

일축이방성 제집 토크곡선 해석의 새 방법

한국과학기술원 신성철*
한국표준연구소 김창석

A NEW METHOD FOR ANALYZING TORQUE
CURVES OF UNIAXIAL ANISOTROPIC MATERIALS

KAIST S.-C. SHIN*
KIST C.-S. KIM

1. 서론

자성다층 박막의 경우 자기이방성(Magnetic anisotropy)이 제작 조건이나 다층 박막의 구조(예를 들어 sublayer 두께)에 따라 다르므로 이에 관한 정확한 정보는 이 재질의 자기적 성질을 이해하는데 필수적이다[1,2]. 자성 물질의 자기 이방성을 측정하는 방법은 여러가지가 있으나[3], 토크마그네토법에 의한 것이 가장 신뢰성이 있는 것으로 알려져 있다. 박막의 자기 이방성 에너지 결정을 위한 토크 측정의 근사적 분석이 Chikazumi[4]에 의해 처음으로 제안되었고, 후에 Miyajima[5], Wiclinga[6], Pastor [7]등이 일축이방성을 가진 자성 박막의 이방성 에너지를 구하는 정확한 방법을 개발했다. 그러나 앞서의 모든 방법들은, 용이축(Easy axis orientation)이 평면(in-plane) 혹은 평면에 수직(normal to plane)인 것으로 미리 가정했기 때문에 용이축이 미리 알려지지 않은 경우는 사용할 수가 없다.

본 논문에서는 일축이방성 자성 박막의 토크곡선 실험치로부터 이방성 에너지와 용이축을 해석적으로 동시에 간단히 구할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

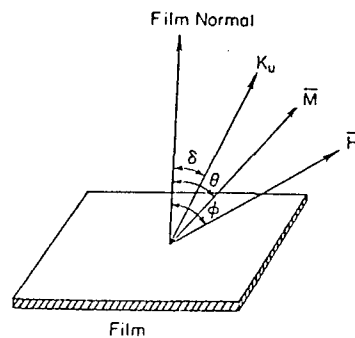


Fig. 1. Coordinates in torque magnetometry

2. 이론적 모델 설명

본 이론적 모델에서는 자성 박막이 Fig. 1에서 도식된 바와 같이 단일 용이축이(single easy axis)인 박막면의 수직축에서 δ 각도만큼 기울어진 일축 이방성(uniaxial anisotropy)을 가졌다고 가정한다. 본 모델에서는 일차 이방성 에너지 K_u 만 고려하고 그 이상의 고차 이방성 에너지는 무시한다. 우리가 고려하는 형상이 평면이므로 박막 평면상에 형상 이방성 에너지 $K_s(=2\pi M_s^2)$ 가 존재한다고 생각하는데, 여기서 M_s 는 포화 자화력이다. Fig. 1에서 θ 와 ϕ 는 박막면 수직축에서부터 측정된 각으로 자화 방향과 외부 자장의 방향을 각각 나타낸다. 외부 자장이 약하게 걸릴 때에는 자화 방향이 용이축 방향으로 정렬되고, 반면 강한 외부 자장하에서는 자화 방향이 외부 자장의 방향으로 정렬될 것이다. 중간 크기의 일반적인 외부 자장하에서는 자화의 벡터 방향이 Fig. 1에서 보는 바와 같이 자장의 방향에서 $(\phi - \theta)$ 의 각을 이루고 있다. 이 때 시스템의 정자기 에너지(magnetostatic energy) E 는 아래와 같이 주어지며,

$$E = K_u \sin^2(\theta - \delta) + K_s \cos^2\theta - M_s H \cos(\phi - \theta), \quad (1)$$

평형 상태에서의 토크 τ 는

$$\tau = K_s \sin 2\theta - K_u \sin 2(\theta - \delta), \quad (2)$$

로 주어진다.

이제 실험치 토크 곡선에서 τ_p 를 토크 곡선의 정점의 절대값, ϕ_0 를 1차 사분면에서 토크가 0인 각이라 하면 이방성 에너지 K_u 와 용이축 δ 가

$$K_u = (K_s^2 + \tau_p^2 \pm 2K_s\tau_p \cos 2\phi_0)^{1/2} \quad (3)$$

$$\delta = \phi_0 - \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{K_s \sin 2\phi_0}{K_s \cos 2\phi_0 \pm \tau_p} \right) \quad (4)$$

로 주어짐을 유도할 수 있다. 여기서 음부호는 양정점이 먼저 올 때, 양부호는 음정점이 먼저 올 때 취한다.

3. 이론의 유효성 검토

본 연구에서 제시된 이론의 유효성을 검토하기 위해 여러가지 flux 입사각에서 제조된 TbFe 박막을 사용하였다[8]. Table IV는 여러가지 입사각에서 제조된 TbFe 박막의 자기적 성질을 열거한 것이다. 여기서 δ 는 입사각이고, τ_p 와 ϕ_0 는 앞에서 언급한 것처럼 측정 토크 곡선에서 얻을 수 있는 실험치이고, K_s 는 VSM으로 측정된 M_s 로부터 얻은 성형이방성 에너지이며 K_u 와 δ 는 식(3)와 (4)를 사용하여 얻은 계산치이다. 이제 Table I의 K_u 와 δ 값을 이용하여 ϕ 의 함수로 토크 곡선을 수치적으로 계산할 수 있다. Fig. 2에는 20 kOe 외부자장에서 얻은 3개의 TbFe 시료의 실험 토크 곡선과 위에 모델에 의해 계산한 이론적 곡선을 비교하였다. 일반적으로 이론치가 실험치와 잘 일치함을 볼 수 있다.

TABLE I. MAGNETIC PARAMETERS OF TbFe FILMS PREPARED AT OBLIQUE INCIDENCE

Sample code	α (deg)	τ_p (10^5 dyne·cm/cm ³)	ϕ_0 (deg)	K_s (10^5 erg/cm ³)	K_u (10^5 erg/cm ³)	δ (deg)
TbFe-30	30	7.2	3	1.7	8.9	3.0
TbFe-40	40	9.3	78	8.6	3.8	44.6
TbFe-60	60	31.6	90	30.9	0.7	90

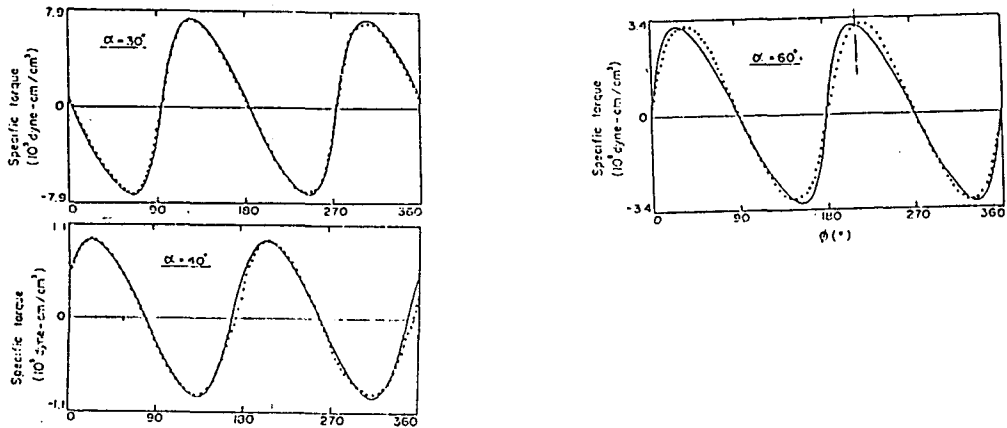


Fig. 2. Comparisons of theoretical torque curves (solid lines) with measured ones (dotted lines) in TbFe films prepared at various angles of incidence α .

4. 참고문헌

- [1] P. Chaudhari, J. J. Cuomo, R. J. Gambino, and E. A. Giess, "Magnetic bubble films," in *Physic of Thin Films*, Vol. IX, G. Hass, M. H. Francombe, and R. W. Hoffman, Eds. New York : Academic Press, 1977, pp. 263–294.
- [2] P. Hansen, "Magneto–optical recording materials and technologies," *J. Magn. Magn. Mater.* Vol. 83, pp. 6–12, 1990.
- [3] H. Zijlstra, *Experimental Methods in Magnetism*, Vol. II, New York : North–Holland Press, 1987, Chap. 5.
- [4] S. Chikazumi, "Epitaxial growth and magnetic properties of single–crystal films of iron, nickel, and permalloy," *J. Appl. Phys.* vol. 32, pp. 81S–82S, 1961.
- [5] H. Miyajima, K. Sato, and T. Mizoguchi, "Simple analysis of torque measurement of magnetic thin films," *J. Appl. Phys.* vol. 47, pp. 4469–4671, 1976.
- [6] T. Wielinga, "Torque measurement of magnetic thin films," *J. Appl. Phys.* vol. 50, pp. 4888–4890, 1979.
- [7] G. Pastor and M. Torres, "Simple case of mixed symmetries in the measurement of uniaxial magnetic anisotropies," *J. Appl. Phys.* vol. 58, pp. 920–924, 1985.
- [8] S.–C. Shin, "Dependence of microstructure and magneto–optical properties on deposition angle in evaporated TbFe and TbFeCo films," *J. Appl. Phys.* Vol. 61, pp. 3340–3342, 1987.