

〈초청강연 II〉

광자기 기록 기술

MAGNETO-OPTICAL RECORDING TECHNOLOGY

신 성 철

한국과학기술원 물리학과

1. 서 론

정보화 시대를 맞이하면서 정보의 신속한 처리 및 저장에 관한 연구 개발의 필요성은 주지의 사실이다. 고집적 정보 저장의 한 방법으로 광자기 효과가 있는 수직 자성 재질에 정보를 기록하는 소위 광자기 기록 기술이 최근 크게 주목이 되어, 현재 전세계적으로 100여군데의 산학연 연구기관에서 활발히 연구가 진행되고 있다[1-4].

광자기 기록 기술은 자기 기술과 광기술의 장점을 합친 기술이다. 즉, 이 기술은 자기 기록 방법의 무한한 재기록 가능(unlimited rewriting cyclability)과 광기록 방법의 비접촉 기록(contactless write), 고집적 용량(high storage capacity), 디스크의 제거 가능(disk removability)의 제 장점을 모두 가지고 있다. 현재 광자기 기록 기술의 수준은 집적 용량이 적정 5.25인치 디스크 한면에 400-600 Mbytes (고로 같은 크기의 floppy disk 집적 용량보다 1000배이상 크다), data access time이 50 ms이내이고, data transfer rate가 약 7 Mbits/s이다.

본 논문에서는 광자기 기록 기술의 원리, 기록 재질, 광자기 디스크의 SNR 및 구조, 광자기 기록 헤드를 각각 설명하고, 끝으로 연구동향을 언급하며 결론을 맺고자 한다.

2. 광자기 기록 기술의 원리

광자기 기록 기술은 수직 자성을 가진 박막의 자화 방향을 "상향" 혹은 "하향"으로 해줌으로써 2진법 디지털 정보를 저장하게 된다. 정보의 기록은 외부에서 원하는 방향으로

로 약 300 Oe 정도의 자장을 가해준 채 레이저 광으로 매체가 자성을 잃어 버리는 Curie 온도 이상으로 가열한 후 레이저를 끄면 매체가 냉각되면서 레이저가 주사되었던 국소 영역에서의 자화 방향이 외부 자장과 같은 방향으로 됨으로써 정보가 기록된다(그림 1A).

기록된 정보의 판독은 polar Kerr effect를 이용하여 행해진다. 이것은 선편광을 수직 자성 재질에 주사하면 반사되는 빛의 편광 방향이 입사광의 편광 방향으로부터 회전하는 현상인데, 회전각의 크기 소위 Kerr rotation angle은 자화의 크기에 의존하고, 회전 방향은 재질의 자기 방향에 따라 시계 방향 혹은 시계 반대 방향으로 회전한다. 고로 "상향"과 "하향" 자화 방향에서 반사되는 반사광의 차이를 검출함으로써 정보를 판독하게 된다 (그림 1B).

한편 기록된 정보의 소거는, 외부 자장을 기록할 때와는 반대 방향으로 걸어줌으로써 가능하게 된다 (그림 1C). 이와 같은 기록-소거-재기록 과정은 자화 방향만 바꾸어 주는 것이므로 무한히 계속될 수 있다.

광자기 기록 기술의 정보 저장 밀도는 정보를 기록할 때 사용되는 레이저 광을 얼마나 작게 집중할 수 있는냐에 달려 있는데, 광의 직경 d 는 diffraction limit 크기 $d=0.5\lambda/NA$ 로 주어진다. 여기서 λ 는 레이저광 파장, NA는 집속 렌즈의 Numerical Aperture이다. 현재 범용되고 있는 $\lambda=830nm$, $NA=0.5$ 를 대입하면 spot 크기는 약 $0.8\mu m$ 이다. 고로 만약 이 정도 size의 magnetic domain이 안정된 자성 재질을 사용하면 $100 Mbit/cm^2$ 이상의 정보 저장 밀도를 얻을 수 있다.

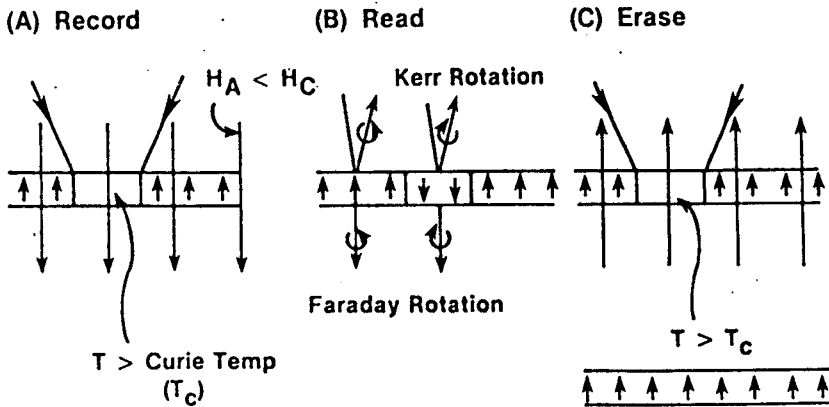


그림 1. 광자기 기록 기술의 기록 (A), 판독(B), 소거(C) 원리

3. 광자기 기록 재질

광자기 기록 재질이 되기 위해서는 여러가지 조건이 만족되어야 하는데 첫째, 수직 자화성(perpendicular magnetic anisotropy)이다. 이 성질은 고밀도 정보 저장과 정보 판독시 polar Kerr effect를 사용을 가능케 한다. 둘째, signal Kerr 회전 각도에 비례하므로 Kerr 회전 각도가 클수록 좋다. noise가 없다면 $\theta_k=0.2$ 이상이면 가능성이 있다. 셋째, 저출력(≤ 200 mW) diode laser로 정보를 기록할 수 있을 정도로 낮은 curie temperature를 갖아야 한다. 약 300°C 이하이면 적당하다. 넷째, 기록된 domain이 외부 자장에 의해 소거되지 않을 정도로, 상온에서 coercivity가 커야 하는데 약 1 KOe 이상이면 적절하다. 다섯째, grain boundary에 의한 noise가 없어야 한다. 예를 들어 MnBi의 경우 Kerr rotation은 약 1° 정도되어 signal은 크나, grain boundary noise가 심해 SNR이 극히 저조하다. laser beam size가 $1\mu\text{m}$ 정도이므로 grain size가 이보다 훨씬 적어야 바람직하다. 여섯째, 재질의 내산화성, 내부식성이 강해 수명이 길어야 한다.

광자기 기록 재질로 MnBi 박막이[5] 처음 제안되었고 그 이후 Garnets, Ferrites등 여러재질이 연구되었으나[6] 이런 재질들은 모두 polycrystalline 구조를 가지고 있어 grain boundary noise가 심해 오늘날 거의 사용치 않고 현재 가장 널리 사용되는 재질은 1973년 IBM에서 발견한[7] 무정형 희토-천이 금속 합금 박막이다. 이 재질은 희토 원소와 천이 금속 원소의 sublattice magnetization 방향이 서로 반대 방향으로 coupling된 antiferromagnetic system이다[그림 2]. 일반적으로 합금의 조성은 compensation 온도(두

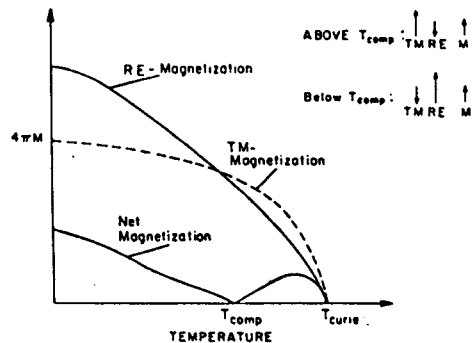


그림 2. 희토-천이 금속의 자화 온도 의존

sublattice에 의한 magnetization 합이 0이 되는 온도)가 상온보다 조금 낮게 선택하고 있어 상온에서 높은 coercivity를 갖게 한다. 그림 3은 TbFe 합금 박막에서 조성에 따른 coercivity와 polar Kerr 회전각을 나타낸 것이다. 이 시스템의 경우 Tb 조성이 약 15%에서 35%내에서 수직 자성을 가지며 compensation 온도가 상온인 조성 - compensation composition - 이 24%이다. TbFe 시스템의 Co doping하면 Curie temperature는 올라가서 기록 감도는 줄어들지만 Kerr rotation이 커지므로 시그널을 높일 수가 있어, 1세대 광자기 디스크 재질로는 거의 모든 산업체가 TbFeCo를 사용하고 있다. 희토-철이 금속 합금 박막의 한가지 단점은 희토 원소의 강한 산화성으로 인해 재질의 성질이 변한다는 것이다. 고로 이 재질의 경우 산화 방지를 위해 AlN, Si₃N₄ 등의 보호막이 필수적으로 요구된다.

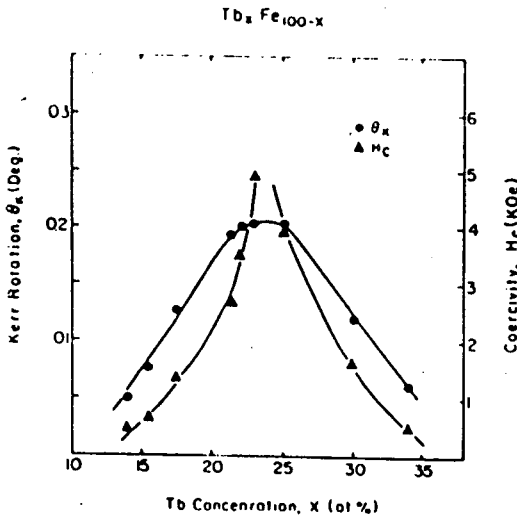


그림 3. TbFe 박막의 Tb 조성에 따른 Kerr 회전각과 coercivity

4. 광자기 디스크 Signal-To-Noise Ratio 및 구조

광자기 기록의 성능은 laser feedback noise, electronic noise, media noise, shot noise 등에 의해 제한되는데 그

중 media noise와 shot noise가 문제가 되고 있다. media noise의 원인은 광자기 재질의 조성의 비균질, 산화 방지 및 Kerr rotation 증폭을 위해 overcoating된 dielectric layer의 두께의 비균질, 기판의 재질등이 그 원인이 되고 있다. 고로 이 noise는 생산 공정을 개선함으로써 최소화할 수 있다.

한편 shot noise는 광검출기(photodetector)에서 빛의 흡수에 따라 생성되는 광전자의 통계적 fluctuation 때문에 생기는 것인데, differential photodiodes를 사용하는 경우 shot noise 전류는

$$I_s = \sqrt{2eB\eta P_o R} \quad (1)$$

로 주어진다. 여기서 e는 전하량, B는 광검출기의 bandwidth, η 는 sensitivity, P_o 는 판독시 디스크에 주사되는 레이저광의 세기, R은 디스크의 반사율이다. 한편 시그널 전류는

$$I_{sig} = \eta P_o R \sin 2\theta_k \quad (2)$$

로 주어지는데, 여기서 θ_k 는 Kerr 회전각이다. 고로 shot noise가 주된 noise인 경우 SNR은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} SNR &= 10 \log (2\eta P_o R \sin^2 \theta_k / eB) \\ &\approx 10 \log (2\eta P_o R \theta_k^2 / eB) \end{aligned} \quad (3)$$

(3)식은 shot noise가 주된 noise인 경우 SNR은 레이저 광의 세기, 반사율, Kerr 회전각의 제곱에 비례함을 보여준다. SNR을 높이기 위한 가장 효율적인 방법은 Kerr 회전각을 증가시켜 주는 것인데 이를 위해 통상적으로 antireflective dielectric 박막층은 광자기 박막층위에 입힌다.

광자기 디스크의 기판은 pregroove가 된 polycarbonate (PC)나 유리를 사용하고 있다. 깊이가 약 0.07 μ m, 폭이 약 0.7 μ m, groove간 거리가 약 1.6 μ m로서 중심으로부터 나선형 혹은 동축형으로 groove가 형성되어 있다[그림 4]. PC 기판의 경우 birefringence가 20nm이하 정도로 아주 작아야 하는데 그렇지 않을 경우 레이저광의 depolarization으로 인해 noise가 증가된다.

기판위에는 Trilayer structure의 경우 dielectric layer (~900Å)/MO layer(~1000Å)/dielectric layer(~900Å)의 박막층 구조를 이루고, Quadri-layer structure의 경우는 dielectric layer(~900Å)/MO layer(~150Å)/dielectric layer (~900Å)/reflective layer(~1000Å)의 구조로 되어 있다. 각 layer의 박막은 sputtering이나 evaporation technique으로 만든다.

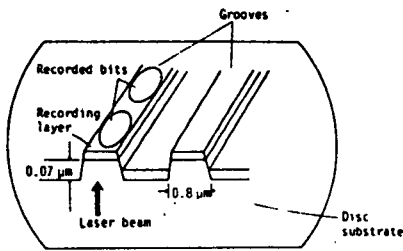


그림 4. 광자기 디스크 기관 단면도

5. 광자기 헤드

그림 5는 광자기 기록, 판독을 위한 광학 헤드의 개략도이다. 기록 및 판독에는 830nm 파장의 GaAlAs 반도체

다이오드 레이저가 현재 범용되고 있다. 레이저의 기록시 디스크 표면에서의 최대 출력은 약 10 mW이고, 판독시는 약 2 mW 레이저 출력을 사용한다.

반도체 레이저로부터 나오는 광은 확산되어 나오므로 collimating 렌즈를 사용해 평행광으로 전환시켜 주는데 집광율을 높이기 위해 Numerical Aperature가 0.5정도의 큰 것을 사용하고 있다. 한편, 반도체 레이저 광은 일반적으로 타원형의 단면으로 되어 있어 프리즘 혹은 원통 렌즈를 사용해 원형 단면으로 보정해 주고 있다.

Focussing 및 Tracking은 Quadrant photodetector의 4분면에 검출되는 반사광의 세기를 측정함으로써 가능하다. 예를 들어 P_1, P_2, P_3, P_4 를 Quadrant photodetector의 4분면에서 검출되는 시그널이라면 $(P_1 + P_3) - (P_2 + P_4)$ 가 focussing error 시그널이고, $(P_1 + P_2) - (P_3 + P_4)$ 가 tracking error 시그널이다. 이 error 시그널이 voice coil에 servo loop를 형성하여 디스크에 대한 대물 렌즈의 상대적 위치를 조절하여 focussing 및 tracking을 성취한다.

광자기 디스크 시그널의 검출은 반사광을 polarizing beam splitter(PBS)를 통과시켜 p 성분과 s 성분을 두개의 광검출기로 각각 측정하여 그 차이를 증폭하는 differential

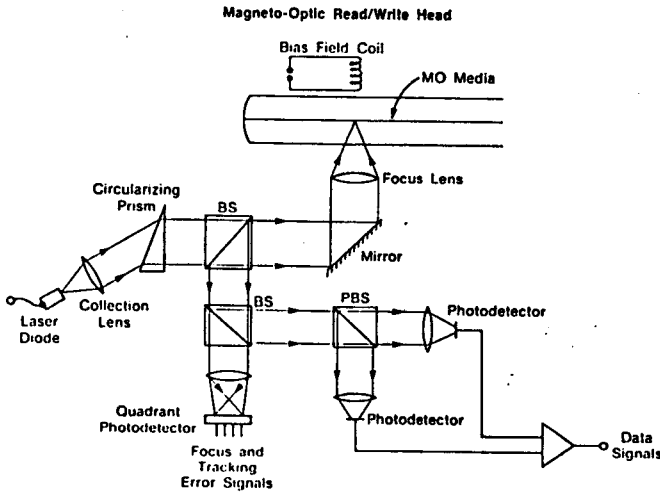


그림 5. 광자기 기록 판독을 위한 헤드의 개략도

검출 방법을 사용한다. 이 방법을 사용함으로써 laser 세기의 fluctuation에 의한 영향을 제거할 수 있다.

6. 연구 동향

광자기 기록 기술에 대한 연구 개발은 기록 매체, 광학 헤드, Drive 및 Interface등 3 분야에 관한 연구로 대별할 수 있다. 기록 매체에 관한 연구로는 1세대 광자기 재질인 최토-철이 합금 박막의 단점을 보완할 새로운 광자기 재질이 절실히 요청되는데, 본인을 비롯한 Sony, Philips에서 연구되고 있는 조성변조 초격자 박막(Compositionally Modulate Superc lattice Thin Films)은[8] 차세대 광자기 소재로 크게 주목되고 있다. 광자기 매체의 또 다른 중요 이슈는 Direct Overwriting 문제이다. 즉, 현재 광자기 매체는 재기록시 기록된 부분을 일단 지운 후에야 재기록이 가능한데, 자기 기록 방법처럼 기록한 부분을 바로 재기록이 가능한(Direct Overwriting) 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

광학 헤드 분야에서의 연구의 초점은 헤드의 무게를 줄이는 것이다. 이것은 광기록 방법이 자기 기록 방법보다 Data Access Time이 5배 정도 느린데, 그 원인이 광학 헤드의 무게가 무겁기 때문이다. 무게를 줄이는 한 방법으로 헤드의 여러 부분중 움직이어야 할 부분을 Intergrated Optics로 대처하는 연구를 시도하고 있다. Drive 및 Interface 분야에서는 Error Correction Algorithm 및 기존 컴퓨터 시스템과의 연결을 위한 software 개발이 연고되고 있는데, 이는 광자기 기록 기술의 응용 범위를 넓히는데 필수적으로 연구 개발되어야 할 부분이다.

7. 맺는말

광기록 기술에 대한 연구 개발은 현재 전세계에서 100여 군데의 대학교 및 연구기관에서 활발히 행해지고 있고 그 중 50% 이상이 일본의 연구 기관이다. 미국의 경우는 국책 과제의 하나로 아리조나 대학 및 카네기-멜론 대학등에 센터를 두어 이 분야 연구를 주도하고 있다. 우리나라에서는

3-4년전부터 몇 군데에서 이 분야의 연구를 시작하였는데, 최근 광기록 기술의 유망한 시장성을 감지한 대기업들이 과감한 연구비를 투입하여 연구개발을 서두르고 있다.

광기록 기술은 물리, 재료, 전자, 기계, 컴퓨터 분야 등 여러 분야가 함께 참여하여야 할 복합적 연구 개발 분야이다. 이런 복합적 연구 분야의 효과적 연구 수행을 위해서는 센터를 두어 여러 분야의 사람들이 밀접한 유기적 관계를 유지하며 공동적으로 연구개발하는 것이 바람직하다. 우리나라에서도 정부의 정책적 지원하에 Optical Recording Center가 조속한 시일내에 설립되어 첨단 기술의 연구 개발을 주도하며, 산업체와의 긴밀한 관계를 맺어 기업체가 이 분야의 세계 시장 점유에 우위를 차지하게끔 기술 지원을 할 수 있어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] M. H. Kryder, J. Appl. Phys. 57, 3913 (1985).
- [2] S.-C. Shin, Appl. Phys. Lett. 51, 288 (1987).
- [3] W. H. Meiklejohn, Proceedings of IEEE, 74, 1570 (1986).
- [4] P. Hansen, J. Magn. Magn. Mater. 83, 6 (1990).
- [5] W. H. R. Sherwood, F. Foster, and E. Kelly, J. Appl. Phys. 28, 1181 (1957).
- [6] K. Lee, J. Vac. Sci. Technol. 10, 631 (1973).
- [7] P. Chaudhari, J. J. Cuomo, and R. J. Gambino, Appl. Phys. Lett. 22, 337 (1973).
- [8] S.-C. Shin and A. C. Palumbo, J. Appl. Phys. 67, 317 (1990).