

자기 소용돌이 핵의 동적 거동에 따른 변형과 분리

한희성^{1,*}, 이수석¹, 임미영^{2,3}, 홍정일³, Peter Fischer², 이기석¹

¹울산과학기술대학교 신소재공학부

²Center for X-ray Optics, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA94720, USA

³대구경북과학기술원 신물질과학전공

1. 서론

자기소용돌이 핵의 구조는 매우 단단한 구조로 임계 속도 이하에서는 회전운동과 같은 동적 거동에 의해서 잘 변형이 되지 않는다고 알려져 왔다. 그러나 최근 원판형 박막의 두께가 증가하면 자기소용돌이의 깊이에 따른 형상이 운동에 의해 변형이 일어나고 이에 따라 고유진동수의 변화가 유발될 수 있다는 것이 밝혀졌다 [1],[2]. 본 연구에서는 두꺼운 시편에서 자기 소용돌이 핵의 구조가 회전운동에 따라 어떠한 변형을 가져올 수 있는지 미소자기학 전산모사를 통하여 관찰 하였다.

2. 연구 방법

원판형 퍼말로이($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) 자성 박막 내에서 자기소용돌이의 동적 거동을 전산모사하기 위하여 Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 방정식을 기반으로 하는 mumax³[3]를 사용하였다. 물질상수는 다음과 같이 퍼말로이의 상수를 이용하였다. 포화 자화값(M_s) : 860kA/m, 고유 감쇠상수 (α) : 0.01, 교환 상수 (A_{ex}) : 13pJ/m. 두께에 따른 자기소용돌이 핵의 3차원적 동적 거동을 관찰하기 위하여 지름은 300nm로 고정하였으며, 두께를 40nm에서 100nm까지 변화를 주었다. 셀 사이즈는 $2 \times 2 \times 5 \text{ nm}^3$ 로 설정하였다. 박막면의 위 방향으로 형성된 자기소용돌이 핵의 공명 회전 운동을 여기시키기 위하여 반시계 방향으로 회전하는 자기장을 주어진 형상의 원판 자성 박막에 형성된 자기소용돌이의 고유회전 진동수와 동일하게 맞추어 인가하였다.

3. 결과 및 논의

지름 300nm 두께가 50nm 이하인 원판형 박막에 회전하는 자기장을 인가하는 경우, 적절한 세기의 자기장에서는 자기소용돌이 핵이 안정한 회전 운동을 하였으며 이 때 핵의 구조는 거의 변형되지 않은 형태로 잘 회전하였으나 자기장의 세기가 세지면 자기 소용돌이 핵의 회전운동속도가 임계속도에 도달하여 자기 소용돌이 핵이 자기소용돌이-반소용돌이 쌍의 생성 소멸을 거쳐 반전되었다[4]. 하지만, 두께가 80nm 이상일 경우 앞에서 설명한 바와 같은 자기 소용돌이 핵의 반전현상이 나타나지 않았다. 또한 적절한 세기의 자기장 하에서의 회전운동에서도 차이가 생겼다. 정상상태일 때 깊이에 따라서 소용돌이 핵의 위상과 회전반경이 차이가 생겨났다. 또한 자기장의 세기가 클 경우(두께 100nm의 경우 450e정도), 시간에 따라 회전 반경과 위상이 일정하지 않은 움직임을 보여주었으며 자기장의 세기가 더 증가(두께 100nm의 경우, 자기장의 세기가 500e 이상)하면, 앞서 살펴보았던 자기소용돌이 핵의 반전현상이 나타나지 않고 그림 1과 같이 핵의 변형이 커지다가 부분적으로 분리되는 현상이 관찰되었다. 또한 부분적으로 분리된 작은 링 형태의 자기구조는 안정하지 못하고 가장자리로 이동하여 경계면에 도달하면 바로 소멸하게 되었다. 그리고 소멸의 순간 자기소용돌이-반소용돌이의 소멸과 유사한 스핀파가 발생되었다.

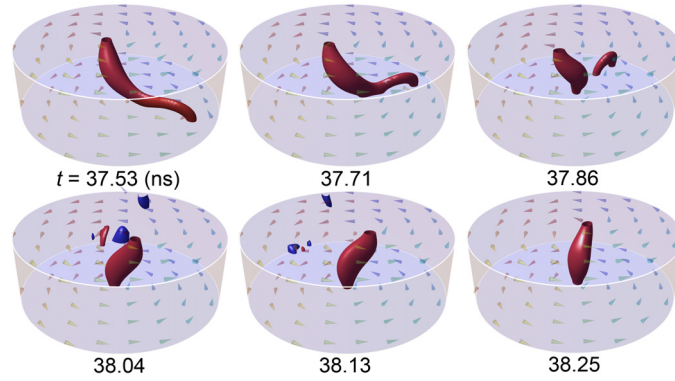


그림 1. 자기 소용돌이 핵의 분리 현상. 빨간색(파란색)은 $m_z = +0.7(-0.7)$ 인 부분을 보여준다.

4. 결론

본 연구를 통해 원판형 박막의 두께가 두꺼워지면, 자기 소용돌이 핵의 구조는 안정하지 않고 변형이 일어날 수 있으며, 이로 인해 속도가 임계점에 도달했을 때, 발생한다고 여겨졌던 핵의 동적 반전현상도 일어나지 않고 핵의 일부분이 표면에서부터 분리 소멸된다는 것을 밝혀내었다. 이는 자기 소용돌이 핵 반전을 이용한 메모리 및 정보 처리소자 개발에 주의점을 제공해 줄 뿐 아니라, 분리된 자기소용돌이 핵이 원판형 박막의 가장자리에 부딪힘으로 인해 발생하는 스핀파동을 이용하여 신개념 스핀파동 생성기에 대한 가능성을 제시한다.

5. 참고문헌

- [1] J. Ding et al., Scientific Reports. 4, 4796 (2014)
- [2] G. Lv et al., Appl. Phys. Lett. 103, 252404 (2013)
- [3] A. Vansteenkiste et al., AIP Advances. 4, 107133 (2014)
- [4] K. -S. Lee et al., Phys. Rev. Lett. 101, 267206