

Micromagnetics를 이용한 Ni/Cr/Fe/Cr/Fe의 다층 박막에서의 국소적 층간교환상호작용을 이용한 좁은 자벽 생성에 관한 연구

임호택*, 유천열

인하대학교 물리학과, 인천광역시 남구 용현동 253

1. 서론

나노 기술이 발전함에 따라 더 정밀한 자기 센서의 필요성이 증대되고 있다. 자벽 저항비는 자벽 두께의 감소에 따라 급격히 증가하는 것으로 알려져 있다[1]. 얇은 자벽을 인위적으로 얻을 수 있다면 자벽 저항비를 이용한 자기 저항 소자 개발이 가능 할 것으로 기대된다. 두께가 얇은 자벽은 다음과 같은 층간 교환상호작용결합된 구조에서 국소적 층간 교환상호작용을 이용하여 인위적으로 생성될 수 있음이 발표되었다[2]. 국소적 층간 교환상호작용이란 그림 1,2처럼 둘 이상의 자성 박막으로 이루어진 다층 박막구조에서 있어서 하나의 자성층이 박막의 전체 면적 중 국소적으로만 존재하면서 다른 자성층과 강한 반강자성 혹은 강자성 교환상호작용으로 결합된 구조를 의미한다.

그림 1,2처럼 두 자성층이 강한 반강자성 층간 교환상호작용을 하고 $d_2 > d_1$ 이라고 가정 하자. 외부에서 강한 자기장을 +y축 방향으로 걸면 모든 자성층의 자화 방향이 자기장 방향으로 그림 1과 같이 정렬된다(그림 3에서 A부분). 자기장을 서서히 감소시키면 $d_2 > d_1$ 이기 때문에 자성층2의 자화 방향은 변하지 않는다. 그러나 자성층1의 R부분은 자성층2와 자성층1의 국소적 층간 교환상호작용이 외부 자기장보다 자화 방향을 결정하는데 에너지면에서 더 큰 영향을 줌으로써 자성층1의 R부분의 자화 방향이 외부 자기장 방향과 반대 반향이 된다. 그림 2와 같이 자기장 방향과 반대 방향으로 자화 방향이 바뀌면서 domain wall이 생기기 시작한다. Zeeman 에너지와 층간 교환상호작용 에너지가 비슷해지면 domain wall의 두께가 최소가 된다(그림 3에서 B부분).

자기 저항 소자로서 활용이 가능하려면 특정 자기장에서 자벽의 두께가 변화해야 하므로 자벽의 두께가 최소가 되는 자기장 값을 조절 할 수 있는 변수가 필요하다. 조절 변수로 한 층의 박막을 더 설계하여 자벽의 두께가 최소가 되는 자기장 값의 변화를 연구하였다.

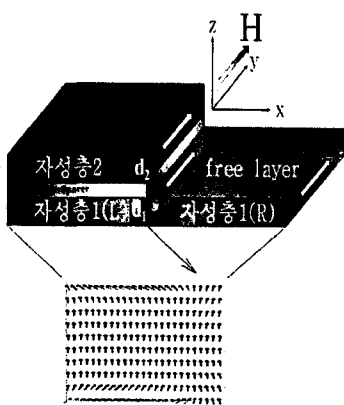


그림 1. 자기장이 매우 강할 때

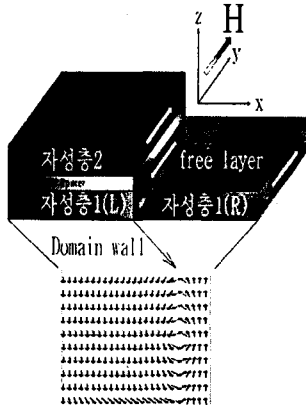


그림 2. 자기장이 약할 때

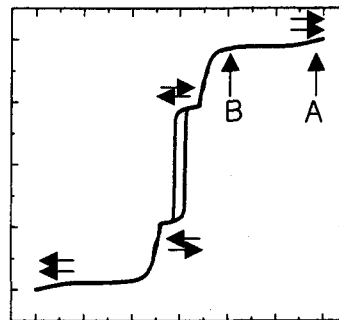


그림 3. Hysteresis loop

2. 계산 방법 및 결과

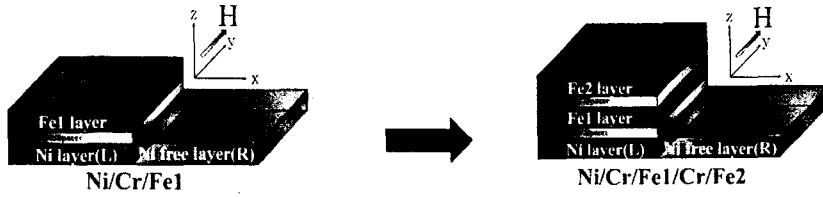


그림 4. Fe₂층이 없을 때

그림 5. Fe₂층이 있을 때

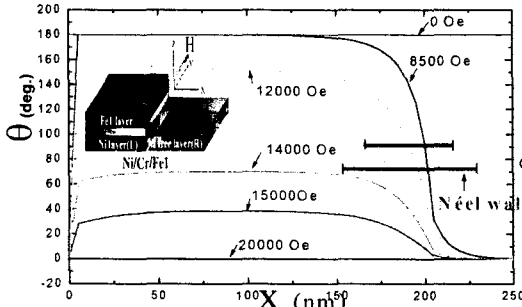


그림 6. Fe₂층이 없을 때의 자벽의 두께

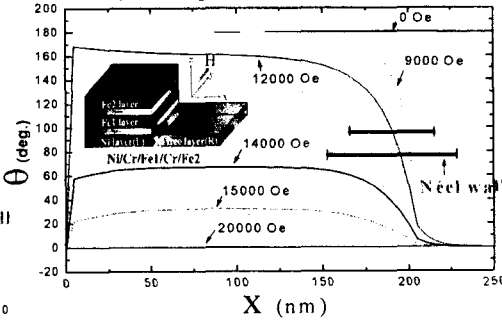


그림 7. Fe₂층이 있을 때의 자벽의 두께

먼저 Ni/Cr/Fe₁의 다층 박막을 설계하고 자벽의 두께가 최소가 되는 자기장 값을 조절할 수 있는 변수로 Fe₂층을 Fe₁층 위에 설계하여 Ni/Cr/Fe₁/Cr/Fe₂의 구조를 만들어 OOMMF(object oriented micromagnetic framework)를 이용하여 전산 모사를 수행하였다[3]. Fe₁층은 Fe₂층과 층간 교환상호작용하기 때문에 외부 자기장과 함께 Fe₁층의 자화에 영향을 주는 요소가 된다.

Ni/Cr/Fe₁은 $250 \times 500 \times 12 \text{ nm}^3$, Ni/Cr/Fe₁/Cr/Fe₂는 $250 \times 500 \times 18 \text{ nm}^3$ 크기이고 셀 크기는 $5 \times 25 \times 3 \text{ nm}^3$ 이다. 최초 모든 자성체의 자화 방향은 자화 용이축(y축) 방향으로 놓여 있으며, 외부 자기장은 자화 용이축(y) 방향으로 2 T ~ -2 T을 인가하였다.

Fe₂층이 있을 때와 없을 때 자벽이 두께가 최소가 되는 자기장의 세기가 500 Oe정도 차이가 났다. 또 자벽의 두께가 최소 일 때의 자벽의 두께는 변하지 않고 자벽의 두께가 최소가 되는 자기장의 세기만 바뀌었다.

3. 결론

Ni/Cr/Fe₁/Cr/Fe₂의 다층 박막 구조에서 Fe₁층이 외부 자기장의 영향으로 자화 방향이 초기 자화 방향과 반대 방향으로 바뀐다. 그 결과 Fe₂층과 Ni층의 R부분의 자화 방향이 초기 자화 방향과 반대 방향으로 바뀌면서 Ni층의 L부분과 R부분(free layer) 사이가 자화 방향이 반대로 이루어지면서 그 경계에 domain wall이 생성된다. Fe₂이 Fe₁과 층간 교환 상호작용하여 Fe₁이 외부 자기장의 영향을 덜 받게 하는 역할을 했다. 결과적으로 Fe₂층과 Fe₁층의 층간교환상호작용 에너지를 조절하면 자벽의 두께가 최소가 되는 자기장을 변화 시키는 변수가 될 수 있음을 보여주었다.

4. 참고 문헌

- [1] N. Garcia, M. Munoz, and Y.-W. Zhao, Phys. Rev. Lett., 82, 2923(1999).
- [2] C.-Y. You, J. Kor. Mag. Soc., V.15, No.4, 1 (2005).
- [3] M. J. Donahue and D. G. Porter, <http://math/nist.gov/oommf>.