

차세대 정보저장시스템 최신 기술 동향

Technology Trend of Next Generation Information Storage Systems

박영필[†], 임윤철*, 양현석*, 강신일*, 박노철**, 김영주**
Young-Pil Park, Yun-Chul Rhim, Hyun-Seok Yang, Shinill Kang,
No-Cheol Park, and Young-Joo Kim

ABSTRACT

There are two important trends in the modern information society, including digital networking and ubiquitous environment. Thus it is strongly required to develop new information storage devices such as high density storages to match the increased data capacity and small size storage devices to be applied to the mobile multimedia electronics. So far, many approaches have been studied for the high density memory, including the holographic memory, super-RENS and near-field recording using solid immersion lens (SIL) or nano-probe for the ODD (Optical Disk Drive) system, and the perpendicular magnetic recording and heat-assisted magnetic recording for the HDD (Hard Disk Drive) system. In addition, new mobile storage devices have been prepared using 0.85" HDD and 30mm ODD systems from a lot of foreign and domestic companies and institutes. In this paper, the recent technology trend for the next generation information storage system is summarized to offer a research motivation and encouragement to new researchers in this field with an emphasis on the technical issues of the increase of data capacity and decrease of device size.

Key Words: Information Storage System, HDD, ODD, High Density, Small Form Factor (SFF), SIL, NFR, Super-RENS, HAMR, Holographic Memory, Microprobe, Patterned Media

1. 서론

정보저장시스템분야는 자기정보저장기기(HDD; Hard Disk Drive) 및 광정보저장기기(ODD; Optical Disk Drive)로 크게 분류되는 IT분야의 주요 산업으로, 2003년 기준으로 세계적 시장규모가 500억불에 육박하고 있으며 또한 매년 10% 정도의 꾸준한 성장속도를 유지하고 있는 유망한 산업이다. 이러한 발전 추세는 개인 및 기업에서 필요한 정보량의 급속한 증가 및 보다 빠른 속도의 정보 처리에 대한 시대적 요구에 기인하는 것으로 판단된다. 아울러 정보저장기기의 주된 응용분야가 컴퓨터 주기억장치 및 보조기억장치

의 용도에서 Audio/Video용의 민생 가전기기 분야로 급속히 확대되고 있는 사실은 정보저장시스템분야의 시장 전망을 더욱 밝게 하는 요인이라 하겠다. 또한 최근 급속히 성장하고 있는 휴대폰, PDA, 디지털 카메라 등의 휴대용 디지털기기 분야로의 소형 HDD 및 ODD의 진출 가능성은 새로운 미래시장의 잠재력이 되고 있다. 이렇게 고용량, 고성능, 소형화 정보저장시스템 분야의 급속한 성장이 예상되므로, 거대한 잠재 시장을 선점하려는 기술개발의 경쟁은 이미 전 세계 기업 및 관련 연구기관을 중심으로 매우 치열하게 진행되고 있다.

현재 정보저장시스템 분야는 우리의 중요한 수출품목으로 국가발전에 크게 기여하고 있으며 향후 그 영향력이 더 커질 것으로 기대된다. 그러나 정보저장시스템 분야의 특성상 최고의 성능을 가진 제품만이 시장 경쟁에서 이길 수 있으며, 저가격화의 요구에 신

[†] 연세대학교 공과대학 기계공학부
연세대학교 정보저장기기연구센터
E.mail: park2814@yonsei.ac.kr

* 연세대학교 공과대학 기계공학부
** 연세대학교 대학원 정보저장공학 협동과정
(논문접수일 : 2005년 5월 9일)

속히 대응하는 기술개발의 노력 없이는 살아남을 수 없는 어려움이 있다. 또한 정보저장시스템 분야는 대규모의 설비투자가 요구되는 산업이며 그 기술적 특성은 기계, 전자, 광학, 재료 등의 다양한 학문분야가 융합되어 기술이 발전하는 특징을 갖고 있다. 또한 차세대 초소형, 고밀도 정보저장시스템 분야의 연구개발에는 나노기술(NT)을 비롯한 첨단기술의 필요성이 계속 대두되고 있는데, 실제로 HDD분야에서는 자기헤드를 미디어로부터 10nm이하로 부상시킬 수 있는 기술이 필요하며, ODD의 경우에도 소형화 추세에 맞추어 나노미터 레벨의 정밀성이 필요한 광부품의 조립/조정 및 집적화 광헤드 등의 첨단기술이 요구되고 있다.

본 논문에서는 자기정보저장 및 광정보저장기기로 크게 분류되는 정보저장시스템 분야의 해외 및 국내 첨단기술 내용을 정리, 설명하고 향후 우리가 나아가야 할 연구내용을 정립하여 그 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이러한 차세대 정보저장시스템 분야의 최신 첨단기술은 우리나라의 중요 산업인 정보저장시스템 산업의 국제적인 기술우위를 확보하고 잠재시장을 선점하는 효과를 제공할 뿐만 아니라, 그 원천기술은 프린터, 디스플레이 등의 다른 정보기기 분야의 응용기술로의 발전이 기대된다.

2. 국내외 개발 동향 및 기술 개요

우리가 살고 있는 21세기 현대사회는 모든 정보의 디지털화 및 네트워크화가 급속히 진행되고 있는 고도 정보화시대로 정의될 수 있다. 인터넷을 통하여 실시간으로 빠르게 확산되는 정보를 얼마나 효율적으로 습득하는가에 따라 개인의 능력이 좌우되는 현 시대에서는 더 이상 신문, 잡지 등의 인쇄매체를 통한 제한된 정보입수의 방법으로는 신속한 대응을 할 수 없는 상황에 이르렀다. 아울러 전 세계적인 디지털 방송의 시작과 HDTV의 보급, 카메라폰 확산 및 차세대 이동통신 서비스, 인터넷 및 무선통신을 통한 급속한 데이터 전송 확대

등의 사회 환경 변화로 인하여 고용량 개인정보 및 화상 데이터의 처리 및 보관이 절실하게 요구되고 있다. 즉 미래의 우리 사회는 다양한 디지털 기기들이 융합, 복합화 되는 사회로 사무실, 학교 등은 물론이고 각각의 가정에서도 초고용량 및 높은 전송속도의 새로운 정보저장시스템이 요구되고 있다.

오늘날 모든 사회분야에 대한 새로운 패러다임으로 다양한 정보가 장소, 시간에 상관없이 어디서나 자유롭게 접근할 수 있는 유비쿼터스 환경의 필요성을 들 수 있다. 즉 기존의 제한된 장소에서의 PC를 이용한 인터넷 접속 및 음성 데이터와 같은 간단한 정보의 통신환경은 모든 정보의 디지털화 및 무선통신과 다양한 멀티미디어 기기의 발달로 많은 양의 데이터를 어떤 환경하에서도 신속하고 정확하게 송수신하고 또한 저장해야 하는 사회로 변화되고 있다. 이러한 유비쿼터스 사회의 실현을 위하여 가장 필수적으로 요구되는 것이 초고속 무선 및 위성통신의 구축이며 아울러 소형의 휴대용 멀티미디어 디지털기기의 개발이라 할 수 있다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 다양한 휴대용 소형 디지털기기가 등장하였으며, 특히 휴대폰, PDA 및 디지털 카메라 등의 소형기기의 휴대가 노트북 및 디지털 캠코더보다 선호되는 관계로 이러한 소형 디지털기기에 장착될 수 있는 초소형 정보저장기기

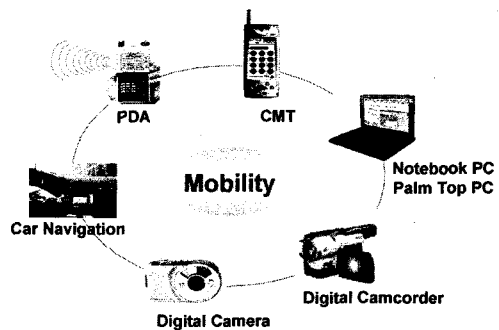


Fig. 1 Mobile Digital Devices related to Information Storage System

가 절대적으로 필요하게 된다. 현재 주로 사용되고 있는 플래쉬 메모리는 용량대비 미디어의 가격이 비싼 문제점이 있으므로 저가격에 고용량화를 달성하기 위하여 향후 초소형 HDD 또는 ODD의 장착이 절실히 요구되고 있다. 특히 초소형 광정보저장기기의 사용은 저가의 보급형 미디어의 사용이 가능하다는 점에서 더 많은 응용분야를 개척할 수 있다. 따라서 미래 유비쿼터스 환경하에서의 멀티미디어 디지털기기를 위한 초소형 정보저장시스템의 개발이 또한 우선적으로 요구된다 할 수 있다.

정보저장시스템분야는 다학문간 융합기술이 요구되는바 세계적인 연구개발 경쟁도 현재 국가적인 차원에서의 산학연 공동연구 경향이 강하다고 볼 수 있는데, 실제 미국, 일본 등 선진국에서는 국가 중심의 기술개발 노력을 진행하고 있다. 또한 정보저장기기의 고용량, 소형화를 위하여 나노기술(NT)을 응용하거나 새로운 기술을 발굴하는 노력이 이미 일본 및 미국 등의 선진국을 중심으로 2~3년 전부터 시작되어 기초연구 결과가 학회에 발표되는 단계에 있다. 본 논문에서는 이러한 해외에서 진행 중인 연구내용을 중심으로 국내외 첨단기술을 기술하고자 한다. 첨단기술의 개발 현황 및 내용은 편의상 기술적 분류에 의해 광정보저장기술, 자기정보저장, 그리고 미래 융합기술로 나누어 설명하고자 한다.

2-1. 광정보저장시스템 최신기술

ODD로 표현되는 광정보저장시스템 분야는 1982년 음악용 CD기술이 등장한 이후 CD-ROM을 통하여 개인 컴퓨터의 보조 저장기기로 도입된 후, 90년대 중반부터는 2세대 광정보저장기기인 DVD 시스템이 등장하여 영화와 같은 동영상을 기록하고 재생하는 영역으로 그 응용성을 확대하였다. 현재는 청자색의 단파장을 사용하는 Blu-Ray (BD)의 3세대 Format을 거의 완성하여 HD-TV급의 고화질 화상의 기록, 재생에 대응하는 새로운 시대

로의 진입을 이룩하였다. 따라서 현재의 BD 기술을 발전시킴으로써 100GB/디스크 정도의 고용량을 가진 광정보저장시스템을 실현하는 것은 큰 어려움 없이 가능하나 그 이상의 고용량 및 고속화에는 기술적 한계가 존재한다. 고용량화 및 고성능화를 위해 현재 해외선진국 및 국내의 연구기관 및 기업을 중심으로 시도되고 있는 새로운 제 4세대 광정보저장기기 방식들은 크게 다음 4 가지 기술로 분류될 수 있다.

- 1) SIL을 이용하여 고용량화를 실현하는 근접장 기록 (Near-Field Recording)
- 2) 홀로그래픽 메모리 기술로 불리는 3차원 기록/재생 기술
- 3) 초해상 재생기술을 광미디어 내부에 적용하는 Super-RENS 기술
- 4) 마이크로 또는 나노 프로브를 이용하여 근접장광 기록/재생하는 기술

SIL(Solid Immersion Lens)을 이용하는 NFR기술의 경우에는 90년대 말 미국 Terastor사의 상용화 노력 이후 최근에는 일본의 SONY사와 네덜란드의 Philips사에 의해 연구개발이 가속화되고 있다. 특히 NFR을 이용하기 위해 SIL과 media를 수십 나노미터 이하의 아주 작은 간격으로 유지하는 Gap servo기술이 새롭게 개발되어 상용화를 위한 개발이 순조롭게 진행되고 있다. 물론 SIL 제작공차 확보, 표면기록기술의 한계극복, 외부충격에 대한 신뢰성 확보 등 극복해야 할 기술적 난제들이 존재하지만 현재의 연구개발 진척도로 판단할 때 가장 실용화에 근접한 기술로 판단된다. 국내의 경우 LG, 삼성을 비롯한 일부 대기업 및 연대 CISD 등에서 연구개발 경험을 갖고 있으나, 최근에 집중적인 연구가 진행하지 않은 관계로 해외기술에 비해 다소 뒤쳐져 있는 것이 사실이다.

홀로그래픽 메모리 기술은 원천 광학기술을 보유하고 90년대 말 국가적 지원에 의한 대규모 연구를 수행한 미국이 세계적으로 가장 앞선 국가로 인정된다. 특히 대기업에서 spin-off한 많은 벤처기업들을 중심으로 신기

술 개발에 앞장서고 있으며 각 회사들이 기존 단결정 저장매체가 아닌 폴리머 미디어를 이용한 Write-once 방식에 집중하고 있다, 일본의 경우는 일부 대기업 및 벤처기업에서 연구를 활발히 진행하고 있으며 특히 SONY에서 독립한 Optware는 기존 광디스크를 이용하는 광정보저장 기술과 홀로그래픽 기술을 융합하는 독특한 방식으로 새로운 첨단기술을 선도하고 있다. 국내의 연구 개발은 대기업과 벤처기업, 연구소 및 대학에서 활발히 연구가 진행되고 있으며, 특히 대우에서 오랜 기간 연구개발을 진행하고 있다. 그러나 해외 기술과 비교할 때, 폴리머 미디어를 이용하는 부분에서는 더 많은 연구노력이 필요하다 하겠다.

Super-RENS 기술은 일본 국립연구소인 AIST에서 처음으로 시작된 기술로, 근접장 기술이 갖는 표면기록기술의 문제점을 극복하기 위하여 미디어 내부에서의 근접장 효과에 의한 재생신호의 증대를 유도하는 것이 핵심이다. 근본 Mechanism에 대한 규명이 아직 확실히 이루어지지 않는 않지만, 150GB/디스크 정도의 기록용량은 연구실 수준에서 이미 달성되었다. 국내의 연구개발은 대기업 및 대학을 중심으로 활발하게 이루어지고 있으며, 특히 삼성전자의 경우 차세대 정보저장기술시스템 기술의 한 가지 후보로 집중적인 연구개발을 진행하고 있고 LG전자기술원에서도 국가 project를 통하여 적극적인 연구를 수행하고 있다,

Probe를 이용하여 고용량을 달성하려는 기술은 일본, 미국 등의 대학 및 기업 연구소를 중심으로 차세대 기술로서 원론적인 수준의 기초연구를 진행하고 있다. 현재 실용화를 언급하기에는 다소 이른 단계의 연구내용이나 500GB/디스크 이상의 기록용량을 달성할 수 있으며 아울러 다른 방식의 기술과 융합될 수 있는 장점으로 인하여 현재 국내외의 많은 연구기관에서 비교적 활발히 연구가 수행되고 있다.

위에서 설명한 차세대 광정보저장시스템은 각각의 기술이 갖는 장단점으로 인하여 현재의 관점에서는 어떤 방식이 post-BD시대의 제 4세대 핵심 기술로 발전하게 될 지 정확히

예측할 수는 없다. 그러나 이들 중 적어도 한 가지 이상의 기술은 향후 5년 이내에 요구되는 500GB/Disk 용량의 차세대 광정보저장시스템 기술로 발전할 것이라 판단된다.

2-2. 자기정보저장 및 융합기술

자기정보기록 방식의 고용량화 및 고성능화 노력은 우선 자기 헤드와 미디어 사이의 부상 높이를 10nm이하로 유지하는 기술적 접근 방식에서 출발한다. 이러한 정교한 부상 간격 제어를 위하여 자기헤드를 포함하는 slider의 크기를 줄이고 형상을 개선하는 노력들이 진행되고 있으며 감소된 트랙 피치의 정확한 트랙킹을 위한 액추에이터의 설계 및 서보 제어 등 또한 많은 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 현재 국내외의 기업 및 연구기관을 중심으로 수행되고 있는 HDD관련 헤드, 시스템, 제어, 미디어 부분을 포함한 새로운 첨단 기술을 분류하면 다음과 같다.

- 1) TMR헤드로 대표되는 자기 헤드의 개발 및 산업화 연구
- 2) Femto slide의 설계 기술, 초정밀 Actuator 설계 및 서보 제어기술
- 3) 수직자기기록 방식 및 Patterned media에 의한 Media 고용량화 기술
- 4) 자기기록과 광학방식을 융합하는 Hybrid Recording 기술

이러한 기술들 중에서 Hybrid 정보저장기술은 광정보기록 및 자기기록기술이 융합되어 차세대 고용량 정보저장기기에 적용하고자 하는 기술로서 향후 patterned media 및 수직자기기록 기술과 접목될 경우 그 산업적 효과가 거대할 것으로 예상되고 있다. 따라서 신기술을 선점하기 위하여 현재 미국, 일본 등 HDD 선진국에서 원리적인 접근을 통하여 산업적 실용화의 가능성을 다양하게 시도하고 있으나 국내에서는 이제 연구개발을 시작하는 초기 단계에 있다.

아울러 이동형 디지털기기의 소형화

HDD 및 ODD 정보저장기기의 개발도 국내 외적으로 다양하게 연구 개발되고 있는데 그 기술적 특징은 미세가공기술을 활용한 집적화 초소형 헤드, 시스템 설계 및 제작 기술이라 할 수 있다. 이러한 소형 정보저장기기 부분은 다른 차세대 기술과 비교하면 상대적으로 국내의 연구개발이 매우 활성화된 부분이라 할 수 있다. 이는 국내 기업의 휴대폰 등 이동형 디지털 단말기 및 시스템의 기술적 수준이 높은 관계로 이 분야에 적용할 새로운 디바이스 개발에 대한 필요성이 많은 것에서 기인한다 하겠다.

지금까지 개략적으로 설명한 차세대 정보저장시스템 분야의 대표적인 최신기술에 대하여 보다 자세한 기술적 내용 및 특징은 다음 장에 정리하였다.

3. SIL응용 NFR기술

고기록 밀도를 갖는 광 정보저장 장치에 대한 요구로 기존의 far-field 광 기록이 갖고 있는 회절한계를 극복할 수 있는 근접장 광 정보저장장치에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 근접장광을 이용한 정보저장장치에 대한 연구로서 SIL(Solid Immersion Lens)를 이용한 광기록을 대표적으로 꼽을 수 있다. SIL을 이용한 근접장 광 기록 기술은 90년대 초 최초로 시작된 연구로 초기 고용량화에 대한 높은 가능성으로 많은 연구가 이루어졌으나, 최근까지 근접장 간극 유지에 대한 문제, 디스크 표면의 오염 및 열화 그리고 대물렌즈와 SIL을 탑재한 광학헤드의 트래킹시 seeking 속도에 대한 문제점이 지적되어 한 동안 드라이브 구현에 대한 기술적인 진보를 보지 못하였다. 그러나 계속된 연구개발의 결과 최근 SONY와 Philips사는 20nm의 안정적인 근접장 부상 높이를 갖으며 36Mbps의 속도로 13% 이내의 data-to-clock 지터 신호를 평가하여 86Gbit/in²의 기록 밀도를 갖는 근접장 광 디스크 드라이브를 선보였다. 이 연구를 통하여 근접장 간극 유지와 트래킹

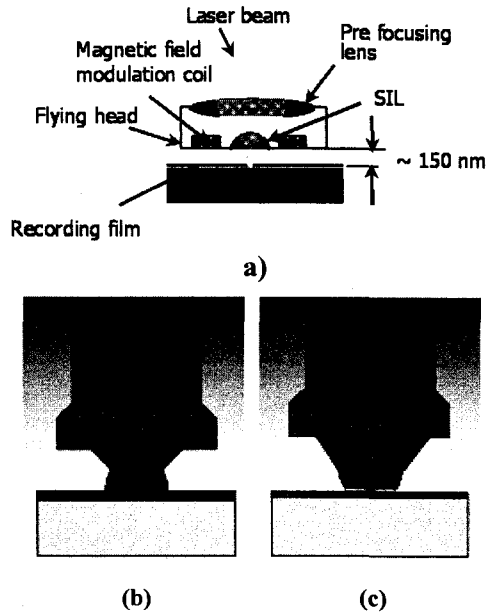


Fig. 2 a) Initial SIL-NFR by Terastor, b) Hemisphere SIL and c) Superhemisphere SIL

시 액츄에이터의 seeking 속도 문제에 대한 큰 기술적 진보가 이뤄졌으며 디스크 표면에 형성한 보호막 기술로 먼지에 의한 오염과 열화에 대한 개선된 연구 성과를 얻게 되었다. 그러나 아직 드라이브 구현 초기 단계이기 때문에, 장시간에 걸친 재생과 기록에 따른 문제점에 대한 연구와 개선이 필요하다. SIL응용 NFR 광학계는 통상 2개의 렌즈로 구성되는데, 부상형 헤드 또는 능동형 포커싱 액츄에이터에 탑재하는 대물렌즈와 SIL(Solid Immersion Lens)이라고 불리는 반구형 또는 초반구형의 렌즈로 구성된다. 초기 MO 시스템에 맞추어 개발되던 Terastor사 헤드 구조 및 최근 연구되는 일반적인 SIL-NFR 헤드시스템을 Fig.2에 나타내었다. 반구형 SIL을 이용하는 근접장 광기록의 경우, 레이저 다이오드로부터 출사된 광은 먼저 대물렌즈에 도달하고 모인 빛은 초점 부근에 놓인 SIL에 입사하게 되는데, SIL내부에서 빛의 파장은 $1/n$ (n : SIL 굴절률)로 짧아지게 되어 전체 렌즈의 개구수 (NA; numerical aperture)를 n 배로 증가시키는 효과를 나타내게 되며 이는 결국

레이저 빔의 크기를 공기 중의 값과 비교하여 1/n로 작게 하는 결과를 낳게 된다. 또한 구의 대부분을 남기면서 일부만을 평면으로 잘라낸 초반구형의 SIL을 사용하면 대물렌즈와 SIL을 포함한 광학계 전체의 NA는 SIL의 굴절을 제공 만큼인 n^2 배가 된다. 초반구형 SIL을 이용하는 연구는 2000년에 Sony사에서 처음으로 광학기록 및 재생특성을 연구한 이래로 발전을 거듭하여 2004년에 청자색 광원을 사용하여 1.84의 고개구수와 36Mbps의 속도로 재생 신호를 평가하였고 이 기술을 이용하여 12cm 디스크 단면에 112GB를 저장할 수 있는 단계에 이르렀다.

3-1. 근접장 간극 유지 기술

초기의 근접장 광 기록 연구는, 수십 나노미터의 근접장 간극을 제어하기 위해 기존의 하드디스크에서 사용하였던 서스펜션과 슬라이더 방식을 차용하여 광학 부상 헤드를 이용하였다. 광학 부상 헤드의 장점은 기존의 하드디스크 시스템에 적용되어 별도의 closed loop 제어 없이도 수십 나노미터 정도의 간극 유지가 검증되었다는 점이다. 광학 부상 헤드를 사용하는 연구는 하드디스크 기반기술을 갖고 있는 미국과 일본의 여러 회사에서 연구되었다. 그러나 현재의 근접장 광 기록에 대한 연구가 디스크 표면에 기록을 수행하기 때문에 부상형 광학 헤드의 슬라이더가 표면에서 발생

한 열과 디스크 상의 먼지 사이에서 발생하는 정전기적 인력 때문에 정상적인 간극 제어가 힘들어진다. 이와 같은 문제점을 개선하고자 최근 SONY 및 Philips사에서는 광학적 간극제어 시스템인 전반사 간극 검출 방식을 발표하였다. 이 검출방식의 원리는 SIL의 전반사 영역에서 디스크로 투과하는 근접광의 간극의 크기에 따른 투과율 차이를 이용하여 근접장 간극을 검출하는 방식이다. Fig. 3에 전반사 근접장 간극 검출방식의 개념을 나타내었다.

3-2. SIL 렌즈 제작 기술

근접장 광 기록에 적용되어온 SIL의 형상은 위에서 언급한 반구와 초반구의 형상을 가지고 있다. 이 형상은 광학적으로 무수차 점(aplanatic position)이 존재하게 되는데, 이 때 이 점에서의 수차는 이론적으로 0이고 실제 광학계의 응용에서도 일반적인 비구면 렌즈보다 렌즈의 기울어짐, 축 틀어짐에 대하여 우수한 광학적 공차를 갖는다. 그러나 반구형 형상을 갖는 SIL이 비교적 충분한 두께 공차를 갖는 것과는 달리 초반구형 SIL에서는 두께 공차에 매우 민감한 문제점이 있다. 실제 2004년에 Philips에서 발표한 논문에 따르면 근접장 광기록 및 재생을 위한 구면수차 허용 값을 $0.015 \lambda_{rms}$ 이하 (이 때의 파면수차기준은 $0.04 \lambda_{rms}$)라고 하였을 때, 일반적인 초반구형 SIL은 0.2mm의 두께 공차를 갖는다. 일반적인 초소형 렌즈 제작으로는 이러한 두께 공차를 얻는 것은 어렵기 때문에, Philips 및 SONY사는 FIB(focused ion beam)를 이용한 공정을 수행하여 높은 두께 정밀도를 갖는 SIL을 제작하였다. SIL 제작 공정을 간단히 소개하면, 우선 고 굴절률(405nm에서 2.07~2.08)의 글라스를 구면 형상으로 가공한 후 그라인딩 및 폴리싱을 통하여 SIL의 Conical 형상을 제작한다. 이 때 conical 형상의 SIL은 SIL의 초점면에 평탄한 면을 가지게 되는데 이 면을 위에서 언급한 FIB공정을 이용하여 가공하게 된다.

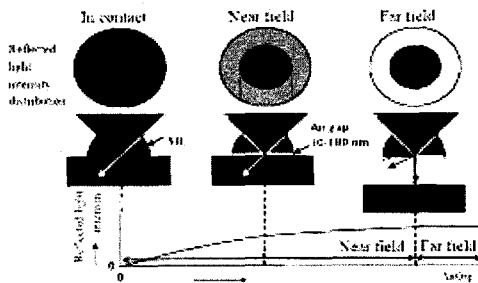


Fig. 3 Near-field gap sensing by total reflection method

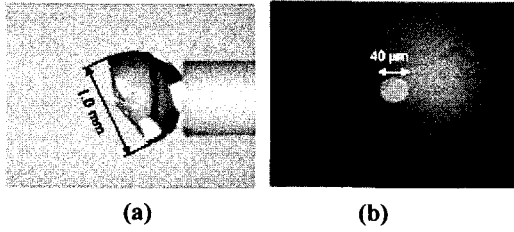


Fig. 4 a) Microphotograph of superhemisphere SIL and b) conical Tip

FIB 밀링 공정 시에는 Conical 바닥면에 전하가 축적되어 공정과 파면 분석의 저해요소가 될 수 있으므로, 50nm의 Al 층을 conical 측면에 도포하여 전도층으로 사용한다. 또한 파면분석을 위하여 대물렌즈와 SIL을 조합하여 간섭계에 장착하고 측정을 수행한다. 수차계의 정교한 FIB 밀링 공정 제어와 정밀한 파면분석을 통하여 수차공차 한도 이하의 SIL을 제작하는 것이 가능하였다. Fig. 5에 이러한 정밀공정을 통하여 제작된 SIL의 외곽 및 conical 형상을 나타내었다.

3-3. 근접장 광 기록/재생 장치 구현

최근의 SIL응용 NFR 기술을 완성하는 근접장 표면기록 및 재생 장치에 대한 연구는 기존의 광디스크 기술에 적용되는 linear VCM 구동기 및 시스템을 이용하여 진행되고 있다. 우선 SONY에서는 1.84의 높은 NA를 갖는 SIL 시스템과 능동형 간극 제어 구동기를 사용하였는데, 그 특징은 기록/재생에 필요한 405nm 광원과 별도로 650nm 광원을 사용하는 방법으로 포커스 및 트랙킹 서보를 분리하여 20nm의 안정적인 근접장 간극유지를 가능케 하였다. 이와 함께 미디어는 160nm의 트랙피치를 갖고 재생속도에 따라 최소 46nm의 bit length를 갖도록 제작하여 36Mbps의 속도로 디스크 단면에 112GB (80.6Gbit/in²)를 저장할 수 있는 기록 및 재생 장치를 개발하였다. 3.74mW의 기록파워와 0.23mW의 재생파워

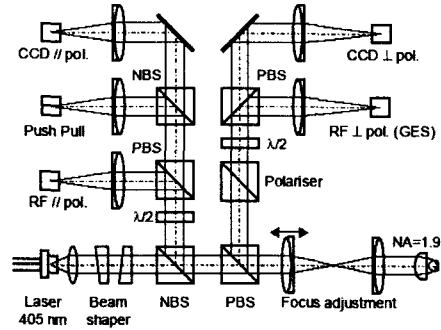


Fig. 5 SIL-NFR system by Philips

를 나타내었고 재생신호는 13%이내의 data to clock jitter를 달성하였다.

이와는 별도의 방식으로 Philips사에서 405nm의 하나의 광원을 사용하여 기록/재생은 물론 포커스와 트랙킹 서보를 구현하는 기술을 최근 발표하였으며 이를 통하여 1000rpm의 고속회전에서 미디어와의 충돌 없이 30nm 정도의 안정적인 근접장 간극유지가 가능케 하였다. Fig. 5에 Philips사에서 개발한 근접장 광 재생 장치의 구성도를 나타내었다.

Philips사에서는 또한 그 동안 수행되어오던 반구형 또는 초반구형 SIL 응용 표면기록에 대한 연구보고 이외에 반구형 SIL을 이용한 미디어 내부 기록 개념을 최근 선보였는데, 이는 앞에서 언급한 바와 같이 미디어 표면기록이 가지는 오염 및 열화에 대한 근본적인 문제를 개선하기 위한 시도이다. 이러한 미디어 내부기록에 대한 접근 방식 및 새로운 연구는 연세대학교 CISD에서 2003년에 JJAP를 통해 발표한 논문에서 이미 제시된 바 있는데, 타원형 SIL과 Cartesian Oval을 이용하여 기존에 사용되던 대물렌즈 또는 Collimator와 대물렌즈를 모두 사용하지 않고 미디어 내부에 광기록을 수행하는 개념이었다. 이와 같은 SIL연구의 새로운 방향은 NFR 표면 기록 기술이 갖는 근본적인 문제에 대한 해결방안을 모색하기 위한 방식이라 하겠다. Fig. 6에 Philips사에서 제시한 반구형 SIL을 이용한 미디어 내부 2층 기록방식을 개념을

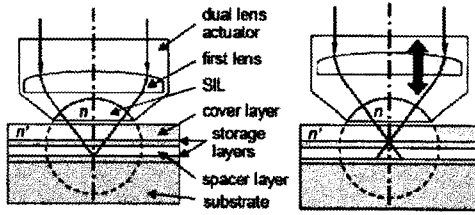


Fig. 6 Inside recording of SIL by Philips

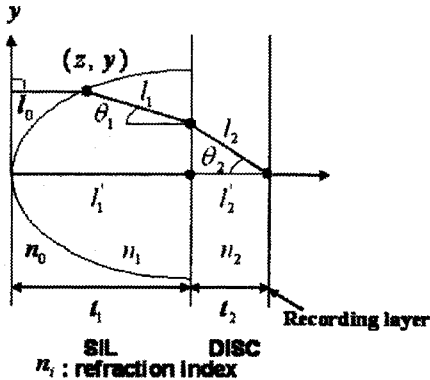


Fig. 7 Inside recording concept with a special designed SIL by CISD.

도식적으로 나타내었으며, Fig. 7에는 CISD에서 제시한 타원형상의 SIL을 이용한 미디어 내부기록 원리를 설명하였다.

4. 홀로그래픽 메모리

홀로그래픽 메모리는 레이저 빔의 파동 간섭현상을 이용해 물체의 정보를 입체적으로 기록/재생 하는 정보저장장치로서, HDDS (Holographic Digital Data Storage)라는 이름으로도 불리는 광정보저장기이다. 2차원 평면에 데이터의 입출력이 이루어지는 기존의 ODD와 달리, HDDS의 가장 큰 특징은 3차원의 공간에서 parallel한 데이터 입출력이 이루어진다는데 그 특징이 있다. HDDS의 기록 과정을 개략적으로 Fig. 8에 제시하였다.

여기서 원 데이터(Raw Data)는 인코딩되어 binary로 표현되고, 이 데이터는 SLM(Spatial Light Modulator)를 통하여 2차원의

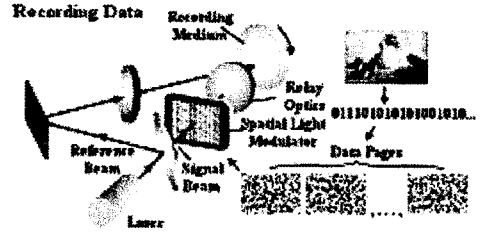


Fig. 8 Recording mechanism of HDDS

페이지의 명암을 만들고 이를 통하여 신호빔(Signal Beam)이 통과하게 된다. 또한 기록시 이미지의 가간섭성(interference)을 생성하기 위하여 또 다른 기준빔(Reference Beam)이 사용된다. 실제 홀로그래픽 메모리 기록에서는 두 레이저 빔을 미디어 내부에 중첩하여 간섭무늬를 만들게 되며, 이 간섭무늬에 반응하는 물질을 이용하여 정보를 기록하게 된다. 재생할 때는 기록시 사용되었던 기준빔을 이용하여 인코딩되었던 페이지 단위의 2차원 이미지 영상이 얻어 지는데 이는 CCD 또는 CMOS 카메라를 통하여 정보를 얻어 디코딩하여 원래의 정보를 얻는다.

HDDS의 기록은 공간의 한 지점에 여러 페이지의 데이터를 중첩하여 기록할 수 있는데 이 과정을 다중화(multiplexing)라고 하며, 차세대 정보저장시스템 기술로 주목받는 것은 바로 이 다중화 특징에 기인한 것이다. 즉 3차원 기록이 가능한 HDDS를 이용함으로써 데이터의 정보저장용량을 획기적으로 증가시킬 수 있으며 아울러 페이지 단위로 2차원으로 기록/재생함으로써 데이터 전송속도를 크게 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

4-1. HDDS의 국외 연구동향

HDDS의 본격적인 연구는 레이저의 개발과 더불어 70년대 이후 미국을 중심으로 활발히 진행되어 왔으나, 그 동안 광학적 성능이 보장되는 저장물질의 개발이 늦어지는 관계로 1990년대 말까지 한동안 답보

적인 상태를 유지하였다. 최근에는 미국의 NSIC(National Storage Industry Consortium)의 지원으로 차세대 대용량 정보저장기기로서의 HDDS 관련 시스템 개발 및 재료에 대한 대대적인 연구가 이루어지며 다시 활기를 찾게 되었다. 현재 국내외적으로 진행되고 있는 HDDS의 연구 분야를 system, component 그리고 media로 구분하고 다시 이를 국가별로 간단히 정리하면 Table 1과 같다.

2005년도 기준으로 미국에서 HDDS와 관련된 가장 활발한 연구를 보이고 있는 기관으로는, Lucent Technology의 벤처 회사인 InPhase와, Polaroid에서 독립한 Aprilis, 그리고 오랫동안 연구를 계속해 온 IBM 등을 들 수 있다. InPhase사에서 2005년도 상용화를 목적으로 개발 중인 HDDS Drive의 개략적인 사양은 13cm 카트리지 미디어에 405nm의 블루 레이저를 사용하여 저장용량 200GB, 데이터 전송속도 20MB/sec의 달성을 목표로 하고 있다. 또한 Aprilis에서도 HDDS 시제품을 개발 중이며, 주요 사양으로는 200GB의 저장용량과 70MB/sec의 전송속도이다.

미국과 같은 대규모의 정부 지원 연구는 아니지만 일본에서도 1970년대 초반부터 NEC 및 Matsushita와 같은 대기업 및 대학을 중심으로 소규모로 HDDS 연구가 진행되어 왔다. 그동안 상용화 및 산업화 관점에서 유리한 DVD등의 광디스크 분야에 집중한 까닭에 상대적으로 HDDS의 발전 속도는 느린 것으로 판단된다. 그러나 현재 일본이 가지고 있는 ODD 분야의 주도권을

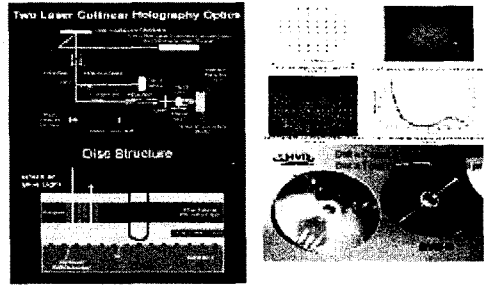


Fig. 9 HDDS characteristics by Optware

지속적으로 확보하기 위하여, 1990년 이후 본격적인 연구 개발에 노력하고 있다.

우선 SONY는 DVD와 호환 가능한 HDDS-ROM 시스템 개발에 치중하고 있으며, NTT 및 Optware는 기록가능 HDDS개발에 집중하고 있다. HDDS의 연구개발에 있어 일본기술의 가장 큰 특징은, 현재 보유하고 있는 높은 수준의 CD/DVD 기술을 HDDS에 접목하는 융합기술이다. 특히 Optware는 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 기록가능 HDDS의 개발에 있어 광디스크의 서보기술을 상당 부분 차용하여 시스템에 적용한 흥미로운 연구 결과를 발표하였다.

4-2. HDDS의 국내 연구동향

현재 국내의 HDDS에 관한 연구는 기업 연구소 및 대학 등을 중심으로 소규모로 연구되고 있는 것이 현실이나, 최근 대우일렉트로닉스 등의 기업에서 차세대 대용량 저장장치로 부각될 HDDS의 가능성에 주목하여 기반 기술 관련 연구를 수행하여 많은 우수한 성과를 발표하고 있다. 또한 국내 대학으로는 연세대학교 CISD 및 충북대를 비롯한 많은 대학 연구실에서 HDDS의 표준화 개발에 중요한 미디어 format 개발, 미디어에 대한 기초적인 특성 평가, 광신호 처리 기술, 디지털 신호처리 기술 등에 관련된 기본적인 응용 실험을 중심으로 연구를 수행하고 있다. HDDS의 경우 2차원 이미지 데이터를 생성하는 SLM의 픽셀의

Table 1 HDDS technology leading groups

	Non-Asia	Korea	Japan
System	-IBM, Lucent (InPhase) -Rockwell, Rome Lab, NASA -Stanford, Caltech (Hologplex) -Arizona, CMU, etc	-Samsung -Daewoo -Universities (CISD etc.)	-NTT, SONY -Optware -Toyohashi UT
Component	-SDL, Honeywell -Kodak, Photobit -TI, Displaytech, Kopin	-Samsung -LG -Daewoo	
Media	-Aprilis(Polaroid), Lucent(Imation), Bayer -Rockwell, IBM, Stanford	-Universities -Ventures	-NIRM

size와 기록된 페이지를 검출하는 CCD 또는 CMOS의 크기를 증가시켜 데이터 입출력 속도를 증가시킬 수 있으나, 이 경우 광학적으로 노이즈에 보다 취약하기 때문에, 신호처리 등의 과정을 통하여 해결하는 연구들이 진행되고 있다.

5. Super-RENS

근접장 이용 고용량 광정보저장기기의 실용화에 가장 어려운 기술적 문제의 하나는 앞에서 설명한 Dust 등에 의한 표면기록의 한계이다. 이를 해결하기 위해 90년대 말에 일본에서 제안된 방식이 Super-RENS기술이다. Super-RENS(Super-Resolution Near-Field Structure)는 초해상 근접장 구조라고 명명된 구조의 광디스크를 사용한 것으로 광의 회절 한계를 초월한 미소 Pit의 기록/재생이 가능하도록 한 것이 특징이며, 광헤드의 구조 및 일반 시스템을 종래의 광디스크에서 사용되어 지고 있는 기술을 토대로 하여 Disk의 구조변경만으로 고용량을 달성할 수 있다는 측면에서 실용 가능성이 높은 기술이다. 또한 Super-RENS방식은 SIL 또는 Probe 방식과 같이 헤드와 미디어의 근접에 의한 기록방식이 아닌 관계로 헤드의 파손 위험성이 거의 없기 때문에 고속화가 가능하고 Actuating 기술이 기존 기술을 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

Super-RENS기술은 현재까지 3 가지 방식의 기술로 개발, 발전되었다. Fig. 10에 나타난 바와 같이 첫 번째가 Sb 마스크층이 광Spot에서 발생하는 열에 의해서 개폐되는 개구방식 기술이며, 두 번째 방식은 AgOx의 광산란 방식이며 최근에는 PtOx을 마스크층으로 하여 기록층과 상호작용하여 재생하는 방식으로 발전하였다. 초기 Sb막의 경우는 상변화 기록층에 정보를 기록하고 재생할 때, SiN층 사이에 있는 Sb막층이 레이저 광스팟에서 발생하는 열분포에 의해서 파장 이하의 개구가 형성되어 파장 분해능보다 훨씬 성능이 향상된 기록 밀도 구현이 가능하도록 하여 고용량을 실현하였다. 이렇게 형성된 개구를 통해서 투

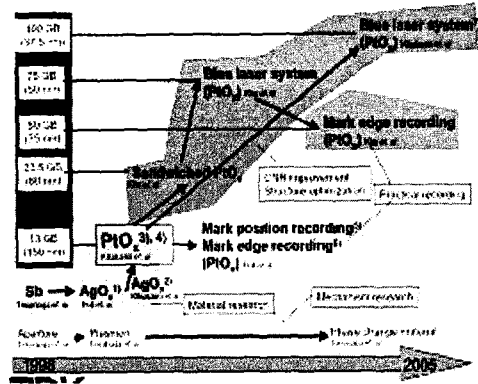


Fig. 10 Development trend of Super-RENS

과되는 근접장광이 상변화 기록층에 정보를 기록하고 재생하게 된다. 여기에 사용되는 매체는 Rewritable형의 DVD 사용되고 있는 상변화 기록 재료 $Ge_2Sb_2Te_5$ 를 주로 이용한다. Super-RENS 기술의 특징 및 발전 내용을 각 단계별로 간단히 살펴보면 다음과 같이 요약될 수 있다.

Super-RENS방식의 기본 원리는 개구방식의 초기 개념에 의존하게 되는데, Fig.11 나타난 바와 같이 입사광의 조사에 의해 불투명한 막이 투명으로 변화하는 Sb mask층을 기본으로 한다. 즉, 상변화 기록층 위에 형성시킨 Sb층은 Laser spot 중심의 최고로 강한 광이 조사되는 부분에서만 순간적으로 광학적 창, 즉 미소개구가 형성되어 작은 spot의 형성이 가능하도록 하는 시스템으로 초기에 고안되었다. 하지만 이 방식은 반복에 의한 Sb층의 신뢰성 문제로 인하여 기술적인 한계를 갖게 되었다.

이를 극복하기 위한 두 번째 광 산란방식의 Super-RENS 기술은 기본 원리는 비슷하지만 마스크 층이 Sb가 아니고 AgOx를 사용하는 것에 큰 차이점이 있다. 이 경우는 기록시 입사되는 레이저의 광량에 의해 AgOx가 Ag나노입자와 산소로 분해되고, 이에 따라 중심에서 국부적으로 가열된 부분에서만 재생광이 Ag 나노입자와 Surface Plasmon효과를 발생시키게 되어 파장 분해능 이하의 강한 근접장광이 형성된다. 그러나 이 방식 또한 AgOx와 Ag 나노입자사이의 반복적인 변환에 있어 신뢰성 확보가 어려운 관계로 새로운 3세대

방식의 도래를 유도하였다. 최근의 세 번째 방식에서는 AgOx의 재현성 개선을 위하여 PtOx로 대체하였으며, 실제 광메모리 상용화 구현에 있어서 필수적인 CNR을 40dB이상까지 달성하였다. 기본 기록/재생 메카니즘은 두 번째 방식의 AgOx와 비슷하며 Fig. 12에서 보여준 바와 같이 기록광의 조사 후에 Pt입자들이 생

성된 것을 확인할 수 있었다. 위에서 설명한 Disk구조 및 최신의 Super-RENS 기술을 활용하여 달성한 최소 기록 마크는 현재 37.5 nm이며 이를 디스크 기록 용량으로 환산하면 약 100GB이상이 가능하다 (Fig. 13참조). 응용 근접장 광기록 기술에 비하여 큰 장점을 지니고 있다. 그러나 Super-RENS를 이용한 고용량화 기술은 우선 고해상도 비선형층을 통과하기 위해서 재생시 높은 광출력(대략 3mW)을 필요로 하게 되는데, Super-RENS를 이용한 고용량화 기술은 기존 광디스크 시스템을 그대로 사용할 수 있으며 또한 기존의 DVD 등과 같이 기판 내부에서도 기록/재생이 가능하기 때문에 현재 표면 기록 방식인 probe 및 SIL이는 기록된 비정질 박막층의 결정화를 유발하여 원하지 않는 데이터 소거 등의 부작용을 유발하고 또한 이로 인한 이웃한 트랙으로의 광량 침투에 따른 crosstalk 문제가 큰 단점으로 지적되고 있다. 아울러 입사광에 의해 야기된 GeSbTe 기록층의 국부적 온도 변화 및 그에 따른 굴절율 등의 특성 변화 그리고 PtOx 마스크 층과의 상호작용이 Super-RENS의 기본 메커니즘으로 이해되고 있으나 (ferroelectric 효과 등), 이에 대한 실험적, 이론적 고찰이 다소 부족한 것도 앞으로 상용화를 위해 반드시 해결해야 할 과제라 판단된다.

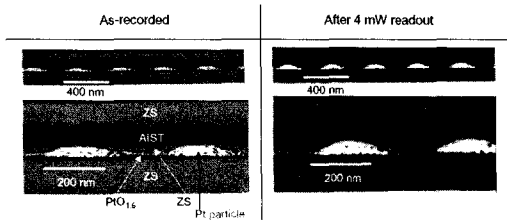


Fig. 11 Basic concept of aperture type

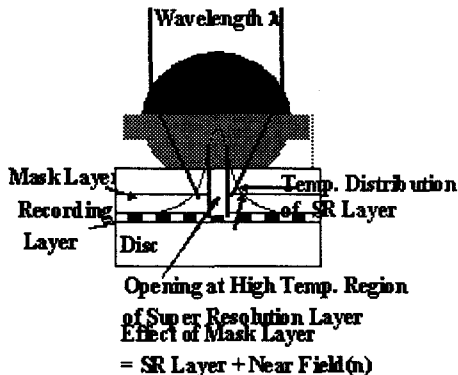


Fig. 12 Super-RENS recording mechanism using PtOx media

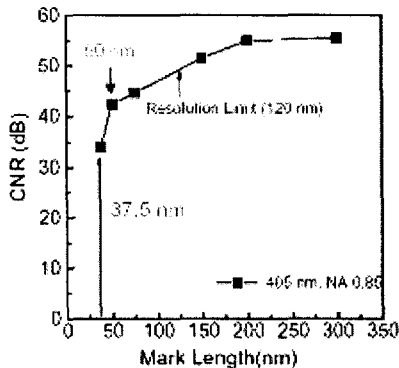


Fig. 13 Super-RENS CNR results using PtOx

6. 프로브 응용 고용량 광기술

광정보저장시스템에 있어서 CD에서부터 현재의 BD까지의 고용량 달성 방향은 기본적으로는 광디스크 내부에 맺히는 광스팟의 크기를 줄이는 방향이었다. 광스팟의 크기는 사용되는 레이저 빔의 파장과 대물렌즈의 개구율에 의존하므로 $[d = \lambda/NA]$ 데이터 용량을 높이기 위해서 레이저 파장을 짧게 하고 NA를 높이는 방향으로 연구개발이 진행되어 왔다 (Fig. 14 참조). 그러나 이러한 방식에 의한 고용량화는 사용되는 파장보다 작은 스폿을 만들어 낼 수 없는 빛의 회절 한계성에 의해 제한을 받게 된다. 따라서 가까운 미래에 고용

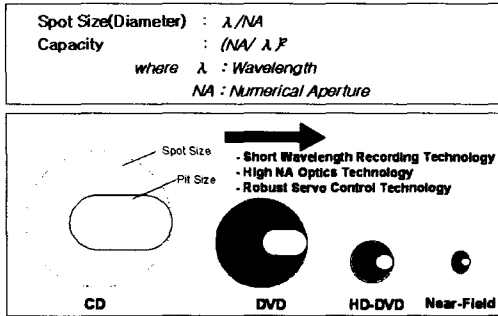


Fig. 14 High density recording trend

량을 달성하기 위해서는 새로운 기술이 요구되며 그 방법으로 근접장광의 응용을 예로 들 수 있다. 근접장광(Near-Field Optics)이란, 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 전파될 때 물체의 경계면 주변에 존재하는 에바네스цент파(Evanescent wave)를 말하며, 이 파의 특징은 거리가 멀어짐에 따라 에너지가 기하급수적으로 감소한다는 것이다. 이것은 일반 전파하는 광과 비교해 특별한 특성을 가지고 있으며, 이를 이용하여 광스팟의 크기를 회절한계의 10분의 1 이하로 줄일 수 있다.

근접장광 응용 고용량화 기술은 앞에서 설명한 SIL 응용 기술과 프로브형태의 탐침을 이용하는 방식으로 다시 분류되는데, 두 기술 모두 기본적으로는 회절한계성을 보이지 않는 에바네스цент파의 특성을 이용하는 점에서 공통점이 있다. 실용화를 위하여 극복해야 할 기술적 장벽은 별도로 하고 가능한 고용량화의 가능성을 비교하면 프로브 방식이 유리하며 특히 데이터 전송속도의 향상에 장점이 있다. 실제로 이러한 근접장기록 기술은 광헤드와 미디어의 거리가 100nm 이내의 간격으로 유지되어 표면기록을 실시해야 하므로 극복해야 될 기술적 사항으로는 먼지와 같은 외부환경에 의한 오염원 제어, 헤드의 부상량 정밀관리 및 소형화, Media의 평탄성 확보 등을 들 수 있다.

6-1. 근접장 이용 광기록 기술

회절한계 이하의 작은 광스팟을 만들고 이

를 광정보저장에 사용하려는 시도는 90년대 초반 미국 IBM연구소에서 처음으로 시작되었다. 근접장 현미경(Near-Field Scanning Optical Microscopy)에서 사용되는 기술을 광정보저장기에 응용한 것으로 주된 내용은 금속 코팅된 광파이버 끝단의 아주 작은 aperture에서 방출되는 작은 스팟의 광을 광자기 방식의 미디어에 근접장 영역에서 기록한 방식이었다. 나노 aperture에서 방출되는 광은 그 세기가 대단히 미약하며 또한 거리에 멀어짐에 따라 급속히 소멸하는 특성을 갖고 있으므로 미디어 기록층을 광파이버의 끝단에서 100nm 이내로 유지하는 기술적인 요구되었으며 실제 60nm 크기의 기록 마크를 달성하였다.

그러나 이 기술을 실제 광정보저장에 적용하기에는 많은 문제점을 포함하고 있으며, 특히 가장 시급히 해결되어야 할 문제는 나노 aperture를 통해 방출되는 광량이 매우 작다는 것이다. 이러한 낮은 광효율은 상대적으로 긴 기록 시간을 요구하게 되어 광저장기의 속도를 저하시키게 되며, 아울러 광손실로 야기되는 열에 의한 aperture의 손상이 발생한다. 따라서 이러한 프로브 응용 고용량화의 실용화를 위해서는 광효율을 급속히 향상시키는 연구가 필수적이라 하겠다.

6-2. SPP 이용 광효율 향상

높은 광효율을 갖는 프로브 실현을 위한 중요 연구로 surface plasmon polariton(SPP) 방식을 들 수 있다. Fig. 15에 나타난 바와 같이 입사되는 레이저 빔이 특수 구조의 금속 박막과 미세 영역에서 상호 작용에 의해 공명(resonance) 현상이 일어나게 되면, 레이저 빔의 강도가 국부적으로 증가하는 현상을 이용하는 것이다. Fig. 15(a)와 (b)는 수직으로 입사하는 레이저 빔과 금속막 패턴에 의해 빔의 강도가 증가하는 이론 해석 결과이다. 2개의 금속막 패턴이 서로 마주 보는 경우, 그 사이에서 더욱 강도가 증가하게 되며, 이 경우 금속막 패턴 사이의 간격 및 곡률반경 그리고 입사되는 레이

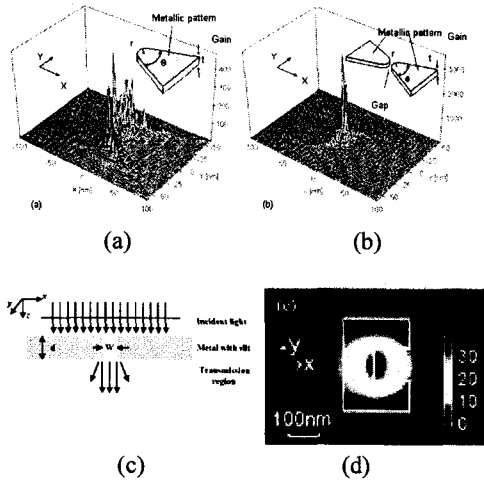


Fig. 15 Intensity enhancement by the surface plasmon polariton effect

저 빔의 편광방향 등에 의해 증가되는 비율이 영향을 받는다. 레이저 빔이 x방향으로 편광 되었을 때 최고 3,500배 이상 빔 강도가 향상되는 것이 이론적으로 계산되었다.

surface plasmon polariton 효과는 프로브 등에서도 발생하는 것이 여러 연구진에 의해 입증되었으며, 특히 나노aperture의 형상에 따라 매우 큰 레이저 빔의 강도 향상이 가능하였다. Fig. 15(d)에서 설명된 바와 같이 aperture의 형상을 'ㄷ'자 형태로 하였을 경우 중앙부분에서 레이저 빔의 강도가 크게 향상되는 현상을 보이고 있다. 이와 비슷한 연구가 프로브 구조에서도 발표되었는데 그 내용은 피라미드 형태의 프로브의 3면에만 금속 코팅을 실시하는 비대칭 구조의 경우 상대적으로 더 높은 레이저 빔 강도 향상 효과를 얻을 수 있다는 결과이다.

6-3. 전송속도 향상 어레이 방식

프로브 방식의 근접장광을 이용하여 차세대 고용량 달성하려는 연구의 다른 장점은 어레이 방식으로 프로브를 제작하게 되면, 데이터 전송속도가 쉽게 향상될 수 있다는 것이다. Fig. 16에 나타난 바와 같이 프로브 어레이를

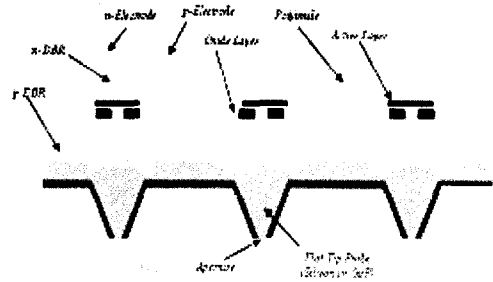


Fig. 16 Parallel recording technology to increase the data transfer rate.

2차원적으로 배열하고 각각의 프로브를 독립적으로 기록/재생하게 되면, 프로브 수에 해당하는 만큼 데이터 전송속도를 향상시킬 수 있게 된다.

현재 프로브 이용 근접장 광기록 광효율 향상을 위한 프로브 구조 연구 및 작은 광으로도 기록 가능하거나 광을 이용하지 않고 다른 방식으로 기록/재생할 수 있는 메카니즘은 다양하게 연구하고 있다. 예를 들면, 미디어의 종류를 다양하게 시도하여 근접장광을 이용하여 상변화 기록막에 기록, 열적인 방식으로 폴리머 상에 물리적인 pit를 기록, 근접장광 및 자기헤드를 이용한 광자기기록, 그리고 ferroelectric재료 특성을 이용하는 방식 등을 들 수 있다. 또한 가능한 현재의 광디스크 기술과의 호환성을 최대한 확보하면서 성능적인 면에서 경쟁력을 갖는 신기술을 개발하는 것이 필요하다고 하겠다.

7. Small Form Factor ODD

현대 사회는 고도의 정보화 사회로 거대한 양의 개인 정보를 쉽게 휴대하고 교환할 수 있는 새로운 휴대용 정보저장시스템의 필요성이 대두되고 있다. 특히 모바일 이동통신의 급증에 따라 휴대 전화에 별도의 메모리를 장착하여, 단순한 전화기에서 정보저장 기기로서의 응용이 시도되고 있다. 이에 따라 현대 사회에서의 정보저장 매체는 고밀도화, 고배속화와 더불어 초소형화에 대한 요구가 더욱 커지고 있다. 따라서

기존의 정보저장 매체보다 작으면서 고용량의 정보를 저장할 수 있는 초소형 정보저장기기를 개발하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 광디스크가 보유하고 있는 배포성, 휴대성 및 가격의 장점을 유지하기 위하여 최근 소형 HDD개발과 더불어 초소형 광 정보저장기기(Small Form Factor ODD)에 대한 관심이 고조되고 있다. 초소형 광정보저장 장치는 이동성을 고려한 장치로 현재 CF II 형의 플래쉬 메모리 및 0.85inch급 HDD와 경쟁을 위해서 초소형 (43 x 36 x 5 mm³) 으로 개발되고 있다. 전체적으로 소형의 모바일 광디스크 드라이브 실현을 위해 새로운 개념의 광학계 설계, 초소형 광부품 개발 및 렌즈 구동부의 개발이 필수 조건으로 대두되고 있다. 현재 해외에서는 주로 Phillips와 DataPlay사가 이에 대한 연구를 주도하고 있으며, 국내에서는 삼성, LG 및 연세대학교 CISD 등에서 연구를 진행하고 있다.

7-1. 초소형 구동기 및 광학계 연구

현재 12cm의 광디스크에 27GB의 기록용량이 가능한 BD Format을 초소형 광 드라이브에 적용하여 3cm 크기의 디스크에서 1GB의 저장 용량을 실현하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 새로운 시스템의 완성을 위해서는 초소형 디스크 사이즈에 맞추어 구동기를 소형화 하고 이에 필요한 광, 기계 부품들을 신뢰성 있게 개발하는 연구들이 중심이라 하겠다. 특히 구동기에 관한 연구는 크게 두 부분 나누어지는데, 로타리방식과 선형방식이 그 내용이다.

로타리방식은 하드 디스크의 구동기로 주로 사용되었으나 소형화의 이점을 가지고 있어 초소형 광디스크용 정보저장시스템에 응용하기 위해 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 로타리방식의 장점은 광픽업과 스핀들 모터와의 거리를 가깝게 할 수 있어 디스크의 저장용량을 키울 수 있는 점과 탐색(seeking)과 트래킹(tracking)을 단일한 구동기로 할 수 있다는 점이다. 또한

전력의 소비도 후자의 경우에 비해 적고 마찰에 대한 문제로 인한 제어의 불안정성도 적다. 반면 회전에 의해 탐색과 트래킹을 하므로 현재의 모터방식과 달리 디스크의 트랙 안에서 접선방향과 접선에 수직인 방향으로 구동하는 것이 아니라 사선으로 움직이므로써 제어에 문제가 발생할 수 있고 현재의 에러신호의 검출 방법을 적용하는데도 문제가 있다. 그리고 포커스 구동을 위해 새로운 메커니즘을 도입해야 하고 이로 인해 구동기의 끝부분의 무게가 늘어나는 것 또한 광 픽업의 부상의 문제점과 끝단의 관성의 증가를 초래하게 된다. 따라서 현재 포커스 구동을 위한 새로운 방안에 대해 연구들이 수행되고 있는데, 그 내용은 MEMS에 의한 마이크로 미러를 사용하는 방식, PZT를 이용한 방식, HDD의 slider를 도입하는 방안 등의 연구가 진행되고 있다. 또한 광학계의 분리 여부에 따라 광학계 일체형과 분리형으로 나뉜다. 일체형은 광학계의 무게를 줄여 집적화에 스윙암의 끝단에 부착시키는 연구로 광 도파로나 광파이버를 사용한 집적화 연구가 진행되고 있고 분리형은 끝단의 무게를 줄이기 위해 광학계를 고정 축에 달아 광 경로를 확보하고 효율을 향상시키는 연구가 진행되고 있다.

선형방식은 회전 모터에 비해 비용적인 문제로 최근까지 널리 사용되지 못했으나, 회전방식에 비해 병진구동을 함으로써 스큐(skew)가 발생하지 않고, 현재의 상용 광 드라이브 액추에이터와 구조가 유사하여 새로운 메커니즘 적용에 수월한 것이 장점이다. 선형방식에는 크게 선형 VCM방식과 랙엔피니언(rack & pinion)을 사용한 회전모터 방식이 있다. 전자의 경우 VCM을 사용함으로써 접근속도가 빠르나 마찰에 의한 비선형성으로 인하여 제어의 불안정성, 이로 인한 전류의 과잉 소비가 문제점으로 대두되고 있다. 후자의 경우는 현재의 상용 구동기와 같은 방식으로써 현재의 메커니즘의 적용이 가장 용이하나 사이즈를 줄이는데 한계가 있고 백래쉬(backlash)와 같은

기어의 비선형성이 발생할 수 있다. 선형방식의 미세구동기는 전체적으로 사이즈가 초소형화 됨에 따라 현재의 4-와이어 지지 방식으로는 이에 대응하는데 한계가 있다. 따라서 새로운 방식의 구동기가 필요하고 현재는 MEMS 기술에 의한 구동기 연구와, 상용 구동기를 초소형화 하는 방안 등이 제시되고 있다. 현재 초소형 구동기는 전반적으로 사이즈에 대한 장벽을 안고 있고 사이즈가 줄어들어 따라 생기는 성능의 저하 또한 관심의 대상이 되고 있다.

7-2. SFF ODD의 최신 해외기술

초소형 광정보저장시스템에 대한 해외기술은 Philips사 DataPlay사에 의해 주도되었으며 우선 Philips사의 경우 BD규격에 맞추어 28mm의 디스크에 1GB의 기록용량을 발표하였다. 드라이브 전체 사이즈는 20x24x5mm³이며 외관 및 광픽업 구조는 Fig. 17에 나타난 바와 같다. 기술적 내용은 조동 구동기로는 상용 ODD에서 사용하는 회전모터를 사용하였으며, 두께방향으로의 사이즈를 줄이고 회전력을 증가시켰다. 미동 구동기는 상용 4-와이어 VCM 구동기를 소형으로 특별히 제작하였다. 고감도 및 제어대역의 확보를 위하여 가동 코일형구조를 선정하였으며 선형 구동거리는 $\pm 75 \mu m$ 를 확보하였다. Philips사의 광학계의 구성은 개별적으로 제작된 광 부품을 하나씩 정렬하는 기존의 분리형 픽업 구성을 이용하였으며 레이저 다이오드는 픽업의 크기를 줄이기 위하여 캔형 청자색 레이저 다이오드를 I-cut 하여 4.4mm의 높이로 제작하여 사용하였다. 대물렌즈는 BD규격을 만족하기 위하여 0.85의 개구수와 1mm의 입사동 크기를 갖도록 글라스와 포토 폴리머를 이용하여 제작하였다. 제작 방식은 구면과 평면의 형상을 갖는 렌즈면을 글라스로 제작한 후 구면 글라스 위에 UV 경화 포토 폴리머를 이용하여 비구면 형상을 갖도록 하이브리드 비구면 렌즈를 제작하였다. Philips는 자체 제작한 광픽업과 디스

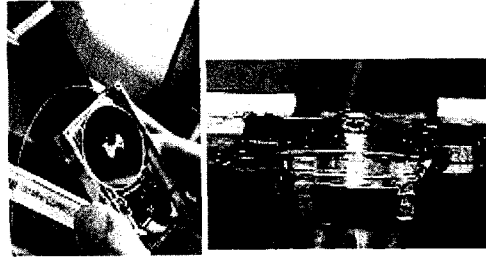


Fig. 17 SSF optical drive and optical pickup developed by philips

크를 이용하여 재생 특성 평가를 수행하였고 8.3%의 우수한 Data-to- clock 지터 결과를 측정하였다.

DataPlay사의 경우 1999년에 32mm의 직경을 갖는 디스크 단면에 250MB, 양면 500MB의 기록 용량을 갖는 DVD 물리적 포맷을 이용한 SFF ODD를 최초로 발표하였다. 드라이브와 디스크 외관 및 광학계 구성의 개략도는 Fig. 18에 나타나 있다. 드라이브 크기는 52x47.5x11mm³이며 조동 구동기로는 로타리 방식에서 사용되는 VCM을 이용한 스윙암을 사용하였으며 미동 구동기는 포커싱을 위한 자기회로를 따로 구성하였다. DataPlay사에서 제작된 일체형

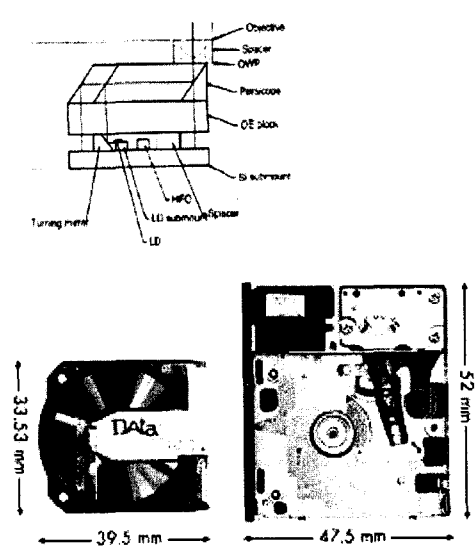


Fig. 18 SFFO media, drive and optical pickup structure developed by Dataplay

광픽업은 현재까지 상용화된 광픽업 중 가장 소형의 광픽업으로 두 개의 하부구조인 Optical Prism Assembly (OPA)라 명명된 광학계 유닛과 OPA를 지지하는 Si 지지부로 구성된다. OPA는 유한광학계를 사용하도록 구성되었으며, 대물렌즈와 스페이서, $\lambda/4$ 파장판 그리고 잠망경 형태의 빔 분할기로 구성되어 있다. 대물렌즈는 DVD의 규격을 기본으로 0.6과 0.72의 NA를 갖는 두 종류의 대물렌즈를 제작하였으며, Si으로 제작된 OPA 지지부는 반도체 공정으로 제작되었다.

7-3. SFF ODD의 최신 국내기술

앞에서 설명한 바와 같이 차세대 정보저장시스템 분야 중에서 국내 연구가 가장 활발한 분야로, 국내에서는 LG, 삼성 등의 대기업 및 ETRI, CISD 등의 연구소에서 연구가 수행되고 있다. 우선 LG의 경우 SIL 및 광자기 미디어 기술을 초소형화 하는 연구를 진행하였다. 드라이브의 전체적인 크기는 PCMCIA 카드 크기의 드라이브에 24mm 직경의 디스크에 기록 용량도 Philips사와 동일한 단면 1GB급이며 레이저는 파장 660nm의 적색을 사용하였다.

삼성의 경우, 삼성전자 및 삼성전기에서 별도로 연구를 수행하였으며, BD규격을 적용하여 405nm의 파장을 갖는 청자색 레이저 다이오드와 0.85의 개구수를 갖는 대물렌즈를 사용하였다. 삼성전기에서 개발한

SFFO 픽업은 분리형 광학계를 사용하였고, Philips 및 LG와 동일하게 대물렌즈만 별도로 구동하는 방식을 취하고 있다. 대물렌즈는 글라스 몰드를 통하여 단렌즈로 픽업의 높이를 낮추기 위하여 0.8mm의 두께로 제작되었다. Fig. 19에 LG 및 삼성전기의 SFFO 픽업 개략도를 나타내었다.

8. HDD관련 차세대 요소기술

최근의 정보화 시대에서는 HDD응용 대용량, 초소형 저장장치의 발전 방향은 크게 3 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 고용량의 저장매체로의 발전이다. 현재 3.5인치 디스크를 사용하는 HDD의 경우에는 기록용량이 500GB/in² 까지 개발되고 있으며, 2.5인치 HDD의 경우는 100GB/in² 정도까지 보급이 이루어지고 있다. 또한 MP3 플레이어나, 디지털 캠코더에 사용되고 있는 1.8인치 드라이브의 경우에는 약 50 GB/in² 까지 그 용량이 증가하고 있다. 두 번째 차세대 HDD의 발전 방향은 빠른 데이터 전송률을 성취해내는 것이다. 고용량의 정보를 빠르게 읽고 쓸 수 있게 하기 위해서 HDD의 헤드와 액츄에이터의 질량을 줄이면서 서보의 특성을 향상시키고 있으며, 자기헤드의 저항특성들도 향상을 이루고 있다. 차세대 HDD의 마지막 발전방향은 소형화를 들 수 있다. 1998년 초에 IBM에서 개발된 1인치 HDD 마이크로드라이브 이후 계속된 기술개발로 인하여 2004년에는 히타치에서 4GB의 기록용량을 가진 1인치 소형 HDD가 개발되었다. 최근에는 초소형화 0.85인치 HDD가 도시바에 의해서 개발되면서 휴대폰까지도 HDD가 탑재되는 성과를 보였다.

8-1. 슬라이더 헤드의 초소형화 기술

현재 자기기록 드라이브의 신뢰성 있는 구동은 자기 기록헤드와 기록층 사이의 간격을 어떻게 일정하게 유지시켜 줄 수 있

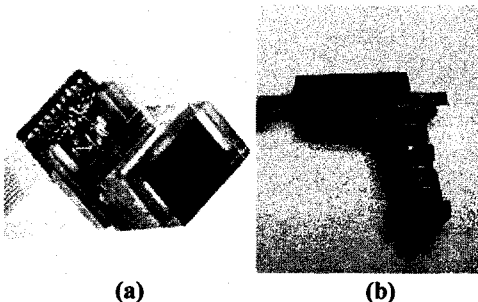


Fig. 19 SFF optical pickups developed by (a) LG and (b) Samsung Electro-mechanics

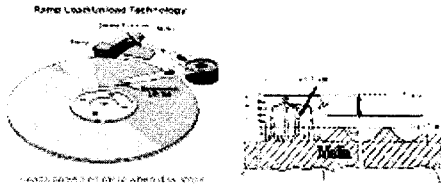


Fig. 20 HDI Technologies in HDD

느냐에 의해서 결정되어진다. 현재의 HDD 드라이브에서의 간격 제어는 초소형 슬라이더 및 빠르게 회전하는 디스크의 공기흐름에 의한 자가 압력(self-pressurized)에 의해서 정밀하게 설계된 공기베어링으로 구현되고 있다. 이러한 공기 베어링 설계와 슬라이더와 디스크 사이의 인터페이스는 슬라이더의 자기 센서와 디스크 사이의 최소 공간인 10nm까지 근접하였다. 이러한 디스크와 자기헤드 사이의 부상높이가 작아짐에 따라서 기존의 양압 헤드가 아닌 음압헤드로 공기 베어링 설계가 발전하게 되었고, 크기도 계속 소형화하여 pico 및 femto슬라이더가 주로 사용되고 있다.

이러한 슬라이더의 소형화는 면기록 밀도와 선기록 밀도를 획기적으로 증가시켜 고밀도 저장장치로의 발전을 이룩해냈다. 또한 슬라이더의 소형화는 초소형, 휴대형 저장장치에서 중요시되는 충격에 의한 특성도 향상시키고 있으며, 액츄에이터의 질량이 감소하였기 때문에 데이터 접근 속도도 크게 증가하는 장점을 보여주고 있기 때문에 차세대 HDD의 목표를 이루기 위한 필요 기술로 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 이러한 슬라이더의 소형화로 인하여 부상중의 안정한 부상특성을 유지하는 것과 디스크의 내주와 외주에서 부상높이의 변화 등에 문제를 가질 수 있기 때문에 더욱 복잡한 공기 베어링 설계가 수행하고 있다.

8-2. HDI기술

기록 밀도가 증가함에 따라서 헤드와

미디어 사이의 공간은 감소하고, 신뢰성 있게 낮은 부상높이를 유지해야 하고 낮은 정적 마찰력과 오랜 시간 내구성을 유지해야 하는 것들이 슬라이더와 디스크 사이에서 최적화되어야할 기술로서 이슈가 되고 있다. 슬라이더의 부상높이가 10nm이하로 작아짐에 따라 헤드-디스크 사이의 공간 제어 및 디자인은 수천 start/stop 사이클을 포함하여 오랜 구동에도 충분히 내구성을 가져야 하므로 더욱 정밀한 연구를 요구한다. 이것은 Fig. 20에 나타난 바와 같이 디스크의 거칠기와 표면조도를 최적화해야 하는 기술을 및 디스크와 슬라이더 사이의 매우 얇지만 충분한 기능의 보호층 코팅을 필요로 한다. 그리고 분자크기의 lubrication층을 이용하여 정적 및 동적 마찰력을 최소화 시키게 되었고, 마멸에도 강한 시스템을 구현할 수 있게 되었다.

미래에 고밀도 자기디스크 드라이브는 더욱 더 악조건에 구동할 때 더 작은 부상높이를 가져야 하기 때문에 이 부분에 대한 기술해석이 계속 필요한 실정이다.

8-3. Load/Unload 기술

일반적으로 헤드의 부상 높이가 줄어들게 되면 재생 감도는 기하급수적으로 향상되는데, 이러한 헤드와 디스크 사이의 마찰 및 부상특성을 높이기 위한 소형화 HDD에서 많이 사용되고 있는 차세대 요소기술이 Load/Unload기술이다. 이는 초기 HDD부터 사용되던 CSS 방식에 필요한 텍스처 구조가 헤드의 부상 고도를 줄이는데 큰 장애요인이 되고 있는 문제점을 극복하기 위하여 제안된 새로운 방식이다. 실제 Load/Unload방식은 기록면 전체를 유효하게 사용할 수 있기 때문에, 쉽게 용량을 늘릴 수 있고, 비동작시 충격에도 매우 강한 특징을 가지고 있어 소형 HDD에서 주류가 되고 있다. 또한 저 소비전력을 사용하고, CSS에서 발생하는 정적 마찰력이 없기 때문에 슬라이더에 내구성 또한 증가시키는 역할을 한다.

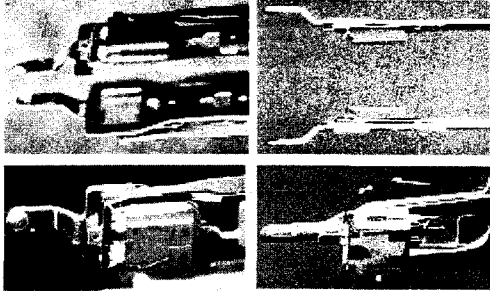


Fig. 21 HDI Technologies in HDD

일반적으로 모바일 정보저장기기에서는 작동 중에 약 1000G이상의 충격을 견뎌야 하며, 비 작동중인 경우에는 약 2000G이상의 충격방지 특성을 지녀야 하는데 이는 Load/Unload기술로 극복이 가능하다. 차세대 HDD요소기술로서 초소형 디스크의 진동에 의한 Load/Unload의 특성변화, 램프 위에서 end-tap과 램프 표면의 마찰력에 의한 속도변화 및 분진들에 의한 슬라이더와 디스크 사이의 충돌에 대한 검증까지 다양한 연구가 진행되고 있다.

Fig. 21에 나타난 바와 같이 Load/Unload 기술의 특성을 향상시키기 위한 다양한 기술들이 연구 개발되고 있으며, 특히 슬라이더와 디스크 사이의 충돌에 기인하는 슬라이더의 음압을 보상하도록 슬라이더의 한 끝 만을 잡아주는 피치(pitch) 리미터, 그리고 램프와 슬라이더의 끝단(end) 탭 사이에 마찰력을 줄이고 분진 발생을 억제하기 위한 구형 탭에 의한 점접촉을 통한 마찰력의 감소 등의 연구를 예로 들 수 있다. 이처럼 현재 Load/Unload에 대한 다양하고 폭 넓고, 깊이 있는 연구들은 국내외의 히타치 및 삼성 등에서 활발히 진행되고 있다.

9. 패턴미디어 (Patterned Media)

HDD로 대변되는 자기정보저장기기에서 데이터 저장용량의 척도를 나타내는 면기록밀도의 증가추세는 최근 년100%의 증가율을 보이고 있다. 따라서 2010년 정도에는 1Tbits/in² 정도의 면기록밀도의 차세대

HDD 시스템이 요구되고 있으나 현재 사용되고 있는 연속적인 미디어(continuous media)를 이용한 방식의 자기정보저장기술로는 한계가 있다는 것이 일반적이다. 기본적으로 면기록밀도를 증가시키기 위해서는 Table 2에 설명된 바와 같이 정보기록의 기본단위를 의미하는 bit크기가 줄어야만 한다. 현재 주로 사용 중인 연속적인 미디어를 이용하여 자기매체에서 bit크기를 일정 수준 이하로 감소시키는 경우, 작은 입자크기로 인한 열적 불안정성을 야기하는 초상자성한계 (super-paramagnetic limit)가 발생하게 된다. 이러한 한계는 150~200Gbits/in² 정도로 예측되며, 향후 2~3년 내에 그 한계에 부딪히게 될 것으로 예상된다. 이러한 초상자성 한계를 극복할 수 있는 한 가지 후보로서 patterned media에 대한 관심이 높아지고 있다.

9-1. 초상자성 효과 및 미디어 노이즈

일반적으로 자기 저장매체에서 데이터의 lifetime 은 아래 식에 의해 결정되며 10년 정도의 lifetime을 유지하기 위해 그 값이 70이상이 되어야 한다.

$$\frac{K_u V}{k_B T} > 70 \quad (1)$$

여기서 Ku는 재료에 따른 자기 이방성 정도이며 V는 bit의 부피, K는 볼츠만상수, T는 절대 온도를 의미한다. 한편 면기록밀도를 높이기 위해서 bit크기를 작게 가져가면 각각의 저장단위에 포함되는 자성입자의 체적이 줄어 식(1)의 값이 작아진다.

Table 2 HDD areal density & bit size

Year	Density (Gb/in ²)	Linear Density Track Density	Bit size (nm)
1999	20	405 kbp 50 ktpi	62.7 508.0
2000	56	678 kbp 83 ktpi	37.5 306.0
2004 (Fujitsu)	106	750 kbp 142 ktpi	33.9 178.9
2006 (SRC)	200	1180 kbp 170 ktpi	21.5 149.5
2010 (NSIC)	1000	1850 kbp 540 ktpi	13.7 47.0

Super-paramagnetic limit

이는 열에너지에 의해 자성입자의 자화 방향이 달라질 확률이 매우 높아지게 되어 결국 신호의 열화가 발생하게 되는 것이다.

초상자성 효과 외에 HDD의 면기록밀도 한계는 미디어 노이즈에도 기인한다. 현재의 자기기록 미디어는 연속적인 자성물질로 구성되어 있기 때문에 하나의 도메인에 저장된 데이터가 이웃 도메인을 침범하는 transition 노이즈, 입자들의 크기가 달라 발생하는 particulate 노이즈, 그리고 입자마다의 약간씩 다른 자화 방향에 기인하는 modulation 노이즈를 갖게 된다. 이러한 노이즈는 bit 크기가 감소함에 따라 상대적으로 그 영향이 커지게 되어 면기록밀도 증가의 한계를 나타내게 된다.

9-2. 수직자기기록 및 패턴미디어

이러한 연속적인 미디어의 한계를 극복하기 위하여 수직자기기록 (perpendicular recording) 및 패턴미디어 (patterned media) 방식이 제안되었다. 현재의 수평자기기록방식 (longitudinal recording)은 N극과 S극이 디스크의 표면과 나란히 길이방향으로 정렬되어 있는 반면에, 수직자기 기록방식에서는 극(pole)들이 디스크와 수직으로 놓이게 되어 앞에서 설명한 초상자성 효과 및 노이즈 문제를 다소 해결할 수 있다. 그러나 궁극적으로 면기록밀도를 1Tbit/in² 이상으로 향상시키기 위해서는 패턴미디어가 유리하다. 아울러 패턴미디어는 수직자기 기록방식을 채용할 수도 있다.

패턴미디어에서의 자성 기록층은 매우 균일하게 정렬된 Island array로 구성되며, 각각의 island는 개별적인 bit 정보를 기록하게 된다. Fig. 22에 나타난 바와 같이 패턴 미디어는 연속적인 자성막이 아닌 서로 공간적으로 독립되어 존재하는 자성 박막 패턴을 제작하고 각 독립된 패턴 안에는 한 개의 bit만을 저장함으로써 초상자성 효과를 근본적으로 차단하는 효과가 기대된다. 아울러 이웃 도메인과의 상호작용에 의한 노이즈도 현저히 감소하게 된다. 이러한

패턴 미디어의 기록 방식으로는 수평 자기 기록 및 수직자기기록 모두 가능하다. 실제 패턴미디어에서 피치 80nm 도트 패턴 구현 시에는 100Gbits/in², 12.5nm 도트 패턴으로는 1Tbits/in² 급의 초고밀도 HDD의 구현이 가능하다.

9-3. 패턴미디어 제작-나노몰딩/복제

나노복제 방법은 초정밀 나노몰드를 이용하여 형상을 복제하는 나노 패터닝 기술이다. 이는 반도체 리소그래피와 유사한 나노 imprinting방법 및 기존의 molding공정과 같이 패턴 뿐 아니라 substrate 자체를 복제하는 나노 molding 방법으로 구분된다. Fig. 23은 나노 imprinting기술을 이용한 패턴 미디어 제작 방법의 한 예로써 전자빔으로 제작된 나노 몰드를 이용하여 PMMA상에 자성층을 패터닝하는 기술이다. 일반적으로 이러한 나노복제 기술로 구현 가능한 패턴의 크기는 폴리머 사슬 크기인 8nm정도이다. 실제로 미네소타 대학에서는 나노 imprinting 방법을 이용하여 피치 40nm, 패

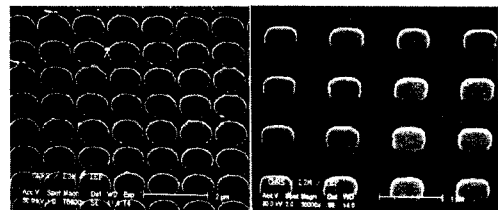


Fig. 22 Microstructures of patterned media

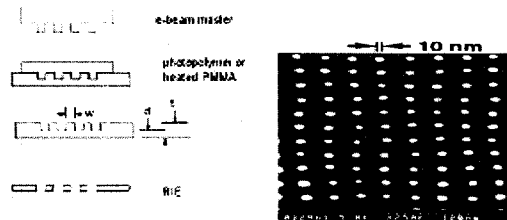


Fig. 23 Nano-imprinting for patterned media

턴크기 10nm로 면기록 밀도 250Gbit/in²를 구현하였다. 지금까지 살펴 본 바와 같이, HDD시장에서는 향후 3년 정도면 100Gbits/in² 이상의 면기록밀도를 갖는 패턴미디어 제작의 상용화가 요구되므로 나노복제 등의 제작공정에 대한 연구개발이 필요하다.

10. Hybrid Recording

초고밀도 차세대 HDD 실현을 위한 접근 방법으로 광기술과 자기기술을 융합하는 Hybrid recording기술이 관심을 받고 있다. Heat-Assisted Magnetic Recording (HAMR) 이라고도 불리는 이 기술은 앞 장에서 설명한 초상자성 효과에 의한 자기 기록막의 열화 현상을 해결하기 위하여 제안된 기술이다. 앞 장의 식 (1)에서 나타난 바와 같이 초상자성 문제를 해결하기 위한 방안으로 Ku 값이 큰 매체의 사용이 가능하다. 그러나 이러한 매체는 상온에서 보자력이 너무 커서 현재의 자기헤드를 사용할 수 없는 문제가 발생하며 이를 극복하기 위해 광자기 기록에서처럼 열 도움을 받는 것이다. 즉 레이저 빔으로 저장매체를 가열하면 매체의 보자력이 감소하여 기존의 자기헤드를 이용해서 자기기록이 가능하다. 현재 HAMR 방식의 실현을 위해서는 극복해야 할 여러 기술 장벽들이 있는데 그 중에서 가장 어려운 점은 자기장에 맞추어 미세 기록영역에만 국부적으로 열을 전달하는 방법의 개발이다. 즉, HAMR 방식은 Fig. 24에 나타난 바와 같이 헤드가 미디어에 정보를 기록하는 동안 기록층의 온도를 높여서 보자력을 순간적으로 줄여야만 한다. 따라서 실제 50nm 이하의 광스팟으로 기록층의 온도를 상승시킬 충분한 광출력을 얻는 것이 매우 어렵다. 아울러 500Mhz의 기록 속도를 얻기 위해서는 미디어의 열응답 시간이 1ns 이하가 되어야 한다. bit 크기보다 작은 광스팟을 만들기 위한근접광 광 기술도 절대적으로 필요하다.

HAMR 헤드의 실현을 위해서는 광학적, 자기적 field를 동시에 실현하고, 아울러 신호 검

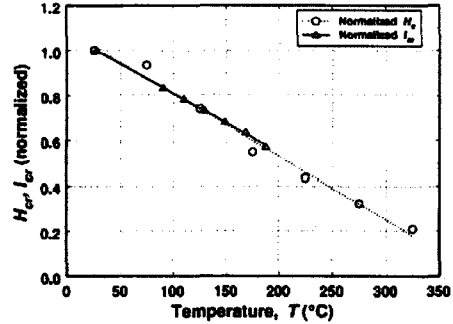


Fig. 24 The dependence of Hc on temperature

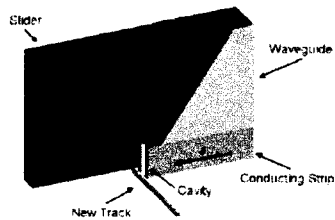


Fig. 25 HAMR head concept by CMU

출부도 포함되어야 하므로 광학/자기기술을 융합하는 것이 필요하다. 이에 관련된 다양한 연구개발 내용으로는, 효과적인 자기 헤드 설계, 새로운 저장 매체에 대한 연구, 효율적인 근접광 유도 설계 및 제작 등이 포함된다. Fig. 25에 미국 Carnegie Mellon대학에서 제안한 HAMR 기록 헤드의 개념도를 나타내었다. 실제 차세대 Hybrid기록의 실용화를 위해서는 기록 매체의 경우 온도에 따른 자기적인 특성은 물론 광학적, 열적 특성도 함께 고려되어야 하며, 헤드의 경우에는 근접광 에너지의 효율적인 생성을 위한 광학 시스템의 최적화 설계 및 제작이 요구된다.

11. 결론

현재 정보사회의 발전 속도는 우리가 상상하는 것보다 훨씬 빠르며 따라서 개인 및 기업의 막대한 정보를 처리하기 위한 정보 용량의 확대 및 이를 위한 차세대 고용량, 고성능 정보저장시스템의 기술 확보는 우리와 같은 IT

국가에서는 대단히 중요한 사항이라고 판단된다. 본 논문에서는 차세대 정보저장시스템 분야의 국내외 첨단기술을 조사하여 정리하였다. 그 내용은 간단히 요약하면, ODD분야에서는 우선 고용량화를 위한 기술로서 SIL 응용 NFR기술, 홀로그래픽 메모리, Super-RENS 등을 들 수 있다. 또한 초소형 ODD기술 및 근접장광을 이용하는 차세대 정보저장시스템 기술도 우리가 관심을 두고 연구개발해야 할 분야이다. HDD분야에서는 현재 기술의 연장선상으로는 헤드와 미디어의 간극을 줄어듦에 따라 슬라이드 소형화, Load/Unload관련 핵심 요소기술이 중요하며, 차세대 고용량화 연구로는 초상자성 문제 해결을 위한 방안으로서의 패턴미디어 및 hybrid기록 기술이 선진국을 중심으로 다양하게 연구되고 있다.

정보저장시스템 산업이 외형면에서는 반도체산업에 버금가는 대형 산업임에도 불구하고 아직 기술적 중요성이 제대로 인식되지 못하고 있다. 따라서 차세대 정보저장시스템의 첨단기술을 조기 연구 개발하여 이 분야를 향후 우리의 주력 수출 품목으로 발전시키는 노력이 필요하다. 이 분야는 기술적인 측면에서 여러 학문의 융합기술인 관계로 연구개발을 통하여 새롭게 확보되는 첨단 기술들은 초정밀제어 및 미세가공이 필요한 다른 산업분야로의 파급효과가 클 것으로 기대된다. 즉, 반도체 장비, 초미세 의료기기 및 광학기기 분야에서 정보저장기기의 초정밀 제어기술이 다양하게 활용될 수 있다. 아울러 소형화 및 고용량화 기술에는 향후 국가기술 및 경제발전에 크게 기여할 것으로 판단되는 나노기술분야와의 기술적 융합이 절대적으로 필요하므로 정보저장기기의 IT기술과 소형화 제품개발에 연관된 NT기술 분야의 동반 발전이 기대된다.

차세대 정보저장시스템 분야의 새로운 첨단기술의 개발 필요성은 현재 국내에서도 인식되어 국가 연구기관 및 일부 대학에서 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 보다 효율적인 미래 기술의 연구개발을 위해서는 국가차원의 연구개발 사업기획 및 산학연 공동

연구 노력이 필요하다. 이를 통하여 정보저장시스템 분야의 차세대 기술을 조기에 확보하여 세계기술을 선도해야 하겠다.

Acknowledgement

본 논문은 2004년도 과학기술부 해외첨단기술정보조사사업의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다. 아울러 본 논문 자료 준비에 도움을 주신 연세대학교 CISD 대학원생들에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] B. D. Terris, H. J. Mamin, D. Rugar, W. R. Studenmund, and G. S. Kino, 1994 Appl. Phys. Lett. 65, pp.388.
- [2] M. Shinoda, K. Saito, T. Kondo, T. Ishimoto, and A. Nakaoki, 2003 Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, pp.1101-1104
- [3] T. Ishimoto *et. al*, 2003, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, pp.2719-2724.
- [4] F. Zijp *et. al*, 2004, Proc. of SPIE- ODS, pp.209-223
- [5] C.A. Verschuren *et al*, 2004, Tech. Dig. ISOM, pp.64-65
- [6] K. Ueyanagi and T. Tomono, 2001, Jpn. J. Appl. Phys. 39, pp.888.
- [7] H. Barbastathis, 1996, Applied Optics, vol.35 pp.2403-2417.
- [8] C. Gu *et. al*, 1992, J. Optical Society of Amer, A.9, pp.1978-1983.
- [9] H. J. Coufal, D. Psaltis, and G. T. Sincerbos, 2000, Holographic Data Storage, Springer,
- [10] J. Tominaga, 1998, Tech. Dig. Int. Symp. Optical Memory, pp.148-149.
- [11] H. Fuji *et. al*, 2004, Jpn. J. Appl. Phys., 43, pp.4212.
- [12] T. Kikukawa, T. Fukuzawa, and T. Kobayashi, 2004, Tech. Dig. of ISOM, pp. 262-263.
- [13] E. Betzig *et. al*, 1992, Appl. Phys. Lett. 61, pp. 142.
- [14] X. Shi and L. Hesselink, 2002, Jpn. J. Appl. Phys., 41, pp.1632.

- [15] K. Goto., 2001, Tech. Dig. Int. Symp. Optical Memory, pp.234-235.
- [16] Y.-J. Kim, K. Suzuki, and K. Goto, 2001, Jpn. J. Appl. Phys., 40, pp.1783.
- [17] T. Mizuno, T. Hitosugi, N. Kojima, and K. Watanabe, 2002, Jpn. J. Appl. Phys. 41, pp.617.
- [18] J. P. Wilde, J. F. Heanue, A. A. Tselikov, and J. E. Hurst, 2001, Appl. Opt. 40, pp.691
- [19] Hayato Shimizu, 2003, IEEE. Trans. On Magnetism, Vol.39, pp.806-811.
- [20] M. Tatewaki *et. al*, 2001, IEEE Trans. On Magnetism, Vol.37, pp.842-846.
- [21] B. Liu *et. al*, 2003, IEEE Trans. On Magnetism, Vol.39 pp.909-914.
- [22] L. Dorius *et. al*, 2004, IEEE Trans. On Magnetism, Vol.40, pp.349-352.
- [23] T. Aoyama *et. al*, 2001, J. of Mag. and Mag. Mat., Vol.235, pp.174-178.
- [24] Y. Hao *et. al*, 2000, IEEE Trans. On Magnetism, Vol.36, pp.2996-2998.
- [25] S. P. Li, *et. al*, 2002, J. of Mag. and Mag. Mat., Vol.241, pp.447-452.
- [26] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and L. Kong, 1996, J. Appl. Phys., Vol.79, pp. 6101-6106.
- [27] G. M. McClelland, *et. al*, 2002, Applied Physics Letters, Vol.81, pp.1483-1485.
- [28] S. Y. Chou, 1997, Proc. of The IEEE, Vol.85, pp.652-671.
- [29] J. Lohau, A. Moser, C. T. Rettner, M. E. Best, and B. D. Terris, 2001, Appl. Phys. Lett., Vol.78, pp.990-992.
- [30] Y. Kitade, H. Komoriya, and T. Maruyama, 2004, IEEE Trans. on Magnetism, Vol.40, pp.2516-2518,