

Vortex-core reversal dynamics at elevated temperatures

김보성^{1*}, 유명우¹, 이제현¹, 김상국¹

¹Research Center for Spin Dynamics and Spin-Wave Devices, and Nanospinics Laboratory,
Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Republic of Korea

1. 서론

현재 널리 사용되고 있는 전하 제어 방식 소자의 한계를 극복하고자, 스핀 동역학이 활발히 연구되고 있다. 특히 패턴된(patterned) 자성 박막에서 형성되는 자기소용돌이(magnetic vortex) 구조는 핵의 자화 방향과 회전 방향에 따라 네 가지로 구분되는 안정한 구조를 가지고 있어 정보 저장과 논리 소자로의 응용에 많은 관심을 끌고 있다. 자기소용돌이는 핵의 공명 현상을 이용하여 적은 에너지로도 피코에서 나노초 수준의 빠른 작동이 가능하다는 장점을 가지고 있어, 차세대 소자로의 응용이 기대된다.[1]

한편, 소자의 크기의 소형화됨에 따라 주변 온도와 주열 발열(Joule heating)을 더 이상 무시할 수 없게 되었다. 특히 자성 재료 내에서는 온도에 의해 자화 벡터들이 불규칙하게 요동을 하게 되는데, 이것은 자성 물질을 기반으로 한 소자의 오작동이나 저장된 정보의 손실, 수명의 단축 등의 문제를 일으키는 주요 원인이 되기 때문에 소자구현에 앞서 반드시 선행되어야 하는 연구이다. 이런 맥락에서 온도가 자기소용돌이의 거동에 미치는 영향이 꾸준히 연구되어왔지만,[2,3] 온도가 자기소용돌이 핵의 반전에 미치는 영향은 아직 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 온도에 따라 자기소용돌이 핵의 반전에 일어나는 변화를 미소자기 전산모사를 통해 알아보았다.

2. 실험방법

본 전산모사에서는 지름 150nm, 두께 20nm의 원기둥 형 퍼멀로이(permalloy, Ni₈₀Fe₂₀) 내부에서 일어나는 스핀의 거동을 FEMME 프로그램을 이용하여 0K, 100K, 200K, 300K 각 온도에서 관찰하였고, 결과의 분석을 위해 자기소용돌이 핵 반전의 기준으로 알려진 핵의 속도(v)와 자화 구덩이(m_z, dip), 교환에너지 변화(ΔE_{ex})를 온도에 따라 살펴보았다.[4-6] 다양한 온도 환경을 반영하기 위해 온도에 의한 외부 자기장 H_{th} 항이 포함된 stochastic Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식을 사용하였으며, 자기소용돌이를 여기 시키기 위해 핵의 고유진동수와 같은 1.07GHz의 반 시계-면 방향 회전 자기장을 외부에서 인가하였다.

3. 결과 및 고찰

전산모사 결과, 온도가 상승하였을 때에도 0K에서와 마찬가지로 핵의 반전이 vortex-antivortex의 형성과 소멸 과정을 통해 일어남을 확인하였다. 그리고 0K에서 핵의 반전이 항상 일어나는 조건임에도 온도가 상승하였을 때에는 핵의 반전이 확률적으로 일어나며, 핵의 반전을 100% 확률로 일으키기 위한 임계 자기장의 세기가 온도가 상승할수록 증가하는 것을 관찰하였다. 한편 핵의 속도는 핵의 반전 여부와 관계 없이 모두 임계 속도(v_{crit})에 도달하는 반면, 자화 구덩이와 교환에너지 변화는 핵의 반전이 일어나는 경우에만 각각의 임계 점 $m_z, \text{dip} = -p, \Delta E_{\text{ex}} = 8\pi A_{\text{ex}}L$ 에 도달하는 것을 알 수 있었다. 이는 온도가 증가할수록 스핀들을 무질서하게 만드는 H_{th} 의 증가로 인해 자화 구덩이가 임계 점에 도달하지 못하기 때문이다.

4. 결론

본 연구를 통해 다양한 온도에서 자기소용돌이 핵 반전의 과정을 살펴보았다. 임계 값 이하의 외부자기장

이 인가되었을 때 자기소용돌이 핵의 반전이 확률적으로 일어나며, 임계 자기장의 세기는 온도가 상승할수록 점차 커지는 것을 확인하였다. 또한 자기소용돌이 핵의 반전의 기준은 임계속도가 아닌 자화 구덩이와 교환에너지 변화이며, 온도 상승이 야기하는 스핀의 불규칙한 요동의 심화가 핵 반전을 위한 자기장의 세기를 점차 증가시킨다는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 자기소용돌이 기반 소자의 제작에 앞서 온도로 인한 소자의 에너지 증가, 오작동, 수명 등을 예측하는데 필요한 제반 지식을 제공하는데 의의가 있다.

5. 참고문헌

- [1] K. Y. Guslienko *et al.*, J. Appl. Phys. **91**, 8037 (2002)
- [2] J.-G. Zhu, J Appl. Phys **91**, 7273 (2002)
- [3] X. W. Yu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **106**, (2011)
- [4] K.-S. Lee *et al.*, Phys. Rev. Lett. **101**, (2008)
- [5] K. Y. Guslienko *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, (2008)
- [6] S. Gliga *et al.*, J. Phys.: Conference Series **303**, 012005 (2011)