

Spin Transfer Torque 메모리 응용을 위한 금속 나노필라 온도의 수치 해석적 분석

하승석*, 유천열
인하대학교 물리학과

1. 서론

차세대 메모리로 주목받고 있는 자기저항 메모리는 그림 1과 같이 큰 두 개의 전극과 전극 사이에 원통 모양의 다층 자기 박막으로 이루어진 단위 셀 구조를 가지고 있다. 이런 구조에 $10^{10} \sim 10^{11} \text{ A/m}^2$ 정도에 해당하는 적지 않은 전류를 흘려서 동작시켜야 하기 때문에 줄 열에 의한 온도문제의 충분한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 자기저항 메모리의 단위 셀 구조인 나노필라구조의 줄 열에 의한 온도를 유한 요소법을 이용하여 계산하였다. 또한 앞서 연구된 금속 나노필라의 온도에 대한 해석적인 결과와 비교함으로써 해석적인 결과를 위해 도입한 조절 변수를 다양한 크기의 나노필라에 대해 구해보았다.

2. 시뮬레이션

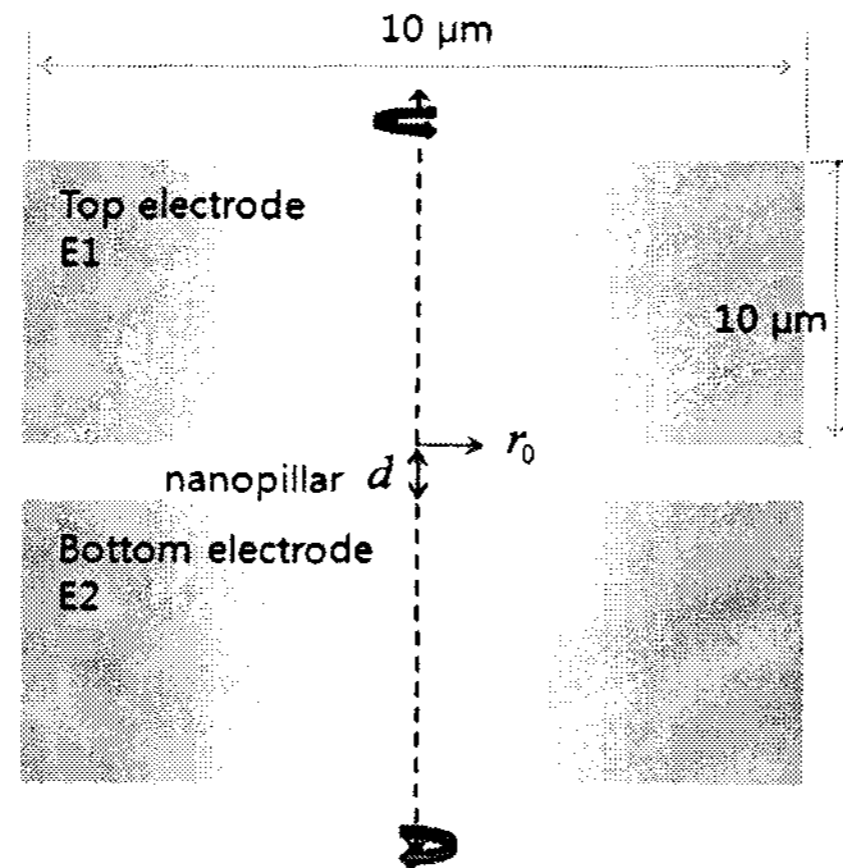


그림 1. 원통 대칭성을 이용해 2차원으로 환원된 나노필라 구조.

나노필라 시스템의 원통대칭성을 이용하여 그림 1과 같이 2차원으로 모델링하였다. 나노필라 시스템에서 나노필라 옆면을 절연시키는 물질은 열전도도가 매우 낮기 때문에 나노필라에서 발생된 줄 열은 오직 위와 아래의 전극으로만 빠져 나간다고 가정할 수 있다. 또한 나노필라에 비해 위 아래의 전극은 매우 크기 때문에 전극을 무한한 크기로 생각할 수 있다. 따라서 시스템을 그림 1과 같은 구조로 가정하고 유한 요소법을 이용한 상용프로그램[2]으로 나노필라의 온도를 계산하였다. 시스템이 열평형 상태를 이루었을 때, 선행 연구에서 구한 나노필라의 온도 T_{NP} [3]는

$$T_{NP} = \frac{\pi T_{EO}}{2} \left(1 + \frac{K_E}{4K_{NP}} \frac{d}{\alpha r_0} \right) \quad (1)$$

$$T_{EO} = \frac{r_0 d J^2}{2\alpha \pi \sigma_{NP} K_E}$$

로 표현되며 여기서 K_E , K_{NP} , d , r_0 , σ_{NP} 는 각각 전극의 열전도도, 나노필라의 열전도도, 나노필라의 길이, 나노필라의 반지름, 나노필라의 전기 전도도이다. 식 (1)의 α 는 나노필라에서 발생한 줄 열이

전극쪽으로 전달될 때의 profile을 가우시안 형태로 가정하는데서 기인한 조절 변수이다.

위 계산에서 사용한 전류 밀도의 크기는 $1 \times 10^{12} \text{ A/m}^2$ 이며, pulse width는 10 ns로 설정하였다. 나노필라와 전극은 모두 구리로 이루어져 있다고 가정하여 시스템을 간단히 하였다. 본 연구에서는 나노필라의 길이와 반지름을 각각 5 nm에서 100 nm까지 범위에서 변화시켜 나노필라의 온도를 계산하였으며, 그에 따른 조절 변수 α 를 산출하였다.

3. 결과

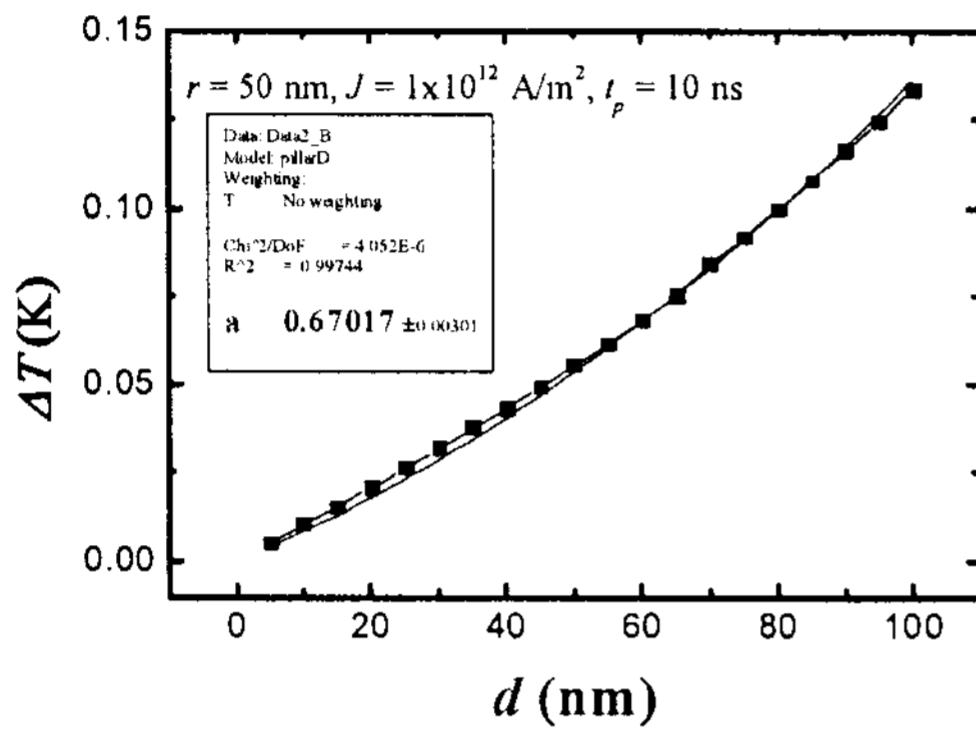


그림 2. 나노필라의 길이를 변화시켜 구한 온도 증가량과 이를 식 (1)과 비교하여 얻은 α .

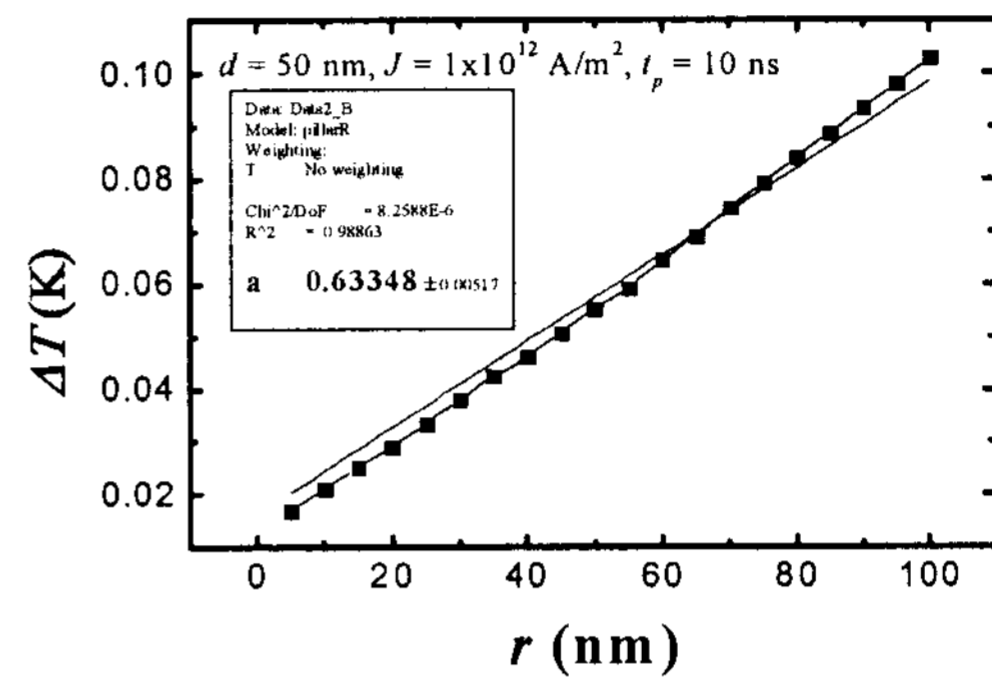


그림 3. 나노필라의 반지름을 변화시켜 구한 온도 증가량과 이를 식 (1)과 비교하여 얻은 α .

우선 계산에 고려된 나노필라의 온도는 10 ns 이하에서 포화되어 열평형 상태에 도달하는 것을 확인하였다. 나노필라의 반지름과 길이가 증가하면 온도도 증가하는 경향을 보였다. 이는 나노필라에 인가되는 전류가 증가하거나 나노필라의 저항이 커지기 때문에 즉 나노필라에 인가되는 파워가 증가하기 때문에 줄 열이 더 많이 발생하기 때문이다. 그림 2와 그림 3은 각각 나노필라의 반지름을 50 nm로, 길이를 50 nm로 고정시킨 상태에서 길이와 반지름을 변화시켜 얻은 온도 경향성을 보여주고 있다. 조절 변수 α 는 나노필라의 기하학적인 변수에 의존하기 때문에 위와 같은 온도경향성으로부터 얻어 낼 수 있으며, 계산된 결과로부터 α 는 0.63~0.67 임을 알 수 있었다.

4. 결론

유한 요소법을 통한 수치해석적인 계산을 통하여 나노필라의 온도분포를 얻을 수 있었고 이를 이용해 선행 연구의 해석적인 결과의 조절 변수 α 를 구할 수 있었다. 이로써 해석적인 결과를 이용해 나노필라의 온도 분석을 용이하게 하였다. 나노필라의 기하학적 크기 의존성을 볼 수 있었으며 나노필라의 온도 변화는 예상보다 매우 작다는 것을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] M. Hosomi *et al.*, Electron Devices Meeting, 2005. IEDM Technical Digest. IEEE International 2005, 4 (2005).
- [2] <http://www.comsol.com/>
- [3] C.-Y. You, S.-S. Ha and H.-W. Lee (unpublished).