

초고주파 펄스 자기장에 의한 자성 박막의 자화 반전 거동 시뮬레이션

김성훈*, 한윤성, 홍종일
연세대학교 신소재공학과 스핀소자 연구실

1. 서론

디지털 기술의 발전은 개개인이 접할 수 있는 정보량을 급격하게 증가시켰다. 디지털 카메라, MP3, 그리고 PDA와 같은 정보기기들은 정보의 소비자였던 개인들을 정보의 생산자로 탈바꿈시키면서 대용량 정보 저장 장치의 필요성을 대두시켰다. 특히, 광대역 인터넷 보급으로 인한 동영상 데이터의 증가는 개인이 다루는 데이터양을 기하급수적으로 증가시켰다. 최근 하드디스크(hard disk drive, HDD)의 용량이 수 백 기가바이트를 상회하고 있고, 개인이 한 번에 다루는 데이터양이 수 십 기가바이트에 이르면서, 초고속의 데이터 처리 속도는 필수적이라고 할 수 있다.

스핀트로닉 소자에 대한 많은 연구들이 이루어져 왔지만, 등한시되어 온 분야 중 하나는 자성 층의 자화 과정에 대한 동적 역학(magnetization reversal dynamics)의 연구이다. 특히, MHz 영역의 외부 자기장에 대한 자화 반전 또는 스핀 스위칭에 대한 연구는 활발하였으나 GHz대의 초고주파 외부 자기장에 대한 자화 반전 역학은 많은 연구가 이루어지지 않았다. 예를 들어, MHz 영역의 주파수에서 자화 용이축으로 외부자기장을 인가하여 감쇠운동을 이용한 자화 반전은 많은 연구가 이루어졌다. 또한, 자화 곤란축으로 외부 자기장을 인가하여 세차운동을 이용한 자화 반전 역시 많은 연구가 이루어졌다.^[1,2] 그러나, 수 GHz대에서의 초고속전송을 요구하는 차세대 시스템을 맞이하면서 새롭게 연구해야만 하는 필요성이 강조되고 있다.

2. 실험방법

NIST에서 개발된 OOMMF을 이용하였다. 물질은 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 을 이용하였고, 포화 자화는 800 emu/cc로 설정하였다. 감쇠상수는 0.03을 사용하였다. 소자의 크기는 800 nm × 300 nm이고, 직사각형 모양이다. 소자의 두께는 2 nm로 설정하였고, 교환결합 상수는 1.3×10^{-6} erg/cm³로 설정하였다. 격자의 크기는 10 nm × 10 nm로 설정하였다. 고주파 외부 자기장에 대한 자성 박막의 자화 반전 거동을 연구하는 것이 목적이기 때문에 100 ps, 200 ps, 300 ps, 400 ps, 그리고 500 ps의 지속시간을 갖는 펄스 자기장에 대하여 스위칭 지도를 작성하였다. 자화 용이축으로는 0 Oe부터 600 Oe까지 20 Oe씩 증가시켰고 동시에 자화 곤란축으로도 0 Oe부터 200 Oe까지 10 Oe씩 증가시켰다. 각각의 경우에 대해 자화 반전 여부를 확인하여 스위칭 지도를 작성하였으며 특히 현상들에 대한 원인을 고찰하였다.

3. 실험결과

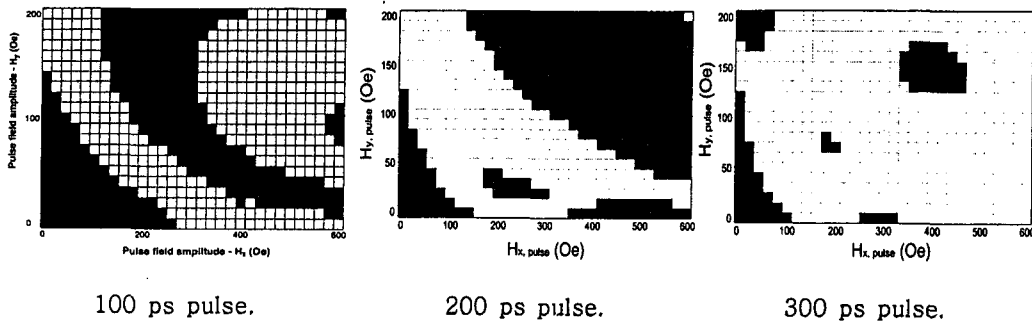
완화 시간보다 짧은 지속 시간을 갖는 외부 자기장을 인가하여도 자화 반전이 일어났다. 그러나 완화 시간보다 짧은 지속시간에 의한 스위칭은 매우 불안정하기 때문에 일반적으로 알려진 asteroid curve와는 다른 형태의 스위칭 지도가 그려졌다. 이 스위칭 지도는 일정한 H_x 와 H_y 이상에서 안정적으로 스위칭이 이루어지는 것이 아니라 스위칭 영역이라고 생각되는 영역에서도 스위칭이 일어나지 않았다. 또한 100 ps의 매우 짧은 외부 자기장을 인가하면 'C' 형태를 취하고 있는데, 인가 시간을 증가시키면 'C' 형태를 점점 잃고 asteroid curve 형태로 변화했다.

4. 고찰

이러한 스위칭의 불안정성은 자성 박막 내의 z 축으로의 강한 반자장 때문이다. 강한 반자장은 스핀들의 거동에 영향을 미친다. 스핀에 외부 자기장을 인가하면 세차 운동을 하다가 외부 자기장의 방향으로 배향한다. 그러나 강한 반자장 아래에서는 스핀들이 찌그러진 세차 운동을 하게 된다. 따라서 감쇠 운동에 의해서 스핀들이 외부 자기장 방향으로 배향하기 전에, 세차 운동에 의해서도 외부 자기장 방향을 가리키게 된다. 하지만 세차 운동에 의한 스핀의 배향은 매우 짧은 시간동안 이루어지고, 외부 자기장 방향을 가리키는 있는 시간도 매우 짧기 때문에 매우 불안정한 스위칭이라고 할 수 있다. 자화 곤란축으로 외부 자기장을 동시에 인가시키면 스핀들이 세차 운동하는 축이 y 축 방향으로 이동하면서 세차 운동에 의한 자화 반전 역시 스위칭이 일어나는 주기가 달라진다. 또한 외부 자기장을 인가하는 시간을 증가시키면, 스핀은 좀 더 외부 자기장 방향으로 배향된 상태에서 작은 주기를 가지고 세차 운동을 하기 때문에 스위칭 영역은 넓어지게 된다. 또한 외부 자기장의 인가 시간이 늘어나면, 자성 박막 내부의 스핀들이 받는 유효 자기장의 세기가 모두 달라지기 때문에 스핀들의 교환 결합력에 의해서 자화 방향이 바뀌게 된다. 이는 자성 박막의 M_x 의 변동으로 나타나고 자성 박막의 자화 반전을 결정하게 된다.

5. 결론

본 시뮬레이션을 통해서 짧은 외부 자기장을 인가하여도 자성 박막의 스위칭이 가능하다는 결론을 얻었다. 그러나 박막의 모양과 외부 자기장의 세기, 외부 자기장의 시간에 매우 민감하기 때문에, 자성 박막 소자를 제작하여 완화 시간보다 짧은 지속 시간을 갖는 외부 자기장을 인가하여 스위칭을 시키는 것은 좀 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.



6. 참고문헌

- [1] R. H. Koch, J. G. Deak, D. W. Abraham, P. L. Trouilloud, R. A. Altman, Yu Lu, W. J. Gallagher, R. E. Scheuerlein, K. P. Roche, and S. S. P. Parkin, *Phys. Rev. Lett.*, **81**, 4512 (1998).
- [2] Shehzaad KaKa and Stephen Russ, *J. Appl. Phys.*, **87**, 6391 (2000).