

수직자기기록매체의 발달과 연구동향



김경환
(경원대학교 부교수)



손인환
(신성대학 전기과 전임강사)



김용진
(경원대학교 전기전자공학과 대학원)

1. 서 론

고도정보사회라 불리는 현대사회에 있어서, 대량의 정보를 실시간으로 전달·기록하며 이를 보존하고 처리하는 일은 우리들 생활에 없어서는 안되는 것이라 해도 과언이 아니다. 특히 최근 인터넷의 발달·보급으로 인해, 이를 취급하는 정보 기술은 그 중요성을 더욱 증가시켜가고 있다. 이에 호응하듯 이, 정보처리의 도구로서 가장 많이 보급되어 있는 퍼스널컴퓨터의 성능은 특히 기억용량에 있어서 뛰어난 진보를 계속하고 있다. 이것은, 오늘날 대부분의 퍼스널컴퓨터가 가로장치로서 내장하고 있는 하드디스크의 기록밀도가 대폭으로 증가한 것에 의한 것이다.

자기기록장치의 총합기술이라고 할 수 있는 하드디스크에 있어서 자기기록밀도는 40여 년 동안 2백배에 달하는 급속한 속도로 발달을 이루었다. 현재 실용화되고 있는 것은 수백 Mbit/in²~수십 Gbit/in², 실험실 수준에서는 약 40Gbit/in²의 면기록밀도가 달성되고 있다. 그러나, 현재의 기록방식인 수평자기기록방식(Longitudinal magnetic recording method)의 경우, 기록밀도의 증가에 따른 자기감자작용으로 인해 초고밀도기록에 이론적인 한계가 제기되고 있으며, 고밀도화를 도모하기 위해 트랙밀도의 향상에만 의지하고 있는 실정이다.⁽¹⁾ 또한 현행의 NTSC(National Television Sys-

tem Committee)방식과 비교해 수배의 정보량을 가지는 하이비전이 실용화에 있으며, 이러한 VTR시스템에 있어서는 현재보다 수배의 초고밀도자기기록테이프의 개발이 불가결하다. 이러한 수평자기기록방식의 한계에 대한 해결책으로서 제시된 것이 日本 東北대학의 Iwasaki 교수에 의해 제안된 수직자기기록방식(Perpendicular magnetic recording method)⁽²⁾이다. 이 방식은 기록파장이 짧아지는 만큼 감자작용이 작아지기 때문에 수평자기기록방식과 비교해 선기록밀도, 트랙밀도에서 우위성을 가지고 있어 차세대 초고밀도자기기록방식으로서 가장 적합한 기록방식이라 할 수 있다. 본고에서는 국내에서는 아직 활발한 연구·개발이 이루어지고 있지 못한 수직자기기록방식의 원리 및 그 매체에 대해서 설명하고 현재 수직자기기록매체의 연구동향에 대해서 살펴본다.

2. 수평자기기록방식과 수직자기기록방식

2.1 수평자기기록방식과 한계점

자성체에 외부자계를 가하면, 그 자성체는 어떠한 방향으로 자화되고, 일단 한번 자화되면 외부자계를 0으로 하여도 자화가 보존되는 성질을 가지고 있다. 이 성질을 이용하여 데이터의 기록을 하는 것이 자기기록이다. 다시 말해, 자화가 어느 방향을 향하고 있는가를 데이터로서 기록하는 것이다. 이 자

화(기록자화)의 방향은 자화에 의해 발생되는 누설자속으로 인해 검출되고, 이것이 데이터로서 읽혀지는 것이다.

기록매체를 비트단위로 나누고, 각 비트마다 외부자계를 가하여 기록할 때, 기록자화가 기록매체의 면에 대해서 수평방향으로 향하고 있는 것을 수평자기기록방식이라 한다. 이 방식은 1898년 덴마크의 과학자 Valdemar Poulsen에 의해 발명된 이후, 자기기록의 기본원리로서 하드디스크, 플로피디스크, 오디오테이프, 및 ID카드, 신용카드 등의 각종 정보기억장치에 이용되고 있고, 잔류자속의 공간분포가 크고, 재생출력도 높은 장점도 가지고 있다.

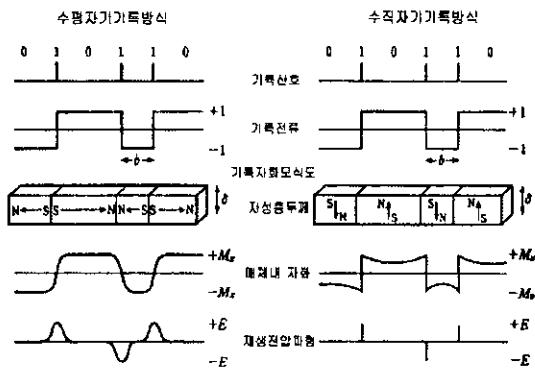


그림 1. 수평자기기록방식과 수직자기기록방식

HDD의 기록밀도 향상에 따라 수평자기기록방식에서도 그 이론상 한계점을 나타내고 있다. 그 이유는 크게 2개로 분류된다.

그 하나는 자기감자계의 증대이다. 일반적으로 수평자기기록매체 중심에 있어서 자기감자계 H_d 는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$H_d = \frac{M_r}{\mu_0} \left\{ 1 - \frac{\lambda}{2\pi\delta} (1 - e^{-2\pi\delta/\lambda}) \right\}$$

여기서 M_r 은 잔류자화, μ_0 은 진공의 투자율, λ 는 기록파장, δ 는 자성층두께이다. 고밀도화를 위해 선기록밀도가 높아지면, 기록파장 λ 가 짧게 되고 자기감자계 H_d 는 커진다. 최종적으로 H_d 는 M_r / μ_0 에 차츰 가까워져 기록자화 자체가 존재할 수 없게 된다. 이런 자기감자계가 기록자화를 감소시키고, 데이터의 기록·소거가 어렵게 하는 원인이 된다.

두 번째 이유는 자화모드의 변화이다. 기록밀도가 높고 자화의 루프가 큰 경우, 기록매체로부터 나오는 누설자속이 충분히 발생하지만, 기록밀도가 높은 경우에는 자화루프가 작게되어 원형자화모드가 형성된다. 그 결과, 기록자화가 매체 내에 묻히게 되고 누설자속이 발생하지 않게 되어 데이터의 재생이 어렵게 되는 것이다.

이러한 문제에 대한 해결책으로서 자성층을 극박화하거나, 헤드의 부상높이를 낮추는 등의 방법이 있지만, 기록자화의 감소나, 열적안정성에 문제 발생된다.^[3]

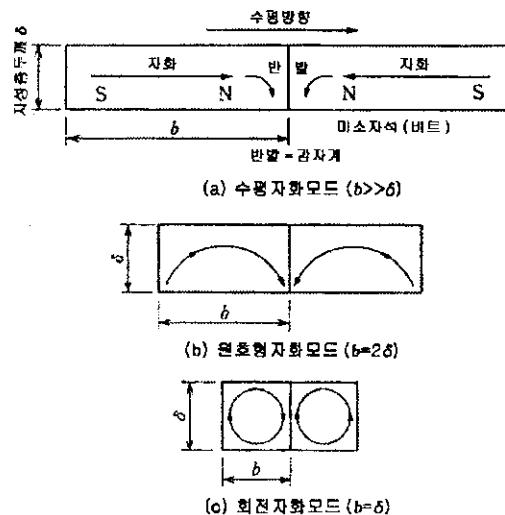


그림 2. 자화모드의 변화와 기록감자손실

2.2 수직자기기록방식

HDD의 기록용량의 증가에 따른 현 기록방식의 한계점이 대두되어 이를 해결하고자 제시된 기록방법으로 수직자기기록방식이 있다. 수평자기기록방식과는 달리 기록자화가 매체의 면에 대해서 수직한 방향으로 향하고 있어, 인접하는 비트의 기록자화는 서로 반평행하게 되고, 감자계가 작다. 이로 인해 기록밀도를 높이는데 유리하다고 할 수 있다. 또 고밀도화를 이루기 위해 비트길이를 줄여도 반자계의 영향을 받지 않고, 오히려 반자계를 감소시킨다. 그밖에 다음과 같은 장점^[4-6]이 있다.

- 자화천이영역에서 감자계가 감소하고 강한 잔류자화와 급격한 자화반전이 이루어진다
- 고밀도기록이 되는 만큼 반자계가 감소한다
- 기록신호의 위상차, 자화천이의 확장이 없다
- 박막 두께가 기록분해능에 영향을 주지 않는다

그림 3은 수평자기기록매체와 수직자기기록매체의 자화천이에 대해 나타낸 것이다. 수평자기기록매체는 면 방향으로 자화가 용이한 괴상(塊狀)입자로 이루어진 박막이다. 이 경우 박막두께가 얕을수록 면 방향으로의 자화가 용이하게 되고, 그 충돌자화(head of magnetization)에 의해 서로의 자화방향에 반대방향으로의 강한 자계(자기감자계)를 발생시킨다. 이로 인해 보자력을 크게 해도 자화천이는 큰 폭으로 흔들리고,

자화전이폭을 넓힌다. 이와 같은 전이는 Zig-Zag 자구라 부르고, 면내자화용이한 박막에서 관찰된다.^[7]

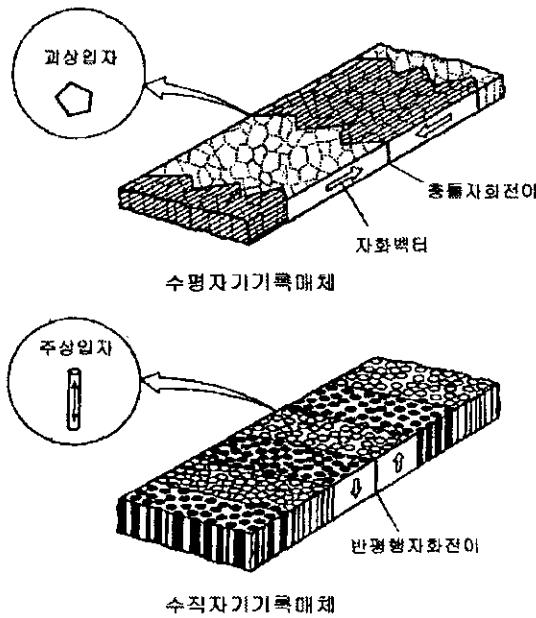


그림 3. 수평자기기록매체와 수직자기기록매체의 자화전이 모델

이것에 대해 수직자기기록에서는 입자의 통계적변동에 의한 자화의 혼들림은 다소 있지만, 본질적으로는 반대방향의 자화를 가지는 주상입자로 자화전이가 형성된다. 그럼과 같이, 수직으로 자화용이한 미립자구조라면, 그 구성단위인 1개 1개의 자성미립자의 크기가 기록분해능의 한계를 나타낸다. 또 자벽이 관여해도, 전이의 폭은 매체를 구성하는 기본재료의 자기이방성, 포화자화, 교환에너지 등의 물성값 자체로 결정된다. 수직기록의 분해능이 물성한계까지 높은 이유는 이 때문이다.

이러한 장점들로 인하여 현재 초고밀도기록을 위한 차세대 기록방식으로서 많은 연구가 진행 중에 있다.

3. 수직자기기록용매체

3.1 수직자기기록용매체로서의 특성조건

초고밀도기록을 실현시키기 위해 제안된 수직자기기록방식에 있어서 다음과 같은 특성조건을 구비해야 한다.^[8]

- 큰 수직자기이방성을 가질 것

매체면에 수직방향의 반평행한 수직자화모드를 형성하기 위한 특성이 요구된다. 박막형 기록매체의 경우, 매체면에 평행하게 형태자기이방성을 갖고 있으므로, 이것보다 큰 결정자기

이방성이 매체면에 수직 방향으로 존재하여야 한다. 즉 수직 자기이방성자계 H_k 가 수직으로 작용하는 수직최대 감자계 $4\pi M_s$ 보다 크고, 수직자기이방성에너지 K_{\perp} 가 정자(靜磁)에너지 $2\pi M_s^2$ 보다 커야 된다. 또한 자화용이축의 분산각 $\Delta\theta_{50}$ 이 극히 작아야 한다.

- 포화자화 M_s , 수직방향의 잔류자화 M_r 가 클 것

큰 포화자화는 높은 재생출력을 얻기 위해 필요하다. 정확히 말해서, 큰 잔류자화라 해야하지만 잔류자화는 보통 포화자화보다 작기 때문에 포화자화가 큰 것이 우선 제1조건이 된다.

- $M-H$ 곡선의 형태

같은 포화자화 재료라 해도 잔류자화/포화자화(M_r/M_s)의 비, 각형비가 큰 것이어야 한다.

- 주상미립자구조

미립자구조는 수평, 수직 모든 방식에 있어 고밀도화에 필요 한 매우 중요한 요소이다. 박막매체라 하는 것도 이 미립자성을 가지는 것이 중요하다. 수직자기기록에서는 매체가 물성한 계까지 본질적으로 높은 기록분해능을 가지기 때문에 오히려 재생헤드의 분해능이 장치로서 기록밀도의 중요한 결정요인이 된다. 그림 4는 미립자구조를 가지는 전형적인 재료인 Co-Cr 박막과 단결정에 가까운 이상적인 연속결정막인 MnBi 막의 $M-H$ 곡선과 전이구조모델을 나타낸 것이다. 그림과 같이 MnBi 막은 자벽이 동형의 자화반전을 한다. 혹백의 경계는 자벽으로 그 폭은 매우 좁다. 보자력은 소위 역자구발생자계 H_c 이 1000 Oe정도로 크고, 한번 역자구가 발생하면 자벽은 안정한 위치까지 자벽이 이동하여 큰 자화변화가 생긴다. 따라서, 자기헤드로 일정위치로 이동하려고 해도 확실하게 그 위치에 자벽이 머물려 있지 않게 된다. 이에 반해서 Co-Cr막은 그림과 같이 인접한 입자끼리 자기적으로 독립된 입자로 구성되어 있다. 전이선이 직선적이고, 트랙방향으로 적분하여도, 전이부근에서는 매우 급변한 자화분포를 가지게 된다. 이것은 개개의 입자위치에서 입자의 자화반전이 인접입자의 자화변화에 구속되지 않고, 인가된 기록헤드의 자계에 의해서만 반전하기 때문이다. 이와 같이 영역기록과 달리, 전이기록에 기초를 둔 자기기록에 있어서 전이폭을 좁게 할 수 있는 독립입자군으로 이루어진 박막이 우수한 매체재료라 할 수 있다.

- 수직보자력 $K_{c\perp}$ 이 클 것

자화전이영역에서 감자계가 작용하지 않기 때문에 수직보자력이 기록분해능을 결정하지 않지만, 수직자화모드라고 해도, 표면자화에 의한 감자작용을 받기 때문에 출력관점에서 기록감도를 허용하는 범위에서 높은 수직보자력을 갖는 것이 바람직하다.

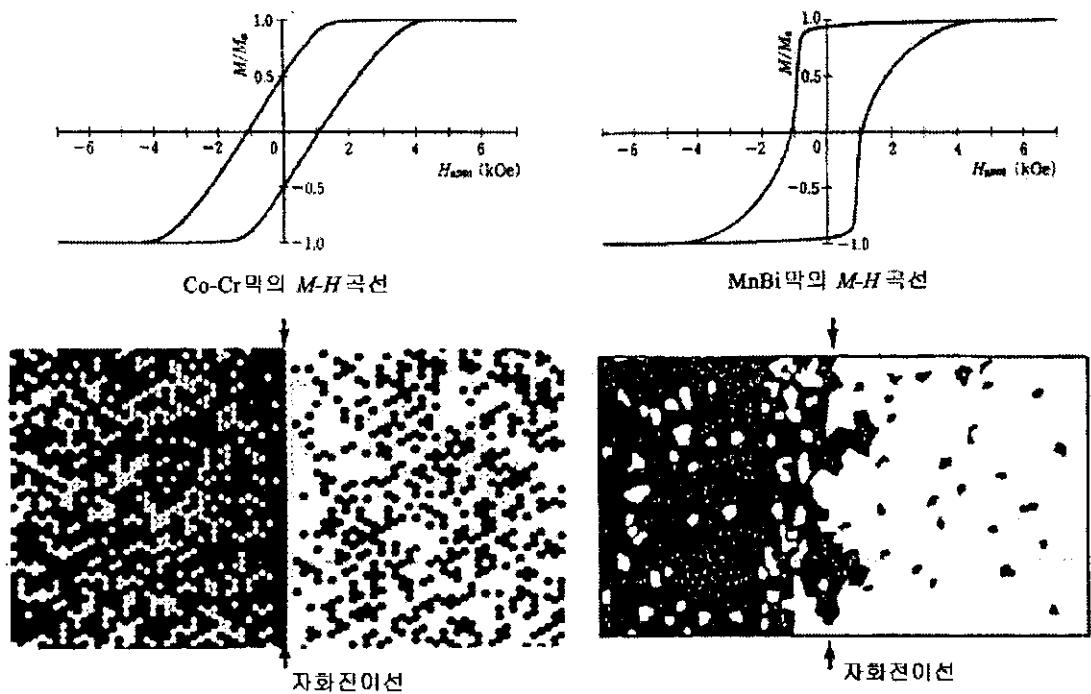


그림 4. Co-Cr막과 MnBi막의 M-H곡선과 자화전이모델
(흑백의 대조는 지면에 수직한 윗방향, 아래방향의 자화를 나타냄)

- 열적, 화학적 안정성이 높을 것
- 기계적 강도(경도·내마모성), 가열성이 좋을 것
- 균일성(막두께 및 자기특성)이 좋을 것
- 제작방법의 재현성 및 양산성이 좋을 것
- 낮은 단가

수직자기기록매체는 이상의 특성을 만족해야 한다.

3.2 Co-Cr계 합금매체

수직자기기록방식이 제안된 초기부터 지금까지도 수직자기 특성이 우수한 매체로서 가장 많은 연구·개발이 이루어지고 있는 합금으로 스퍼터링법이나 진공증착법으로 제작된다.

Co는 *hcp* 구조를 가지는 일축이방성결정이다. 이 Co의 용이축(*c*-축)을 베이스면에 대해 수직으로 배향시킴으로써 수직자기기록이 가능한 매체가 된다. 그러나, 일반적으로 Co 단일 박막의 *c*-축 배향성이 나쁘고, 충분한 H_c 를 얻을 수 없고, M_s 가 너무 크기 때문에 수직자화의 조건($H_c \geq 4\pi M_s$)을 만족시키지 못한다. 이러한 문제를 개선하기 위해서 적당한 원소를 첨가하여 M_s 를 낮추고, *c*-축 배향성을 향상시킬 필요가 있다. 이 첨가되는 원소로서 V, Mo, W, Cr 등이 있지만, *c*-축 배향성의 개선이나 편석구조의 촉진에 있어서 Cr이 가장 유망시되어 연구가 진행되어 왔다.

Co와 Cr의 혼합이 충분히 이루어지고, 조성분포가 일정하며 격자결함이 적은 결정자로 이루어진 박막이 제작되었을 때 화학식을 $\text{Co}_x\text{Cr}(x=8, 5, 2)$ 즉 $(x+1)=3\times 3, 3\times 2, 3\times 1$ 이 되면 정수비조성의 Co_8Cr , Co_5Cr , Co_2Cr 은 육방정계단상으로 최조밀연인 *c*면의 Co, Cr 원자의 분포는 일정하게 되기 쉽다. 이상적으로 완전하게 일정하다면 그림 5와 같이 *hcp*격자에 적합한 Co-Cr계 합금의 원자망을 형성한다고 생각할 수 있다. 이들 조성의 박막은 표 1과 같이, 포화자화 M_s 가 큰 수평기록층, M_s 가 적당한 수직기록층, M_s 가 작은 씨앗(seed)·하지층으로서 사용되고 있다.

100Gb/in²이상의 초고면기록밀도의 자기기록매체는 직경이 nm 단위이며, 결정성이 우수한 강자성영역이 자기적으로 격리되어 있는 독립된 상태에 있는 Co-Cr 기록층을 필요로 한다. 온도 200°C~300°C의 아몰파스기판 위에 스퍼터링방법을 이용하여 Co-Cr 박막을 증착할 때 초기 기판위에는 *fcc*격자의

표 1. *hcp* 격자에 적합한 Co-Cr 합금의 조성

Co · Cr system	M_s	medium
$\text{Co}_8\text{Cr} \cdots \text{Co}_{89}\text{Cr}_{11}$	larger	longitudinal
$\text{Co}_5\text{Cr} \cdots \text{Co}_{83}\text{Cr}_{17}$	proper	perpendicular
$\text{Co}_2\text{Cr} \cdots \text{Co}_{67}\text{Cr}_{33}$	small	underlayer

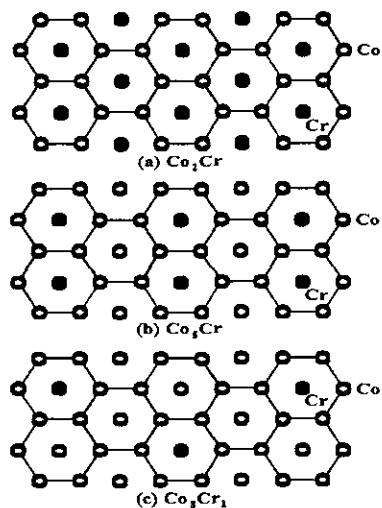


그림 5. hcp 격자에 적합한 Co-Cr 합금의 원자망

(111)면배향을 하는 Co-Cr박막이 형성된다. 그후, 바로 증착 면상의 *fcc*격자점으로부터 adatom이 변위함으로써 *hcp*의 (00n)면이 형성된다. 이것은 보통 Co원자가 400°C이하의 온도에서 *hcp*격자를 취하기 때문이다. 이 격자변화에 의해 매우 큰 내부응력이 발생하고, 결정자를 Cr 함유량 C_{Cr} 이 낮은 영역과 높은 영역으로 스파노들분해시킴으로써, 위에 서술한 독립된 nm사이즈의 자구균(磁區君)을 형성할 수 있게 된다.

3.3 Co-Cr-X매체

미세구조 · 결정성 및 자기적 특성을 개선하기 위한 Co-Cr 계합금의 제3원소로서는 V족의 Nb, Ta, VI족의 Mo, W, VII족의 Mn과 VIII족의 Ni, Pt이 가 첨가되어 연구되고 있다. Nb, Ta, Pt는 보자력 H_c 의 증대, Mo, W는 입자의 미세화를 위해 행해지고 있다. Co-Cr 합금박막에서는 H_c 의 증대가 없어서는 안되는 요건으로 Pt의 첨가가 가장 효과적이다. 다른 Nb나 Ta와 비교해 원자반경 (=1.39 Å)이 작고, 최밀연의 원자망 *fcc*(111)이 Co의 함유량 C_{Co} 가 80at%에 가까운 Co의 *hcp*(001)과 동형이기 때문에 규칙합금이 되기 쉽고, 격자결합이나 아몰퍼스화 되기 어렵다는 장점이 있다. 그러나, Co-Cr-Pt박막을 기록층으로 하는 매체에서는 노이즈가 심하게 나타나는 특성이 있다. Nb와 Ta의 첨가는 같은 효과를 가지도록 하고 있지만 Ta이 많이 채용되고 있다. 이것은 Nb와 Ta은 원자반경은 같고 (=1.46 Å), Co나 Cr과 비교해 크기 때문에, Co-Cr 합금의 격자점을 점거해 나가기 어렵고, Co-Cr박막의 내부나 표면에서 Ta보다 3배 높은 이동도를 가지는 Nb가 입계근방으로 이동하여 편석되기 쉽기 때문이라고 간주된다.

Co-Cr합금의 제3원소로서 Ta은 아래와 같은 효과를 가지게 하는 것이 기대되고 있다.

1. 소량의 Ta(2~5at%)로 Co를 치환하면 육각형격자가 조금 확장되어, Cr이 중앙부로 들어오기 쉽게 되어 결정성이거나 c-축 배향성이 개선되어, H_c , H_k 를 증대시킬수 있다.
2. 모든 금속원소의 경우 Ta이 Co-Cr합금중에서의 이동도가 가장 낮기 때문에, Ta의 adatoms가 충분한 운동에너지 가지고 날아들어오면 일정하게 분포되고, Co격자점은 채우면, Ta원자끼리는 집합하지 않는 독립상태의 일정분포가 된다.
3. *hcp* 안정의 Co에 bcc 안정의 Cr을 상당량 혼합하여도 *hcp* 격자를 유지한다. 즉, Ta이 이와 같은 비평형상을 안정화한다.
4. C_{Ta} 를 증가시켜, 아몰퍼스화 직전의 한계값으로 하면, 약 1.0nm의 아주 미세한 Co-Cr합금의 단결정이 형성되고, 기록밀도를 극한까지 높일 수 있다.

3.4 페라이트 자기기록매체

페라이트는 10nm 정도의 두께로 박막화 하고, 같은 크기로 미세화하여도 화학적으로 안정하고, 경도도 충분히 있어 내마모성에 우수하다. $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (마그헤이트:스피넬형 제이산화철) 자성분말도포형 · 연속박막형^[8] 디스크의 실용화와 고성능 · 긴수명으로 실증되고 있다. 또 고밀도의 요구에 응해야 하고, 보자력 H_c 를 높이기 위한 목적으로 Al, Si, Y^[9], Sm, Os^[10], Pt 등의 미량첨가가 실험되고, 각각 고유의 성과가 있다고 보고되어 왔다. 그러나 무엇보다도 Co 첨가가 H_c 를 높이기 위해서 가장 유효하고, 결정자기이방성정수 K의 온도변화를 감소시킨다는 것이 알려져 있다. $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{:Co(Co함유량 }C_{Co}=3\sim5\text{at\%})$ 의 박막을 자기기록층으로 하면 고 H_c 의 고밀도디스크가 되고, 헤드-매체의 접촉면은 거의 마모되지 않고, contact mode로 기록 · 재생이 가능하게 된다.

Magnetoplumbite형 Ba페라이트(BaM페라이트 조성 $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$)박막은 비교적 큰 포화자화 $4\pi M_s$ (4.8kG)와 높은 수직자기이방성자계 H_{kz} (>15kOe)를 나타내며, 우수한 화학적안정성, 기계적 강도, 내마모성을 가지고 있는 것으로부터 contact type의 보호층이 없는 초고밀도 수직자기기록층으로서의 응용을 기대할 수 있다.^[11]

3.5 고자기이방성막에 의한 신규매체

차세대의 초고밀도기록매체에는 열자기안정성을 확보하기 위해서는, 보다 큰 자기이방성을 가지는 박막재료가 필요하다.

Co/Pd 다층막^[12]은 15kOe 이상의 높은 수직자기이방성을 쉽게 얻을 수 있다. 이 방성자계에 비해 저항력이 작은 수직자기이방성 막은, 일반적으로 입자간의 교환결합이 강하고, Co/Pd 다층막매체에서는 자구크기가 크게 되기 쉽고, 큰 매체노이즈가 발생하기 쉽다. 높은 Ar압력 아래에서의 스퍼터링^[12]이나, 미량의 에어도입 진공증착^[13] 등에 의해 제작된

표 2. 최근 수직자기기록매체

Media	H_c (kOe)	M_s (emu/cm ²)	H_k (kOe)	Magnetic layer thickness(nm)	Institution
Co-Cr-Nb-Pt/Ti	2.5	250-450	6	50	AIT
Co-Cr-Pt(Ta)/Co-Cr/Ti-Cr	2-3	400-500	>10	25	HITACHI
Co-Cr-Pt/Ti/Co-Zr	2-4	500	13	20	KAIST
[Co-Cr-Ta/Pt] _n /Ni-Fe	2.5-3.6	150-320	~5	40/700	Rice U.
[Co/Pd] _n	2-10	200-600	15-30	10-50	AIT
Fe-Pt	2-5	800	>30	10-50	AIT
Tb-Fe-Co, Pr-Tb-Co	0.8-3.1	200-400	50-60	50-100	SHARP
Co-γ-Fe ₂ O ₃ /NiO	2-8	310	>5	50	Yamaguchi U.
Al-Ba-ferrite/Pt	3.2	150	30	250	Tokyo Inst. Tech
[Ba-ferrite/Pt] _n /Pt	2.5	220	15	90	CMU
Co-ferrite/NiZn-ferrite(plating)	2-3	500	~5	35-180/500	Tokyo Inst. Tech
Co-Cr-Nb-Pt/Ni-Fe-Nb/Ti	3	300	6	50/5	AIT
Co-Cr-Ta/Co-Zr-Nb/Co-Sm	2.5	400	6	50/600/15	JVC
Co-Cr-Ta/Al-Fe-Si-Cr	2-3/0.2	-	-	50-100/500	NEC

표 3. 기록층 자성박막의 조성

Base system	Alloy composition
Co-Cr	Co ₇₄ Cr ₁₇ Ta ₄ Mo ₃ , Co ₈₁ Cr ₁₂ Pt ₅ Ta ₁ Nb ₁ , (Co ₈₁ Cr ₁₉) _{97.7} Y _{2.3} , Co ₇₄ Cr ₁₉ Pt ₅ Ta ₁ Nb ₁
Co-Ni	Co ₈₀ Ni ₂₀ , Co ₅₀ Ni ₅₀ , Co ₇₀ Ni ₂₅ Al ₅ , Co _{62.3} Ni ₃₀ Cr _{7.5} , Co ₇₆ Ni ₂₀ Cr ₁₀ , Co ₇₀ Ni ₂₁ Ta ₄ Pt ₅ , Co _{68.60} Ni _{13.20} Cr _{1.6} Ta ₄ , Co _{65.60} Ni _{11.16} Cr ₁₅ Ta ₄ Pt ₅
Co-Pt	Co ₇₅ Pt _{2.5} (Co ₃ Pt), Co _{87.5} Cr _{12.5} (Co ₃ Pt), Co _{1-x} Pt _x (x=0.20~0.75)
Fe-Pt	Fe ₅₀ Pt ₅₀ , Fe ₆₀ · ₄₀ Pt ₄₀ · ₆₀ , Fe ₇₅ Pt ₂₅ (Fe ₃ Pt), (Fe ₅₀ Pt ₅₀) ₈₀ Ta ₂₀ ·N, (Fe ₆₅ · ₅₅ Co ₃₅ · ₄₅) ₅₀ Pt ₅₀
Construction	Combination
granular	Co-CoO, Co-CoN, CoPt-Al ₂ O ₃ , CoPt-SiO ₂ , Co-C, Co-B, Co-Si, Co-Cr, Co-Ag, Fe-Zr
multilayer	[Co(0.22nm)/Pd(0.94nm)] ₂₀ , [Co(0.3nm)/Pt(1.0nm)] ₃₀ , [Co-B(0.5nm)/Pt(0.5nm)] ₃₀ , [CoPt(0.5nm)/a · Si(0.3nm)] ₃₀ , [Co-Cr(10.0nm)/Al(1.0nm)] ₁₀ , [Co-Cr(7.5nm)/a · C(0.5nm)] ₁₅

Co/Pd 다층막의 자구크기의 감소에 유효하다. 이 경우의 자구크기의 감소는 Co-Cr 박막과는 달리, 입자간의 물리적인 분리에 의한 것이라 생각된다.^[14] Co/Pt 다층막매체^[15]의 Co 층은 Co-Cr-Ta 층으로서 고온에서 제작하여도 노이즈의 감소가 이루어진다.^[16]

Fe-Pt 규칙합금박막매체에서는 높은 Ar가스압력 하에서 스펀터링으로 제작하여, fcc 결정 c-축의 수직배향과 합금의 규칙화가 동시에 달성되었다. 이 매체는 30kOe 이상의 수직이방성자계를 가지고, 항자력은 수 kOe로 작다. 또한 M-H 투프의

기울기가 크기 때문에 자화반전의 자계분포가 좁고, 기록특성 면에서 매우 우수한 특성을 나타내고 있다. 그러나, 자벽 pinning mechanism이 아직 명확하지 않고, pinning site의 밀도를 얼마나 높일지가 과제로 남아있다.

수 100nm의 두꺼운 연자성 하지층막을 가지는 2층막 수직 자기기록매체는 100Gbit/in²(155Mbit/mm²), 또는 그 이상의 초고밀도기록을 실현하는데 가장 중요한 매체로서 시뮬레이션 등을 통해 sub-micron 트랙폭 기록으로 50Gbit/in²의 기록밀도의 가능성을 나타내고 있다.

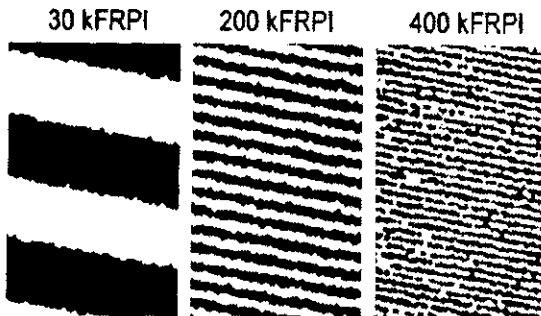


그림 6. Fe-Pt 이층막매체의 기록패턴의 MFM이미지

표 2와 표 3에 여러 연구기관으로부터 보고되고 있는 주요 수직자기기록매체와 기록층으로 사용되는 박막의 조성에 대해서 정리하였다.

3.6 실용상의 과제

3.6.1 높은 신호대잡음비의 확보

실용면에 있어서 매체의 품질향상을 위해서는 높은 신호대잡음비 S/N을 확보할 필요가 있다. 이것을 위해서는 S. 즉 출력신호의 향상과 N , 즉 매체노이즈의 감소가 중요하다. 출력신호 S 를 향상시키기 위해서 재생헤드는 감도의 향상, 매체는 M_r 를 크게 하고, 보자력 H_c 를 크게 할 필요가 있다. 기록밀도의 점으로부터는 H_c 를 높게 할 필요는 없다. 그러나, 수직기록에서도 표면에 있어 자화가 클수록 출력이 높다. 단 고감도로 재생할 수 있는 헤드 등의 변환기가 개발된다면 신호출력에 관해서는 문제가 없게 된다. 고감도헤드가 실현된다면 매체잡음이 기록의 한계를 결정한다. 따라서 본질적으로 잡음이 적은 매체가 필요하게 된다. 수직자기기록매체의 큰 특징은 수평자기기록매체에 비해 전이노이즈가 매우 작다는 것이다. 수직자기기록매체에 있어서 잡음이 낮은 매체로서는 미립자구조의 막이 유효하다. 이것은 미립자구조를 위함으로써 매체의 자화반전이 미립자의 회전자화 mechanism에 기초를 하기 때문으로 이 관점으로부터 자벽이동형의 연속적이고, 너무 균질된 막은 배제되어야 한다.

3.6.2 Tribology

매체 위를 헤드가 기계적으로 주행하는 자기기록은 헤드·매체 간의 interface가 여러 점에서 기록의 고밀도화를 방해하는 것이 많다. 기록의 밀도가 증가할수록 헤드·매체 간의 spacing이 작게 되어 이 점이 확대되어 왔다. 이를 해결하기 위해서는 매체의 내구성을 확보할 필요가 있다. 또한, 반드시 실용에 있어 직결되는 것은 아니지만, 저부상·저하중헤드의 개발이 본질적으로 마찰의 과제를 해결하는 방법인 것에는 틀림이 없을 것이다.

4. 결 론

고밀도 자기기록매체로서 연구·개발되고 있는 수직자기기록매체의 종류와 최근 동향에 대해서 알아보았다. 자기감자계로부터 해방되었다고 할 수 있는 수직자기기록매체에도 아직 개발의 여지가 남아있고, 또 초고밀도화가 기대되는 실용단계까지 달성시키기 위해서는 자기헤드 등 시스템과 연계된 연구개발이 필요하다. 자기디스크의 기록층으로서 가장 많이 이용되고 있는 Co-Cr 합금계 매체는 현재에도 계속해서 개량되고 있어, 50Gbit/in² 이상의 기록밀도의 가능성을 시사하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] S.Iwasaki and T.Suzuki, IEEE Trans. Magn., MAG-4, 268, 1968
- [2] S.Iwasaki and Y.Nakamura, IEEE Trans. Magn-13, 1272, 1977
- [3] S.Iwasaki and K.Honda, National Technical Report, 28, 996, 1982
- [4] S.Nakagawa, K.Takayama and M.Naoe, IEEE Int. MAG. Conf., AT-02, 1999
- [5] K.Kuga and Y.Yoneda, IEEE Int. MAG. Conf., AT-04, 1999
- [6] Y.Nakamura, IEEE Int. MAG. Conf., GB-01, 1999
- [7] D.D.Dresseler and J.H.Judy, IEEE Trans. Magn., MAG-10, 674, 1974
- [8] K.Ouchi, Ph.D.Thesis, Tohoku Univ., Japan, 1988
- [9] S.Hattori, IEEE Trans. Magn., 15, 1549, 1979
- [10] M.Naoe and S.Yamanaka, IEEE Trans. Magn., 16, 1117, 1980
- [11] S.Ohta and A.Terada, Thin Solid Films, 143, 73, 1986
- [12] A.Morisako, IEEE Trans. Magn., 22, 1146, 1986
- [13] L.Wu, S.Yanase, N.Honda, and K.Ouchi, J. Magn. Soc. Jpn., 21, 301, 1997
- [14] L.Wu, N.Honda, and K.Ouchi, IEEE Trans. Magn., 35, 2775, 1999
- [15] N.Honda and K.Ouchi, Magn. Soc. Jpn. Vol.24, No.5, 2000
- [16] R.Yoshino, T.Nagaoka, R.Terasaki, and C.Baldwion, J. Magn. Soc. Jpn., 18, 103, 1994

- [17] W.Liu, K.Schouterden, L.Meij, K.Ho, and B.Lairson, J. Appl. Phys. Lett., 69, 124, 1996

전자약력

성명 : 김경환

❖ 학력

1982. 2 한양대학교 전기공학과 졸업
1990. 2 광운대학교 전기공학과 공학박사

❖ 경력

1992. 1 ~ 현재 경원대학교 부교수
1995. 1 ~ 현재 일본 동경공업대학 전자물리공학과
直江·中川연구실 객원 연구원

✉ E-mail: khkim@mail.kyungwon.ac.kr

성명 : 손인환

❖ 학력

1991. 2 광운대학교 전기공학과 졸업
1993. 8 광운대학교 전기공학과 공학석사
2000. 2 광운대학교 전기공학과 공학박사

❖ 경력

1999. 3 ~ 현재 신성대학 전기과 전임강사

✉ E-mail: hson@shinsung.ac.kr

성명 : 김용진

❖ 학력

2000. 2 경원대학교 전기전자공학부 졸업
~ 현재 경원대학교 전기전자공학과 대학원 석사과정

✉ E-mail: com568@web.kyungwon.ac.kr