

고밀도 광자기 기록



김진홍
(LG Elite 책임연구원)



김수경
(LG전자 Digital Media 연구소 책임연구원)

1. 서론

광디스크는 재생 전용, 기록 가능형(recordable) 그리고 재 기록 가능형(re-writable) 등의 3종류로 구분할 수 있다. 각 형태에 따라 기능과 용도 등이 다르고 또 정보를 읽고 쓰는 방식이나 광학계 등이 달라야 한다. 재기록형 광디스크는 이미 기록된 정보를 지우거나 그 위에 덮어 쓸 수 있는 광디스크인데, 가장 포괄적인 의미의 광디스크라 할 수 있고 대표적으로 광자기형 디스크와 상변화형 디스크가 있다. 특히 광자기 디스크는 수직 방향의 자기이방성을 갖는 희토류-천이금속(Rare-Earth Transition -Metal) 합금의 기록층을 이용한다. 기록층은 수직 자기이방성과 더불어 보자력도 충분히 커서 외부의 노출 자기장(stray magnetic field)에 대해 반응하지 않아야 한다.

기록 방법은, 기록하고자 하는 영역에 집중된 레이저 광을 조사하여 기록층의 온도가 큐리(Curie) 온도 부근까지 올라가면, 자성체의 특성상 자화(magnetization)값이 줄어들면서 더불어 보자력의 크기도 줄어든다. 이때, 외부에서 약한 자기장을 걸어주면, 외부 자기장과 같은 방향으로 자화의 방향이 바뀌면서 기록 마크(mark)가 형성된다. 이 경우 기록층의 온도는 200℃ 정도 상승하게 되고, 외부 자기장은 200~300Oe 정도를 인가하여 기록한다.

자화 방향에 따라 기록된 디지털 형식의 마크를 읽어 신호를 얻기 위해서는 원리상 편광된 빛의 자기광학 효과가 이용된다. 자기광학 효과는 빛이 자성체를 투과하거나 반사할 때 생겨나는 현상으로, 편광된 빛이 자성체를 투과 또는 반사 후 편광 상태의 변화가 일어나는 것을 말한다.

광 디스크의 기록 밀도는 렌즈의 개구수 NA와 광원의 파장과 관련이 있는 값으로 빛의 산란(diffraction)에 의한 분해한계를 고려하였을 때, 광 기록에 이용 가능한 최소 마크의 크기 D는

$$D = 0.61 \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

로 볼 수 있다. 파장이 650 nm인 적색 레이저와 NA가 0.65인 렌즈를 이용한다면, 기록 마크(mark)의 크기는 직경 650 nm 정도가 됨을 알 수 있다.

본 고에서 논의될 광자기 디스크의 경우, 기록 밀도는 집광된 레이저 광의 크기에 의한 한계 이하까지 향상시킬 수 있는 기술이 개발되었고 또한 다양한 재생 방법들이 개발되고 있으며, 이러한 기술들이 고밀도 기록 기술에 적용된다.

2. 고밀도 기록 및 재생 기술

2.1 기록 기술

광자기 디스크의 경우 광학적 회절 한계에 의해 기록 밀도가 결정되어지지 않는다. 즉, 회절 한계에 의한 레이저 빔의 크기 이하로 마크의 기록이 가능하다는 것이다. 그 이유는, 레이저 광 이외에 기록 및 소거 과정에 외부에서 걸어주는 자기장이라는 변수가 하나 더 있기 때문이다. 이 기술을 LP-MFM (laser pumped - magnetic field modulation)^[11]이라 하는데, 그림 1에 (재)기록 과정을 보였다.

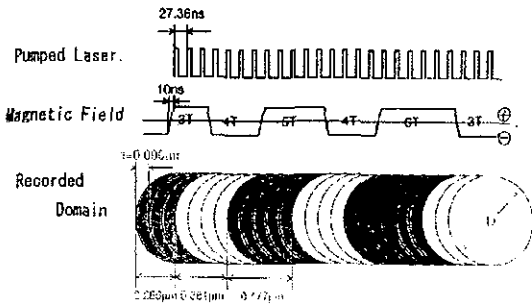


그림 1. Writing with laser pumped-magnetic field modulation (LP-MFM)

이 기술은 일정한 주파수를 갖는 내부 시계에 의해 펄스 형태의 레이저 광이 디스크에 가해지고, 이 펄스와 동기화된 (synchronized) 외부 자기장이 가해지는 과정 중에 외부 자기장의 방향에 따라 레이저 빔보다 길거나 혹은 짧은 마크를 형성시킬 수 있는 방법이다.

2.2 자기 초해상 (MSR)^[2]

회절 한계이하의 크기로 기록된 마크를 읽기 위해서는 특별한 재생 기술이 필요하다. 그 중 대표적인 기술이 자기 초해상 (magnetically induced super resolution: MSR) 기술이다. 이 기술의 기본적인 개념은 재생층을 도입하는 것에서 시작되고, 구현 방법도 다양하다. 먼저 이 기술을 구현하기 위해서는 재생층의 자기적 특성이 잘 조절 되어야 한다. 특히 재생막 보자력의 온도의존성이나 자벽 에너지의 특성 등이 중요하고 자기 이방성 에너지의 온도 의존성 역시 중요하다.

MSR의 구현 방법은 다양하지만 크게 세 가지 정도로 요약된다. 기록층에 기록된 마크를 재생층에 복사시켜 재생 신호화하는 창(aperture)을 레이저 광의 어느 위치에 형성시키는가에 따라 FAD (front - aperture detection),^[13] RAD (rear - aperture detection)^[14] 및 CAD (center - aperture detection)^[15] 등으로 분류 할 수 있다.

먼저 FAD를 살펴보면, 그림 2에 보여진 메커니즘에 의해서 재생신호를 읽는다. 즉, 레이저 빔이 입사 되지않은 상태일 때, 기록층에 기록된 마크는 재생층에 똑같이 전달되는 초기 조건을 이용한다.

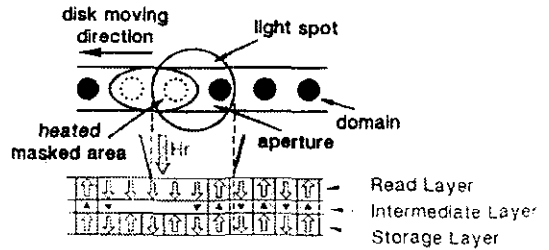


그림 2. The principle of magnetically induced super resolution (MSR) by front-aperture detection (FAD)

한편, 그림과 같이 디스크와 레이저 빔과의 상대 운동이 있을 경우 재생층의 온도 분포를 살펴보면, 빔의 중심을 기준으로 후반부(rear aperture)가 전반부(front aperture)에 비해 온도가 더 높게 된다. 따라서 재생층 후반부의 보자력이 전반부의 보다 작아지게 되고 이때, 외부에서 두 보자력의 중간정도 크기의 재생자기장(H_r)을 임의의 한 방향으로 걸어 준다면, 후반부에서는 이 H_r 방향으로 자화상태가 유지되는 반면, 전반부에서는 초기상태와 같이 기록층에 기록된 마크를 복사하는 FAD를 가능하게 한다. 이러한 상태를 이용하면 전체 빔 영역 중 전반부에서만 재생 신호를 얻을 수 있다. 레이저 빔과 외부 자기장이 없어지면 재생층의 자화 상태는 초기의 상태와 같이 기록층의 마크를 복사한 상태를 유지하게 된다.

다음으로 RAD 메커니즘은 그림 3에 보인 바와 같다. FAD 경우와는 다르게 이 RAD 기술에서는 기록하는 과정에 기록층과 재생층이 동시에 기록된다. 기록 후의 평형 상태에서는 기록층과 재생층 간의 층간결합(interlayer coupling)력이 재생층의 보자력 보다 크지 않기 때문에 각각 독립적인 자화상태를 유지 할 수 있다. 재생과정을 살펴보면, 재생층의 보자력 보다 큰 외부 초기화 자기장(H_i)을 가한다면, 재생층의 자화는 H_i 방향을 향하여 그림과 같은 초기상태가 된다. 한편, 재생 빔에 의한 재생층의 온도 분포는 앞의 FAD 경우와 마찬가지로 디스크 진행 방향에 대한 후반부의 온도가 전반부의 온도에 비해 높게 된다. 온도 상승에 의한 보자력 감소를 고려하여 재생층 후반부의 보자력이 층간 결합력 보다 작아지는 조건에서 재생층은 기록층의 마크를 복사하는 현상이 나타나게 된다. 이 때, 필요에 따라서 재생자기장 H_r 을 가하기도 한다. 그러나 전반부의 온도 상승은 상대적으로 후반부 보다 작기 때문에 보자력은 층간 결합력 보다 크다. 따라서 이러한 메커니즘으로 재생층에서 재생신호는 빔의 후반부에서만 발생시키는 RAD가 가능해진다.

CAD 기술은 여러 가지 MSR 기술 중 가장 일반적으로 응용되기도 하지만 개념적으로도 가장 간단한데, 이 기술 역시 재생층 자화상태의 온도 의존성을 이용한다. 상온에서는 막면에 대해 수평 방향의 자기 이방성을 갖고, 온도가 상승하면서

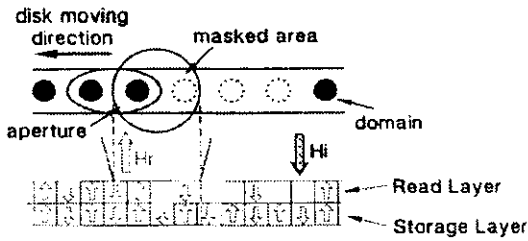


그림 3. The principle of magnetically induced super resolution (MSR) by rear-aperture detection (RAD)

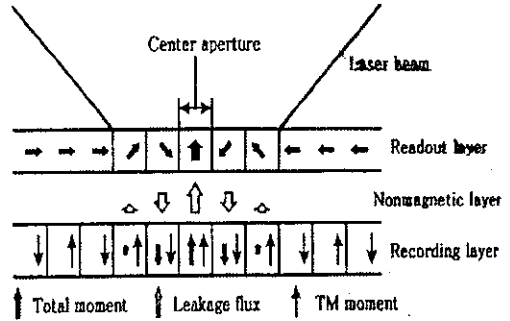


그림 5. The mechanism of magnetically induced super resolution (MSR) by center-aperture detection (CAD)

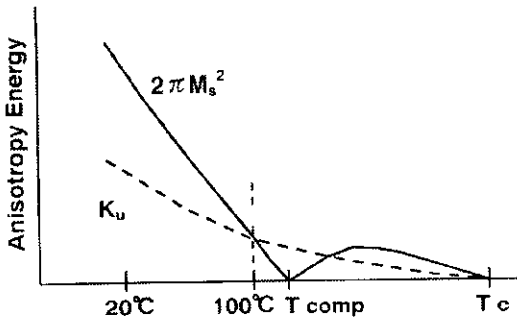


그림 4. Temperature dependence of the anisotropy energy for GdFeCo readout layer in CAD MSR

수직 방향의 자기 이방성으로 변환되는 재생층의 특성을 이용하는 것이다. 그림 4에 재생층 자화과 자기 이방성의 온도의존성을 보이고 있다.

재생층으로는 수직 자기 이방성이 크지 않은 GdFeCo 합금 박막을 주로 이용하는데, 상온에서 Gd 부격자(sublattice)의 자화값이 철이금속(Fe, Co)의 자화값보다 크면서 수평 자기 이방성을 갖는 초기 조건을 이용한다. 이 때의 상태가 그림에서 형상자기 이방성 에너지, $2\pi M_s^2$ 이 수직 자기 이방성 에너지 K_u 보다 큰 영역에 해당된다. 실질적인 수직 자기 이방성 에너지, K_{eff} 는 식(2) 과 같이 표현된다.

$$K_{eff} = K_u - 2\pi M_s^2 \quad (2)$$

즉, K_u 가 $2\pi M_s^2$ 보다 큰 조건에서 수직 자기 이방성을 갖게 되는 것이다. 따라서 그림 4에서는 100°C 이상의 약간의 영역에서 수직 방향의 자화 상태를 가지게 되고 이 영역을 재생에 이용한다.

그림 5에서는 CAD MSR의 기본 메커니즘을 보여주고 있다. 이 기술 역시 레이저 빔의 크기보다 작게 기록된 마크를 재생층을 이용하여 읽어내는 기술로 특히 빔의 가운데 부분에서 차이 형성되면서 기록층에 기록된 마크를 복사하는 반면

그 이외의 부분은 수평 자기 이방성을 갖도록 하여 재생신호에 기여하지 않게 한다. 수평 자기 이방성을 갖는 경우는 광자기 재생에서 이용하는 극(polar) Kerr 효과에 기여가 없기 때문이다. 그림 4와 같은 재생층 특성을 기록층과 같이 결합하여 이용하면, 가우시안(Gaussian) 강도 분포를 갖는 레이저 빔의 중심부에서는 재생신호를 읽을 수 있는 반면, 주변부에서는 기록층의 신호를 막아주는 CAD 기술을 구현 할 수 있다.

여기서 지적 해야 할 것은 재생층 중간창(center aperture) 주변부 자화의 요동(fluctuation)이다. 이 현상은 결국 재생 잡음으로 작용되기 때문에 제거시켜 주어야 할 필요성이 있게 되는데, 한 방안으로 마스크층을 도입하기도 한다. 마스크 층도 역시 GdFeCo 합금 박막으로 제작 가능한데, 수평자기 이방성을 가지면서 큐리온도가 낮아서 재생 레이저 빔의 중간창에서 상자성이 특성을 보이고 주변부에서는 수평자기 이방성을 유지하여야 한다.

적색광원과 통상의 광학계를 이용하고, 이상에서 기술한 MSR 재생방법을 이용한다면, 기록 밀도는 대략 5 Gb/in² 정도가 된다.

2.3. 자구 확대 기술(MAMMOS)^(1,6)

기존의 광학계에서 MSR을 이용한 고밀도화 보다 더 높은 기록 밀도를 얻기 위해서는 즉, MSR에서 재생한 마크의 크기보다 더 작은 마크를 재생하기 위해서는 다른 재생 기술이 필요하다. 이러한 요구에 적합한 대응 기술이 MAMMOS(magnetic amplifying magneto-optical system) 기술과 DWDD(domain wall displacement detection) 기술이다. 먼저 본 절에서는 MAMMOS 기술을 논의 하도록 하겠다.

MAMMOS는 기본적으로 MSR과 유사성이 많다. 디스크의 구조상 기록층과 재생층으로 구성되고, 특징적인 것은 기록 마크와 동기된 외부 자기장이 인가된다는 점이다. 그림 6은 기록 마크의 크기가 레이저 빔 크기에 비해 20% 정도인 경우 MAMMOS 기술로 재생하는 메커니즘을 보이고 있다.

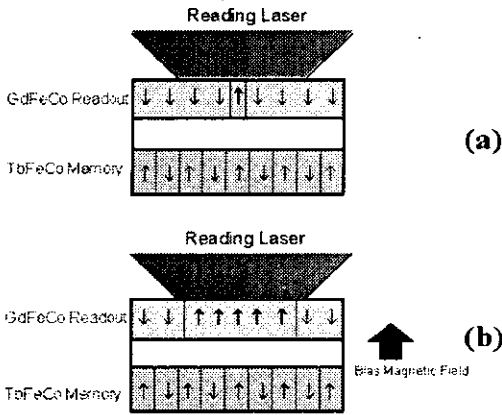


그림 6. The mechanism of magnetic amplifying magneto-optical system (a) without bias magnetic field and (b) with field

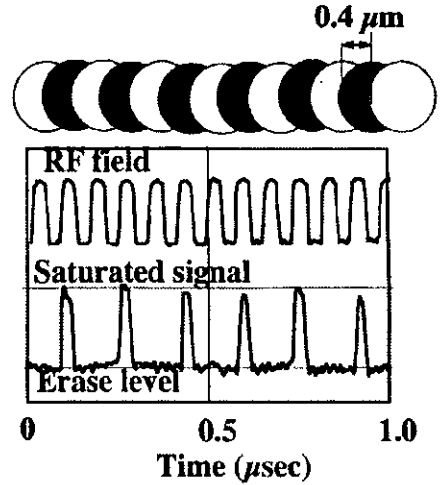


그림 8. MAMMOS readout process

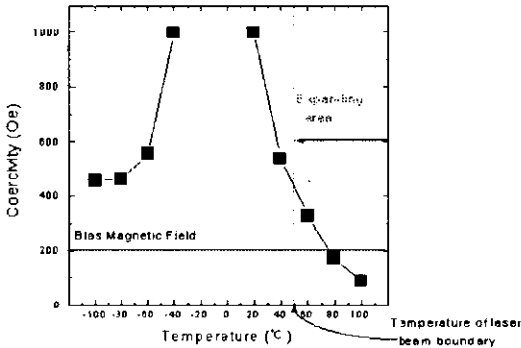


그림 7. Temperature dependence of the coercivity for GdFeCo readout layer in MAMMOS

GdFeCo 합금 재생층의 온도에 따른 보자력 의존성은 그림 7에 보인 바와 같이 천이금속 부결자의 자화값이 Gd 에 비해 큰 조성(transition metal rich)을 이용하였고 상온에서 500 Oe 정도인 보자력은 온도가 올라감에 따라 감소함을 보인다. 재생 과정에서 레이저 빔에 의해 재생층이 가열되고, 특히 온도가 상대적으로 높은 빔의 중간 영역에서 보자력이 최소가 된다. 이 때, 빔 중간 부분의 재생층은 기록층과의 정자기 결합에 의해 기록층의 마크를 재생층에 복사하게 된다. 한편, 이 상태에서 외부에서 적당한 크기의 재생 자기장을 인가하여 복사된 마크의 자화 방향과 동일 한 경우는 자기가 확대되게 하고, 반대 방향인 경우는 기록층에서 발생하는 정자기력과 상쇄되어 확대가 일어나지 않는다. 따라서 재생 과정에 자기장의 방향을 기록층에

기록된 각 마크의 위치에서 스위칭시켜 주면, 기록된 마크의 자화 방향과 재생 자기장의 방향에 따라 재생층이 확대되

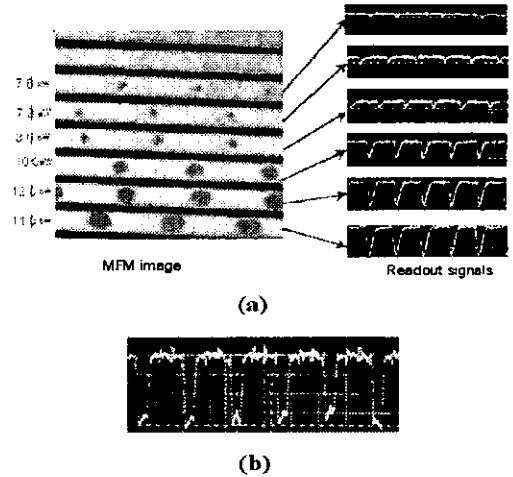


그림 9. Observation of written marks using MFM and the readout signals (a) without bias magnetic field and (b) with bias field

거나 되지 않는 상태를 디지털 재생 신호에 이용한다. 이 과정이 그림 8에 있다.

그림 9(a)는 광변조 방식으로 기록 파워를 달리하여 기록된 마크들을 MFM (magnetic force microscope) 을 이용하여 관측한 마크 형태와 재생 자기장이 없을 때 재생한 신호, 그리고 (b)는 재생 자기장을 인가했을 때의 재생 신호이다. 재생 자기장이 없는 그림 9(a)의 경우는 기록된 마크의 크기와 재생 신호의 진폭이 비례하지만, 자기장을 걸어준 경우는 그림 9(b)와 같이 모두 포화된 진폭의 재생 신호를 보여 주었다. 이 기술을 이용할 경우 앞서 논의한 MSR 에 비해 4~5 배 정도의 기록 밀도 즉 20 Gb/in² 이상을 기대 할 수 있다.

2.4 자벽 이동 검출 (DWDD) 기술^[7,8]

레이저 빔의 회절 한계 이하의 크기로 기록된 마크를 재생하는 또 다른 방법으로 DWDD (domain wall displacement detection) 기술이 있다. 이 기술 구현을 위한 디스크의 구조 역시 앞서 논한 MSR 이나 MAMMOS 디스크의 경우와 유사하다. 다만 앞에서의 재생층은 자벽 이동층으로 이름을 바꾼다. DWDD에서는 기록층의 마크를 복사한 자벽 이동층이 재생 레이저 빔에 의해 가열되면서 온도 그래디언트가 생겨나고, 이 과정에서 자벽 에너지 밀도(w)의 변화를 초래하여 자벽이 이동하는 과정을 재생 신호로 검출하게 된다.

원통형 자구를 가정하였을 때, 자구의 반경 방향으로 작용하는 힘 $F(r)$ 은,

$$F(r) = 2M(r)H_d(r) + 2M(r)H_a - \frac{\sigma_w(r)}{r} - \frac{\partial \sigma_w(r)}{\partial r} \quad (3)$$

와 같다. 여기서 자화값 $M(r)$ 과 반자장 $H_d(r)$ 의 상호 작용에 의한 힘인 첫번째 항과 자화값 $M(r)$ 과 외부 자기장 H_a 에 의한 힘인 두번째 항은 자화값이 작은 자벽 이동층을 이용할 경우 무시 가능하다. 한편, 자벽 에너지 밀도의 반경에 따른 변화에 의한 힘 즉, 자벽의 크기를 줄이기 위해 수축시키는 방향으로 향하는 세번째 항의 경우는 그림 10과 같이 자벽에 의해 닫히지 않은 자구를 만들면 무시 할 수 있다. 그림과 같은 형태의 자구는 groove에 의해 트랙이 만들어지는 광자기 디스크의 경우 실제 마크의 형태와 유사하다. 따라서 마지막 항만 자벽을 움직이는 힘으로 작용하게 되는데, 재생 빔에 의한 온도 의존성이 불가피한 σ_w 를 고려하여 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$F(x) = -\frac{\partial \sigma_w(x)}{\partial x} = -\left(\frac{\partial \sigma_w(x)}{\partial T}\right)\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) \quad (4)$$

σ_w 는 온도가 증가함에 따라 감소하게 되고, 따라서 재생 레이저 빔에 의한 온도 그래디언트는 자벽의 온도가 높아지면서 σ_w 가 낮아지는 영역으로 이동하게 된다. 이때 자벽을 이

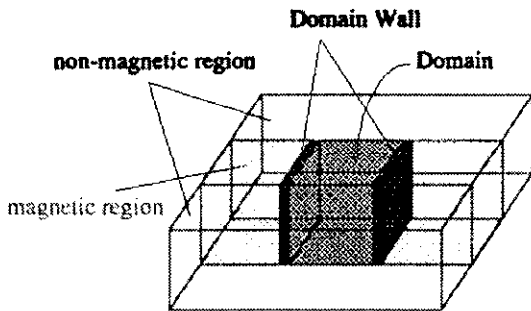


그림 10. Schematic diagram of unclosed domain wall

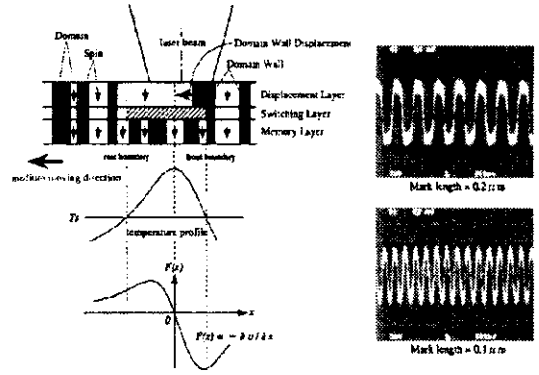


그림 11. The mechanism of domain wall displacement detection (DWDD) and readout signals

동시키는 힘이 자벽 보자력에 의한 저항을 넘으면 이동을 시작하게 되는데, 이때의 온도를 T_s 라 한다면, 이 과정과 마크 크기에 따른 재생신호의 형태는 그림 11에 있다.

3. 복합 기술 및 기타 고밀도화 기술

3.1 광/자기 복합 기술^[6]

하드디스크에 주로 이용되는 자기 기록 기술의 경우 기록 밀도가 10 Gb/in^2 를 넘어감에 따라 열적 요동(thermal fluctuation)에 의해 SNR이 감소하는 문제가 발생되기 시작하였다. 기록 밀도가 늘어남에 따라 기록 마크의 크기가 줄어들어야 하고 입계(grain boundary)를 분명히 하여 SNR을 유지하기 위해서는 기록 물질을 구성하고 있는 자성 물질 입자의 크기도 줄어들어야 한다. 자성 물질 입자의 크기가 줄어들수록 따라서 열 에너지에 저항하지 못하고 요동을 일으키는 문제 즉, 초상자성(super paramagnetic) 문제가 대두되는 것이다.

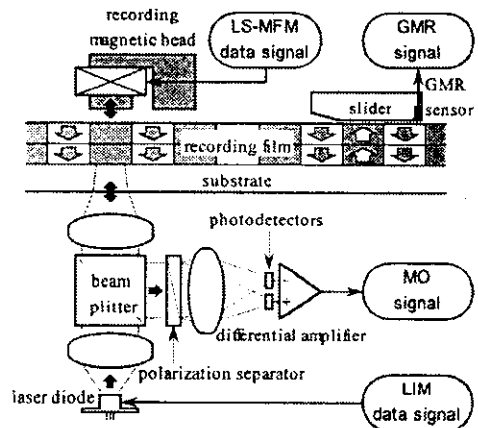


그림 12. Schematic diagram of hybrid recording system

이 문제를 극복할 수 있는 방법중의 하나는 연속 매질을 이용하는 것인데, 이미 광자기 기록에서 이용하고 있기 때문에 이 기술과 자기적 재생기술을 융합하여 복합 기술이 등장된 것이다. 기록은 광자기 기록과 동일하게 기록하고 재생은 MR (magneto-resistance) 헤드 혹은 GMR (giant magneto-resistance) 헤드를 이용한다. 그림 12에는 광자기 기록과 자기 재생을 하는 과정을 설명하고 있다.

TbFeCo와 같은 광자기 기록 물질의 경우 상온에서 자화값이 그다지 크지 않은 문제가 있다. 따라서 자화값에 비례하는 재생 신호를 고려할 때, 기록층과 층간 결합에 의한 마크의 복사가 일어나면서 큰 자화값을 가지는 재생층을 도입하여 신호의 크기를 향상시키기도 한다.

3.2 기타 고밀도 기술

지금까지는 기록 밀도에 본질적인 회절 한계를 넘어서서 재생층을 이용한 재생 기술을 중심으로 논의하였는데, 이러한 접근과는 다르게 다층의 기록막 이용한 기록 밀도의 향상을 시도하고 있다. 특히 이러한 고밀도 기술들은 광자기 혹은 상변화 구분없이 적용 가능한 특징이 있다.

다중 기록막 구조에도 두 가지의 접근이 있는데, 다치 (multi-value) 기록과 다층 (multiple layer) 기록으로 구분할 수 있다. 먼저 다치 기록은 일반적으로는 집광된 레이저의 초점 심도 (depth of focus) 안에 다층의 기록막을 위치하게 하고 각 층을 선택적으로 기록하고 재생 신호는 각 층에서 발생하는 신호의 합으로 얻는다. 상변화의 경우는 반사도의 여러 레벨이 되고,^[10] 광자기에서는 Kerr 회전각의 여러 레벨이 재생 신호가 된다.^[11] 이 밖에도 기록 마크의 크기를 다르게 하여 재생 신호의 레벨을 만들어 내는 방법과^[12] 파장이 다른 광원을 이용하여 각 층의 신호를 얻어내기도 한다.^[13]

다층 기록의 경우는 다치 기록과는 달리 초점 심도 안에 여러 기록층을 두는 것이 아니라 수 십 nm 혹은 그 이상의 거리를 두고 기록층들을 위치시켜 각각의 층들에서 따로따로 기록과 재생을 하게 된다. 이 경우는 한 기록층을 반 투명하게 하여 기록 혹은 재생 레이저 광이 투과할 수 있어야 한다. 따라서 재생신호의 레벨을 나누는 것이 아니라 여러 재생신호를 디스크의 한 면에서 얻게 되는 것이다.^[14]

4. 결 론

광자기 기록 기술은 다른 방법에 비해 여러번의 재기록 과정에서 기록 특성의 감소가 적고, 기록된 정보의 안정성이 우수한 특성을 갖는다. 다른 주목할 만한 장점은 LP-MFM 기술로 레이저의 회절 한계 이하의 크기로 기록이 가능하고 MSR, MAMMOS 그리고 DWDD 등의 재생 기술로 고밀도의 기록 정보를 재생할 수 있다는 점이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Awano, S. Ohnuki, H. Shirai, N. Ohta, A. Yamaguchi, S. Sumi, and K. Torazawa, *Appl. Phys., Lett.* 69, p. 4257, 1996.
- [2] K. Aratani, A. Fukumoto, M. Ohta, M. Kaneko, and K. Watanabe, *Proc. SPIE, Optical Data Storage '91*, Vol. p. 1449, p. 207, 1991.
- [3] M. Kaneko, K. Aratani, and M. Ohta, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 31, Part 1, No. 2B, p. 568, 1992.
- [4] K. Shono, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 23, Suppl. No. S1, p. 177, 1999.
- [5] Y. Murakami, N. Iketani, J. Nakajima, A. Takahashi, K. Ohta, and T. Ishikawa, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 17, Suppl. No. S1, p. 201, 1999.
- [6] Jin-Hong Kim, Ki-Myung Hong, Woo-Suk Choi, and Tae-Kyung Yoo, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 23, Suppl. No. S1, p. 157, 1999.
- [7] T. Shrotori, E. Fujii, Y. Miyaoka, and Y. Hozumi, *Proc. Joint MORIS/ISOM '97*, p. 38, 1997.
- [8] K. Aratani, S. Kai, and A. Fukumoto, *Digest ODS 2000*, p. 83, 2000.
- [9] H. Saga, H. Nemoto, H. Sukeda, and M. Takahashi, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 23, Suppl. No. S1, p. 225, 1999.
- [10] H.-P. D. Shieh and Y.-L. Chen, *Digest ISOM 2000*, p. 48, 2000.
- [11] A. Itoh, K. Nakagawa, K. Shimazaki, M. Yoshihiro, and N. Otah, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 23, Suppl. No. S1, p. 221, 1999.
- [12] M. P. O'Neill and T. L. Wong, *Digest ODS 2000*, p. 170, 2000.
- [13] K. Nakagawa, A. Itoh, K. Shimazaki, M. Yoshihiro, and N. Otah, *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 23, Suppl. No. S1, p. 217, 1999.
- [14] T. Akiyama, M. Uno, H. Kitaura, K. Narumi, K. Nishiuchi, and N. Yamada, *Digest ODS 2000*, p. 16, 2000.

저 자 약 령

성명 : 김 진 흥

❖ 학 령

1986 고려대학교 물리학과 졸업 (학사)
1988 고려대학교 대학원 물리학과 졸업 (석사)
1996 KAIST 물리학과 졸업 (박사)

❖ 경 령

1988~현재 LG Elite, 책임연구원

✽ E-mail: jinhkim@lg-elite.com

성명 : 김 수 경

❖ 학 령

1980 연세대학교 기계공학과 졸업 (학사)
1984 연세대학교 대학원 기계공학과 졸업 (석사)
1990 연세대학교 대학원 기계공학과 졸업 (박사)

❖ 경 령

1995~1997 Univ. of California, San Diego,
CMRR 방문 연구원
- 1984~현재 LG전자 Digital Media 연구소, 책임연구원

✽ E-mail: sookim@lge.com