

# 교환 바이어스를 갖는 이중 접합 구조에서 강자성층의 감쇠 상수

윤정범<sup>1\*</sup>, 최혁철<sup>1</sup>, 유천열<sup>1</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 물리학과

## 1. 서론

디지털 정보량의 증가로 고집적화되며 저전력으로 고속 작동할 수 있는 차세대 반도체 소자의 개발이 필요함에 따라 스핀을 응용한 자기 소자가 이슈가 되어 활발히 연구되고 있다. 매우 빠르게 작동하는 자기 소자에서 스핀의 동역학에 관한 연구는 매우 중요하다. 또한 다층 박막으로 이루어진 자기 메모리 구조에서 교환 바이어스 효과를 이용한 구조는 반드시 필요하기 때문에 이에 대한 연구도 중요하다. 이미 교환 바이어스 효과는 오래전부터 연구되었지만 스핀 동역학적 연구 결과는 많지 않다. 일반적으로 스핀 동역학에 관한 연구는 자성을 갖고 있는 물질로부터 감쇠 상수와 같은 기초적인 물리량을 구할 수 있다. 본 연구는 교환 바이어스를 갖는 이중 접합 구조인 반강자성층/강자성층 구조에서 외부 자기장에 대한 강자성층의 강자성 공명 주파수를 측정하여 스핀의 동역학적 거동을 분석하고 감쇠 상수를 구하였다.

## 2. 실험

강자성층인 NiFe(Py, 15 nm)에 교환 바이어스를 형성하기 위해 반강자성층인 FeMn(10 nm)를 자기 스퍼터링으로 증착하여 이중 접합 구조를 만들었다. FeMn에 의한 Py의 교환 바이어스를 확인하고 Py의 스핀 동역학을 분석하기 위해 VSM (vibrating sample magnetometer)으로 자기 이력 곡선을 측정하고 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 강자성 공명 주파수를 측정하였다. 교환 바이어스의 유무에 대한 Py의 스핀 동역학적 거동을 비교하기 위해 단층 박막으로 Py를 15 nm 증착하여 자기 이력 곡선과 강자성 공명 주파수를 측정하였다. 강자성 공명 주파수를 측정하기 위해 자화 용이축으로 DC 자기장을 인가하고 벡터 네트워크 분석기로 coplanar wave guide (CPW)에 0 - 20 GHz 영역의 마이크로파를 입력하여 자화 용이축에 수직인 방향으로 RF 자기장을 유도하였다. 결과적으로 CPW에서 반사된 마이크로파를 벡터 네트워크 분석기로 측정하여 강자성 공명에 의해 흡수된 신호로부터 강자성 공명 주파수를 구하였다.

## 3. 계산 결과 및 논의

그림 1과 같이 FeMn이 있는 Py의 자기 이력 곡선이 107 Oe 만큼 이동한 것을 확인함으로써 교환 바이어스가 형성됨을 확인하였다. 교환 바이어스가 형성된 Py의 스핀에 대한 동역학적 거동을 분석하기 위해 DC 자기장을 변화시켜가며 벡터 네트워크 분석기로 강자성 공명 주파수를 측정하였고 그 결과를 그림 2에서 확인할 수 있다. 그림 2는 왼쪽 축은 강자성 공명 주파수, 오른쪽 축은 자기 이력 곡선을 보여주고 있다. 자화 반전이 일어나는 곳에서 가장 낮은 공명 주파수를 확인 할 수 있다. 스핀의 거동을 나타내는 Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 방정식으로 부터 강자성 공명에 대한 스핀 동역학적 식을 유도하고 DC 자기장에 대한 강자성 공명 스펙트럼의 반치폭( $\Delta f$ )의 변화를 식  $\alpha_{app} = \frac{2\pi\Delta f}{\gamma[2(|H_{ext} - H_{eb}| + H_{uni}) + M_{eff}]}$  으로부터 겉보기 감쇠 상수 (apparent damping;  $\alpha_{app}$ )를 계산했다. 여기서, 겉보기 감쇠 상수는 불균일한 외적 요소가 포함되어 있는 고유 감쇠 상수(intrinsic damping)보다 항상 크다.  $H_{ext}$ 는 외부 DC 자기장,  $H_{uni}$ 는 단축 이방성 (= 0 Oe),  $H_{eb}$ 는 반강자성층에 의해서 유도된 교환 바이어스 (= -117 Oe),  $M_{eff}$ 는 유효 자화를 나타낸다. 그림 3은 교환 바이어스가

형성된 Py의 겹보기 감쇠 상수가 자기장의 방향에 대한 상대적인 자화 방향에 따라 달라짐을 나타내고 있다. 단, 포화 자화가 되지 않은 곳에서의 겹보기 감쇠 상수는 삭제하였다. 겹보기 감쇠 상수는 자기장이 커짐에 따라 고유 감쇠 상수에 가까워진다. 결과적으로 고유 감쇠 상수는 자기장의 방향이 음일 때 0.0103이고 자기장의 방향이 양일 때는 0.0088이 되기 때문에 자기장과 자화 방향에 따라 달라진다. 참고로 같은 방법으로 측정된 15 nm Py 단층 박막의 고유 감쇠 상수는 0.0058이다.

#### 4. 결론

본 연구는 교환 바이어스가 형성된 Py/FeMn 이중 접합 구조에서 Py의 강자성 공명 주파수를 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. LLG 방정식으로 부터 스핀의 동역학적 거동에 관한 식을 유도하고 DC 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 반치폭을 분석하여 고유 감쇠 상수를 구했다. 교환 바이어스가 형성된 Py의 감쇠 상수는 자기장의 방향에 따라 달라진다. 결과적으로 교환 바이어스를 갖는 강자성층의 동역학적 거동은 자기장의 방향에 대한 상대적인 자화 방향에 의존함을 확인하였다.

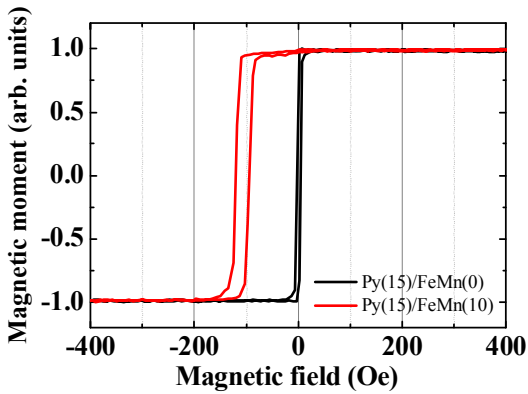


그림 1. FeMn 유무에 대한 Py의 자기 이력 곡선. (단위 nm)

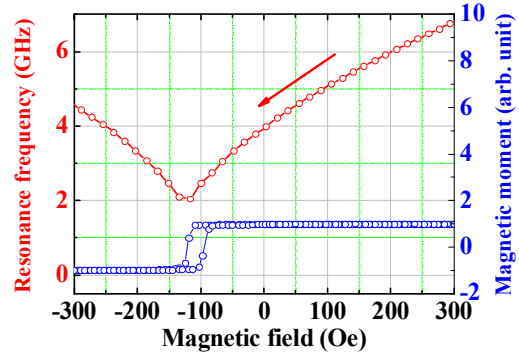


그림 2. Py/FeMn 구조에서 DC 자기장에 대한 강자성 공명 주파수와 자기 이력 곡선. 화살표는 자기장의 인가 순서를 나타낸다.

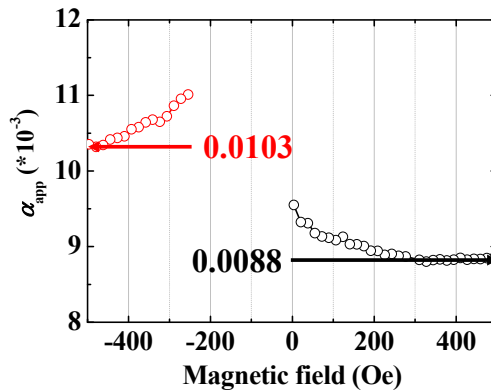


그림 3. Py/FeMn 구조에서 자기장 방향에 대한 겹보기 감쇠 상수와 고유 감쇠 상수