

반원 형태의 Py 나노 와이어를 이용한 전류 인가 자구 벽 이동에 관한 연구

이현정*, Nguyen Thi Hoang Yen, Nguyen Thi Ngoc Anh, 신경호
한국과학기술연구원 나노소자연구센터, 서울시 성북구 하월곡동 39-1 136-791

1. 서론

최근 나노 사이즈를 가지는 자성 박막 계에서 외부 자기장을 가하지 않고 외부 전류만을 인가하여 자성 물질 내의 스핀 상태를 제어하고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다. 그 예로는 전류 인가 자화 스위칭 (Current Induced Magnetization Switching) 소자와 전류 인가 자구 벽 이동 (Current Induced Domain Wall Motion, CIDWM) 소자가 대표적이다. 특히 CIDWM 소자의 경우 IBM의 S. Parkin이 Race track memory의 응용 가능성을 제시한 이후 그 연구가 더욱 활발하게 진행되고 있다. 그러나 현재까지 CIDWM의 메커니즘에 대하여는 여러 연구 그룹 간에 논란이 되고 있다. 특히 전도 전자와 스핀간의 상호작용이 단열적 (adiabatic)인지 비단열적 (non-adiabatic)인지 혹은 자구 벽을 움직이게 하는 원동력에 대하여 스핀 전달 (spin transfer) 효과와 모멘텀 전달 (momentum transfer) 효과 중 어느 것이 더 절대적인지에 대한 논의가 한창 진행 중이다. 본 연구에서는 Py 단일 박막에서 CIDWM의 원동력에 대한 메커니즘을 규명하기 위하여 반원 형태의 Py 나노 와이어 패턴을 제작하였다. 반원 패턴에서 외부 포텐셜을 가하지 않고도 원하는 위치에 자구 벽이 잘 형성된 것을 관찰하였으며, 이를 이용하여 Py 자성 박막에서의 CIDWM의 원리를 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

자구 벽 이동을 보고자 하는 자성 박막으로는 결정 자기이방성이 거의 없는 Py를 선택하였으며, DC 마그네트론 스퍼터를 이용하여 여러 두께를 가지는 박막을 증착하였다. 100 nm~ 300 nm의 폭을 가지는 반원 패턴은 전자 빔 식각 공정을 이용하여 제작하였으며, lift-off 방식과 Ar ion milling 방식 모두 사용하였다. 측정 단자로는 Ti/Au를 사용하였으며 전자 빔 증착 방식과 Lift-off 방식을 사용하였다. 자구 벽 형성을 관찰하기 위하여 4-point probe 측정 방법을 사용하였으며 10 μ A의 DC 전류를 흘려주면서 횡단 자기 저항 (R vs. B_y)을 측정하여 소자의 저항 변화 여부를 측정하였다. V-I 측정은 Keithley2400과 Agilent multimeter를 이용하였으며, 자기장 제어는 PPMS를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

아래 그림 1에는 소자의 대략적인 모양을 나타내었으며, 그림 2에는 Py 소자에서 얻은 상온 횡단 자기 저항 측정 결과를 나타내었다. 측정한 소자의 두께는 300 nm이며, 폭은 45 nm, 그리고 반원의 곡률 반경은 20 μ m이다. 자구 벽을 반원의 중간 지점에 형성시키기 위하여 외부 자기장을 B_y 방향으로 인가하였다. 패턴 내에 자구 벽이 있는 경우, 전류의 방향과 스핀의 방향이 평행한 부분의 부피가 감소하므로 소자의 저항이 줄어든다. 반대로 패턴 내에 자구 벽이 없이 단일 도메인인 경우 소자의 저항은 높은 상태가 된다. 그림 2-(3)-(a)와 (c)는 자구 벽이 있는 경우이며, (3)-(b)는 자구 벽이 사라진 상태를 나타낸다.

또한, 원하는 위치에 자구 벽을 형성 시킨 후 DC 전류의 크기를 증가시키면서 소자의

저항 변화도 측정하였으며 (V-I curve), 전류의 크기가 일정 값(J_c) 이상일 경우 자구 벽을 움직일 수 있게 되며 이 때 자구 벽의 움직임 여부는 소자의 저항 변화를 통하여 알 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 자구 벽 이동을 위한 임계 전류 값을 구할 수 있었으며 그 값은 폭이 80 nm이고 두께가 20 nm의 패턴의 경우 대략 5×10^7 A/cm² 정도였다.

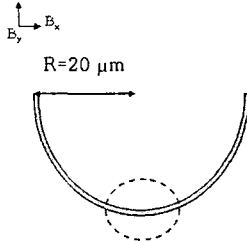


Fig. 1. A schematic diagram of a Py pattern exploited in this study. The dotted circle indicates the position of a domain wall formed by an external B_y field.

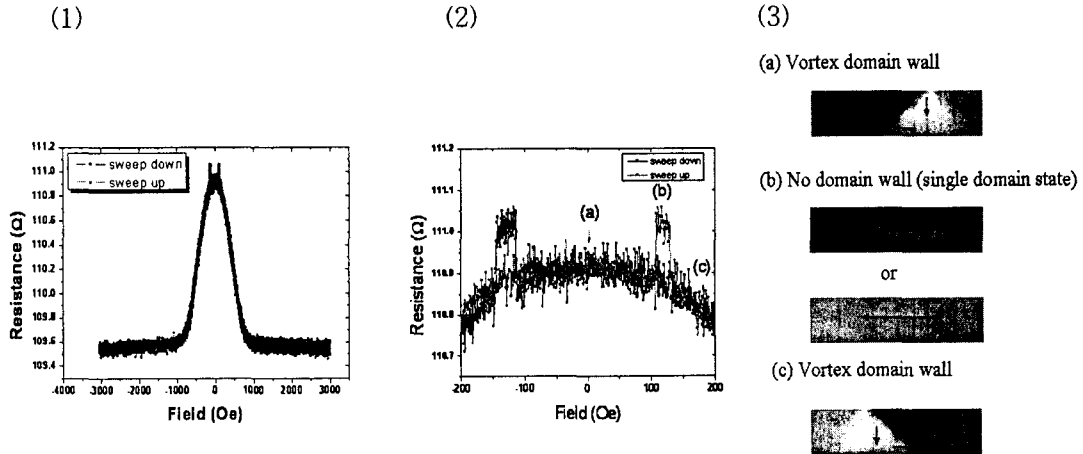


Fig. 2. (1) Transverse magneto-resistance (R vs. B_y) signal of a semi-circular Py nano wire loop of 300 nm width and 45 nm thickness. (2) Enlarged graph at field ranges, -200 Oe \sim +200 Oe. (a), (b), and (c) correspond to different domain states, whose schematic configurations are shown at (3).

5. 결론

본 연구에서는 반원 형태의 나노 와이어 패턴을 가지는 Py 소자를 성공적으로 제작하였다. 또한 반호 패턴을 이용하여 외부 포텐셜 없이 원하는 위치에 자구 벽을 형성 시킬 수 있음을 횡단 자기 저항 측정을 통하여 증명하였으며, 이러한 결과는 반원 패턴이 전류 인가 자구 벽 이동의 메커니즘을 규명하는데 있어서 좋은 실험 모델 패턴으로 사용될 수 있음을 나타낸다. 한편 자구 벽을 가지는 반호 패턴에 대하여 V-I curve를 측정하였으며, 소자의 저항 변화를 통하여 전류 인가 자구 벽 이동을 위한 임계 전류를 측정할 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] E. Saitoh, *et al.*, *Nature* Vol. 432, p. 203 (2004)
- [2] J. L. Tsai, *et al.*, *J. Appl. Phys.* Vol. 97, p. 10C710 (2005)
- [3] M. Hayashi, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* Vol. 96, p. 197207 (2006)