

## L자 모양의 Py-wire에서의 domain wall motion

윤정범<sup>1,2,\*</sup>, 박승영<sup>1</sup>, 조영훈<sup>1</sup>, 정명화<sup>1</sup>, 유천열<sup>2</sup>, 이재철<sup>3,4</sup>, 신경호<sup>3</sup>, 최석봉<sup>4</sup>

<sup>1</sup>한국기초과학지원연구원 양자물성팀

<sup>2</sup>인하대학교 물리학과

<sup>3</sup>한국과학기술연구원

<sup>4</sup>서울대학교 물리학과

### 1. 서론

현재 자성 분야에서 spin-transfer torque는 활발히 진행되고 있는 연구 중 하나이다. Spin-transfer torque가 응용 가능한 분야를 4가지로 나누면 current-induced magnetization switching (CIMS), spin diode, oscillator, domain wall motion으로 구분할 수 있다. 우리는 그중에 magnetic race track memory에 관련하여 활발히 연구가 진행되고 있는 magnetic domain wall motion을 연구하였다. Magnetic race track memory는 3차원 구조로 되어 있어 2차원 구조보다 정보 저장 밀도가 높다. 그리고 race track은 역학적 움직임이 없이 고정된 상태에서 domain wall motion에 의해서만 정보를 읽고 쓰기 때문에 충격에 약한 하드디스크보다 안정적으로 구동될 수 있다. 이처럼 magnetic race track memory는 정보 저장 소자로서 많은 장점을 갖고 있으며 이를 구현하기 위해 magnetic domain wall motion의 연구는 꼭 필요하다.

### 2. 실험방법

Domain wall motion을 연구하기 위해서 L자 모양의 Py-wire를 제작하였다. L자 모양은 구부러진 부분에 domain wall을 생성시키기 쉽고 pinning site가 적은 직선 부분에서 domain wall motion을 관측하기 용이하다. Nano-scale의 Py-wire를 제작하기 위해서 e-beam lithography을 이용하였다. L자 모양으로 Py를 폭은 600nm이고 두께가 20nm가 되도록 증착하였다. 그리고 photo lithography로 전극을 증착하였다. L자 모양의 Py-wire에서 magnetic-field-induced domain wall motion을 측정하기 위해 magnetoresistance를 측정하였으며 각 자기장에 대한 domain wall의 변화를 magnetic force microscopy(MFM)로 측정하였다. 또한 pulse-current-induced domain wall motion을 측정하기 위해 Py-wire에 pulsed current를 인가해 주고 domain wall motion을 MFM으로 측정하였다.

### 3. 실험결과

포화 자기장의 방향에 따라서 domain wall의 모양이 달라진다. MFM으로 측정한 그림 1. (a)와 같이 포화 자기장을 L자 모양의 아랫방향으로 인가한 후 자기장을 0 Oe로 하면 'head to head'의 single vortex domain wall이 형성된다. 반대 방향으로 포화 자기장을 인가한 후 자기장을 0Oe로 하면 'tail to tail'의 domain wall이 형성된다. 여기서 domain wall의 생성과정을 자기구조의 변화로 살펴보면 그림 1. (b)와 같다. 자기장의 방향으로 포화상태일 때에는 domain wall은 자기장 방향으로 정렬되며 0 Oe일 때는 형상 자기 이방성에 의해서 Py-wire의 길이 방향으로 정렬된다. 그 결과 'head to head'의 domain wall을 형성된다. 반대 방향의 경우는 'tail to tail'의 domain wall을 형성된다.

그림 2. (a)와 (b)는 pulse-current-induced domain wall motion을 보여준다. 그림 2. (a)는 형상 자기 이방성에 의해 형성된 single vortex domain wall을 보여준다. Domain wall이 형성된 상태에서

9.5 V이고 500ns인 pulsed current를 인가하면 1.2  $\mu\text{m}$ 정도 이동하는 것을 그림 2. (b)로 확인할 수 있다. 이때에 critical current density를 계산하면  $5.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 이고 domain wall의 속도는 2.4 m/s이다. 이러한 결과는 magnetic domain wall motion을 연구하는 다른 그룹의 결과와 비슷하여 신뢰할만한 결과이다[1-3].

Magnetic-field-induced domain wall motion을 확인하기 위해 자기저항을 측정하였다. 자기저항은 전체적으로 anisotropy magnetoresistance(AMR) 형태를 보이며 -50 Oe (50 Oe) 근처에서 자기 저항이 갑자기 상승하는 peak을 보인다. 이것을 확인하기 위해서 각 자기장에 대해서 MFM을 측정한 결과 그림 3. (a-f)와 같이 나타났다. 자기저항 값과 MFM 이미지를 비교하여 분석한 결과, domain wall이 있을 때는 없을 때보다 자기저항이 작음을 확인하였고 -50 Oe (50 Oe)에서 magnetic-field induced domain wall motion을 확인할 수 있었다.

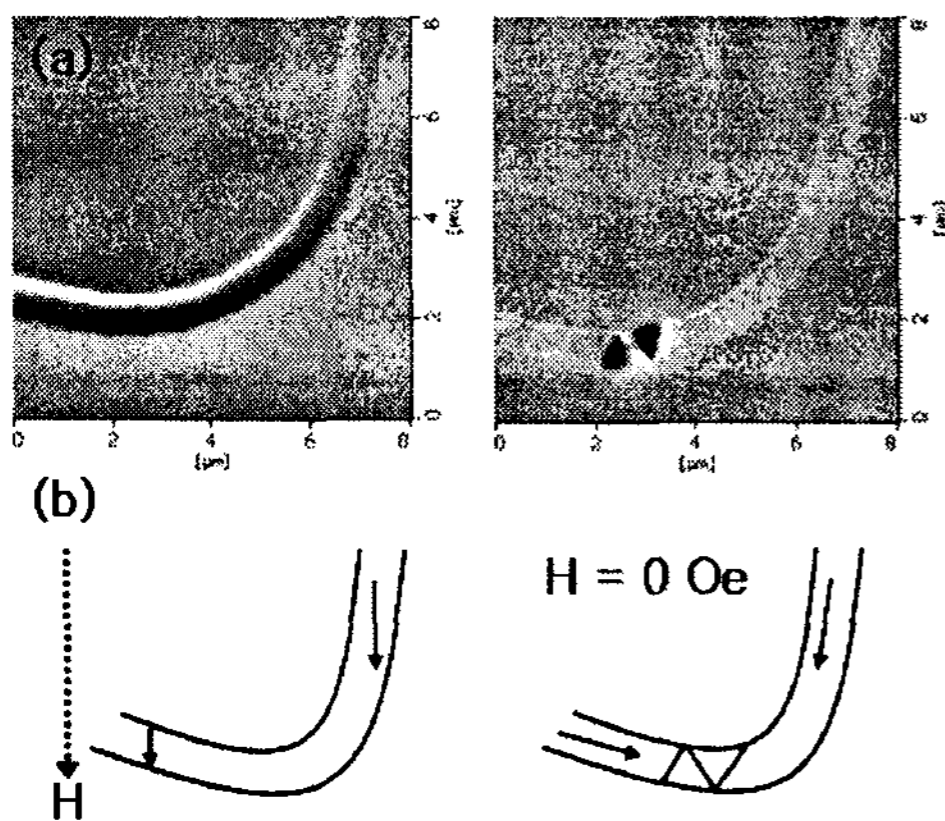


그림 1. (a) Py-wire에서 magnetic domain wall의 MFM 이미지. (b) 각각의 MFM 이미지에 대한 자기 구조. 실선은 domain의 방향이고 점선은 외부 자기장의 방향.

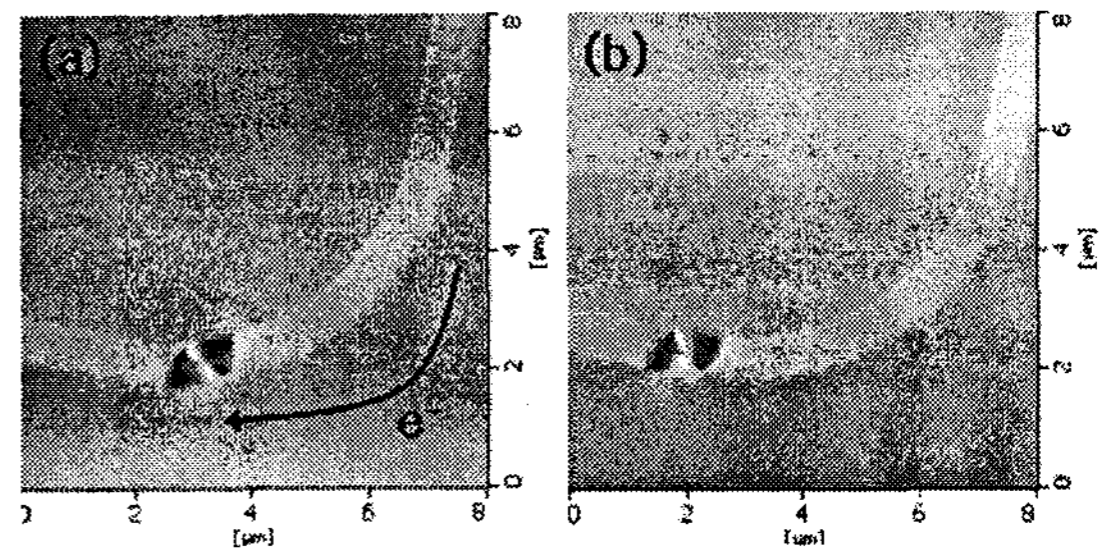


그림 2. (a) 포화 자기장과 형상 자기 이방성으로 생성된 domain wall의 MFM 이미지. (b) 9.5V에 500ns의 pulse를 인가한 후 이동한 domain wall의 MFM 이미지. 실선 방향은 전자의 이동 방향.

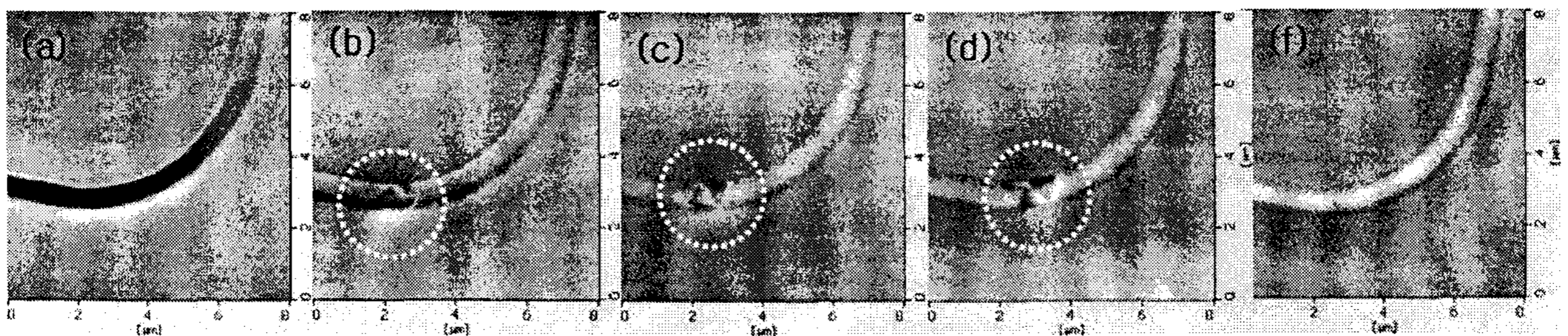


그림 3. (a) 900 Oe, (b) 100 Oe, (c) 0 Oe, (d) -30 Oe, (f) -70 Oe의 자기장에 대한 MFM 이미지. 점선 원은 domain wall의 위치를 나타낸다.

#### 4. 결론

Domain wall motion을 확인하기 위해서 L자 모양의 Py-wire를 제작하였다. L자 모양의 Py-wire에서 pulse-current-induced domain wall motion을 측정한 결과, critical current density는  $5.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 이고 domain wall의 속도는 2.4m/s 이다. 그러나  $5.0 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 의 critical current density는

소자로 사용하기에 너무 크기 때문에 개선이 필요하다. 또한 magnetic-field-domain wall motion을 측정한 결과, 200 Oe (-200 Oe)부터 천천히 domain wall이 형성되기 시작하고 0 Oe에서 안정적인 single vortex domain wall을 형성하다가 -50 Oe (50 Oe)에서 빠르게 domain wall이 움직여 사라진다.

##### 5. 참고문헌

- [1] Masamitsu Hayashi, Luc Thomas, Charles Rettner, Rai Moriya, Yaroslav B. Bazaliy, Stuart S. P. Parkin, Phys. Rev. Lett. 98, 037204 (2007).
- [2] Guido Meier, Markus Bolte, René Eiselt, Benjamin Krüger, Dong-Hyun Kim, Peter Fischer, Phys. Rev. Lett. 98, 187202 (2007).
- [3] A. Yamaguchi, S. Nasu, H. Tanigawa, T. Ono, K. Miyake, K. Mibu, T. Shinjo, Appl. Phys. Lett. 86, 012511 (2007).