

펄스레이저증착법으로 제작한 크롬이 첨가된 인듐주석산화물(ITO) 박막의 물리적 특성 (Physical properties of Cr doped indium tin oxide films prepared by pulsed laser deposition)

¹김현수, ²지성화, ²김효진, ²김도진, ²임영언, ¹주용길
¹한국과학기술원 신소재공학과
²충남대학교 재료공학과

1. 서론

Nonmagnetic semiconductor에 magnetic ion을 도핑시켜서, carrier와 magnetic ion간의 상호작용에 의한 ferromagnetism을 형성하는 diluted magnetic semiconductor (DMS)는 차기 spintronics device에 있어서 핵심적인 소재 중 하나이나, 실제 device에 적용하기 위한 상온 ferromagnetism을 갖는 재료의 개발은 아직 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있다. 기존 DMS 재료에 많이 연구되던 물질로는 GaAs, GaN, TiO₂, ZnO 등이 존재하나 상온 ferromagnetism을 갖는 DMS의 실현에는 cluster나 상온보다 낮은 transition temperature 등의 문제점이 존재한다. 그러나 bandgap이나 carrier concentration이 증가할 수록 ferromagnetism을 갖는 온도가 증가한다는 결과가 이론 및 실험을 통하여 확인되고 있다.[1],[2] 따라서 본 연구에서는 이와같은 DMS로의 가능성을 고려하여, wide bandgap을 갖는 대표적인 n-type transparent conductive oxide (TCO)인 In₂O₃:Sn (ITO)에 magnetic ion인 Cr을 첨가하여 전기적 자기적 특성을 관찰하였다.

2. 실험방법

시편 제작은 Cr₂O₃, SnO₂, In₂O₃ powder를 solid solution 방법으로 이용하여 ceramic target을 제조한 후, Pulsed Laser Deposition (PLD) 방법으로 SiO₂/Si 기판 위에 film 형태로 제작하였다. Sn의 첨가량은 5%로 고정하고 Cr의 첨가량을 30%까지 변화시키면서, 시편의 조성과 결정구조를 wavelength dispersive x-ray spectroscopy (WDS), XRD, SEM을 이용하여 관찰하였다. 또한 4-probe measurement, Hall measurement, superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer를 이용하여 전자기적 특성을 살펴보고, UV-IR spectrometer를 이용하여 Cr의 고용량에 따른 transmission과 bandgap의 변화를 관찰하였다.

3. 실험결과

In₂O₃에 Sn을 5% 첨가한 ITO는 Bixbyite구조를 가지며, 3.5~4.3eV의 wide bandgap을 가지는 n-type transparent conductive oxide(TCO)이다.[3] XRD pattern에서 Cr의 첨가량이 20%까지 안정적으로 ITO에 고용되었음을 확인하였으나, Cr이 30%의 조성에서는 amorphous phase를 가지는 것을 보아 crystallization에 필요한 에너지가 Cr의 첨가에 따라 점차 증가하는 것으로 예상된다. 따라서 증착 조건에 있어서 Substrate 온도를 고온으로 올리면 Cr의 고용량이 30%이상 증가할 것으로 예상된다.

Cr의 양이 증가함에 따라 저항값이 $1.39 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ (Cr non-doped 시편)에서 41.8 Ωcm (Cr 15% doped 시편)으로 증가하였고, carrier concentration은 $1.28 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 에서 $2.90 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 으로 감소하였다. 또한 Cr의 첨가량이 15%이상의 조성에서 conduction type이 n-type에서 p-type으로 변화하였다. 추가적으로 ITO와 Cr 15% doped film을 이용하여 pn junction을 만들어서 I-V 측정을 함으로써, Cr 15% 조성에서 p-type conduction을 확인하였다. 온도변화에 따른 저항의존성 실험에서 모든 시편에서 반도체 특성을 가졌다. UV-IR spectrometer를 이용하여 Cr non-doped 시편과 Cr 15% doped 시편을 살펴 본 결과 Cr이 증가함에 따라 Transmission과 Bandgap이 감소하는 경향을 보였으나, 둘 다 약 80%이상의 높은 Optical Transmission과 각각 3.59eV와 3.49eV의 wide bandgap을 가졌다. 마지막으로 SQUID magnetometer으로 Cr 5%와 15% doped 시편을 관찰한 결과 In₂O₃의 경우 diamagnetic property를 [4] 갖는 반면, Cr을 첨가하면 magnetism을 가졌다.

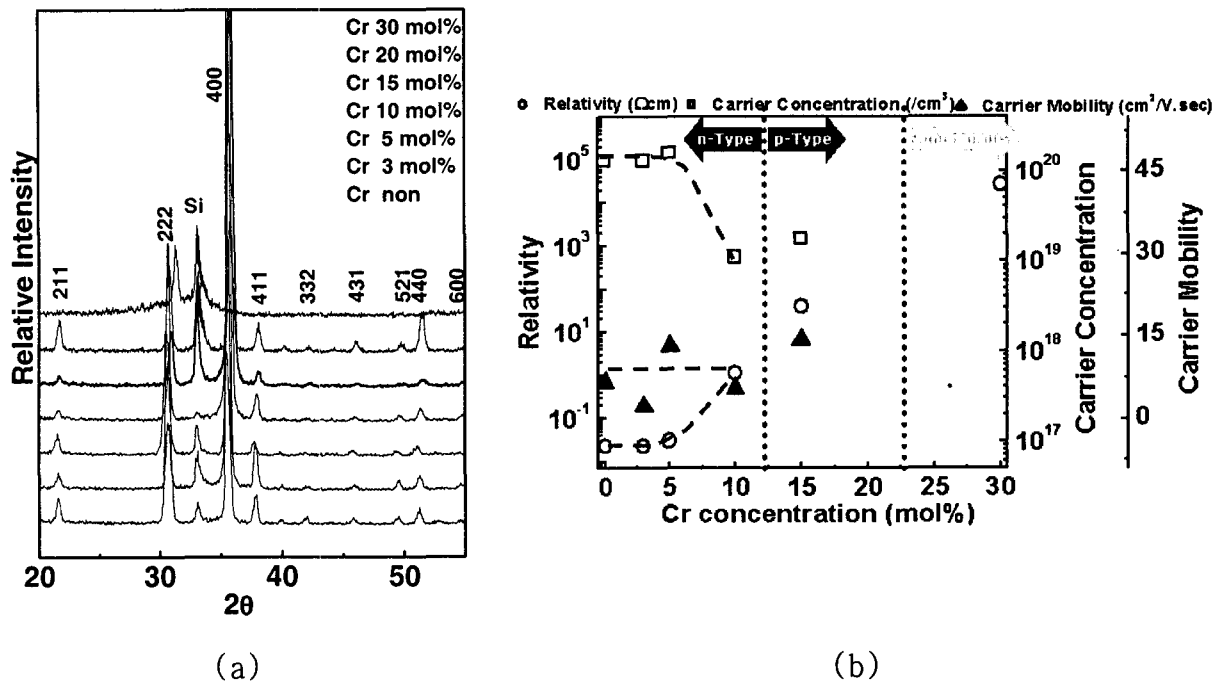


그림 1. (a) $(\text{In}_{1.95-x}\text{Sn}_{0.05}\text{Cr}_x)\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.30$) films의 Cr고용량에 따른 x-ray 회절선 (XRD pattern) (b) 상온에서 Hall Effect measurement를 이용하여 측정한 $(\text{In}_{1.95-x}\text{Sn}_{0.05}\text{Cr}_x)\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.30$) films의 전기저항, carrier 농도, carrier mobility

4. 감사의 글

이 연구는 2003년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2003-002-D00158)에 의하여 연구되었습니다.

5. 참고문헌

1. D. Davie, Awschalom, and R. K. Kawakami, *Nature*, **408**, 923 (2000)
2. S.J.Pearnton, 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. C.Coutal, A.Azema, J.-C.Roustan, *Thin Solid Films*, **288**, 248 (1996)
4. M. Sasaki, K. Yasui, S. Kohiki, H. Deguchi, S. Matsushima, M. Oku and T. Shishido, *J. Alloys and Compounds*, **334**, 205 (2002)