

미세자기 동역학을 이용한 강자성 나노선의 자기 잡음 연구

윤정범*, 유천열, 조영훈¹, 박승영¹, 정명화²

인하대학교 물리학과, ¹한국기초과학지원연구원 나노물성팀, ²서강대학교 물리학과

1. 서론

최근 차세대 메모리 소자로 이슈가 되고 있는 자기 race-track 메모리는 하드디스크를 대체할 수 있는 정보 저장 매체로 많은 연구가 이뤄지고 있다. 자기 race-track 메모리는 스핀 전달 토크 효과를 이용하여 자구벽을 이동시켜서 정보를 저장/판독하는 원리로 작동된다. 편극된 전자에 의한 스핀 전달 토크로 자구벽을 움직이기 위해서는 자구벽을 이루고 있는 스핀들과 자구벽을 통과하는 전자 간의 상호 작용에 대한 연구가 필요하다. 이러한 연구를 하기 위해 기본적으로 자구벽에서의 스핀에 대한 동역학을 알아야 하며 또한 수송 전자에 대한 스핀 전달 토크 현상에 대한 많은 정보가 필요하다. 스핀의 열적 요동에 의한 자기 잡음은 자화율이나 자기 공명 주파수와 같이 스핀 동역학에 대한 중요한 정보를 제공하며 자구벽 이동에 대한 연구에 초석이 된다. 본 연구는 강자성 나노선에서의 열적 요동에 의한 자기 잡음 연구를 통해 자구나 자구벽을 이루고 있는 스핀의 운동을 미세자기 동역학을 이용해서 분석하였다.

2. 미세자기 동역학

강자성 나노선에서의 자기 잡음 연구를 위해 미세자기 동역학을 기반으로 하는 object oriented micromagnetic framework (OOMMF)를 이용하여 시뮬내기를 하였다[1]. 기존 OOMMF의 계산식인 Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식에 무작위 자기장 항을 추가하여 스핀의 열적 요동에 대한 동역학을 계산할 수 있는 Stochastic Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식으로 수정하여 시뮬내기를 하였다[2]. 시뮬내기를 위한 NiFe(permalloy, Py)의 기본적인 매개변수는 다음과 같다. 자화값은 8.6×10^5 A/m이고 교환 뺏뺏함 상수는 13×10^{-12} J/m이며 Landau-Lifshitz 자기회전비율은 221000 m/(A·s)이다. 그리고 감쇠 상수는 0.01, 온도는 300 K, 자기장의 세기는 0 Oe, 시뮬내기 cell의 크기는 $5 \times 5 \times 5$ nm³이다. 시뮬내기를 위한 Py 나노선의 모형은 그림 1(a)과 같다. Py 나노선의 길이는 1 μ m로 고정하고 두께와 폭을 변화시키며 계산하였다. 두께는 10 nm로 고정하고 폭을 50 nm에서 120 nm까지 10 nm 간격으로 계산하였으며 폭을 80 nm로 고정하고 두께를 10 nm에서 30 nm까지 5 nm 간격으로 계산하였다. 전체 계산 시간은 10^7 초이며 무작위 자기장은 10^{-14} 초마다 계산되었으며 10^{-11} 초 간격으로 스핀의 정렬 상태를 저장하였다. 자기 잡음에 대한 공명 주파수는 나노선의 길이 방향에 대해 수직인 방향의 자화 성분을 10^{-11} 초 간격으로 저장하고 매 시간에 대해서 fast Fourier transform (FFT)을 하여 얻었다. 나노선 중앙에 자구벽이 있는 경우(그림 1(a))와 자구벽이 없는 단일 자구에서의 공명 주파수를 구하였다.

3. 계산 결과

먼저 폭이 80 nm, 두께 10 nm, 길이가 1 μ m인 Py 나노선에서 자구벽이 없는 경우, 9.71 GHz에서 하나의 봉우리가 생겼다. 반면에 자구벽이 중앙에 있을 경우에는 그림 1(b)와 같이 9.52 GHz와 7.2 GHz에 두 개의 봉우리가 생겼다. 결과적으로 자구벽이 없을 때의 자기 잡음 계산 결과와 비교하면 낮은 공명 주파수는 자구벽에 의한 것으로 단일 자구에서 생기는 높은 공명 주파수의 자기 잡음과 확실히 구분이 된다. 그림 1(c)는 나노선의 두께는 10 nm, 길이는 1 μ m로 고정하고 폭을 50 nm에서 120 nm까지 넓히면서 자기 잡음의 변화를 계산한 결과이다. 자구벽에서의 공명 주파수는 단일 자구의 공명 주파수보다 낮지만 나노선의 폭이 넓어짐에 따라서 서서히 감소하는 비슷한 경

향을 갖는다. Py 나노선에서 폭이 넓어짐에 따라 변하는 공명 주파수의 변화는 단일 타원체 자구에서 Kittel 방정식으로 계산된 공명 주파수의 변화와 매우 흡사하다. 그림 1(d)에서는 자구의 두께 변화에 따라서 공명 주파수가 서서히 증가하는 결과를 얻었으며 Kittel 공식의 결과와 비슷한 경향을 보이고 있다. 자구벽에서는 공명 주파수가 서서히 감소하는 전혀 다른 경향이 나타났다.

4. 결론

본 연구는 강자성 나노선에서 열적 요동에 의한 자기 잡음을 연구하였다. 자기 잡음은 LLG 방정식에 무작위 자기장 항을 첨가하여 수정한 식으로 OOMMF를 이용하여 시뮬내기를 하였다. 공명 주파수를 얻기 위해 Py 나노선의 길이 방향에 대해 수직인 자화 성분을 각 시간에 대한 FFT를 하여 계산하였다. GHz 범위의 공명 주파수를 확인하였고 자구벽과 자구에서의 자기 잡음이 뚜렷이 차이가 남을 확인하였다. 자구와 자구벽에서 폭과 두께의 변화에 따른 자기 잡음에 대한 공명 주파수의 변화를 Kittel 공식을 통해 확인 할 수 있었다. 실제로 실험을 통해 자구벽을 이루고 있는 스핀들의 열적 요동에 의한 자기 잡음을 측정하면 자구벽의 스핀 동역학에 대한 이해를 더욱 높일 수 있을 것이다.

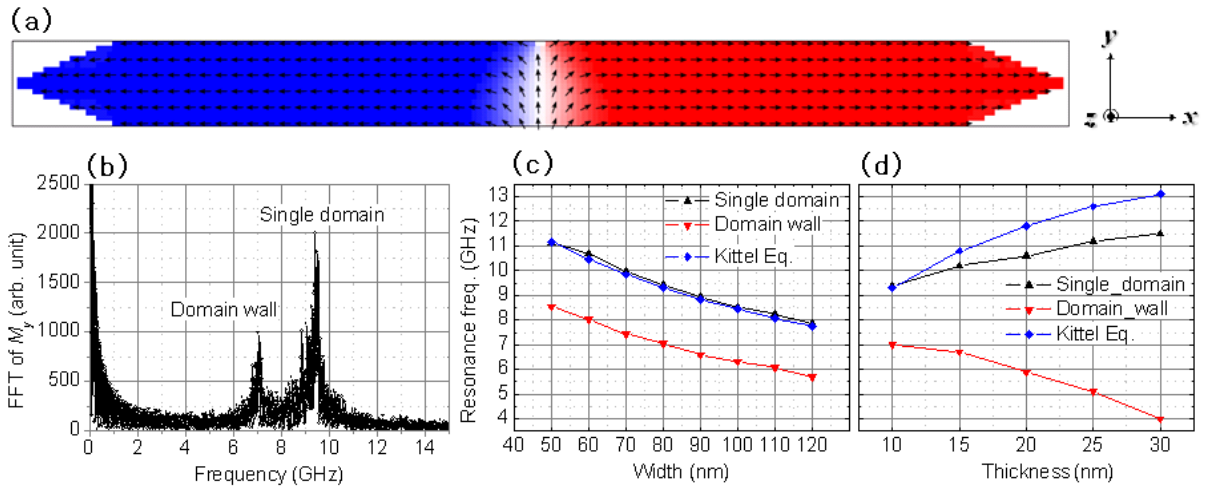


그림 1 (a) 시뮬내기를 위한 Py 나노선의 모형 (b) 자구벽을 갖고 있는 Py 나노선에서 자기 잡음에 대한 공명 주파수 (c) Py 나노선의 폭 변화에 대한 공명 주파수의 변화 (d) Py 나노선의 두께 변화에 대한 공명 주파수의 변화

5. 참고 문헌

- [1] <http://math.nist.gov/oommf>
- [2] J. L. Garcia-Palacios and F. J. Lazaro, Phys. Rev. B 58, 14937 (1998)