전기용량법에 의한 자기이방성 측정장치

전북대학교 물리학과
이연숙*, 신용돌, 문기원, 이용호

한국과학기술연구원 금속연구부
노태환, 김희중, 강일구

A Masurement System for Magnetic Anisotropy with Capacitance Method

Dept. of Physics, Jeonbuk Nat'l University
Y.S.Lee, Y.D.Shin, K.W.Moon, Y.H.Lee

Division of Metals, Korea Institute of Science and Technology
T.H.Noh, H.J.Kim, I.K.Kang

1. 서론

자성재료의 중요기초특성의 하나인 자기이방성은 일반적으로 Penoyer가 고안한 torque magnetometer에 의하고 있으나, 진동과 side force의 약점이 있으며 기계적 구조가 복잡하다. 이 논문에서는 토오크 센서로서 감도가 크며 구조가 간단하고 side force에 강한 전기용량 변환기를 사용한 이방성 측정장치에 관한 실험결과를 기술한다.

2. 실험 원리 및 방법

그림 1은 본 장치의 개략도이다. S는 이방성을 측정하려는 시료로서 원판 또는 구형이다. S의 축에 수직한 균일자기장 H가 S에 인가되면, S에는 이방성에 의한 토오크 τ가 작용한다. 시료의 부피를 v, 이방성에너지 밀도를 E_A, H와 시료의 자화용이축 사이의 각도를 θ라 하면 $\tau = -v \cdot \partial E_A/\partial\theta$이다. 그림2에서 S의 지지축에는 평행축전기의 가동극판 N이 연결되며, 축전기의 고정극판 P사이의 전기용량 C가 τ에 의하여 변화한다. N에 연결된 탄성판의 탄성계수를 e, τ에 의한 S의 회전각을 ϕ라 하면 탄성복원력 τ_e는 $\tau_e = -e\phi$이며 이것이 τ와 비기므로 $\tau_e = -\tau$ 즉, $v\,\partial E_A/\partial\theta = -e\phi$이다. H=0 때의 N와 P사이의 전기용량 C_o는 극판면적을 A, 진공의 유전률을 ε_o, 간격을 l_o라 하면 $C_o = \varepsilon_o A/l_o$이다. τ에 의해 l_o는 $l_o+\Delta l$로 변화하므로 그때의 용량의 변화 ΔC는 $\Delta C = -C_o\Delta l/l_o$이다. 또 $\Delta l = G\phi$(G는 장치상수)로 두면 $\Delta C = -C_oG\phi/l_o$가 된다. ΔC는 매우 작은 미소량이며 이것을 검출하는 장치가 transformer-ratio-arm bridge B이다.[1]

B의 출력 V는 $V = nV_o \cdot \Delta C/C$이다. (n, V_o, C는 문헌1 참조). 이상의 관계식으로부터 구하려는 토오크 τ는 $\tau = (-e\, l_o\, C/n \cdot V_o\, C_o \cdot G)\, V \equiv QV$ (Q는 장치 전체의 시스템 상수)에 의하여 구할 수 있으며, V는 lock in amp로 측정하여 XY 기록계에 기록된다. e, l_o, G등의 상수는 본실험에서는 개개의 값을 측정하는 대신에, 표준이 되는 Ni선의 일축이방성 토오크를 측정하여 장치 전체상수 Q를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

토오크의 표준으로서 직경 0.127㎜, 길이 5.8㎜의 Ni선의 일축이방성을 이용하였다. 이 Ni선의 τ대 θ 곡선은 그림 3과 같다. Ni선의 일축이방성 에너지 밀도 U는 $U=I_s^2 v[(N_x-N_y)\cos^2\theta+N_y]/2\mu_o$이다. 여기서 I_s는 Ni의 포화자화, N_x, N_y는 장축과 단축에 대한 반자기장 계수, μ_o는 진공의 투자율이다. Bozorth의 표에 의하여 $N_x=0.001$, $N_y=0.499$가 얻어지므로 $\tau \fallingdotseq I_s^2 v \sin 2\theta/4\mu_o$가 된다. H가 0.82T 이상에서 대체적으로 시료가 포화 된 것으로 보아, 이때의 진폭이 τ의 최대치인 $I_s^2 v/4\mu_o$가 된다. 이방성 측정의 한예로서, 3% Si-Fe 단결정 (직경 3.2㎜, 두께 0.25㎜의 원판)의 (100)면에 대한 토오크 곡선은 그림 4와 같다. 0.36T이상에서 거의 포화되었으며 $\sin 4\theta$모양이다. 이것은 입방정형의 (100)면 내에서 I_s가 회전할때, $E_A \fallingdotseq K_1(1-\cos 4\theta)/8$, 따라서 $\tau = vK_1 \sin 4\theta/2$가 성립하기 때문이다. 그림3과 그림4의 진폭의 비에 의하여 3% Si-Fe의 K_1은 33×10^3 J/㎥로 계산된다. 몇몇의 기타시료에 대한 결과도 같이 보고한다.

4. 결론

매우 간단한 구조이면서도 고감도의 이방성측정기가 완성되었고, 그 결과는 기존치와 좋은 일치를 보였다.

5. 참고문헌

① 이용호 : 응용물리 2, 437 (1989) (한국물리학회지)

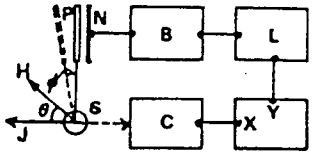

Fig.1

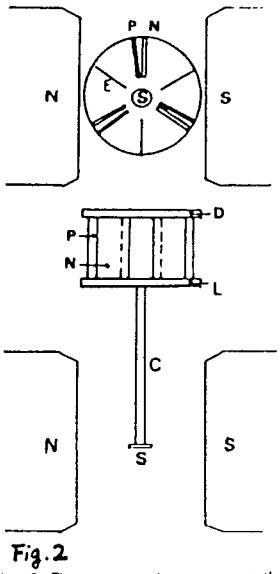

Fig.2

Fig. 2 The torque sensor by capacitance method

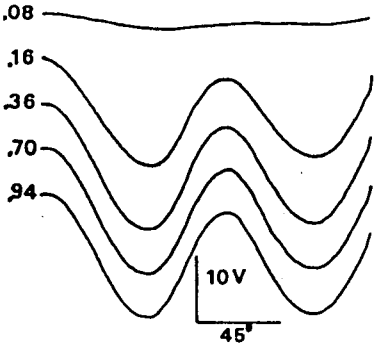

Fig. 4 The torque curves for (100)E sample.

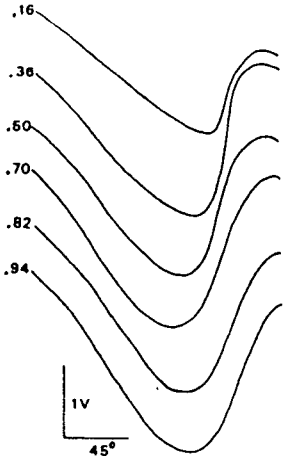

Fig. 3 The torque curves of pure Ni wire for calibration. The numbers at the left of the curves represent the field intensity in tesla.