

망간산화물  $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ 의 스핀 파 거동 및 자기 열 효과

연세대학교 물리학과 신현수\*, 남윤성, 이재은, 주홍렬  
포항공과대학교 물리학과 문일권, 정윤희

Spin wave stiffness and magnetocaloric effect of Perovskite manganite  $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ 

Yonsei University Dep. of Physics, H.S.Shin, Y.S.Nam, J.E.Lee, H.L.Ju  
POSTECH Dep. of Physics, I.K.Moon, Y.H.Jeong

## 1. 서론

페로브스카이트 망간산화물  $\text{R}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$  ( $\text{R}=\text{La, Pr, Nd}$ ;  $\text{A}=\text{Ca, Ba, Sr}$ )이 거대자기저항 효과를 보인다는 사실이 보고된 이후로 많은 연구가 이 분야에서 활발하게 이루어져오고 있다. 그 중에서도 가장 큰 자기저항효과를 보이는  $T_C$ (강자성 전이온도)이하에서는 강자성이고 도체며,  $T_C$ 이상에서는 상자성이고 부도체인 도핑영역( $x=1/3$ 근처)은 모든 이 분야에서 연구하는 사람들의 가장 큰 관심을 끌고 있다. 자기적인 성질은 거대자기저항효과의 원인을 규명하는데 필수적인 것이나 아직은 이것과 관련된 자기적 성질이 정확하게 정립되어 있지 않다. 이번 연구에서는 저온( $T/T_C < 0.2$ )에서의 자기적 성질과 상전이 근처에서의 자기적 성질, 특히 자기 열 효과에 대한 연구를 하였다.

## 2. 실험방법

1) 시료 준비: 고상 반응법으로 제작한  $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$  시료를 직육면체( $9.5 \text{ mg}, 4.37 \times 1.05 \times 0.36 \text{ mm}^3$ )로 자른 후 스트로를 사용해 시료가 움직이지 않도록 샘플 홀더에 잘 고정시킨다.

2) 스핀 파 거동: SQUID magnetometer를 사용해 온도를 5K로 낮춘 후 온도가 안정화 될 때까지 기다린 후, 자장을 가하고 온도를 0.5K씩 변화시키면서 자화값을 측정한다. 이때 온도의 안정화를 위해 각 세팅 된 온도에서 충분한 시간동안 기다리는 것이 중요하다. 자장은 0.5T, 1T, 2T에 대해 각각 같은 실험을 반복했다.

3) 자기 열 효과: 우선  $T_C$ 를 측정하기 위해 20G의 자장을 인가한 후 200K-300K까지 온도 의존성 자화값을 측정하였다. 이 결과로  $T_C$ 를 결정하고  $T_C$ (약 250K)를 중심으로 아래로 30K, 위로 30K 정도 영역을 잡아(즉 220K-280K까지) 3K 간격으로 각 온도에서 자장을 0-5T 까지 변화시키면서 자화값을 측정했다. 여기서도 온도의 안정화를 위해 충분한 시간을 기다렸다.

## 3. 결과 및 고찰

자장을 1T 인가한 후 온도 의존성 자화값을 측정해서 얻은 결과로부터  $M(0)$ 값을 추정하였다. 이  $M(0)$ 값을 사용해서  $[M(0, H) - M(T, H) = A * T^\alpha]$  effective  $\alpha$ 를 fitting을 통해 얻어낼 수 있다. FIG1이 fitting을 위해 Log scale로 그린 그림이고 그 안의 직선이 fitting한 결과이다.  $\alpha$  값은  $1.53 \pm 0.01$ 이고 이것은 저온에서 강자성 물질이 스핀 파 거동현상을 보일 거라는 Block의 법칙에 잘 들어맞는다는 것을 알 수 있다. 그리고 이  $\alpha$  값은 자장을 증가시키면 그 크기에 따라 증가하는 현상을 보이며, 그것은 자장에 의해

생기는 에너지 때문으로 해석할 수 있다. 이렇게 자장에 의한 에너지 효과를 고려해 Block의 범칙을 수정해  $M(0, H) - M(T, H) = g\mu_B \left(\frac{k_B T}{4\pi D}\right)^{3/2} f_{3/2}\left(\frac{\Delta}{k_B T}\right)$ , 여기서  $f_p(y) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-ny}}{n^p}$ 를 사용해서 Spin wave stiffness를 구할 수 있는데, 그 값이  $105 \pm 3$  meVÅ이다. 이것은 Neutron scattering의 결과와 잘 일치한다. FIG2는 같은 시료에 대해 계산한 엔트로피의 변화이다. 이 값은  $T_C(250K)$ 에서 최대변화량을 보이며 그 결과는 Gd(H=0-2T)보다 50%이상 나왔다.

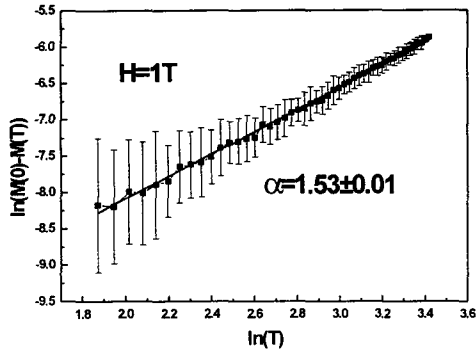


FIG.1 Magnetization  $M$  vs temperature  $T$  for 1T. The line is a weighted fit to  $M(0,H)-M(T,H) = (\text{const}) * T^\alpha$ . The 2T data are similar, but a best fit indicates  $T^{1.57}$

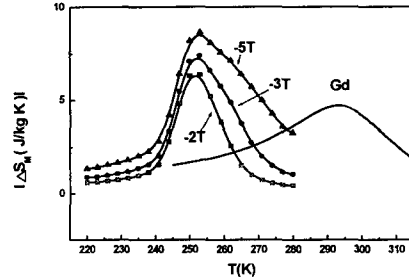


FIG.2. Magnetic entropy change of the LA0.7Ca0.3MnO3 between 220K and 280K for a magnetic field 0 to 2T and 0 to 3T and 0 to 5T, respectively, compared to that of pure Gd(0-2T) as determined from magnetization measurements

#### 4. 결론

지금껏 weak ferromagnet ( $\Delta M = AT^2$ )과 스핀 과 거동 현상 ( $\Delta M = AT^{3/2}$ )사이에서 논의되어온 강자성 영역에서의 망간 산화물의 특성은 이 실험을 통하여 볼 때 스핀 과 거동 현상에 더 가까운 것으로 여겨지며 이로써 조금 더 페르보스카이트 망간 산화물의 메커니즘을 이해하는데 유용하리라 생각한다. 그리고 자기 엔트로피 변화가 상당히 크게 나왔다. 조금 더 연구를 계속하면 상온에서의 자기 냉각 물질로써 충분히 가능성이 있다고 생각된다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Y.M.Smolyaninova,, J.J.Hamilton, R.L.Green, Y.M.Mukovskii, S.G.Karabashev, and A.M.Balbashov, Phys. Rev. B 55, 5640(1997)
- [2] Z.B.Guo, Y.W.Du, J.S.Zhu, H.Huang, W.P.Ding, and D.Feng, Phys. Rev. Lett.78, 1142(1997)
- [3] V.K.Pecharsky, and K.A.Gschneidner, Jr., Phys. Rev. Lett. 78, 4494(1997)