

고능률 소형 전자석에 의한 자왜 및 자기이방성 측정

이용호 · 신용돌

전북대학교 물리학과

전주시 덕진구 덕진동 1가, 560-756

김병걸 · 민복기 · 송재성

한국전기연구소, 자성재료연구실,

창원 641-120

(1994년 4월 15일 받음, 1994년 6월 7일 최종수정본 받음)

자왜 또는 자기이방성의 측정에 사용되는 전자석의 여자전류를 측정에 필요한 수초간만 흘러서 에너지 소모 및 측정시의 최대난점인 시료의 온도변화의 문제를 극소화하였다. 따라서 전자석의 냉각장치는 생략되고 크기와 전원의 용량도 극소화되었다. 공기간격 22 mm, 자극의 단면적 $40 \times 25 \text{mm}^2$ 에서 0.5 T의 자장발생에는 180 W의 전원으로 족하였다. 시료의 자왜와, 자기이방성에 의한 토크를 전기용량센서에 의하여 측정하여 10^{-8} 의 자왜분해능과 1 nJ의 토크 분해능을 얻었다. $0.02 \times 0.8 \times 10 \text{mm}^2$ 의 연자성 리본의 형상이방성을 이용하여 이방성 측정시의 토크값을 교정하였다.

I. 서 론

자왜와 자기이방성은 자성체의 기초 특성중의 중요항목이나, 국내에서는 그 측정의 보급이 미진한 상태이다. 본 연구실에서는 그 측정장치의 신규고안에 의한 제작결과[1, 2]를 발표한바 있었으나, 감도와 분해능등의 성능면에서 개선의 여지가 있었다. 성능향상의 난점은 500 kg에 달하는 큰 전자석의 회전에 따르는 전선 및 냉각관들의 마찰음, 3kW에 달하는 전자석의 전원의 냉각장치 소음 및 전력소모로 생기는 전자석의 발열, 그리고 냉각수에 의한 온도변화등이었다. 길이 1cm, 질량 수 mg에 불과한 신소재의 특성 측정에 거대한 전자석의 사용은 균형적이지 아닌 감이 있었다.

본 연구에서는 종전 [1, 2]의 장치를 소형화하여 측정용의 자장 공간을 축소하며 전자석과 전원의 용량을 최소화하고, 더 붙여서 수초의 측정시간만 전자석에 전류를 공급하는 방법을 써서 에너지와 물자소모, 전자석 발열에 의한 온도변화 및 소음을 극소화함으로써 감도 및 분해능을 크게 향상한 결과에 대하여 보고한다.

II. 장치의 구성

1. 소형전자석

본 실험에 사용한 전자석의 구조는 Fig. 1과 같다. 철심은 0.35 mm 두께의 3% SiFe를 적용하였다. 이것은 장치의 교류 또는 펄스동작시의 와류손실을 감소시키기

위한 대비책이다. 자극의 단면적은 $40 \text{mm} \times 25 \text{mm}$, 공기간격은 22 mm 이고 양극에 각각 835회의 권선을 하였으며 직류저항은 6.2Ω 였다. 최대 5.5 A의 여자전류에 의하여 500 mT의 자장을 얻었으며 이때의 소모전력은 180 W로서 박막 또는 박대의 대부분의 시료의 측정에는 충분하였다. 소형모터에 의하여 전자석을 2초간에 360° 회 전

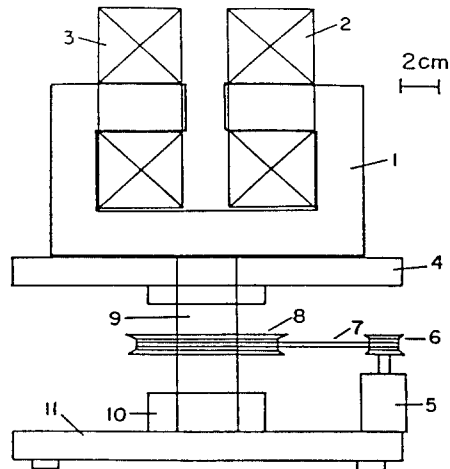


Fig. 1. Side view of the electromagnet. 1 : Yoke 2, 3 : Magnetizing coil, 4 : Supporting disc 5 : Driving motor 6, 8 : Pulleys for driving the supporting disc 7 : Rubber belt 9 : Shaft 10 : Bearing

하게 하고 전자석의 여자전류는 전자석의 회전하는 동안 만 자동적으로 공급하였다.

따라서 1회 측정시의 발열량 360J에 의한 질량 4kg의 코일의 온도상승은 0.07°C에 불과하여 시료의 온도변화 및 측정장치의 drift는 거의 무시할수 있었다.

2. 자왜측정센서

자왜측정센서의 개략도는 Fig. 2와 같다. 이것은 이미

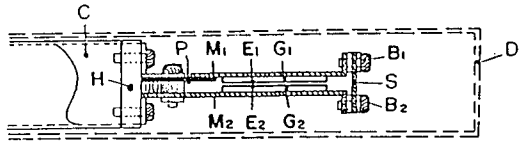


Fig. 2. The magnetostriction measurement sensor. M_1 , M_2 : Metallic supporters for electrodes G_1 , G_2 : Glass plates E_1 , E_2 : Evaporated thin film electrodes B_1 , B_2 : Screws for fixing the sample S : Sample D : Shielding case C : Cylindrical holder

발표한 것[1]과 거의 같은 구조이나 극판면적을 $1\text{cm} \times 2\text{cm}$, 전기용량을 약 20pF 정도로 소형화하여 소형 전자석에 적합하게 제작하였다. 박대시료와 고품시료에 공통으로 쓸수 있는 시료부착 장치로 되어있다. 기존장치는 전자석이 고정되고 자왜측정센서가 회전하는 구조여서 진동에 의한 잡음이 컸으나 이번 장치는 이 문제가 거의 해결되어 신호대 잡음비가 크게 향상되었다.

3. 자기이방성 센서

기본구조는 이미 발표한 것[2]과 같으나 직경을 1/2로 길이를 2배로 하여 소형 전자석에 접합하게 하는 동시에 감도를 향상시켰다. 전기용량센서의 전극의 유효면적은 1소자당 $4 \times 30\text{mm}^2$ 이고 3소자가 병렬연결되어 360mm^2 였으며 극판간격을 0.18mm로 하여 전기용량은 약 18 pF가 되게 하였다. 가동전극에는 0.15mm 두께의 인청동판을, 고정전극에는 0.8mm 두께의 Al 판을 사용하였다.

III. 실험 및 고찰

1. 비정질 박대의 자왜측정

시료로서는 수종의 Metglass [3]와 $\text{Fe}_{4.7}\text{Co}_{70.3}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ 리본을 사용하였다. Metglass는 25.6mm 폭의 소재에서 롤 방향으로 길이 10mm, 폭이 약 2mm로 절단하였

으며 모두 미열처리 상태에서 측정하였다. 2605S-3와 $\text{Fe}_{4.7}\text{Co}_{70.3}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ 시료에 대한 측정결과와 보기는 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. 포화자왜 λ_s 는 주어진 자장에서 자왜의 골과 마루까지의 변화량을 자장에 대하여 다시 그린 곡선의 직선부를 $\mu_0 H = 0$ 로 외삽하여 얻은 값 $\lambda_{90^\circ} - \lambda_{0^\circ}$ 를 써서 다음식으로 계산하였다 (Fig. 3과 Fig. 4의 아래부분).

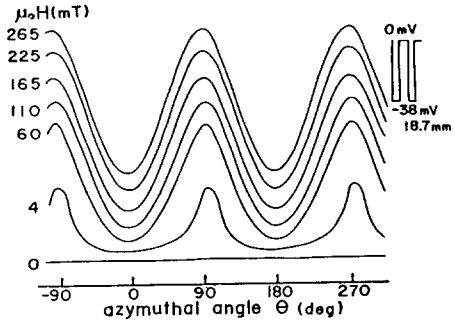


Fig. 3. The magnetostriction λ vs azimuthal angle θ and magnetic field $\mu_0 H$ of a 2605S-3

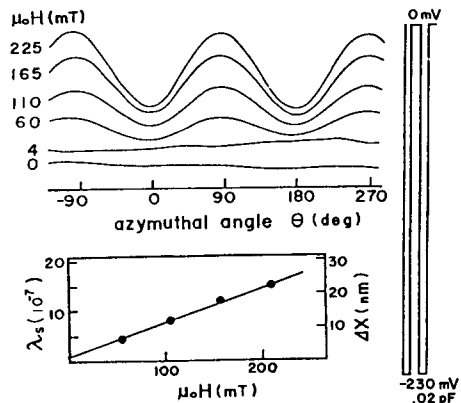


Fig. 4. The magnetostriction λ vs azimuthal angle θ and magnetic field $\mu_0 H$ of a $\text{Fe}_{4.7}\text{Co}_{70.3}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$

$$\lambda_s = \frac{2}{3} (\lambda_{90^\circ} - \lambda_{0^\circ}) \quad (1)$$

각종의 시료에 대하여 실험에서 얻은 값을 Table. 1에 요약한다.

Table I. Sample parameters and magnetostriction for several amorphous ribbons

Sample	width mm	thick μm	C _v pF	x _c μm	Δx _c mm	λ _s (10 ⁻⁶) meas.	publ.
2605SC	1.5	30	18.86	124.8	520	34.7	30
2605S3	1.8	30	17.26	136.0	358	23.9	27
2605CO	1.7	30	18.19	129.4	569	37.9	35
2826MB	1.8	25	18.88	124.7	173	11.5	12
Fe ₄₇ Co _{70.3} Si ₁₅ B ₁₀	0.8	30	21.29	110.6	1.89	0.13	≠ 0

The effective electrode area of the capacitive sensor is 266 mm².

The effective length of all samples are 10mm.

얻어진 포화자화 λ_s의 값은 공표치와 대체적으로 일치하고 있다. 그리고 자왜가 거의 0으로 알려진 Fe₄₇Co_{70.3}Si₁₅B₁₀의 λ_s도 0.13 × 10⁻⁶으로 측정되었으며 이것으로 보아 본 장치의 분해능은 최소한 10⁻⁸임을 알수 있다.

2. 비정질 시료의 이방성 상수

비정질 시료는 자기이방성이 원리적으로는 0이나 실제로는 여러 원인에 의하여 이방성이 생기며 그 값은 10³ J/m³ 임이 발표되고 있다. 이번의 실험에서는 미열처리의 시료를 직경 6~8mm의 원판으로 성형하여 측정하였다. 몇가지 시료에 대한 토크곡선의 보기를 Fig. 5에서 Fig. 9에 표시한다. 이방성이 비교적 큰 열처리전의 Fe₇₄Cu₁Nb₃Si₁₃B₉를 제외하고 거의 sin2θ의 함수임으로 보아 일축이방성임을 알수 있으며 그 진폭 A의 값을 토크 τ_p로 환산하면 일축 이방성상수 K_u는 다음식으로 구할수 있다[3]

$$K_u = 2\tau_p / v \quad (2)$$

진폭 A와 토크 τ 사이의 관계를 Fe₄₇Co_{70.3}Si₁₅B₁₀의 리본형 시료 (폭 0.8mm, 두께 20m, 길이 10mm, 미열처리)의 토크곡선 (Fig. 9)에 의하여 다음과 같이 구하였다. 전자석의 자장은 수평방향이고 토크센서의 축은 연

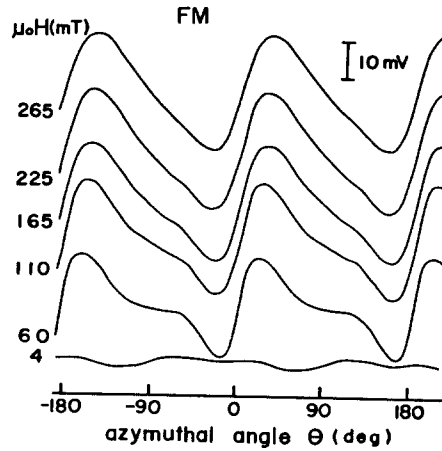


Fig. 5. The torque curves of a Fe₇₄Cu₁Nb₃Si₁₃B₉

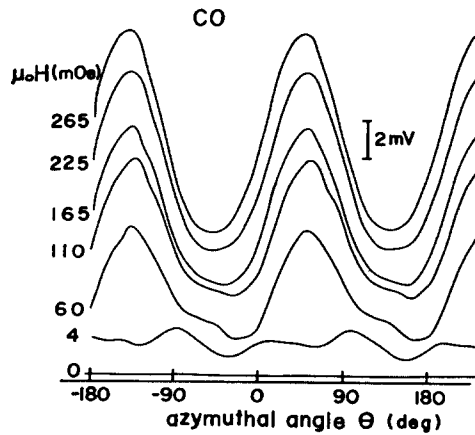


Fig. 6. The torque curves of a 2605CO

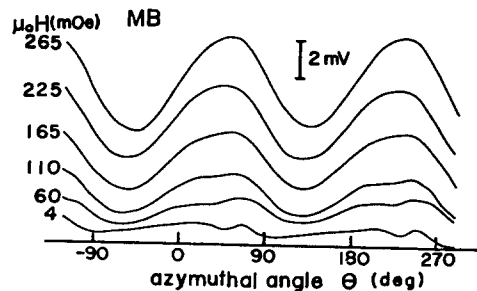


Fig. 7. The torque curves of a 2826MB

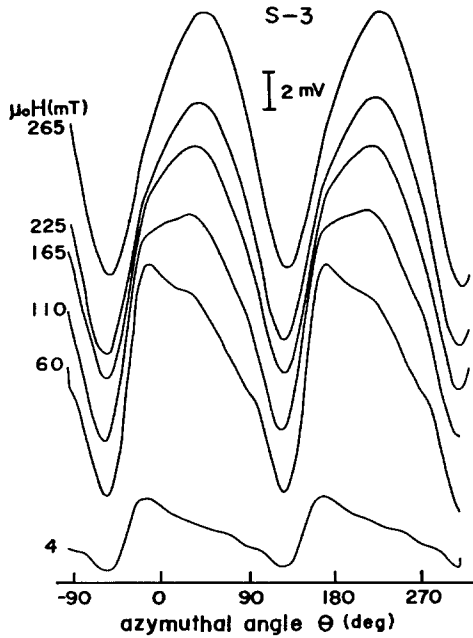


Fig. 8. The torque curves of a 2605S-3

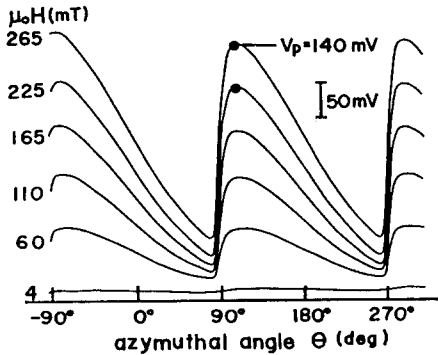


Fig. 9. The torque curves of a $Fe_{4.7}Co_{70.3}Si_{15}B_{10}$ ribbon sample for torque calibration

직 방향이며, 리본형 시료의 평면이 연직면이 되게 하면 전자석의 회전에 따라 시료의 자화는 자장과 장축사이의 각이 90° 부근에서 리본의 3축중 가장 자화가 어려운 방향으로 일어나고 이때의 토크곡선이 Fig. 9에 해당이 된

다. 인가자장 μ_0H 에 대하여 토크곡선의 진폭 A 는 거의 비례하고 있으며 $\mu_0H = 265\text{ mT}$ 때 $A = 140\text{ mV}$ 였다. 이때 시료의 면은 인가자장에 대하여 약 $\pm 14^\circ$ 의 각도이고 시료는 자기포화상태이며, 토크는 최대값 τ_p 가 되고,

$$\tau_p \cong I_s \nu H \quad (3)$$

에 의하여 τ_p 가 계산된다. 이 실험에서 $\mu_0H = 265\text{ mT}$ 때 I_s 는 0.8 T [4]로 하여 τ_p 는 27.14 nJ 로 계산되었으므로, 각 시료의 토크 곡선에서 $\mu_0H = 265\text{ mT}$ 에 대한 진폭 A_{sp} 를 구하면 그때의 시료의 토크 τ_{sp} 는

$$\tau_{sp} = (27.14 \mu\text{J} / 140\text{mV}) \cdot A_{sp} (\text{mV}) \quad (4)$$

에 의하여 구할수 있다. 각 시료에 대한 토크 및 이방성상수의 측정결과를 Table. 2에 표시한다.

Table II. The anisotropy constants and sample parameters

Sample	dia. mm	thick μm	volume nm^3	A_s mV	τ_s μJ	K_u kJ / m^3
$Fe_{71}Cu_1Nb_3Si_{13}B_9$	6.4	30	0.965	15.5	3.01	6.23
2605SC	6.6	30	1.026	1.85	0.359	0.70
2826MB	8.0	25	1.257	2.40	0.465	0.74
2605S3	8.0	30	1.508	7.05	1.37	1.81
2605CO	8.0	30	1.508	5.20	1.01	1.34

A_{sp} and τ_{sp} : The peak values of the amplitude and torque under the magnetic field of 265 mT. K_u : The uniaxial anisotropy constant.

$Fe_{74}Cu_1Nb_3Si_{13}B_9$ (Finemet)의 이방성상수가 큰 것은 열처리전의 이 시료의 투자율이 매우 낮은 것을 잘 설명하고 있으며 기타시료에 대하여서도 그 경향은 같으며 대개 $10^3\text{ J} / \text{m}^3$ 의 범위에 있다.

IV. 결 론

새로운 자성재료의 자왜와 자기이방성 측정에 적합하게 시료의 크기, 측정센서, 전자석, 전원 및 측정시간을 극소화하여 에너지와 물자소모 및 온도변화를 최소화하여 자왜와 이방성 측정의 분해능을 각각 10^{-8} , 1 nJ 수준으로 향상시켰으며 각종 시료에 적용하여 양호한 결과를 얻은 측정체계가 완성되었다.

감사의 글

본 연구는 교육부 기초과학 제3차 5개년계획 BSRI 93-213의 지원을 받았음.

참고 문헌

[1] 이용호, 신용돌, 이영희, 김희중, 강일구, 응용물리

2, pp. 437-443 (1989)

[2] 이용호, 이연숙, 신용돌, 문기원, 노태환, 김희중, 강일구, 한국자기학회지 1, pp. 30-35 (1991)

[3] Metglas 기술자료, 일본비정질금속(주), (1980)

[4] H. Fujimori and T. Masumoto, Supp. Sci. Rep. Tohoku Univ. gravitational deflection δ_G as the function of the rotation angle θ of $\text{Ni}_{53}\text{Fe}_{47}$ sample.

Magnetostriction and Magnetic Anisotropy Measurement Using High Efficiency Small Electromagnet

Yong-Ho Lee, and Yong-Dol Shin

Dept. of Physics, Jeonbuk National University, Jeonju 560-756 Korea

Byong-Geol Kim, Bok-Ki Min, and Jae-Sung Song

Magnetic Materials Lab. Korea Electrotechnical Research Institute Changwon 641-120

(Received 15 April 1994, in final form 7 June 1994)

Abstract – A high efficiency small electromagnet (22 mm air gap and $40 \times 25 \text{ mm}^2$ core's cross section) suitable for measuring magnetostriction and magnetic anisotropy was built. The magnet could be minaturized by reducing the measuring space and time. The excitation current of the electromagnet was supplied for only a few second of measuring time. Cooling system of the electromagnet could be eliminated since the dissipation energy was very small. An 0.5 T magnetic field was generated with 180 W power consumption. The values of magnetostriction and magnetic anisotropy were measured with a very sensitive capacitance cell with resolution of 10^{-8} and 1 nJ. The torque was calibrated using a soft magnetic ribbon's shape anisotropy.