

Temperature of nano-wire for due to the Joule heating the current induced domain wall motion

하승석*, 유천열
 인하대학교 물리학과

1. 서론

새로운 스핀트로닉스 소자의 개발에 있어서 외부자기장을 인가해서 자화방향을 제어하는 고전적인 방법에서 벗어난 새로운 방법이 요구되고 있으며, CIMS(current induced magnetization switching)와 CIDWM(current induced domain wall movement)와 같이 자성소자에 전류를 인가할 때 일어나는 spin transfer torque 현상을 이용하여 이를 극복하려는 많은 연구들이 진행되고 있다. 하지만 CIMS와 마찬가지로 CIDWM 경우 전류를 인가하여 domain wall을 이동시키기 위해서는 10^{12}A/m^2 이상의 매우 높은 전류밀도가 필요하다[1]. 높은 전류밀도는 회로에 많은 열을 발생시키며, 이로 인해 자기적인 성질을 잃어버리거나 회로가 심각한 손상을 받게 된다[2]. 본 발표에서는 선행 연구에서 얻어진 nano-wire의 온도분포에 대한 해석적인 해의 타당성을 위해 여러 가지 경우에 대해 nano-wire에 전류를 인가했을 때 발생하는 줄 열에 의한 온도를 유한요소법을 통해 분석해 보았다.

2. 시뮬레이션

전류가 nano-wire에 흐르는 시간 $t \gg w/\mu$ (μ =diffusivity) 인 경우에 대해 nano-wire의 온도의 해석적인 해는 식(1)과 같이 근사시킬 수 있다[3]. 여기서 $w, h, J, \sigma_w, \rho_s, C_s$ 는 각각 nano-wire의 폭, 높이, 전류밀도, 전기전도도, 기판의 밀도, 기판의 비열이다. 해석적인 결과에서 가정한 열 분포는 계산의 용이성을 위해 nano-wire단면의 사각형 모양이 아닌 가우시안 형태로 가정하였으며 α 는 가우시안 형태와 사각형 모양의 matching parameter로 대략 0.5정도의 값이 예상된다.

$$T(t) = \frac{whJ^2}{\pi\mu\sigma_w\rho_sC_s} \left(\ln\left(\frac{4\sqrt{\mu t}}{\alpha w}\right) - \theta(t-t_p)\ln\left(\frac{4\sqrt{\mu(t-t_p)}}{\alpha w}\right) \right) \quad (1)$$

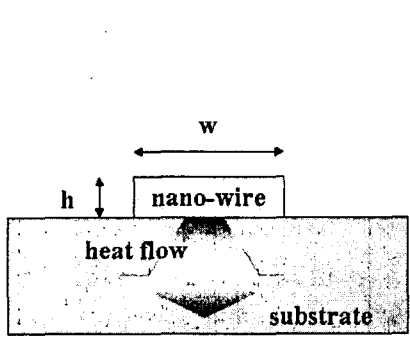


그림 1 nano-wire를 모델링한 모식도

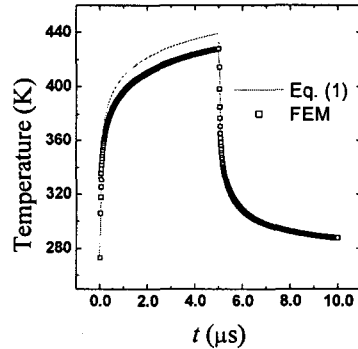


그림 2 수치해석적인 결과(FEM)와 해석적인 결과(Eq. (1))

수치해석적인 결과를 얻기 위해서는 열 분포 모양이 가우시안 형태보다는 사각형 모양이 적합하기 때문에 상용 프로그램인 COMSOL Multiphysics[4]로 nano-wire를 그림 1과 같이 간단히 모델링하고 nano-wire의 구조를 변경시켜 시뮬레이션 하였다. 그리고 그 결과를 해석적인 해와 비교해 보았다.

3. 결과

두께와 폭이 10 nm, 420 nm인 nano-wire의 시간에 대한 온도분포를 해석적인 해를 비교해 보면 그림 2와 같이 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 3과 그림 4를 보면 nano-wire의 두께변화에 따른 α 는 0.605, nano-wire의 너비길이의 변화에 따른 α 는 0.69임을 알 수 있었다.

4. 고찰

nano-wire의 여러 가지 기하학적인 조건에 대해 matching parameter α 가 대략 0.6인 값을 얻을 수 있었고 이로써 수치해석적인 결과의 유효성과 타당성을 검증하였다.

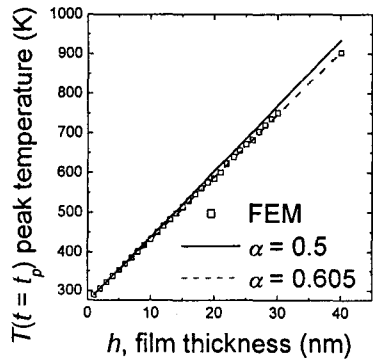


그림 3 nano-wire의 두께를 변화시켰을 때의 온도와 이를 식(1)에 fitting해서 얻은 α 값

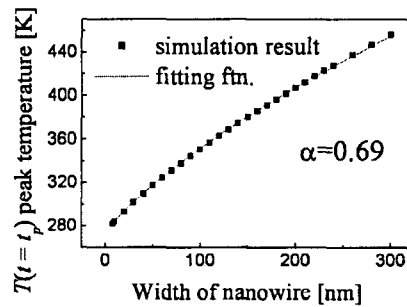


그림 4 nano-wire의 폭을 변화시켰을 때의 온도와 이를 식(1)에 fitting해서 얻은 α 값

5. 결론

nano-wire에 전류를 인가하여 domain wall을 움직이게 할 때, 큰 전류밀도로 발생되는 열 분포는 선행 연구의 해석적인 결과로 분석하기 쉽다. 선행되어진 해석적인 결과의 유효성을 위해 유한요소법으로 시뮬레이션 하여 얻은 수치적인 결과와 비교해 보았다. 그리고 nano-wire의 너비와 두께의 다양한 조건에 대해 matching parameter α 를 알아내었다.

6. 참고문헌

- [1] A. Yamaguchi, T. Ono, S. Nasu, K. Miyake, K. Mibu, T. Shinjo, Phys. Rev. Lett. **92**, 077205 (2004).
- [2] Yamaguchi, S. Nasu, H. Tanigawa, T. Ono, K. Miyake, K. Mibu, T. Shinjo, Appl. Phys. Lett. **86**, 012511 (2005).
- [3] C.-Y. You, I. M. Sung, and B.-Y. Lee, Appl. Phys. Lett. accepted (2006).
- [4] <http://www.comsol.com/>