

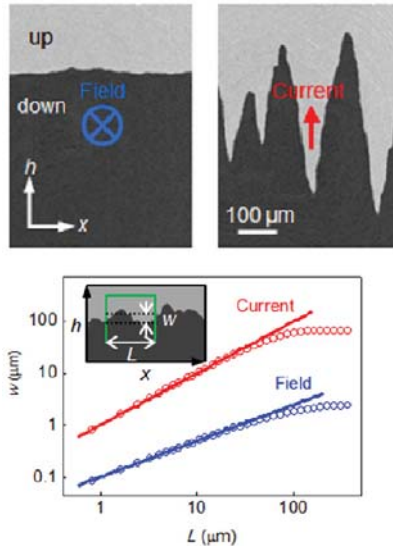
## Distinct Universality Classes of Domain Wall Roughness in Two Dimensional Pt/Co/Pt Films

경계면(interface)은 서로 다른 물질 또는 상태가 만나는 면으로 많은 자연 현상들이 경계면에서 발생한다. 따라서 발생하는 현상을 연구하기 위해서는 경계면의 성질을 탐구하는 것이 필요하다. 경계면의 특성은 거칠기(roughness)로 정의되는데, 이번 연구에서는 거칠기의 보편성 범주(universality class)가 여러 가지 구동력에 의해 어떻게 결정되는지 탐구해 보았다.

구동력의 특성에 따른 경계면의 성질을 탐구하기 위해서는 여러 가지 구동력을 가진 경계면이 필요하다. 자구벽(magnetic domain wall)은 이러한 조건이 충족되는 경계면이다. 자구벽이란 서로 다른 자화방향을 가진 자구들의 경계를 말하는데, 자구벽을 이동시키는 구동력으로서 이제까지 자기장이 사용되어왔다. 자화방향은 외부자기장에 나란한 방향으로 정렬되기를 선호하기 때문에 자기장과 나란한 자구를 확장시키기 위해 자구벽 이동이 발생한다. 최근에는 전류에 의해서도 자구벽이 이동한다는 것이 밝혀졌다. 이 새로운 현상은 이동하는 전자를 매개로 하여 자화모멘트가 전달되는 현상인데 흔히 스핀전달토크(spin transfer torque)라고 부른다.

스핀전달토크가 발견된 후 스핀전달토크 현상에 바탕을 둔 여러 소자들이 연구되고 있다. 그 중 자구벽 메모리 소자는 차세대 메모리 소자로 각광받고 있다. 이 소자는 하드디스크의 회전운동을 전류에 의한 자구벽의 이동으로 대체하기 때문에 기존의 메모리를 뛰어넘는 안정성과 집적성, 용량 및 속도를 구현할 것으로 기대된다.

자구벽 메모리소자는 전류를 한쪽 방향으로 흘려 줄 필요가 있기 때문에 선 구조를 가지게 된다. 따라서 스핀전달토크에 대한 연구는 선 구조를 중심으로



▲ (상) 2차원 수직자성 박막에서 관찰한 자구벽의 형태. (하) 축척분석을 통한 거칠기의 보편성 범주 확인.

많이 진행되었다. 또한 메모리의 직접도와 전류밀도를 높이는데 작은 구조가 유리하므로, 그 결과 선 구조의 폭은 수백 나노미터까지 줄어들었다.

이러한 나노선 구조에서 이루어진 연구를 통해 전류에 의한 자구벽 이동에 대한 근본 원리들이 속속 밝혀지고 있다. 하지만 선 구조가 가진 한계 때문에 아직까지 밝혀내지 못한 성질이 있는데, 이것은 바로 전류로 이동하는 자구벽의 형태이다. 선 구조에서는 자구벽의 상태는 위치라는 한 개의 변수로만 기술된다. 따라서 자구벽의 기울기 또는 거칠기와 같은 형태의 정보는 얻을 수 없었다. 이는 선 구조라는 1차원이 가지는 근본적인 한계이다.

서울대 최석봉 교수 연구팀은 강병남 교수 연구팀과 KIST와의 공동연구를 통하여 전류로 이동하는 자구벽의 형태를 2차원에서 관찰하였다. 연구를 위해 Pt/Co/Pt 수직자성박막을 제작하였다. 수직 자성이란 면에 수직인 자화방향을 선호하는 성질로, 이러한 자성박막에는 위 또

는 아랫방향으로 자화가 정렬된 자구만 존재하게 된다. 서로 다른 두 자구 사이에는 형태를 가진 자구벽이 존재하게 된다.

자기장과 전류에 의해 형성되는 자구벽의 특징적인 형태를 관찰했다(그림). 어두운 색은 아랫방향의 자구, 밝은 색은 윗방향의 자구를 나타낸다. 자기장으로 이동하는 자구벽의 형태는 평평한 반면에, 같은 위치에서 전류로 이동하는 자구벽은 전혀 다른 형태로 만들어진다. 그림에서 보는 바와 같이 전류로 이동하는 자구벽은 산과 같은 형태의 경계면을 만든다.

축척분석(scaling analysis)을 통해 자구벽 형태의 보편성의 범주를 분석했다. 자기장으로 이동하는 자구벽의 경우는 자기치화(self-affinity) 거칠기를 가진다. 이는 이전부터 잘 알려져 있는 사실이다. 이와는 다르게 전류일 경우에는 자기닮음(self-similarity) 거칠기를 나타내는 것을 밝혀내었다.

이런 거칠기의 보편성 범주가 구동력에 의해 달라지는 원인은 구동력의 특성이 다르기 때문이다. 자기장의 방향은 자구벽의 이동방향에 대해 회전 대칭성을 가진다. 하지만 전류의 경우 일정한 방향성을 가지기 때문에 자구벽의 기울기에 수직인 성분만 자구벽 이동에 관여하게 된다.

이번 연구는, 특성이 다른 구동력에 의해 경계면의 거칠기의 보편성 범주가 달라짐을 확인한 연구로, 스핀전달토크의 각도의존성을 밝혔을 뿐만 아니라 경계면과 연관된 다양한 연구에도 응용될 것으로 기대된다.

문경용, 김덕호, 유상철, 조정규, 황성민, 강병남(서울대), 민병철, 신경호(KIST), 최석봉(서울대), Phys. Rev. Lett. **110**, 107203 (2013).