Magnetic and Transport Properties of Ferrimagnetic GdCo Alloy with Various Compositions

이재욱[1], 이수길[2*], 김갑진[2], 박병국[1]
[1]Department of Materials Science and Engineering, KAIST, Daejeon
[2]Department of Physics, KAIST, Daejeon

최근 비자성/강자성 이종구조에 전류를 인가하면 그 계면에서의 스핀-궤도 상호작용에 의해 토크가 발생하고, 그로 인해 자화의 방향을 제어하는 연구가 자기메모리로서의 잠재적 응용 가능성으로 인해 활발하게 진행되고 있다. 하지만 강자성 물질은 본질적으로 외부 자기장의 영향을 받을 뿐만 아니라 주변에 표유 자계를 발생시키기 때문에 소자에 적용 시 소자의 집적도 향상 측면에서 단점으로 작용할 수 있다. 이러한 문제점들에 대한 해결방안 중 하나로 비교적 최근에 반강자성 물질이 거론되고 있으나[1] 이들은 알짜 자기 모멘트가 없기 때문에 반강자성체를 이용한 메모리 소자에 저장된 정보를 읽기가 매우 어렵다. 이와 더불어 반강자성체의 매우 견고한 자기적 특성상 자기 모멘트의 정렬 방향 등 원하는 자기적 특성을 쉽게 얻어내기가 어렵다는 단점이 존재하기 때문에 실제 소자에 적용하기 위해서는 아직 해결해야할 문제점들이 많다. 따라서 본 연구에서는 이에 대한 해결책으로 반강자성체처럼 자기 모멘트의 방향이 서로 반대방향으로 정렬되어있지만 강자성체처럼 알짜 자기 모멘트가 존재하는 페리자성체를 이용하는 새로운 방안을 제시하고자한다. 페리자성체의 경우 페리자성체를 구성하고 있는 희토류 금속과 전이 금속의 비율을 조절하거나 측정 온도를 조절함으로써 각각의 자기 모멘트의 크기를 조절할 수 있다는 장점이 있어 반강자성체가 갖고 있는 장점과 강자성체가 갖고 있는 장점을 둘 다 이용할 수 있다. 고로 반강자성체에 비해 원하는 자기적 특성을 얻기가 훨씬 쉽고 알짜 자기 모멘트를 어느 정도 유지시킬 수도 있기 때문에 전기적 측정이 용이할 것으로 예상된다. 고로 본 연구에서는 페리자성체의 희토류 금속 및 전이 금속 비율에 따른 자기적 특성 및 수송 특성을 중점적으로 알아보고자 한다.

본 연구에서는 수직자기이방성을 갖는 페리자성체 합금을 만들기 위해 Gd와 Co를 동시에 증착할 수 있는 Co-Sputter 장비를 이용하였다. 이때 하부 전극으로 페리자성체의 수직자기이방성을 얻어내기 위해 Ta(3nm)/Pt(5nm)를 먼저 증착하였고 그 위에 GdCo(10nm) 그리고 마지막으로 Ta(3nm) Capping층을 증착하였다. Co-Sputter 장비를 이용하여 증착한 자성 박막의 수직자기이방성 및 자기 이력 곡선 평가는 VSM (Vibrating Sample Magnetometer) 및 AH (Anomalous Hall) 전압을 이용하여 측정하였다.

그림 1은 Ta(3nm)/Pt(5nm)/GdCo(10nm)/Ta(3nm) 구조에서 Co 비율에 따른 보자력 및 포화 자화값의 변화를 관찰한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 Co 비율을 증가시킴에 따라 보자력이 증가하였다가 감소하는 경향을 볼 수 있는데 이는 보자력이 포화 자화값에 반비례하기 때문이다. 실제로 오른쪽 그림을 보면 포화 자화값이 감소하였다가 증가하는데 포화 자화값이 0으로 수렴하는 구간에서 보자력이 발산하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 포화 자화값이 0으로 수렴하는 구간인 자기 모멘트 보상점이 GdCo 합금같은 경우 Co가 80% 부근에서 나타난다는 것을 알 수 있다.

이 외에 페리자성체 내부의 Gd 또는 Co의 자화 방향이 어떻게 정렬이 되어있는 지 확인하기 위해 수송 특성인 Anomalous Hall 전압을 4-Point Probe Station을 이용하여 측정하였다. 그 결과 VSM 데이터와 마찬가지로 Co가 80% 부근에서 보자력이 매우 커지는 것을 확인할 수 있었고 추가적으로 Anomalous Hall 전압 부호가 자기 모멘트 보상점 기준으로 반대로 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이는 자기 모멘트 보상점을 기준으로 Gd-Rich 구간에서는 Co가 외부 자기장에 반평행하게 그리고 Co-Rich 구간에서는 Gd가 외부 자기장에 반평행하게 정렬되어있다는 것을 의미한다. 이를 통해 Gd와 Co의 비율을 세밀하게 조절하면 상온에서 원하는 자기적

특성을 갖는 페리자성체를 만들 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

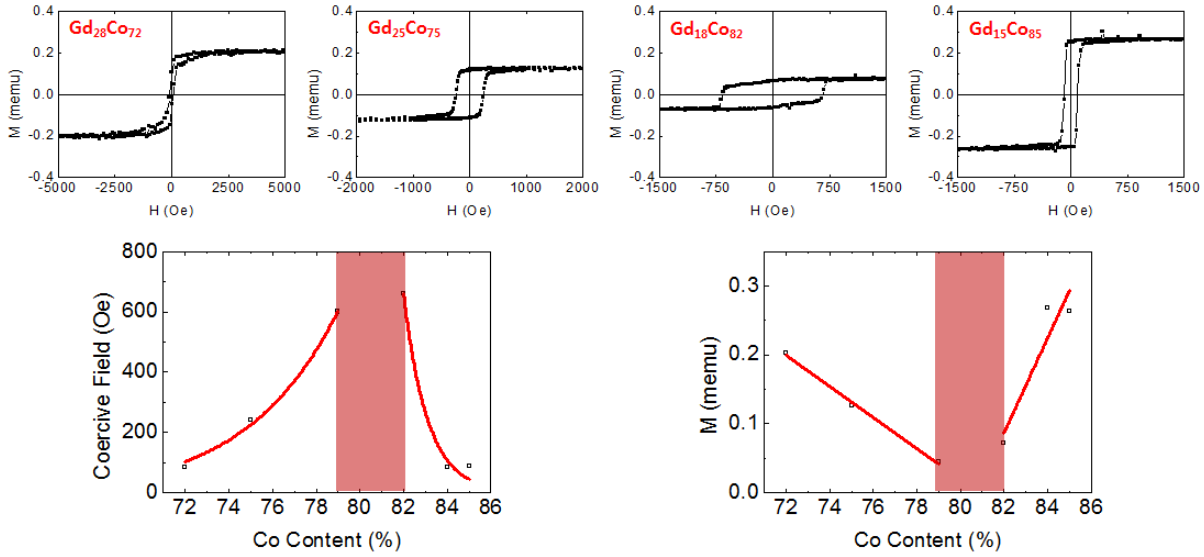

그림 1 VSM을 통해 얻어낸 Ta/Pt/GdCo/Ta 구조에서의 보자력 및 포화 자화값.

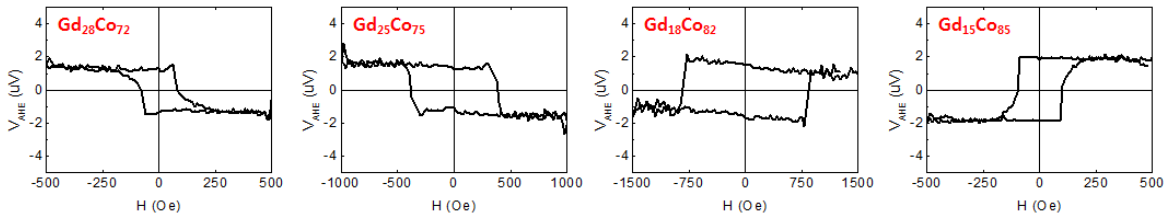

그림 2 AHE 측정을 통해 얻어낸 Ta/Pt/GdCo/Ta 구조에서의 Hysteresis Loop.

본 연구를 통해 Gd와 Co의 비율이 GdCo 페리자성체 합금의 자기적 특성에 미치는 영향을 살펴볼 수 있었고 자기 모멘트 보상점을 기준으로 외부 자기장 대비 Gd와 Co의 자화 방향이 서로 반평행하게 정렬된다는 사실을 전기적 측정을 통해 확인할 수 있었다. 실제로 자기 모멘트 보상점에서 스핀-궤도 토크를 이용하는 소자를 만들게 되면 기존 강자성체를 이용한 소자보다 훨씬 빠른 소자를 구현해낼 수 있을 것으로 예상되어[2] 향후 초고속 스핀트로닉스 소자 연구에 있어서 본 연구에서 연구된 페리자성체가 매우 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

4. 참고문헌

[1] T. Jungwirth, X. Marti, P. Wadley and J. Wunderlich, Nature Nanotechnology **11**, 231-241 (2016).

[2] C. D. Stanciu, A. V. Kimel, F. Hansteen, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing, Phys. Rev. B **73**, 220402(R) (2006).