

Lattice Effects on the Colossal-Magnetoresistance in La-Ca-Mn-O thin films

포항공과대학교

구태영 *

이기봉

정운희

최근 거대자기효과로 많은 관심을 끌고 있는 La-Ca-Mn-O 박막을 기판을 달리해서 인위적으로 박막의 격자 상수를 변화시키고 이에 따른 자기저항 및 저항의 온도변화를 보았다. 응용적인 면에서 거대자기효과를 얻기 위하여 세라믹 시료와 관련지어 여러 가지 시도가 있었다. 그 대표적인 것으로 두 가지의 효과를 들 수가 있는데 이는 거대자기효과의 물리를 이해하는데 매우 중요한 근거가 되리라 본다. 첫번째로 ABO₃ perovskite 구조의 A 위치의 La 원자를 원자반경이 작은 Y 과 같은 원자로 대체함으로써 산소 팔면체들 사이의 공간을 줄임으로써 Mn-O-Mn 사이의 결합 각도를 180 도 보다 작게 하여 전자 밴드 폭을 줄이는 것이다. (1) 소위 화학적인 내부 압력 효과로 알려진 이 현상은 Y 의 대체량이 증가함에 따라 MR 이 증가하고 Tc 는 감소하게 된다. (2) 두번째로 외부의 압력효과를 들 수 있다. 화학적인 내부 압력의 효과에서도 격자상수가 Y 대체량에 따라 단조 감소하기 때문에 외부의 압력의 효과와 큰 차이가 없을 것으로 생각할 수도 있지만 실험 결과는 정반대의 결과를 주고 있다. 외부의 압력을 높임에 따라 MR 이 감소하고 Tc 가 증가하게 된다. (3) 이는 Mn-O-Mn 사이의 결합각도 만으로는 설명하기가 어려운 현상이다. 이 실험은 단결정 시료(Nd-Sr-Pb-Mn-O) 에서도 재현되었고 압력의 증가에 따르는 전자 hopping amplitude 에의 증가로 해석되었다. 하지만 이 실험의 결과로 이전의 박막형태에서 논의되고 실험되어온 기판에 의한 압축성 strain 이 MR 을 증가시킬 수 있다는 사실이 정면으로 부정되었다. (4) 본 보고에서는 이 양자의 관점을 하나로 통합시켜 이해할 수 있게 하는 박막에서의 실험결과를 제시하고자 한다. 외부의 압력에 기인하는 균일한 strain 을 박막에 주기 위하여 결정구조와 격자상수가 서로 다른 세계의 기판 (SrTiO₃(001), MgO(001), LaAlO₃(001)) 위에 PLD(Pulsed Laser Deposition) 방법으로 동일한 조건에서 박막을 증착하였다. 격자상수와 자기저항의 관계를 알아보기 위하여 XRD 로 기판에 평행한 방향으로의 격자 상수를 결정하고, 4-probe 방식으로 자기저항을 측정하였다. SrTiO₃(001), MgO(001), LaAlO₃(001) 각 기판에서, 기판에 평행한 방향으로의 LCMO 격자 상수는 3.921, 3.891, 3.842 Å 로 줄어들고, 격자 부피도 59.11, 58.73, 57.24 Å³ 로 줄어들며, 저항이 최대가 되는 온도 T_p 는 210.3, 221.1, 236.5 K 로 증가하였다. 이는 외부 압력하에서의 세라믹 bulk 상태 혹은 단결정 상태에서의 저항과 T_p 변화 결과와 일치한다. 하지만 여러 박막실험 결과에서 처럼 본 실험에서도 격자 상수가 가장 작게 나온 LaAlO₃(001) 위의 LCMO 박막의 경우에는 MR 최대값이 다시 증가하는 현상이 관측되었다. 본 저자는 이 현상을 Mn-O-Mn 의 Bond Length Dominant Regime 에서 Mn-O-Mn 의 Bond Angle Dominant Regime 에로의 전이로 해석하고 mixed valance Manganites 에서의 MR 효과는 Bond Length 와 Bond Angle 양자를 동시에 고려해서 이해되어야 함을 강조하고 싶다. Transport 방향으로의 균일한 strain 에 의한 격자 상수의 감소는 격자 상수가 어떠한 특이점 이하로 되면서 부터는 반경이 작은 원자 대체에 의한 화학적 내부 압력 효과에서 처럼 두드러지지 않는 않지만 (이 경우에는 불규칙적인 국소 원자 대체에 의한 격자 뒤물림이 e-ph 간의 강한 상호작용으로 나타나고 이에 의한 전자의 국소화 현상이 증가하여 저항이 증가하고 Tc 가 감소하는 것으로 보인다) Bond Angle 이 줄어드는 영역(Bond Angle Dominant Regime) 으로 들어 가면서 MR 이 다시 커지게 되는 것이다. 이 같은 박막에서의 결과와 개념적으로 유사한 현상은 세라믹 bulk 상태에서의 phase diagram (2) 에서도 나타나고 있는데, Tolerance factor (t) 가 1 에서 점차 줄어들면서 처음에는 Tc 가 증가하다가 0.93 이하에서는 다시 단조 감소하는 것을 볼 수 있는데 이에 대한 설명은 아직은 없는 상태이다. 하지만 Tolerance Factor 가 감소함에 따라 A-site 평균 반경이 줄어들고, 또한 격자상수도 감소하기 때문에 본 결과와 개념적으로 일치하는 현상으로 보고 있다.

관련논문 :

- (1) J.B.Torrance et al., Phys.Rev.B45, 8209 (1992)
- (2) H.Y.Hwang et al., Phys.Rev.Lett.75, 914 (1995)
- (3) H.Y.Hwang et al., Phys.Rev.B52, 15046 (1995)
- (4) K.Khazeni et al., Phys.Rev.Lett.76, 295 (1996)