

# 강자성 나노점에서 자기 이방성에 대한 스핀 동역학

윤정범<sup>1\*</sup>, 유천열<sup>1</sup>, 최창호<sup>2</sup>, 정명화<sup>2</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 물리학과

<sup>2</sup>서강대학교 물리학과

## 1. 서론

최근 스핀 전달 토크를 이용하여 정보를 저장하고 처리할 수 있는 자기 메모리인 STT-MRAM (spin-transfer torque-magnetic random access memory)에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 고집적화가 가능하고 저전력으로 안정적인 구동을 하기 위한 메모리 구조를 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중에 수직 자기 이방성을 갖고 있는 CoFeB-MgO를 이용한 자기 터널 접합 구조(MTJ; magnetic tunnel junction)에 대한 연구 결과는 매우 이슈가 되고 있다[1]. MTJ에서 자유층을 수직 자기 이방성 물질로 사용하면 소자의 크기를 줄일 수 있고 열적 안정성을 갖출 수 있다. 단, 자화 반전 임계 전류와 비례 관계가 있는 감쇠 상수가 일반적으로 수직 자기 이방성 물질에서 크기 때문에 자화 반전 전류가 커질 수 있다. 이처럼 감쇠 상수는 자화 반전 전류에 대해서 매우 중요한 변수이며 자기 이방성과 밀접한 관계를 갖고 있다. 일반적으로 감쇠 상수를 구하기 위해 스핀의 동역학적 거동에 대한 분석이 필요하다. 본 논문은 전산모사를 통해서 강자성 나노점에서 수직 자기 이방성의 유무에 대해 강자성 공명 현상을 이용하여 스핀의 동역학적 거동을 분석하였다.

## 2. 미세자기 동역학

미세자기 동역학을 기반으로 하는 object oriented micromagnetic framework (OOMMF [2])로 전산모사를 하여 강자성 나노점에서 스핀의 동역학적 신호의 변화를 연구하였다. 강자성 나노점은 S. Ikeda 논문을 참고하여 CoFeB에 대한 자기적 변수를 설정하였고 크기는  $50 \times 40 \times 1.3 \text{ nm}^3$ 로 하였다. 여기서 수직 자기 이방성은 평면에 수직인 방향으로  $1.0 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ 로 설정하거나 자기 이방성이 없는 것으로 설정하여 수직 자기 이방성 유무에 대한 공명 주파수의 변화를 확인하였다. 공명 주파수를 분석하기 위해 0.01 nsec 간격으로 각각의 cell의  $M(z, y)$ 를 100 nsec 동안 저장하였다. 그리고 저장한 결과를 시간에 대하여 fast Fourier transform 하여 주파수에 대한 정보를 얻었다. 0에서 45 GHz까지의 RF 자기장을 적용하기 위해 'sinc' 함수인  $H_y = H_0 \sin(2\pi f_h(t - t_{f/2}))/2\pi f_h(t - t_{f/2})$  형태의 자기장을 시료 전체에 인가하였다[3].  $f_h$ 는 45 GHz,  $H_0$ 는 10 mT를 적용하였다.

## 3. 계산 결과

CoFeB 나노점에 자화 용이 축으로 외부 DC 자기장을 인가하고 그에 수직인 방향으로 RF 자기장을 인가하여 그에 대한 공명 주파수 스펙트럼을 그림1과 같이 확인하였다. 그림 1 (a)는 수직 자기 이방성이 없는 상태의 나노점으로, 일반적인 Kittel 방정식으로 설명 가능한 결과이다. 그러나 그림 1 (b)는 수직 자기 이방성이 있는 나노점으로 외부 DC 자기장의 방향과 자화 방향이 일치하는 곳과 그렇지 않은 곳으로 나뉘어서 스핀의 동역학을 분석해야 한다. 공명 주파수 스펙트럼에서 공명 주파수의 크기를 그림 2와 같이 나타냈다. 자기 이방성이 없는 나노점에서의 공명 주파수의 크기는 수직 자기 이방성이 있는 나노점보다 대체로 좀 더 큰 것을 확인할 수 있다. 즉 실제로 감쇠 상수에 대한 실험을 할 경우, 수평 자기 이방성의 시료보다 수직 자기 이방성 시료의 강자성 공명에 의한 측정이 어려울 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 CoFeB 나노점에서 강자성 공명을 이용하여 스핀의 동역학적 거동을 분석하였다. 수직 자기 이방성의 유무에 따라 공명 주파수의 스펙트럼 모양이 다르고 그 크기가 달라짐을 확인하였다. 스핀의 거동을 나타내는 Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식으로 부터 강자성 공명에 대한 스핀 동역학적 식을 유도하고 이 식에 자기 이방성을 고려하여 외부 자기장의 세기에 대한 공명 주파수를 적용하면 감쇠 상수를 유도할 수 있다.

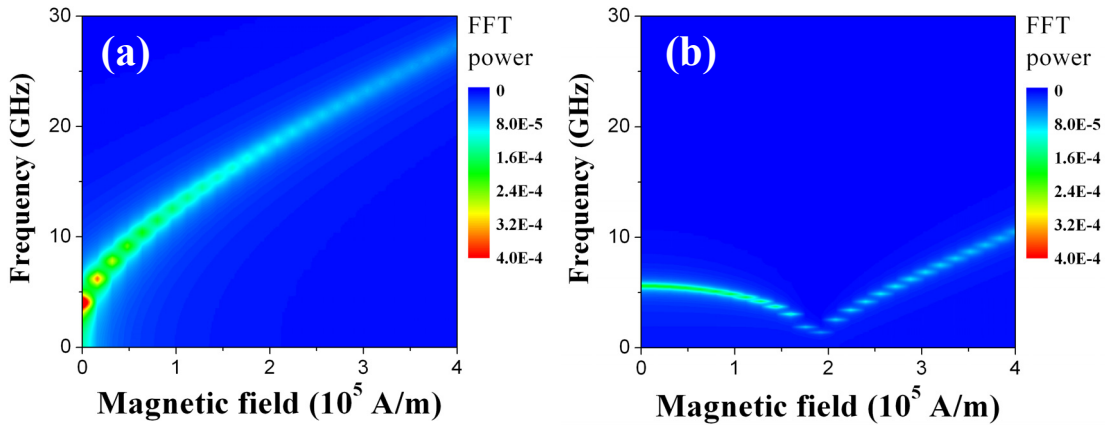


그림 1. 수직 자기 이방성이 없는 나노점(a)과 있는 나노점(b)에서 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수 스펙트럼.

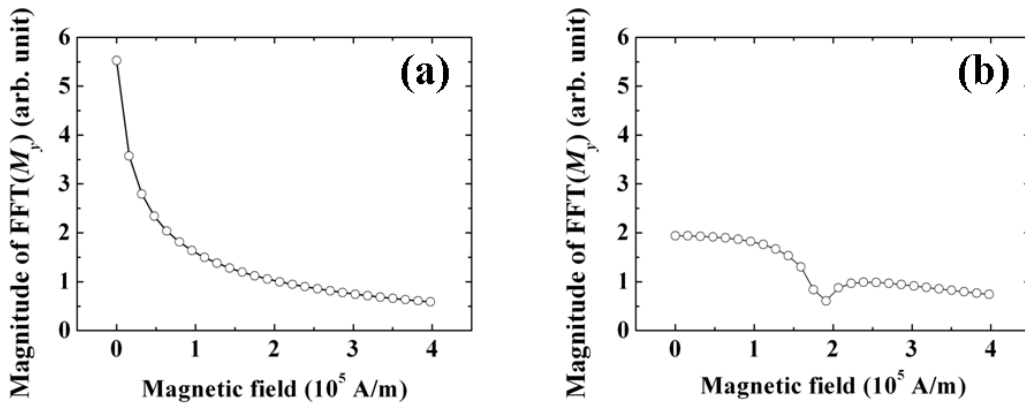


그림 2. 수직 자기 이방성이 없는 나노점(a)과 있는 나노점(b)에서 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 세기.

#### 5. 참고 문헌

- [1] S. Ikeda et al., Nature Mater. **9**, 721 (2010).
- [2] <http://math.nist.gov/oommf>
- [3] K.-S. Lee et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 127202 (2009).