

광자기 기록매체의 연구개발 동향

신 성 철

한국과학기술원

(1992년 5월 23일 받음)

I. 서 론

자기광효과가 큰 수직자기 이방성을 가진 자성박막에 레이저광으로 정보를 기록하고 판독하는 광자기 기록기술 (Magneto-optical recording technology)은 [1-4] 1950년대 후반부터 연구가 되기 시작하여, 현재는 5.25" 디스크에 400~600 Mbytes의 저장 능력, access time이 30~200 ms, data transfer rate이 1.2~8 Mbits/s 수준의 제품이 상품화되고 있다.

광자기 기록은 자기기록방식의 무제한 반복기록의 장점과 광기록방식의 비접촉 기록, 고집적 능력, 디스크 제거기능의 제 장점이 병합된 기술로서 향후 정보저장의 새로운 기술로서 그 자리를 굳혀갈 것으로 예상된다.

본 해설에서는 광자기 기록매체를 중심으로 하여 광자기 기록기술의 기록 및 판독원리, 광자기 기록재료, 광자기 디스크 SNR, direct overwriting의 제방법, 차세대 를 향한 고밀도화의 시도에 대해 각각 서술한 후 결론을 맺고자 한다.

II. 기록 및 판독원리

광자기 기록기술에서 정보의 기록은 소위 'thermo-magnetic 기록'의 과정으로 행해진다. 즉, Fig. 1에 도식된 바와 같이 집중된 레이저광을 국소 부분에 주사시켜 큐리온도 영역까지 가열하여 자성박막의 항자력을 0이 되게 하고 외부에서 자기장을 (~300 Oe) 가해주면 냉각되면서 이 외부자기장과 자체의 반자장(demagnetizing field)의 영향으로 자화방향이 반전된 자구(magnetic domain)가 형성됨으로써 이진법의 정보가 기록되는 것이다. 이때 사용되는 레이저의 파장은 780 nm 혹은

830 nm이고 직경이 약 $1\mu\text{m}$ 정도, 기록 펄스시간은 100 ns 정도이다.

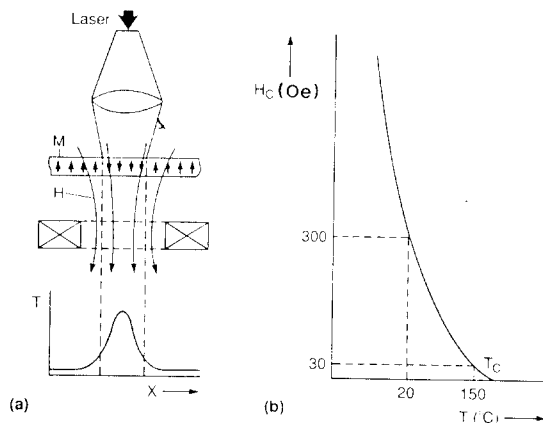


Fig. 1. Principle of the thermomagnetic writing process in magneto-optical recording.

기록된 정보는 선편광된 빛이 재질에서 반사시 (Kerr 효과) 혹은 투과시 (Faraday 효과) 편광방향이 변하는 소위 '자기광 효과'를 이용하여 검출한다. 자기광 효과는 자성재료의 유전텐서가 비대각 성분(off-diagonal components)을 가짐으로 인해 선편광으로 입사된 빛이 장축 방향이 입사광의 편광방향에서 회전된 타원편광이 되어 반사 혹은 투과된다.

이때 편광축의 회전방향은 자화 방향에 따라 다르고 (Fig. 2) 그 회전정도는 포화자화력의 크기와 관련이 있다. 반사시 회전된 정도를 Kerr 회전각이라고 하는데 광

자기 기록매체의 판독시 신호는 이에 비례하므로 이 회전각을 크게 할수록 좋다.

자성재질의 자화방향이 z축으로 되어있는 경우 유전 텐서 ϵ 는 (1)식과 같이 주어지고

$$\epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & 0 \\ -\epsilon_{xy} & \epsilon_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{zz} \end{pmatrix} \quad (1)$$

이때 Kerr 회전각 θ_k 와 타원률 ϵ_k 는 (2)식과 같이 주어진다[5].

$$\theta_k - i\epsilon_k = \frac{-i\epsilon_{xy}}{\sqrt{\epsilon_{xx}(1-\epsilon_{xx})}} \quad (2)$$

윗식에서 분명히 알수 있듯이 유전텐서의 비대각 성분 ϵ_{xy} 가 클수록 큰 Kerr 회전각을 얻을 수 있다. 한편 ϵ_{xx} 가 0이나 1에 근접한 값을 가지면 plasma resonance가 일어나 θ_k 가 증가함을 볼 수 있다.

그러나, 지금까지 연구된 광자기 기록 재질의 Kerr 회전각은 상온에서 1°미만의 작은 값이어서 실제 디스크 기록 매체의 제작시에는 유전체막 및 반사막으로 다층 구조를 만들어 회전각의 극대화를 꾀하고 있다.

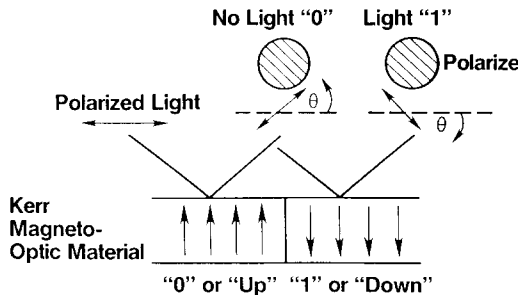


Fig. 2. Principle of magneto-optical read-out.

III. 광자기 기록재질

광자기 기록 재질이 되기 위해서는 여러가지 조건이 만족되어야 하는데 첫째, 수직 자화성(perpendicular magnetic anisotropy)이다. 이 성질은 고밀도 정보저장과 정보 판독시 polar Kerr effect 사용을 가능케 한다. 둘째, hysteresis loop이 직사각형 모양이어서 100 % 잔류 자화력 혹은 잔류 Kerr 회전각

을 가져야 한다. 즉, 외부 자기장이 제거된 상태에서 single domain 구조를 가지고 있어야 한다. 셋째, 광자기 판독 신호가 Kerr 회전각도에 비례하므로 Kerr 회전각도가 클수록 좋다. noise가 없다면 $\theta_k \approx 0.2^\circ$ 이상이면 가능성이 있다. 넷째, 저출력(≤ 20 mW) diode laser로 정보를 기록할 수 있을 정도로 낮은 큐리온도를 가져야 한다. 약 300°C 이하이면 적당하다. 다섯째, 기록된 자구가 외부자장에 의해 소거되지 않을 정도로, 상온에서 항자력이 커야 하는데 약 1 kOe 이상이면 적절하다. 여섯째, grain boundary에 의한 noise가 없어야 한다. 예를 들어 MnBi의 경우 Kerr 회전각은 약 1° 정도되어 signal은 크나, grain boundary noise가 심해 신호잡음비(Signal-to-Noise Ratio)가 극히 저조하다. 레이저광 크기가 $1 \mu\text{m}$ 정도이므로 grain size가 이보다 훨씬 적어야 바람직하다. 일곱째, 실용적 측면에서 재질의 내산화성, 내부식성이 강해 수명이 길어야 한다.

현재까지 연구되어온 대표적인 광자기 기록재질의 여러가지 특성을 Table I에 요약하였다. 광자기 기록재질로 처음 연구된 자성박막이 MnBi[6]이다. 이 재질은 Kerr 회전각은 크나 grain size가 $1 \mu\text{m}$ 정도로 grain boundary에 의한 잡음이 심해 현재는 사용하지 않고 있다. 그 이후 ferrites 및 garnets 등이 연구되었는데[7] MnBi처럼 grain boundary에 의한 잡음이 문제가 되고 가시영역 파장에서 투과율이 높기 때문에 기록시 고출력의 레이저를 요구한다. 현재 가장 널리 사용되는 재질은 1973년 IBM의 Chaudhari 등이 발견한[8] 무정형 희토-철이 금속 합금박막이다.

이 재질은 희토원소와 철이금속 원소의 sublattice magnetization 방향이 서로 반대방향으로 coupling된 antiferromagnetic system이다. 일반적으로 합금의 조성은 compensation composition (상온에서 두 sublattice에 의한 magnetization 합이 0인 조성)보다 1~2 % 낮은 조성을 선택함으로써 상온에서 높은 coercivity를 갖는 조성을 택한다. 80년 초반에 많이 연구되었던 TbFe 시스템의 경우 compensation composition의 Tb 조성이 약 24%이어서 광자기 기록용으로는 22%의 Tb 조성이 주로 사용되었다. 한편, TbFe 시스템에 Co를 doping하면 큐리온도는 올라가서 기록 감도는 줄어들지만 Kerr 회전각이 커지므로 신호를 높일 수가 있어, 1세대 광자기 디스크 재질로는 거의 모든 산업체가 TbFeCo를 사용하고 있다. 그러나, 희토-철이 금속 합금박막의 단점은 희

Table I. Summary of physical characteristics of the representative magneto-optical recording materials.

Material	Structure	Grain size	Anisotropic origin	Squareness	θ_k or θ_l at 800 nm	H_c (kOe)	Chemical stability
MnBi	polycrystal	~1 μ m	crystalline	100 %	1°	>1	poor
Co-ferrite	polycrystal	~0.5 μ m	stress induced	70 %	10° / μ m	>3	good
Ba-ferrite	polycrystal	~40 nm	crystalline	60 %	1° / μ m	>1	good
Bi, Ga : DylG	polycrystal	~100 nm	stress induced	100 %	10° / μ m	>2	good
TbFe	amorphous	•	pair ordering	100 %	0.2°	>2	poor
GdTbFe	amorphous	•	pair ordering	100 %	0.3°	>3	poor
TbFeCo	amorphous	•	pair ordering	100 %	0.4°	>5	poor
Co/Pd superlattice	polycrystal	~10 nm	interface	100 %	0.1°	>2	good
Co/Pt superlattice	polycrystal	~10 nm	interface	100 %	0.2°	>1	good

토 원소의 강한 산화성으로 인해 재질의 성질이 변한다는 것이다. 고로 이 재질의 경우 산화방지를 위해 AlN, Si₃N₄ 등의 보호막이 필수적으로 요구된다. 또한, 이 재질의 경우 단파장 영역 (400~500 nm)에서 Kerr 효과가 감소하여 집적용량을 증가시키기 위해 blue laser를 사용하게 될 경우 시그널이 감소하는 단점이 있다.

회토-천이 금속박막의 이런 단점들을 보완하기 위한 차세대 광자기 기록재질이 현재 연구중인데 가장 유망한 재질이 Co계 초격자 다층박막 시스템이다. 이것은 단원자층 두께 (~2Å)의 Co와 Co 층간의 magnetic coupling을 차단할 수 있는 다른 물질을 번갈아 가며 증착한 시스템으로 현재 Co/Pd, Co/Pt 초격자 다층박막이 집중적으로 연구되고 있다[9,10].

IV. 신호잡음비에 대한 고찰

오차율(error rate)이 적고 데이터 transfer rate이 높은 고성능의 광자기 디스크를 얻기 위해서는 신호잡음비(Signal-to-Noise Ratio) SNR을 극대화시키는 것이 중요한 바, 지금까지의 광자기 기록기술에 관한 대부분의 연구가 결국 이 SNR을 증가시키기 위한 노력이었다고 해도 과언이 아니다.

광자기 기록에서는 electronic noise, laser feedback noise, media noise, shot noise등이 잡음의 원인이므로 SNR을 일반적으로 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$SNR = 10 \log [I_{sig}^2 / (I_{elec}^2 + I_{laser}^2 + I_{media}^2 + I_{shot}^2)] \quad (3)$$

이중 electronic noise는 다른 잡음에 비해 월등히 작아 무시할 수 있고, laser feedback noise는 광학적

처리를 통해 제거할 수 있어 현재 문제되는 잡음요인이 주로 media noise와 shot noise이다.

media noise의 원인은 광자기 재질조성의 비균질, 산화방지 및 Kerr rotation 증폭을 위해 overcoating된 dielectric layer 두께의 비균질, 기판의 재질등이 그 원인이 되고 있다. 고로 이 noise는 생산 공정을 개선함으로써 최소화할 수 있다.

media noise는 제작된 매체에 따라 다르므로 일반적인 모델을 세우기는 쉽지 않다. McDaniel [11]은 Kerr signal의 미소변화를 media noise로 연관시킨 모델을 제시하였다.

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

$$I_n = \sqrt{2eB\eta P_o R} \quad (4)$$

로 주어진다. 여기서 e 는 전하량, B 는 광검출기의 bandwidth, η 는 sensitivity, P_o 는 판독시 디스크에 조사되는 레이저광의 세기, R 은 디스크의 반사율이다. 한편 시그널 전류는

$$I_{sig} = \eta P_o R \sin 2\theta_k \cos 2\epsilon_k \quad (5)$$

로 주어지는데, 여기서 θ_k 는 Kerr 회전각이고 ϵ_k 는 Kerr 타원률이다. 고로 shot noise가 주된 noise인 경우를 고려하면 SNR은 다음과 같이 주어진다.

$$SNR = 10 \log (\eta P_o R \sin^2 2\theta_k \cos^2 2\epsilon_k / 2eB) \approx 10 \log (2\eta P_o R \theta_k^2 (1 - 2\epsilon_k)^2 / eB) \quad (6)$$

(6)식은 shot noise가 주된 noise인 경우 SNR은 레

이저광의 세기, 반사율, Kerr 회전각의 제곱에 비례함을 보여준다. 윗식에서 볼 수 있듯이 SNR을 높이기 위한 가장 효율적인 방법은 Kerr 회전각을 증가시켜 주는 것인데 이를 위해 antireflection 두께의 dielectric 박막층을 광자기 박막층위에 입힌 2층구조, dielectric 박막층 및 반사층을 이용한 3층 혹은 4층 구조의광자기 디스크가 제작되고 있다.

광자기 디스크의 기관으로는 pregroove가 된 polycarbonate(PC)나 유리를 사용하고 있다. 깊이가 약 $0.07 \mu\text{m}$, 폭이 약 $0.7 \mu\text{m}$, groove간거리가 약 $1.6 \mu\text{m}$ 로서 중심으로부터 나선형 혹은 동축형으로 groove가 형성되어 있다. PC 기관의 경우 birefringence가 20 nm이하 정도로 아주 작아야 하는데 그렇지 않을 경우 레이저광의depolarization으로 인해 noise가 증가된다.

V. Direct Overwriting의 제방법

현재 광자기 디스크에 디지털 데이터를 기록하는 통상 방법은 일정한 외부 bias 자장하에서 레이저출력을 변조하여 기록하는 소위 레이저변조(laser modulation) 방식이다. 이 레이저변조 방식의 단점은 자기기록과는 달리 이미 기록된 데이터 위에 새 데이터를 기록할시 일단 기록하고자 하는 sector나 트랙에 레이저를 연속적으로 주사하여 지운후 기록해야 하는 번거로움이 있고, 고로 이로 인해 data transfer rate이 느리게 되는 문제점이 있다.

기록된 부분에 바로 재기록할 수 있는 direct overwriting 기능은 광자기 기록기술의 향상을 위해 가까운 시일내에 필히 해결되어야 한다. 광자기 기록매체의 direct overwriting을 위해 지금까지 단층막 레이저 변조방법, 교환결합(exchange-coupled) 다층막 레이저 변조방법, 자기변조방법의 3가지 방법이 제안되어 연구되고 있다.

1. 단층막 레이저 변조방법

이 방법은 보상온도(compensation temperature)가 상온보다 높은 단층막에 레이저출력 혹은 펄스시간을 변조하여 줌으로써 direct overwriting하는 시도이다(Fig. 3).

Shieh와 Kryder가[12] 보상온도 $64 \text{ }^\circ\text{C}$ 인 GdTbFe 박막에 레이저출력 7 mW/펄스시간 300 ns로 자구

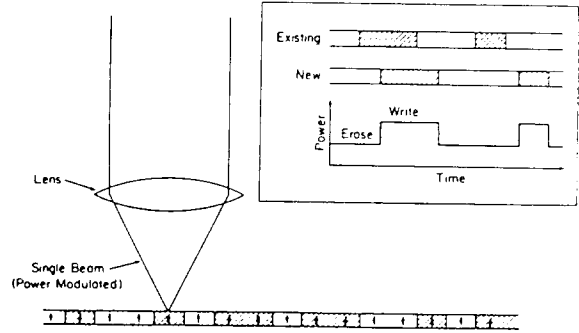


Fig. 3. Direct overwriting by laser modulation on a single-layer medium.

를 기록하고, 7 mW/100 ns로 자구를 지울 수 있음을 처음으로 발표하였고, 그후 Rugar 등이[13] 보상온도가 $73 \text{ }^\circ\text{C}$ 인 $\text{Tb}_{23}\text{Fe}_{77}$ 박막에 자구형성 방향으로 250 Oe의 bias 자장을 가한 상태에서 500 ns의 펄스시간으로 자구를 기록하고 펄스시간 50 ns의 레이저 spots을 가까이 중첩하여 주사함으로써 지울 수 있음을 보여주었다.

이 방법에 의한 direct overwriting의 원리를 Fig. 4에 도식하였다. 이제 보상온도 T_{comp} 이 상온보다 높은 자성박막에서 자성의 방향이 하향으로 위치있을때 고출력 혹은 긴 펄스시간의 레이저를 주사하여 가열하면, 온도가 보상온도 이상으로 가열된 영역은 보상온도를 지나면서 자성의 방향이 바뀌므로 자성의 방향이 상향으로 위치하게 된다.

이제 이 영역이 냉각되어 보상온도에서는 자성의 크기가 0이 되고 그 이하로 냉각되면서 주변의 반자장(demagnetization field)에 의해 상향으로 자성의 방향이 생겨 결국 자구가 형성되어 기록이 된다. 이제 이 자구를 삭제하려면 저출력 혹은 짧은 펄스시간의 레이저를 주사하여 기록된 자구의 온도를 보상온도 가까이까지 가열한다. 레이저의 온도분포를 고려하면 자구 내부의 자장의 크기는 거의 0이지만 자구 가장자리는 상향의 자성을 가지고 있다. 이제 이 영역이 냉각되면서 상향의 자성에 의한 반자장 영향으로 자구 내부 자성의 방향이 하향으로 위치하게 되어 자구의 삭제가 이루어지게 되는 것이다. 그러나, 그림에서 보듯이 완전히 삭제가 되지 않고 자구의 가장자리는 여전히 자성방향이 상향인 불안정한 자구는 남아있게 된다.

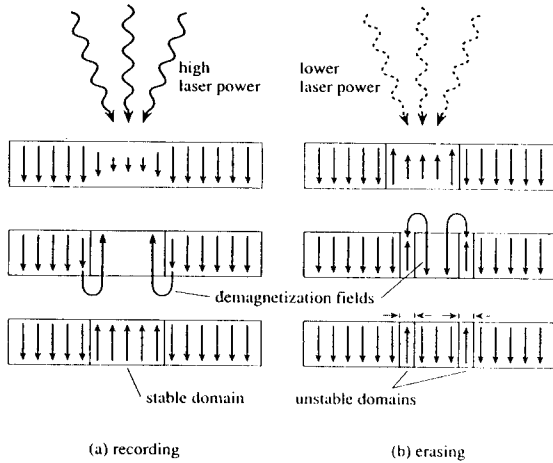


Fig. 4. Principle of direct overwriting by laser modulation on a single-layer medium.

2. 교환결합 다층막 레이저 변조방법

이 방법은 Saito등이[14] TbFe/TbFeCo나 TbFe/GdTbFe 이층으로 구성된 교환결합 이중 디스크(exchange-coupled bilayer disk)를 이용해 처음으로 시도한 direct overwriting 방법으로 작동원리를 Fig. 5a에 개략적으로 도식하였다. 기록매체는 상온에서 높은 항자력 (H_{cm})과 낮은 큐리온도(T_{cm})의 소위 ‘기억층(memory layer)’과 상온에서 낮은 항자력(H_{cr})과 높은 큐리온도(T_{cr})의 소위 ‘기준층(reference layer)’으로 구성되어 있다(Fig. 5b). 이 방법은 두개의 자석을 필요로 하는데 하나는 자기기록을 위해 레이저를 주사할때 필요한 300 Oe 정도 크기의 bias 자석(H_b)이고 다른 하나는 기억층의 자기에는 영향을 주지 않고 기준층의 자기방향을 삭제상태(erased state)로 해주는 5 kOe 정도의 초기화를 위한 자석(H_{im})이다. direct overwriting은 새로 기록할 데이터에 따라 레이저출력을 고출력 혹은 저출력으로 변조하여 이루어진다. 예를들어 이진법의 정보 “1”을 기록하기 위해서는 고출력으로 memory layer의 큐리온도 T_{cm} 이상으로 가열하면, 냉각되면서 bias 자석에 의해 기준층에 먼저 상향의 자구가 형성되고 이어서 exchange coupling에 의해 기억층에도 상향의 자구 복사가 이루어진다.(Fig. 5c)한편, 정보 “0”을 기록하기 위해서는 저출력으로 기억층 큐리온도 T_{cm} 보다 높게 그러나 기준층 큐리온도 T_{cr} 보다는 훨씬 낮게 가열한다. 이때 냉각이 되면서 exchange coupling에 의해 기억층의 자구방향이 기준층의 자구방향인 하향으로 되어 기억층에 정보 “1”이 지워지고 “0”이 기록된다.(Fig. 5d)이때 물론 복사온도에서 exchange bias field가 bias 자석 H_b 보다 커야 기억층에서의 자구 복사가 기준층과 같은 방향으로 형성된다.

기준층에서의 자구 방향은 초기화 자석을 지나면 하향으로 되는데 이를 실현시키기 위해서는 초기화 자석의 자장세기 H_{im} 이 기준층의 항자력 H_{cr} 과 exchange coupling으로 인해 야기되는 항자력 증가 $\sigma_w/2M_m t_m$ 의 합으로 결정되는 기준층의 스위칭 field보다 커야된다. 여기서는 기억층과 기준층 사이의 domain wall energy, M_m 은 기준층의 포화자화력, t_m 는 기준층의 두께이다. 한편, 기억층의 스위칭 field는 $H_{cm} - \sigma_w/2M_m t_m$ (여기서 M_m , t_m 은 기억층의 포화자화력 및 두께)로 주어지므로 초기화 자석의 자장 H_{im} 는

$$H_{cr} + \frac{\sigma_w}{2M_m t_m} < H_{im} < H_{cm} - \frac{\sigma_w}{2M_m t_m} \quad (7)$$

조건을 만족해야 한다. H_{im} 의 크기는 기억층의 자구의 안정성 및 드라이브 제작측면에서 작을수록 좋다. 이를 위해서는 식(7)에서 H_{cr} 을 작게 하면 매체의 기록 잡음이 증가하므로 한계가 있고, $\sigma_w/2M_m t_m$ 을 줄여야 된다. M_m 은 H_{cr} 가 관련이 있고, 박막의 두께 t_m 을 두껍게 하는 것은 바람직하지 않으므로 결국 domain wall energy σ_w 를 줄여야 한다. 그런데, 희토-전이 합금박막의 경우 σ_w 은 ~ 5 erg/cm²로서 좋은 direct overwriting을 실현시키기 위한 domain wall energy보다 3~4배 큰 값을 가지고 있다. 매체의 기록잡음을 증가시키지 않고 (즉 H_{cr} 을 줄이지 않고) exchange interaction을 약화시키는 효과적인 방법으로 삼층구조(trilayer structure)가 제안되어 연구되고 있다[15]. 이 매체는 수평자성 혹은 비수직자성 박막을 기준층과 기억층 사이에 끼어 넣어 domain wall energy를 줄이는 시도이다. 더 나아가 초기화 자석대신 제 4층의 박막을 사용해 기준층을 초기화 시키려는 4층구조(quadrilayer structure)가 제시되어 연구가 진행되고 있다[16].

3. 자장변조법

이 방법은 Fig. 6에서 보는 바와같이 레이저를 일정한 세기로 주사하면서 새로 입력되는 데이터에 따

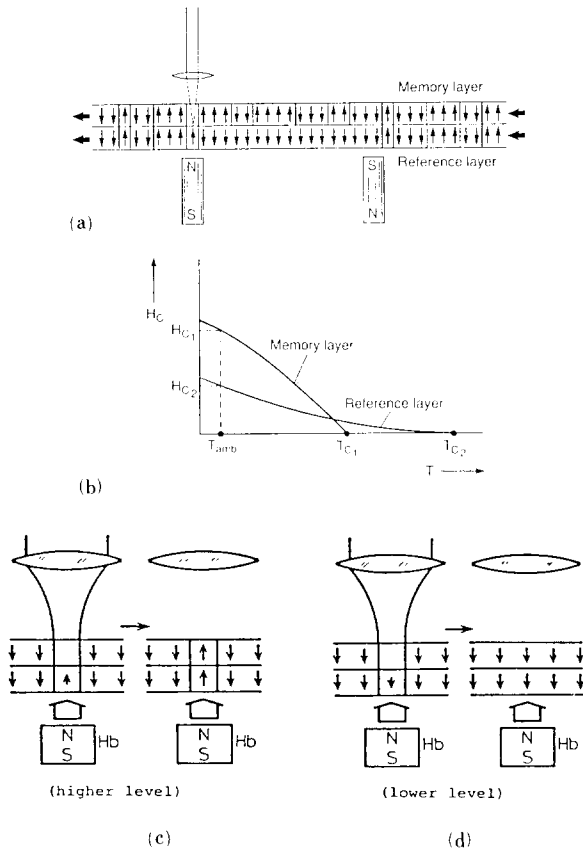


Fig. 5. Principle of direct overwriting by laser modulation on an exchange-coupled bilayer.

라 bias 외부 자장의 방향을 변조하여 줌으로써 데이터를 재기록하는 방법이다. 이때 외부 자장의 변조는 전자식에 흐르는 전류의 방향을 바꾸어 줌으로써 이루어진다. 이 방법에서는 초생달 모양의 자구 길이가 레이저출력의 변동 및 기록매체의 불균일도의 영향에 민감하게 변하지 않고 레이저빔 크기보다 훨씬 작은 자구의 기록이 가능하기 때문에 고밀도 mark-length 기록 방식에 아주 매력적인 방법이다. 그러나, 코일의 임피던스가 변조주파수에 비례하므로, 양면 디스크로부터 bias 자기코일이 2~3 mm 떨어져 있는 현재의 광자기드라이브 시스템에서는, 200 kOe 정도의 bias 자기장 세기에서 수 MHz 이상으로 변조시키는 것은 현재의 기술로는 불가능하다.

고로 이 방법은 data transfer rate의 증가에 제약이 있다는 사실이 큰 단점이 되고 있다. 결국, 이 방법의 기술적 관건은 어떻게 하면 임피던스 증가에

인한 전력 손실을 줄이느냐에 있다. 자기헤드를 스위칭하는데 발생하는 전력손실 P 는 1차 근사적으로 $P \sim 2H^2 d^2 f / Q$ 로 주어진다. 여기서 H 는 자기장의 세기, Q 는 자기헤드의 quality factor, d 는 코일-광자기층간의 거리, f 는 스위칭 진동수이다. 고로 주어진 자기장의 세기 H 와 스위칭 진동수 f 에서 전력 손실을 줄일 수 있는 길은 quality factor Q 를 증가시키는 것과 코일-광자기층간의 거리 d 를 줄이는 방법이다. Q 를 증가시키기 위한 수단으로 resonant coil 방법이 제안되었다[17]. 양면 디스크의 경우 코일-광자기층간의 거리는 기판 두께로 인해 최소 1.5mm가 떨어져 하는데 $Q \sim 75$ 인 resonant coil을 사용하는 경우라도 1~2 MHz의 스위칭 진동수가 상한 값이다. 그러나, 만약 단면 디스크의 경우는 d 를 ~ 0.1 mm 정도까지 줄일 수 있으므로 ~ 100 MHz의 스위칭 진동수가 가능하게 한다.

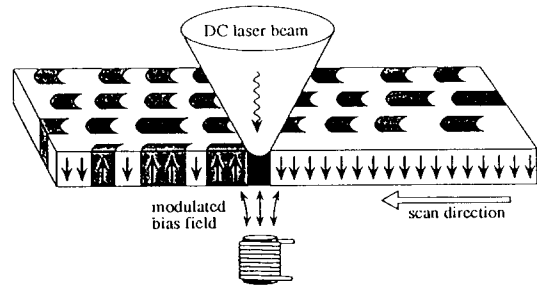


Fig. 6. Schematic diagram of magnetic field modulation.

4. 상기 방법들의 비교

다층막 레이저변조 방법은 매체 제작상이나 광헤드 디자인 측면에서 세 방법중 가장 용이한 방법이나 앞에서 설명한 것처럼 완전 삭제가 안되고 gray bit이 남아있어 신호잡음비(CNR)가 다른 방법에 비해 20 dB 낮아 실용화 단계까지는 아직 요원한 방법이다.

교환결합 다층막 레이저변조 방법은 direct overwriting 기능면에서는 아무런 주요 문제점이 없다.

그러나, direct overwriting 기능이 제반 자기적 성질에 의존하므로 디스크 전체면적의 균일한 물성이 요구되어지고, 다층구조로 인한 디스크 가격의 상승 및 생산률이 문제점으로 지적된다. 한편, 자기변조

방법의 경우도 direct overwriting 기능면에서는 별 문제가 없고 0.3 μm 자구 크기의 고밀도 기록이 가능한 장점이 있지만 변조 진동수 증가에 따른 전력 손실의 증가로 양면 디스크의 경우는 1~2 Mbits/s 정도의 data transfer rate이 현재 기술의 상한선이다.

IV. 차세대를 향한 고밀도화의 시도

광자기 기록기술이 반도체 메모리기술이나 자기 기록기술과 비교하여 정보저장기술로서 우위를 점하기 위해서는 정보집적밀도의 증가가 절대적으로 필요하다.

현재 광자기 기록의 고밀도화를 위해 여러가지 방법이 제안되어 연구되고 있는데, 여기서는 기록매체와 밀접하게 관계가 있는 시도에 대하여 기술하고자 한다.

1. 레이저광 크기의 축소

광자기 기록은 레이저광으로 국소부분을 가열하여 정보를 기록함으로써, 레이저광을 얼마나 작게 집중하느냐가 정보저장밀도를 좌우하게 된다. 집중된 광의 직경 d 는 diffraction limit 크기 $d \approx 0.5\lambda/N.A.$ 로 주어진다. (여기서 λ 는 레이저광의 파장, $N.A.$ 는 집중 렌즈의 Numerical Aperture이다.) 고로 파장을 작게 하고 $N.A.$ 를 크게할수록 좀더 작은 크기의 광을 얻을 수가 있다. 현재 광자기 기록에 사용되는 파장은 780 nm 혹은 830 nm의 AlGaAs의 반도체 레이저 다이오드인데, II-IV 화합물 반도체를 이용하거나 KNbO₃를 사용하여 Second Harmonic Generator(SHG) 방법으로 푸른색 영역(~400 nm)의 파장생성을 연구하고 있다. 이 영역의 파장을 사용할 경우 현재보다 4배 정도의 정보저장 변밀도가 증가하리라 예상된다. 한편, 현재는 0.5의 $N.A.$ 를 사용하고 있지만 조만간 0.7의 $N.A.$ 가 가능할 것으로 예상되어 이로인해 2배의 변밀도 증가를 가져올 수 있다.

2. Mark-Length 기록

현재 제 1 세대 광자기 디스크에서는 2진 정보 "1"에 마크를 기록하고 "0"에 마크를 기록치 않는 소위 mark-position 기록방식을 택하고 있다(Fig. 7). 이에 비해 Fig. 7의 아래에 표시한 것과 같이 기록 마크 양단에 정보를 대응시켜 고밀도화를 실현

하려는 것이 소위 mark-length 기록방식이다. 이때 마크 혹은 비마크 길이는 1개의 "1"과 다른 "1"과의 거리를 나타낸다. 이 기록방식은 mark-position 기록 방식에 비해 동일한 최소기록 마크를 가정할 경우 약 2배의 선밀도가 증가된다. 그러나, 광학분해 능력의 제약을 고려하면 실제적으로는 약 1.5배의 증가를 기할 수 있다. 이 기록방식에서는 마크의 가장자리를 어떻게 정확히 제어할 수 있는가가 중요하다.

Mark-position 방식의 경우 동일크기의 마크를 사용함으로써 마크 모양의 불균일 정도나 defocusing등이 정보 관독시에 크게 문제되지 않으나, mark-length 방식의 경우는 기록마크의 형상이 매체의 두께나 조성의 불균일성이 다소 존재해도 동일한 길이의 기록 마크가 형성되도록 기록 매체의 열분포가 되어야 하고, 긴 펄스기록시 기록마크의 양단과 후단에서 기록폭이 변동하지 않도록 펄스형상을 조절할 필요가 있다.

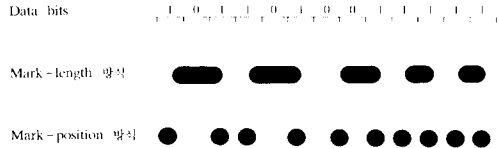


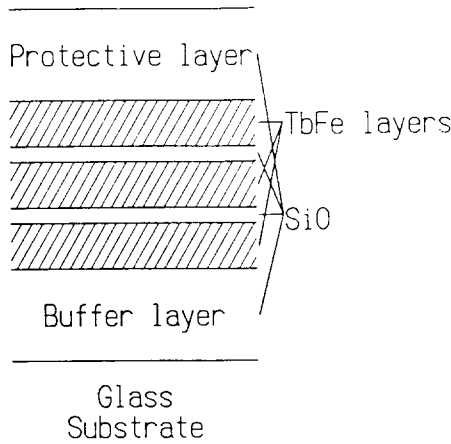
Fig. 7. Representations of mark-length and mark-position recordings.

3. 트랙밀도의 증가

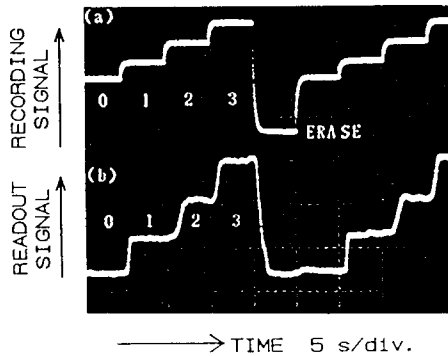
현재 광자기 디스크는 인접한 트랙간의 cross-talk을 적게 하기 위해 0.8 μm의 기록마크에 대해서 1.6 μm트랙간 거리를 사용하고 있다. 그런데, 만일 cross-talk을 제거할 수 있는 방법이 있다면 'groove' 및 'land'에 모든 기록이 가능하며 2배의 밀도 증가를 할 수 있다. 이를위해 트랙 사이에 0.07 μm의 guard band를 이용한 sector servo 방법과 인접 트랙 3군데에 3개의 레이저빔을 주사하여 가운데 트랙의 신호를 읽을때 좌우 트랙에서의 cross-talk 신호를 읽어 전기적으로 상쇄하는 방법등이 제안되고 있다.

4. Multi-Value 기록

이 방법은 항자력이 다른 여러 광자기 재질을 적



(a)



(b)

Fig. 8. (a) Schematic structure of TbFe/SiO film for multi-valued magneto-optical recording and, (b) (a) recording and (b) read-out for multi-level signals [18].

층함으로써 한 지점에서 여러 값의 정보를 기록하려는 시도이다. Fig. 8a는 이 방법을 구현키 위해 Saito 등이 [18] 제안한 광자기 매체의 개략도이다. 즉, 항자력이 다른 TbFe 광자기 박막을 3층으로 하고 박막간의 확산을 막기 위해 그 사이에 유전체층 SiO를 적층하였다. 이때 각 TbFe층의 항자력을 H_{c1} , H_{c2} , H_{c3} 라하고 $H_{c1} < H_{c2} < H_{c3}$ 라고 하자. 이제 각 층의 자화 방향이 아래쪽으로 향해 있다고 가정하면, 이때 외부자장의 크기가 $H < H_{c1}$ 인 경우는 3층의 자화 방향이 여전히 아래방향으로, $H_{c1} < H < H_{c2}$ 인 경우는 첫째층의 자화 방향이 상향으로, $H_{c2} < H < H_{c3}$ 인 경우는 첫째, 둘째층의 자화 방향이 상향으로, H_{c3}

Table II. Approaches to enhance the areal density in magneto-optical recording.

Approach	Enhancement of density
Short Wavelength Laser	4×
Increase of Numerical Aperture	2×
Mark-Length Recording	1.5×
Land and Groove Recording	2×
Multi-Value Recording	4×
Total	96 times

< H 인 경우는 3층 모두의 자화 방향이 상향으로 되므로, 결국 한 지점에서 외부자기의 크기를 변화시키는 field modulation 방법을 사용함으로써 Fig. 8b에서 보는 것처럼 4개의 다른 정보를 기록할 수 있게 된다. 고로 이 경우 2배의 집적 밀도 증가를 꾀할 수 있게 된다.

희토-천이금속 박막의 경우 수직자성을 고려하여 각층의 최소두께가 100Å가 이상이 요구되고 총박막두께가 이 재료의 부과율을 고려할 때 약 500Å가 이하여야 하므로 이 광자기 재료의 경우 최대 3배의 집적 밀도를 얻을 수 있으리라 예상된다. 그러나, 현재 차세대 광자기 재료로 활발히 연구되고 있는 Co계 초격자 다층박막의 경우는 4배 이상의 집적 밀도 증가를 꾀할 수 있을 것으로 추산된다.

이상의 여러가지 저장 면밀도 증가 방법을 Table II에 정리하였다.

향후 10년후 이상의 모든 방법을 기술화할 수 있다면 현재 정보저장 밀도의 약 96배를 실현할 수 있게 된다. 이것은 현재 직경 5.25" 디스크 양면에 600 MB 실을 수 있는 정보 집적 능력을, 2000년대에는 58 GB의 정보저장 능력을 초래하게 되어, 약 1시간 정도의 고화질 녹화가 가능하게 될 것이다.

VI. 결 론

고집적 데이터 저장방법으로 반도체 메모리기술, 자기 기록기술, 광자기 기록기술의 3가지 방법으로 대별할 수 있다. 향후 광자기 기록기술은 데이터 집적 면밀도가 다른 기술보다 월등하기 때문에 고집적 데이터 저장기술 분야의 독특한 위치를 점유할 수 있을 것은 분

명하다. 반도체 메모리기술의 경우 지난 수년간 집적 면 밀도의 증가가 2년에 2배 정도인 것을 고려하면 2000년에는 1 Gbit/in²의 면밀도가 예상되고, 자기기록의 경우는 4 Gbit/in²를 예측하고 있다.[19] 이에 비해 광자기 기록의 경우 0.3 μm 자구와 4중 multi-value 기록이 가능할 경우 28 Gbits/in²의 면밀도가 예상되어, 반도체 메모리 기술의 28배, 자기 기록의 7배 정도로 집적밀도가 크다. 한편, 다른 기술이 갖지 못하는 광자기 기록기술의 또 하나의 큰 장점은 디스크를 드라이브로부터 마음대로 제거하고 또 장치할 수 있다는 것이다. 이 장점으로 인해 사용자가 데이터 저장용량을 무한정으로 늘릴수 있다는 것이다.

그러나, 광자기 기록은 자기 기록에 비해 data access time과 data transfer rate이 느리고 한 spindle에 여러 디스크를 장치하지 못하는 단점이 있는데, 이 단점은 direct overwriting이 해결되고 광자기헤드의 무게를 줄여도 자기기록기술을 능가하지는 못하리라 예상된다.

광자기 기록기술의 이런 장단점을 고려할 때 광자기 디스크는 컴퓨터에서 고용량 데이터의 교환, backup, 보관 매체 및 HDTV 같은 고화상 이미지의 저장매체로 사용될 것이다.

광자기 기록기술에 대한 연구개발은 현재 전세계에서 100여군데의 대학교, 연구기관 및 산업체에서 활발히 행해지고 있다. 미국의 경우 국책과제의 하나로 아리조나 대학 및 카네기 멜론 대학에 Optical Data Storage Center를 두어 이 분야 연구를 주도하고 있다. 우리나라에서는 3~4년전부터 몇 군데에서 이 분야의 연구를 시작하였는데, 최근 광자기 기록기술의 유망한 시장성을 감지한 삼성, 선경, 금성등 대기업들이 과감한 연구비를 투입하여 연구개발을 서두르고 있다.

우리나라에서도 정부의 정책적 지원하에 Optical Recording Center가 조속한 시일내에 설립되어 첨단 기술의 연구개발을 주도하며, 산업체와의 긴밀한 관계를 맺어 우리나라 기업체가 이 분야의 세계 시장 점유에 우위를 차지하게끔 선도 할 수 있어야 할 것이다.

참고문헌

[1] M. H. Kryder, J. Apple. Phys. 57(1), 3913 (1985).

[2] S.-C. shin, Apple. Phys. Lett. 51(4), 288(1987).
 [3] F. T. Gredianus and W. B. Zeper, MRS Bulletin /April (1990) pp.31~38.
 [4] P. Hansen, J. Magn. Mater. 83, 6(1990).
 [5] W. Reim and J. Schoenes, Ferromagnetic materials Vol. V, North holland, Amsterdam(1990) pp.135~321.
 [6] W. H. R. Sherwood, F. Foster, and E. Kelly, J. Apple. Phys. 28, 1181(1957).
 [7] K. Lee, J. Vac. Sci. Technol. 10, 631(1973).
 [8] P. Chaudhari, J. J. Cuomo, and R. J. Gambino, Appl. Phys. Lett. 22, 337(1973).
 [9] S.-C. Shin and A. C. Palumbo, J. Apple. Phys. 67(1), 317(1990) and references therein.
 [10] S. Hashimoto, Y. Ochiai, and K. Aso, J. Apple. Phys. 67(9), 4429(1990) and references therein.
 [11] T. W. McDaniel, B. I. Finkelstein, and W. C. Williams, IEEE Trans. Magn. MAG-24(6), 2467 (1988).
 [12] H. D. Shieh and M. H. Keryder, Apple. Phys. Lett. 49(8), 473(1986).
 [13] D. Rugar, J. C. Suits, and c.-J. Lin, Apple. Phys. Lett. 52, 1537(1988).
 [14] J. Saito, M. Satio, H. Matsumoto, and H. Akasaka, Jpn. J. Apple. Phys. 26, Supple. 26-4, 155(1987).
 [15] M. Kaneko, K. Aratani, Y. Mutoh, A. Nakaoki, K. Watnabe, and H. Makino, Jpn. J. Apple. Phys. 28, Supple. 28-3, 27(1989).
 [16] T. Tokunaga, Y. Nakaki, T. Fukami, and K. Tsutsumi, IEEE Trans. magn. MAG-27(6), 5112(1991).
 [17] D. Rugar, IEEE Trans. Magn. MAG-24, 666 (1988).
 [18] N. Saito, R. Sato, N. Kawamura, and M. Kajiura, Jpn. J. Apple. Phys. 28, Suppl. 28-3, 343(1989).
 [19] M. H. Kryder, J. magn. Soc. Jpn. 15, 139 (1991).