

사파이어 기판 위에 증착된 ZnO 박막 특성에 대한 ZnO 버퍼층의 영향

김재원, 강정석, 강홍성, 이상렬

연세대학교 전기전자공학과 정보소자 및 소재응용 연구실

Effect of ZnO buffer layer on the property of ZnO thin film on Al₂O₃ substrate

Jae Won Kim, Jeong Seok Kang, Hong Seong Kang, Sang Yeol Lee

Yonsei Uni.

Abstract

ZnO thin films are demanded for device applications, so ZnO buffer layer was used to improve for good properties of ZnO thin film. In this study, the structural, electrical and optical properties of ZnO thin films deposited with various buffer thickness was investigated by X-ray diffraction (XRD), Hall measurements, Photoluminescence(PL). ZnO buffer layer and ZnO thin films on sapphire(Al₂O₃) substrate have been deposited 200°C and 400°C respectively by pulsed laser deposition. It is observed the variety of lattice constant of ZnO thin film by (101) peak position shift with various buffer thickness. It is founded that ZnO thin film with buffer thickness of 20 nm was larger resistivity of 200 factor and UV/visible of 2.5 factor than that of ZnO thin films without buffer layer. ZnO thin films with buffer thickness of 20 nm have shown the most properties.

Key Words : ZnO, ZnO buffer, PLD, Sapphire

1. 서론

ZnO는 3.3 eV 정도의 에너지 밴드갭을 갖는 직접형 반도체로서 육방정계 울자이트(Wurzite) 결정 구조를 갖는다[1]. ZnO는 최근에 레이저 다이오드(LD)나 발광다이오드(LED)에 대한 연구가 활발히 진행중이다[2].

ZnO의 본격적인 소자 응용을 위해서는 스트레스가 적고 화학 조성이 우수한 박막의 제작이 필수적이다. 본 논문에서는 ZnO 버퍼를 이용하여 우수한 ZnO 박막을 만들고자 하였으며 이를 위해 ZnO 버퍼 두께에 따라 증착된 ZnO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성의 변화를 고찰하였다.

2. 실험

기판은 에피택셜한 ZnO 박막성장을 위해 (001) 사파이어(Al₂O₃)를 사용하였고, 타겟은 순도 99.999%의 ZnO를 사용하였다. 박막증착에는 PLD법을 이

용했으며 Q-switched Nd:YAG 레이저의 355nm 파장의 빔을 타겟에 45°로 입사하여 증착하였다. 증착시 레이저의 에너지 밀도는 2.5 J/cm², 타겟과 기판 사이의 거리는 5 cm로 유지하였다. 챔버내의 초기 진공은 터보 분자 펌프를 이용하여 10⁻⁶ Torr 까지 내렸으며 순도 99.99%의 산소 가스를 이용하여 350 mTorr의 산소분압 하에서 증착하였다. 먼저 ZnO 버퍼를 기판 온도 200°C의 온도에서 증착한 후 기판 온도를 400°C로 올려 2 μm 두께의 ZnO 박막을 증착하였다. 구조적 특성의 연구를 위해 λ = 1.5418×10⁻¹⁰ m인 Ni-filtered Cu Kα를 사용한 X-ray diffraction (XRD) 측정을 실시하였다. 광학적 특성은 λ=351nm의 Ar-ion laser의 광원으로서 Photoluminescence(PL) 측정을 통해 연구하였으며 전기적 특성은 Hall 측정을 통해 알아보았다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 두께가 20 nm인 버퍼층의 XRD 측정

결과이다. 20 nm의 두께에도 불구하고 ZnO (002) 피크가 확실히 보이는 것을 관찰할 수 있다. 이를 통해 제작된 버퍼층이 결정성 있게 형성되었음을 알 수 있다.

그림 2는 버퍼의 두께에 따른 ZnO의 (101) 피크와 (002) 피크의 변화를 살펴본 것이다. (002) 피크는 변화가 없는 반면 (101) 피크는 약간의 변화를 보임을 관찰할 수 있다. XRD 결과를 이용하여 격자상수를 계산하였다. 표 1은 XRD 결과로부터 버퍼 두께에 따른 격자상수 값을 구한 것이다. 버퍼를 사용하지 않은 ZnO 박막과 Bulk ZnO의 a축 길이를 비교해보면 ZnO 박막이 기판위에 성장할 때 장력을 받으며 성장한다는 것을 알 수 있다. 이는 기판과 박막간의 격자부정합과 열팽창계수의 차이에 의한 스트레스 때문이다. 버퍼의 두께가 증가하면서 박막의 a축 길이는 bulk ZnO의 a축 길이에 가까워진다. 이를 통해 ZnO 버퍼가 ZnO 박막이 성장할 때 기판과의 스트레스에 의한 장력을 완화시켜 줌을 알 수 있다.

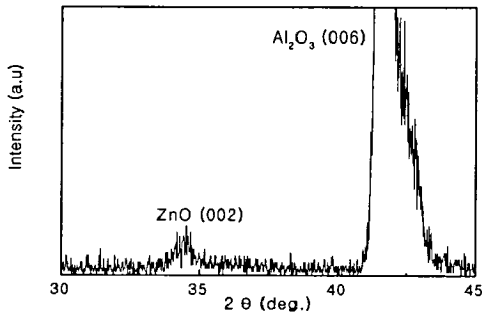


그림 1. 두께가 20 nm인 버퍼층의 XRD.

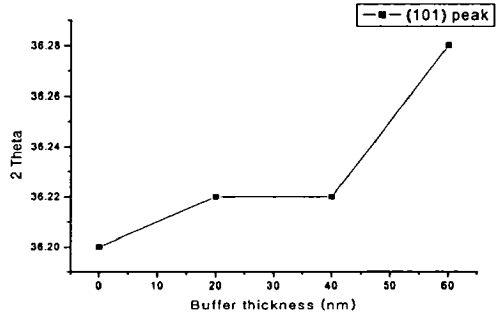
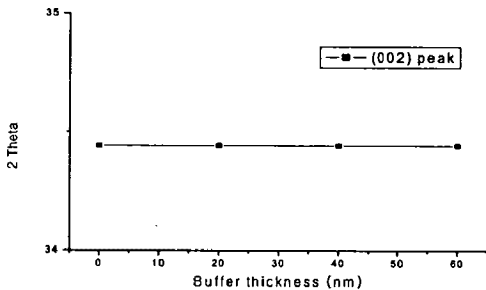


그림 2. 버퍼 두께에 따른 ZnO 박막의 XRD peak.

표 1. 버퍼 두께에 따른 ZnO 박막의 a,c 축의 격자상수

버퍼 두께 (nm)	a 축 길이	c 축 길이
No buffer	3.260	5.208
20	3.256	5.208
40	3.256	5.208
60	3.249	5.208
Bulk ZnO	3.250	5.208

그림 3은 증착한 ZnO 박막의 광학적 특성을 알아보기 위해 PL을 측정된 것이다. 강한 UV 피크는 일반적으로 상온에서 자유 엑시톤에 의한 ZnO의 에너지 밴드 갭으로 보고 되어진 3.26 eV와 일치하는 결과를 얻었다[3].

표 2는 버퍼의 두께에 따른 UV 피크의 FWHM과 UV/가시광 비를 나타낸 것이다. 20 nm의 버퍼층을 가지는 ZnO 박막에서 FWHM과 UV/가시광의 비가 크게 향상된 것을 확인할 수 있다. 앞에서 의 격자상수의 변화에서 확인했듯이 버퍼가 ZnO 박막과 기판과의 스트레스를 완화시켰기 때문에 사라진다. 박막과 기판과의 스트레스 완화는 ZnO의 결함을 줄임으로써 가시발광의 세기를 감소시키고 Zn와 O의 화학양론적 결함을 증가시켜 UV 피크의 세기를 증가시키고 FWHM의 값을 감소시킬 것이다.

버퍼의 두께가 두꺼워지면 다시 박막의 PL특성이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 버퍼의 두께가

증가하면서 버퍼의 원래의 기능을 상실한 것으로 사려 되며 ZnO와 비슷한 특성을 가지는 GaN의 경우에서도 이와 같은 현상이 보고 되었으며 최적의 버퍼 두께는 20 nm에서 30 nm로 알려져 있다[4].

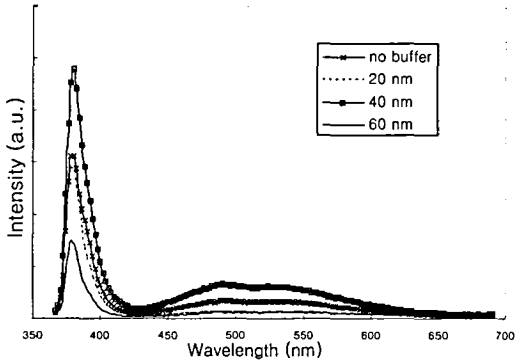


그림 3. 버퍼 두께에 따른 ZnO 박막의 PL.

표 2. 버퍼 두께에 따른 ZnO박막의 UV피크 FWHM과 UV/가시광 비

버퍼 두께(nm)	FWHM (eV)	UV/가시광
No buffer	0.146	8.79
20	0.110	21.75
40	0.145	7.17
60	0.118	10.65

버퍼의 두께를 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm로 변화시켜 가면서 증착한 ZnO 박막의 저항률을 Hall 측정을 통해 알아보았다.

표 3은 버퍼의 두께에 따른 ZnO 박막의 저항률을 나타낸 것이다. 20 nm와 30 nm의 버퍼 두께를 가지는 박막에서 가장 큰 저항률을 얻을 수 있었으며 이는 버퍼를 사용하지 않은 박막의 200배에 가까운 수치이다. 이로 인해 20 nm와 30 nm의 버퍼를 가지는 박막이 가장 작은 결함을 가지는 것을 알 수 있다. 이들 박막의 PL 측정 결과에서 20 nm의 두께를 가지는 ZnO 박막이 30 nm의 두께를 가지는 박막보다 PL 특성이 더 우수함을 볼 수 있었다. 이로 인해 ZnO 버퍼의 두께가 20 nm일 때 가장 우수한 ZnO 박막이 얻어짐을 알 수 있었다.

표 3. 버퍼 두께에 따른 ZnO 박막의 Resistivity.

버퍼 두께(nm)	Resistivity (Ω -cm)
No buffer	0.0388
10	0.3079
20	6.622
30	6.883
40	1.501

4. 결론

PLD 법으로 사파이어 기판 위에 ZnO 버퍼의 두께를 달리하면서 ZnO 박막을 증착하였다. XRD 측정 결과 버퍼의 두께에 따라 a 축의 격자상수가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 ZnO 버퍼가 ZnO 박막과 기판 사이의 격자부정합을 감소시켜 그로 인한 스트레스를 완화시킨 것으로 사려 된다. PL 측정 결과 20 nm의 버퍼 두께를 가지는 ZnO 박막에서 UV 피크의 FWHM과 UV/가시광의 비가 가장 작았다. 세분화한 버퍼 두께의 영향에서도 20 nm의 버퍼 두께를 가지는 ZnO 박막이 저항률과 PL 특성 측면에서 가장 우수함을 확인하였다. 이러한 결과로부터 본 증착조건에서 가장 우수한 버퍼의 두께는 20 nm라는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] T.Mitsuyu, S. Ono, and K. Wasa, Journal of Applied Physics, Vol. 51, p.2464, 1980.
- [2] D. M. Bagnall, Y. F. Chen, M. Y. Shen, Z. Zhu, T. Goto, and T. Yao, Journal of Crystal Growth, Vol. 184/185, p. 605, 1998.
- [3] H. C Ong, A. S. K. Li, and G. T. Du, Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 18, p. 2667, 2001.
- [4] Chien-Cheng Yang, Meng-chyi Wu, and Gou-Chung Chi, Journal of Applied Physics., Vol. 86, p. 6120, 1999.