

Thermal Barrier를 삽입한 TA-MRAM에서 Joule Heating에 의해 발생하는 열의 수치적 계산

정보람*, 남궁지현¹, 임상호¹

고려대학교 공과대학 나노반도체공학과, ¹고려대학교 공과대학 신소재공학과

합성자장에 의한 자화반전 기록방식을 사용하는 일반적인 MRAM(magnetic random access memory)의 경우 소자의 크기가 작아질수록 내부에 자기소거장(self-demagnetization field)이 커져 자화반전에 필요한 자장의 크기가 커진다. 이는 쓰기를 위해 필요한 전류밀도를 증가시킨다는 단점이 있다. 또한 소자의 크기가 작아질수록 소자의 체적에 비례하는 자기에너지가 감소하면서 작동온도에서의 열에너지에 취약해진다. 이러한 문제점들은 MRAM의 고집적화를 어렵게 한다. 따라서 고집적 MRAM으로의 적용을 위해 열 보조 자기기록방식(thermally assisted switching, TAS)이 도입되었다 [1,2]. 열 보조 자기기록방식을 채택한 TA-MRAM(thermal assisted-MRAM)은 자기터널접합(magnetic tunnel junction, MTJ) 구조의 storage layer를 반강자성층과 강자성층으로 이루어진 2층막구조로 하였을 때 발생하는 교환바이어스(Exchange bias)를 기반으로 하는 구조이다. 자기터널접합면의 수직방향으로 전류를 흘려주었을 때 터널층을 통과하면서 발생한 열에 의해 2층막의 온도가 blocking temperature(T_B)까지 도달하면 교환바이어스가 사라지는데 이것은 셀이 냉각되는 동안 매우 작은 크기의 자장에 의해서도 쉽게 자화반전이 일어나게 한다. 이러한 TAS 기록방식의 MRAM은 소자의 크기가 작아질수록 기록을 위한 전류밀도가 줄어들고, 교환바이어스에 의해 작동온도범위에서 열적으로 안정해지는 등의 장점이 있어 고집적 MRAM으로의 적용에 유리하다.

최근에 낮은 열전도도(thermal conductivity)를 가지는 재료를 터널층과 양쪽 전극사이에 삽입하여 기록을 위한 전류밀도를 감소시키는 구조가 Diény등에 의해 제안되었다 [1]. 낮은 열전도도를 가지는 재료는 thermal barrier로서 작용하여 T_B 까지 도달하기 위해 가해지는 전류밀도 및 pulse duration을 크게 감소시키는 장점이 있다. 또한 thermal barrier의 삽입은 주변 셀로 열이 전달되는 것을 차단하는 효과가 있어 누화(cross-talk)현상을 감소시킬 것으로 예측된다. 그러나 이는 발생한 열이 전극방향으로 빠져나가는 것을 막기 때문에 reference layer의 온도 또한 상승시켜 셀을 열적으로 불안정하게 할 것으로 예측된다.

본 연구에서는 교환 바이어스가 0이 되도록 하는 전류의 전류밀도와 pulse width를 실험적으로 측정한 값을 터널층의 Joule heating에 의한 발열로 가정하고 열적 안정성에 중요한 영향을 미치는 reference layer와 주변 셀에서의 온도상승을 유한요소법을 이용한 상용프로그램인 COMSOL 다중물리해석을 사용하여 3차원적으로 계산하였다. bottom electrode (250 nm)/ thermal barrier 1 (70 nm)/ reference layer (6.3 nm)/ AlOx (0.5 nm)/ storage layer (34.5 nm)/ thermal barrier 2 (90 nm)으로 구성되어있으며 사용한 여러 물성치는 Matweb[3]을 참고하였다. SiO₂가 이 구조체를 둘러싸고 있으며 구현된 3개의 자기터널접합 소자 중 한 소자에만 전류가 흐르도록 하였다. pulse width와 전류밀도, thermal barrier의 구조적 위치 등 다양한 조건하에서 매우 상이한 온도상승이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] C. Pappas, R. C. Sousa, B. Diény, I. L. Prejbeanu, Y. Conraux, K. Mackay, and J. P. Nozières. J. Appl. Phys. 104, 013915 (2008)
- [2] I L Prejbeanu, M Kerekes, R C Sousa, H Sibuet, O Redon, B Diény and J P Nozières. J. Phys.: Condens. Matter 19, 165218 (2007)
- [3] MatWeb. online materials information resource, <http://www.matweb.com>