

나노접합의 형태변화에 따른 자벽두께 변화의 전산모사 연구

김세동*, 전병선, 김영근

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

1. 서론

고집적 저장장치의 개발을 위해서는 서브마이크로미터 크기의 단위소자와 이를 감지할 수 있는 높은 민감도가 필요하다. 나노접합은 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 신기술로 대두되고 있다. 나노접합시스템은 일반적으로 두 개의 자성와이어가 매우 좁은 면적의 접합으로 연결되어있는 형상이다. 두 와이어의 자화방향이 반대일 때 자벽은 매우 좁은 접합 부분에 속박되고, 이러한 경우 자벽은 벌크 물질에서보다 상당히 얇아진다. 이 때, 자벽 내에서 이웃한 자기모멘트 사이의 각도는 커지게 되고, 따라서 스핀전자는 자벽 내의 급격한 자기모멘트 방향 변화에 적응하지 못하여 자벽을 통과하지 못하게 된다. 즉 매우 큰 자기저항이 나타난다. 더욱 큰 자기저항비를 위해서는 자벽의 두께가 더 얇도록 제어하여야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 접합부의 형상을 변화시키면서 접합부에서의 자벽두께와 자기모멘트 형상을 연구하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 상용 전산모사 프로그램인 'LLG Micromagnetics Simulator'를 사용하였으며 이 프로그램은 Landau-Lifschitz-Gilbert 미분방정식에 기초하여 계산을 수행하였다. 나노접합은 Fig.1과 같이 디자인되었고 z 방향으로의 두께는 10 nm로 고정하였다. Fig.1 (b)는 안정한 자기모멘트 형상을 위해 본 연구실에서 새롭게 고안한 것이다. 포화자화는 860 emu/cm^3 으로, 자기이방성 에너지는 1000 ergs/cm^3 으로, 교환에너지는 $1.05 \text{ } \mu\text{erg/cm}$ 으로 설정하였다. 또한 자기모멘트의 유닛벡터는 $2.5 \times 2.5 \text{ nm}^2$ 이고 자벽두께는 외부자기장 없이 자벽이 접합에 속박되었을 때 계산되었다. 일반형 접합 (Fig.1 (a))에서는 접합길이(x_c)와 접합너비(y_c), 접합 양쪽 모서리의 각도(θ)를 변화시키면서 자벽두께를 계산하였고 4분원 접합 (Fig.1 (b))에서는 접합길이(x_c)를 변화시키고 접합너비 (7.5 nm) 및 접합부의 4분원 모양은 고정시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

일반형 및 4분원 접합 모델에서 x_c , y_c , θ 를 변화시킴에 따른 자벽두께 변화를 Table1에 정리하였다. 우선 일반형 접합의 결과를 살펴보자. Table1 (a)~(c)에서 접합 길이가 길수록 자벽두께가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 접합이 길수록 접합 내에서 자기모멘트가 정자기에너지를 줄이기 위해 x 방향으로 향하기 때문이다. Table1 (d)~(f)에서는 접합 양쪽의 모서리 각도가 클수록 자벽두께가 감소하는 것을 알 수 있다. θ 가 90° 에 가까울수록 접합 양쪽에서의 자기모멘트는 정자기에너지를 줄이기 위해 y 방향을 향하게 된다. 따라서 자벽두께는 얇아진다. Table1 (c), (e)에서는 접합너비에 따른 자벽두께 변화를 알 수 있다. Table1 (c), (e)에서는 다른 조건은 동일하고 자벽두께만 7.5 nm에서 15 nm로 증가시켰고 그 결과 자벽두께는 68 nm에서 103nm로 증가하였다. 접합너비가 커지면 전체 교환에너지가 커지고 따라서 이웃한 자기모멘트 사이의 각도가 작아지면서 자벽두께는 증가한다. Fig.2 (a), (b)는 일반형 접합에서 초기조건이 다를 때 자기모멘트 형상이 다르게 나오는 것을 보여준다. 이 때 각각의 자벽두께는 58 nm, 175 nm이다. 즉 일반형 접합에서는 초기조건에 따라서 다른 자벽두께가 얻어지고 이는 자벽저항의 불안정을 초래할 수 있다. 따라서 본 연구실에서는 4분원 접합을 고안하였고 이러한 형상에서는 초기조건에 상관없이 항상 Fig.2 (c)와 같은 자기모멘트 형상이 얻어진다. 이는 접합 양쪽의 모서리가 일반형 접합과는 달리 한쪽으로부터 기울기를 가짐으로써 두 와이어의 자화가 반

대일 때 접합 양쪽의 자기모멘트가 항상 반평행하도록 정렬되기 때문이다. 따라서 4분원 접합의 경우 자벽이 접합에 속박될 때 자벽두께는 항상 일정하게 된다.

4. 결론

일반형 접합에서 접합의 크기 (접합길이 및 접합너비)가 작을수록 자벽두께가 얇아졌고 또한, 접합 양쪽의 모서리 각도가 클수록 자벽두께가 얇아졌다. 하지만 일반형 접합의 경우 초기조건에 따라서 자기모멘트 형상이 다르게 나오므로 자벽두께도 일정하지 않았다. 새롭게 고안한 4분원 접합에서는 초기조건에 상관없이 동일한 자기모멘트 형상 및 동일한 자벽두께가 획득됨을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] G. Tataru, Y.-W. Zhao, M. Muñoz, and N. García, Phys. Rev. Lett. 83, 2030 (1999).
- [2] K. Miyake, K. Shigeto, Y. Yokoyama, T. Ono, K. Mibu, T. Shinjo, J. Appl. Phys. 97, 014309 (2005).

Type	Normal contact type						Round contact type		
Fixed values	$y_c=7.5 \text{ nm}, \theta=65^\circ$			$x_c=20 \text{ nm}, y_c=15 \text{ nm}$			Contact width=7.5 nm		
Variable	$x_c=0 \text{ nm}$ (a)	$x_c=10 \text{ nm}$ (b)	$x_c=20 \text{ nm}$ (c)	$\theta=45^\circ$ (d)	$\theta=65^\circ$ (e)	$\theta=90^\circ$ (f)	$x_c=0 \text{ nm}$ (g)	$x_c=10 \text{ nm}$ (h)	$x_c=20 \text{ nm}$ (i)
DWW (nm)	58	60	68	123	103	70	60	62	67

Table1. 다양한 변수에 따른 자벽두께 변화

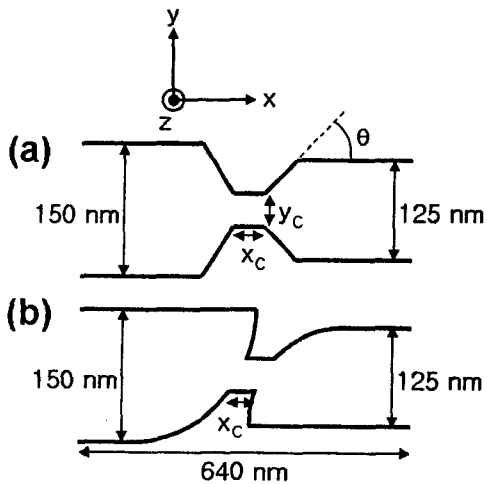


Fig. 1. (a) 일반형 접합, (b) 4분원 접합

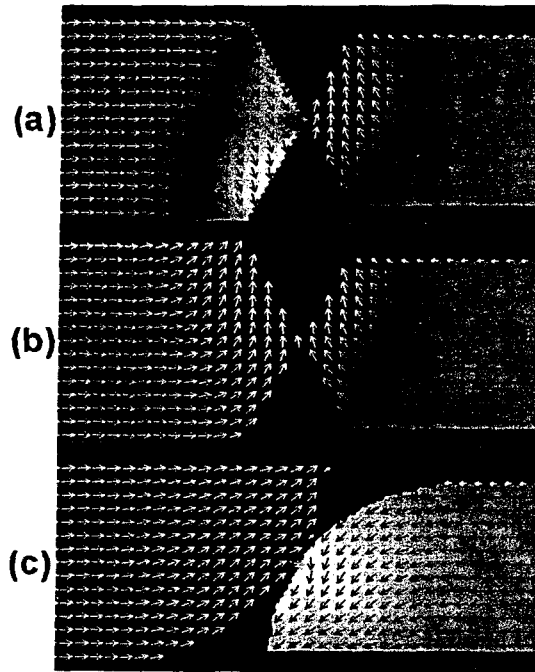


Fig. 2. (a), (b) 일반형 접합, (c) 4분원 접합. (a), (b), (c)에서의 자벽두께는 각각 58 nm, 175 nm, 60 nm이다.