

Nd 치환 RE-TM 막의 자기 및 자기광학적 특성

이정구 · 최영준

대구대학교 물리교육과

경산 713-714

임은식 · 이세광 · 김순광

한국과학기술연구원 재료설계연구실

서울 136-791

(1994년 7월 17일 받음, 1994년 9월 15일 최종수정본 받음)

NdTbFeCo 합금막 및 NdTbFeCo/TbFeCo 이층막에 대한 자기광학 Kerr 회전각(θ_k)의 파장의존성 및 자기적 특성을 조사하였다. FeCo의 조성을 일정하게 유지하고 NdTbFeCo 합금막에서 Tb의 일부를 Nd로 치환한 결과, Nd 조성이 증가할 수록 400 nm의 파장영역에서 θ_k 는 증대되었으나, 보자력과 각형비가 급격히 감소하였다. NdTbFeCo 막이 단파장에서 큰 θ_k 를 나타냄에도 불구하고 보자력이 작아 단파장용 광자기기록 매체로서 응용가능성이 희박할 것으로 생각되어, 보자력이 큰 TbFeCo 막과 교환결합 이층막을 제작하였다. 제작된 시료중 Nd_{16.9}Tb_{15.2}Fe_{50.4}Co_{17.5}(150 Å)/Tb_{21.1}Fe_{65.0}Co_{13.9}(300 Å) 교환결합 이층막이 6.0 KOe의 보자력과 500 nm에서 0.32°의 θ_k 를 나타내었다.

I. 서 론

광자기기록은 1988년 부터 이미 제 1세대 제품이 실용화되고 있고, 현재는 고기록 밀도화에 대한 관심이 집중되고 있다. 기록 밀도를 증대시키기 위해서는 단파장(<600 nm) 영역에서 큰 자기광학효과를 나타내며, 또한 보자력이 큰 물질이 요구된다. 현재 광자기 기록 재료로서 주류를 이루고 있는 TbFeCo 합금막은 파장이 짧아짐에 따라 자기광학효과가 급격히 작아지는 불리한 특성을 지니고 있다. 이를 개선하기 위하여 단파장 영역에서 큰 자기광학효과를 나타낸다고 알려진 경희토류(LRE)계통의 Nd 및 Pr 등을 [1] 이용해 보고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다 [2]. TbFeCo 막의 Tb 일부를 Nd 등으로 치환할 경우 합금막의 자화량(M_s)이 증대되어 수직자기 이방성 및 보자력(H_c)을 감소시키는 문제점을 안고있다. 한편 스퍼터링방법으로 제작 NdTbFeCo 합금막에서는 Nd에 의한 자기광학효과를 기대할 수 없다는 실험보고 [3]도 있으며, McGuire 등 [4] 및 Reim 등 [5]은 600 ~ 800 nm의 장파장 영역에서 Nd의 기여가 있다고 보고하고 있어, NdTbFeCo 합금막에 대한 자기광학적 특성도 모호한 형편이다.

본 연구에서는 스퍼터링 방법으로 제조한 NdTbFeCo 합금막의 Nd 조성에 따른 자기광학효과에 대한 파장의존성과 보자력의 변화를 조사하고, 또한 자기적 특성의 개선을 위하여 NdTbFeCo 막과 TbFeCo 막을 이층막

로 제작하여 이들의 자기적 및 자기광학적 특성을 보고하고자 한다.

II. 실험방법

시료는 슬라이드 글라스 위에 DC, RF 겸용 마그네트론 스퍼터링 장치에서 Fe기판위에 Co, Tb 및 Nd 칩을 얹은 복합타겟을 사용하여 제작하였다. 스퍼터링 전 스퍼터실의 진공도는 7×10^{-7} Torr 이하였으며, 스퍼터용 기체는 순도 99.999 %의 Ar을 이용하여 Ar 압력 1 ~ 3 mTorr에서 자성막을 300 W의 전력으로 DC 스퍼터링한 후, 진공을 깨지않은 상태에서 보호막(SiN_x)을 약 700 Å 정도의 두께로 RF 스퍼터링하였다. 단일막의 경우에는 자성막을 1000 Å 두께로 하였으며, 이층막의 경우에는 먼저 NdTbFeCo 막을 100 ~ 300 Å으로 증착한 후 TbFeCo 막을 200 ~ 300 Å으로 증착하였다.

박막의 두께는 시편에 단차를 주어 탐침법을 이용한 TENCOR社의 Alpha-Step 200을 사용하여 측정하였고, 조성분석은 ICP 방법으로 하였다. 박막의 포화자화량 및 보자력은 VSM으로 측정하였으며, Kerr 이력곡선 및 Kerr 회전각(θ_k)은 각각 780 nm 파장의 반도체 레이저를 이용한 Kerr Loop Tracer와 파장이 400 ~ 800 nm 까지 연속 변화 가능한 Automatic Null Type Kerr Spectrometer를 사용하여 기판쪽으로부터 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. NdTbFeCo 합금막의 자기 및 자기광학적 특성

NdTbFeCo 합금막에서 Nd이 자기광학효과에 미치는 영향을 조사하기 위하여 FeCo로 이루어진 TM 부격자의 함량을 76 ± 1 at.%로 일정히 유지하고 Nd 조성을 7 at.%에서 14 at.%까지 변화시켜가며 제작된 시료들에 대한 θ_k 스펙트럼을 그림 1에 나타내었다. 또한 이들과 비교하기 위하여 Nd이 포함되지 않은 TbFeCo 막의 θ_k 스펙트럼도 그림 1에 함께 표시하였다. 모든 막들이

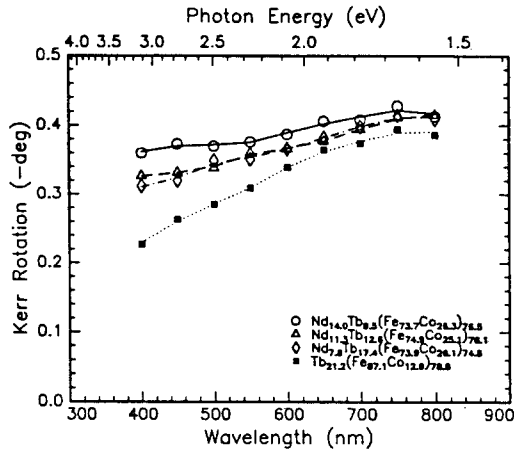


Fig. 1. The wavelength dependence of Kerr rotation angle(θ_k) for TbFeCo and NdTbFeCo films.

800 nm 부근의 장파장 영역에서 막의 조성에는 관계없이 θ_k 가 0.4° 정도로 같은 값을 나타내고 있으나, 파장이 짧아지면서 NdTbFeCo 막에 비해 TbFeCo 막은 급격히 감소하여 단파장 영역에서는 막의 조성에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 400 nm 파장에서 Tb_{21.2}(Fe_{87.1}Co_{12.9})_{78.8} 막의 θ_k 는 0.22° 였고 Nd이 포함된 막은 0.3° 에서 0.36° 정도의 큰 θ_k 를 나타내었으며, Nd 함량이 증가함에 따라 증가하였다. 이와 같은 현상은 스퍼터링 방법으로 제작한 막에서도 단파장에서 Nd이 자기광학효과에 크게 기여하고 있음을 의미하며, Choe 등[1]이 진공증착막으로 보고한 결과와 일치한다.

그림 1에 사용된 막들에 대한 Kerr 이력곡선을 그림 2에 나타내었다. 780 nm 파장에서 측정한 것이므로 θ_k 는 0.4° 정도로 모든 시료가 거의 같으나, 보자력은 TbFeCo 막의 경우 9.4 KOe로 큰 값인데 비하여 Nd의 조성이 7.8 at.%, 11.3 at.%, 14.0 at.%로 증가함에 따라 각각

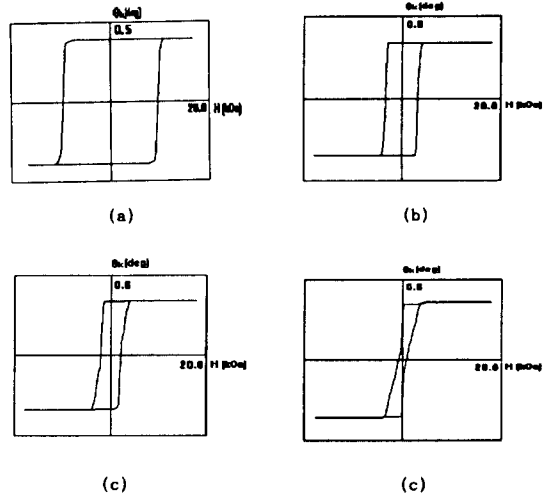


Fig. 2. Kerr hysteresis loops measured at 780 nm for (a) Tb_{21.2}(Fe_{87.1}Co_{12.9})_{78.8}, (b) Nd_{7.8}Fe_{17.4}(Fe_{73.9}Co_{26.1})_{74.8}, (c) Nd_{11.3}Tb_{12.6}(Fe_{74.9}Co_{25.1})_{76.1}, (d) Nd_{14.0}Tb_{9.5}(Fe_{73.7}Co_{26.3})_{76.5} films.

3.2 KOe, 2.1 KOe, 0.8 KOe로 급격히 감소하였으며, Nd 14.0 at.%의 경우는 각형비도 0.5 정도로 크게 나빠졌다. 이와같은 보자력의 감소는 Nd을 포함한 RE-TM 막의 수직이방성 에너지(K_u)가 충분히 큰 값을 갖는 것으로 보고된 결과[6]를 참고하면, Tb과 달리 Nd이 TM과 강자성 결합을 함으로써, Tb 일부를 Nd로 치환함에 따라 NdTbFeCo 막의 자화량(M_s)이 증가하여 이방성 자장(H_k)이 감소하기때문인 것으로 생각된다. 자기광학효과를 증대시키기 위하여 TbFeCo 막에 Tb 일부를 Nd로 치환할 경우 단파장에서는 그 효과가 크게 개선되지만, 보자력 및 각형비가 급격히 작아져 NdTbFeCo 단일막으로는 광자기 기록재료로 응용가능성이 희박할 것으로 생각된다.

2. NdTbFeCo/ TbFeCo 이층막의 자기 및 자기광학적 특성

NdTbFeCo 막의 자기적 특성을 개선하기 위하여 TbFeCo 막과 여러가지 두께의 이층막을 만들고, 이들에 대한 θ_k 의 파장의존성을 그림 3에 나타내었으며, 비교를 위하여 이층막에 사용된 NdTbFeCo 및 TbFeCo 단층막의 θ_k 스펙트럼도 함께 표시하였다. NdTbFeCo 층에서 FeCo 부격자내의 Fe와 Co의 조성비는 FeCo 합금막에서 θ_k 가 가장 커진다고 알려진 약 7:3 정도로 하였다[7, 8]. 이층막의 전체 두께는 응용성을 고려하여 대부분 400 Å 정도 이내로 얇게 하였으며, NdTbFeCo 층의 두께는

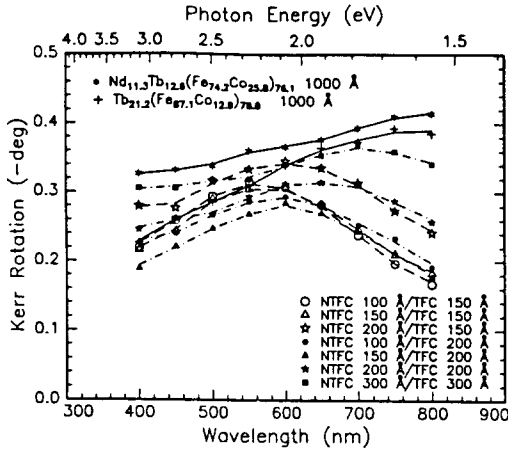


Fig. 3. The wavelength dependence of Kerr rotation angle (θ_k) for NdTbFeCo and TbFeCo films, and for NdTbFeCo /TbFeCo double-layered films.

bulk 상태가 나타내는 θ_k 값의 약 70 % 이상이 되도록 100 Å 보다 두껍게 하였다[9, 10]. NdTbFeCo 및 TbFeCo 단층막에 대한 θ_k 스펙트럼이 파장이 짧아짐에 따라 단조롭게 감소하는 것에 비하여 이중막들은 600 nm 이상의 장파장 영역에서 이중막 전체 두께가 얇아질 수록 θ_k 가 TbFeCo 단층막 보다 크게 작아지며, 600 nm 부근에서 폭넓은 새로운 Peak를 나타내는것이 특징적이다. 이들 Peak의 위치는 전체막의 두께 또는 NdTbFeCo 층의 두께가 두꺼워질 수록 장파장 쪽으로 이동하는 경향을 보이고 있어, 이 Peak들은 박막내에서 빛의 다중반사에 의한 간섭현상에 의한 것으로 생각된다.

이중막들의 자기적 특성을 알아보기 위하여 Kerr 이력 곡선으로 부터 측정된 각층의 반전자장(H_s)에 대한 실험 값 및 계산값과, VSM으로 측정된 단층막의 M_s 및 H_k 값을 표 1에 나타내었다. 시료번호가 10 단위인 시료는 1 mTorr의 Ar 압력하에서 제작된 시료들을 의미하고, 30 단위로 표시된 시료는 같은 타겟을 이용하여 3 mTorr에서 제작된 시료들이다. H_s 에서 위에 적은 수치는 NdTbFeCo 층의 반전자장값을 의미하고 아래 적은 수치는 TbFeCo 층의 반전자장값을 의미한다. H_{cc} 는 이중 모 두가 자화반전을 동시에 일으키는 반전자장을 의미하며, 1(NdTbFeCo)층 및 2(TbFeCo)층 각 층의 M_s , H_c 및 두께(h) 를 이용하여 다음 식으로부터 계산되는 값이다 [2, 9].

$$H_{cc} = -(M_{s1}h_1H_{c1} + M_{s2}h_2H_{c2}) / (M_{s1}h_1 + M_{s2}h_2) \quad (1)$$

Table. 1. Saturation magnetization(M_s), coercivity (H_c) and switching field(H_s , H_{cc}) for NdTbFeCo and TbFeCo films, and for NdTbFeCo /TbFeCo double-layered films.

Sample No.	Property	Property		
		M_s (emu/cm ³)	H_c (KOe)	H_c (KOe) (cal.)
10	NdTbFeCo 1000 Å	164	1.01	
11	NTFC 100 Å /TFC 300 Å		2.50	8.67
12	NTFC 150 Å /TFC 300 Å		5.96	6.56
13	NTFC 200 Å /TFC 300 Å		3.46	
14	NTFC 300 Å /TFC 300 Å		7.67	2.75
15	TbFeCo 1000 Å	73.18	12.79	11.00
30	NdTbFeCo 1000 Å	250	2.06	
31	NTFC 100 Å /TFC 300 Å		4.69	5.16
32	NTFC 150 Å /TFC 300 Å		4.31	4.90
33	NTFC 200 Å /TFC 200 Å		4.12	4.03
34	NTFC 300 Å /TFC 300 Å		2.94	6.66
35	TbFeCo 1000 Å	90	9.41	

시료번호 12, 31, 33 시료는 두 층의 자화반전이 동시에 일어나는 교환결합이 잘된 이중막이며, 반전자장의 실험값(H_s)과 계산값(H_{cc})이 거의 일치한다. 11번 시료를 제외하면 NdTbFeCo 층의 두께가 얇을수록 교환결합이 잘 일어나는 것으로 생각되며, 이는 NdTbFeCo 층만의 반전자장(H_{Nd})에 대한 이론값이 제면에서의 자벽에너지 밀도를 σ_w 라 할때,

$$H_{Nd} = -(\sigma_w / 2M_{s1} h_1) - H_{c1} \quad (2)$$

로 주어지는 것을 고려하면[2, 9], NdTbFeCo 층의 두께 h_1 이 작을수록 H_{Nd} 가 커져 H_{cc} 를 증가할 경우 H_{cc} 자장하에서 두층이 동시에 자화반전을 일으키는 것으로 생각된다. 제작된 시료중 12번 시료인 Nd_{16.9}Tb_{15.2}Fe_{50.4}Co_{17.5} 층 150 Å 두께와 Tb_{21.1}Fe_{65.0}Co_{13.9} 층 300 Å 두께

로 된 이층막이 보자력 5.96 KOe로 가장 양호한 교환결합 이층막을 얻었으며, 550 nm 파장에서 약 0.32°의 자기광학효과를 나타내었다.

그림 4에는 Ar 압력 1 mTorr에서 제작한 10 단위 시

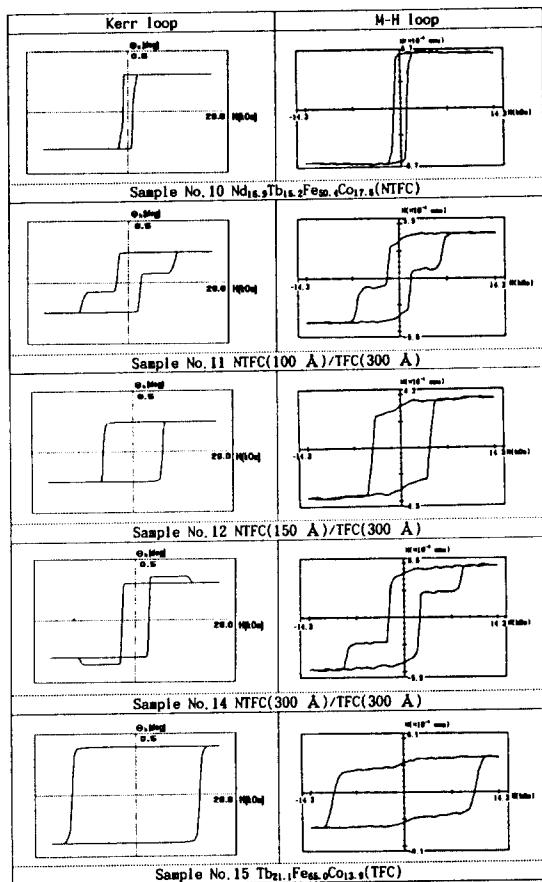


Fig. 4. Kerr and magnetization hysteresis loops for NdTbFeCo and TbFeCo films, and for NdTbFeCo/TbFeCo double-layered films.

료에 대한 단층막 및 이층막에 대한 Kerr 이력곡선과 자기(M-H) 이력곡선을 나타내었다. 14번 시료를 제외하고는 각 시료에 대한 Kerr 이력곡선과 M-H 이력곡선이 서로 유사한 모양을 하고 있다. 11번 시료와 14번 시료에 대한 M-H 및 Kerr 이력곡선으로부터 두번의 자화반전 자장이 나타남을 알 수 있으며, 작은 자화반전 자장에서 M_s 의 부호가 달라지는 것으로 보아 자화량이 큰 NdTbFeCo 층이 먼저 자화반전하고 있음을 알 수 있다. 12번 시료는 중간자화반전 과정없이 두층이 강하게 결합

된 상태로 동시에 자화반전을 하고 있으며, NdTbFeCo 층의 반전자장은 5.96 KOe로 단일막의 보자력 1.0 KOe 보다 크게 향상 되었다. 14번 시료의 Kerr 이력곡선은 11번 시료와는 달리 TbFeCo 층의 자화반전에 의하여 θ_k 가 감소하는 것으로 나타나있으며, NdTbFeCo 층 및 TbFeCo 층 모두 TM-rich 막임과 780 nm에서의 θ_k 는 주로 TM 부격자에 의한 것임을 고려하면, TM 부격자의 자기모멘트가 반평행할 경우 평행할 때보다 오히려 θ_k 값이 크게되는 비정상 Kerr 이력곡선을 보이고 있다. 이는 NdTbFeCo 층내에서 빛의 다중반사에 의한 간섭효과에 의하여 TbFeCo 막의 θ_k 에 위상 변화가 발생하여 나타나는 것으로 생각된다.

IV. 결 론

스터퍼링 방법으로 제작한 NdTbFeCo 단일막과 NdTbFeCo/TbFeCo 이층막의 자기 및 자기광학적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) NdTbFeCo 막의 θ_k 는 TbFeCo 막의 그것과 800 nm에서는 거의 같은 값을 보였으나, Nd의 조성이 많은 시료일수록 단파장에서 큰 자기광학효과를 나타낸다.
- (2) 보자력 및 각형비는 Nd 조성의 증가에 따라 급격히 감소하여, NdTbFeCo 단층막으로서는 고기록 밀도용 광자기기록 매체로 응용가능성이 희박하다.
- (3) NdTbFeCo/TbFeCo 이층막의 자기광학 효과는 600 nm 부근에서 폭넓은 Peak를 나타내었으며, 이 Peak는 NdTbFeCo 층 또는 이층전체가 두꺼워질수록 Peak의 정점이 장파장쪽으로 이동한다.
- (4) NdTbFeCo 층의 두께가 얇을수록 양호한 교환결합 이층막이 되었으며, 보자력은 교환결합 이층막 이론과 잘 일치한다.
- (5) 제작한 시료중 Nd_{16.9}Tb_{15.2}Fe_{50.4}Co_{17.5} 층 150 Å 두께와 Tb_{21.1}Fe_{65.0}Co_{13.9} 층 300 Å 두께로 된 이층막이 보자력 5.96 KOe로 가장 양호한 교환결합 이층막을 얻었으며, 550 nm에서 약 0.32°의 Kerr 회전각을 나타내어 이러한 교환결합이층막이 단파장용 광자기 기록 재료로 응용가능성이 있음을 보였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원의 연구비 지원(계약번호 93HN-088)에 의하여 수행된 것임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] Y. J. Choe, S. Tsunashima and S. Uchiyama, *J. de Physique* **C8**, 1953(1988).
- [2] Y. J. Ahn, H. C. Hong, S. S. Kim, Y. G. Kim and K. Y. Park, Technical Report of IEICE, *Jpn. MR93*, 43(1993).
- [3] T. Suzuki, C. -J. Lin, and A. E. Bell, *IEEE. Trans. Magn.* **MAG-24**, 2452(1988).
- [4] T. R. McGuire, R. J. Gambino, T. S. Plaskett and W. Reim, *J. Appl. Phys.* **61**, 3352(1987).
- [5] W. Reim, R. J. Gambino, R. R. Ruf and T. S. Plaskett, *J. Appl. Phys.* **61**, 3349(1987).
- [6] T. Suzuki, *J. Mag. Magn. Mat.* **54-57**, 1407 (1986).
- [7] N. Endo, S. Masui, K. Kobayashi, S. Tsunashima and S. Uchiyama, *J. Magn. Soc. Jpn.* **8**, 101(1984).
- [8] R. J. Gambino, T. R. McGuire, *J. Appl. Phys.* **57**, 3906(1985).
- [9] R. J. Gambino, T. S. Plaskett and R. R. Ruf, *IEEE. Trans. Magn.* **MAG-24** 2557(1988).
- [10] S. Tsunashima, Y. J. Choe, K. Ito, and S. Uchiyama, *MRS Int'l. Mtg. on Adv. Mats.* **10**, 355(1989).

Magnetic and Magneto-optical Characteristics for Nd-RE-TM Amorphous Alloy Films

J. G. Lee, Y. J. Choe

Tuegu univ. Dept. of physics Education, Keongsan 713-714

E. S. Leem, S. K. Lee, S. K. Kim

Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791

(Received 17 July 1994, in final form 15 September 1994)

Magnetic and Magneto-optical characteristics of NdTbFeCo alloy films and NdTbFeCo/TbFeCo double-layered films have been investigated. It was observed that the Kerr rotation(θ_k) in the short wavelength region increased and the coercivity decreased as the substitutional amount of Nd for Tb in NdTbFeCo film at the constant FeCo content. In spite of the increased θ_k , a small coercivity of NdTbFeCo film made this medium unsuitable for magneto-optical recording medium at short wavelength. An effort was made to improve coercivity by exchange coupling with TbFeCo film of high coercivity. In the exchange-coupled Nd_{16.9}Tb_{15.2}Fe_{50.4}Co_{17.5} (150 Å) / Tb_{21.1}Fe_{65.0}Co_{13.9} (300 Å) double-layered film, the magnetization reversal switching field and the Kerr rotation angle were increased to about 6.0 KOe and 0.32° at 500 nm, respectively. This result indicates that exchange-coupled NdTbFeCo/TbFeCo film can be a promising candidate for magneto-optical recording medium short wavelength.