

수직 자기 이방성을 갖는 강자성 박막과 나노점의 스핀 동역학

윤정범^{1*}, 유천열¹, 정명화²

¹인하대학교 물리학과, ²서강대학교 물리학과

1. 서론

차세대 자기 메모리로 이슈가 되고 있는 STT-MRAM(spin-transfer torque-magnetic random access memory)은 초고집적화를 이루고 좀더 저전력으로 안정적인 구동을 하기 위해 활발히 연구되고 있다. 위에서 제시한 차세대 메모리의 요건을 갖추기 위해 다층 박막 구조에서 강자성층의 종류나 구조에 대한 연구는 매우 중요하다. 최근 발표된 수직 자기 이방성을 갖고 있는 CoFeB-MgO 구조를 이용한 자기 터널 접합 구조(MTJ; magnetic tunnel junction)는 기존에 보고된 MTJ보다 자화 반전을 위한 전류밀도의 크기가 작고 열적 안정성도 좋다[1]. 위에서 언급했던 것과 같이 MTJ에서 자유층을 수직 자기 이방성 물질로 사용하면 소자의 크기를 좀더 줄일 수 있고 열적 안정성을 갖출 수 있으나 자화 반전 임계 전류와 비례 관계가 있는 감쇠 상수가 일반적으로 수평 자기 이방성 물질에 비해 크기 때문에 자화 반전 전류가 커질 수 있다. 이처럼 감쇠 상수는 자화 반전 전류에 대해서 매우 중요한 변수이며 자기 이방성과 밀접한 관계를 갖고 있다. 감쇠 상수를 연구하기 위해서는 스핀의 동역학적 거동에 대한 분석이 필요하다. 본 논문은 전산모사를 통해서 강자성 박막 또는 나노점에서 강자성 공명 현상을 이용하여 스핀의 동역학적 거동을 분석하였다.

2. 미세자기 동역학

Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식을 푸는 object oriented micromagnetic framework (OOMMF[2]) 코드로 시뮬레이션을 하여 강자성 박막과 나노점에서 스핀의 동역학적 신호의 변화를 연구하였다. 시뮬레이션을 위한 강자성 물질의 자성은 S. Ikeda 논문[1]을 참고하여 CoFeB에 대한 자기적 변수로 설정하였다. 박막은 $125 \times 125 \times 1.3 \text{ nm}^3$ 인 크기의 슬레이트에 주기적 경계조건(periodic boundary condition)을 적용하여 계산하였고 나노점은 $50 \times 40 \times 1.3 \text{ nm}^3$ 인 원판 모양으로 계산하였다. 여기서 수직 자기 이방성은 평면에 수직인 방향으로 $1.0 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ 로 설정하였다. 시료의 강자성 공명을 분석하기 위해 ‘sinc’ 함수인 $H_y = H_0 \sin(2\pi f_h(t - t_{f/2})) / 2\pi f_h(t - t_{f/2})$ 꼴의 자기장을 시료 전체에 인가하여 RF 자기장을 적용하였다[3]. 박막과 나노점의 감쇠 상수를 구하기 위해 외부 DC 자기장을 변화시키며 RF 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 변화를 확인하였다. 공명 주파수는 0.01 nsec 간격으로 각각의 cell의 $M(z, y)$ 를 100 nsec 동안 저장하여 분석하였다. 그리고 저장한 결과를 시간에 대하여 fast Fourier transform 하여 주파수에 대한 정보를 얻었다. f_h 는 45 GHz, H_0 는 10 mT를 적용하였다.

3. 계산 결과 및 논의

CoFeB 박막과 나노점에서 평면상으로 외부 DC 자기장을 인가하고 동시에 그에 수직인 방향으로 RF 자기장을 인가하여 강자성 공명 주파수 스펙트럼을 그림 1과 같이 확인하였다. 수직 자기 이방성을 갖고 있는 박막에서 평면상으로 외부 자기장이 인가되면 Zeeman 에너지와 수직 자기 이방성 에너지의 경쟁에 의해 자화방향이 결정된다. 박막 또는 나노점에서 스핀의 동역학적 거동은 공명 주파수 스펙트럼에서 자화 방향과 자기장의 방향을 고려하여 분석하였다. Zeeman 에너지가 수직 자기 이방성 에너지보다 커지는 임계 자기장(critical field)의 크기는 나노점이 모양에 의한 반자성 에너지가 크기 때문에 박막보다 크다. 또한, 그림 2와 같이 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 반치폭(full width at half maximum; FWHM)을 구하였다. 시뮬레이션에 적용한

감쇠 상수는 0.027이고 시뮬레이션 결과를 분석하여 얻은 박막과 나노점의 감쇠 상수는 자화 방향이 자기장과 일치할 때는 0.0194 ± 0.0003 로 같고 자화 방향과 자기장의 방향이 다를 때에는 각각 0.0165 ± 0.0003 와 0.0202 ± 0.0003 로 다르게 계산됨을 확인하였다.

4. 결론

본 연구는 CoFeB 박막과 나노점에서 강자성 공명 시뮬레이션을 이용하여 스핀의 동역학적 거동을 확인하였고, 공명 주파수의 스펙트럼을 분석하여 자기장에 대한 반치폭의 변화로부터 감쇠 상수를 계산하였다. 그 결과, 나노점에서 자화방향이 수직인 경우와 수평인 경우에 각각 다른 감쇠상수가 얻어짐을 확인하였다. 이를 통해서 실험적으로 감쇠상수의 값을 결정할 때, 분석에 있어서 추가적인 주의가 필요하다는 것을 확인하였다.

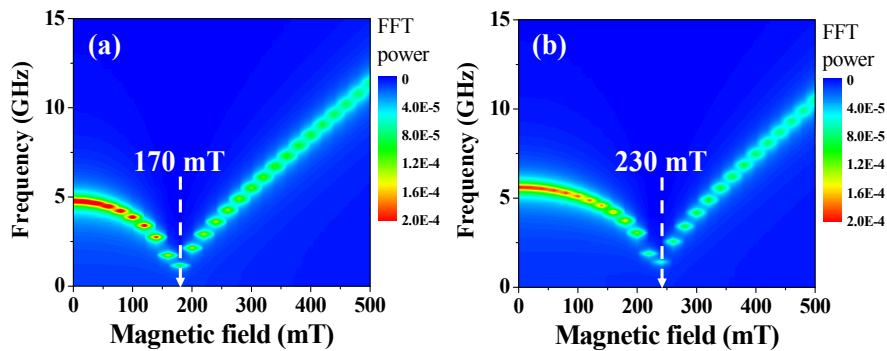


그림 1. 수직 자기 이방성이 있는 박막(a)과 나노점(b)에서 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수 스펙트럼.

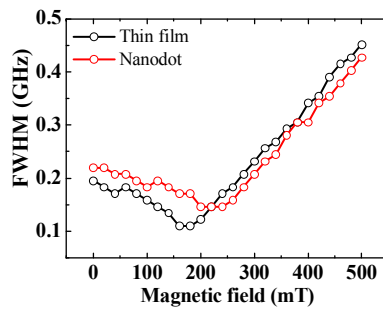


그림 2. 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 반치폭.

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).