

일정하지 않은 분포를 갖는 자기장에 의한 자화반전에 대한 연구

김 경숙, 이 철의, 고려대학교 물리학과

임 상호, 한국과학기술연구원

Magnetic tunneling junction을 이용한 MRAM의 실용화에 있어서 무엇보다 중요한 요소 중의 하나는 밀도를 높이는 것으로, MRAM이 경쟁력을 갖는 메모리 소자가 되기 위해서는 소자의 크기를 submicron 영역까지 줄여야 한다. 소자의 크기가 submicron까지 줄어도 end domain이 존재하는데, 이것은 자화반전을 incoherent하게 일어나게 함으로써 자기저항비를 감소시키고, 또한 자화반전을 불규칙하게 함으로써 자화반전이 일어나는 자기장의 크기가 일정하게 되지 않기 때문에 소자의 신뢰성에 큰 문제를 야기시킨다 [1]. 본 연구에서는 자성막의 자화반전이 규칙적으로 일어나게 하기 위한 하나의 방법으로, 자기장의 분포가 일정하지 않은 경우의 자화반전에 대한 연구를 하였다. 즉, 자성막의 각 부분에 가해지는 자기장의 세기가 각각 다를 때, 특히 자성막의 중심에 가해지는 자기장의 세기가 가장 클 때의 자화반전 거동을 살펴보고자 한다.

본 연구에 사용된 자성막은 육각기둥 모양의 입자들로 구성 되었으며, 입자의 크기는 30 nm로, 이것은 입자와 입자 사이의 중심 거리에 해당하며, 두께는 8 nm 이다. 시뮬레이션은 입자 수가 80×40 인 매체에서 이루어졌는데, 기록매체의 크기는 $2.4 \mu\text{m} \times 1.2 \mu\text{m}$ 에 해당한다. 자성막의 포화자화 값은 800 emu/cc, 결정자기이방성 상수는 1000 erg/cc, exchange constant는 0.3×10^{-6} erg/cm이다.

그림 1은 본 연구에서 고려한 두 종류의 자기장으로, type I (그림 1. a)은 균일한 분포를 type II (그림 1. b)는 포물선 형태의 분포를 갖는다. Type II에서 자기장의 최대값과 ($y = 0$) 최소값의 ($y = \pm 0.3$) 차이는 76 Oe 이다.

그림 2는 자기장 type I, II에 대한 각각의 hysteresis loop을 보여준다. 두 경우 모두 자화는 포화자화보다 작은 값을 갖고, type II의 자화가 type I의 경우보다 작은 값을 갖는다. 보자력의 크기는 type I = 19 Oe, type II = 37 Oe로, type II가 type I보다 2배 정도 큰 값을 갖는다. 하지만 앞에서 이미 언급한대로 type II의 경우 이 값은 $y=0$ 일 때의 값으로, 이것이 자화반전 자기자기장의 증가를 의미한다고 볼 수는 없다.

그림 3 (a)는 type I의, 그림 3 (b)는 type II의 자화반전거동을 보여준다. m 은 normalized magnetic moment (m_y/m_s)를, 화살표 방향은 자화의 방향을, 화살표 크기는 domain의 상대적인 크기를 나타낸다. 초기자화는 $+x$ 방향으로 포화된 상태이며, 이때 양 end domain의 자화의 배열은 antiparallel한 상태이다. 외부 자기장은 $-x$ 방향으로 가해지고 있다. 먼저 type I의 경우를 살펴보면, 자화반전이 domain wall motion에 의해 이루어지고 있음을 알

수 있다. 외부자기장의 세기가 증가함에 따라 점차 양 쪽의 end domain이 확장되어, $m=0.4$ 일 때 두 domain이 자성막의 중앙에서 만난다. End domain의 확장은 symmetry하게 진행되며 자화는 서서히 $-x$ 방향으로 반전을 한다. 두 domain이 만난 부분에서부터 자화의 반전이 이루어지고, 반전된 영역이 점차 확장되어 가며 완전 자화가 이루어진다. 한편, type II의 경우는 type I과 매우 다른 양상을 보인다. $m = 0.4$ 일 때를 보면, 자성막 내부에서 이미 자화의 반전이 이루어지고 있다. 이때 양 end domain의 자화는 type I과 마찬가지로 $-x$ 방향으로 반전이 일어나고 있긴 하지만, domain의 확장은 일어나지 않고 있다. $m = -0.1$ 일 때를 보면, 자성막 내부의 자화반전이 일어난 영역에서 vortex를 형성한 후, 이 곳에서부터 완전한 자화반전이 이루어진다.

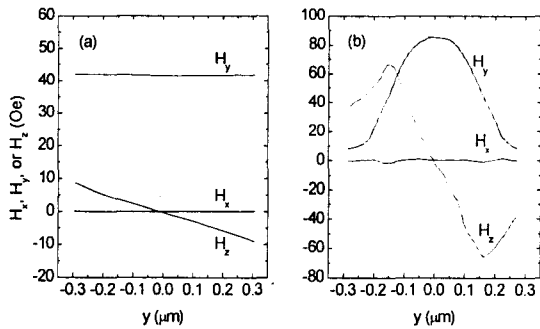


그림 1. 두 종류의 applied field (a) Type I, (b) Type II

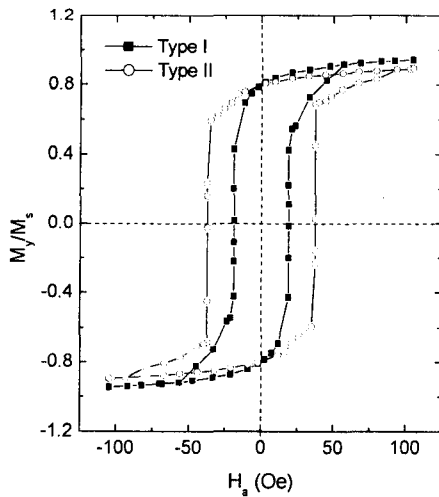


그림 2. M-H hysteresis loops

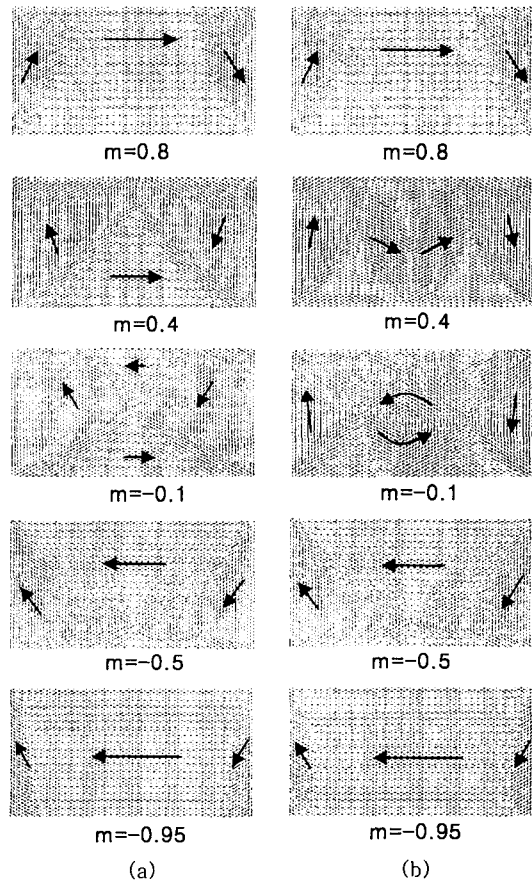


그림 3. Magnetization configuration. (a) Type I, (b) Type II

참고문헌

[1] J. Gadbois, J.-G. Zhu, W. Vavra and A. Hurst, IEEE. Trans. Mag., vol. 34, p. 1066-1068, 1998