

## 이온 주입된 ZnO 박막의 전기적 특성 연구

강홍성, 임성훈, 장현우, 김건희, 김종훈 이상렬\*

연세대학교

이중건, Michael Nastasi

Materials Science and Technology Division, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87545

### Investigation on the Electrical Properties of Ion Implanted ZnO Thin Film

Hong Seong Kang, Sung Hoon Lim, Hyun Woo Chang, Gun Hee Kim, Jong Hoon Kim, and Sang Yeol Lee

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

Jung-Kun Lee and Michael Nastasi

Materials Science and Technology Division, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87545

#### Abstract

Nitrogen and phosphorus ions were implanted into ZnO thin film fabricated by pulsed laser deposition. Ion implanted ZnO thin films were annealed from 700°C to 1000°C using rapid thermal annealing process. The electron concentration was changed from  $10^{20}$  to  $10^{18}/\text{cm}^3$ . Effect of nitrogen and phosphorus in ZnO thin films was certified and the structural and optical properties of nitrogen and phosphorus doped ZnO thin films depending on concentration of nitrogen and phosphorus were investigated.

**Key Words** : Nitrogen and phosphorus doped ZnO, Ion implantation, Rapid thermal annealing process

#### 1. 서 론

ZnO는 II-VI족 직접형 화합물 반도체로서 acoustic wave 소자, 압전 소자, 광전 소자 등의 응용과 태양전지, 바리스터 등의 응용에 많은 가능성과 관심을 보여주고 있다 [1-3]. ZnO 박막은 MBE(Molecular beam epitaxy), RF(Radio frequency) sputtering, CVD(Chemical vapor deposition), PLD(Pulsed laser deposition)법 등에 의해 제작된다. 그중에서 PLD법은 높은 에너지를 가진 particle들을 생성할 수 있고 낮은 기판온도에서 고품질 박막 성장이 가능하고 높은 분위기 가스압력 하에서도 박막성장이 가능하다는 장점이 있다[4-5]. 또한 PLD법은 펄스 레이저에 의해 생성된 플라즈마가 가스 분위기의 변화에 따라 쉽게 조절된다는 장점을 가지고 있다[6-7].

최근 p-type ZnO 제작을 위한 많은 방법이 제안되고 있으며 대표적 5족 도판트로써는 As, N, P가 이용되고 있다 [8-11].

본 연구에서는 PLD에 의해 제작된 ZnO 박막에 대표적 5족 p-type dopant인 N과 P를 이온 주입 (Ion implantation) 방법을 이용하여 도핑한 뒤 Rapid thermal annealing process (RTA)를 이용하여 ZnO의 전기적 특성 변화에 관하여 연구하였다.

#### 2. 실험

ZnO 박막은 (001) 사파이어기판( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )위에 PLD에 의해 증착하였고 레이저 원으로는 Q-Switched Nd:YAG laser를 사용하였다. 사용된 레이저의 파장은 355nm였고, 400°C에서 증착되었다. 이러한 박막에 관한 자세한 증착 조건은 이전의 결과에 자세히 보고되어있다[2,12]. 이러한 조건에서 증착된 박막에 N과 P를 이온 주입법으로 주입한 뒤 rapid thermal annealing(RTA)를 질소분위기 하에서 700°C부터 1000°C까지 1분 30초간 실시 하였다. 전기적 특성의 측정을 위하여 상온에서 홀측정을 실시하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 400°C에서 (001)사파이어 기판위에 증착 시킨 이온 주입 전의 ZnO 박막의 XRD 결과이다. 그림 1의 XRD 스펙트럼에서 보는 바와 같이  $34.6^\circ$ 근방에 (002) ZnO 피크를 나타내며 결정성 있는 c축 성장을 하였음을 나타낸다. 이렇게 증착된 ZnO 박막은 전자농도  $1.2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ , 저항률  $3.5 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ , 그리고  $15.243 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 이동도를 나타내었다.

이렇듯 c축으로 잘 성장된 ZnO 박막에 N과 P를 이온 주입 시켰다. N의 주입 농도는  $4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 였고 P의 주입 농도는  $2.3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 였다. 이렇게 이온 주입된 박막을 70

0°C부터 1000°C까지 질소 분위기 하에서 RTA를 1분 30초 간 실시하였다. 그림 2는 N ion implanted 박막의 RTA 온도 증가에 따른 전자 농도와 저항률의 변화를 나타낸다. 900°C까지 전자 농도가  $4.76 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  까지 감소하였고 저항률은  $2.16 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ 까지 증가됨을 알 수 있었다. 그림 3은 P가  $2.3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  주입된 박막의 후열처리 결과이다. 900°C까지 전자 농도가  $4.76 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  까지 감소하였고 저항률은  $5.34 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ 까지 증가됨을 알 수 있었다.

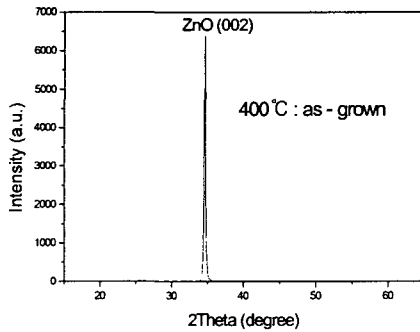


그림 1. 산소분압 350 mTorr, 기판온도 400°C에서 증착한 ZnO 박막의 XRD 결과

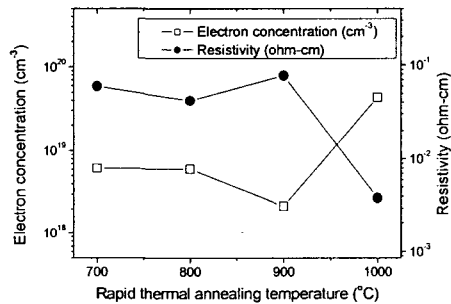


그림 2. 후열처리 온도 변화에 따른 N ion implanted ZnO박막의 전자농도와 저항률 변화

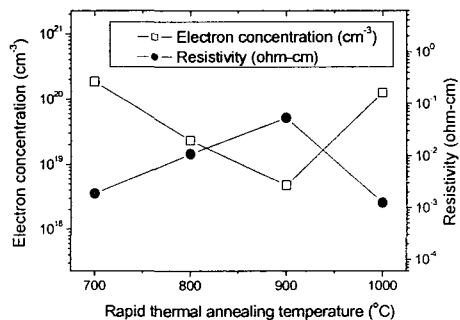


그림 3. 후열처리 온도 변화에 따른 P ion implanted ZnO박막의 전자농도와 저항률 변화

#### 4. 결론

PLD를 이용하여 pure ZnO를 제작한뒤 N과 P를 이온주입법을 이용하여 ZnO에 첨가하였다. 이러한 박막에 RTA를 실시하였고 900°C에서 전자 농도 저감 효과가 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. 전자 농도는 ion implantation 이전 보다 감소됨을 알 수 있었고 저항률은 증가됨을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (No. R01-2004-000-10195-0 (2005)) 지원으로 수행되었음.

#### 참고 문헌

- [1] D. C. Look, D. C. Reynolds, C. W. Litton, R. L. Jones, D. B. Eason, and G. Cantwell Appl. Phys. Lett. **81**, 1830 (2002).
- [2] Sang Yeol Lee, Y. Li, Jang-Sik Lee, J. K. Lee, M. Nastasi, S. A. Crooker, Q. X. Jia, Hong Seong Kang, Jeong Seok Kang, Appl. Phys. Lett. **85**, 218 (2004)
- [3] Hong Seong Kang, Jeong Seok Kang, Jae Won Kim and Sang Yeol Lee, J. Appl. Phys., **95**, 1246 (2004).
- [4] J. Narayan, P. Tiwari, K. Jagannadham, and O. W. Holland, Appl. Phys. Lett. **64**, 2093 (1994).
- [5] R. Ramesh, T. Sands, V. G. Keramidas, and D. K. Fork, Mater. Sci. Eng., B **22**, 283 (1994).
- [6] P. Zu, Z. K. Tang, G. K. L. Wong, M. Kawasaki, A. Ohtomo, H. Koimura, and Y. Segawa, Solid State Commun. **103**, 458 (1997).
- [7] W. S. Hu, Z. G. Liu, J. Sun, S. N. Zhu, Q. Q. Xu, D. Feng, and Z. M. Ji, J. Phys. Chem. Solids **58**, 853 (1997).
- [8] Y. R. Ryu, T. S. Lee, J. H. Leem, H. W. White, Appl. Phys. Lett., **83**, 4032 (2003).
- [9] D. C. Look, D. C. Reynolds, C. W. Litton, R. L. Jones, D. B. Eason, and G. Cantwell Appl. Phys. Lett. **81**, 1830 (2002).
- [10] Kyoung-Kook Kim, Hyun-Sik Kim, Dae-Kue Hwang, Jae-Hong Lim, Seong-Ju Park, Appl. Phys. Lett., **83**, 63 (2003).
- [11] Sang Yeol Lee, Eun Sub Shim, Hong Seong Kang, Seong Sik Pang and Jeong Seok Kang, Thin Solid Films, **473**, 31 (2005).
- [12] Sang Hyuk Bae, Sang Yeol Lee, Beom Jun Jin, Seongil Im, Applied Surface Science **169-170**, 525-528 (2001).