

## 졸-겔법에 의한 다결정체 $\text{YMn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-δ}/\text{Pt}/\text{Ti}/\text{Si}(001)$ 박막의 자기적 특성에 관한 연구

국민대학교 심인보\*, 염재훈, 김철성

### Magnetic Properties of SOL-GEL Derived Polycrystalline $\text{YMn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-δ}/\text{Pt}/\text{Ti}/\text{Si}(001)$ Thin Films

Kookmin Univ. In-Bo Shim\*, Jai Hoon Yeom, and Chul Sung Kim

#### 1. 서론

현재 전자의 물리적 성질에는 전하뿐만 아니라 동시에 양자역학적 특성인 스핀을 이용하는 새로운 패러다임인 스핀전자소자에 대한 연구가 활발하게 진행되어지고 있으며, 대표적으로 다기능페로이즘(multiferroism)에 대한 연구 경향을 들 수 있다. “다기능페로이즘”이란 하나 또는 2가지 이상이 복합된 재료에서 강유전 특성(ferroelectricity) 및 강자성 특성(ferromagnetism) 또는 강탄성 특성(ferroelasticity)이 동시에 발현되는 재료를 일컫는 용어로 정의되며, 이들은 각각 외부 인가 전기장에 의한 자발 분극 현상(spontaneous polarization)이 강유전 특성을, 외부 인가 자기장에 의한 자발 자화(spontaneous magnetization) 현상이 강자성 특성을 그리고 외부 인가 응력에 의한 자발 변형(spontaneous deformation) 현상이 강탄성 특성을 나타내는 원인으로 보고 되고 있다.  $\text{LnMn}_2\text{O}_5$  ( $\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Y}$ ) 화합물은 1960년대초에 개발되어진 물질[1-3]로서 결정구조는 orthorhombic 결정구조를 나타내고 있으며, 40 K이하의 저온 영역에서 강유전 특성(ferroelectric) 및 약한 강자성(weak ferromagnetic) 특성을 갖는 것으로 보고 되어지고 있다. 본 연구에서는 조성 조절의 용이성 및 저온합성등의 장점이 있는 졸-겔 박막 증착법을 이용하여  $\text{YMn}_2\text{O}_5$  박막을 제조하여 자기적 특성에 관한 연구를 수행하고자 하였으며, 특히 상온에서도 강유전성 및 강자성 특성이 동시에 발현되는 다기능성 페로이즘 박막을 제조하기 위하여 Mn site에 Fe 및 Co를 도핑하였을 경우 자기적 특성의 변화를 연구하고자 하였다.

#### 2. 실험방법

$\text{YMn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-δ}$  박막 제조용 stock solution 제조를 위한 출발물질로 yttrium nitrate, manganese acetate, Iron nitrate, 및 cobalt acetate의 금속염을 선정하였으며, methanol 및 distilled water를 주 용매로 선정하여 0.4 몰농도의 코팅용 stock solution을 제조하였다[4].  $\text{YMn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-δ}$  물질의 박막화를 위하여 하부 전극을 갖는 Pt/Ti/Si(100) 기판상에 4000 rpm, 30초간 스핀코팅 하여 200-800 °C의 온도범위, 공기중에서 열처리를 수행하여 결정화과정을 거쳐 박막을 제조하였다.  $\text{YMn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-δ}$  stock solution의 희석과 코팅횟수의 반복을 통하여 박막의 두께 변화를 조절하였으며,  $x=0.0 - 2.0$  범위의 조성을 갖는 박막을 제조하였다. 박막의 결정성 특성은 Phillip's사의 X'pert-MPD 회절분석기 및 한국원자력연구소 하나로 원자로의 중성자 회절측정을 통하여 분석하였으며, 박막의 입도(grain size), 입도분포 및 표면 거칠기와 같은 in-plane 및 cross-sectional 미세구조는 FE-SEM 및 AFM을 이용하여 관찰하였다.  $\text{YMn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-δ}$  박막의 자성특성은 진동 시료형 자력계(VSM)를 이용하여 외부자계를 1000 Oe까지 인가한 상태에서 상온에서의 자기이력곡선(magnetic hysteresis curve)을 통해 측정하였다.

#### 3. 실험결과 및 고찰

XRD 분석 결과 500 °C 이상의 온도에서 순수한  $\text{YMn}_2\text{O}_5$  결정상을 얻을 수 있었으며, 격자 상수는

$a_0=0.726$  nm,  $b_0=0.846$  nm,  $c_0=0.569$  nm였다. 전이금속 Fe, Co의 치환 및 박막의 두께 변화에 따른 격자상수의 변화는 거의 없었다. 800 °C, 공기중에서 열처리한 박막의 미세구조 측정 결과 fiber 형태의 입상구조를 가짐을 확인 할 수 있었으며, 이때 박막의 surface roughness는 1.535 nm였으며, 전체적으로 균일한 형상의 미세구조가 나타남을 알 수 있었다(Fig.1). Fig. 2는 상온에서 VSM을 이용한  $Y\text{Mn}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{5-\delta}$  박막의 두께 변화에 따른 자성 특성을 나타내고 있다. 두께 증가에 따라 자화율의 증가를 알 수 있었으며,  $x=0.0$ 인 경우와 Co를 치환한 경우는 자화곡선을 관찰할 수 없었다. 이러한 결과는 모조성의 경우 저온에서 약한 강자성을 나타내는 특성이 소량의 Fe를 치환함에 따라 강한 강자성 특성을 나타냄을 확인할 수 있었으며, 결과적으로 상온에서의 강자성과 강유전 특성이 동시 발현될 수 있다는 가능성을 제시하여주는 결과라 판단된다.

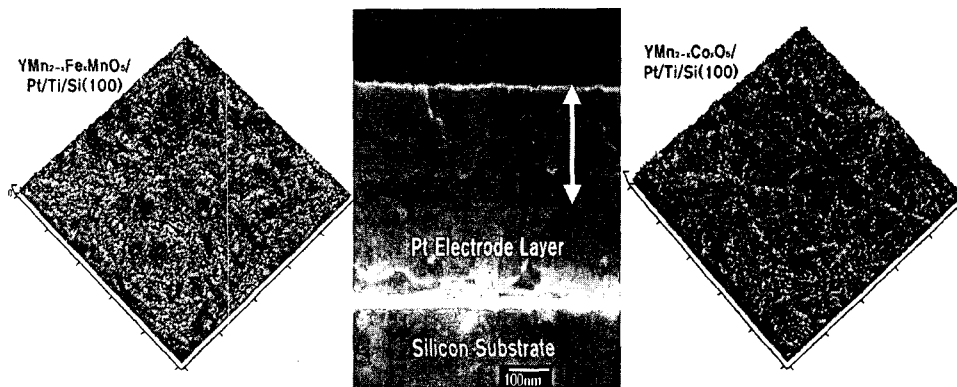


Fig. 1. Atomic force microscopy(AFM) and FE-SEM images of sol-gel derived polycrystalline  $Y\text{Mn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-\delta}$  thin films.

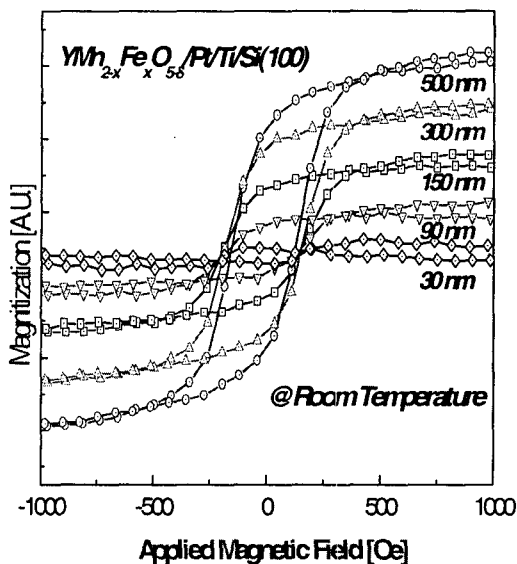


Fig. 2. Magnetic hysteresis loops of with  $Y\text{Mn}_{2-x}(\text{Fe,Co})_x\text{O}_{5-\delta}$  thickness at room temperature.

#### 참고문헌

- [1] S. Quezel-Ambrunaz, E.F. Bertaut and G. Busson, C.R. Acad Sci., 258, 3025-3028 (1964).
- [2] G. Buisson, J. Phys. Chem. Solids, 31 1171(1970).
- [3] I. Taeger, Mater. Res. Bull., 13. 819 (1978).
- [4] I.B. Shim et al., Journal of Applied Phys. 인쇄중 (2004).