위상 상수를 조정한 다양한 스커미온의 스핀 궤도 토크에 의한 거동

윤정범[1*], 문경웅[1], 전병선[1], 김동석[1], 김창수[1], 김대현[2], 이상선[1], 김원동[1], 황찬용[1]
[1]한국표준과학연구원 나노측정센터
[2]세종대학교 그래핀연구소

1. 서론

중금속/자성 박막에서 생기는 표면 Dzyaloshinskii-Moriya interaction(DMI)에 의해 형성된 스커미온은 자화 구조의 위상이 안정된 상태이기 때문에 자성 정보를 유지하고 이동시키기 유리하다. 그렇기 때문에 차세대 자기 정보 기록 및 전송 또는 자기 logic 장치를 구현할 수 있는 가능성을 갖고 있다. 스커미온이 외부 에너지(전류 또는 자기장)에 의해 이동할 경우 스커미온 홀 효과[1] 때문에 이동 방향이 한쪽으로 치우친다. 그 이유는 스커미온의 위상 상수 Q = ±1에 따라 마그누스 힘이 발생하기 때문이다. 본 연구는 전산 모사를 이용해 자기 구조를 변화시켜 다양한 Q 값의 스커미온이 있는 자성 박막의 자기 에너지를 계산하고 전류에 의한 각각의 스커미온의 이동 방향을 확인하였다.

2. 전산 모사

Damping-like와 field-like 스핀 궤도 토크항들이 추가된 Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식을 푸는 object oriented micromagnetic framework(OOMMF[2])을 사용하였고 기본 물질 상수는 Pt/Co 구조를 참고하였다. 먼저, DMI가 고려된 무한 평면의 자성 박막을 가정하고 Q 값이 다른 스커미온을 생성하고 전체 자기 에너지를 계산하였다. 그리고 각각의 스커미온에 전류를 인가하여 이동 방향을 확인하였다. 여기서 전류에 의한 스핀 궤도 토크는 스커미온을 전류 방향으로 밀어준다.

3. 결과 및 논의

다양한 자기 구조의 스커미온의 Q 값을 확인하고 박막의 자기 에너지를 DMI의 크기에 따라 계산하였다. 그림 1과 같이 스커미온이 없을 때에 Q = 0이고 가장 낮은 에너지 상태를 갖고 스커미온을 구성하고 있는 자구벽이 생길 때마다 에너지는 높아진다. Q = +1인 스커미온 안에 Q = -1의 스커미온을 만들었을 때 Q = 0이 되고 ‘스커미오니엄’이라고 부른다[3]. 그리고 Q = 0인 ‘스커미오니엄’ 안에 Q = -1인 스커미온을 하나 더 만들면 Q = -1인 ‘쌍둥이 스커미온’이 생긴다. 여기서 각각의 스커미온에 전류를 인가하여 이동 방향을 연구하였다. 스커미온은 Q = -1이면 전류 방향의 왼쪽, Q = +1이면 오른쪽으로 휘고 Q = 0이면 평행하게 이동한다. 추가로 자성 박막에 ‘스커미오니엄’을 생성하기 위해 레이저를 이용하여 국소적으로 열을 가했을 경우, ‘스커미오니엄’이 형성되는 과정을 시뮬레이션하였다.

4. 결론

본 연구는 스커미온의 자기 구조를 조정하여 Q를 바꾸고 전류에 대한 이동 방향을 확인하였다. Q 값에 따라 스커미온의 이동 방향은 전류 방향에 오른쪽 (+1), 왼쪽 (-1), 직진 (0)으로 결정된다. 추가로 국소적 열을 이용한 ‘스커미오니엄’의 형성 과정을 연구하였다. 본 연구 결과는 전류에 의한 스커미온의 이동 방향을 Q 값으로 조정 가능함을 보여주기 때문에 스커미온을 차세대 자기 정보 기록 및 전달, 자기 logic 장치로 이용하기 위한 연구의 초석이 될 것이다.

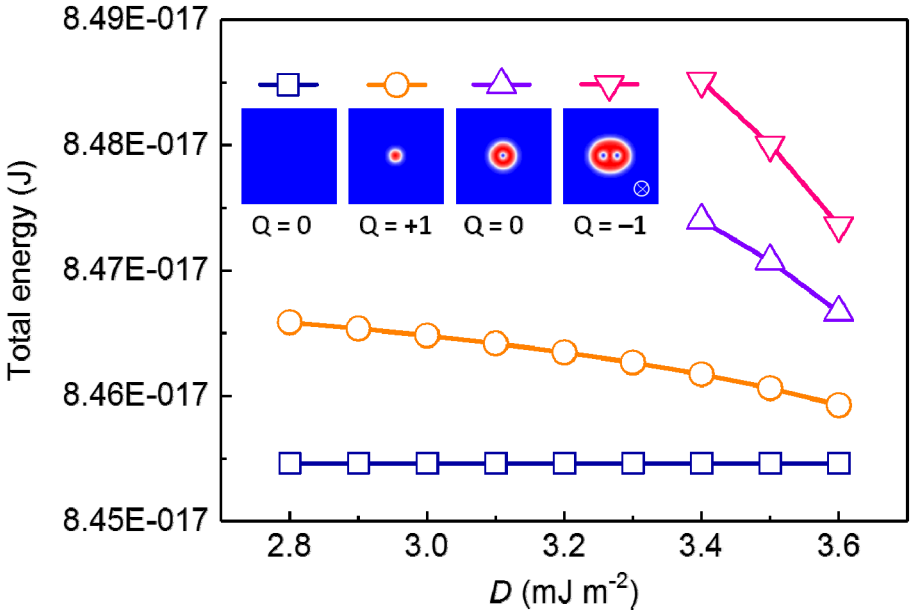

그림 1. Q 값이 다른 스커미온의 DM 상수(*D*)에 따른 자기 에너지의 변화.
삽입된 전산 모사 결과에서 빨강은 위 방향, 파랑은 아래 방향, 그리고 하양은 평면 방향의 자화를 보여줌.

5. 참고 문헌

[1] W. Jiang et al., Nat. Phys. **13**, 162 (2017).

[2] http://math.nist.gov/oommf

[3] X. Zhang et al., Phys. Rev. B **94**, 094420 (2016).