

차세대 하드디스크

HAMR 기술의 실현가능성 분석

| 정태희, 동향정보분석팀



미래선도기술 이슈분석보고서는 혁신형 중소기업 정보분석 지원사업의 일환으로 작성된 보고서로서, 유망 기술에 대한 이슈분석을 통해 국내 기업들이 자사에 적합한 사업아이템 발굴 기회를 극대화 하는데 목적이 있다. 이슈 분석 대상은 글로벌 동향 브리핑(GTB) 사업에서 축적한 약 10년간의 글로벌 모니터링 정보를 키워드 빈도분석 후 수요 조사를 통해 정하였다. 또한 국내외 연구개발동향, 산업동향 및 기술/실용화/과급효과 등의 측면에서의 이슈제기 및 분석을 해당분야 전문가와 공동으로 수행함으로써 수요자 중심의 보고서가 되도록 노력하였다.

2006 미래선도기술 이슈분석보고서

• 나노셀룰로오즈 보강 복합재료	• 광촉매 박막제조기술
• 차세대 하드디스크 HAMR	• 산업용 무선 필드버스
• 멀티페로익스(Multiferroics)	• P2P 네트워크
• 탄소나노튜브	• 센서네트워크 기술
• 휴대용 연료전지	• 온라인 게임
• 칩내장형 임베디드 기술	• 임베디드 기술
• 유전자 치료	• 심진 부동산소수점 연산기
• 열화학적 복합전환 공정	• 게임산업
• 자기 냉장고	• 나노소재를 이용한 전자소자
• 유기 반도체 태양전지	• 유기반도체(Organic Semiconductors)
• 충전기기용 나노절연재료	• 공기오염센서
• 무선 통신망간의 간섭	• 위성항법시스템 시험장(GATE)
• 이동통신-무선랜 통합망의 보안	• 위성항법시스템 소프트웨어 수신기
• 해외선진국 반도체장비 기술동향	• 광촉매의 성능 및 응용 기술 현황
• 동유럽의 VoIP 사업현황	• 해외 선진국의 DMB/DAB 기술동향
• 지능형 자동차에 사용되는 텔레매틱스 기술동향	• 신약개발을 위한 RNAi 제품 현황
• 주요 선진국의 냉동·공조 기술 현황	• 해외 선진국의 위성항법 시스템 기술 동향
• 영상진단기기 및 초음파영상진단기기 제품 현황	• 최근의 게임시장 동향
• 해외 주요국의 디지털 전자제품 동향	• 해외 주요국의 디지털 전자제품 동향

Contents

1 | 서론

HAMR 기술 개요	05
HAMR 기술의 특성	07
이슈 분석의 필요성	09

2 | 본론

국내의 HAMR 연구개발 동향	11
국내의 산업동향	13

3 | 이슈 분석 및 제기

HAMR 기술의 실현을 위한 기술적 과제	16
HAMR 기술에서 최근 또는 향후에 이슈가 되는 내용	17
HAMR 기술의 경제적 파급 효과	19

참고 문헌	21
-------	----

서론

1

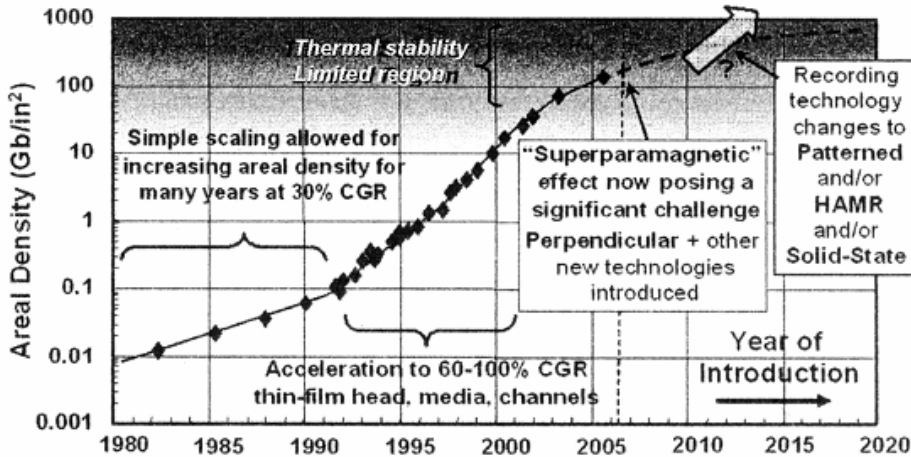
| HAMR 기술 개요

| HAMR 기술의 특성

| 이슈 분석의 필요성

1 서론

| HAMR기술 개요



[그림1] 하드디스크 드라이브의 연간 기록 밀도의 성장 속도

자료 출처: 참고문헌 9

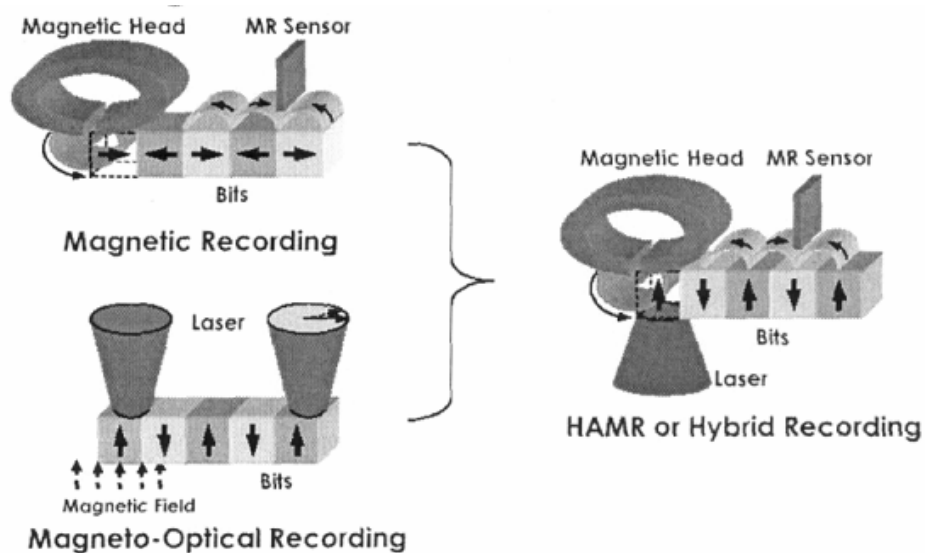
- 1956년에서 세계 최초로 자기 기록 하드 디스크 드라이브가 도입된 이래로, 하드 디스크의 단위 면적당 기록 밀도는 엄청난 속도로 증가하고 있다. 현재의 제품화된 하드디스크의 기록 밀도는 약 100 Gbit/in² 이다. 1990년대에 기록 밀도는 매년 엄청난 속도로 성장하였지만, 2002년이래로 계속 감소하고 있다(참고문헌5).
- 전자 디바이스(electronic device)는 데이터(data)를 비트(bit)로 저장한다. 비트(bit)는 하드디스크 드라이브 평면(platter)위의 마이크로미터 크기(micrometer size)의 점(spots)들이다. 이들 비트들은 50에서 100개정도의 자기 그레인(magnetic grain)들로 구성되어 있다. 이들 그레인들의 자화 방향(direction of magnetization)이 한 방향으로 정렬(alignment)되면, 이 비트는 "1" 또는 "0"을 나타내게 된다.
- 단위면적당 밀도를 증가시키기 위해서는, 비트의 크기와 그레인의 크기를 줄여야만 한다. 이것을 통해서 하드디스크의 용량은 처음 수 megabytes에서부터 시작되어서 지금의 100 gigabytes까지 매년 지속적으로 증가하였다.
- 그러나, 이러한 지속적인 기록밀도의 향상은 그레인의 크기의 감소로 이어졌다. 그레인 현재 크기는 8 나노미터(nanometer)크기까지 감소하였다. 더 이상의 그레인의 감소는 이 그레인을 상온에서 불안정하게 한다. 즉, 자기 그레인이 더 이상 상온(room temperature)서 안정적으로 존재하지 못하고, 임의로 자화 방향(magnetic direction)이 바뀌게 된다. 이것을 "수퍼 상자성 효과(super paramagnetic effect)"라 부르는 데, 이것은 결국 데이터의 손실(data loss)을 의미한다.(참고문헌 7,10)

- 자기 그레인의 열적인 안정성을 높이기 위해서는, 기록 매체(recording media)의 이방성(anisotropy)을 높여야만 한다. 그렇지만, 보자력(coercive field)은 이방성에 비례한다. 보자력이 증가하면, 매체에 기록(writing), 즉 자기 도메인의 자화 방향을 변환시키는 것은 불가능하게 된다. 왜냐하면, 현재의 기록 헤드(writing head)로서 만들수 있는 기록 자기장(writing magnetic field)에 한계가 있기 때문이다 (참고문헌 7,10)
- 기록 자기장(writing magnetic field)의 한계를 극복할 수 있는 방법들 중 하나는 기록을 하는 동안만 임시적으로 레이저를 이용해 기록하고자 하는 특정 영역을 가열해 보자력(coercivity)를 낮추는 것이다. 기록 매체가 가열되면, 보자력은 감소되고, 따라서 기록이 가능하다. 일단 정보가 디스크에 기록된 다음에는, 기록 매체는 상온으로 냉각되고, 이 온도에서는 자기 그레인(magnetic grain)들은 열적으로 안정하게 된다. 저장된 정보를 읽는 것은 현재 하드디스크에서 사용되고 있는 자기저항(magnetoresistive) 센서를 이용한다. 이것은 자기 기록방식(magnetic recording method)과 광학 기록방식(optical recording method)을 접합한 것으로 하이브리드 기록 시스템(hybrid recording systems) 또는HAMR (heat assisted magnetic recording, 열 보조 자기 기록)기술이라고 불리운다 (참고문헌7,10)

1 서론

HAMR기술의 특성

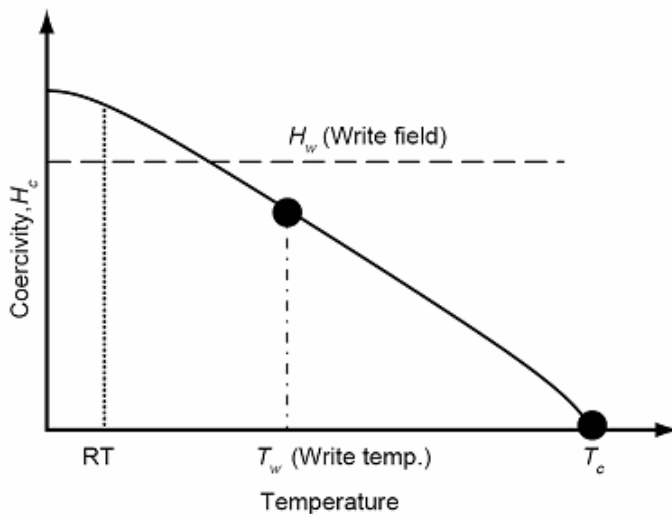
- 자기 기록(magnetic recording)에서는 신호대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)는 다음과 같이 표현된다(참고문헌4).
 $SNR \sim \sqrt{n}$, 여기서 n 은 단위트랙당 그레인의 수(number of grains/track width)을 의미한다.
- 비트(bit) 크기를 감소시키면서도 SNR을 유지하기 위해서는 그레인 크기를 반드시 줄여야만 한다. 그렇지만, 그레인 크기가 너무 작아지면, 열적인 에너지(thermal energy, kBT)가 자화(magnetization)를 불안정하게 할 수 있고, 이것은 기록된 정보를 파괴한다(참고문헌4).
- 그레인 크기를 감소시키는 것은 열적인 변동(thermal fluctuation)의 문제에 직면했다. 열적인 변동(thermal fluctuation)은 기록된 자기 도메인이 시간이 지남에 따라 그 방향성을 잃어버리는 현상을 말하는 데, 이것은 자기 그레인(magnetic grain)의 크기가 감소할 수록 큰 영향을 미친다. 이 열적인 변동문제를 해결하기 위해서는 매체의 보자력(coercivity)이나 자기 이방성(magnetic anisotropy)을 증가시켜야 한다.
- 이 안정성 지수(stability constant)는 KuV/kBT 로 정의된다. 예를 들어, 10년이상 데이터를 저장하기 위해서는 안정성 지수는 60보다 커야 한다. 여기에서 Ku 는 자기 이방성 상수(magnetic anisotropy constant), V 는 자기 그레인 부피(magnetic grain volume), kB 는 볼츠만 상수, T 는 온도이다.



[그림 2] HAMR (heat assisted magnetic recording, 열 보조 자기 기록)기술

자료 출처: 참고문헌10

- 기록밀도 1 Tbit/in²(=1000Gbit/in²)을 달성하기 위해서는 기록 자기장과 매체의 보자력간의 문제점을 풀어야 한다. 기록 밀도를 높이기 위해서 자기 도메인의 크기 즉, 부피(V)를 감소시키면서도 안정성 지수를 60이상으로 유지하기 위해서는 이방성 상수(Ku)를 반드시 증가시켜야만 한다. 수직 자기 기록에 사용되는 자기기록물질(magnetic recording materials)인 코발트-크롬-백금(CoCrPt)합금을 철-백금(FePt)합금으로 대체하면 이방성 상수를 쉽게 높일 수 있다. 코발트-크롬-백금(Co-Cr-Pt) 그레인과는 달리, 철-백금(Fe-Pt) 그레인들은 그레인 크기가 8nm미만으로 작아져도 상온에서 안정적으로 자기 방향(magnetic direction)을 유지할 수 있다. 그렇지만, FePt의 스위칭 자기장 (switching magnetic field)은 약 50kOe이다. 이것은 기록 헤드가 낼 수 있는 자기장의 한계인 17kOe를 훨씬 넘는 수치이다 (참고문헌5).
- 데이터를 지우거나 기록하기 위해서는, 레이저가 특정 비트를 가열시키고, 기록되거나 지워진 후에는 그 비트는 빠르게 냉각된다 (참고문헌5). 그림3은 보자력과 온도와의 관계를 나타내고 있다. 보자력은 상온에서 기록 헤드의 최대 자기장보다 훨씬 크다. 그렇지만, 온도를 올림에 따라서 보자력은 감소하고, 큐리 온도에서 0이 된다. HAMR에서는 기록 헤드의 최대 자기장보다 조금 작은 보자력에 해당하는 온도에서 기록을 행한다.
- HAMR 기술을 이용하면, 열적으로 안정한 가장 작은 그레인을 만드는 것이 가능하다. HAMR 기술은 기존의 기록 매체로서는 불가능한 높은 기록 밀도를 달성하기 위해서 높은 이방성을 가지는 물질을 매체로 사용해서 수퍼 상자성의 한계를 극복하였다. FePt의 경우에, 이것은 약 3nm이다. 만약 수직자화기록을 이용해서, 8nm의 그레인으로 500Gbit/in²을 달성할 수 있다면, HAMR 기술로는 그것의 10배가 넘는 기록 밀도를 달성할 수 있을 것으로 예상된다 (참고문헌 9).



[그림 3] 보자력(coercivity)과 온도와의 상관관계

자료 출처: 참고문헌5

1 서론

| 이슈분석의 필요성

- HAMR기술은 차세대 하드디스크 드라이브 뿐 아니라, 전자산업의 여러 분야에 영향을 미칠 유망한 기술이다.
- 현재의 전자 산업의 추세는 소형화, 경량화, 다기능화이다. 대표적인 예로 휴대폰을 들 수 있다. 휴대폰은 처음 출시되었을 때에 비해서 크기와 무게가 1/3-1/4정도로 줄었다. 그렇지만, 기능은 훨씬 다양해졌다. 단순히 전화기의 기능에서, 카메라, MP3 플레이어, 네비게이션 시스템(navigation system), 전자 사전, 스케줄러(일정관리), 주소록 등 다양한 기능이 추가되었다. 이러한 여러 가지 기능들을 휴대폰에 집적시키기 위해서는 대용량의 메모리가 필요하다. 그래서 휴대폰에 플래시 메모리나 마이크로 하드디스크 드라이브가 부착되고 있다.
- 앞으로 이러한 멀티 기능이 점차로 늘어날 것이기 때문에 대용량의 마이크로 하드디스크 드라이브의 필요성이 늘어날 것으로 보인다. 따라서, 이를 위해서는 하드디스크드라이브의 기록 밀도를 증가시켜야 하고, HAMR기술이 필수적이다. 휴대폰 이외에도 여러가지 소형 전자제품에의 마이크로 하드디스크의 사용은 늘어날 것으로 전망된다.
- 한국의 산업구조는 제조업, 그 중에서도 전자산업이 차지하는 비중이 크다. 그러므로, HAMR기술의 실현 가능성 및 실용화를 위한 기술적 과제 및 산업 동향에 대해 분석하는 것은 한국 산업 및 경제 발전에 있어서 무척이나 중요하고, 필요한 것이다.

본론

2 | 국내외 HAMR 연구개발 동향

| 국내외 산업동향

2 본론

| 국내외HAMR 연구개발 동향

가. 국내외 연구개발 동향 및 전망

- 국내의 삼성 전자와 삼성 종합기술원에서는 하드디스크 드라이브를 생산하고 있다. 이곳에서는 기존의 수평 자기 기록 및 수직 자기 기록에 대해서 연구개발을 하고 있다. 또한 HAMR 기술에 대해서도 관심을 가지고 있지만, 구체적인 연구를 현재는 하지 않고 있는 것으로 추정된다.
- 엘지 전자 및 엘지 전자기술원에서는 1980년 이전부터 자기 테이프(magnetic tape)을 생산하고 있으며, 자기 기록에 대해서 연구개발하고 있다. 또한 최근에는 광자기 기록(magneto-optical recording), 그리고, 근접장(near field optics)을 이용한 기록, 광학을 이용한 상변화 기록(phase change recording)등을 연구하고 있다. 이러한 연구 분야가 HAMR 기술에 응용되거나, 또는 HAMR 기술을 응용할 수 있을 것이지만, HAMR 기술에 대한 구체적인 연구는 현재 없는 것으로 알려져 있다.
- 미국에서는 최대 하드디스크 드라이브 업체인 시게이트, 특히 피츠버그에 위치한 시게이트(Seagate) 기술연구소에서 주도적으로 HAMR 기술에 많은 연구인력을 투자해서 연구하고 있다.
- 카네기 멜론 대학교(Carnegie Mellon university) 데이터 저장 시스템 연구소(Data Storage system center)에서도 많은 교수들과 대학원생들, 연구원들이 HAMR 기술에 대해 활발하게 연구하고 있다. HAMR 기술의 처음 개념도 이곳의 박사과정 학생에게서 처음으로 나왔고, 이곳 졸업생들이 주로 시게이트 기술연구소에서 지속적으로 HAMR 기술을 연구하고 있다.
- 일본의 후지쯔 연구소에서HAMR 기술에 응용될 근접장 광학을 이용한 광학 부품과 헤드 연구가 진행되고 있다.

나. HAMR 기술의 응용 분야 및 파급효과

- 현재의 하드 디스크 드라이브에서 자기 헤드가 기록 매체위를 떠서 정보를 쓰거나 읽기 위해 돌아다니는 것은 마치 음속으로 달리는 점보 747 여객기가 지상 1m 상공을 날르는 것과 같다.

- HAMR 기술은 현재의 이러한 하드 디스크 드라이브의 차세대 기술이다. 예를 들어, 1 Tbit/in²의 기록밀도를 위해서는 자기 헤드와 디스크와의 간격은 5 에서 6.5nm이어야 한다 (참고문헌8).
- 따라서, 기록 물질을 보자력이 높은 것으로 바꾸고, 레이저를 이용해서 원하는 비트를 가열하는 것 이외에도 개발해야 할 주변 기술들이 많다. 즉, 정확한 헤드 높이 조절을 위한 액추레이터(actuator) 기술, 매우 작은 레이저 빔을 만들기 위한 근접장을 이용한 광학 시스템, 낮은 신호 대 잡음비에서도 믿을 수 있는 데이터를 전달하기 위한 신호 처리 기술 등, 많은 새로운 기술들이 함께 개발되고 있으며, 앞으로의 전자 산업 기술에 응용될 것이다 (참고문헌9).

다. 국내외 기술비교

- HAMR기술을 실현하기 위한 시스템 기술, 즉, 전체적인 기록 원리 및 작동 원리, 그리고 물질 및 구조에 대한 기초 연구는 미국이 앞서 있다. 또한, HAMR기술의 실용화를 위한 각종 부품 개발에 있어서는 일본이 어느 정도 우위를 점하고 있다.
- 한국에서는 비록 HAMR기술을 직접적으로 연구하고 있지는 않지만, HAMR기술 개발에 필요한 근접장이나 광학 기록 시스템, 자기 및 광자기 기록 시스템등 관련기술에 대한 연구개발이 지속적으로 되어 왔기 때문에, 앞으로의 개발 성과에 따라서 국내에서도 HAMR 기술개발 경쟁에 참여할 가능성은 있다고 판단된다.

2 본론

| 국내외 산업 동향

가. 국내외 산업동향 및 전망

- 2000년에 정보 저장 산업 조합(Information Storage Industry Consortium)에서는 기록 산업에서 기록 밀도의 성장을 지속적으로 유지할 3개의 유망한 기술들로 수직 자기 기록(perpendicular recording), 패턴 미디어, HAMR기술을 선정하였다. 기존의 하드 디스크에서 사용되는 기록 방식에서는, 자기 박막의 자화 방향이 자기 디스크의 면내에 존재하였다. 즉, 수평기록(longitudinal recording)이었다.
- 2006년에 처음으로 수직 자기 기록방식을 이용한 하드 디스크 제품이 시장에 출시되었다. 수직 자기 기록방식을 이용하여 기록 밀도를 증가시키는 것이 향후 5년 정도는 가능할 것으로 전망된다. 따라서 기존의 기술 발전 속도를 유지하기 위해서는 새로운 기술을 도입한 신제품이 2011년경에 나와야 한다. (참고문헌3)
- 세계에서 가장 큰 하드 디스크 제조 업체인 시게이트(Seagate)에서는HAMR 기술을 처음으로 받아들였고, 지금까지 엄청난 연구인력을 투입해서 연구를 하고 있다.
- 세계 두 번째 업체인 히타치(Hitachi)에서는 패턴 미디어를(pattern media) 선호하고 있다. 패턴 미디어는 저장된 데이터가 규칙적으로 배열된 특정 위치 (마치 바둑판에 정렬된 바둑돌처럼)에 위치한다. 각각의 비트내 그레이의 수를 100개로부터 한개로 줄인 후에, 각각의 비트를 고립시켜서 크로스토크(cross talk)를 감소시킨다. 이것은 이상적으로는 기록밀도를 100배 증가시킬 수 있다. 마스터 패턴(master pattern)은 전자빔(e-beam) 리소그래피(lithography)를 이용해서 그려질 수 있다. 이 패턴은 몰드(mold)로 옮겨지고, 하드디스크 평판위에 도장을 찍듯이 리소그래피(imprint lithography)를 이용해서 옮겨질 수 있다.(참고문헌3).
- 시게이트와 히타치 모두 논문들과 실험 결과들을 발표하였지만, 공장에서 샘플을 출하하지는 못하였다. 단지, 프로토타입(prototype)의 부품들만을 선보였을 뿐, 완성된 제품을 선보이지는 못하였다. 결과적으로, 어떤 기술이 대량생산을 먼저 하느냐가 중요해 보인다.
- 여기에서 시간이 가장 중요한 요인이 될 것이다. 개념으로 부터 처음으로 제품이 출시되어 시장에 나오기까지 5년은 결코 길지 않다. 또한, 플래시 메모리가 하드 디스크 드라이브와 노트북 컴퓨터 시장에서 경쟁하고 있다. 하드 디스크 드라이브가 계속해서 플래시 메모리보다 시장에서 우위를 점하기 위해서는 매년 40 퍼센트의 기록 밀도 향상을 유지하는 것이 필요하다(참고문헌3).

- 결과적으로는, 제조사들은 HAMR기술과 패턴 미디어기술이 결합할 것으로 보인다. 이럴 경우에 단위 면적(인치 X 인치)당 50 에서 100 테라비트(Terabits)의 기록이 가능하다. 이것은 2006년말에 도시바에서 출시할 예정인 178.8 기가비트(Gigabit-per-square-inch)의 하드디스크 드라이브보다 280에서 560배 가 높은 기록 밀도이다. 100 테라비트는 픽업 트럭 12500대에 책을 가득 실었을 때의 데이터 양에 해당한다(참고문헌3).

나. 산업적 응용분야 및 파급효과

- 21세기는 디지털 정보 시대이다. 엄청난 정보들이 생산되고 있다. 기존의 데스크탑 컴퓨터와 노트북 컴퓨터에서의 데이터와 소리 파일, 영화 파일 뿐만 아니라, 슈퍼 컴퓨터, 날씨 예보 시스템, 전자 도서관 등은 엄청난 양의 정보의 저장을 필요로 한다. 더우기, 휴대폰, MP3 Player 등에서도 새로운 정보 저장 시장이 창출되고 있다.
- 1991년 휴대폰 사용자는 전 세계적으로 0.3%에 불과하였지만, 현재는 전세계의 20%의 사람들이 휴대폰을 사용하고 있다. 실제로 2005년에 8억 2천만대의 휴대폰이 팔렸다. 이들 휴대폰에는 기존의 통화 기능 이외에 예를 들어, 네비게이션 시스템, 전자 사전, 카메라 폰, MP3 player 등과 같은 여러 가지 첨단 기능들이 탑재되고 있다. 따라서, 이러한 기능들을 실현하기 위해서 미니 하드디스크가 약 30% 정도의 휴대폰에 탑재되고 있다. 물론, 현재는 플래시 메모리와 경쟁을 하고 있지만, 점점 많은 양의 데이터의 저장이 필요할 것으로 예상되므로, 휴대폰에 하드디스크 드라이브와 플래시 메모리의 하이브리드가 예상되고 있다.
- 매우 값이 싸고, 휴대가 가능한 정보 저장 시장에서는 CD나 DVD같은 광학 디스크가 계속해서 우위를 점할 것으로 예상된다. 휴대가 가능하면서 작은 양의 정보 저장에서는 플래시 메모리가 우세할 것이다. 데이터의 안정성이 보장되면서도 대용량의 데이터를 빠르게 저장하기 원하는 경우에는 하드 디스크 드라이브가 우세할 것으로 예상된다.
- 앞으로의 디지털 모바일 시대에는 엄청난 양의 정보의 저장이 필요하고, 하드 디스크가 광학 디스크나 플래시 메모리하고의 경쟁에서 우세를 지켜나가기 위해서는 지속적인 기록 밀도의 향상을 이루어야 한다. 결국, HAMR기술을 통한 하드디스크 드라이브의 기록 밀도 향상은 휴대폰, 노트북 컴퓨터, MP3 Player, 슈퍼 컴퓨터, 날씨 예보 시스템, 전자 도서관 등에 영향을 미칠 것이다.
- HAMR기술은 여러 가지 최첨단 기술들의 집합체이다. 예를 들어, 수십 나노미터의 레이저 빔을 만들기 위해서는 특수한 렌즈를 개발해야 한다. 그리고 그 렌즈의 위치 및 높이를 정확히 조절하기 위해서는 초정밀 액추에이터를 개발해야 한다. 또한 레이저를 이용해서 기록 매체를 가열하기 때문에 많은 열이 발생한다. 일반적으로 열은 매체의 특성에 좋지 않은 영향을 미친다. 따라서, 열을 분산시키는 방법을 연구해야 한다.
- 이와같이 HAMR기술을 실현화하기 위해서는 극복해야 할 여러가지 기술적인 어려움이 있지만, 이를 극복해 나가는 과정에서 개발되는 여러가지 부가적인 기술들은 HAMR뿐만 아니라 여러 다른 산업 분야에 응용가능하다.

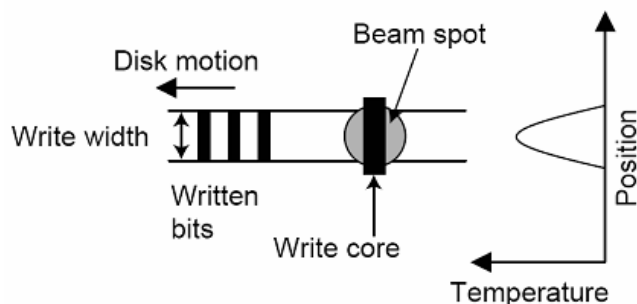
이슈 분석 및 제기

- 3 | HAMR 기술의 실현을 위한 기술적 과제
- | HAMR 기술에서 최근 또는 향후에 이슈가 되는 내용
- | HAMR 기술의 경제적 파급 효과

3 이슈분석 및 제기

HAMR 기술의 실현을 위한 기술적 과제

- 자기 기록(magnetic recording)에서는 기록가능성(writability), 신호대 잡음비(signal to noise ratio), 열적 안정성(thermal stability)을 모두 고려해야 한다.
- HAMR 기술을 실현하기 위해서는 3가지 기술적인 문제점들을 해결해야 한다. 그것은 기록에 필요한 매우 작은 광학 레이저 빔을 만드는 것과 주변 데이터에 영향을 주지 않기 위해 필요한 좁은 열 분포(heat distribution)와 새로운 자기 기록 물질이다.
- 레이저 빔의 크기는 데이터 기록 폭을 결정한다. 따라서 매우 작은 빔 크기, 약 직경 50nm의 빔 크기가 요구된다. 현재는 일반적인 광학 시스템을 사용하지만, 일반적인 광학으로는 회절 한계(diffraction limit) 때문에 이러한 작은 빔을 만들수가 없고, 근접장 광학(near field optics)을 이용해야만 한다. 또한, 자기 헤드와 자기 기록 매체와의 상대적으로 큰 거리에 인해서, 근접장 빛의 소멸 거리는 10nm보다 커야 한다 (참고문헌5).
- 현재의 CoPt의 자기 그레인은 대략 8 nm가 한계이다. 그러나, 기록 밀도를 높이기 위해서는 3-5 nm의 상온에서 안정한 자기 그레인이 필요하다. 높은 보자력을 갖는 FePt이 대체 물질로 선택되었는데, 이 물질은 상온에서 스퍼터닝(sputtering)으로 박막을 증착하면, 화학적으로 비정렬된 형태인 A1상으로 형성한다. 300° C이하의 온도에서 증착후 열처리(post-deposition annealing)을 통해서 높은 보자력을 갖는 L10상이 얻어진다. 이러한 열처리는 서로 다른 열 팽창계수로 인해서 다층박막간에 스트레스를 발생시키거나 상호확산을 통한 물질 특성을 저하를 일으킬 수 있다 (참고문헌6, 참고문헌8)
- HAMR 기술의 기록밀도는 열 누출(heat leakage)에 의해 제한될 가능성이 있다. 즉, 레이저 빔의 조사에 의해 발생한 열이 주변 트랙으로 전달되어 주변 트랙을 가열시키게 되면, 주변 트랙에 있는 자기 그레인의 방향도 자기장에 영향을 받아 변하게 될 것이다. 기록 기울기(writing gradient)는 열적인 기울기와 온도에 따른 보자력의 변화에 따라 결정된다. 따라서, 트랙 방향(track down direction)과 트랙간 방향(cross-track direction)으로 높은 열적인 기울기가 요구된다. 주변 비트에 열적인 영향을 감소시키기 위해서는 가능한 좁은 열 분포를 갖게 하는 것이 필요하다(참고문헌2).



[그림 4] HAMR에서의 기록 과정 (writing process)

자료 출처: 참고문헌5

3 이슈분석 및 제기

| HAMR 기술에서 최근 또는 향후 이슈가 되는 내용

- 위에서 언급했듯이, HAMR기술이 실용화 되어 제품이 공장에서 출시되기 위해서는 광학 시스템, 열분포, 그리고 새로운 기록 물질의 개발등 많은 기술적 과제들이 남아있다.
- 레이저를 이용해서 매우 작은 광학 스팟(spot)을 만들기 위해 필요한 광학 렌즈와 데이터의 기록 및 읽기를 위해 필요한 자기 헤드(magnetic head)의 물리적인 결합이 가능해야 한다. 또한, 결합된 헤드의 정확한 높이 조절이 능동적으로 (active control) 가능해야 한다. 추가로, 광학빔과 자기 폴(magnetic pole)의 정확한 위치 조절이 필요하다(참고문헌9).
- 헤드와 기록 층사이의 자기 간격(magnetic spacing), 기록 헤드의 자기장의 세기(field-strength) 및 기울기, 읽는 헤드(read header)의 감도(sensitivity) 및 해상도(resolution), 매우 좁은 트랙을 접근/쫓기(accessing/following) 위한 서보-기계적인 시스템(servo-mechanical system), 그리고 낮은 신호 대 잡음비에서의 믿을 수 있는 데이터를 전달하기 위한 신호 처리 과정 등도 반드시 해결해야 할 문제들이다(참고문헌9).
- 1T bit/in²의 벽을 넘기위한 기술은 HAMR기술만 있는 것이 아니다. 패턴 미디어가 유력한 경쟁 상대이다. 또한 하드디스크와 경쟁하고 있는 플래시 메모리도 무시할 수 없는 상대이다.
- 따라서 최근에 가장 중요한 이슈는 언제 제품을 시장에 출시할 수 있느냐 하는 것이다. 플래시 메모리, 패턴 미디어와 기록 밀도에서 경쟁을 해야 HAMR로서는 그들보다 조금이라도 빠르게 시장에 출시해야만 시장에서의 우월적인 지위를 차지할 수 있을 것이다. 이것은 플래시 메모리나 패턴 미디어도 마찬가지이다.
- 21세기는 정보의 홍수시대이다. 그리고 이러한 정보들은 디지털화되어 나오고 있다. 대표적인 예로 인터넷을 기반으로 하는 디지털 도서관이다. 구글은 세계의 여러 대학교, 도서관들과 손잡고, 기존의 모든 책들을 스캔해서 인터넷 도서관을 구축하고자 한다. 이것은 출판업계의 반대와 저작권 문제를 해결해야 하지만, 수년 이내에 실행가능할 것으로 보인다. 이것이 실현되면 수많은 책들을 인터넷을 통해서 열람할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 엄청난 양의 데이터를 저장할 수 있고, 검색 속도도 빠른 컴퓨터 저장 매체가 필요하다. 여러 가지 메모리 방식 중에 하드디스크가 유력할 것으로 보인다. 특히 1T bits/in² 이상의 고밀도를 가지는 하드디스크가 필요할 것이다.
- 또한 영화나 뮤직 비디오, 노래, 게임, 공중파 방송 제작물(뉴스, 다큐멘터리, 드라마 등), 대학교의 강의, 날씨 정보, 지형 정보 등 수많은 내용들이 동영상 파일로 제작되고 있다. 이러한 것은 엄청난 양의 컴퓨터 데이터를 차지한다. 또한, 개인들이 이러한 것들을 소장하고 싶어한다.

- 결국 이것은 대용량 고밀도의 저장 매체의 필요성을 증가시킬 것이다. 물론 다양한 저장 매체들이 서로 경쟁하고 있다. 예를 들어, CD나 DVD와 같은 광학 메모리 디스크, 플래시 메모리, 하드 디스크 드라이브 등이 서로 경쟁하고 있다. 휴대가능하다는 측면이 강조된다면 DVD나 플래시 메모리가 경쟁력이 있다. 저장 용량과 속도가 고려된다면 하드디스크가 우위를 가지고 있다.
- CD나 DVD는 기술은 일본에서 개발하였지만, 실제 시장에 제품을 내놓고 수익을 낸 것은 대만 업체들이다. 하드 디스크 드라이브는 국내에서는 삼성 전자에서도 생산하고 있지만, 메이저 업체는 미국의 시게이트와 일본의 히타치이다. 플래시 메모리는 삼성 전자가 시장의 주도권을 쥐고 있다.
- 향후 5년이내에 데이터 저장 매체 시장은 커다란 변화를 맞을 것을 것으로 보인다. 시장 규모 자체는 지금보다 5-10배이상 커질 전망이다. 어느 기술이 시장에서 주도권을 가질 것인지는 누가 대용량 고밀도의 제품을 먼저 시장에 출시하느냐에 달려있을 것이다. 즉, 기술 경쟁에서 승리하는 쪽이 시장의 주도권을 잡을 것으로 예상된다.

3 이슈분석 및 제기

| HAMR기술의 경제적 파급 효과

- 올 해(2006)만 해도 4억 6천만대의 하드 디스크 드라이브가 생산될 것으로 예상된다. 향후 5년 이내에 필요한 정보의 저장량은 현재보다 10배에서 100배가 될 것으로 예상된다. 하드 디스크 드라이브가 HAMR기술을 통한 지속적인 기록 밀도 향상을 통해 광학 디스크나 플래시 메모리하고의 경쟁에서 우세를 지켜나간다면, 휴대폰, 노트북 컴퓨터, MP3 Player, 슈퍼 컴퓨터, 날씨 예보 시스템, 전자 도서관 등의 데이터 저장 매체로 사용될 것이다.
- 예를 들어 지금 출시되는 휴대폰의 30%에 마이크로 하드디스크가 장착되고 있다. 이것은 휴대폰에 통화 기능외에 멀티 기능, 카메라, 전자사전, 네비게이션, 일정 관리, 게임 등을 추가하기 위해서 대용량의 저장 매체가 필수적이기 때문이다. 따라서 휴대폰에 하드 디스크가 장착되는 비율은 점차로 증가할 것으로 예상된다.
- 휴대폰에 장착되는 마이크로 하드 디스크와 같이 고밀도를 요구되는 경우에는 HAMR기술은 필수적이다. 2005년에 전세계적으로 8억 2천만대의 휴대폰이 팔렸고, 세계 휴대폰 사용자가 현재 20%이고, 이 숫자가 계속해서 증가할 것임을 고려한다면, 마이크로 하드디스크의 수요는 엄청날 것으로 예상된다.
- 또다른 예는 의약품개발시스템이다. 의약품을 개발하는 데에는 수많은 변수들이 존재한다. 따라서, 이를 모두 실험으로 해결하지 못하고, 슈퍼 컴퓨터를 이용해서 시뮬레이션하고 있다. 시뮬레이션을 통해서 얻어지는 엄청난 양의 데이터를 저장하기 위해서는 안정적이면서도 빠른 속도를 가지는 저장매체, 하드디스크 드라이브가 필요하다.
- 또한 맞춤형 의료시스템이 곧 나올 것으로 예상된다. 즉, 개인의 유전자 정보(DNA)를 획득,보관하고, 이 유전자 정보를 따라 개인에게 적합한 의약품을 제조,처방한다는 것이다. 이를 위해서는 대용량의 하드디스크는 필수적이다.
- 하드디스크의 용량은 20년전에 비해서는 1000배, 10년전에 비해서는 100배이상 증가하였다. 이것은 개인이 사용 또는 저장하는 데이터 용량도 그 비율로 증가하였다는 것을 의미한다.
- 향후 10년이후에는 생산되는 데이터 용량이 지금보다 100-1000배 이상 증가할 것으로 예상된다. 따라서 대용량, 고밀도, 고속도의 데이터 저장 매체의 필요성이 높아질 수밖에 없다. 그러나 문제는 물리적인 한계로 인하여 하드 디스크의 기록 밀도 성장 속도는 계속적으로 감소하고 있다는 것이다. 이를 해결하기 위해서는 HAMR기술이 필요하다.

- HAMR기술은 기존의 자기 기록 시스템과 광학 기록 시스템의 통합이다. 즉, 자기 기록 기술에 레이저를 이용한 가열 방식을 결합시켰다. 또한 단순히 기존 기술들의 통합이 아닌, 차세대 기술들의 결합이고, 결합을 위한 추가적인 기술의 개발을 필요로 한다.
- HAMR기술은 박막 제조 기술, 광학 또는 전자빔을 이용한 리소그래피, CMP, GMR head 기술, 렌즈, 액추레이터 등 수많은 기반 기술들의 도움을 필요로 하고, 이들 기술들의 성장을 촉진할 것이다.
- 결과적으로 HAMR기술은 하드디스크의 차세대 기술일 뿐만 아니라 향후 엄청난 속도로 성장할 데이터 저장 매체의 판도에 큰 영향을 줄 수 있다. 또한, 이 기술의 개발은 다른 기반 기술의 개발에도 긍정적인 영향을 줄 것이다. 따라서 데이터 저장 매체 시장의 지속적인 성장이 예상됨에 따라 이에 따른 경제적인 파급 효과도 크리라고 전망된다.

참고 문헌

1. D.C.Berry, K.Barmak (2006) "Time-Temperature-Transformation Diagrams for the A1 to L10 Phase Transformation in FePt and FeCuPt Thin Films" DSSC 2006 Fall review
2. J.Hohlfeld, T.Rausch, D.Karns, C.Peng, W.Challener, A.Itagi, G.Ju,R.E.Rottmayer (2006), "Heat assisted magnetic recording: From basic physics to technological application" TMRC 2006
3. M. Kanellos (2006), "A divide over the future of hard drives" <http://news.com>
4. M.H. Kryder (2002), "Future Magnetic Recording Technologies" Segate Presentation.
5. K. Matsumoto, A. Inomata, S. Hasegawa (2006), "Thermally Assisted Magnetic Recording" Fujitsu Sci. Tech.J., Vol.42. p.158-167.
6. M. E. McHenry, D. E. Laughlin, Acta materials (2000), "Nano-scale materials development for future magnetic applications"Vol.48, p.223-238.
7. T. Rausch (2003), Experimental and Theoretical investigation of heat assisted magnetic recording" Ph.D thesis in Department of electrical and computer engineering, Carnegie Mellon University.
8. B. Rottmayer, W.A. Challener, J. Hohlfeld, B. Lu, C. Mihalcea, C. Peng, T.Rausch, S.A.Seigler (2006), "Heat assisted Magnetic Recording" Intemag 2006
9. R. W. Wood, H. Takano (2006), "Prospects for Magnetic Recording over the next 10 years" Intemag 2006.
10. L. Zhang (2005), "Characterization of Heat-Assisted Magnetic Probe Recording on CoNi/Pt Multilayers" Ph.D thesis in Department of Physics, Carnegie Mellon University.

저자소개

▶정 태 희

- 공학 석사(포항공과대학교, 펜실베니아 주립대학교)
- 구, 엘지전자기술원 선임연구원
- 현, 카네기멜론 대학교 전기전자공학과 박사과정

▶한국과학기술정보연구원 동향정보분석팀