

한국과학기술원 김재현*, 주용길
충남대학교 이재봉, 김효진, 임영언, 김도진

ELECTRICAL, MAGNETIC, AND OPTICAL PROPERTIES OF Co-DOPED ZnO FILMS

KAIST Jae Hyun Kim, Woong Kil Choo
Chungnam National University Jae Bong Lee, Hyojin Kim, Youngeon Ihm, Dojin Kim

1. 서론

DMS(Diluted Magnetic Semiconductor)는 전하의 특성과 스핀의 특성을 동시에 가지는 물질로서 자기적, 자기광학적 및 전자기적으로 다양한 성질을 가지고 있다. 최근에는 정보를 읽거나 저장할 때 전하대신 스핀을 이용하는 스핀트라닉스(Spintronics)분야에서 이러한 물질을 이용하기 위해서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 소자의 상온 작동을 위해서 큐리온도가 상온 이상인 DMS가 필요하다. 지금까지 자기금속이온이 첨가된 II-VI, III-V, IV-VI 계의 많은 DMS가 연구되어 왔지만 상온에서 강자성을 가지는 물질은 발견되지 않았다. Sato[1]등과 Dietl[2]등에 의하여 II-VI 산화물 반도체인 ZnO에 자기금속이온을 치환시켰을 경우 강자성이 발현됨을 이론적으로 예측되었고 활발히 연구되고 있다.[3-6] 따라서 본 연구에서는 PLD(Pulsed Laser Deposition)을 이용하여 (Zn,Co)O 박막의 전기적, 자기적, 광학적 특성을 측정하여 자성반도체로서 ZnO의 특성을 파악하고자 하였다.

2. 실험방법

(Zn,Co)O 박막의 PLD용 타겟은 고순도의 ZnO, CoO를 화학조성비에 맞게 섞어서 전통적인 고상반응법으로 제조하였다. 이 때 하소조건은 500°C, 7시간이고 소결은 950~1000°C에서 12시간이었다. Co는 50%까지 치환시켰다. 레이저의 파장은 248nm이며 에너지는 2 J/cm², 진동수는 5Hz이며 증착 시간은 20분으로 고정하였다. 기판은 사파이어를 사용하여 온도는 300°C에서 700°C까지 변화시키고 압력은 산소를 이용하여 $5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-2}$ torr 다양하게 변화시키면서 최적의 조건을 확립하였다. 증착된 박막은 X-ray와 SEM(Scanning Electron Microscope), Hall 측정, VSM(Vibrating Sample Magnetometer), 그리고 PL(Photoluminescence)등을 이용하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Co가 50% 첨가될 때까지 X-ray 회절에서 단일상임이 확인되었다. 이는 Jin등[5]이 Co 고용한계를 25%정도라고 명시한 것보다 많은 양이 고용됨을 알 수 있다. 또 모든 박막은 0002와 0004의 회절 피크만 관찰되는 것으로 보아 c 축 배향성이 우수함을 알 수 있었다. SEM관찰에서 증착온도의 경우 300°C 정도의 낮은 온도이거나 700°C 정도의 높은 온도에서는 박막의 두께가 얇은 것으로 보아 증착효율이 좋지 않음을 알 수 있었고 상대적인 표면의 균질성도 떨어졌다. 특히 700°C시편의 경우 다공성의 박막이 형성되었다. 압력도 마찬가지로

진공과 10^{-4} torr의 높은 압력에서는 박막의 질이 떨어졌다. 자기적 특성 분석에서는 600°C , 진공에서의 시편과 700°C 에서 압력이 $10^{-7}\sim 10^{-3}$ torr의 경우에서 상온에서 자기 이력 곡선이 나타남이 관찰 되었고 나머지 시편에서는 관찰되지 않았다. 그림1과 그림2의 (a), (b)에서 각각 보듯이 X-ray 회절에서 Co의 회절 피크가 나타나는 경우(그림1 (b)) 자기이력곡선이 나타났고(그림2 (b)) 그렇지 않은 경우는 자기이력 곡선이 관찰되지 않았다.(그림1 (a), 그림2 (a)) 이러한 사실은 Ueda등[6]이 관찰한 결과가 Co의 석출에 의한 것일 수 있음을 시사한다.

전기적 특성에서는 같은 조성에서는 온도가 내려감에 따라서 저항이 증가하였고 같은 온도에서 Co의 양이 증가함에 따라서 저항이 증가하는 특성을 보였다. PL측정결과에서는 Co의 양이 증가함에 따라서 $500\sim 600\text{nm}$ 의 deep level영역에서의 PL 강도가 높아졌다.

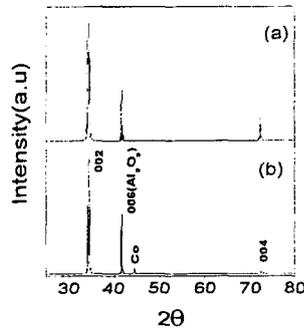


Fig.1 X-ray diffraction pattern of $(\text{Zn}_{0.75}\text{Co}_{0.25})\text{O}$ at (a) 500°C , 10^{-4} torr; (b) 700°C , 10^{-6} torr

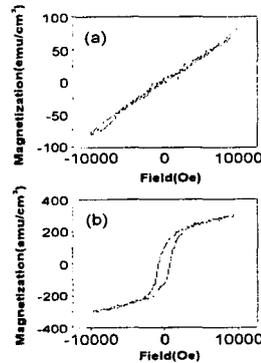


Fig. 2 Magnetization vs field curve of $(\text{Zn}_{0.75}\text{Co}_{0.25})\text{O}$ at (a) 500°C , 10^{-4} torr, (b) 700°C , 10^{-6} torr

4. 결론

PLD로 $(\text{Zn},\text{Co})\text{O}$ 박막을 증착하였을 경우 Co는 50%까지 고용되었고 증착온도는 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$, 증착 압력은 $10^{-5}\sim 10^{-3}$ 사이에서 좋은 양질의 박막이 얻어졌다. $(\text{Zn},\text{Co})\text{O}$ 박막의 상온 자기이력곡선은 Co의 석출에 의한 것임이 X-ray 회절 실험에서 확인되었다.

5. 참고문헌

- [1] T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, and D. Ferrand, *Science* **287**, 1019(2000).
- [2] K. Sato and H. Katayama-Yoshida, *Jpn. J. App. Phys., Part 2* **39**, L555(2000).
- [3] T. Fukumura, Z. Jin, A. Ohtomo, H. Koinuma, and M. Kawasaki, *App. Phys. Lett.* **75**, 3366(1999).
- [4] T. Fukumura, Zhengwu Jin, M. Kawasaki, T. Shono, T. Hasegawa, S. Koshihara, and H. Koinuma, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 958(2001).
- [5] Zhengwu Jin, T. Fukumura, M. Kawasaki, K. Ando, H. Saito, T. Sekiguchi, Y. Z. Yoo, M. Murakami, Y. Matsumoto, T. Hasegawa, and H. Koinuma, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 3824(2001).
- [6] Kenji Ueda, Hitoshi Tabata, and Tomoji Kawai, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 988(2001).