

680nm 파장에서 TbFeCo 광자기 기록매체의 동특성

논문
8-5-3

Dynamic Characteristics of TbFeCo Magneto-Optical Recording Media at 680nm Wavelength Region

윤 두원*, 연 정, 김 명룡*

(Doowon Yoon, Cheong Yeon, Myong Ryeong Kirh)

Abstract

Dynamic characteristics of TbFeCo magneto-optical recording media at 680nm wavelength region were studied by means of computer simulation of disc structure and optimization of process variables during sputter deposition. With the slightly reduced Kerr rotation angle due to the reduced wavelength of optical laser source, the improved recording density in TbFeCo magneto-optical media showing the CNR greater than 50dB could be achieved by only adjusting the thickness of dielectric and the recording layers when the wavelength of light source is changed from 780nm to 680nm. In addition, the recording power margin of 5mW and the 2mW minimum recording power was realized. It was shown from the present study that the increase in laser power density demonstrated feasibility of low cost and low power laser diode with the reduced optimum recording power.

Keyword(주요용어) : Magneto-optical recording media (광자기 기록매체), Kerr rotation angle (Kerr 회전각, θ_k), dynamic characteristics (동특성), Signal-to-noise ratio (신호대 잡음비, SNR), Dielectric layer (유전체층), Recording layer (기록층)

1. 연구배경 및 목적

오늘날 거의 모든 컴퓨터에서는 사용자가 쉽게 친해질 수 있는 대용량의 operating 시스템의 수요가 급증하고 동화상(moving picture)이나 음악을 조합시킨 응용 software의 수가 늘어남에 따라, 대용량의 정보저장매체가 요구된다. 이처럼 멀티미디어 환경에서는 호환성과 휴대성 등의 여러 측면 때문에 단순히 매체의 물리적 크기를 크게하기 보다는 고밀도화를 통한 방대한 양의 정보저장 방식이 채택되어 왔다. 여기서 고밀도기록의 실현방법으로는 광원의 단파장화와 개구수(numerical aperture, NA)가 큰 대물렌즈를 이용한 광학계의 구성¹⁾, 매질 및 광원의 초해상기술, format 및 coding 방식의 개선²⁾ 등이 제시되었다. 그러나 렌즈의 개구수를 증가시키기에 따라 빔크기는 작아지지만 서보의 초점심도가 짧아져 트래킹이 어려우므로 광원의 단파장화에 의한 기록밀도의 향상에 더 많은 노력이 경주되고 있다. 특히 단파장 광원을 사용할 경

우, 기록매체는 광원의 파장변화에 대응하여 양호한 재생신호 및 낮은 매체잡음이 필수적이다. 이런 관점에서 현재 광자기(magneto-optical) 기록매체로 가장 널리 사용되고 있는 희토류-천이금속(rare-earth transition metal, RE-TM)계의 TbFeCo합금은 단파장 광원으로 광학계를 구성할 경우, Kerr 회전각(θ_k)이 감소하여 재생신호가 약한 문제점을 안고 있다.^{3,4)} 따라서 광원의 단파장화에 따른 재생신호의 감소를 방지하고자 매체의 Kerr회전각이 높은 귀금속계의 Co/Pt이나 Co/Pd를 조합한 다층박막에 대한 연구가 진행되어 왔다.^{5,6)} 그러나 이들 시스템의 경우, 다층박막제조로 인한 공정상의 어려움과 고가의 재료비 부담으로 인해 상용화가 쉽지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 RE-TM계의 TbFeCo합금이 단파장화에서 재생신호의 감소가 문제되지만, 디스크를 구성하는 유전체막, 반사막과 기록막의 두께 최적화를 통해 동특성을 향상 시킴으로써 680nm 파장대역에서 단층기록막에 의한 기록밀도의 향상을 시도하였다. 본 연구에서는 기록서 비트크기에 영향을 미치는 디스크 측면방향(lateral direction)으로의 열유동을 막고, heat sink인 알루미늄 쪽으로 충분한 열유동이 진행될 수 있는 디스크 구조를 사용했다.⁷⁾ 또한 디스크

* : LG전자기술원

접수일자 : 1995년 2월 11일
심사완료 : 1995년 9월 14일

구조를 최적화하여 광원의 파장이 종전의 780nm 보다 짧은 680nm 단파장 대역의 구동제에서 재생 신호 및 기록밀도를 극대화하기 위해 TbFeCo 기록막과 SiN_x 유전체막의 두께를 변화시켜 광자기 효과와 기록신호의 재생특성의 변화를 조사하였다.

II. 재료 및 실험 방법

본 연구에 사용된 시편은 polycarbonate기판위에 SiN_x/TbFeCo/SiN_x/AlTi의 순서로 magnetron sputtering 에 의하여 성막시켰다. 표1에 각층의 공정조건을 요약하였으며, 본 연구에서는 기록막의 두께가 각각 10nm와 20nm일 때, 첫번째 유전체막의 두께를 변화시켜 광자기특성의 변화를 조사하였다. 첫번째 유전체막의 두께는 4층막에 대한 Kerr회전각 계산용 디스크 구조해석 프로그램을 통하여 그 조건을 선정하였으며, Rutherford backscattering spectrometry (RBS)를 사용해 기록막의 화학조성을 분석하였으며, torque magnetometer (DMS사,모델 1660-CTS)로 수직자기이방성 상수(K_u)를, 파장가변 Kerr loop tracer (Neark 사.,모델 BH-810)로 780nm 및 680nm 파장에서 온도에 따른 Kerr 회전각(θ_k) 및 박막의 보자력 (H_c)을 측정하였다. 또한 광원의 파장 680nm와 780nm에서 동특성평가기 (Nakamichi 사,모델 OMS 2000)로 carrier level 및 noise level, CNR(carrier-to-noise ratio)을 포함한 동특성을 평가하였다.

표 1. 광자기 디스크 시편의 제조시 사용된 공정 변수 및 그 조건

Table 1. Process variables and their conditions during sputter deposition.

층	변수	Sputtering gas pressure(mTorr)	Film thickness (nm)	Gas flow rate ratio (Ar:N)	Sputtering power (kW)
1st	SiN _x	7	40-80	100 : 6.5	1
	TbFeCoCr	3	10-20	100	0.7
2nd	SiN _x	7	30	100 : 6.5	1
	AlTi alloy	3	40	100	0.6

III. 실험 결과 및 토의

그림1은 첫번째 SiN_x 유전체막의 두께와 TbFeCo 기록막의 두께를 변화시키에 따라 Kerr

회전각이 어떻게 변하는지를 자체 개발한 software를 이용해 simulation한 결과이다. 이 결과에 의하면 680nm의 파장대역에서는 40~80nm 두께의 유전체막과 10~20nm 두께의 기록막 조합에서 큰 Kerr 회전각을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림2는 앞의 simulation 으로부터 얻어진 결과를 바탕으로 디스크를 제작하여 기록층 TbFeCo의 두께를 20nm로 고정시킨 상태에서 첫번째 SiN_x의 두께에 따른 Kerr회전각의 변화를 측정한 결과이다. 본 연구에 사용된 TbFeCo박막은 상온에서 18 kOe 이상의 높은 보자력을 갖고 있어서 Kerr 회전각의 측정이 용이한 50℃에서 Kerr회전각을 비교하였고, 온도를 가변시키면서 측정한 결과 보상 온도(compensation temperature)는 100~120℃이고 큐리온도 (Curie temperature)는 200℃인 것으로 밝혀졌다. 위의 결과를 simulation 결과와 비교해보면 상온에서의 Kerr 회전각은 유전체막의 두께가 80nm이상일 때 최고가 될 것으로 판단된다. 실험결과에 의하면 첫번째 SiN_x의 두께가 증가함에

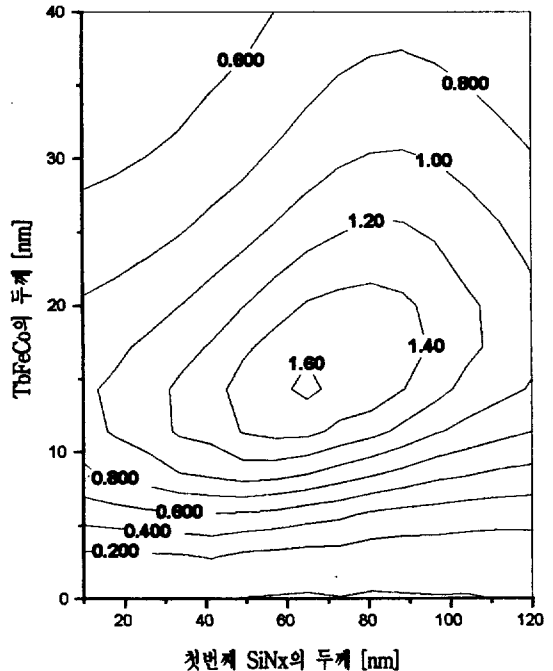


그림1. 첫번째 SiN층과 TbFeCo 기록층 두께에 따른 Kerr 회전각 분포

Fig. 1. The distribution of Kerr rotation angles as a function of TbFeCo recording layer thickness and the first SiN layer thickness.

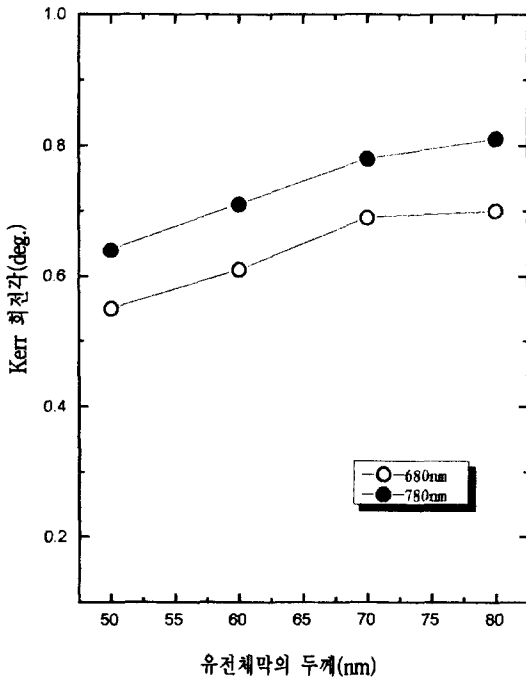


그림 2. 680nm 와 780nm 파장에서 첫번째 SiN층의 두께에 따른 Kerr회전각의 변화
 Fig. 2. Variation of Kerr rotation angles as a function of the first SiN layer thickness at the wavelength of 680nm and 780nm, respectively.

따라 Kerr 회전각은 증가하고 있으며, 680nm의 파장에서의 Kerr 회전각은 780nm 파장에서의 값보다 약 10%정도 감소된 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에 사용된 TbFeCo 기록층의 두께가 약 10nm인 박막은 15 kOe의 보자력을 지닌 TM-rich loop을 보였으며 20nm이상에서는 RE-rich 경향을 나타내었는데, 이는 Kerr회전각에 기여하는 기록막의 유효조성이 두께가 증가함에 따라 RE-rich의 경향을 보이는 것으로 해석된다. 이들 박막을 RBS 분석결과, 기록막의 두께에 상관없이 거시적인 전체조성은 $Tb_{24.5}Fe_{63.7}Co_{11.8}$ 로 동일하게 나타났다. 이는 기록막의 자기적특성의 변화가 전체적으로는 비정질이지만 두께방향으로 원자의 국부적인 분포가 다르거나, 성막시 적층되는 원자들에 의하여 영향을 받아 그 표면조성이나 packing 상태가 부분적으로 다른 박막이 형성되어 보자력의 차이를 보였을 가능성을 시사하였다.

그림3은 기록층 TbFeCo의 두께변화에 따른 수직자기이방성 상수(K_u)를 측정된 결과이다. 알려진

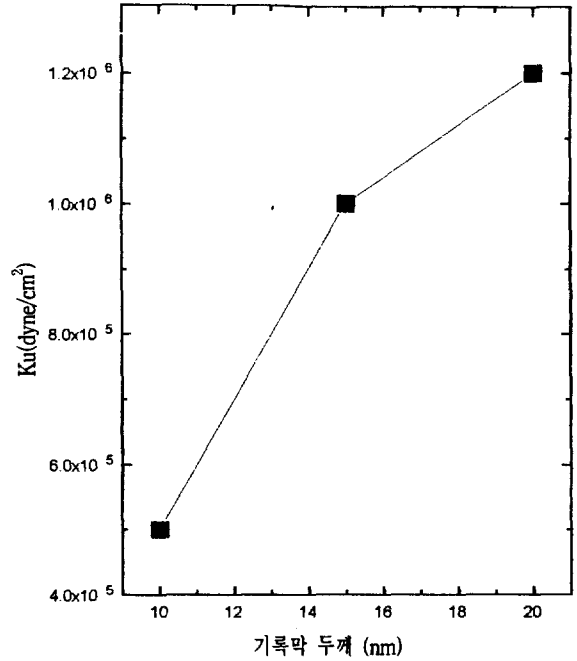


그림 3. 기록막 두께에 따른 수직자기이방성 상수의 변화
 Fig. 3. Variation of perpendicular magnetic anisotropy constant as a function of recording layer thickness.

바와 같이 TbFeCo 광자기 기록매체는 수직자기이방성이 강하기 때문에 20 kOe 이상의 자계로도 면내방향으로 포화자화를 얻기가 어렵기때문에 미야지마의 외삽법에 의하여 자장세기에 따른 torque 값을 측정하여 수직자기 이방성 상수값을 계산하였다.(8) 그 결과 박막의 수직자기 이방성 상수(K_u)는 평균 $5 \times 10^5 \sim 1.2 \times 10^6$ dyne/cm² 인 것으로 나타났다. 또한 전체의 이방성상수와 수직자기이방성 상수와의 관계는 아래의 식으로 기술될 수 있다.⁹⁾

$$K_t = K_u - 2\pi M_s^2 \quad (1)$$

이에 따르면 면내 이방성에너지($2\pi M_s^2$)를 고려할 때, 10nm의 TbFeCo 디스크는 20nm의 TbFeCo 디스크에 비하여 전체의 자기이방성이 약할 것으로 기대된다. Huth의 bubble이론에 따르면 열자기 기록에 의해 최소크기의 안정자구가 형성될 때 원형자구의 벽에 작용하는 힘은 매체의 K_u 의 차이때문에 그 크기가 달라진다. 즉 박막표면에 수직화 상태를 유지하는 박막에 가해지는 에너지는 다음의 식에 의하여 주어지므로¹⁰⁾

$$E_t = E_w - E_d + E_a \quad (2)$$

(단, E_t : 전체에너지, E_w : 자벽 에너지, E_d : 감자장 에너지, E_a : 인가자계 에너지)

드라이브에서 구동되는 인가자계가 일정한 상태 (약 250 Oe)에서 광원의 power를 변조시키면 자구의 전체에너지는 자벽 에너지와 탈자장 에너지와의 차이에 의하여 결정된다. 그러므로 10nm두께의 TbFeCo는 수직자기 이방성에너지의 크기가 20nm 두께의 TbFeCo에 비하여 작아 자벽에너지가 20nm에 비하여 상대적으로 약하므로 외력에 쉽게 영향을 받을 것이 예상된다. 따라서 이는 동특성 평가로써 검증할 수 있을 것이며 이를 조사한 결과, 그림 4와 같이 기록파위에 따른 신호수준차이로 나타났으며 편이상 파장이 680nm 인 광원에서의 데이터는 내부가 채워진 기호로 표시하였다. Carrier level에 영향을 미치는 Kerr 회전각은 온도의 함수이므로 기록막 자체와 기록막에 조사되는 laser power를 비롯한 각종 시스템의 조건에 영향을 받게 된다. 광 흡수도와 열전도도, 확산계수가 동일한 디스크의 경우, 얇은 기록막에 조사되는 기록 및 재생 power는 두꺼운 막보다는 높은

power밀도를 갖게 되므로 내부의 온도분포는 급격한 구배를 가질 것이 예상된다. 따라서 10nm 두께의 TbFeCo 디스크는 기록파위가 증가할수록 신호가 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 첫번째 SiNx의 두께가 증가해도 신호는 거의 변하지 않음을 알 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 simulation에 의한 최대신호는 자성체가 이상적인 수직자화상태를 유지한다는 가정이 필요하기 때문에 10nm의 TbFeCo로도 구성층 두께를 변화시켜 광학신호를 증가시키는 것은 가능하지만 실제 기록신호가 매우 불안정하므로 매체의 수직자기 이방성 에너지가 낮고 포화자화값이 크기 때문에 내부 스핀이 수직으로 균일하게 정렬되지 못하는 것으로 판단된다. 그러나 수직자기 이방성이 높고 자벽에너지가 큰 20nm의 TbFeCo 디스크는 상대적으로 자구안정성이 높고 680nm 광원의 파장에서는 기록 power 밀도의 증가효과로 낮은 기록파위에서 임계기록이 가능하고 광원의 파장이 780nm 인 경우의 신호특성보다 우수하게 나타난 것으로 해석된다.

한편, 그림 5는 기록파위에 따른 잡음크기(noise level)에 대한 결과이다. 광자기 기록매체의 경우 잡음은 디스크에서 반사되어 되돌아 오는 편광상태의 국부적인 요동이 주원인으로 불규칙한 자구로부터 발생하는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ 그림 5에서 알 수 있듯이 기록막의 두께를 고정시키고 첫 번째 SiNx의 두께를 증가시키에 따라 잡음이 낮아진다. 즉 일정한 방향으로 스핀을 정렬시켜 소거한 후 역방향의 자구를 기록할 때 전체 디스크에 가해지는 열에너지는 같고 매체는 동일하므로, 온도분포에 따라 첫번째 SiNx의 두께가 증가하면 얇은 SiNx보다 상대적으로 기록막에 집중되는 온도는 감소한다. 그 결과, 기록막에 미치는 영향은 작아지고 이것이 잡음의 감소로 나타나는 것으로 해석된다. 한편, 동일한 두께의 유전체막으로 구성된 디스크는 TbFeCo의 두께가 증가하면 잡음이 증가함을 알 수 있다. 이는 SiNx의 경우와 마찬가지로 두께가 두꺼운 기록막에 상대적으로 많은 열이 모이므로 잡음 또한 증가한다.

광원이 680nm의 파장인 경우에는 광원의 파장이 780nm인 경우보다 잡음정도가 매우 상승하고 있음을 알 수 있는 데, 이는 power 밀도의 증가로 인하여 680nm의 파장에서 기록 재생되는 자구(비트)가 더욱 온도에 민감한 영향을 받은 것으로 판단된다. 파장변화를 고려할 때, 잡음 정도의 차이는 약 2~3dB로 나타났다.

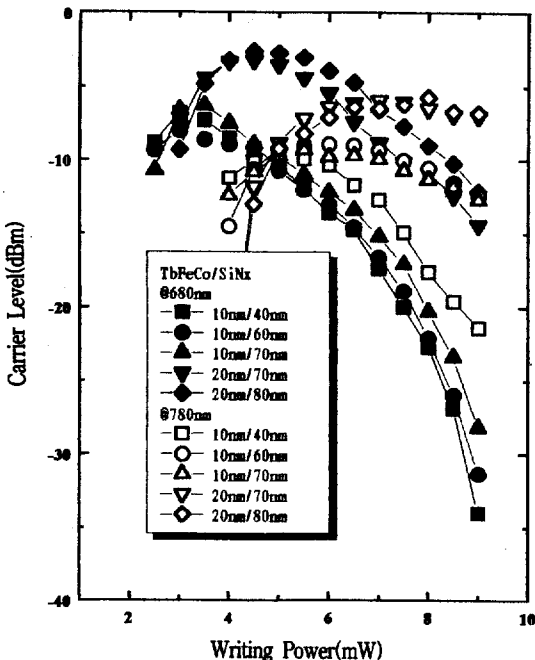


그림 4. 680nm 와 780nm의 파장에서의 기록파위에 따른 Carrier level의 변화

Fig. 4. Variation of Carrier level as a function of recording power at the wavelength of 680nm and 780nm, respectively.

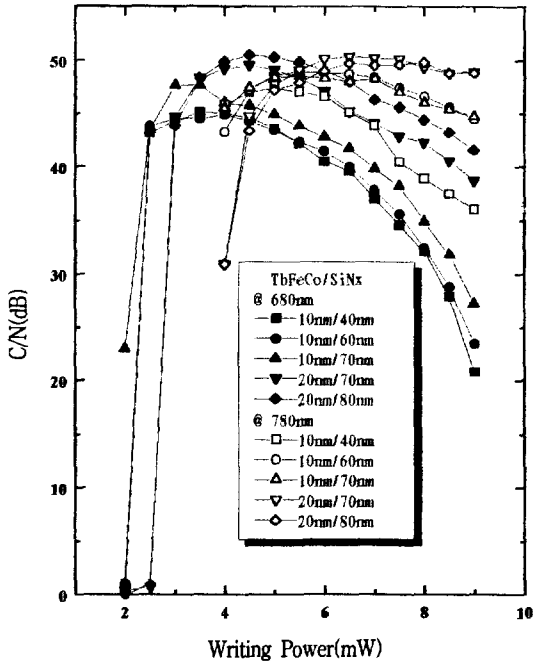


그림 5. 680nm와 780nm 파장에서의 기록파위에 따른 매체잡음의 변화

Fig. 5. Variation of media noise level as a function of recording power at the wavelength of 680nm and 780nm, respectively.

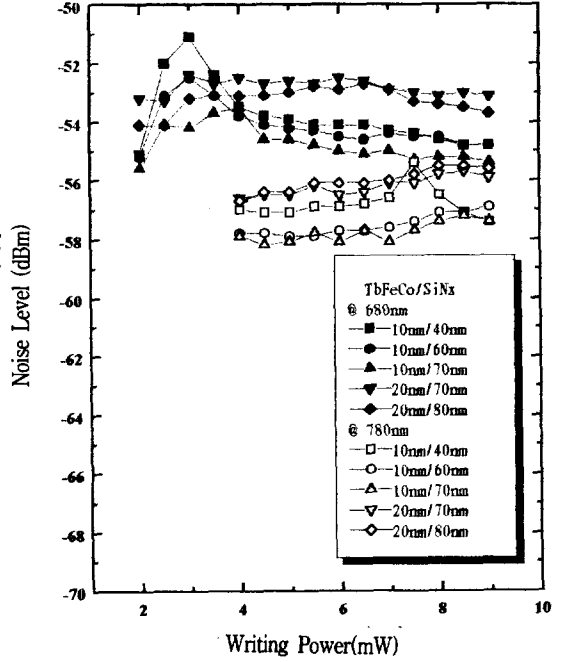


그림 6. 680nm와 780nm 파장에서의 기록파위에 따른 신호대 잡음비의 변화

Fig. 6. Variation of carrier-to-noise ratio as a function of recording power at the wavelength of 680nm and 780nm, respectively.

그림 6은 기록파위에 따른 신호대 잡음비(CNR)를 정리한 결과이다. 전체적으로 5mW 이상의 기록파위에서는 광원의 파장이 780nm일 때, 5mW 이하의 기록파위에서는 광원의 파장이 680nm인 경우가 신호대 잡음비의 특성이 우수하다. 특히 현재까지는 기록층의 두께가 20nm인 경우, 상대적으로 얇은 10nm의 박막보다는 신호 안정성이 뛰어난 것으로 나타나 기록막을 더욱 박막화하기는 어려우나, 구성층 특히 첫번째 SiNx의 두께를 공정변수로 설정하면 680nm의 파장에서도 기록 및 재생 특성을 훌륭히 제어할 수 있을 것으로 기대된다. 결국 디스크를 구성하는 각 층의 구조를 최적화 시킴으로써 780nm 파장에서의 신호품질보다도 우수한 특성을 680nm의 파장에서 얻을 수 있음이 본 연구를 통해 얻어졌다.

IV. 결 론

현재 780nm의 파장에서 사용되는 TbFeCo 광자

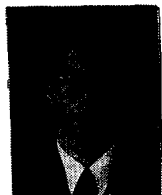
기 디스크의 구성층 두께를 변경하여 최적화 시킴으로써 680nm 파장영역에서도 우수한 기록 및 재생 특성을 얻을 수 있었다. 즉 50dB 이상의 최대 CNR, 2mW의 임계기록파위, 5mW 이상의 power margin(ΔP_w)이 확보되었다. 이는 680nm laser diode (LD) 단파장 광원의 사용시에도 우수한 CNR은 물론 넓은 power margin을 확보함으로써 단파장 광원의 사용에 따른 기록밀도의 증가와 성능향상으로 요약된다. 특히, 본 연구결과는 광원의 단파장화에 따른 laser 파워밀도의 증가로 인하여 임계기록파위를 낮출 수 있어서 값싼 저출력 LD의 사용 가능성을 시사하였다.

V. 참 고 문 헌

- [1] Susumu Uchiyama, Evolution of Magneto-Optical Recording Media, Proceeding of Magneto-Optical Recording International Symposium '92, J. Magn. Soc. Jpn., Vol.17,

- Supplement No.S1, pp.1~6 (1993).
- [2] A. B. Marchan, Optical Recording, Addison Wesley, Reading, Massachusetts (1990).
- [3] W. H. Meiklejohn, A Thermodynamic Recording Technology, Proceeding of the IEEE, Vol. 74, No. 11, pp.1570-1581 (1990).
- [4] D. Weller, J. Hurst, H. Notrays, H. Braandle, R. F. C. Farrow, R. Marks, G. Harp, MO Signal in Co-Pt and Co-Pd alloy Disks: Comparison to Perspective Mutilayers and TbFeCo, Proceeding of Magneto-Optical Recording International Symposium '92, J. Magn. Soc. Jpn., Vol.17, Supplement No.S1, pp.72~75 (1993).
- [5] S. Hasimoto, Y. Ochiai and K. Aso: Ultrathin Co/Pt and Co/Pd Mutilayered Films As Magneto-Optical Recording Materials, J. Appl. Phys., Vol.67, p.2136 (1990).
- [6] P. F. Carcia, Perpendicular Magnetic Anisotropy in Pd/Co and Pt/Co Thin Film Layered Structures, J. Applied Phys., Vol.63, p.5066 (1988).
- [7] M. Mansuripur, Computer Modeling of Optical Storage Media and System, Optical Data Storage Pro. SPIE, Vol.1316, pp.70-80 (1990).
- [8] Y. H. Lee, Magneto-Optic Effect and Perpendicular Magnetic Anisotropy of Amorphous TbFeCo Thin Film, 한국과학기술원 물리학과 박사학위 논문(1988).
- [9] Soshin Chikasumi, Physics of Magnetism, John Willy & Sons, Inc., New York (1964).
- [10] Y. Mimura, N. Imamura, T. Kobayashi, Magnetic Properties and Curie Point Writing in Amorphous Metallic films, IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-12(6), pp.779-781(1976).
- [11] M. Mansuripur, G. A. N. Conell and J. W. Goodman, Signal and Noise in Magneto-optical Readout, J. Appl. Phys. 53, pp. 4454-4494 (1982).

저자소개



윤두원

1964년 11월 7일생. 1987년 2월 서울대학교 물리학과 졸업(BS). 1990년 2월 동 대학원 졸업(MS). 1991년-현재 LG 전자기술원 주임연구원.



김명룡

1960년 3월 1일생. 충북대학교/서울대학교 금속공학과 졸업. 현대용접기술연구소 연구원(84-87). 미국 Iowa주립대학교 재료공학과 석사(MS). 미국 Univ. of Utah 박사(Ph.D.). IBM Rochester 위촉연구원(91-92). 1993년 4월- 현재 LG전자기술원 책임연구원.



연 정

1964년 12월 29일생. 1988년 2월 고려대학교 물리학과 졸업(BS). 1990년 8월 동 대학원 졸업(MS). 1991년 9월-현재 LG전자기술원 주임연구원.