A5

일축 이방성 자성박막에서 자화의 벡터적 측정을 위한 새로운 토크곡선 해석법

한국과학기술원 허 진*
한국과학기술원 신 성철

A NEW METHOD OF ANALYZING TORQUE CURVES
FOR VECTORIAL MAESUREMENTS OF MAGNETIZATION

KAIST, Jeen Hur*
KAIST, Sung-Chul Shin

1. 서론

최근 박막에 관한 연구가 고집적 기록매체, 자기 기록헤드등의 응용가능성으로 인해 활발히 진행되고 있다. 자화는 그 크기(자화량)와 방향에 의해 특정지어지는데, 자성박막을 포함한 자성체의 자화회전에 관한 정보를 얻을 수 있는 자화의 벡터적 측정은 자성물질을 이해하고 개발하는데 매우 중요하다. 통상 자화량 곡선은 범용 VSM을 사용하여 구하고 있으며 자화회전 연구에 필수적인 자화의 벡터적 측정을 위한 VSM도 연구중에 있다.[1-3] 최근 토크 자력계를 이용하여 일축이방성 자성체의 포화 자화량뿐만이 아니라 보자력을 측정할 수 있는 방법[4]과 자화량 곡선을 측정할 수 있는 방법[5-6]도 알려져 있으나 발표된 자화량 곡선 측정법[5]은 자기이방성이 큰 경우 잘 적용되는 근사적 방법이었다.

본 논문에서는 자장대 토크곡선을 자장대 자화량곡선 및 자장대 자화의 방향곡선으로 변환할 수 있는 해석적 식들을 유도하였고 null-type 토크 자력계로 자화 곡선을 2차원 벡터적으로 측정할 수 있음을 보고하고자 한다.

2. 측정 원리 및 방법

자장 H안에서 형상 이방성과 결정 이방성이 수직인 일축이방성 자성 박막의 단위 부피당 에너지 E와 토크 τ는

$$E = -MH\cos(\phi-\theta) + K_u \sin^2\theta + K_s \cos^2\theta \quad (1)$$

$$\tau = -MH\sin(\phi-\theta), \quad (2)$$

이며, 여기서 H는 인가 자장의 세기, M은 자화량, K_u, K_s는 결정 및 형상 이방성상수이고 ϕ와 θ는 자장과 자화가 자화용이축과 이루는 각도이다. 평형상태 조건 $(\partial E/\partial\theta) = 0$를 고려하면 식 (1)와 (2)로 부터 다음과 같은 식 (3)을 유도할 수 있다.

$$\tau = -K\sin 2\theta, \quad (3)$$

여기서 K 는 결정 및 형상 이방성을 포함한 유효 이방성 상수로 그 크기는 (K_u-K_s)이다. 식 (3)을 θ에 대해 풀면 다음과 같은 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$\theta = -\tfrac{1}{2}\arcsin(\tau/K). \quad (4)$$

식 (4)의 θ를 식 (2)에 대입한 후, M에 대하여 풀면 다음과 아래와 같은 식 (5)를 유도할 수 있다.

$$M = -\tau/H\sin\{\phi+\tfrac{1}{2}\arcsin(\tau/K)\}. \quad (5)$$

이제 자화의 이차원 벡터적 측정을 위해 먼저 외부 자장의 세기 H를 전자석의 포화자장의 세기로 고정하고 자장방향 ϕ을 변화시켜가며 ϕ의 함수로 측정한 토크곡선 τ[H=cont., ϕ]을 얻은 후, 자장의 방향 ϕ를 δ로 고정하고 토크를 자장의 세기 H의 함수로 측정하여 토크곡선 τ[H, $\phi=\delta$]를 얻는다. 토크곡선 τ[H=cont., ϕ]에서 1사분면 정점의 높이를 τ_p라 하면, 수직자성인 경우 τ_p는

0보다 작은데, $-\tau_p = K$ 인 관계가 있다. 따라서 τ_p를 측정하여 식 (5)와 (6)의 K 대신에 $-\tau_p$를 대입하면 다음과 같은 해석적 식들로 자화의 방향과 크기를 각각 나타낼 수 있다.

$$\theta[H, \phi=\delta] = \tfrac{1}{2} \arcsin(\tau[H, \phi=\delta]/\tau) \qquad (6)$$

$$M[H, \phi=\delta] = -\tau[H, \phi=\delta]/H\sin\{\delta - \tfrac{1}{2} \arcsin(\tau[H, \phi=\delta]/\tau_p)\}. \qquad (7)$$

따라서 τ_p와 $\tau[H, \phi=\delta]$를 측정하면 이차원 벡터적으로 자화를 측정할 수 있다.

3. 논의

통상 자장방향 대 토크의 곡선에서 정점으로부터 일축 이방성 자성체의 자기 이방성 상수를 얻을 수 있는데, 이를 위한 측정자장의 세기의 조건은 다음의 식(6)과 같다.[7]

$$H \geq (H_K/\sqrt{2}). \qquad (8)$$

여기서 $H_k(= 2K/M)$는 시료의 이방성 자장이다. 따라서 이방성 자장이 토크자력계의 전자석에 의한 측정 자장보다 높지 않은 경우, 측정이 간편할 뿐 아니라 오히려 이방성 자장이 높을 수록 감도가 높아진다. 한편, 토크 자력계의 토크측정 잡음 수준이 H에 무관함을 가정하면, 식(5)의 분모에 H가 있으므로 측정자장이 높아질 수록 잡음수준이 1/H에 비례하여 감소함을 알 수 있다. 이는 감도가 자화량에 비례하는 VSM과 비교하여 자화량은 작으나 이방성 상수가 큰 시료의 자화벡터 측정에 있어서 본 방법이 유리함을 의미한다.

한편, 이방성 자장이 매우 높은 시료의 이방성 상수를 측정하기 어렵다. 따라서 자화곡선 측정을 위해 $\delta \ll 1$로 하면 $\tau[H, \phi=\delta]/\tau_p \ll 1$이므로 식(6)은 다음과 같은 근사식

$$M[H, \phi=\delta] \cong -\tau[H, \phi=\delta]/H\sin\delta \qquad (9)$$

으로 표현될 수 있음을 알 수 있는데, 이는 J. Hur 와 S.-C. Shin[5-6]이 유도한 식 $M \cong -\tau/(\sin\phi H)$과 같다. 이때 진짜 자화값 M과 $-\tau[H, \phi=\delta]/H\sin\delta$의 차이는 다음과 같이 추산된다.

$$M + \tau[H, \phi=\delta]/H\sin\delta \cong -\tau[H, \phi=\delta]/(\delta H_k) \qquad (10)$$

따라서 근사적 방법에 의한 자화량 측정값의 정확도는 이방성 자장의 크기에 대한 측정 자장의 크기에 의존한다.

4. 결론

본 논문에서는 일축이방성 자성체의 자장 대 토크의 관계식으로부터 자장 대 자화의 관계식을 유도하여 토크 이력곡선을 자화 이력곡선으로 변환시킬 수 있는 새로운 방법을 개발하였다. 본 측정법은 이방성이 작더라도 적용되는 해석적 식을 이용하였으며 시료의 이방성 자장이 높을 수록 감도는 높아지며 측정 자장이 높아질 수록 자화 측정잡음이 줄어들었다. 한편, 이방성 자장이 큰 시료의 경우 VSM에 의한 측정 방법보다 정밀한 자화벡터 측정이 가능하리라 사려된다.

5. 참고문헌

[1] H.J. Richter, J. Mag. Mag. Mat., 111, 201 (1992).
[2] N. Inaba, H. Miyajima and S. Chikazumi, J.J.Appl.Phys., 27, 947 (1988).
[3] M. Abe, M. Gomi, K. Shono, Y. Mori and S. Nomura, J.J.Appl.Phys., 16, 279 (1977).
[4] J. Hur and S.-C. Shin, Appl. Phys. Lett., 62, 2140 (1993).
[5] 허진, 신성철, 한국자기학회 1993년 춘계 연구발표회, 24 (1993).
[6] J. Hur and S.-C. Shin, Submitted in Appl. Phys. Lett.,(1993).
[7] 허진, 신성철, 한국과학기술원 석사학위 청구 논문, chap.3 (1993).