

## FeNi 박막의 스핀파 해석

고려대학교 물리학과 백종성\*, 김약연, 임우영  
 청주대학교 물리학과 이수형, 장평우

## Analysis of the spin wave resonance of FeNi thin film

Korea University J. S. Baek\*, Y. Y. Kim, W. Y. Lim  
 Chungju University S. H. Lee, P. W. Jang

## 1. 서 론

강자성공명(FMR ; ferromagnetic resonance)은 강자성체가 매우 큰 정자기장과 이에 수직한 마이크로파 사이에 위치할 때, 정자기장에 의해 세차운동을 하는 전자스핀의 세차진동수와 마이크로파의 진동수가 서로 일치할 때 발생하는 공명현상이다. 연자성 박막의 강자성공명실험에서 시료의 표면이방성[1] 또는 자화의 불균일성[2] 등에 의해 정자기장에 의해 형성된 전자스핀의 세차운동이 시료의 위치에 따라 변하므로써 생성되는 정상스핀파(SSWR ; standing spin wave resonance)가 관측된다. 1958년 C. Kittel[3]에 의해 정상스핀파 형성에 관한 이론적 기반이 제시된 이후, 정상스핀파 실험을 통해 연자성 시료의 교환상수(exchange stiffness constant) A, 분광학적 분리인자 g, 그리고 포화자화 등과 같은 물리상수가 규명되었다[4].

본 연구에서는 고주파 마그네트론 스파터링 장치를 사용하여 실리콘 기판위에 제작된 FeNi 박막의 강자성 공명 실험에서 얻은 정상스핀파를 분석하여 교환상수 A, 분광학적 분리인자 g, 그리고 포화자화 등을 계산했다.

## 2. 이 론

좌표축을 Fig.1과 같이 취하고, 자화의 운동방정식을 세운 후 임피던스를 계산하여 그 값이 최대가 되는 조건을 고려하면, 다음 식과 같은 공명조건을 구할 수 있다.

$$\left(\frac{\omega}{\gamma}\right)^2 = \left(H - 4\pi M_s \sin^2 \phi_H + \frac{2A}{M_s} k^2\right) \times \left(H + 4\pi M_s \cos^2 \phi_H + \frac{2A}{M_s} k^2\right) \quad (1)$$

여기서,  $\omega (= 2\pi f)$ 는 마이크로파의 각진동수,  $\gamma (= ge/2mc)$ 는 자기회전비,  $H$ 는 정자기장,  $k (= n\pi/d)$ 는 파수,  $n (= 0, 1, 2, 3, \dots)$ 은 모드 수(mode number), 그리고  $d$ 는 시료의 두께다. 정자기장을 시료면에 수직인 방향으로 인가하면서 얻은 스핀파에 대한 공명조건은 식(1)에  $\phi_H = 90^\circ$ 를 대입하면 다음과 같이 구해진다.

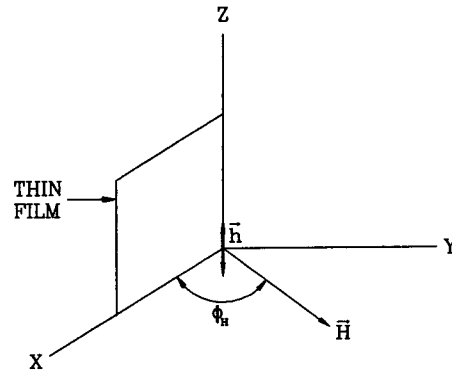


Fig.1 The coordinate system used in this calculation

$$\frac{\omega}{\gamma} = H - 4\pi M_s + \frac{2A}{M_s} k^2 \quad (2)$$

한편, 모든 전자스핀의 세차운동이 동일한 모습을 보이는 균일모드(uniform mode)에 대한 공명조건은 식(1)에  $n = 0$  을 대입하면 다음과 같이 표현된다.

$$\left(\frac{\omega}{\gamma}\right)^2 = H(H + 4\pi M_s) \quad : \quad \phi_H = 0^\circ \quad (3.a)$$

$$\frac{\omega}{\gamma} = H - 4\pi M_s \quad : \quad \phi_H = 90^\circ \quad (3.b)$$

결국, 실험결과를 식(2)에 적용하여 선형 fitting 하면 균일모드의 공명자기장과 교환상수를 구할 수 있으며, 이 결과를 식(3)에 대입하고 풀면, 분광학적 분리인자와 포화자화를 구할 수 있다.

### 3. 실험

본 실험에 사용된 시료는 합금형 FeNi 스파터링 타겟과 고주파 마그네트론 스파터링 장치를 사용하여 실리콘 기판위에 제작했으며, JEOL 사의 전자 상자성 공명 분석기(X-band EPR spectrometer, Model : RE-2X)를 이용하여 상자성 공명 신호를 관측했다. 이때, 마이크로파의 진동수에 대응하는 공명자기장을 얻기 위하여, 측각기와 연결된 석영봉에 시료를 부착하여 마이크로파와 정자기장이 서로 직교하는 공동내에 위치시킨 후, 정자기장을 0~1.45 kOe 까지 연속적으로 변화시켜주면서 미분형 공명 흡수선을 측정했다. 이와같은 방법으로 정자기장과 시료면이 만드는 각을  $0^\circ$  및  $90^\circ$ 에 맞추고 실험을 반복했다.

### 4. 실험결과

본 실험에 사용된 FeNi 박막은 표면이방성이 큰 시료로서 홀수 모드의 스핀파가 관측되었으며, 짝수 모드는 비교적 미약한 모습을 보였다. 실험에서 관측된 공명자기장을 식(2)에 적용한 결과 균일모드의 공명자기장을 구할 수 있었으며, 이를 사용하여 교환상수, 포화자화, 그리고 분광학적 분리인자 등을 구했다.

### 5. 참고문헌

- [1] M. Sparks, Phys. Rev. Lett. 22(21), 1111(1969)
- [2] C. Monllor, M. Bouthimon, and M. Baribaud, Phys. Stat. Sol.(a) 29, 481(1975)
- [3] C. Kittel, Phys. Rev. 110(6), 1295(1958)
- [4] M. H. Seavey and P. E. Tannenwald, Phys. Rev. Lett. 1, 168(1958)