

NiFe(100 nm)/CoFe(5 nm) 이중층 박막의 스핀파 공명 신호 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

강자성 박막재료에서 스핀들의 세차 운동(precession)과 마이크로파의 주파수가 동조된 경우 강자성 공명(FMR, ferromagnetic resonance)이라 하며, 자기 스핀들이 만드는 스핀파(spin wave)가 박막 재료의 두께 방향에서 정상파 조건을 만족하는 경우를 스핀파 공명(SWR, spin wave resonance)이라 부른다. 스핀파는 두께가 560 nm인 NiFe 박막 재료에서 처음 발견되었으며[1], 스핀파 공명 신호는 강자성 공명 신호 보다 낮은 자기장에서 나타나므로 두께가 얇은 박막에서는 나타나지 않는다. 두께가 두꺼운 자성 분리되어 나타난다. 스핀파는 두께의 정상파 조건에 의한 intrinsic 스핀파와 재료의 불순물에 의한 표면 스핀파로 두 가지로 구분된다.

본 연구에서는 NiFe(100nm)/CoFe(4 nm) 박막 재료의 수평면(in-plane) 및 수직면(out-of plane)에서 자기장 각도에 따른 강자성 및 스핀파 공명 신호를 측정하였다. NiFe 두께에 의한 intrinsic 스핀파 특성과 CoFe(5 nm) 박막에 의한 표면 스핀파 특성을 동시에 분석하고자 하였다.

2. 실험방법

NiFe/CoFe 박막 재료는 고진공 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 열산화막이 있는 Si기판 위에 250°C의 온도에서 증착 하였다. 이때 하부층으로는 Ta(5 nm)/Cu(5 nm)를 증착 하였으며, 자성 박막의 표면 산화를 방지하기 위하여 자성 재료 상부에 Ta(5 nm)를 증착 하였다. 제작된 박막의 적층 구조는 Ta/NiFe(100 nm)/CoFe(5 nm)/Cu/Ta/SiO₂/Si이었다. 제작된 박막 재료의 in-plane 및 out-of-plane에서 자기장 세기 및 각도에 따른 강자성 공명 신호는 X-band용 FMR 측정 장치를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 수평면에서 측정한 강자성 공명(FMR) 및 스핀파 공명(SWR) 신호를 보인다. 스핀파 공명 신호는 강자성 공명신호 보다 크기가 작으며, 강자성 공명 보다 낮은 자기장에서 나타났다. 이러한 스핀파 공명 자기장은 재료의 두께에 의존하며 다음과 같이 표현된다[2-5].

$$H_{SWR} = H_{FMR} - \frac{2A_{ex}}{4\pi M_{eff}} \left(\frac{n\pi}{t} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 t 는 박막의 두께이고, 자성 재료의 스핀들 간의 교환 뻗뻗함 상수(exchange stiffness constant) A_{ex} 는 스핀파의 탄성 특성을 나타내는 재료의 물성이다. n 은 스핀파의 정상파 모드를 나타내는 정수이다. 두께에 의한 스핀파 공명 자기장은 강자성 공명 자기장 보다 낮은 자기장에서 나타나므로 in-plane에서는 intrinsic 스핀파 특성만 나타나지만 out-of-plane에서는 CoFe에 의한 표면 스핀파가 강자성공명 신호보다 높은 자기장에서 나타나고 있다. out-of-plane에서 측정한 각도에 따른 강자성 공명 신호로부터 intrinsic 스핀파 과 표면 스핀파 특성을 동시에 분석 한 결과를 발표할 예정이다.

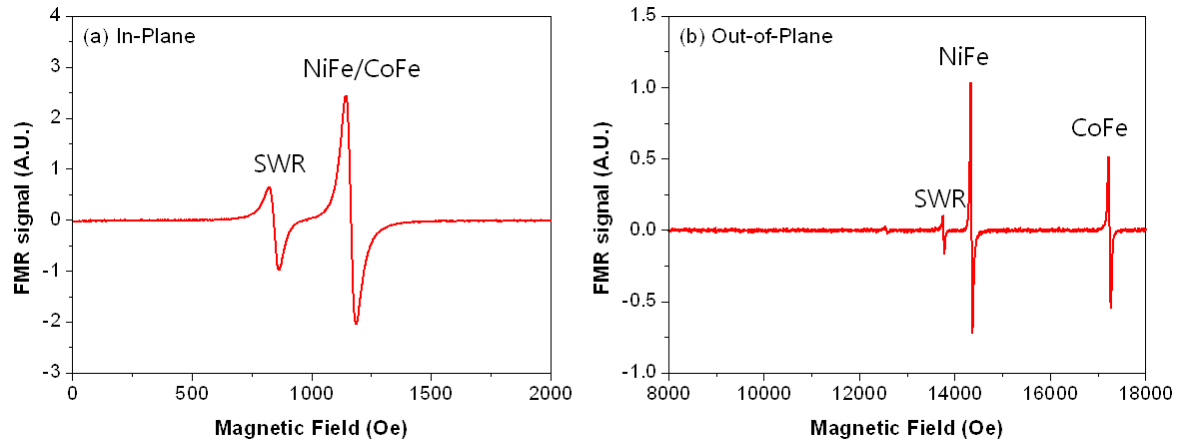


Fig. 1. (a) FMR and spin wave signal measured at (a) in-plane and (b) out-of-plane in NiFe(100 nm)/CoFe(5 nm) bilayers.

4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF2010-0008282).

5. 참고문헌

- [1] M. H. Seavey, Jr., and P. E. Tannenwald, Phys. Rev. Lett. **1**, 168 (1958).
- [2] C. Bilzer, *et. al*, J. Appl. Phys. **100**, 053903 (2006).
- [3] K. Kiseki, S. Yakata, and T. Kimura, Appl. Phys. Lett **101**, 212404 (2012).
- [4] X. Liu, Y. Y. Zhou, and J. K. Fuedyna, Phys. Rev. B **75**, 195220 (2007).
- [5] Y. Y. Kim, *et. al*, J. Kor. Phys. Soc. **31**, 495 (1997).