

자기터널접합 구조 내 전압의 인가 방향에 따른 비대칭적 온도 증가의 수치적 계산

정보람^{1*}, 임상호^{1,2}

¹고려대학교 공과대학 나노반도체공학과, 서울시 성북구 안암동 5-1, 136-713

²고려대학교 공과대학 신소재공학과, 서울시 성북구 안암동 5-1, 136-713

최근 스핀분극전류에 의해 발생하는 스핀전달토크 (Spin Transfer Torque, STT)를 이용하는 전류 구동형 자화 반전 (Current Induced Magnetization Switching) 방식의 STT-MRAM (Magnetic Random Access Memory, MRAM)이 기존의 메모리가 가진 한계를 대체할 차세대 메모리로 주목받고 있다. 이러한 STT-MRAM의 단위 소자로 널리 사용되고 있는 자기터널접합 (Magnetic Tunnel Junction)은 기록 전류에 의한 발열에 의해 열적 안정성과 동작 신뢰성 등이 크게 영향 받을 수 있다. 따라서 기록 전류에 의한 발열을 예측하는 것이 STT-MRAM의 상용화를 위해 필수적으로 요구되고 있으며, 이에 대한 연구가 다방면에서 이루어지고 있다. 이 중에서 기존의 Joule heating 모델[1]은 터널층(tunnel barrier)을 기준으로 전극 양단의 전위차에 의한 발열만을 고려하였다. 그렇지만 실제 자기터널접합의 발열은 터널층을 통과한 전자가 다다른 전극에서 에너지를 비탄성 산란(inelastic scattering)으로 감쇄하여 발생[2]하므로, 전압의 인가 방향이 고려될 경우에 비대칭적인 결과가 나타날 수 있다. 본 연구에서는 유한요소법을 이용한 상용프로그램인 COMSOL 다중물리해석을 이용하여 전압 인가 방향에 따른 자기터널접합의 온도 계산을 2차원적으로 수행하였다.

모델로 사용한 자기터널접합은 Al electrode (150 nm)/ Ta (5 nm)/ IrMn (5 nm)/ NiFe (3 nm)/ AlOx (0.6 nm)/ NiFe (3 nm)/ IrMn (25 nm)/ Ta (5 nm)/ Al electrode (300 nm)의 구조이다[2]. 구조체는 $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ 정도이며 자기터널접합은 SiO₂로 절연하였다. 계산에 사용된 물성치는 Matweb[3]의 자료를 참고하였다. 계산 결과, 인가하는 기록 전류에 의해 자유층과 고정층을 반평행(AP)에서 평행(P)으로 반전시키는 경우 (P to AP, 전자가 자유층에서 고정층으로 주입되는 경우)의 온도 증가량이 반대(P to AP)의 경우 보다 더 큰 것으로 확인되었다. 이는 AP to P 반전의 경우에는 스핀전달토크를 자유층에 부여하는 전자가 고정층과 터널층에서 스핀분극되어 반사되어 상대적으로 낮은 에너지를 가진 채 자유층에 도달, 비탄성 산란한 것으로 볼 수 있다. 이런 계산 결과는 Yoshikawa *et al.*의 실험 결과[4]와 같은 경향성을 나타낸다. 또한 계산결과, 인가하는 기록 전류가 증가함에 따라 온도 증가의 비대칭성은 더욱 크게 나타났는데 이는 인가하는 전압이 높을 경우 소자의 동작 특성이나 신뢰성의 비대칭성 또한 야기될 수 있음을 의미한다.

참고문헌

- [1] D. H. Lee *et al.*, Appl. Phys. Lett., 92, 233502 (2008)
- [2] R. C. Sousa *et al.*, J. Appl. Phys., 95, 6783 (2004)
- [3] MatWeb. online materials information resource, <http://www.matweb.com>
- [4] Yoshikawa *et al.*, J. Appl. Phys., 101, 09A511 (2007)