

Temperature of nano-pillar due to the Joule heating for the current induced magnetization switching

하승석*, 유천열
인하대학교 물리학과

1. 서론

Spin transfer torque 때문에 일어나는 CIMS(current induced magnetization switching)현상은 새로운 자성소자의 개발에 큰 기대가 되고 있으며 현재 이론적으로나 실험적으로 많은 연구가 진행되고 있다. spin valve 구조에 전류를 인가할 때, 전류의 방향에 따라 자성층의 자화방향이 역전되는 현상을 구현하기 위해서는 10^{11}A/m^2 정도의 높은 전류밀도가 필요하다. 이렇게 자성소자에 많은 전류가 인가되게 되면 높은 열이 발생되며[1], 소자가 크게 손상되거나 자기적인 성질들을 잃어버릴 위험이 있다고 보고되고 있다. 이에 CIMS와 관련된 실험을 할 때 많이 사용되는 nano-pillar 구조를 간단히 모델링하고 유한요소법을 통해 전류를 인가할 때 일어나는 열 분포에 대해 분석하였다.

2. 시뮬레이션

nano-pillar구조의 원통대칭성을 이용하여 그림 1과 같이 모델링하고 pulse duration time, 구조, 전류 밀도 등에 대해 다양한 조건을 변화시켜서 상용프로그램인 COMSOL Multiphysics를 통해 온도변화를 알아보았다[2]. 모델링한 구조는 전체 크기를 $12.5 \mu\text{m} \times 12.5 \mu\text{m}$ 로 하고 nano-pillar를 $50 \text{nm} \times 50 \text{nm}$, top electrode와 bottom electrode의 두께는 150nm 로 하였고 Si 기판의 산화층의 두께를 150nm 로 실험조건을 반영하였다[3]. 경계조건으로 nano-pillar의 중심축인 왼쪽부분은 축대칭으로 하였고 nano-pillar위에 대기에 노출된 전극의 윗면과 옆면은 thermal insulation 시키고, 나머지 부분은 상온으로 고정하였다.

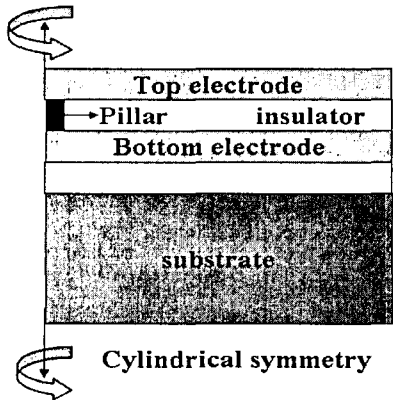


그림 1 원통대칭을 이용한 nano-pillar 구조의 모식도

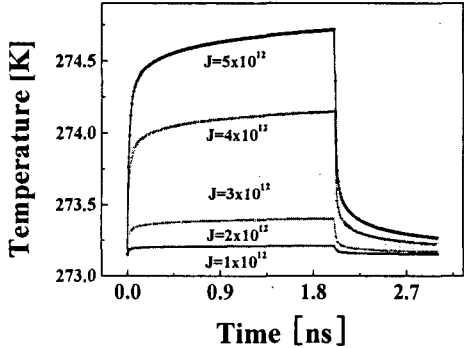


그림 2 다양한 전류밀도세기과 그에 따른 온도변화

Cu, Fe, SiO₂의 열 확산 계수는 각각 1.16×10^{-4} , 2.27×10^{-5} , 8.72×10^{-7} 로 금속끼리의 열적 특성의 차이보

다 금속과 부도체의 열적 특성의 차이가 상대적으로 크다. 또한 nano-pillar와 전극의 부피의 차이도 크기 때문에 nano-pillar의 다층박막 구조를 간단하게 Cu로 대체하고 물질상수를 Cu로 대신하였다.

3. 결과

그림 2와 같이 전류밀도가 크면 온도변화가 크며, 그 관계는 그림 3과 같이 온도는 전류밀도의 제곱에 비례함을 알 수 있었다. 그림 4를 보면 전류를 인가하는 pulse duration time이 길면 온도증가는 어느 정도 일어나지만 1 μ s 정도에서는 saturation되는 것을 알 수 있었다. 그러나 실제 실험에서 인가되는 10^{11} A/m²의 전류밀도로는 0.05K 정도로 매우 작은 온도변화를 얻었다.

4. 결론

CIMS에서 자주 사용되는 nano-pillar 구조를 원통대칭성을 이용해 모델링하여 유한요소법으로 전류 밀도와 온도에 관해 시뮬레이션 해보았다. 모델링한 구조와 근사들은 타당하다고 생각되지만 얻어진 온도의 변화는 매우 작으므로 일반적으로 알려진 온도의 증가에 대한 깊은 고찰이 필요하다.

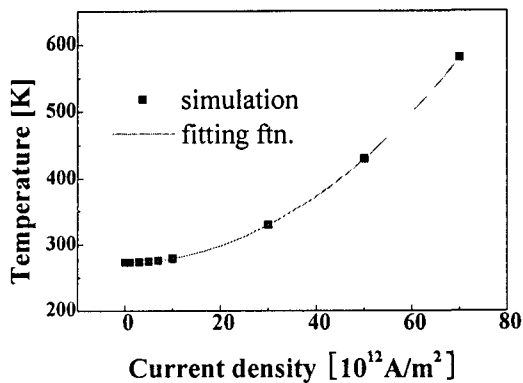


그림 3 전류밀도와 peak 온도와의 관계 ($T \propto J^2$)

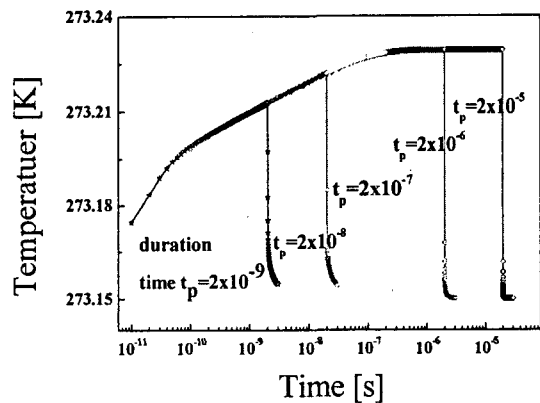


그림 4 Pulse duration time과 온도 변화

6. 참고문헌

- [1] S. I. Kiselev, J. C. Sankey, I. N. Krivorotov, N. C. Emley, R. J. Schoelkopf, R. A. Buhrman, and D. C. Ralph, Nature 425, 380 (2003).
- [2] <http://www.comsol.com/>
- [3] J. C. Lee, M. G. Chun, W. H. Park, C.-Y. You, S.-B. Choe, W. Y. Yung and K. Y. Kim, J. Appl. Phys. 99, 08G517 (2006).