 문제를 갖고 있다.

그러나 II-VI족 화합물인 ZnO계 수광소자는 3.37 eV의 큰 에너지 밴드갭을 갖고 있어 380 nm의 자외선 영역에서 동작할 뿐만 아니라, Zn-O의 결합력이 크고 융점이 약 2,000°C에 이른다. 이로 인해 기계적, 열적 저항력이 높아 Aerospace, Automotive, Petroleum 등과 같은 극한의 환경에서도 우수한 신뢰성을 나타낼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 고속 응답특성을 나타내는 p형 반전층을 갖는 ZnO계 자외선 수광소자를 제작하기 위해 ion implantation법으로 p<sup>+</sup>-Si 층을 형성하고 RF sputtering 법으로 기판과 증착온도에 따른 진성 ZnO 박막을 증착하여 전기적·광학적 특성을 비교 분석하였다.

#### 2. 실험

고효율, 고속 응답특성을 갖는 자외선 수광소자를 개발하기 위해, p형 반전층을 갖는 ZnO계 자외선 수광소자를 그림 1과 같이 n<sup>-</sup>-Si Epi. wafer상에 제작하였으며, wafer의 초기조건 표 1과 같다.

진성에 가까운 ZnO와 n<sup>-</sup>-Si 접합 시 접합면의 n형 Si 측에 p형 반전층이 형성되기 때문에, 진성에 가까운 ZnO의 성장이 매우 중요한 요소이다. 따라서 선행연구를 바탕으로 Zn : O<sub>2</sub>비가 1 : 1이 되는 ZnO 박막을 제작하기 위해 온도에 따라 증착하였다. 온도에 따른 ZnO 박막 증착 조건은 표 2와 같고, 기판은 HF : DI = 7 : 1의 BOE 용액에서 5 분간의 전처리를 통해 산화막을 제거하였으며, 제작된 소자의 빛 조사에 따른 전기적 특성의 변화를 측정하기 위해 자외선 광원으로는 peak파장 352~368nm, 자외선 출력 1.5W의 Hg Lamp를 사용 하

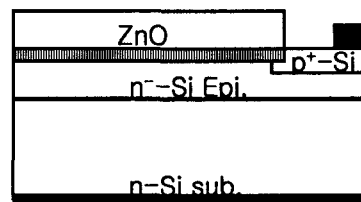


그림 1. p형 반전층을 갖는 ZnO계 수광소자의 모식도.

표 1. n<sup>-</sup>-Si Epi. wafer 초기조건.

Epi. Thick. [um]	Epi. Res. [Ω · cm]	Epi. Conc. [atoms/cm <sup>3</sup> ]	wafer total Thick.[um]
40.2 - 47.4	14.5 - 17.0	2.6E <sup>14</sup> - 3.0E <sup>14</sup>	650 - 685

표 2. ZnO/Si 박막의 RF sputtering 조건.

Parameter	Condition	
Substrate	n <sup>-</sup> -Si Epi. wafer	
Base pressure	8.0x10 <sup>-6</sup> Torr.	
Working pressure	15 mTorr	
Depo.	RF power	120 W
	Substrate temperature	300, 450, 600 °C
	Deposition time	1hr
	Gas ratio	Ar : O <sub>2</sub> = 40 : 10
Post-anne.	Atmosphere	O <sub>2</sub>
	Temperature	400 °C
	Time	20 min

였으며, 가시광 광원으로는 632.8nm의 red 파장, 출력 5mW의 He-Ne Laser를 사용하였다. 또한, 암전류와 광전류는 Probe-Station과 Semiconductor Parameter Analyser (HP 3145A)를 사용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 검토

그림 2는 증착온도에 따른 소자의 dark-current를 나타내고 있다. 30V의 Reverse bias에서 측정한 dark-current는 600°C에서 0.027mA로 가장 작았으며, 450°C에서 0.76mA로 가장 크게 측정되었다. 그림 3은 응답특성 및 양자효율이 가장 우수한 450°C에서 증착된 소자의 Visible 및 UV광 조사 시 소자에 흐르는 전압-전류특성을 보여주고 있다. 또한 표 3에서는 증착온도에 따른, 전류특성 및 응답특성과 양자효율을 나타내었다.

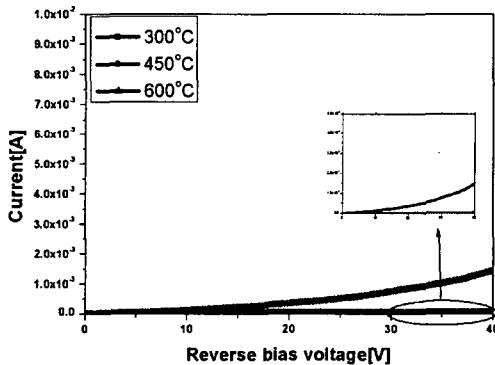


그림 2. 증착온도에 따른 dark-current 특성.

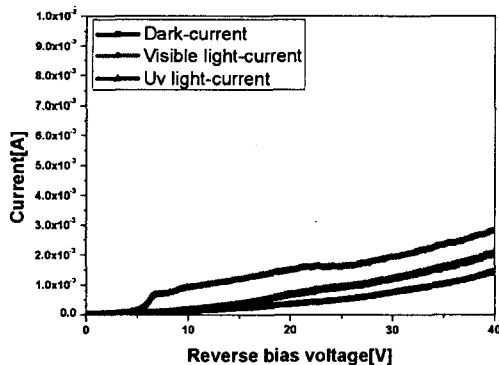


그림 3. 450°C에서 증착된 소자의 V-I 특성.

표 3. 소자의 전기적 특성. (at 30V reverse bias)

	300°C	450°C	600°C
Dark-current [mA]	0.039	0.763	0.027
Visible light-current [mA]	0.227	1.94	0.079
UV lighting-current [mA]	0.12	1.2	0.04
Visible Responsivity[A/W]	0.038 /	0.355 /	0.01 /
/ Q.E.[%]	7.4	69.6	2
UV Responsivity[A/W]	0.054	0.29	0.89

450°C ZnO 박막이 증착된 소자에서 가장 우수한 전기적·광학적 특성을 나타내는 이유는 ZnO 박막의 결정질이 가장 우수하고, ZnO 박막과 Si Epi. wafer의 계면에서 SiO<sub>2</sub>와 같은 절연층이 생기지 않아서 가장 우수한 전압-전류 특성을 나타낸 것이라고 판단된다[3].

### 4. 결론

본 연구에서는 p형 반전층을 갖는 ZnO계 자외선 수광 소자를 제작하기 위해 n<sup>-</sup>-Si epi. wafer를 기판으로 사용하였으며, p<sup>+</sup>-Si 층을 형성하기 위해 ion implantation 공정을 수행하였다. RF sputtering 법으로 증착온도에 따라 ZnO 박막을 증착하고, 전기적·광학적 특성을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 30V Reverse bias에서 측정한 dark-current는 300°C에서 가장 작고, 450°C에서 가장 크게 나타났다.
- 2) 450°C에서 ZnO 박막을 증착한 소자에서 응답특성과 양자효율은 red광에서 각각 0.36A/W와 69.6% 그리고 UV광에서 0.29A/W의 응답특성을 나타냈으며, 현재까지의 연구에 비해 약 10%의 양자효율이 개선되었다.
- 3) 본 연구결과로 p형 반전층을 이용한 ZnO계 UV 수광 소자로의 가능성을 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] J. Y. Lee, Y. S. Choi, J. H. Kim, M. O. Park, S. Im, Thin Solid Films, Vol. 403-404, p. 553, 2002.
- [2] M. A. Khan, Q. Chen, J. Sun, M. Shur, and B. Gelmont, Appl. Phys. Lett., Vol. 67, p. 1429, 1995.
- [3] J. Y. Lee, Y. S. Choi, W. H. Yeom, Y. K. Moon, J. H. Kim, S. Im, Thin Solid Films, Vol. 420-421, p. 112, 2001.
- [4] I. S. Jeong, Jae Hook Kim, and Seongil Im, Appl. Phys. Lett., Vol. 83, No. 14, 6 October 2003