

## 펄스레이저증착법으로 제작한 크롬과 알루미늄이 첨가된 산화아연(ZnO) 박막의 물리적 특성

(Physical properties of Cr and Al co-doped ZnO films prepared by pulsed laser deposition)

<sup>1</sup>김현수\*, <sup>2</sup>지성화, <sup>2</sup>심재호, <sup>2</sup>김효진, <sup>2</sup>김도진, <sup>2</sup>임영언, <sup>1</sup>주용길  
<sup>1</sup>한국과학기술원 신소재공학과  
<sup>2</sup>충남대학교 재료공학과

### 1. 서론

차기 스핀트로닉스 소자에 있어서 핵심적인 소재 중 하나인 diluted magnetic semiconductor (DMS)는 기존의 연구들에서 GaAs, GaN, ZnO, TiO<sub>2</sub> 등의 물질을 기반으로 수행되어 왔으나 실제 device에 적용하기 위한 상온강자성 재료 개발은 아직 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있다. 그러나 이론 및 실험을 통하여 넓은 밴드갭과 높은 캐리어 농도를 가지면 강자성을 유지하는 온도가 증가하여 상온강자성이 나타날 것이라고 예측되고 있다.[1],[2] 한편 ZnO를 기반으로한 DMS 이론 연구 중 H. Katayama-Yoshida에 의해 수행된 n-type ZnO에 대하여 여러 자기이온을 첨가하여 DMS의 강자성을 살펴본 결과에서 Cr이온을 첨가하였을 경우 상온강자성이 나올 것으로 예측되었다.[3] 따라서 본 연구에서는 이와 같은 상온강자성 DMS의 예측을 고려하여, 넓은 밴드갭을 갖는 n-type transparent conductive oxide인 ZnO (ITO)에 Al을 첨가하여 캐리어 농도를 증가시키고 자기이온 Cr을 첨가하여 전기적 자기적 특성을 관찰하였다.

### 2. 실험방법

시편 제작은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO powder를 solid solution 방법으로 이용하여 ceramic target을 제조한 후, 펄스레이저증착법 (Pulsed Laser Deposition, PLD)방법으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 기판 위에 film 형태로 제작하였다. Al의 첨가량은 3%로 고정하고 Cr의 첨가량을 5%까지 변화시키면서, 시편의 조성과 결정구조를 wavelength dispersive x-ray spectroscopy (WDS), XRD, SEM을 이용하여 관찰하였다. 또한 Hall measurement, superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer를 이용하여 전자기적 특성을 살펴보았다.

### 3. 실험결과

Al을 첨가하지 않은 박막의 경우 Cr 5mol% 까지 2차상을 갖지 않으며 안정적으로 Cr 고용되었음을 XRD로 확인하였다. 따라서 Al을 3mol%로 고정한 후 Cr을 5mol%까지 고용하였으나 XRD 결과 Cr 5mol% 박막에서 ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 2차상이 관찰되었다. 그러나 Cr과 관련된 Cr, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 등의 2차상은 관찰되지 않았다. 따라서 Al이온의 고용도를 낮추면 안정적인 Cr이 5 mol%첨가된 Al-doped ZnO 박막을 얻을 것으로 예상된다.

Hall measurement를 이용한 전기적 특성의 결과, Cr의 양이 증가함에 따라 저항값이  $2.55 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$  (Cr 2mol% 첨가 시편)에서  $10.7 \Omega\text{cm}$  (Cr 5mol% 첨가 시편)으로 증가하였고, carrier concentration은  $4.58 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 에서  $2.01 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 으로 감소하였다. 그러나 Al이 첨가되지 않은 Cr 5mol%첨가 박막의 값인  $3.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 에 비하여 훨씬 높은 캐리어 밀도를 유지하고 있다. Al이 첨가된 Cr 2%와 5% 박막에 대하여 SQUID magnetometer으로 관찰한 결과, 두 시편 모두 5K와 상온에서 강자성이 관찰되었으나 Cr 2mol%의 경우 강자성이 매우 약하여 coercive field과 remnant magnetization을 정할 수 없었다. Cr 5mol%의 경우 5K와 300K일때 coercive field 94 Oe, 73 Oe과 remnant magnetization  $0.58 \text{ emu/cm}^3$ ,  $0.37 \text{ emu/cm}^3$  를 가졌으며, 자성의 온도의존성 그래프로부터 Curie-Waiss plot을 하여본 결과 음의 값을 갖는 큐리온도가 관찰되었다.

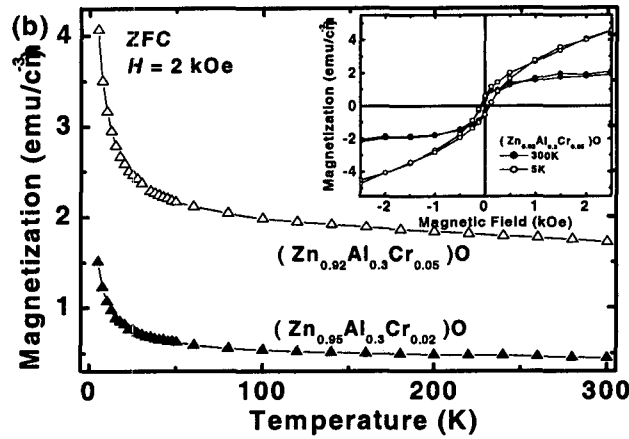
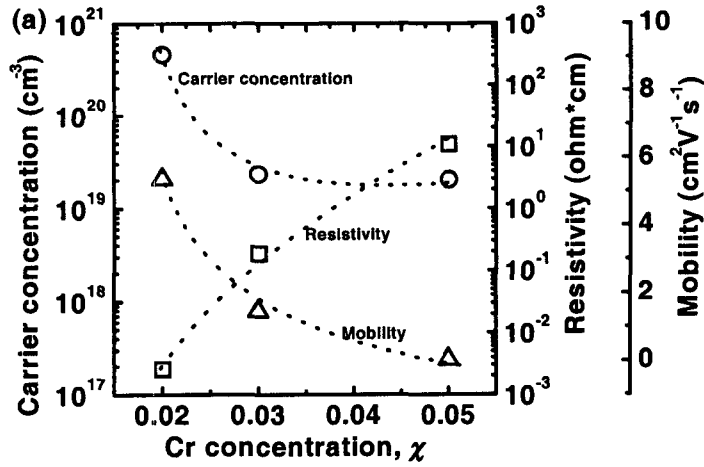


그림. (a) 상온에서 Hall Effect measurement를 이용하여 측정된  $(Zn_{0.97-x}Al_{0.03}Cr_x)O$  ( $0.02 \leq x \leq 0.05$ ) films의 전기저항, carrier 농도, carrier mobility. (b)  $(Zn_{0.95}Al_{0.03}Cr_{0.02})O$  박막과  $(Zn_{0.92}Al_{0.03}Cr_{0.05})O$  박막의 2kOe하에서의 Zero Field Cooling (ZFC)시 magnetization의 온도의존성. 상자안은 5K와 300K에서의  $(Zn_{0.92}Al_{0.03}Cr_{0.05})O$  박막에 대한 magnetization의 magnetic field의존성.

4. 감사의 글

이 연구는 2005년도 충남대학교 고기능성자성센터 (ERC)의 지원(R1119990660700202005)에 의하여 연구되었습니다.

5. 참고문헌

1. D. Davie, Awschalom, and R. K. Kawakami, Nature, **408**, 923 (2000)
2. S.J.Pearton, C.R.Abernathy, M.E.Overberg, G.T.Thaler, D.P.Norton, N.Theodoropoulou, A.F.Hebard, Y.D.Park, F.Ren, J.Kim, L.A.Boatner, J.Appl.Phys., **1.93**, 1 (2003)
3. H. Katayama-yoshida, K. Sato., **64**, 1447 (2003)