

단축 이방성이 아닌 자기 나노선에서 스핀파에 의한 자벽 운동에 대한 연구

한재호*, 이현우

Pohang University of Science and Technology

1. 서론

자기 나노선(magnetic nano-wire)에서 자벽(domain wall)의 운동에 관한 연구는 기초과학적으로도 관심을 받을 뿐만 아니라 스핀트로닉스로 응용 가능성 때문에 많은 연구가 되고 있다[1-5]. 이런 나노선에서 자화벽의 운동은 전류를 흘려서 일어날 수도 있지만 스핀파(spin-wave)를 흘려도 일어날 수 있다. 이 중 스핀파를 이용하면 전류를 이용하는 것에 비해 몇가지 이점이 있다. 첫째, 전류의 경우는 줄열(Joule heat)에 의해 에너지 소모가 많지만 스핀파의 경우는 에너지 소모가 적다. 둘째, 스핀파에 의한 스핀전류는 전자에 의한 스핀전류에 비해 스핀확산길이(spin diffusion length)가 길어 더 먼 곳까지 스핀정보를 전달 할 수 있다. 따라서 나노구조에서 스핀파에 의한 자화(magnetization)의 운동이 많은 관심을 받고 있다.

단축 이방성(uniaxial anisotropy) 나노선의 경우, 스핀파가 투과할 때 자벽은 스핀파의 반대 방향으로 움직인다는 사실이 알려져 있다[6]. 이것은 단축 이방성의 경우 축방향의 각운동량이 보존되므로 쉽게 알 수 있다. 하지만 단축 이방성이 아닌 경우는 각운동량 보존법칙이 성립하지 않으므로 자벽의 운동을 쉽게 알 수 없다. 최근 몇 개의 연구 그룹에서 단축 이방성이 아닌 경우에 대한 수치계산 결과를 발표 하였는데[6, 7], 단축 이방성과는 반대되는 방향으로, 즉 스핀파의 진행방향으로 자벽이 움직이는 경우도 있다는 결과를 보여주었다. 이 논문에서는 단축 이방성이 아닌 자기 나노선에서 자벽의 움직임이 어떻게 되는가에 대해 알아보고 그러한 움직임을 주는 원인의 물리적인 이해를 하고자 한다.

2. 연구방법

먼저 자기 나노선의 자화 또는 스핀을 연속적인 양으로 근사하고 이에 대한 라그랑지안을 세운다.

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{kin} - \mathcal{H}$$

$$\mathcal{L}_{kin} = \int \frac{d^3x}{a^3} S \dot{\phi} (\cos \theta - 1) \quad \mathcal{H} = \frac{1}{2} \int \frac{d^3x}{a^3} \left[J(\partial_x \vec{S})^2 - K S_x^2 + K_{\perp} S_z^2 \right]$$

이제 스핀을 자벽 구조와 스핀파로 나누고, 스핀파의 낮은 차수까지만 고려하면 자벽의 운동과 스핀파의 운동에 대한 라그랑지안을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 자벽과 스핀파의 상호작용 항을 얻을 수 있다[8]. 이 상호작용 항을 이용하면 스핀파가 자벽을 통과할 때 자벽의 운동을 알 수 있다.

3. 연구결과 및 고찰

스핀파를 파속(wave packet)으로 만들고, 이 파속이 자벽을 지나가는 경우 자벽의 위치 변화를 구해보면, 각운동량을 주고 받으면서 생기는 항과, 운동량을 주고 받으면서 생기는 항 두 개를 얻을 수 있다. 두 항을 보면 부호가 서로 반대 방향임을 알 수 있고, 운동량을 주고 받으면서 생기는 항은 K_{\perp} 에 비례함을 알 수 있다.

따라서 K_{\perp} 가 작은 경우 스핀파 파속의 중심 파수 벡터(wave vector)의 크기와 상관없이 항상 스핀파와 반대 방향으로 가는 것을 알 수 있다(단축 이방성의 경우과 같음). 하지만 K_{\perp} 가 충분히 크면 스핀파 파속의 중심 파수 벡터의 크기에 따라 스핀파와 같은 방향으로 움직이는 결과를 얻을 수 있다.

4. 결론

자기 나노선이 단축 이방성이 아닐 경우 자벽의 위치변화는 각운동량을 주고받으면서 생기는 항과 운동량을 주고받으면서 생기는 항 두 개가 있다. 두 항은 서로 반대 방향으로 자벽을 움직이려 하고, 운동량을 주고받으면서 생기는 항이 K_{\perp} 에 비례하고 스핀파의 파수벡터에도 달라진다. 따라서 K_{\perp} 의 크기와 스핀파의 파수벡터 크기에 따라 자벽이 스핀파와 반대 방향 또는 같은 방향으로 움직일 수 있다.

참고문헌

- [1] D. A. Allwood, G. Xiong, C. C. Faulkner, D. Atkinson, D. Petit, and R. P. Cowburn, *Science* 309, 1688 (2005).
- [2] S. S. P. Parkin, M. Hayashi, and L. Thomas, *Science* 320, 190 (2008).
- [3] P. Yan and X. R. Wang, *Phys. Rev. B* 80, 214426 (2009).
- [4] A. Yamaguchi, T. Ono, S. Nasu, K. Miyake, K. Mibu, and T. Shinjo, *Phys. Rev. Lett.* 92, 077205 (2004).
- [5] M. Hayashi, L. Thomas, Y. B. Bazaliy, C. Rettner, R. Moriya, X. Jiang, and S. S. P. Parkin, *Phys. Rev. Lett.* 96, 197207 (2006).
- [6] D. S. Han, S. K. Kim, J.Y. Lee, S. J. Hermsdoerfer, H. Schultheiss, B. Leven, and B. Hillebrands, *Appl. Phys. Lett.* 94, 112502 (2009).
- [7] M. Jamali, H. Yang, and K. J. Lee, *Appl. Phys. Lett.* 96, 242501 (2010).
- [8] Y. Le Maho, J.-V. Kim, and G. Tatara, *Phys. Rev. B* 79, 174404 (2009).