

FeTi 박막의 강자성 공명 연구

고려대학교 강우관*, 백종성, 임우영
 청주대학교 이수형

FERROMAGNETIC RESONANCE OF FeTi THIN FILMS

Korea University W. K. Kang*, J. S. Baek, W. Y. Lim
 Chongju University S. H. Lee

1. 서 론

강자성공명(FMR : ferromagnetic resonance)은 강자성체가 매우 큰 정자기장과 이에 수직한 마이크로파 사이에 놓여질 때, 정자기장에 의해 세차운동을 하는 전자스핀의 세차진동수와 마이크로파의 진동수가 서로 일치할 때 발생하는 공명현상인데, 시료내부의 모든 원자스핀이 동일한 위상을 갖고 세차운동하는 경우를 강자성공명(FMR)[1, 2]이라 하며, 이웃한 원자스핀들 사이의 교환상호작용에 의해 그 위상들이 조금씩 차이가 나는 모습으로 세차운동하는 경우를 스핀파공명(SWR)[3, 4]으로 분류한다. 1946년 Griffiths[5]에 의해 강자성공명현상이 최초로 관측된 이후, 이에 대한 이론적 기반이 확립되므로서, 강자성공명은 자성체의 다양한 물리적 특성을 고찰하는데 매우 유용하게 사용되어왔다. 연구초기에는 자성체의 형상자기이방성 및 결정자기이방성을 고찰하는데 널리 사용되었으며, 그 후 유효자화, 분광학적 분리인자, 자화의 현상론적 감쇠, 그리고 표면자기특성 등을 연구하는데 이용되어왔다.

본 실험에서는 강자성공명실험을 사용하여 자성박막의 유효자화, 분광학적 분리인자, 그리고 교환상수 등을 결정하는 과정을 살펴본 후, 직류 마그네트론 스파터링 방법으로 제조한 FeTi계 박막의 자기적 특성을 강자성공명실험을 통해 고찰하고자 한다.

2. 실 험

본 실험에 사용한 $Fe_{100-x}Ti_x$ ($x = 8.5, 15, 17, 18.5$ at.%) 박막시료는 직류 마그네트론 스파터링 장치를 사용하여 제작했다. 이때 사용한 기판은 Si(100)-wafer이며, 스타터링 타겟은 복합모드형을 이용했다. 스파터링시 배경압력과 아르곤 압력은 각각 2×10^{-6} torr 및 5 mtorr 였으며, 박막의 제작속도는 300 Å/min 였다. 제조된 시료의 두께 및 조성은 profile-meter와 EDS를 사용하여 각각 조사하였다.

한편, 강자성공명신호 관측과정에서 마이크로파의 주파수는 X-band(9.44 GHz), 마이크로파의 전력(power)은 0.1 mW, 공동(cavity)은 TE₀₁₁ 모드, 그리고 modulation은 100 kHz의 값을 사용했다. 이때, 0.3 cm × 0.3 cm 크기의 박막시료를 시료지지대에 부착하여 마이크로파와 정자기장이 서로 직교하는 공동내에 위치시킨 후, 상온에서 정자기장의 세기를 0 ~ 2.1 T까지 연속적으로 변화시켜 주면서 미분형 공명 흡수선을 관측했다. 이와 같은 방법으로 정자기장의 방향을 시료면에 대해 수직 및 수평하게 유지시켜주면서 실험을 반복했다.

3. 결과 및 논의

자성박막을 포화시킬 수 있는 정자기장과 이에 수직한 마이크로파 자기장이 자성박막에 인가되는 경우에 대해, 맥스웰방정식과 자화의 운동방정식 등을 고려하여 시료의 임피던스를 계산한 후, 에너지 흡수율이 최대가 되는 공명조건을 찾으면 다음과 같이 표현된다.

$$\left(\frac{\omega}{\gamma}\right)^2 = \left(H - 4\pi M_{eff} \sin^2 \theta + \frac{2Ak^2}{M_{eff}}\right) \left(H + 4\pi M_{eff} \cos 2\theta + \frac{2Ak^2}{M_{eff}}\right) \quad (1)$$

여기서, ω 는 마이크로파의 각진동수, $\gamma(g\mu/2mc)$ 는 자기회전비, g 는 분광학적 분리인자, $k(=n\pi/t)$ 는 파수, n 은 0, 1, 2, 3, ... 으로 주어지는 모우드 수(mode number), t 는 시료의 두께, 그리고 θ 는 시료면과 외부자기장이 만드는 각이다. 여기서, 정상스핀파가 형성되기 위한 경계조건 ($k = n\pi/t$)을 식 (1)에 적용하면 다음과 같이 $\theta = 90^\circ$, 즉 정자기장을 박막시료면에 수직한 방향으로 인가해주는 경우에 대해 나타나는 스핀파공명조건을 얻게된다.

$$\frac{\omega}{\gamma} = H - 4\pi M_{eff} + \frac{2A}{M_{eff}} \left(\frac{n\pi}{t}\right)^2 \quad (2)$$

식(2)를 보면, 공명자기장 H 와 모우드수의 제곱 n^2 사이에 선형관계가 있음을 알 수 있는데, 실험에서 관측되는 H 와 n^2 을 최소자승법으로 선형 fitting 하면 각각의 공명자기장에 대응하는 모우드수를 찾을 수 있으며, 이 과정에서 얻어지는 그래프의 기울기를 사용하여 교환상수를 계산한다.

그리고, 균일모우드의 공명조건은 식(1)에 $n = 0$ 을 대입하면, 정자기장을 시료면에 평행 및 수직하게 인가하는 경우에 대한 공명조건을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\left(\frac{\omega}{\gamma}\right)^2 = H(H + 4\pi M_{eff}) \quad (3)$$

$$\left(\frac{\omega}{\gamma}\right) = H - 4\pi M_{eff} \quad (4)$$

식(3) 및 (4)를 사용하면 시료의 포화자화, 분광학적분리인자 등이 구해진다.

본 실험에 사용된 $Fe_{100-x}Ti_x$ ($x = 8.5, 15, 17, 18.5$ at.%) 박막시료의 두께는 스파터링 시간을 조절하여 약 4,500 Å이 되도록 제조하였는데, 이 시료들에 대해 관측한 미분형 강자성공명흡수선에 위에 논의한 이론적 근거를 적용함으로써, 분광학적 분리인자와 유효자화 등을 구할 수 있었다. $Fe_{100-x}Ti_x$ 박막의 유효자화는 Ti 함량이 8.5 at.%에서 18.5 at.%로 증가하는 동안 1,350 G에서 1,164 G로 거의 선형적으로 감소하는 모습을 보였으며, 분광학적 분리인자는 2.15 ~ 2.29의 범위 내에서 미소한 변화를 보였다.

4. 참고문헌

- [1] V. K. Arkad'yev, J. Russ. Phys. Chem. Soc. 45(103), 312(1913)
- [2] C. Kittel, Phys. Rev. 73(6), 155(1948)
- [3] C. Kittel, Phys. Rev. 110(6), 1295(1958)
- [4] M. H. Seavey and P. E. Tannenwald, Phys. Rev. Lett. 1, 168(1958)
- [5] J. H. E. Griffiths, Nature 158, 670(1946)