

## 광섬유 간섭계를 이용한 급속응고리본과 박막의 자기변형 측정

김민형, 정규철, 이경식, 임상호\*

성균관대학교 전자공학과, \*한국과학기술연구원 박막기술연구센터

### Magnetostriction measurement of melt-spun ribbons and thin films by fiber-optic interferometry

Min Hyoung Kim, Kyu Cheol Jeong, Kyung Shik Lee, and Sang Ho Lim\*

Dept. of Electronic Eng. Sung Kyun Kwan Univ., \*Thin Film Tech. Research Center, KIST

**Abstract** - 광섬유 간섭계를 이용하여 급속응고 리본 및 박막의 자기변형을 측정하였다. 급속응고 리본인 METGLAS 2826MB의 자기변형값은 보고된 값과 매우 잘 일치하였다. 또한 광섬유에 박막코팅된 거대 자기변형재료의 하나인 Sm-Fe계 합금의 자기변형값을 측정하였다.

#### 1. 서 론

지금까지 광섬유 간섭계를 이용한 자기변형특성 연구가 여러 연구자[1,2]에 의해서 수행되어 왔다. 본 연구에서는 이미 본 저자들에 의해서 보고된 바 있는 광섬유 Mach-Zehnder 간섭계 시스템[2]을 이용해 METGLAS 2826MB( $Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$ ) 급속응고리본의 자기변형을 측정 한 후, 시스템의 측정 정확도를 확인하기 위해 보고된 값[3]과 비교하였다. 또한 같은 측정 시스템을 이용하여 광섬유 위에 직접 코팅된 Sm-Fe계 거대 자기변형박막의 자기변형 특성도 조사하였다.

#### 2. 자기변형측정 원리 및 실험결과

광섬유 간섭계의 한쪽 경로에 자기변형재질을 부착하고 직류 자계  $H$ 와 교류 자계  $H_{\omega}$ 를 동시에 인가하면 주파수  $\omega$ 에서의 스트레인과 이로 인한 위상 변화는 다음 식으로 주어진다.

$$e_{\omega} = 2C_{eff}(H - H_c)H_{\omega} \quad (1)$$

$$\phi_{\omega} = 2k_{eff}LC_{eff}(H - H_c)H_{\omega} \quad (2)$$

여기서  $C_{eff}$ 는 유효자기변형상수,  $k_{eff}$ 는 광섬유 내에서 빛의 유효전파상수,  $H_c$ 는 보자력(coercive field)이다. 위상 변화  $\phi_{\omega}$ 는 인가한 자계에 의한 스트레인에 비례하므로 이에 따른 간섭계의 출력변화를 측정함으로써 자계에 의한 스트레인을 측정할 수 있다. 본 실험에서는 자기변형재질의 자기변형 특성을 측정하기 위하여 광섬유 Mach-Zehnder 간

섭계를 사용하였다.

측정에 사용된 재질 METGLAS 2826MB는 리본 형태로써 두께는  $25 \mu m$ 이며, 폭은  $5 mm$ , 길이는  $25 mm$ 이다. 리본의 자구구조를 제어하기 위하여  $350^{\circ}C$ 에서 2시간 동안 진공에서 자장중 열처리를 행하였다. 인가된 자기장의 크기는  $1 kOe$ 였으며, 방향은 리본의 길이에 평행한(parallel) 방향과 길이에 수직인(transverse) 방향의 두 종류인데, 본 논문에서는 편의상 2826MB(P), 2826MB(T)로 각각 표시하였다. 이 두 자기변형재질은 로딩효과/loading effect)를 최소로 하고 스트레인 전달효율을 높이기 위해 광섬유의 재킷을 벗긴 후 양끝 본딩하여 부착되었다[4]. 그리고 조성이 다른 두 가지 Sm-Fe계 합금을 광섬유 재킷을 제거한 후 코팅하였는데, 코팅 길이는  $25 mm$  정도이며 본 논문에서는 편의상 각각 Sm-Fe(I)과 Sm-Fe(II)로 나타내었다.

자기변형재질이 부착된 광섬유는 간섭계의 감지 경로(sensing arm)에 연결되었으며 솔레노이드를 이용하여 자기변형재질에 길이방향으로 직류 자계와 교류 자계를 동시에 인가하였다. 간섭계의 출력은 전자회로에서 신호 처리된 후 일부는 측정 시스템의 안정화를 위해 기준 경로(reference arm)에 부착된 PZT로 제한되고 일부는 LIA(Lock-In Amplifier)로 입력되어 최종 결과를 얻었다.

그림1과 그림2는 METGLAS 2826MB(T)와 2826MB(P)의 실험결과이다. 모두  $10 Hz$ 에서 실험을 행하였다. 그림에서 보는 바와 같이 최대  $20 Oe$ 의 자기장 이내에서 두 시료 모두 거의 완전한 포화가 일어났으며, 2826MB(P) 시료가 2826MB(T) 시료보다 낮은 자기장에서 포화가 일어났다. 2826MB(T)의 경우 최대  $22.26 ppm$ 의 값이 얻어졌는데, 이는 자구가 완전히 폭 방향으로 정렬되었으며 또한 완전히 포화가 일어났다고 가정할 때 이론적으로 얻어질 수 있는 값인  $24 ppm$ (즉, 이 재료의 포화자기변형값  $12 ppm$ 의 2배) 보다는 다소 낮으나, 매우 근접한 값이다. 이러한 차이는 자장 열처리에 의해 자구의 완전한 정렬이 일어나지 않았기

나 시료가 완전히 포화되지 않았기 때문에 생각된다. 특히 자구의 불완전 정렬의 경우는 2826MB(P) 시료의 자기변형값이 자구가 완전히 정렬되는 경우 0이어야 하나 실제로는 그림 2에서 보는 바와 같이 최대 1.472 ppm의 값을 보이는 것의 의해서도 뒷받침된다. 이러한 사항을 고려할 때 본 연구에서 사용된 광섬유 간섭계 시스템은 신뢰성이 매우 우수한 것으로 평가된다.

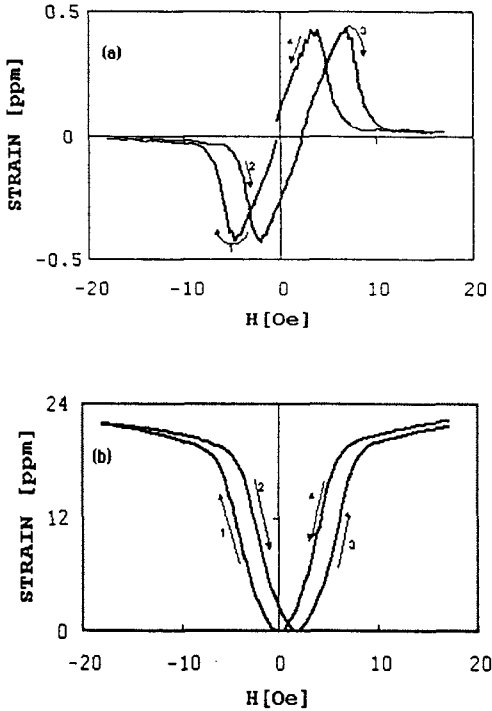


그림1. Magnetostrictive responses as a function of dc-bias field for transversely field annealed metallic glass ribbon 2826MB ( $f = 10$  Hz,  $H_w = 90$  mOe). (a) AC response, (b) DC response.

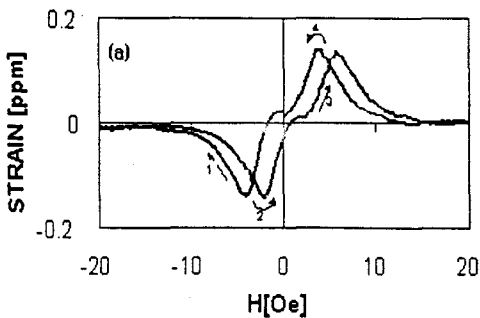


그림3. Frequency response of transversely field annealed metallic glass ribbon 2826MB ( $H_w = 50$  mOe,  $H = 5.57$ Oe)

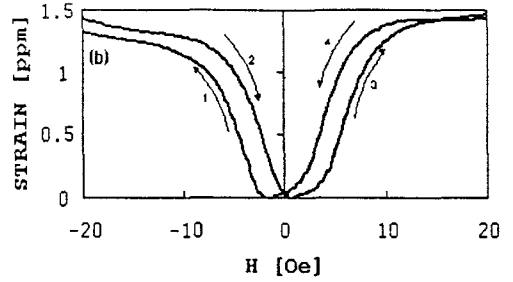


그림2. Magnetostrictive responses as a function of dc-bias field for parallel field annealed metallic glass ribbon 2826MB ( $f = 10$  Hz,  $H_w = 0.49$  Oe) (a) AC response, (b) DC response.

2826MB(T) 재질에 대한 주파수 특성도 측정해보았으며, 공진 주파수에서의 자기변형값을 측정해보았다. 그림3과 그림4에서 보듯이 공진은 약 4.7 kHz에서 발생하였으며 그 주파수에서의 자기변형값은 90.766 ppm으로 10 Hz일 때 보다 약 4배 큰 값을 얻을 수 있었다.

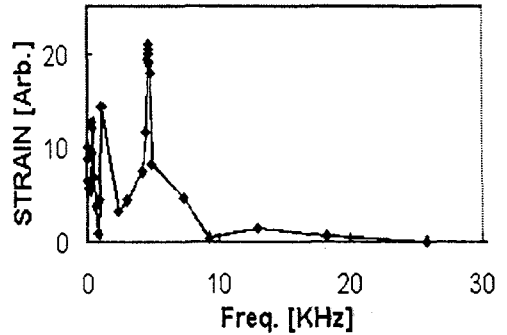


그림4. DC magnetostrictive response of transversely field annealed metallic glass ribbon 2826MB ( $H_w = 16.5$  mOe,  $f = 4.7$  kHz)

Sm-Fe(I)과 Sm-Fe(II)에 대한 결과는 그림5와 6에 나타내었다. METGLAS 2826MB 합금리본과는 달리 본 간섭계 시스템에서 인가할 수 있는 최대 자기장인 250 Oe이상의 자기장에서 완전히 포화되지 않았으며, 자기이력(hysteresis) 또한 매우 크게 나타났다. 단결정 또는 입자의 방향이 매우 잘 정렬된 시료에서 매우 큰 자기변형값을 보이는 것과는 달리 매우 작은 자기변형값이 관찰되었는데, 이에 대해서는 자구구조에 대한 분석 등 보다 자세한 연구가 필요하다.

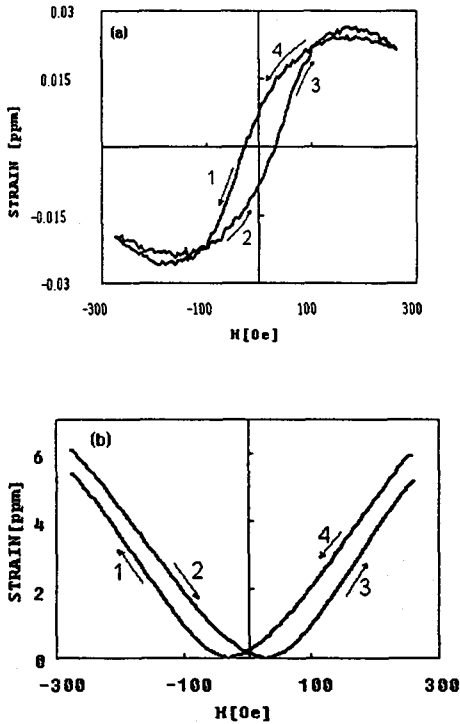


그림5. Magnetostrictive responses as a function of dc-bias field for the Sm-Fe(I) thin film ( $H_w = 0.93$  Oe,  $f = 2.68$  kHz). (a) AC response, (b) DC response.

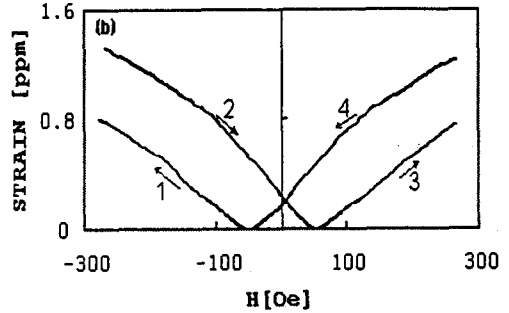
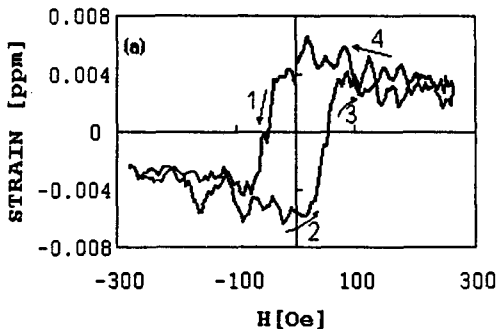


그림6. Magnetostrictive responses as a function of dc-bias field for the Sm-Fe(II) thin film ( $H_w = 0.95$  Oe,  $f = 15$  Hz). (a) AC response, (b) DC response.

### 3. 결 론

광섬유 간섭계를 이용하여 급속응고리본인 METGLAS 2826MB와 광섬유에 직접 코팅된 Sm-Fe계 합금의 자기변형특성을 측정하였다. METGLAS 2826MB의 포화자기변형값  $\lambda_s$ 는 11.13 ppm으로 보고된 값 12ppm[3]과 비교적 잘 일치하였는데, 자장중 열처리에 의해 스핀이 완전히 정렬되지 않은 사실을 고려하면 본 연구에서 사용된 간섭계 시스템의 신뢰도가 매우 우수한 것으로 평가된다. 광섬유에 직접 코팅된 Sm-Fe계 합금의 경우 매우 작은 자기변형값이 관찰되었는데 이에 대해 보다 자세한 연구가 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J. E. Lenz, C. D. Anderson, and L. K. Strandjord, "Magnetic materials characterization using a fiber optic magnetometer", J. Appl. Phys., Vol. 57, No. 1, pp.3820-3822, 1985
- [2] Kyung Shik Lee, Hyun Seo Kang, Moo Youn Park, "Fiber optic magnetostrictive transducers for magnetic field sensing", Optical Engineering, Vol. 34, No. 12, pp.3577-3582, December 1995
- [3] Nilaco Data sheet, "High purity Metals & Chemicals for Research & Industry", No. 23, pp.180-181, 1993
- [4] 박무윤, 김태균, 이경식, "본딩 구조에 따른 광섬유 자왜변환기의 응답특성", 한국광학회지, 제7권, pp.72-76, 1996년 3월