

수직자기이방성 [Co/Pt]₃ 다층박막을 이용한 자기터널접합 제작 및 특성 연구

(Magnetic tunnel junction with perpendicular magnetic anisotropy based on [Co/Pt] multilayers)

이진용, 최종구, 김미선, 이상석, 황도근 *상지대 컴퓨터전자물리학과*

김선욱 *단국대 물리학과*, 이장로 *숙명여대 물리학과*

최근에 터널자기접합 (magnetic tunnel junction; MTJ) 소자를 이용한 자기메모리 (magnetic random access memory; MRAM) 분야에 급진적인 발전이 이루어졌다. MRAM은 비휘발성, 비파괴적 정보읽기, 복사 굳기, 낮은 전압, 무한계 읽기 쓰기 등 매우 큰 관심을 불러 일으켰다. 이것은 이동 (mobile) 소자처럼 차세대 전자 응용설비 기기로 사용될 것으로 기대된다. MRAM은 또한 미래의 동적 RAM (random access memory)과 플래쉬 (flash) 메모리에 대한 대체로 사용될 것이다. 현재 스핀밸브 (spin valve; SV) 소자와 자기터널 접합 (MTJ)에 관한 모든 연구들은 평면자화인 면상 (in-plane) 자화를 갖는 시스템에서 이루어졌다. 단지 소수의 논문들이 수직자기 이방성 (perpendicular magnetic anisotropy; PMA)를 갖는 시스템에서 스핀 전자의 전기적 수송 특성들에 관한 연구가 보고되었다. 그럼에도 불구하고, PMA를 갖는 SV나 MTJ들은 실제로 자기메모리 (MRAM), 읽기헤드 (read head) 혹은 자기센서 등에 매우 유용할 수 있다. 또한 교환결합 수직 스핀밸브 (perpendicular spin valve; PSV)의 자유층은 [Co/Pt] 다층박막, 고정층은 [Co/Pt]/NiO 다층박막(여기서 NiO은 반강자성체), 다른 비자성 사이층은 Pt, Cu, Al₂O₃로 구성되어있다. 특히 [Co/Pt] 다층박막은 박막 면에 수직인 일축 자기 이방성으로 나타났다. 제작된 다층박막의 구조와 자기적 특성들은 이미 잘 알려져 있다. 실험적인 자세함은 추후 논문으로 발표할 것이다.

진정한 차세대 기술의 상태를 성취하기 위해서 비트셀 크기는 sub-미크론이나 그 이하로 줄여야 하므로 고밀도 집적 크기의 출몰은 불가피한 것으로 보인다. 보통의 방법으로 제작된 모든 MTJ 소자들의 경우는 NiFe, Co, 그리고 Fe처럼 박막 면상의 자성박막을 이용한 MTJ를 사용한 MRAM의 연구가 대부분이었다. 그러나 이러한 물질들이 미크론 이하 크기의 소자로 패터닝 (patterning) 될 때, 오그러진 자화 변형이 박막의 가장자리에서 발생되어 소용돌이 자화를 초래하게 된다. 그러므로 면상의 자화 박막들은 정보 저장기억을 견디거나 유지하기 위해서는 모양비 (aspect ratio: length(L)/width(W))가 2 또는 그이 상의 값을 가져야만 된다. 높은 모양비를 갖는 MTJ는 MRAM의 가능성의 한계를 결정짓는 밀도를 감소시킨다. 최근의 다른 관심과제는 면상의 MTJ의 모양비에 의존하는 비정상적인 스위칭 현상이다. 이것은 또한 자화의 감소에 의해 생긴 것으로서 면상의 MTJ를 이용할 때 박막 모서리 부분에서 일어나게 된다. 이러한 스위칭 자기장의 요동은 실용적 소자에서 심각한 문제들을 나타낸다. 더군다나 면상의 자기저항 곡선은 일반적으로 근원에서 벗어나게 되어 기본 구조의 메커니즘을 설명하는데 낮은 허용한계를 갖게 된다. 다른 한편으로, 수직 자기이방성을 갖는 강자성 박막들은 적은 값의 포화 자기화를 가지므로 박막 모서리에 존재하는 어떠한 자화 감소를 보호할 수 있게 된다. 그러므로 L/W=1의 모양비를 갖는 MTJ를 수직자성을 이용하여 얻을 수 있다. 이러한 박막들은 면상의 MTJ에서 오프셋 MR 곡선처럼 다른 어려운 점들도 해결할 수 있다. 실제로 우리는 교환 바이어스된 PMA를 갖는 [NiO, FeMn]/(Co/Pt)₃ 다층박막 제작 및 특성조사 실험으로부터 후자 다층박막에 대한 히스테리시스 곡선이 면상의 수직이 되게 자기장을 가했을 때 100%의 잔류잔화, 어떤 경우에는 보자력이 100 Oe에서 500 Oe까지 조절 가능한 수직자성이 측정되었다.

PMA를 갖는 시스템에서 자기저항특성을 향상시키는 해결책은 비자성체 사이층을 터널장벽층인 부도체층으로 대체하여 보는 것이다. 이러한 경우, 매우 큰 TMR을 기대할 수 있으며, 이미 Nishimura 연구진에 의해 보고되었다. 또한 Monso 연구진에 의해 이미 수직자기 이방성에 기여하는 Co/Mo_x 계면 때문에 MO_x층의 산화 정도의 함수로 Pt/Co/MO_x (M=Al 혹은 Cr) 삼층박막 구조에서 박막 면상에서부터 수직자기 이방성까지 날카롭게 교차 (crossover)하는 현상이 관측되었다. 더군다나, 이러한 효과가 터널 장벽에 대한 매우 얇은 금속층의 산화 (이미 잘 알려진바, 터널장벽의 산화 정도는 최적의 터널 접합을 준비하는 매우 중요한 단계임)를 조절하는 매우 정확한 방법을 제공할 수 있음을 제시하였다. 이러한 이유를 근거로 한 비자성층 사이층으로서 AlO_x층의 사용은 수직자기 이방성의 감소 없이 시료들의 자기저항 반응을 크게 증가시킬 수 있게 된다. 이 연구에서 우리는 수직 자화

MTJ 소자들과 TMR (tunneling magnetoresistance) 그리고 자성 특성들을 평면 자화 MTJ 소자들의 것들과 비교할 것이다. 밀도나 다른 메모리 구조 달성을 수단으로 수직 자화 MRAM의 개발의 높은 가능성들을 보여 줄 것이다. 현재까지로는, PMA를 갖는 단지 두 개의 교환결합 시스템이 연구되어왔다. 그 예로서 TbCoGd (광자기 박막)와 CoPt/FeF₂ 그리고 (Pt/Co)_n/CoO이다. 두 시스템에서 교환 결합은 단지 상은 아래에서 존재하고, 이러한 두 시스템을 제작함에 있어서 기술적인 응용이 적합하지 못하다. 이러한 보고에 의하여 우리는 교환결합에 의해 중심 이동된 히스테리시스 곡선뿐만 아니라 FeMn 혹은 NiO 반강자성층에 교환 결합된 PMA를 갖는 [FeMn, NiO]/(Co/Pt)₃ 다층박막의 자기적 특성도 상은 위에서 관찰할 수 있었음을 보여줄 것이다.

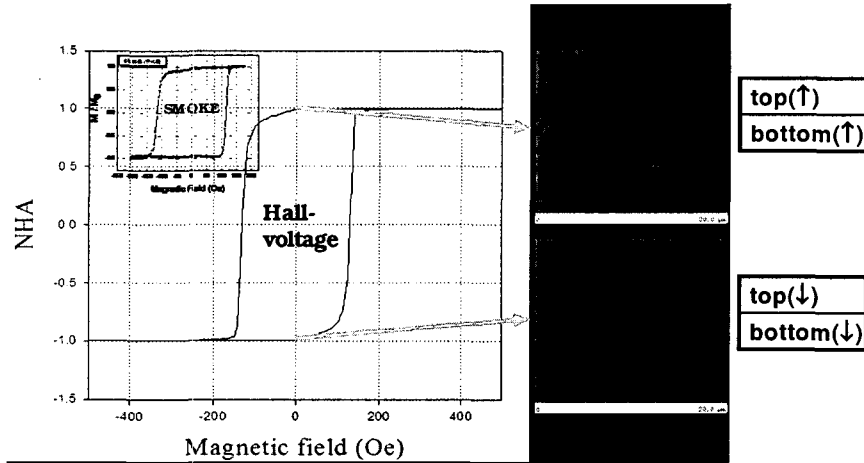


FIG. 1. The major anomalous Hall-voltage and SMOKE curve and along the out-of-plane easy axis for sample. The magnetic force images at the two remanent states.

그림-1은 이온빔증착법으로 제작한 glass/Si/[Co/Pt]₃ 다층박막에서 반강자성체 NiO 두께에 따른 얻은 여러 가지 extraordinary Hall 효과를 HNA (normalized Hall amplitude)으로 측정하여 이에 대응하는 수직자기 이방성으로 나타낸 히스테리시스 곡선, 표면광 Kerr 효과 (SMOKE) 곡선 그리고 두 개의 다른 잔류자화 상태에서의 MFM (magnetic force microscope) images들을 나타내었다.

PMA형 MTJ 소자 제작 및 자기터널링 특성을 조사하기 위해 비자성체 사이층으로서 AlO_x를 갖는 접합 폭이 100 μm로 한 MTJ 구조를 아래와 같은 그림-2의 모양으로 시료를 제작하였다. AlO_x 장벽층은 금속 Al 층을 첫째로 증착하였고, 그 때 7 분 동안 전자 사이크로트론 (electron cyclotron resonance; ECR) 산소 플라즈마에 노출하여 산화시켰다. 수직자기 이방성을 유지하고 있는 PMA형 MTJ 소자를 제작하여 전류수평면 (CIP: current parallel plane) 수직면(CPP: current perpendicular plane)에 대한 TMR 곡선들을 보여 주었다.

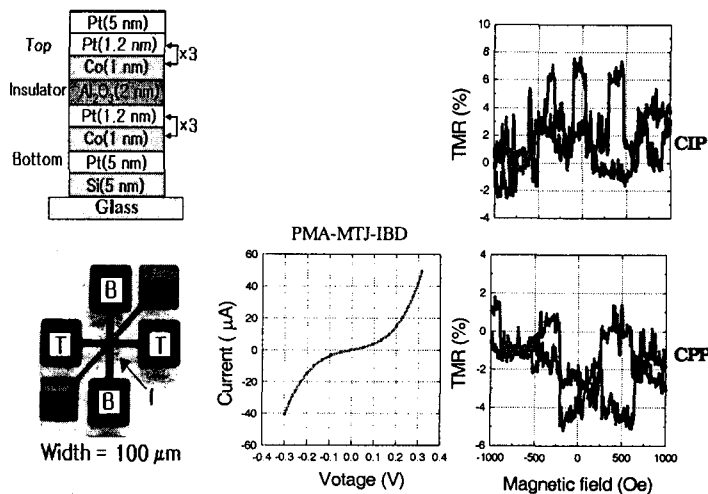


FIG. 2. The structure, MTJ image, out-of plane IV curve, and TMR curves with current perpendicular and parallel plane.