

벡터 네트워크 분석기를 이용한 Py 박막의 강자성 공명 감도 증가 연구

김덕호*, 유천열
인하대학교 물리학과

1. 서론

최근 정보 저장 능력의 증대를 위해 스핀트로닉스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여기서 스핀 전달 토크 자기 메모리(spin-transfer torque magnetic random access memory; STT-MRAM), 고주파 이용 자기기록(microwave assisted magnetic recording; MAMR), 스핀 전달 토크 나노 발진자(spin torque nano-oscillator; STNO), 전류 인가 자벽 이동 현상(current-induced domain wall motion; CIDWM)을 이용한 자기 레이스 트랙 메모리(magnetic race-track memory) 등과 같은 새로운 스핀 소자들은 차세대 메모리로서의 가능성을 제시하여 큰 이슈가 되고 있다. 이러한 소자들의 특징은 특히 길버트 감쇠 계수와 밀접한 관계가 있지만, 이것을 정확하게 측정하여 물리적 원인을 분석하는데 어려움이 있다. 그래서 많은 연구 그룹에서 자성 박막의 감쇠계수에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다[1,2]. 본 연구에서는 벡터 네트워크 분석기 강자성 공명(vector network analyzer ferromagnetic resonance; VNA-FMR)을 이용하여 Py 박막에 대한 길버트 감쇠 계수 측정의 감도를 증가시켰다.

2. 실험방법

Py 박막의 감쇠 계수를 분석하기 위해서 VNA-FMR을 이용하여 Py 박막 두께가 5, 10, 15, 20 nm일 때, 시료에 인가된 마이크로파의 입출력에 대한 반사/투과 값의 상대적인 비(S값)를 측정하였다. 정확한 S값을 얻기 위해 CPW(Coplanar Wave guide)의 저항을 50 Ω으로 설계하고 제작하여 CPW 구조를 최적화시켰다. CPW의 구조는 single port 측정 방식에 적합한 구조로 GSG 단자에서 입력된 마이크로파가 끝단에서 반사가 되면서 시료에 의해 흡수되는 정도를 측정 할 수 있게 고안되었다. VNA-FMR 측정 감도는 CPW의 선폭과 두께에 의존하기 때문에, 적절하게 CPW 구조를 최적화 시키면 VNA-FMR의 신호는 향상시키고 백그라운드 잡음은 크게 감소시킬 수 있다[3, 4]. 또한 실험 결과의 감도를 높이기 위해, S값이 기생 캐패시터에 의한 위상 효과에 의존하고 자기장에 따른 S값이 진동수에 의존하는 다음과 같은 식 $\Delta S = S(0) * (S_{11 \text{ para}} - S_{11 \text{ perp}}) / (S_{11 \text{ perp}})$ 을 이용하여 실험 결과를 보정하였다.

3. 실험결과

그림 1 (a), (b)와 같이, Py 박막의 두께가 각각 20, 10 nm 일 경우에 최적화 과정을 거치기 전에는 백그라운드 잡음이 신호의 크기에 비해 상당히 크다. 더구나 10 nm 이하의 두께에서는 정확한 강자성 공명 신호 경향을 얻을 수가 없었다. 또한 신호가 비대칭적으로 나와 로렌치안 함수로 근사할 수 없어 정확한 감쇠 계수를 얻을 수가 없었다. 그러나 최적화 과정을 거친 그림 1 (c), (d)를 살펴보면 Py 박막의 두께가 10 nm 일 때 신호는 대칭적이었고, 백그라운드 잡음의 크기는 신호의 크기에 비해 매우 작았다. 그리고 두께가 10 nm 보다 얇은 5 nm에서도 향상된 신호를 얻어 강자성 공명 신호를 통한 자기포화 값과 감쇠 계수를 얻을 수 있었다.

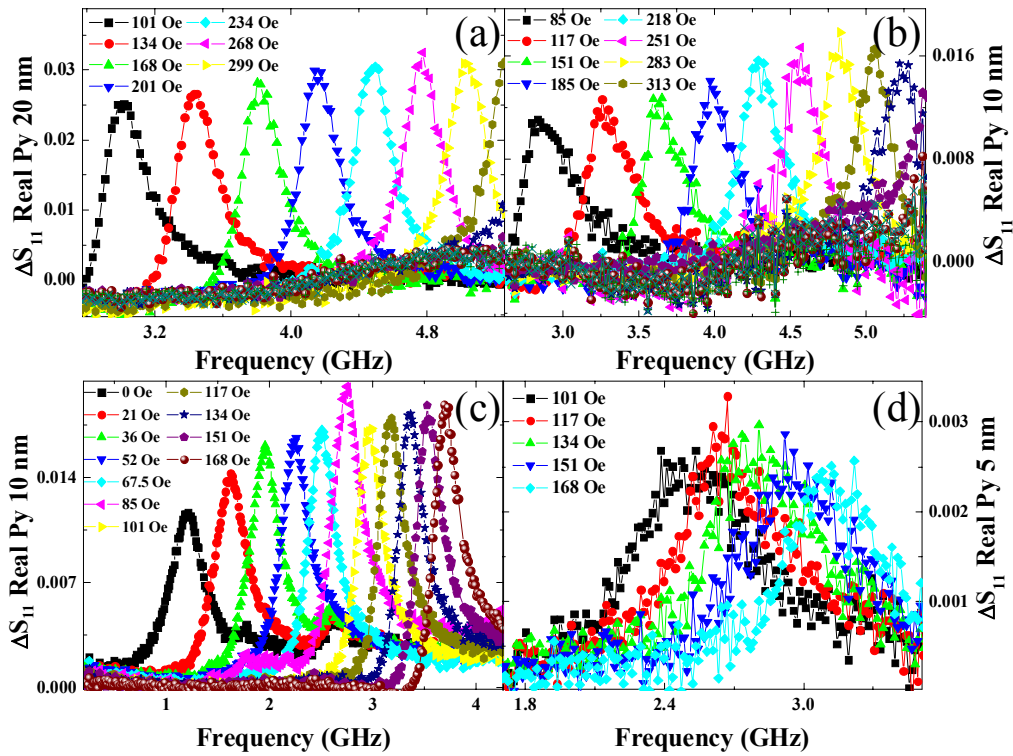


그림 1 (a), (b)는 최적화 과정을 거치기 전의 두께 20, 10 nm인 Py 박막의 FMR 실수 부분 신호이며 (c), (d)는 최적화 과정을 거친 후의 두께 10, 5 nm 인 Py 박막의 FMR 실수 부분 신호이다.

4. 결론

CPW의 최적화 및 Calibration 과정을 통해 Py 박막에 대한 VNA-FMR의 향상된 신호를 얻을 수 있었고, 자기장에 의존하는 ΔS 식을 통해 저주파와 고주파에서 생성되는 비대칭성 현상을 제거할 수 있었다. 그리고 두께가 작아질수록 FMR 신호의 세기가 작아짐을 알 수 있었다. 또한 두께가 5, 10, 15 nm일 때, 자기포화 값 (M_s)은 각각 $5.42(\pm 0.37)$, $8.61(\pm 0.061)$, $8.7(\pm 0.043)$ kG이고, 감쇠 계수는 각각 $0.012(\pm 0.004)$, $0.016(\pm 0.001)$, $0.018(\pm 0.002)$ 를 얻을 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] I. Neudecker, G. Woltersdorf, B. Heinrich, T. Okuno, G. Gubbiotti, and C.H. Back, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **307**, 148-156 (2006).
- [2] G. Counil, a) Joo-Von Kim, T. Devolder, C. Chappert, K. Shigeto and Y. Otani, *J. Appl. Phys.*, **95**, 15 (2004).
- [3] 戸田 順之, コプレーナ웨이브ガイドによる強磁性共鳴の高感度測定 (오사카대학 석사논문) (2007).
- [4] 小西 克典, コプレーナ웨이브ガイドを用いた FMR 測定の高感度化 (오사카대학 석사논문).

6. 감사의 글

The authors thank Dr. K.-H. Shin, Dr. B.-C. Min and Prof. Y. Suzuki to their help.