

# 스핀 전달 토크 자화반전을 이용한 자기 터널 접합 소자에서의 열적 안정성

남궁지현\*, 임상호

고려대학교 신소재공학과, 서울 성북구 안암동, 136-713

## 1. 서론

Current-induced magnetization switching (CIMS) 방식을 이용하는 spin-transfer torque magnetic random access memory (STT-MRAM)은 비휘발성, 빠른 읽기/쓰기 속도, 고집적도, 그리고 안정성 등의 장점으로 차세대 메모리 후보로서 크게 각광을 받고 있다. 이중 비휘발성과 빠른 쓰기속도, 이 두 가지 특성은 서로 의존적인 성격을 가진다. STT-MRAM 단위 소자의 비휘발성 특성은 자기 에너지( $E_M$ )와 열적에너지( $k_B T$ )의 비인 열적안정성 파라미터로 표현되며, 저장된 정보의 10년간의 비휘발성을 위해서는 최소한 60의 크기가 요구된다[1]. 쓰기속도 특성은 아래와 같은 Slonczewski 식으로 이해될 수 있으며, 이 식으로부터 특정 스위칭 시간( $\tau_m$ )을 달성하기 위한 전류밀도( $J_c$ )를 계산할 수 있다[2].

$$J_c = J_{c0} \left\{ 1 - \frac{k_B T}{E_M} \ln(\tau_m f_0) \right\}$$

즉 단위 소자의 열적안정성 파라미터( $E_M/k_B T$ )가 고정되면, 특정  $\tau_m$ 을 달성하기 위한 특정  $J_c$ 가 정의된다. 최근 자화반전을 위한 전류주입이 자기터널접합소자(MTJ)에서 상당한 열을 발생시킨다는 결과가 발표되었다[3]. 상승된 온도는 수 ns 안에 다시 감소하지만, 일시적인 온도상승은 열적안정성 파라미터를 감소, 비휘발성 특성을 열화시킨다. 본 연구에서는 읽기/쓰기가 반복되는 실제 작동과 유사한 환경에서의 온도상승을 다이나믹 관점에서 측정, 열적안정성 파라미터에의 영향을 고찰하였다.

## 2. 실험방법

유한요소법을 사용하는 comsol multiphysics를 이용하여 자기터널접합소자에서의 온도상승을 시간에 따라 측정하였다. 스위칭시간( $\tau_m$ )은 10 ns, 쓰기전류밀도( $J_c$ )는 8.4 MA/cm<sup>2</sup>의 값이 사용되었다[4]. 소자의 읽기전류밀도는 쓰기전류밀도에 비해 상대적으로 매우 낮기에 0의 값을 사용하였으며, 읽기가 이루어지는 시간은 여러 값이 사용되었다. 이런 상황에서 전류의 on/off를 반복하며 시간에 따른 자기접합소자의 온도변화를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 쓰기와 읽기가 반복적으로 이루어지는 상황에서, 시간에 따른 자기터널접합소자에서의 온도 변화를 보여준다. 반복적인 전류의 주입에 의해, 전류주입시간에서의 최고온도와 다음 전류주입직전의 온도는 꾸준히 상승한다. 이러한 효과로 인해 충분한 열적안정성파라미터 확보를 위해서 소자의 구동속도는 한계를 가질 수밖에 없다.

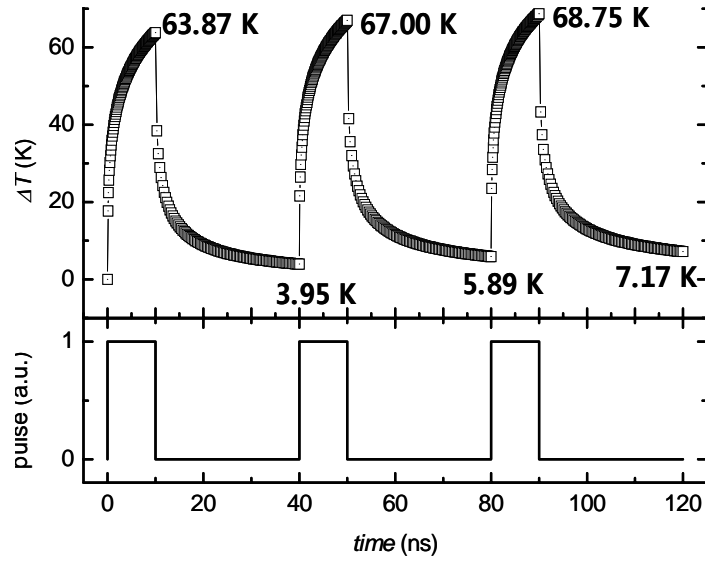


Fig. 1. 반복적인 전류의 on/off 상황에서 시간에 따른 자기터널접합소자에서의 온도변화.

#### 4. 참고문헌

- [1] S. Wang, H. Fujiwara, and M. Sun, *J. Magn. Magn. Mater.* 295, 246 (2005).
- [2] J. C. Slonczewski, *J. Magn. Magn. Mater.* 159, L1 (1996).
- [3] D. H. Lee and S. H. Lim, *Appl. Phys. Lett.* 92, 233502 (2008).
- [4] Jun Hayakawa, Shoji Ikeda, Young Min Lee, Ryutaro Sasaki, Toshiyasu Meguro, Fumihiro Matsukura, Hiromasa Takahashi and Hideo Ohno, *Jpn. J. Appl. Phys.* 45, L1057 (2006).