

# p형 반전층을 갖는 ZnO계 자외선 수광소자의 설계 및 제작에 관한 연구

오상현, 김호걸, 박춘배  
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

## A Study on the Design and Fabrication of ZnO Based UV Photodetector with p-type Inversion Layer

Sang-Hyun Oh, Hu-Jie Jin, Choon-Bae Park  
School of Electrical Electronic and Information Engineering, Wonkwang Univ.

**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. Substrate temperature and work pressure is 100°C and 15 mTorr, respectively, and the purity of ZnO target is 5N. The ZnO thin films were deposited at 100°C, 200°C, 300°C, and 400°C. For sample deposited at 300°C, we observed full width at half maximum (FWHM) of 0.24° and good surface morphology.

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

### 1. 서 론

최근 광소자에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 그중에서도 화합물 반도체를 이용한 광 디바이스 제작이 주를 이루고 있다. 광 디바이스 중 자외선 수광소자는 산업용, 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 에너지 밴드갭 (Si : 1.12 eV, SiC : 2.9 eV, GaAs : 1.42 eV)은 상대적으로 작기 때문에 자외선 뿐만 아니라 가시광이나 자외선 영역에서 까지 응답할 뿐만 아니라 극한의 환경에서의 동작 시 잡음이 큰 단점을 가지고 있다[2,3]. 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 증착온도와 가스비에 따른 진성 ZnO를 증착하여 비교 분석하였다.

### 2. 실험

고효율, 고속 응답특성을 갖는 자외선 수광소자를 개발하기 위해, p형 반전층을 갖는 ZnO계 자외선 수광소자를 그림 1과 같이 제작하였다. n<sup>-</sup>-Si epi. wafer 상에 전극과의 ohmic접촉을 용이하게 하기 위한 p<sup>+</sup>-Si 층을 만들기 위해, furnace에서 1,100 °C의 고온으로 3,000 A 두께의 SiO<sub>2</sub> 막을 형성하였으며, PR track과 mask aligner 장비를 사용하여 pattern을 형성하였다. 다음으로 형성된 pattern에 ion implantation법을 사용하여 두께 2 um, 농도 약 10<sup>19</sup> atoms/cm<sup>3</sup>의 p<sup>+</sup>-Si 층을 <sup>11</sup>B<sup>+</sup> 이온을 source로 하여 만들었으며, 다시 furnace에서 850 °C, 30분간 안정화 공정을 수행하였다.

진성에 가까운 ZnO와 n<sup>-</sup>-Si 접합 시 접합면의 n형 Si 층에 p형 반전층이 형성되기에, 진성에 가까운 ZnO의 성장이 매우 중요한 요소이다. 때문에 Si 상에 우수한 ZnO 박막을 증착하고, Zn : O의 비율을 1 : 1로 최적화하며 우수한 결정질의 ZnO 박막 성장을 위한 선행공정으로서, n-Si (100) wafer에 RF sputtering법을 사용하여 ZnO 박막을 증착하였다. ZnO 박막 증착 조건은 표 1과 같다.

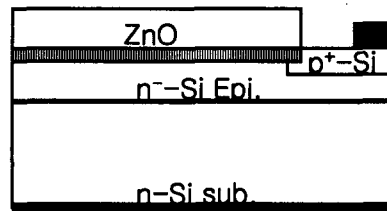


그림 1. p형 반전층을 갖는 ZnO계 수광소자의 모식도

480°C 이상의 고온에서 ZnO 박막 증착 시 ZnO 와 Si 의 계면에 SiO<sub>2</sub> 층이 형성된다. 이는 빛을 흡수하고, 전자와 정공의 이동을 방해하며, 누설전류를 발생시키기에 저온 증착을 실시하였다[4].

ZnO 박막의 상분석은 X-ray diffraction (XRD) 분석을 통해 이루어 졌고, 표면분석은 field emission - scanning electron microscopy (FE-SEM) 장비를 사용하여 분석하였다.

표 1. ZnO/Si 박막의 RF sputtering, Annealing 조건.

Parameters	Conditions
Substrate	n-type Si (100)
Base pressure	$8.0 \times 10^{-6}$ Torr
Working pressure	15mTorr
RF power	150W
Deposition time	3hr
Pre-sputtering time	5min
Substrate temperature	100, 200, 300, 400°C
Gas ratio	Ar : O <sub>2</sub> = 50 : 10, 40 : 10
Annealing time	2hr
Annealing ambient	O <sub>2</sub>
Annealing temperature	400°C

### 3. 결과 및 검토

그림 2 는 ZnO 박막의 XRD 피크와 (0002) ZnO 피크에 대한 full width at half maximum (FWHM)을 보여준다. XRD 패턴을 통해 ZnO 박막이 약 34.4°의 우수한 (0002) ZnO 피크를 보였으며, 가스비 보다는 증착온도에 따라 XRD 피크의 강도에서 큰 차이가 있음을 확인하였다. Si기판은 HF : DI = 7 : 1의 BOE 용액에서 5 분간의 전처리를 통해 산화물을 제거하였으며, 300°C 에서 증착된 ZnO 박막에서 가장 큰 XRD 피크를 나타내었다. 또한 같은 조건에서 0.24°의 가장 작은 FWHM 을 확인하였다.

그림 3 은 Ar : O<sub>2</sub>의 가스비가 50 : 10일 때 기판의 온도에 따른 ZnO 박막의 표면 FE-SEM 사진이다. 300°C 에서 증착된 ZnO 박막에서 가장 우수한 표면을 확인하였다. 또한 400°C 이상의 고온에서 증착된 박막은 큰 결정립과 작은 결정립이 공존하는 모습을 보였다.

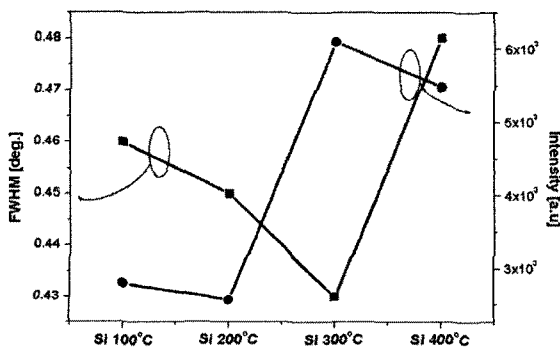


그림 2. ZnO/Si 박막의 XRD 피크와 FWHM

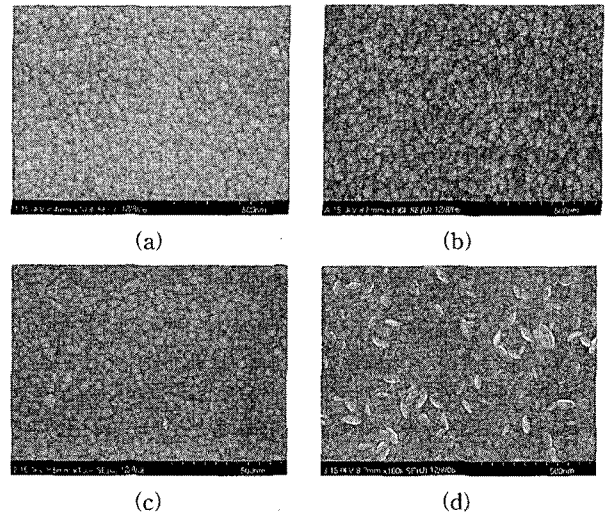


그림 3. ZnO/Si 박막 증착온도(°C)에 따른 FE-SEM 사진 (a)100, (b)200, (c)300, (d)400

### 4. 결론

본 연구에서는 p형 반전층을 갖는 ZnO계 자외선 수광 소자를 제작하기 위해 n<sup>-</sup>-Si epi. wafer 를 사용하였으며, p<sup>+</sup>-Si 층을 형성하기 위해 ion implantation 공정을 수행하였다. 또한 진성 ZnO 박막을 제조하기 위해 RF Sputtering 법으로 가스비와 증착온도에 따른 특성을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) ion implantation 공정을 통해 두께 2 um, 농도가 약  $10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup> 인 p<sup>+</sup>-Si 층을 n<sup>-</sup>-Si epi. wafer의 제조하였다.
- 2) RF sputtering 법으로 300°C 증착, 400°C annealing 한 ZnO 박막이 가장 우수한 (0002) ZnO 피크와 0.24°의 가장 작은 FWHM 수치를 나타냈다.

이러한 결과를 토대로 향후 연구에서는 제작된 소자의 전기적, 광학적 특성을 분석할 계획이다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

- [1] 성익중, 이석현, 이체향, 이용현, 이정희, 함성호, 전자 공학회논문지, 제 36권, D편, 6호, 1999.
- [2] M. A. Khan, Q. Chen, J. Sun, M. Shur, and B. Gelmont, Appl. Phys. Lett., Vol. 67, p. 1429, 1995.
- [3] S. N. Mohammad, A. A. Salvador, and H. Morkoc, Proceeding of the IEEE, Vol. 83, No. 10, p. 1306, 1995.
- [4] 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.