

La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃/LaAlO₃ 초격자와 n형 도핑된 SrTiO₃ 접합에서의 자기 정류 특성

성상근, 박정원, 장안나, 송종현
충남대학교 물리학과, 대전광역시 유성구 궁동 220번지

Characteristics of Magneto-rectifying Behavior in the Junction of La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃/LaAlO₃ Superlattice and n-type Doped SrTiO₃

S. K. Seung, JeongWon, Ana Jang and J. H. Song
Department of Physics, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

1. 서론

현재 반도체 소자가 직면하고 있는 한계를 극복하기 위하여 전하의 스핀을 이용한 소자와 이의 소재 제반 연구가 최근 들어 매우 활발하게 이루어지고 있으며 이의 결과로 자기센서, MR 헤드 분야 등에서 매우 획기적인 결과를 초래하고 있고 이는 앞으로도 계속 이어질 것으로 기대되고 있다[1,2]. 이들 소자의 기반 소재로서 페로브스카이트 계열의 망간산화물은 그 물성의 뛰어난 기능성과 폭넓은 다양성, 그리고 전하의 스핀이 한쪽 방향으로 모두 분극되어 있는 절반 금속 특성으로 인하여 스핀 소자로서의 응용 가능성이 무한할 것으로 기대되어 소자 소재로서 각광을 받아왔으며 실질적인 소자 응용에 염두를 둔 연구가 활발히 진행되어왔다. 구체적으로 최근에 들어 La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃(LSMO) 박막과 Nb이 Ti 자리에 치환된 SrTiO₃ 기판(Nb-STO)으로 이루어진 p-n 이종접합구조에서 전압-전류 특성이 자기장에 변화를 보이는 이른바 ‘자기-정류’ 현상이 보고가 된 바 있다 [3]. 그러나 이러한 현상이 나타나는 온도가 10K 근처로 매우 낮아 실온에서는 그 효과가 없어지는 관계로 그 응용성이 제약을 받아왔으며 따라서 이러한 스핀다이오드의 작동온도를 실온 근처로 높여주는 것이 아직도 풀리지 않은 숙제로 남아있다. 본 연구에서는 LSMO 과 LaAlO₃(LAO)로 이루어진 초격자, 그리고 n-형으로 도핑된 SrTiO₃(STO) 기판으로 이루어진 접합구조에서의 자기-정류 특성에 대하여 연구하였으며 이를 통해 실온작동 스핀다이오드의 가능성에 대해 조사하였다.

2. 실험방법

LSMO/LAO 초격자 구조 박막의 합성을 위하여 Pulsed Laser Deposition (PLD) 방법을 이용하였으며 이때 LSMO 소스 타겟은 고상반응법에 의하여 단상으로 합성되었으며 LAO의 타겟으로는 LAO 단결정을 사용하였다. 증착 챔버 내의 산소분압은 variable leak valve를 이용하여 정밀하게 조절되었으며 챔버 내부의 균일한 산소분압을 위하여 산소 노즐의 길이는 짧고 또 그 위치는 챔버 벽에 가깝게 하였고 이로써 기판 부위와 실제 산소 분압을 측정하는 곳에서의 산소 분압 차이가 없도록 하였다. 증착 표면의 정밀한 구조 관측을 위하여 Reflection high energy electron diffraction (RHEED) 형상을 실시간으로 관측, 분석하였으며 이로써 각 층의 두께가 각각 일정하게 조절되었다. 시료의 기판으로는 Nb(0.01%)가 Ti 자리에 치환된 단결정 STO를 사용하였으며 LSMO(10u.c.)과 LAO(5u.c.) 층이 5번 반복하여 증착되었고 이후 30u.c.의 LSMO 층이 전극의 목적으로 추가 증착되었다. 전압-전류 특성의 측정을 위하여 박막은 대략 $9.0 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$ 면적의 정사각형 형태로 나누어졌

으며 박막의 위 표면은 접촉저항을 최소화하기 위하여 은으로 코팅되었고 기판은 금속선과 초음파 납땀되었다. 다이오드 특성은 시료를 다목적측정 Probe를 이용하여 Physical Property Measurement System (PPMS) 내부에서 측정되었다.

3. 실험결과 및 고찰

PLD로 초격자 증착 시에 측정된 RHEED specular 빔의 시간에 따른 세기 변화는 LSMO/LAO 초격자 1주기까지는 뚜렷한 반복 진동(oscillation)의 형태로 관측되었으나 이후에는 눈에 띌 정도로 나타나지 않았으며 따라서 1주기 이후 각층의 두께 조절은 1주기에 측정된 각층의 한층 당 증착 소요 시간을 바탕으로 이루어졌다. 1주기 이후에 뚜렷이 나타나지 않는 RHEED specular 빔의 시간에 따른 세기 변화는 LSMO와 LAO의 격자 상수 차이에 의한 것으로 해석된다. 그러나 고분해능 x-ray 회절 실험 결과 LSMO/LAO의 초격자 구조에 의한 위성 픽들이 2차 픽들까지 매우 뚜렷이 관측되었으며 이를 바탕으로 초격자 구조가 매우 잘 형성이 되었음을 알 수 있었다.

10K와 290K에서 측정된 전압-전류 특성은 -3V에서 1V 까지 측정되었으며 정류 특성을 보였다. 박막 표면에 수직하게 걸어준 자기장에 대하여 10K 에서는 -3 ~ 0.32V에 걸친 영역에서 전류가 자기장에 의존하는 자기-정류 특성을 보였고 이러한 현상은 전류의 크기가 급격히 커지는 0.32V 이상에서는 작아지는 경향을 보였다. 실온인 290K 에서는 10K에서 측정되었던 자기-정류 특성의 크기는 비록 감소하였으나 아직 남아있음을 확인할 수 있었으며 이는 기존의 LSMO 이중접합구조에서는 관측되어지지 않았던 현상이다.

5. 결론

위의 결과로 미루어 보았을 때 LSMO/LAO 초격자 박막이 Nb-STO 기판위에 매우 잘 형성되었으며 전압-전류 특성은 모든 온도 구간에서 정류 특성을 보임이 확인되었다. 10K 뿐만 아니라 290K에서도 작지만 뚜렷한 자기-정류 특성이 관측되었다. 이는 LSMO 층의 전자 구조가 실온 근처인 290K에서 반도체-도체의 상변이를 함에 따라 기판으로부터 도체 전극으로 이동하는 전자가 느끼는 장벽의 높이가 바뀐에 의한 것으로 해석되고 있으며 이를 극대화하기 위하여 층 두께의 조절과 주기성 조절에 대한 연구가 앞으로도 행하여져야 할 것으로 보인다.

6. 참고문헌

- [1] C. Zener, *Phys. Rev.* **82**, 403 (1951).
- [2] R. von Helmut, J. Wecker, B. Holzapfel, L. Schultz and K. Samwer, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 2331 (1993).
- [3] N. Nakagawa, M. Asai, Y. Mukunoki, T. Susaki, and H. Y. Hwang, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 082504 (2005).