원형의 강자성 디스크에서 3차원 자속 폐쇄 구조의 대칭성 깨짐
Symmetry Breaking of 3D Flux-Closure Magnetization Configurations in a Circular Disks

이기석[1*], 한희성[1], 이수석[1], 김남규[1], 임미영[2,3], 유영상[2], 홍정일[3]
[1]울산과학기술원(UNIST)
[2]로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory)
[3]대구경북과학기술원(DGIST)

수백 나노미터 혹은 수 마이크로미터 크기로 패턴된 연자성 박막의 경우 자기구조의 형상은 정자기 에너지를 줄이기 위하여 패턴된 형상을 따라 자속을 폐쇄시키는 구조를 만들게 된다.[1] 정사각형 패턴에서 보이는 란다우 형상이나 원형디스크 형상에서 보이는 자기 소용돌이 구조가 여기에 해당한다. 이러한 형상은 보통 2차원적 형상으로만 파악되어 왔는데 50 nm 이상의 두께를 가지는 박막의 경우 이러한 2차원적 평면 자속 폐쇄 구조뿐만 아니라 매우 복잡한 3차원 구조를 띄게 된다.[2,3] 예를 들어 정사각형이 아닌 직사각형 형상의 경우 가운데 핵이 있고 그 주위를 둘러싼 단순한 자기구조가 아니라 늘어난 'ㄹ'자 형태의 블로흐(Bloch) 자구벽 구조와 이를 둘러싸고 있는 네엘-캡(Néel-cap)으로 이루어진 복잡한 3차원 구조가 형성된다.[2,3] 이는 두께방향으로도 정자기 에너지를 줄이기 위하여 자속 폐쇄구조가 형성이 되기 때문이다. 보통 2차원 자속 폐쇄 구조는 가운데 핵의 방향과 폐쇄구조의 회전방향에 따라서 4가지 상태를 가지게 되는데 3차원의 경우는 두께방향의 자속 폐쇄구조의 회전방향까지 더해지게 되어 8가지 에너지적으로 안정한 상태가 가능하다. 그러나 정사각형이나 원형등 180도보다 작은 각으로 회전 대칭을 가지는 형상의 경우에는 회전 대칭적인 자기소용돌이 핵의 구조를 가지게 되어 두께 자속 폐쇄구조 회전방향에 따른 추가적인 자유도는 사라진다.

본 연구에서는 원형 디스크에서 이러한 3차원 자속 폐쇄 구조가 외부 자기장에 의해 형성될 수 있음을 로렌스 버클리 국립연구소 산하 방사광 가속기(Advanced Light Source) 6.1.2 빔라인 자기투과현미경을 통하여 실험적으로 관측하였으며 또한 이 구조의 회전 방향은 2가지의 자유도를 가지는 것이 아니라 외부 자기장과 평면 자속 폐쇄 구조의 방향, 핵의 방향과의 관계에 따라서 항상 특정 방향으로만 형성되는 대칭성 깨짐 현상을 관찰하였다. 또한 이것이 에너지적인 선택이라는 점을 미소자기 전산모사를 통해 규명하였다.

References

[1] A. Hubert and R. Schäfer, Magnetic Domains. (Springer, Berlin, 1999)
[2] F. Cheynis et al., Phys. Rev. Lett. 102, 107201 (2009)
[3] A. Masseboeuf et al., Phys. Rev. Lett. 104, 127204 (2010)