

결맞은 자기펄스를 이용한 자기소용돌이 회전운동 증폭 방법 연구

유영상¹, 한동수^{1*}, 유명우¹, 이기석¹, 최윤석¹, 정현성¹, 이제현¹, 임미영², Peter Fischer², 김상국¹

¹서울대학교 재료공학부 스핀과 동역학 소자 연구단, 서울특별시 관악구 관악로 1, 151-744

²로렌스 버클리 국립 연구소 X-선 광학 센터, 버클리 94720, 미국

1. 서론

마이크론 크기이하의 강자성체에서 교환 및 정자기적 상호작용에 의해 열적으로 매우 안정된 자기소용돌이 구조를 갖는다[1]. 이 때 자기소용돌이는 특정 고유진동수의 회전운동모드를 가지고 있으며, 최근 이를 이용한 자기소용돌이 기반의 정보 저장 [2,3] 및 전달 [4-6]소자에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 하지만, 자기소용돌이 핵의 회전 운동을 신호로 사용하기 위해서는 일정한 크기 이상의 회전반경이 요구되며, 그 결과 신호 발생 시 많은 에너지 소모가 요구되었다.

본 연구에서는 결맞은 자기펄스를 이용하여 매우 작은 세기의 자기장(~10e)로 자기소용돌이 핵의 회전운동을 증폭할 수 있음을 실험 및 전산모사를 통해 발견하였다. 이와 같은 발견은 기존의 방법에 비해 매우 적은 전력으로도 신호를 전달 할 수 있어 저전력 스핀정보소자에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험 및 계산 방법

본 실험을 위해 퍼말로이($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$)합금으로 구성된 나노점(nanodisk) 형태의 박막을 200 nm 두께의 Si_3N_4 의 얇은 막 위에 스퍼터(sputter) 및 전자빔 식각법(E-beam Lithography)를 이용하여 증착하였다. 상기 원판은 $\text{Ti}(5\text{nm})/\text{Cu}(70\text{nm})/\text{Au}(5\text{nm})$ 로 구성된 스트립선로(stripline)위에 40 nm의 두께, $3\mu\text{m}$ 의 지름을 가지도록 구성하였다. 이때, 가우시안 펄스(Gaussian pulse) 형태의 전류를 스트립선로상에 주기적으로 인가 한 후, 미국 로렌스 버클리 국립연구소에 위치한 자기 X선 투과현미경(Magnetic Transmission X-ray Microscopy)를 이용하여 시간에 따른 수직 자화 성분을 측정하였다. 위의 실험을 통해 얻은 결과는 실험과 동일한 구조에서 수행된 미소자기 전산모사[7] 및 해석적 계산을 통해 비교, 분석 되었다.

3. 결과 및 결론

본 연구 결과, 자기소용돌이의 공명 회전운동 주기의 정수배에 해당하는 주기로 자기펄스를 인가할 경우, 회전 운동의 증폭이 발생하였고, 반정수배의 경우 회전운동의 진폭이 감쇄하였다. 또한 인가된 펄스 횟수가 증가함에 따라 자기소용돌이의 회전운동 진폭이 크게 증가 한다는 사실을 발견하였다. 이 같은 결과는 주기적인 외부 자기 펄스에 의해 발생하는 지만힘(Zeeman force)과 자이로트로픽 힘(Gyrotropic force) 및 복원력(restoring force)간의 힘의 균형에 의해 설명될 수 있으며, 이 원리를 이용하면 매우 작은 세기의 자기장(~10e)의 크기로도 충분히 큰 자기소용돌이의 회전운동을 얻을 수 있음을 확인하였다.

본 연구 결과는 결맞은 자기 펄스를 가하여 자기소용돌이의 회전운동을 통해 정보신호 증폭방법을 개발함으로써 저전력, 고효율의 스핀정보소자로서의 응용가능성을 제시했다는 점에서 의의를 지닌다.

본 연구는 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 창의적연구진흥사업 지원을 받아 수행된 것임. (No. 20120000236). 본 실험에 사용된 연 X-선 현미경은 미국 에너지부 산하의 재료 과학 및 공학부서의 지원을 받아 수행된 것임. (No. DE-AC02-05-CH11231j)

참고문헌

- [1] K. Y. Guslienko, *et al. J. Appl. Phys.* **91**, 8037 (2002).
- [2] H. Jung *et al. Appl. Phys. Lett.* **97**, 222502 (2010).
- [3] H. Jung *et al. Sci. Rep.* **1**, 59 (2011).
- [4] S. Barman, A. Barman, Y. Otani, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43**, 335001 (2010).
- [5] S.-K. Kim *et al. IEEE Trans. Mag.* **44**, 3071 (2008).
- [6] M. Weigand *et al. Phys. Rev. Lett.* **102**, 077201 (2009).
- [7] <http://math.nist.gov/oommf>.
- [8] This work was already published in *Scientific Reports* [Feb., 2013, Volume 3, Page 1301]