

자기소용돌이의 움직임에 의한 스핀파동의 생성 및 전파 (vortex-motion driven spin-wave generation and propagation)

최상국*, 이기석, 김상국
서울대학교 재료공학부 나노스핀트로닉스 연구실

1. 서 론

바닥상태에서의 스핀집단은 외부로부터 열, 자기장, 전류 등의 형태로 에너지가 가해지면 그 바닥상태로부터 여기된다. 각 위치에서의 스핀은 외부자장 및 주변스핀과의 상호작용에 의한 유효자장 (effective field)으로 인하여 세차운동을 하게 되며, 이중 바닥상태에서의 스핀벡터와 여기된 상태에서의 스핀벡터간의 차를 나타내는 벡터의 시간적 공간적 거동을 스핀파동이라고 한다[1].

패턴된 강자성 박막에서의 스핀파동현상은 학문적 관심뿐 아니라 논리소자로서의 응용가능성으로 인하여 많은 주목을 받고 있다[2][3]. 그러나 최근의 연구는 패턴된 강자성 박막에서 존재할수 있는 정상파 형태의 스핀파동 및 그 분산관계만을 주목하고 있으며 이로 인해 스핀파동의 국부적인 생성 및 그 전파특성에 대한 연구가 미흡했다. [4][5][6][7].

본 연구에서는 원형박막내부에 존재하는 자기소용돌이의 움직임에 의한 스핀파동의 국부적 생성 및 패턴된 나노선상에서의 스핀파동의 전파특성을 관찰하고자 한다.

2. 전산모사 방법

본 연구에서는 OOMMF[8]를 사용하여 그림 1의 형상으로 패턴된 NiFe 박막모델은, 교환 상수 $A=1.3 \times 10^{-11}$ (J/m), 포화 자화 $M_s=8.6 \times 10^5$ (A/m), 자기 이방성 상수 $K=0$ (J/m³), 단위셀 $5 \text{ nm} \times 5 \text{ nm} \times 10 \text{ nm}$ 의 조건으로 전산모사하였다. 우선 전산모사를 위한 초기조건을 찾기 위하여 감소 계수 $\alpha=0.5$ 의 조건으로 완화(relaxation)하였으며, 자기쌍극자간 상호작용으로 인하여 원형박막 내부에는 자기소용돌이를 가지며, 나노선 내부에는 나란한 스핀 배열을 갖는 평형상태에 도달하였다. 얻어진 평형상태를 초기조건으로 감소계수 0.01에서, 원형박막 내부에만 주기 20ns의 Sine 펄스파를 박막면에 평행한 방향으로 100 Oe, 300 Oe, 500 Oe의 크기로 인가, 자기소용돌이를 운동시켜, 스핀파동을 국부적으로 생성하였다. 생성된 스핀파동을 나노선으로 주입시켜, 도파관(waveguide) 상에서의 스핀파동의 전파특성을 관찰하였다.

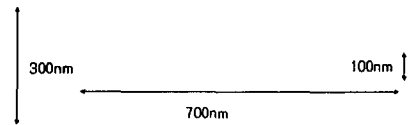


Fig. 1. Geometry of model system of NiFe patterned film

3. 결과 및 고찰

원형박막 내부에서의 자기소용돌이의 움직임은 자기장의 세기에 따라 서로 다른 움직임을 보여주었으며, 원형박막내부에서 생성, 나노선 상에서 전파되는 스핀파동의 특성 또한 이러한 자기소용돌이의 운동양상에 좌우되었다.

원형 박막 내부에만 100Oe의 외부자기장이 인가된 경우, 자기소용돌이 중심이 외부자기장에 의해 가속되었으며, 이로 인해 스핀파동이 생성되었다. 생성된 스핀파동은 나노선 내부에서 포화자화 대비 1~3%의 변위, 파장 80nm, 15GHz의 주파수로 전파되었다.

300, 500 Oe의 자기장에서는 자기소용돌이 중심이 외부자기장에 의해 가속중 그 중심의 방향이 역전(flip)되었으며, 이로 인해 스핀파동이 생성되었다. 생성된 스핀파동은 나노선 내부에서 포화자화 대비 5~7%의 변위, 80nm의 파장, 15GHz의 주파수로 전파되었다.

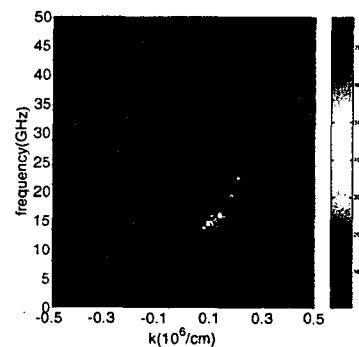


Fig. 2. spin-wave dispersion relation in ferromagnetic nanowire.

원형 박막 내부에서 생성된 스핀파동은 외부자기장의 크기에 관계 없이 모든 주파수 영역에 걸쳐 스핀파동이 존재하였으나 나노선으로 주입과장중 그림 2와 같이 나노선 내부에 존재하는 금지대 (forbidden)에 의해 나노선 내부로 전파되지 못하고 소멸되었다.

4. 결 론

원형박막 내부의 국부적 외부자기장 인가에 의한 자기소용돌이의 움직임에 의해 스핀파동을 생성하였고, 나노선 내부에서 파장 80nm, 주파수 15GHz의 스핀파동을 전파하였다. 자기소용돌이 가속운동에 의한 스핀파동은 1~3%의 변위를 가지나, 자기소용돌이 역전에 의한 스핀파동은 그 진폭이 3~7%로 증가되었다.

5. 참고문헌

- [1] B. Hillebrands and K. Ounadjela, *Spin Dynamics in Confined Magnetic Structure I* (Springer, Berlin, 2001).
- [2] R. Hertel, W. Wulfhekel, and J. Kirschner, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 257202 (2004).
- [3] L. R. Walker, *Phys. Rev.* **105**, 390 (1957).
- [4] B. A. Kalinikos and A. N. Slavin, *J. Phys. C* **19**, 7013 (1986).
- [5] B. A. Ivanov and C. E. Zaspel, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 027205 (2005).
- [6] J. Jorzick, S. O. Demokritov, B. Hillebrands, M. Bailleul, C. Fermon, K. Y. Guslienko, A. N. Slavin, D. V. Berkov, and N. L. Gorn, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 047204 (2002).
- [7] J. P. Park, P. Eames, D. M. Engebretson, J. Berezovsky, and P. A. Crowell, *Phys. Rev. Lett.* **89**, 277201 (2002).
- [8] M. Donahue and D. Porter, Object oriented micromagnetic framework, <http://math.nist.gov/oommf>.
- [9] K.-S. Lee, S. Choi and S.-K. Kim, *Appl. Phys. Lett.* (to be published).