

CoCr 박막의 강자성공명 연구

고려대학교 물리학과 백종성*, 김약연, 임우영
 충북대학교 물리학과 유성초
 청주대학교 물리학과 이수형

Ferromagnetic resonance of CoCr thin film

Dept. of Physics, Korea University J.S. Baek*, Y.Y. Kim, and W.Y. Lim
 Dept. of Physics, Chung-Buk National University S.C. Yu
 Dept. of Physics, Cheong-Ju University S.H. Lee

1. 서론

강자성 공명(FMR ; Ferromagnetic Resonance)은 강자성체가 매우 큰 DC 자기장과 이에 수직한 마이크로파 사이에 놓여질때, DC 자기장에 의해 세차운동을 하는 전자스핀의 세차진동수와 마이크로파의 진동수가 서로 일치할 때 일어나는 공명현상¹⁾이다.

본 연구에서는 강자성 공명 실험을 이용하여 CoCr계 박막의 분광학적 분리인자 g , 포화자화 M_s , 일축 이방성 자기장 H_k , 유효 이방성 자기장 H_k' , 그리고 일축 이방성 상수 K_u 등을 구하여 시료의 수직이방성 성장상태를 고찰하고자 한다.

2. 이론

그림 1. 과 같이 박막의 면에 수직한 방향으로 일축자기이방성이 존재하는 자성박막에 외부 자기장 H 가 작용 할 때, 시료내부의 자유 에너지 밀도 E 는 다음과 같이 표현된다.

$$E = - M_s H \sin\theta \cos(\phi_H - \phi) + 2\pi M_s^2 \sin^2\theta \sin^2\phi - K_u (\sin^2\theta \sin^2\phi - 1) \quad (1)$$

한편, 자화의 평형조건을 고려한 후, 식(1)을 Smit-Beljers의 일반식²⁾에 대입하면, 다음과 같은 공명조건을 얻을 수 있다.

$$(\omega/\gamma)^2 = H^2 \cos^2(\phi_H - \phi_0) + H H_k' \cos(\phi_H - \phi_0) (3 \sin^2\phi_0 - 1) + H_k'^2 \sin^2\phi_0 (2 \sin^2\phi_0 - 1) \quad (2)$$

여기서, ω 는 마이크로파의 각진동수, γ 는 자기회전비, H_k' 은 유효 이방성 자기장($H_k - 4\pi M_s$), 그리고 ϕ_0 는 자화의 평형위치를 기술해주는 방위각이다.

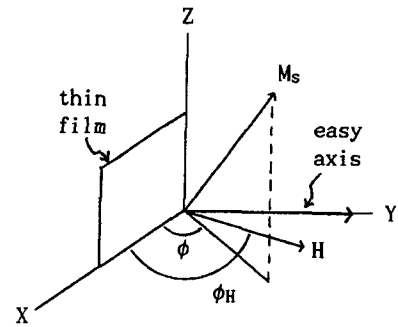


Fig.1 The coordinate used in this work.

3. 실험 방법

a) 시료제작

본 연구에서는 고주파 마그네트론 스파터링 방식을 채택하여 CoCr계 박막시료를 제작했는데, 이때 사용한 제작조건은 표 1.과 같이 요약된다.

Table 1. Sputtering condition of CoCr thin film.

Cr content of target	23 at.%	working gas pressure	25 mTorr
sputtering time	40 min	rf voltage	1.6 kV
pre-sputtering time	20 min	substrate temperature	sample # 1 : R.T.
back ground pressure	5×10^{-7} Torr		sample # 2 : 200 °C

b) 강자성 공명 실험

실험에 사용된 공명장치는 Bruker사의 EPR spectrometer로서, 진동 모드가 TE₁₀₂인 직방형 공동(cavity)을 사용했다. 시료를 석영봉에 부착하여, 진동수가 33.9 GHz인 마이크로파와 DC 자기장이 서로 직교하는 공동내에 위치시킨후, 상온에서 DC 자기장을 15 kOe 까지 변화 시켜 주면서 미분형 공명 흡수선을 관측했다. 이와같은 방법으로 시료의 면과 DC 자기장이 만드는 각을 0° 에서 90° 까지 변화시켜 주면서 실험을 반복했다.

4. 실험결과 및 토의

본 연구에 사용된 시료의 강자성 공명 측정결과는 그림 2. 및 그림 3. 과 같다. 이 그림에 나타난 선들은 미분형 공명 흡수선으로, 이 선과 Base Line이 만나는 점을 공명 자기장 H_r 이라 한다. 그림에서 얻은 H_r 을 식(2)에 대입하여 분광학적 분리인자 g , 포화자화 M_s , 일축 이방성 자기장 H_k , 유효 이방성 자기장 H_k' , 그리고 일축 이방성 상수 K_u 등을 구했는데, 그 결과는 표 2. 와 같다.

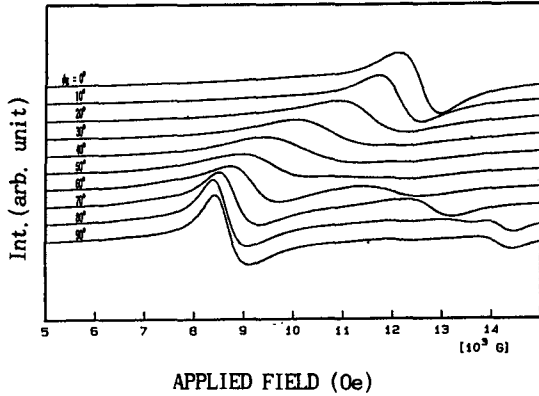


Fig.2 Derivative of resonance absorption vs applied magnetic field for sample # 1

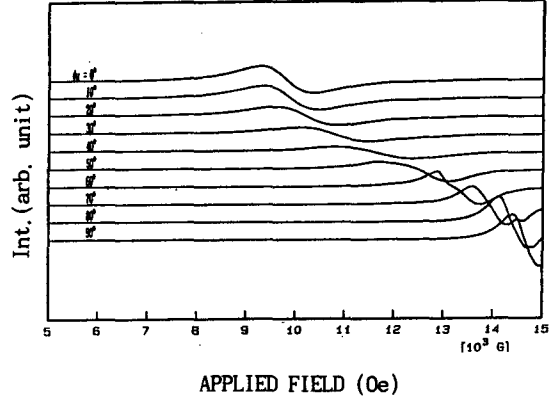


Fig.3 Derivative of resonance absorption vs applied magnetic field for sample # 2

Table 2. Spectroscopic splitting factor g , saturation magnetization M_s , anisotropy field H_k , effective anisotropy field H_k' , uniaxial anisotropy constant K_u for CoCr thin film.

	g	M_s (gauss)	H_k (Oe)	H_k' (Oe)	K_u (erg/cm ³)
sample # 1	2.17	235	5432	+ 2489	6.36×10^5
sample # 2	2.14	264	0	- 3313	0

표 2.와 그림 2, 3을 살펴보면, ϕ_n 가 증가함에 따라 수직이방성에 대응되는 공명 자기장은 감소하며, 반자장 항($4\pi M_s$)에 대응되는 공명자기장은 증가하는 경향이 있음을 볼 수 있다. 그리고, 시료 1의 경우 H_k 가 $4\pi M_s$ 보다 크기 때문에 H_k' 이 양의 값(+ 2489 Oe)을 가짐을 볼 수 있다. 따라서, 시료 1은 수직이방성이 잘 발달되어 있으며, 자화 용이축이 시료의 면에 수직인 방향으로 존재한다고 본다. 한편, 시료 2는 H_k 가 대략 0 이므로, 수직 이방성이 존재하지 않으며, 자화 용이축은 면에 평행하다고 생각된다.

5. 결 론

자유에너지 밀도 E 를 Smit-Beljers의 일반식에 대입하여 얻은 공명조건에 상온에서 측정한 강자성 공명 실험 결과를 적용하므로써, Co-Cr계 박막의 g , M_s , H_k , H_k' , 그리고 K_u 등을 구하여, 시료의 수직이방성 성장 상태를 고찰했다. 상온에서 제작된 시료의 H_k' 은 + 2489 Oe이고, 200 °C에서 제작된 시료의 H_k' 은 - 3313 Oe임을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- 1) J. H. E. Griffiths, Nature 158, 670(1947)
- 2) J. Smit and H. C. Beljers, Philos. Res. 10, 113(1955)