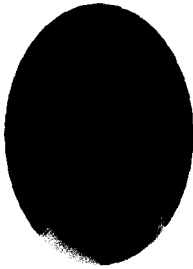


광자기 기록기술



홍기명

LG종합기술원 소재재료연구소
선임연구원



임실묵

한국산업기술대학교 재료금속
공학과 조교수

1. 서론

멀티미디어로 불리는 다중매체의 시대가 통신혁명을 통해 빠른 속도로 열리고 있고, 방대한 양의 정보가 생활속에 끊임없이 전달 교환되고 있다. 특히 멀티미디어 정보는 음성 및 화상을 포함하는 대용량의 정보로, 이에 대응할 수 있는 대용량의 저장매체가 관심을 모으고 있다. 본고

에서는 대용량 매체중 휴대성, 경제성의 측면에서 주목을 받고 있는 광자기 기록기술(magneto optical recording technology)에 대해 살펴봄으로써 향후 펼쳐질 멀티미디어 시대의 저장 매체에 대해 가늠해 본다.

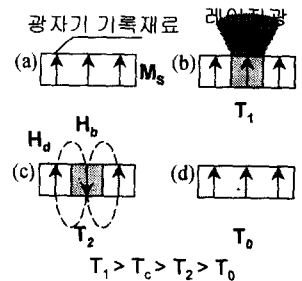
광디스크에는 콤팩트디스크(CD)와 같이 재생만을 전용으로 하는 재생전용형(ROM)과 소비자가 필요시 한번에 한해 데이터를 기록하는 추가기록형(WORM), 그리고 횡수에 관계없이 반복기록할수 있는 재기록형(RAM)이 있다. 광디스크는 대용량이며서도 휴대가 가능하고 데이터의 신뢰성이 높아 컴퓨터 장착형의 하드디스크(hard disc)와는 별도의 package media 영역에서 발전되고 있다. 재기록형 미디어에는 광자기 디스크(magneto optical disc)와 상변화 디스크(phase change disc)가 실용화되고 있으며, 광자기형은 상변화형에 비해 대용량화가 용이하고 데이터의 신뢰성이 높음을, 상변화형은 광자기형에 비해 장치의 소형화 및 디스크 호환이 용이함을 각각의 장점으로 내세우며 경쟁발전하고 있다.

2. 광자기의 원리 및 재료 특성

2-1 기록원리

약40년전 MnBi 박막위에 가열된 열펜으로 써넣은 자구를 패러데이 효과를 이용해 관찰 [1] 한

것이 광자기 역사의 최초로 알려져 있으며 그후 꾸준한 발전을 통해 80년대에 이르러 기록형 대용량 메모리로서 등장하게 되었다. 광자기미디어는 기록을 위해서는 자기기록매체의 열자구 안정성을, 재생을 위해서는 수직자화막의 표면광학특성을 이용한 것으로 기록원리는 그림1-(a)와 같이, 한 방향으로 자화된 수직자화막에 열원(light source)인 레이저광(수십mW급)을 집속하



T_0 : 기록재료 온도 H_0 : 반자계
 M_s : 포화자화 H_b : 외부Bias Field
 T_1, T_2 : Laser광 조사부 온도

그림 1. Curie점 기록의 원리

면 자기기록막의 온도는 자기적 성질을 잃게 되는 T_c (Curie temperature) 이상으로 가열되어 자화를 손실하게 된다(그림b). 레이저광의 파워오프(power off)에 의해 온도는 하강해 자화를 회복하게 되면 외부의 바이어스 자계(H_b)에 의해 반전된 자구가 형성(그림c)되어, 그림(d)와 같이 고

정되게 된다. 이같은 기록기술 (curie점 기록이라 함)을 적용한 제품으로 650MB/5.25", 128MB/3.5" 형이 있다.

2-2 재생 원리

정보의 재생방법으로는 수직자화막의 표면광학특성인 Kerr효과를 이용한다. 자기기록막의 가열을 위해 고출력 레이저광을 사용한 기록과정과 달리 재생시는 수 mW 급의 저출력 레이저광을 사용한다. 레이저 다이오드로부터 발생된 직선편광이 자기기록막에 입사하면 그 반사광 및 투과광의 편광면은 자화가 없을 때를 기준으로 하여 어느 정도의 각도만큼 회전하게 된다(그림2). 반사광에 대한 이러한 표면광학특성을 Kerr효과라 하는데 입사광은 막면에서 반사되어 자화의 상, 하방향에 따라 편광면이 θ_k , $-\theta_k$ 만큼 각각 회전하게 된다.

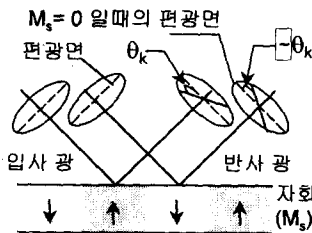


그림 2. 자기광학적 Kerr효과

이 편광면의 회전 상태는 검광자를 통과하면서 광의 강도 변화로 변환되어 디지털 신호의 "1"과 "0"에 대응하게 된다.

2-3 광자기 재료의 특성

광자기 메모리는 수직자화면에서 발생하는 자기광학 효과를 이용하므로 기록 재료의 자화가 막면에 대해 수직으로 배향되어야 하는 기본특성 외에도
- 1M bits/mm² 이상의 기록 밀

도를 위한 미소자구 직경($d = \sigma_w / 2M_s H_c$; σ_w : domain wall energy, M_s : saturation magnetization, H_c : coercive force)을 유지해야 하고 - 안정된 재생 신호를 얻기 위한 높은 Kerr rotation angle ($SNR \propto \theta_k^2 \cdot R$, R : reflectivity), 기계적/화학적 안정성 및 10⁶ 회이상의 반복 기록을 위한 자기적 신뢰성을 구비해야 한다. 이러한 기록 재생 특성을 만족시키기 위한 자기기록막 재료로는 희토류 금속 (rare earth, Tb등)과 천이 금속 (transition metal, Fe, Co등)의 비정질 합금이 주로 사용된다. 희토류-천이 금속은 전자의 스핀에 의한 교환력에 의해 희토류 원소와 천이금속 원소의 각 원자 자기모우먼트 사이에 반평행으로 배열하려는 상호작용이 있고 천이금속 원소끼리의 사이에는 평행으로 유지하려는 강한 상호작용이 존재한다.

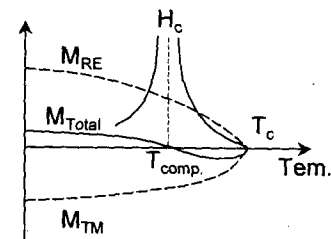


그림 3. 광자기 재료의 온도특성

그 결과 그림3과 같이 희토류와 천이금속의 자기모우먼트 방향이 반평행으로 정렬되어 참의 자기모우먼트 M_s 는 희토류의 자기모우먼트 M_{RE} 과 천이금속의 자기모우먼트 M_{TM} 의 차로 표시되며, 온도가 상승하면 희토류 원소사이의 상호작용은 천이금속에 비해 작으므로 M_{RE} 은 M_{TM} 에 비해서 급격히 저하하는 온도 특성을 보이게 된다. 이러한 온도의존성에 의해 보상온도(compen-

sation temperature, T_{comp})에서 는 두 자기 모우먼트의 크기가 같고 방향이 반대가 되어 전체의 자기 모우먼트 로서는 "0" 를 표시하게 된다 [2]. 희토류-천이 금속의 상대적 조성은 제조사별로 다소 상이하나 일반적으로 희토류금속으로는 Tb을, 천이금속으로는 Fe, Co를 적용하고 있다. 광자기디스크의 대표적 구조예를 그림4에 나타내었다.

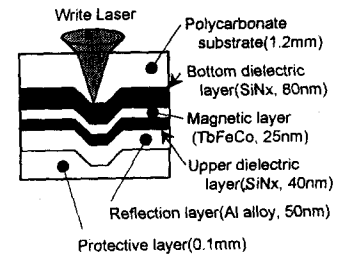


그림 4. 광자기 디스크의 구조도

기판(substrate)은 투명수지(polycarbonate)로 이루어졌으며, 그 표면에는 주소정보를 포함하는 pit와 기록을 위한 랜드(land) 및 그루부(groove)가 존재한다. 광자기형 디스크는 앞에서 나타난 희토류-천이금속의 자기기록막을 유전체막에 의해 둘러싸고 기판의 반대쪽에 레이저광의 반사를 위한 반사층을 설치하는 4층구조를 사용하는데 그위에는 손상을 방지하기 위한 보호코팅막이 존재하며 구동장치용 캐트리지(cartridge) 일체화 되어있다.

질화규소(Si_3N_{4+x})로 이루어진 유전체막은 자기기록막의 재생 신호증폭 효과와 산화성이 강한 희토류금속을 공기와 차단하여 산화를 방지하는 역할을 한다. 반

사막은 Al(+Ti합금)계의 박막으로, 재생시는 laser광의 고반사를 위한 광학적 기능을, 기록시는 자기기록막의 가열원(heat source)인 laser광의 효율적인 온도보지 기능을 수행한다. 따라서 광자기 디스크는 재료조성과 각 박막층의 막두께의 구조설계가 중요한 기술요소로 대두되고 있으며, 이는 광학적특성, 열적특성 그리고 기계적특성 모두가 재료조성 및 디스크 구조설계에 의해 크게 영향을 받기 때문이다.

2-4 중첩기록기술(overwrite recording technology)

2-1절에서 기술한 광자기 기록 기술은 높은 기록밀도와 data 안정성을 갖는 반면 새로운 정보를 기록하려면 기존의 정보를 일단 지우고 정보를 기록해야하는, 즉 2단계의 과정을 필요로 하는 번거로움이 있다. 중첩기록기술은 기존정보의 유무와 관계없이 새로운 정보의 직접 기록이 가능한 것으로, 여기에는 음악용 광자기 디스크(MD[®])에 적용된 자계변조형 중첩기록기술과 Computer 보조장치(650MB/3.5")에 적용되고 있는 광변조형 중첩기록기술이 있다. 본고에서는 자계변조형 중첩기록기술을 소개하고 광변조형 기술은 문헌소개 [3] [4] [5]로 갈음한다. 자계변조형 중첩기록기술은 그림5와 같이 자기기록막의 양측에 자기헤드(Magnetic Head) 및 레이저다이오드를 포함한 광픽업을 설치한 후, 기록시 레이저광을 연속 발진시킨 상태에서 자기헤드의 극성을 변화시키며 기록하는 방식이다. 즉 디스크 하부에 설치한 레이저광으로부터 광을 조사하여, 광이 조사된 부분의 온도를 큐리온도 부근까지 상승시켜 자화를 상실하게 하고 외부로부터 자계를 가

하여 극성이 고착되도록 하는 방식이다.

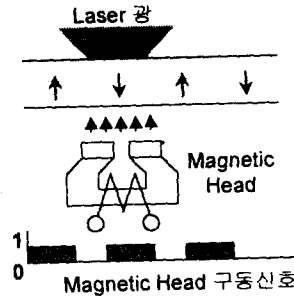


그림 5. 자계변조형 중첩기록의 원리

이를 위해서는 소형 자기헤드에서 발생하는 저자계(100Oe전후)에서 높은 자기이동도(domain wall mobility)를 나타내는 재료의 설계 및 제작 기술이 요구된다. 기록된 신호의 재생 원리는 일반적인 광자기 기록매체 경우와 동일하다.

3. 광자기 디스크의 제조 공정

광자기디스크는 데이터 전송속도 향상을 위해 고속 회전형의 원반상인 디스크 형태로 제작되며 데이터의 저장규칙(format)과 위치정보를 표시하는 피트(Pit)와 기록을 위한 그루부 및 랜드가 성형되어 있는 모재(기판이라함)를 필요로 한다. 제조 공정은 이

러한 기관용 금형을 제작하는 매스터링공정(mastering process)과 제작된 금형을 사용하여 투명기판을 사출하고 자기기록막등을 형성시키는 replication 공정으로 대별된다. 매스터링 공정은 반도체 제조공정으로부터 도입되었으며 공정의 흐름은 그림 6에 나타낸바 와 같다. 기관표면의 품질확보를 위해 글라스 표면을 충분히 연마, 세정하고 표면에 감광제(PR:photo resist)를 도포한후 레이저빔 레코더를 사용해 그루부 부분을 위한 감광처리를 한다. 현상공정에서 노광부를 용해시킨후 도전화처리(무전해 니켈도금)를 통해 표면에 전극을 형성시킨후 전해 주조욕에 투입하여 약 300 μ m 두께의 니켈 금형을 얻게 되는데 이것을 스탬퍼(stamper)라 부른다. 제작된 스탬퍼는 후속 공정인 replication 공정을 통해 스탬퍼상에 있는 피트,랜드,그루부를 용융수지(polycarbonate)에 압착전사한 후 냉각시켜 디스크 기판을 제작하게 된다. 끝 이어 기판은 스퍼터링공정(sputtering deposition process)에 보내 앞서 설명한 자기기록막, 유전체막 및 반사막을 형성시킨후 보호막 도포와 포장공정을 끝으로 공정은 완료하게 된다.

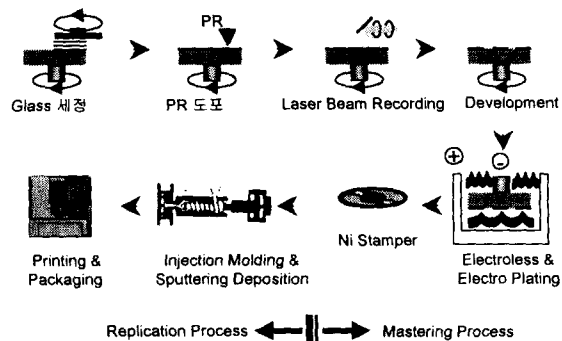


그림 6. 광자기 디스크의 제조공정

4. 광자기 기술의 대용량화

광자기디스크의 대용량화 방법을 구성 부품별로 보면 자기기록 재료, 광학계, 광원, 변조 방식의 개선을 통한 고밀도화를 들 수 있다. 본고에서는 자기기록 재료의 재생방식을 통한 고밀도화 기술 및 광학계의 접목기술인 고 개구율(NA: numerical aperture)화 기술을 살펴본다. 고밀도화를 위한 모든 시도는 동일 면적상 기록 마크의 유효 크기를 줄이고 이를 효과적으로 재생함으로써 확장된 대용량 효과를 얻는 방법($W_0 \propto \lambda/NA$, W_0 : beam waist, λ : 광원의 파장, NA: numerical aperture)에 기초를 두고 있다.

4-1. 자기적초해상 재생기술

자기적 초해상(MSR: magnetically-induced super resolution) 재생 기술은 자기기록막 I 위에 재생을 위한 자기기록막 II를 두어 재생 시는 기록막에 기록된 자구중 대부분을 가리고(masking 효과) 한정된 미소부분에서만 정보를 읽어 들임으로써 유효 beam경을 줄이는 방식 [6] [7] [8] 으로, 레이저광 조사시 기록막의 온도분포가 beam의 위치별로 다른점을 이용한다. 고온영역, 저온영역, 중심영역 등 어느 부분을 사용하느냐에 따라 각각 RAD(rear aperture detection), FAD(front aperture detection), CAD(center aperture detection) 형으로 나누어지며, 이중 재생 장치의 구조 및 기록재료의 안정성 측면에서 가장 실용화에 가까운 것이 CAD 형이다.

원리는 그림7에 나타난 바와같이 상온에서는 수평 자화특성을 가지나 온도증가에 따라 수직자화로 천이하는 자기기록막 II를

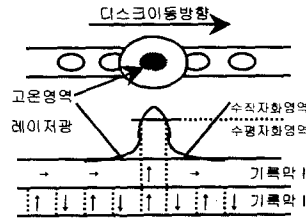


그림 7. 자기적 초해상기술의 원리

자기기록막 I 위에 설정하여, 재생시 레이저광 조사에 따라 자기기록막 I에 기록된 자구가 자기기록막 II로 전사되고 그 나머지 부분의 재생막은 수평 자화를 유지하게 되어 결과적으로 중심에 해당하는 미소영역으로 부터의 수직자화 신호만을 읽어들이는 효과를 얻을 수 있다. 기록시에는 동일한 원리로 일정온도 이상 가열된 미소 영역만이 자기기록막 II를 통해 자기기록막 I에 전사 기록되게 된다. 이를 위한 자기기록막 I에는 일반적 광자기 재료인 TbFeCo 박막이 사용되며, 온도별 자화방향 전이 특성을 갖는 GdFeCo 계열이 자기기록막 II로 적용된다. 현재 16M bits/mm² 이상의 기록 수준을 확보하고 있으며 ASMO(advanced storage magneto-optical)라는 이름으로 98년 하반기 상품화(6.1GB/12cm)될 예정이다.

4-2. 자구 확대 재생기술

자구 확대 재생기술(MAMMOS: magnetic amplifying magneto optical system)은 미소한 자구로 형성시킨 기록마크를 재생시 외부자장을 인가하여 확대시킨 후 그 증폭된 신호를 읽는 기술 [9] [10]로 그림 8에 기본 원리를 나타냈다. 재생시에는 자기기록막 상부에 설치된 자기증폭막(Expansion Layer)에 레이저광을 조사하여 기록막의 자화방향

이 자기증폭막에 전사되고 이와 동시에 외부자장(External Field)을 인가하면 자기증폭막에 전사된 자구가 증폭되는 원리를 이용한 것이다.

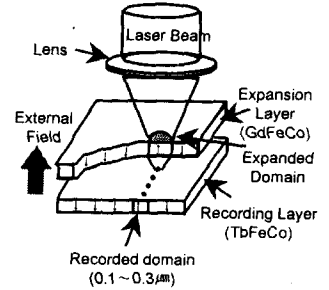


그림 8. 자구 확대 재생기술의 원리

이 기술이 자기적 초해상 기술과 다른 점은 외부자장을 별도로 설치하여 낮은 재생신호를 확대시켜 보다 높은 기록용량을 얻을 수 있는 점이나, 신호재생시 외부자계 방향을 동기시켜야 하는 기술적 난점도 공존하고 있어 실용화를 위한 보완연구가 요구된다.

4-3. 근접장 광학이론을 이용한 고밀도 기술

SIL(solid immersion lens)방식을 이용한 근접장(near field) 광기록재생기술의 개략도를 그림9에 나타내었다. 이는 HDD(hard disc drive)의 고정밀기계기술을 광자기 시스템에 적용 [11]한 것으로 lens와 기록재료의 거리를 초근접상태(1000~1500Å)로 유지시킨다. 기관측에서 입사한 레이저광이 반대방향에 부착되어 있는 자기기록막에 도달하는 기존 방법(far field optics)과 달리 자기기록막측에 직접 입사하기 때문에 레이저의 초점거리를 짧게 하여 개구율($NA \propto n \sin \theta$, n: 굴절률)을 높일 수 있으며 별도의 초소형 렌즈(solid immersion lens)

을 부상형 자기헤드에 추가하여 자장 변조형 코일과 일체형으로 된 구조로 함으로써 개구율을 극대화시킬수 있는 것이 특징이다. 부상형 헤드와 디스크간의 균일간격 유지를 위한 신뢰성 확보를 통해 상품화를 준비중이다.

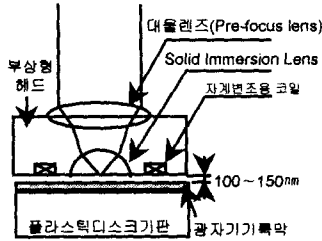


그림 9. SIL을 이용한 고밀도 광 기록재생 장치도

5. 결론 및 향후 전망

들, 나무에 정보를 기록,보존해 온 인류의 기록문화는 종이의 시대를 거쳐 다양한 형태와 종류의 기록 미디어로 발전되어 광디스크 메모리 시대로 진입하고있다. 이 시점에서 중요성이 부각되고 있는 재기록 가능형 광자기디스크의 개발적 내용을 재료공학적 시각에서 검토해 보았다. 광자기디스크는 휴대가 가능한 대용량 백업메모리로, hard disc 와는 별도의 영역을 확보 발전중이다. 상변화형(phase change type)을 규격으로 채택한 DVD-RAM(디

지탈다기능디스크의 재기록형)이 일반 소비자를 대상으로한 보편적 상품이라면 광자기형 디스크는 상변화형에 대비한 고신뢰성과 대용량을 특징으로한 전문가용 상품을 지향하고 있다. 이는 광자기 기록을 위한 가열온도가 상변화형에 비해 낮아 기술적 완성도가 높은 저출력레이저다이오드의 적용이 가능하고, 박막의 용해에 의한 유동현상으로 부터 오는 신뢰성 저하가 없으며 다중기록기술등을 통해 대용량화 및 신기능화가 가능하기 때문이다.

국내의 광디스크분야 기술은 CD 및 광자기디스크의 개발 및 제조로부터 시작되어 생산 위주로 빠르게 발전 되어 왔으나 고밀도를 지향하는 속성으로 인해 현재까지의 생산 위주 추세와는 달리 기술 집약형으로의 변신이 요구되고 있다.

앞선 금속활자로 기록 문화를 꿈꾸었던 창의력이 광자기 기록 기술의 리드로 연결되기를 기대해 본다.

참고문헌

[1] H.J.Williams:J.Appl.Phys.,28, pp.1181,1957.
 [2] Alan B.Marchant,Optical Recording,Addison-Wesley Publishing company, pp.67-84, 1990.
 [3] K.Aratani:"overwriting on a MO disk · · ·",SPIE,1078,pp.

258-264,1989.

[4] H.Iida:"Recording Power Characteristics of · · ·",Proc. Int. Symp. on Optical Memory, pp.367-370,1989.
 [5] T.Fukami:"A New Direct Overwrite Method · · ·",Proc. Int. Symp. on Optical Memory, pp.371-374, 1989.
 [6] Y.Murakami," Super Resolution Readout of a Magneto-optical Disk · · ·",J. Magn. Soc. Jpn.,17, S1, pp.201-204, 1993
 [7] J.Nakayama,"자기적 초해상 광변조 Overwrite매체",일본 응용자기학회지, 21권, 4-2호, pp.325-328, 1997.
 [8] J.Hirokane,"면내자화 mask 층을 이용한 자기적 초해상 광자기디스크",일본응용자기학회지,21권, 8호, pp.1076-1081, 1997.
 [9] H.Awano,"Magnetic domain expansion readout for amplification of an ultra high density magneto-optical recording signal",Appl. Phys. Lett., 69, 27, pp.4257-4259, 1996.
 [10] H.Awano,"초고밀도 광자기 기록용 자구확대 재생기술,일본응용자기학회지, 21권, 10호, pp.1187-1192, 1997.
 [11] ITO,"次世代光ディスク技術",トリケップス,pp.157-167,1995.

< 김 경 환 위 원 >