

BEAUTY OF INTERLAYER EXCHANGE COUPLING IN SPINTRONICS DEVICES

Department of Physics Inha University

Chun-Yeol You*

1. 서 론

최근 자성 박막의 연구에 있어서 이웃한 두 자성체 층 간의 교환 상호 결합 작용(interlayer exchange coupling)은 매우 중요한 연구 분야중 하나이다. 80년대 말 처음 강한 층간 교환 상호 결합 작용이 발견된 이래로, 비자성. 사이 층의 두께에 따라서 층간 교환 상호 작용이 요동하는 현상과 더불어서 소위 거대 자기 저항(giant magnetoresistance)이라고 불리는 현상의 발견은 자성 박막의 나노 시대를 열었다고 해도 과언이 아니었다. 이러한 잘 알려진 거대 자기 저항 현상 이외에도 층간 상호 결합 작용을 이용한 많은 흥미로운 연구가 있는데, 본 발표에서는 이러한 층간 상호 결합 작용에 관한 몇 가지 연구결과를 논하고자 한다.

2. Fe/Cr층의 층간 교환 상호 작용과 Fermi surface

Fe/Cr 계는 최초로 층 간의 교환 상호 결합 작용이 보고된 매우 흥미로운 시스템이고 다른 3d 전이 금속들이 대부분 1 nm의 교환 상호 결합 작용의 요동 주기를 가지는데 비해서 Cr은 1.8 nm 정도의 비교적 긴 요동 주기를 가짐이 보고되었다. 층간 상호 결합 작용의 요동 주기는 비자성체 층 물질의 Fermi surface의 caliper vector와 관계가 있음이 잘 알려져 있는데, Cr의 경우 Fermi surface가 복잡하고 요동 주기와 일치하는 caliper vector가 없기 때문에 긴 요동 주기의 원인에 대하여 많은 논란이 있어 왔다. 이에 본 연구에서는 Cr 층에 소량의 V를 첨가하여 Cr 층의 Fermi 준위를 조절 하여 층간 상호 결합 작용의 요동의 주기 변화를 관찰하고, 각각의 Fermi caliper vector들의 경우에 대해서 비교하여 보았다. 그 결과 Cr 층에서의 긴 요동 주기는 소위 N -centered ellipse라고 불리는 Fermi surface의 한 구조와 밀접한 관계를 가짐을 발견하였다[1].

3. 전압 인가에 따른 층간 교환 상호 결합 작용의 변화

자성체의 자화 방향을 바꾸기 위해서는 외부에서 자기장을 인가하는 것이 일반적인 방법이다. 또 이러한 자기장은 주로 흐르는 전류에 의해서 발생하는 유도 자기장을 이용하고 있다. 이러한 흐르는 전류에 의해서 유도된 유도 자기장과 같은 고전적인 방법의 자화 역전은 자성 소자의 크기가 나노 사이즈로 작아지게 되면 국소화의 어려움이라는 큰 문제에 봉착하게 된다. 이러한 국소화의 어려움은 앞으로 나노 자성 소자의 제작에 있어서 크나 큰 걸림돌이 된다고 할 수 있겠다. 이에 본 연구에서는 외부의 자기장 없이 인가된 전압에 의해서 강자성체 층의 자화 방향을 역전 시킬 수 있는 나노 스핀트로닉스 소자 (nano spintronics device)에 대해서 이론적으로 고찰 하고자 한다.

이러한 전압에 의한 자화 방향의 역전은 다음과 같이 설명되어 질 수 있다. 두 강자성체가 사이에 나노 미터 두께의 비 자성체를 가지고 있을 때 두 강자성체 사이에는 강한 층간 상호 결합 작용이 존재하고, 이때 결합 에너지의 부호는 비 자성체 층의 두께에 따라서 요동한다. 이러한 층간 결합 작용의 물리적 원인을 비 자성체 층에 존재하는 양자 우물의 에너지 준위가 두 강자성체 층의 상대적 자화 방향에 따라 달라지기 때문인데, 이때 교환 상호 결합 작용의 크기는 자성체와 비 자성체 층간 계면에서의 스핀이 up/down 인 전자들의 반사율에 비례한다고 알려져 있다. 이러한 3층막 구조에서 한쪽 면에 나노 미터 두께의 부도체막을 삽입한다면 이때 스핀들의 반사율은 스핀의 방향 의존성을 잃게 되고, 층간 상호 결합 작용도 사라지게 된다. 그러나 양 강자성체 사이에 전압을 인가하게 되면 부도체 막을 통해서 터널링이 시작되고 이때 터널링의 정도에 따라서 두 강자성체 층간의 교환 상호 결합의 크기와 부호가 결정된다. 따라서 두 강자성체 층간의 교환 상호 결합의 크기가 충분히 크고 부호가 변한다면 두 자성체 층간에 상대적으로 연자성인 층이 자화 역전을 일으키게 된다고 예측 할 수 있다[2].

4. 인조 준강자성체 층을 이용한 터널링 자기 저항 소자에서의 스위칭 안정성의 개선

거대 자기 저항 현상과 더불어서 각광 받고 있는 연구 분야 중 하나가 바로 터널링 자기저항을 이용한 MRAM(magneto-resistive random access memory) 에 관한 연구이다. 이러한 MRAM의 상용화를 위해서는 기준 층의 안정성이 반드시 충족되어야 한다. 그러나 기존의 경자성체를 이용한 기준 층의 경우 많은 수의 자유층의 스위칭 후에 탈자가 되는 현상이 관측되었고, 이는 자유층에서 생성되는 자구벽에서 발생하는 stray 자기장 때문인 것으로 알려졌다. 이러한 자유층의 자구벽에서 발생하는 stray 자기장은 자구가 존재하는 한 없앨 수 없는 양인데, 이러한 원치 않는 stray 자기장의 생성은 자성 소자의 크기가 나노 사이즈로 갈 때 반드시 고려해야 하는 부분이다. 본 연구에서는 층간 상호 결합 작용을 이용해서 제작이 가능한 소위 인공 준강자성체 (artificial ferrimagnet)을 자유층으로 사용할 경우에 자구벽에서 발생하는 원치 않는 stray 자기장을 최소화 할 수 있음을 보였다[3].

5. 참고문헌

- [1] C.-Y. You, C. H. Sowers, A. Inomata, J. S. Jiang, S. D. Bader, and D. D. Koelling, J. Appl. Phys. 85, 5889 (1999).
- [2] C.-Y. You and S. D. Bader, J. Mag. Mag. Mater. 195, 488 (1999).
- [3] C.-Y. You and S. D. Bader, J. Apply. Phys. 92, 3886 (2002).