

# Vector Network Analyzer를 이용한 Py박막의 강자성공명연구

신용확\*, 김덕호, 유천열

인하대학교 물리학과

## 1. 서론

강자성공명 (FMR : ferromagnetic resonance)은 강자성체의 스핀들이 정자기장 주변을 세차운동 할 때, 외부에서 인가된 마이크로파의 진동수와 전자스핀들의 세차진동수가 일치할 때 큰 흡수를 보이는 현상을 이용한 강자성체 특성 평가에 매우 중요한 측정 방법이다 [1]. vector network analyzer ferromagnetic resonance (VNA-FMR)의 경우 일반적인 FMR과는 달리 진동수와 외부 자기장 모두를 변화 시킬 수 있다는 장점이 있으며 coplanar waveguide (CPW) 위에서 시료의 반사/투과를 측정 한다. CPW는 특성 임피던스의 커다란 변화 없이 수 십 GHz 까지 광대역 주파수 특성을 가지고 있기 때문에 자성박막의 특성을 평가하기에 적합하다 [2]. 본 연구에서는 CPW를 이용한 VNA-FMR를 통해 Py박막의 S-parameter를 측정하였다. 또한 측정된 S-parameter를 분석하여 Gilbert damping constant를 구하고 시료의 두께에 대한 의존도를 조사하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서는 Si 웨이퍼 위에 Py박막을 dc 마그네트론 스퍼터링 방법으로 각각 40 nm, 20 nm, 10 nm 두께로 증착하였다. 또한 VNA-FMR을 측정하기 위하여 50  $\Omega$ 의 특성임피던스를 갖는 CPW를 설계하여 corning eagle 2000 glass 위에 Ti(10 nm)/Cu(150 nm)/Ti(10 nm) 삼층박막 구조를 스퍼터링 방법으로 증착 한 후 photo-lithography 후에 ion milling에 의해 패턴을 형성하였다. CPW의 특성 임피던스를 50  $\Omega$ 으로 매칭하기 위하여 웨이퍼의 유전율과 두께, CPW에서 GSG (Ground-Signal-Ground) line 사이의 선폭과 signal line의 두께 등을 Hilberg's equation으로 고려하여 설계, 제작하였다 [2]. 측정 주파수의 범위는 45 MHz에서 15 GHz 이고, 외부자기장은 0 에서 490 Oe 까지 변화시켜 가며 S-parameter를 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

Py박막의 VNA-FMR를 측정하여 Gilbert damping constant를 구하고 두께별 의존도를 조사하기 위하여 S-parameter를 측정하였다. S-parameter는 각 포트의 입출력간의 반사/투과에 관한 전압의 상대적인 비를 나타내는 양이다. 그림 1.과 그림 2.는 Py박막의 두께별  $\Delta S_{11}$ 을 각각 허수부와 실수부로 나타낸다.  $\Delta S_{11}$ 은 외부자기장을 가해준 상태에서의  $S_{11}$ 에서 외부자기장이 0 일때  $S_{11}$ 을 빼준 값을 나타낸다. 주파수는 45 MHz에서 15 GHz까지 801 point의 수로 측정하였고 외부자기장에 의한 공명주파수가 나타난 구간인 2.5 GHz 에서 7 GHz까지의 결과를 나타내었다. Py 박막 두께는 그림 1과 그림 2에서 (a)는 40 nm, (b)는 20 nm, (c)는 10 nm로 이다. Py 박막 두께가 두꺼워 짐에 따라 각각의 외부자기장에 대한 공명주파수가 미세하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 Py박막의 두께가 작아질수록  $\Delta S_{11}$ 의 허수부의 상대적인 세기가 작아짐을 볼 수 있고 잡음신호 또한 커짐을 볼 수 있다. 그리고 외부자기장이 커질수록 공명주파수가 선형적으로 증가하여 상대적으로 고주파로 이동하는 것을 볼 수 있다.  $Im[\Delta S_{11}]$ 은 최대값이  $w = w_r$  이고 선폭이  $\Delta w$ 인 로렌츠함수로 Gilbert damping constant와 직접적인 관련관련 관는 식  $\alpha \cong \frac{\Delta w}{\gamma \mu_0 M_{eff}}$ 으로 나타낼 수 있다[3]. 실험측정치  $\Delta S_{11}$ 을 matlab으로 fitting하여  $\alpha$  (Gilbert damping constant)값을 구하였던관, Py박막 40nm에서 ( $\alpha=0.0124\pm 0.0008$ )로 조사 되었다.

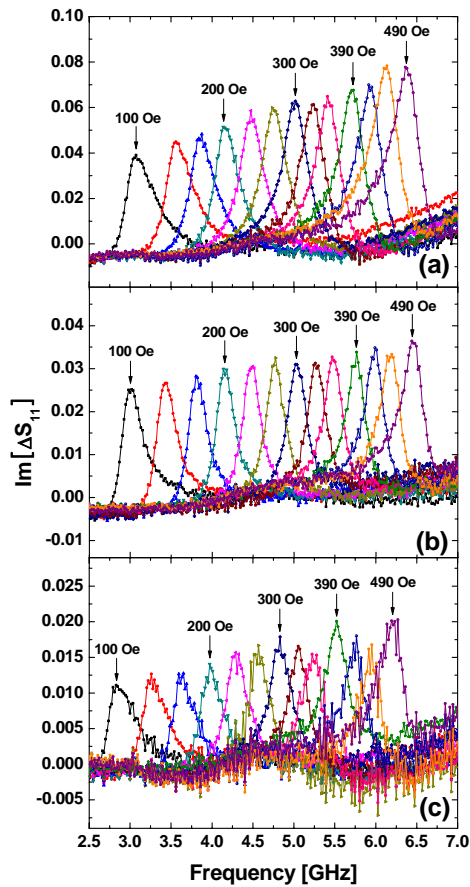


그림 1. Py박막의 두께별 FMR 신호. Py 박막의 두께는 (a) 40 nm, (b) 20 nm, (c) 10 nm 이며 외부자기장을 100 Oe에서 490 Oe 까지 변화 시킬 때  $\Delta S_{11}$ 의 허수부

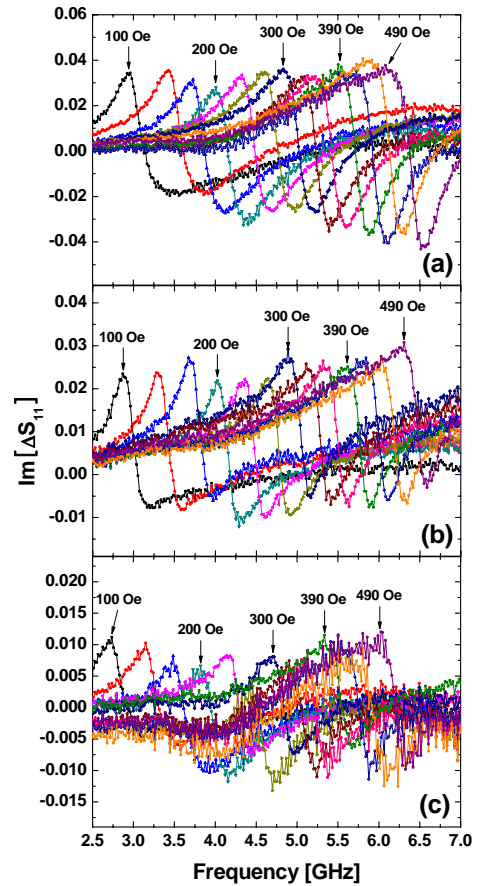


그림 2. Py박막의 두께별 FMR 신호. Py 박막의 두께는 (a) 40 nm, (b) 20 nm, (c) 10 nm 이며 외부자기장을 100 Oe에서 490 Oe 까지 변화 시킬 때  $\Delta S_{11}$ 의 실수부

#### 4. 결론

Photo-lithography와 ion milling 방법을 이용하여 제작된 CPW위에 스퍼터링 방식으로 증착된 Py 박막을 직접 올려놓고 강자성공명을 측정하였으며 두께에 따른 의존도 또한 연구하였다. Py 박막의 두께가 커짐에 따라 공명 주파수가 커졌으며 세기 또한 증가하였다. Py박막 40 nm, 20 nm, 10 nm를 100 Oe에서 490 Oe까지 측정한 결과 공명주파수는 2.5 GHz에서 7 GHz까지 나타났으며 외부자기장의 세기가 커짐에 따라 공명주파수도 선형적으로 증가함을 볼 수 있었다. 또한 공명주파수 ( $w = w_r$ )와 선폭 ( $\Delta w$ )을 통하여 Py박막 40 nm의 Gilbert damping constant를 ( $\alpha=0.0124\pm 0.0008$ )로 구할 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

- [1] J. H. E. Griffiths, Nature **158**, 670 (1946)
- [2] T. C. Edwards, M. B. Steer, Foundations of interconnect and microstrip design, John Wiley, England, (2000) pp. 161-224
- [3] G. Counil, Joo-Von Kim, T. Devolder, C. Chappert, K. Shigeto, Y. Otani, J. Appl. Phys. **95**, 5646 (2004)