

펄스 레이저 증착법에 의해 제작된 ZnO-Si-ZnO 다층 박막의 특성 분석

Characteristics analysis of ZnO-Si-ZnO multi-layer thin films by pulsed laser deposition.

강홍성, 강정석, 심은섭, 방성식, 이상렬*

(Hong Seong Kang, Jeong Seok Kang, Eun Sub Shim, Seong Sik Pang, and Sang Yeol Lee)

Abstract

ZnO-Si-ZnO multi-layer thin films have been deposited by pulsed laser deposition (PLD). And then, the films have been annealed at 300°C in oxygen ambient pressure. Electrical properties of the films were improved slightly than ZnO thin film without Si layer. Also, the optical and structural properties changed by Si layer in ZnO thin film. The optical and structural properties of Si-doped ZnO thin films were characterized by PL(Photoluminescence) and XRD(X-ray diffraction method) respectively. Electrical properties were measured by van der Pauw Hall measurements.

Key Words : ZnO-Si-ZnO multi-layer, PLD, PL, XRD

1. 서론

최근 ZnO는 넓은 에너지 밴드갭, 큰 엑시톤 바인딩 에너지(large exciton binding energy), 광학적 투명도의 우수성 때문에 발광소자 및 광학소자의 응용에 큰 관심을 모으고 있다[1-3]. ZnO는 상온에서 약 3.37 eV의 광대역 에너지 갭을 가지는 2-6족 화합물 반도체로서 acoustic wave 소자, 압전 소자 등의 응용[4-6]과 태양전지, 바리스터, 플랫 패널 디스플레이 응용에서 저전압 발광을 위한 형광 물질로써도 많은 관심을 모으고 있다[7-9]. ZnO는 특히 최근 LED 및 LD등의 광소자

응용을 위한 연구가 많이 진행중이다. 그러나 성장된 ZnO는 박막은 주로 n-type 특성을 나타내는 특성을 가지기 때문에 ZnO가 p형을 제작하기 어려운 점이 있으나 최근 p형 연구가 활발히 진행중이어서[10,11], ZnO 발광 소자의 개발이 오래지 않을 것으로 보인다.

ZnO의 전기적, 광학적 특성을 향상시키기 위하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 또한 여러 가지 물질을 ZnO 박막과 혼합시킴으로써 그 특성 변화를 관찰하는 것은 ZnO의 물질 및 특성 연구에 많은 도움이 될 것이다. 본 연구에서는 ZnO 박막 사이에 Si 층을 삽입하여 전기적, 광학적 특성 변화를 연구하였다.

2. 실험

ZnO 박막은 (001) 사파이어기판(Al_2O_3)위에 증착하였다. PLD법에 의해 증착하였고 레이저 원으로는 Q-Switched Nd:YAG laser를 사용하였다. 사용된 레이저의 파장은 355 nm였다.

* 연세대학교 전기전자공학과
(서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 전기전자공학과 정보소자 및 소재응용 연구실 (공학관 A240))
Fax: 02-364-9770
E-mail : sylee@yonsei.ac.kr)

ZnO 박막을 산소 분위기압하에서 사파이어기판 위에 먼저 5000Å가량 증착 후, Si을 그 위에 진공 중에서 증착하였다. 그리고 그 위에 3000Å가량 ZnO 박막을 산소 분위기압하에서 증착하였다. 그리고 나서 300°C의 온도에서 1시간, 2시간 동안 산소분위기압 하에서 후열처리를 실시하였다.

ZnO 박막의 광학적 특성은 Photoluminescence로 분석하였다. PL 결과를 통해 ZnO 박막의 증착 상태와 화학양론(stoichiometry)을 간접적으로 알 수 있다. ZnO 박막의 구조적 특성은 XRD(X-ray diffraction) 법을 사용하여 측정하였다. 전기적 특성 분석을 위하여 홀 측정을 실시하였다. 모든 측정은 상온에서 실시되었고 Si층을 삽입하지 않고 제작된 순수한 ZnO 박막과 비교 설명하였다.

3. 결과 및 고찰

제작된 ZnO-Si-ZnO 다층 박막의 구조적 특성을 관찰하기 위하여 XRD 측정을 실시하였다. 결정성을 알아보기 위하여 X-ray rocking curve (XRC)를 실시하였으며 그 결과는 표 1과 같다. 표1에서 보는 바와 같이 후열처리 시간이 증가함에 따라 결정성이 향상됨을 알 수 있었다. 후열처리를 실시하지 않은 ZnO-Si-ZnO 다층 박막은 0.78 정도의 FWHM값을 가졌으나 후열처리 시간이 지남에 따라 0.59, 0.54로 점점 감소함을 알 수 있었다. Si층을 삽입하지 않은 ZnO 박막의 FWHM은 대략 0.5° 정도의 값을 가졌다. 후열처리 시간이 2시간 정도 지난 후의 FWHM 값은 Si 층을 삽입하지 않고 제작된 ZnO 박막의 FWHM 값과 거의 비슷해짐을 알 수 있었다.

표 1. ZnO-Si-ZnO 다층 박막의 FWHM

Table 1. FWHM of ZnO-Si-ZnO multi-layer

후열처리 시간	as-grown	1시간	2시간
FWHM(°) (XRC)	0.78	0.59	0.54

다음으로 Si 삽입된 다층 ZnO 박막의 광학적 특성변화를 연구하기 위하여 PL 측정을 실시하였다. ZnO 박막은 화학양론적 결합시 주로 자외선(UV) 발광을 나타내고 각종 결함에 의해 가시광 영역의 발광을 나타낸다[12,13]. 하지만 이러한 가시광 영역의 확실한 메커니즘에 대해서는 아직도 많은 논란이 되고 있다.

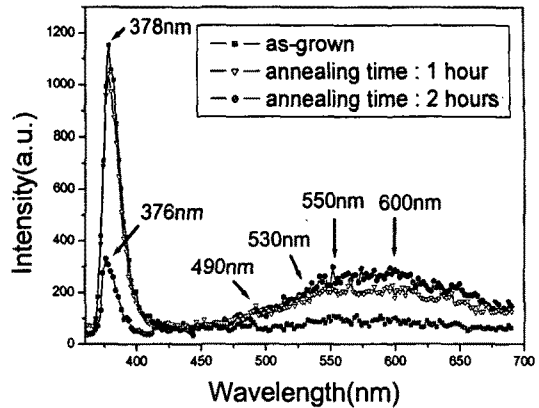


그림 1. ZnO-Si-ZnO 다층 박막의 PL 특성.

Fig. 1. PL spectra of ZnO-Si-ZnO multi-layer film.

Si층이 삽입되지 않은 ZnO박막의 경우 UV 발광의 peak의 위치는 380 nm였다[14,15]. 그림 2에서 보는 바와 같이 Si 층을 삽입한 다층박막의 경우 후열처리시간이 지남에 따라 378 nm에서 376 nm로 peak의 이동이 발생하였다. 이것은 Si 층이 삽입되지 않은 ZnO 박막의 자외선 peak인 380 nm의 3.26 eV에서 376 nm의 3.30 eV로 자외선의 청색편이가 일어남을 나타낸다.

그림 1에서 보는 바와 같이, Si 층을 삽입함으로써 가시광 영역의 변화도 관찰할 수 있었다. 본 연구실에서 Si층을 삽입하지 않은 ZnO 박막의 가시광은 주로 녹색영역의 발광을 나타내었다[14,15]. Si층을 삽입하여 후열처리하는 경우 시간이 지날수록 녹색-노란색 영역(550~600 nm)의 발광의 세기가 강해짐을 알 수 있었다.

전기적 특성 변화를 관찰하기 위하여 홀 측정을 실시하였다. 표2에 Si 층을 넣지 않은 ZnO 박막과 Si이 삽입된 ZnO 다층 박막을 비교 하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 Si이 ZnO 박막의 이동도를 향상시킴을 알 수 있었다.

표 2. ZnO-Si-ZnO 다층 박막의 이동도

Table 2. Mobility of ZnO-Si-ZnO multi-layer

	ZnO without Si layer	as-grown	후열처리 1시간	후열처리 2시간
μ (cm ² /Vs)	6.41	18.9946	20.6552	20.4986

4. 결 론

ZnO 박막에 Si 층을 삽입하여 ZnO-Si-ZnO 다층 박막을 제작하였다. 이 박막에 관하여 구조적, 광학적, 전기적 특성을 관찰하였다. 2시간 후열처리 후 다층박막은 Si를 삽입하지 않은 ZnO 박막과 비슷한 수준의 결정성을 가질 수 있었다. 광학적 측면에서는 UV영역에서 380 nm에서 376 nm로의 청색편이가 발생하였고 세기는 감소되었다. 가시광 영역에서는 후열처리 시간이 증가함에 따라 대략 550 nm에서 600 nm의 영역의 가시광의 세기가 증가하는 경향성을 나타내었다. 전기적 특성의 측면에서는 Si층을 삽입함으로써 약 6에서 20cm/Vs로 이동도를 증가시킬 수 있었다. 이러한 광학적 특성 변화와 이동도의 증가는 앞으로 ZnO 박막의 광소자 제작시 많은 응용이 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구 되었음 (KRF-2001-041-E00152)

참고 문헌

- [1] Ahmed Nahhas, Hong Koo Kim, Fean Blachere, Appl. Phys. Lett. 78, 1151(2001)
- [2] V. Craciun, J. Elders, J. G. E Gardeniers, Ian W. Boyd, Appl. Phys. Lett. 65, 2963(1994)
- [3] V. Srikant, D, R. Clarke J. Appl. Phys. 83, 5447 (1998)
- [4] T. Mitsuyu, S. Ono, and K. Wasa, Journal of Applied Physics, vol. 51, (1980), p. 2646.
- [5] Y. Ito, K. Kushida, H. Kanda, H. Takeuchi, K. Sugaware, and H. Onozato, Ferroelectrics, vol.134, (1992), p. 325.
- [6] T. Yamazaki, S. Wada, T. Noma, and T. Suzuki, Sensors Actuators, B13-14, p. 594 (1993).
- [7] Thin Film Solar Cells, edited by K. L. Chopra and S. R. Das (Plenum, New York, 1983), p. 607.
- [8] K. Sato and Y. Takada, J. Appl. Phys. 53, 8819 (1982).
- [9] F.-C. Lin, Y. Takao, Y. Shimizu, and M. Egashira, Sens. Actuators B 24-25, 843 (1995).

- [10] Y. R. Ryu, W.J. Kim, H. W. White, Journal of crystal growth 219, 419(2000).
- [11] Y. R. Ryu, S. Zhu, D. C. Look, J. M. Wrobel, H. M. Jeong, H. W. White, Journal of crystal growth 216, 330(2000).
- [12] S.A. Studeninkin, N. Golego, and M. Cocivera, J. Appl. Phys. 84, 4, 2287 (1998).
- [13] K. Vanheusden, W. L. Warren, C. H. Seager, D. R. Tallant, and J. A. Voigt, B. E. Gnade, J. Appl. Phys. 79, 7983 (1996).
- [14] E.S. Shim, H.S. Kang, J.S. Kang, J.H. Kim, S.Y. Lee, Appl. Surface Sci. Vol 186, Issues 1-4, 28, 474-476 (2002),
- [15] Sang Hyuck Bae, Sang Yeol Lee, Beom Jun Jinb, Seongil Im, Appl. Surface Sci, 169-170, 525-528 (2001).