

CoFeB 기반 교환결합바이어스 스핀밸브 소자의 특성저항 및 자기수송특성 분석

안치의*, 신경호, William P. Pratt, Jr.¹

한국과학기술연구원 스핀트로닉스 연구단, ¹미시건 주립대학교 물리학과

1. 서론

CoFeB 은 MgO 기반의 자기터널접합구조에서 자유층, 고정층, 또는 합성자유층으로 사용되는 매우 중요한 자성물질 중 하나이다 [1]. 특히 CoFeB/MgO/CoFeB 자기터널접합구조를 열처리할 경우, CoFeB 이 CoFe 으로 결정화 되면서 매우 큰 자기저항을 보인다. 스핀전달토크를 이용한 신개념 자기메모리를 실현하기 위해, 매우 큰 자기저항은 핵심적인 특성이다. 본 연구에서는 Co₄₀Fe₄₀B₂₀ 와 Co₅₆Fe₂₄B₂₀ 의 자기수송특성 분석을 통해 스핀전달거리와 스핀비대칭 상수를 구하였고 또한 열처리된 CoFeB 의 특성과 비교해 봄으로써 CoFeB/MgO/CoFeB 자기터널접합구조에서 Boron 의 역할에 대한 간접적인 추론을 도모하였다. 더 나아가, 합성자유층 [2] 을 비롯한 CoFeB 기반의 자성층 구조의 자기수송특성을 이해하고 스핀전달토크 자기메모리의 임계전류밀도를 저감할 수 있는 방법을 찾는 데 기여하고자 한다.

2. 실험방법

CoFeB 을 기반으로 한 교환결합바이어스 스핀밸브 소자 [FeMn(8nm)/CoFeB(tF)/Cu(20nm)/CoFeB(tF)] 를 초고진공 스퍼터 시스템을 통해 제작하고, 이것의 특성저항 (저항과 면적의 곱) 을 박막의 표면에 수직인 방향으로 측정한다. 하부에 위치한 CoFeB 자성층은 인접한 FeMn 반자성물질에 의해 자화방향이 고정되어 있으며, 이를 위해 스핀밸브 소자를 180 °C 에서 수백 Oe 정도의 자기장을 가한 상태에서 열처리 하였다. 모든 스핀밸브 소자는 두 개의 초전도 Nb lead 사이에 sandwich 되어 있는데, 이는 측정전류의 uniformity 를 보장하는 한편 contact resistance 를 정량적으로 다룰 수 있는 이점을 제공한다. SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) 를 null detector 로 사용한 교차회로를 통해 4.2K 의 액체헬륨 온도에서 소자의 특성저항을 측정하였다. Valet-Fert 이론 [3] 과 2-Current-Series-Resistance [4] 모델을 이용해 소자의 자기수송특성을 분석하였다.

3. 실험결과

그림 1은 Co₄₀Fe₄₀B₂₀ 기반 교환결합바이어스 스핀밸브소자의 AR(H) 곡선을 보여준다. 자유층과 고정층의 두께가 모두 20 nm 인 경우로, 반평형 상태와 평형 상태 모두 잘 정의 되어 있음을 보여준다. 자유층과 고정층의 두께를 변화시켜 고정층이 다소 두껍게 되면 (30 nm 이상) 반평형 상태의 저항이 잘 정의되지 않음을 발견하였는데, 이는 FeMn 층에 의한 고정이 약해져 고정층이 자유층과 비슷한 크기의 자기장에서 같이 반전하기 때문이다.

그림 2는 자유층의 두께에 따른 자기저항차이 (반평형 상태일때와 평형 상태일때 특성저항의 차이) 를 보여주고 있다. 자기저항값이 자유층의 두께가 증가함에 따라 계속 증가하지 않고 어느 일정한 값으로 수렴한다. 이는 CoFeB 자성층에서의 스핀 수송이 diffusive 함을 말해주는 것이며 스핀전달거리가 유한함을 암시해 준다. 스핀전달 거리를 구하기 위해서 우리는 스핀전달거리와 스핀비대칭상수 β 를 피팅인수로 한 Valet-Fert 이론을 사용하였다.

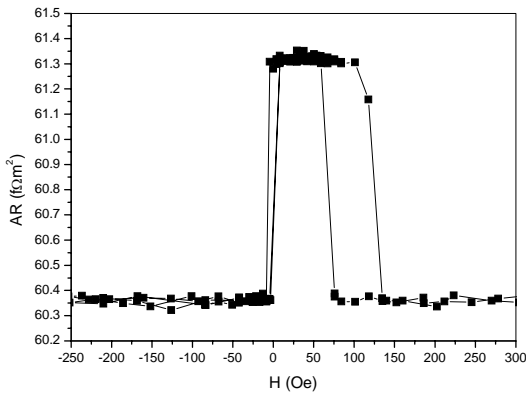


그림 1. $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 기반 교환결합바이어스 스핀밸브 소자의 자기이력 곡선. 자유층 두께 = 고정층 두께 = 20 nm

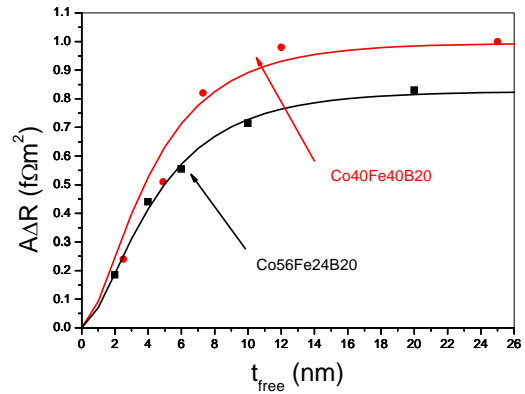


그림 2. Valet-Fert 피팅 결과 ($\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$: $l_{sf} \sim 4.5$ nm, $\beta \sim 0.3$, $\text{Co}_{56}\text{Fe}_{24}\text{B}_{20}$: $l_{sf} \sim 4.8$ nm, $\beta \sim 0.26$)

여기서 얻어진 자기수송 인자들은 스핀밸브 소자 내에 존재하는 CoFeB 과 Cu 계면을 고려한 결과로서 매우 정확하고 상호모순이 없는 값들이다. 자기저항차이, $A\Delta R$ 은 CoFeB 과 Cu 계면에서 일어나는 스핀의존적인 scattering과 저항에도 의존하며, CoFeB 과 Cu 계면의 특성을 알기 위해서는 CoFeB 의 스핀비대칭상수 등 bulk 특성에 대한 정보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는, 상호모순없는 해를 얻기 위해 두 가지 구조 (스핀밸브 소자와 CoFeB/Cu 다층박막) 사이를 반복하면서 안정한 인수들의 조합을 찾는다.

4. 고찰

그림 2.에서 보여지듯, 스핀전달거리가 약 4-5 nm, 스핀비대칭상수가 약 0.3일 때 가장 최적의 피팅이 이루어졌다. 같은 Co 와 Fe 의 조성비를 가진 CoFe 의 매우 큰 스핀비대칭 상수 (약 0.9) 와 비교해 보면, 양쪽 spin channel 에서 Boron 에 의한 scattering 이 증가하였음을 알 수 있으며, 스핀전달거리가 resistivity 증가량 만큼 CoFeB 에서 감소하지 않았음을 볼때, Boron 이 spin-flip site 로서 크게 기여하지 않는다는 추정을 해 볼 수 있다. 이는 열처리된 CoFeB 기반 스핀밸브소자의 수송특성이 열처리 전과 비교하여 크게 차이가 없다는 점에서 더욱 확실시 된다.

5. 결론

CoFeB 기반의 교환결합바이어스 스핀밸브 소자를 제작하고, 그 특성저항을 자성층의 두께에 따라 측정함으로써 스핀전달거리와 스핀비대칭상수 값을 추정해 내었다. CoFeB CoFe 과 비교해 수십배 큰 비저항값을 가지고 있음에도 불구하고 CoFe 에 비해 약 2배 정도 작은 스핀전달거리를 가지며, 스핀비대칭상수는 약 0.3 정도이다.

6. 참고문헌

- [1] J. Hayakawa 등 JJAP 44 L1267 (2005).
- [2] J. Hayakawa 등 JJAP 45 L1057 (2006).
- [3] T. Valet 등 PRB 48 7099 (1993).
- [4] S. F. Lee 등 JMMM 118 L1 (1993).