

Trilayer antiferromagnets의 열적 안정성

한진규¹, 신경호², 임상호^{1*}

¹고려대학교 신소재공학부

²한국과학기술연구원

1. 서론

MRAM의 high density를 구현하기 위해 magnetic cell의 크기가 점점 감소함에 따라 열적 안정성 문제가 큰 이슈가 되고 있다. 최근에 Trilayer antiferromagnets의 열적 안정성은 Worledge model에서 언급되었으나 이 model에서는 demagnetizing field의 크기와 각 layer의 끝에서 나와 다른 layer에 영향을 미치는 dipole field의 크기가 같다고 가정함으로써 [1] shape anisotropy의 효과가 사라지거나 무시 될 수 있다. Worledge model에서는 가해진 field가 0일 때 열적 안정성은 aspect ratio와 무관하게 되고 가해진 field가 0이 아닐 때도 열적 안정성은 aspect ratio에 따라서 크게 차이가 나지 않는다 [2]. 따라서 우리는 dipole field가 demagnetizing field에 비해서 작다는 가정을 함으로써 Worledge model을 수정하고 그에 따른 열적 안정성과 shape anisotropy의 영향을 나타내었다.

2. 모델 및 계산방법

Trilayer의 구조는 2개의 ferromagnetic layer와 그 사이의 Ru 같은 nonmagnetic spacer로 이루어져 있다. Ferromagnetic layer의 두께는 각각 2.5 nm, saturation magnetization은 1500 emu/cc 로 같고 exchange coupling 값은 -0.05 erg/cm^2 , magnetization은 in-plane으로 정렬되어 있고 각 layer는 ellipsoid형태로 그리고 field의 방향은 induced anisotropy의 방향으로 가정하였다. Single domain의 정도를 나타내는 변수를 d ($0 < d \leq 1$)로 ($d = 1$ 일 때 perfect single domain), dipole field 세기의 정도를 나타내는 변수를 p ($0 < p \leq 1$)로 놓고 dipole field의 크기는 demagnetizing field의 크기보다 작거나 같다고 가정함으로써 이 구조의 energy를 표현하였다. 열적 안정성은 field가 주어짐에 따른 stable 상태의 energy path를 고려하여 energy surface의 stable (or metastable) 상태와 saddle point의 energy 차이(activation energy)를 계산하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

그림 1. (a)는 aspect ratio가 2인 cell ($212 \text{ nm} \times 106 \text{ nm}$)에서 d 와 p 의 차이가 0.1로 일정 할 때 여러 d 와 p 값에 따른 activation energy를 field에 따라 나타낸 것이다. 괄호 안의 숫자는 각각 d 값과 p 값을 의미한다. Applied field가 0일 때 activation energy는 81 kT로 Worledge model에 의한 shape anisotropy의 영향이 없는 (1, 1), 40 kT에 비해 2배 이상 증가한다. 이때의 Activation energy는 d 와 p 값의 차이가 커질수록 커지는데 이는 demagnetizing field와 dipole field의 차이가 커짐에 따라 shape anisotropy가 증가함에 기인한다. 또한 Field를 가함에 따라서 activation energy는 감소하게 되는데 activation energy값이 0이 되는 지점의 field가 spin flop field가 된다.

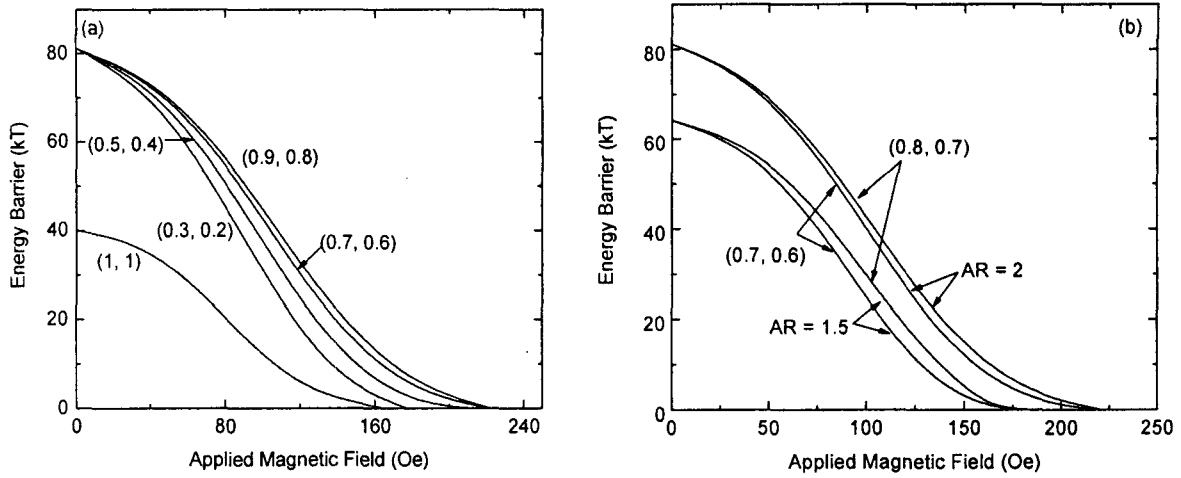


Fig 1. The activation energy of the trilayer nanomagnet as a function of applied magnetic field. The numbers in parenthesis denote d and p values. Spin flop occurs at the activation energy of zero. (a). The cell with an aspect ratio of 2 ($212 \text{ nm} \times 106 \text{ nm}$). (b). The results are for two different lateral dimensions (but identical volume) cell with an aspect ratio of 1.5 and 2

그림 1. (b)는 d 와 p 값이 다르면 aspect ratio가 증가함에 따라 activation energy가 증가함을 보여준다. field 가해진 상황에서도 aspect ratio가 증가할수록 보다 높은 activation energy를 가지는 것을 알 수 있다. Spin flop field는 activation energy가 0이 되는 점의 field로 d 와 p 의 차이가 있을 때 single domain이 될수록 그 값이 더 커지는 것을 알 수 있는데 이것은 각각 다른 d (or p) 값에 각도에 따른 energy (normalized)를 보면 알 수 있고 이것은 그림 2. (a) 와 (b)에 나타내었다.

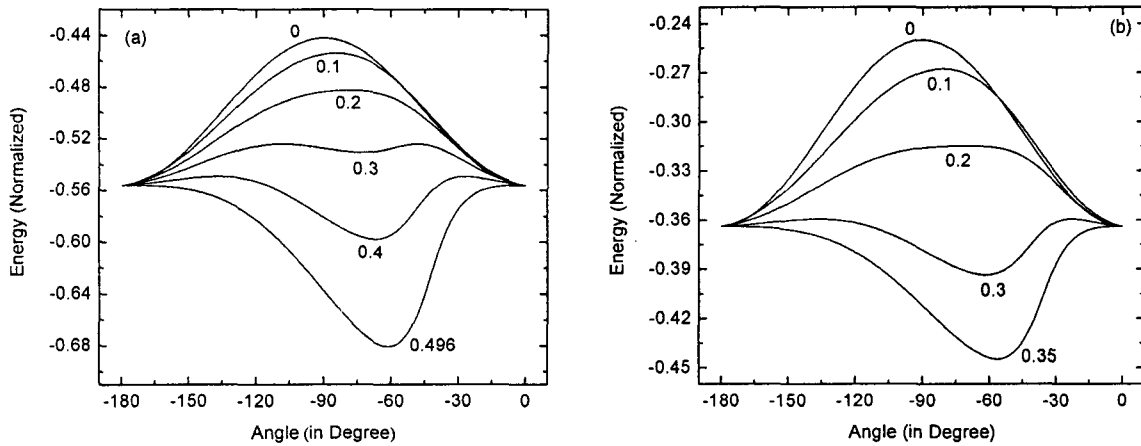


Fig 2. The angular dependence of energy(normalized) along the lowest energy path connecting two stable (or metastable) states as a progressive change of the applied field. The numbers on the energy curve mean applied magnetic field (normalized). An ellipsoidal cell size $212 \times 106 \text{ nm}$, thickness 2.5 nm $M_s = 1500 \text{ emu/cc}$, $H_i = 25 \text{ Oe}$, $d - p = 0.1$. (a) $d = 0.9$, (b) $d = 0.3$.

4. 참고문헌

- [1] D. C. Worledge, Appl. Phys. Lett. **84**, 2847 (2004).
- [2] J. K. Han, K. H. Shin, S. H. Lim, J. Magn. Magn. Mater. (In the Press)