

비자기 저장 매체 연구 개발 동향

정상돈*

● 목 차 ●

1. 서 론
2. 광 디스크 저장 매체
3. 근접장 저장 매체
4. 3-차원 광 저장 매체
5. 결 론

1. 서 론

정보화 혁명의 초기에는 장기간에 걸친 역사적 자료들의 수집, 보관, 검색, 전송, 분석 그리고 표현 등에 많은 노력이 집중되었으며, 근래에 이러한 자료들에 정보 개념이 적용되어 지식 또는 정보를 기초로 하는 새로운 과학적인 연구와 업무들이 이루어지고 있다. 2000년에 전세계적으로 1018 B의 정보가 기록 매체에 저장될 것으로 평가되었으며, 해마다 60% 씩 증가될 것으로 전망되고 있다. 이 가운데 10% 정도의 정보는 자성 하드디스크에 저장되며, 나머지는 테이프, 자성 디스크, 광 디스크 그리고 종이 등 다양한 매체에 저장될 것으로 분석되고 있다[1].

많은 경우에 기존 저장 시스템의 성능 한계는 계산 시스템의 전체적인 효율성을 제한하고 있으며, 개인용 컴퓨터의 클럭 속도(1GHz/s 이상, 2000년)와 하드디스크의 저장용량(~80 GB, 2001년 IBM DLTA-307075)이 향상됨에 따라 휴대용 대용량 이차 저장 시스템에 대한 요구가 커지고 있다. 디지털 방송(HDTV), 광 인터넷 구축에 따른 VOD

(video-on-demand) 그리고 MOD(music-on-demand)와 같은 멀티미디어 서비스, 그리고 이동전화 및 PDA와 같은 휴대용 단말기의 보급은 초당 테라비트 급의 데이터 흐름을 형성하며, 보다 높은 저장용량과 고속의 액세스 및 데이터 전달 속도를 보유한 저장 시스템을 필요로 한다. 또한 SAN(storage area network), 인공위성을 통한 기상 자료, 금융, 군사, 영화 그리고 의료 등 거의 모든 분야에서 초대용량 정보 저장 시스템이 요구되고 있으며, 이러한 초대용량 저장 시스템에서 가장 중요한 것 가운데 하나는 방대한 디지털 데이터의 안정적인 장기간 보관이다.

광 디스크 저장 매체로 대표되는 다양한 비자기 기록 매체들은 자기 기록 매체와 경쟁함과 동시에 관련 기술의 발전에 의해 서로의 시장 영역을 유지 또는 확대해 가면서 잠재적 시장 점유를 위한 준비를 하고 있다. 본 문에서는 비자기 기록 매체들 가운데 광을 기초로 하는 저장 매체들을 광 디스크 저장 매체, 근접장 저장 매체, 그리고 3차원 광 저장 매체로 분류하여 각각의 연구 개발 동향에 대해 살펴보았다.

* 한국전자통신연구원 원천기술연구소 책임연구원

2. 광 디스크 저장 매체

광 디스크의 경우 광학계와 매체간의 물리적인 접촉이 없기 때문에 자기 기록 매체와 비교할 때 기록 내구성이 뛰어나고 탈착이 용이하며 먼지 등에 의한 영향을 거의 받지 않는 장점을 지니고 있다. 640 nm의 파장을 갖는 레이저가 사용되는 DVD(digital versatile disc)의 경우 양면 복층 구조가 가능하여 최대 17 GB의 기록 용량을 가지고 있다. 이러한 기록용량은 8 시간의 비디오 테이프 또는 약 4 편의 영화 그리고 26 장의 오디오 CD(compact disc)에 해당된다. DVD는 2002 년 이 후 CD, 비디오 테이프 등을 대신할 것으로 예상되고 있다. 하지만, 디지털 방송의 본격적인 운영 및 멀티미디어 서비스 그리고 전자도서관 등은 보다 높은 저장 용량을 요구하고 있기 때문에 차세대 DVD를 개발하려는 노력이 이루어지고 있다. DVD 기록 밀도를 높이기 위해서 레이저의 파장을 줄이고 디스크의 두께를 1.2 mm에서 0.3 mm 정도까지 줄여서 개구 수를 높이는 시도들이 이루어지고 있다. 480 nm 청색레이저를 사용함으로써 기록 밀도는 약 4 배 증가될 수 있다. 청색 레이저의 경우 실험실적으로 거의 완벽하게 개발되어 있지만 드라이브용으로 대량 공급이 가능한 것은 2002년 이후가 될 것으로 예상된다. 2000년 11월 Sony는 405 nm 파장의 레이저와 개구 수가 0.85인 렌즈를 이용한 UDO (ultra density optical) 기술을 발표하였다[2]. Sony는 UTO 기술을 MO (magneto-optical) 기술을 계승할 수 있는 기술로 계획하고 있으며, 2002 년 하반기에 40 GB 급 상-변환 반복기록용 디스크의 생산을 목표로 하고 있다. Hewlett-Packard는 Sony의 UDO 기술을 기초로 하는 차세대 검색 저장 시스템 구축 계획을 발표하였다[3].

Calimetrics는 고정적인 깊이를 갖는 피트(pit)를 이용하는 기존의 표준 이진법 대신에 피트의 깊이에 따라 반사 세기가 변화하는 변조 방법을 이용하

는 다중레벨 기록 기술(MRT, multiple-level recording technology)을 개발하였다[4]. MRT는 피트의 깊이를 고정시키면서 그 깊이를 조절하는 기술로서 이 기술을 통하여 저장 용량에 있어서는 약 3 배 그리고 데이터 전달 속도에 있어서는 2-3 배 정도의 향상이 가능하다. 이 기술은 기존 드라이브의 레이저나 광학부품 그리고 기계적인 변경이 필요하지 않고 단지 매체의 구조만 변경되기 때문에 다른 기술에 비하여 적은 비용으로 저장 용량을 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며, 거의 완벽한 역 호환성 능력을 보유하고 있다. 현재 Calimetrics는 2 GB의 저장 용량과 27 Mb/s의 전달속도를 갖는 CD-ROM, -R, -RW 매체와 드라이브를 공급하고 있으며, 2001년 후반부터 DVD 제품을 공급할 계획을 가지고 있다. MRT에 관한 아이디어는 1980 연대 초반에 소개되었으나 근래에까지 상용성 있는 기술로서 관심을 끌지 못하였었는데, 이는 기술 개발에 소요되는 막대한 비용 때문이었을 것으로 추측된다. Calimetrics가 개발한 가격 경쟁력 있는 매체 제작 방법에 관한 구체적인 내용은 알려져 있지 않다.

저장 용량을 높이는 또 다른 방법으로서 다층화가 시도되고 있다. 다층 광 저장 매체는 단층 광 디스크 저장 양식의 3차원적인 확장으로 시스템에 관련된 추가 비용을 최소화하면서 저장 용량을 증가시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 이 방법에서 전체적인 저장 부피 밀도는 2차원적인 저장 밀도와 층 밀도에 제한을 받으며, 층 밀도는 매체의 분해능, 픽업 렌즈의 초점 깊이, 렌즈 높낮이 제어 정확도 등에 의해 제한을 받는다. 조사되는 레이저 빔의 반사를 기초로 하는 다층 광 디스크는 필립스와 IBM에 의해 제안되고 개발이 시도되었다. 하지만 층수가 증가함에 따른 레이저 빔의 간섭, 산란 그리고 교차통화와 같은 잡음 등의 급격한 증가에 의한 반사 신호의 감소 때문에 IBM의 경우 6-층 반사형 광 디스크 개발을 포기하였다[1].

다층화를 통한 저장 용량의 향상을 위하여 반사 대신에 형광을 이용하는 방법이 시도되었다. 2000년 C3D (Constellation 3D)는 기존의 표준 적색 레이저 기술을 그대로 사용할 수 있는 형광 다층 디스크 (FMD, fluorescent multilayer disc) 기술을 발표하였다[1]. FMD의 각 층은 기존의 CD 그리고 DVD와 동일한 구조를 가지고 있으나 금속 반사 층이 없어서 전체적으로 투명하며, 반사 층 대신에 광학적으로 투명한 형광 층이 각 층에 형성되어 있다. 예를 들어 650 nm 레이저 빔이 조사될 때 형광 층은 680 nm 에서 최대 방출을 보이는 형광 빛을 방출하며, 조사된 빔과 방출된 빛을 분광학적으로 분리함으로써 기록된 데이터를 식별하는 것이 가능하다. 기록된 데이터의 식별 방법은 반사의 경우와 동일하다. 방출되는 형광 빛은 인접한 층에 기록된 데이터에 의한 간섭을 거의 받지 않기 때문에 매체와 시스템 제작에 있어서 허용 공차가 큰 장점이 있다. 층과 층 사이의 간격은 15 μm 까지 유지하는 것이 가능하며, 층 구분은 레이저의 수직 위치 제어로 이루어진다. C3D는 계산적으로 100 층의 FMD 제작이 가능하며, 청색레이저의 활용과 더불어 1 TB를 기록하는 것이 가능하다고 평가하고 있다. 첫 세대 FMD의 목표 저장 용량과 데이터 전달 속도는 각각 140 GB와 1 Gb/s 이며, 이와 같은 용량은 압축 HDTV 필름 20 시간 분량에 해당된다. FMD는 CD 그리고 DVD에 대해 역 호환성이 부족하지만 최소한의 보완을 통하여 기존의 드라이브로 FMD를 읽을 수 있게 될 것으로 C3D는 주장하고 있다. C3D는 열 탈색과 광 화학 반응을 이용한 FMD-R 그리고 광 변색 물질을 이용한 FMD-RW의 가능성을 실험적으로 확인하였다고 주장하고 있다.

게임 프로그램의 대형화와 PDA와 같은 단말기의 보급은 높은 저장 용량뿐만 아니라 고속의 데이터 전달 속도를 요구하고 있다. DVD에서와 같이 하나의 트랙에 기록된 데이터를 읽기 위해 하나의 레이저 광원이 사용되는 경우 데이터 전달 속도는

디스크의 회전 속도에 의해 제한된다. 디스크의 회전속도가 증가하면 전달 속도도 증가하지만 회전 불안정성에 의한 진동과 잡음도 같이 커지기 때문에 CD의 경우는 56 배속 그리고 DVD의 경우는 16 배속이 대략적인 한계로 여겨지고 있다. 데이터 전달 속도를 높이는 방법으로 다중 빔을 사용하는 기술이 Zen에 의해 제안되었다[5]. 다중 빔 기술은 하나의 레이저 빔을 회절 격자를 이용하여 다중 빔으로 나눈 후 동시에 여러 개의 트랙을 읽을 수 있는 기술로 현재는 7 개의 트랙을 동시에 읽는 것이 가능하다. Kenwood는 Zen과 함께 72 배속 (11 MB/s) CD-ROM 드라이브를 시판하고 있는데 이 드라이브의 회전속도는 2,700-5,100 rpm 정도이다. 다중 빔 기술을 사용하면 DVD-ROM의 경우 30 배속(30 MB/s)까지 가능할 것으로 예상된다.

3. 근접장 저장 매체

앞장에서 살펴본 광 저장 기록 밀도는 회절한계 기록 밀도인 5 Gb/in² 에 근접하고 있다. 이러한 회절한계를 극복하기 위하여 다양한 근접장 광학 기술을 광 저장에 적용되었으며 새로운 근접장 기술을 개발하려는 연구가 진행되고 있다. SIL(solid immersion lens), NSOM(near-field scanning optical microscopy) 그리고 VSAL(very small aperture laser) 등을 이용한 근접장 기술이 근접장 저장에 적용되었는데, 그 가운데 NSOM을 이용한 근접장 기록은 NSOM이 거의 고유하게 가지고 있는 저출력 문제 (10 mW 입력에 대해 ~50 nW의 출력)로 인하여 당분간 광 기록에 직접적으로 사용될 가능성이 적다고 판단된다[6]. 근접장이 유효하기 위해서는 광학 헤드와 매체가 광학계의 구경에 해당되는 거리를 유지해야 하며, 통상 그 거리는 50-150 nm로 하드 디스크의 경우와 유사하다. 근접장 기술은 초기에 주로 MO기술에 적용되었는데, 그 이유는 광학헤드와 매체간의 거리가 하드디스크와 유사하기 때문

이며 하드디스크와 마찬가지로 디스크의 탈착이 고려되지 않았기 때문이었다.

SIL을 이용한 근접장 기록 기술은 1994 년에 처음 시도되었으며[7], 가장 많이 연구되었던 기술 가운데 하나이다. TeraStor[8,9]는 1997 년 SIL을 이용한 20 GB 급 MO 디스크와 드라이브를 1999 년 10 월에 공개할 계획을 발표하였으나 기술적인 이유로 공개가 현재까지 지연되고 있다.

2000년 가을 Siros는 Lucent가 개발한 VSAL(very small aperture laser)를 이용한 근접장 저장 기술을 개발하였다[10]. 50 nm 보다 작은 구경을 갖는 VCSEL(vertical cavity surface emitting laser)을 이용하는 이 기술은 출력이 1 mW 이상으로 NSOM에 비하여 104 배 이상 높기 때문에 신호 대비 잡음의 비가 월등한 장점이 있으며, MO 디스크뿐만 아니라 상변환 물질을 이용하는 반복기록용 광 디스크에도 적용이 가능하다[11]. Siros는 VSAL의 이용을 통하여 100 Gb/in² 이상의 기록 밀도 구현이 가능하다고 주장하고 있다.

Norsam은 전자 빔을 이용하여 실리콘이나 금속 표면을 식각하여 200 GB 급의 읽기 전용 디스크의 개발 계획을 발표하였다[12]. 데이터 기록 속도는 30 MB/s 달하고 디스크마다 근접장 헤드가 장착되는데 근접장 헤드도 자체 개발 중이다. Norsam이 개발중인 디스크는 내구성이 탁월하기 때문에 매 7 년마다 교체해 주어야 하는 자성 테이프의 한계를 극복할 것으로 예상된다.

Calimetrics는 2000년 3월 Polaroid의 NEO(near-field embedded optics) 기술을 도입하여 기존 CD와 DVD에 비해 저장 용량이 각각 8 배 (5 GB) 그리고 5 배 (25 GB) 향상된 저장 매체의 개발을 발표하였다[13]. Polaroid의 NEO 기술은 광학 헤드가 매체의 표면에 근접할 필요가 없기 때문에 현재 근접장 저장 매체의 상용화에 장애가 되는 문제를 해결할 수 있는 기술로 자체 평가되고 있다.

4. 3-차원 광 저장 매체

병렬 컴퓨터의 데이터 처리 속도가 GFLOP 수준으로 향상됨에 따라 주 메모리와 프로세서간의 보다 빠른 데이터 전달 속도가 요구되고 있다. 특히, 데이터나 지식 기반 경영, 영상 처리, 그리고 문서 검색 등은 주 메모리에 적합하지 않는 큰 크기의 데이터를 처리해야 되기 때문에 보조 저장 장치로부터 입출력되어야 한다. 이 경우 보조 저장 장치의 저장 용량과 데이터 전달 속도가 모두 중요하다. 3-차원 광 저장 매체는 대용량의 저장 능력, 병렬 데이터 전달, 그리고 저렴한 비용 등으로 인하여 초대용량 보조 저장 장치에 이상적으로 적합하다 [14, 15]. 3-차원 광 저장 매체는 진폭 기록 매체와 위상 기록 매체로 구분될 수 있는데, 진폭 기록 매체와 위상 기록 매체를 이용하는 대표적인 기록 방법으로는 각각 이-광자(two-photon) 저장 기술과 홀로그래프 방법이 있다.

레이저 빔과 기록 매체를 구성하는 재료의 비선형 상호작용을 3-차원적으로 한정할 수 있는 이-광자 흡수를 기초로 하는 2-광자 3차원 광 정보 저장 기술은 1-10 TB/in³ 정도의 저장 용량이 가능한 것으로 평가되고 있으며, 영상 정보의 저장만 가능한 홀로그래프와는 다르게 비트 및 영상 단위의 기록이 모두 가능한 장점을 지니고 있다[16]. 두 개의 같은 또는 서로 다른 파장을 갖는 빔이 직교하는 영역에서만 기록과 검색이 이루어지는 이-광자 저장 기술은 다층 기록 기술의 연장으로 볼 수 있으며, 비트 간의 거리와 층간의 거리를 각각 30 μ m 와 80 μ m로 유지하면서 100층까지의 기록에 성공한 사례가 있다. 다양한 장점에도 불구하고 광 저장 매체를 구성하는 매체의 낮은 이-광자 흡수계수 값으로 인하여 정보의 기록과 재생 과정에서 고출력의 레이저가 요구되고 있으며 상용화에 있어서 가장 큰 장애 요인이 되고 있다. 이-광자 저장 매체로는 광 변색 물질 그리고 광 변색 생화학 물질 등이 있다.

홀로그래프 저장의 경우 원리적으로 관련 기술들은 거의 확립되어 있지만 정보 검색 과정에서 기록된 정보들이 흐려져서 더 이상 검색이 불가능해지는 고유한 문제가 있다. 매체를 구성하는 재료를 개선함으로써 이 문제를 해결하려는 많은 노력들이 이루어 졌으나 아직까지 성공적이지 못하고 있다. 근래에 이-광자 기술을 홀로그래프 검색에 적용되었으며, 정보가 지워지는 현상이 현저하게 지연되는 결과가 얻어졌다. 이-광자 광 굴절 매체의 개발은 홀로그래프 저장 시스템의 상용화를 앞당길 수 있을 것으로 예상되고 있으며, 1 TB의 기록 용량을 갖는 디스크 형태의 홀로그래프 저장 매체가 우선적으로 상용화 될 것으로 전망되고 있다[17].

5. 결론

이상과 같이 본 문에서는 향후 5년 이내 상용화 가능성이 예상되는 다양한 저장 매체에 관한 연구 개발 현황에 대해 살펴보았으며, 주사 탐침 기술(scanning probe technique) 및 관련 매체에 관한 내용은 생략되었다. 광 디스크 저장 기술의 경우는 단 파장 레이저의 개발 그리고 근접장 저장 기술의 경우는 광학 헤드의 개발이 관련 저장 시스템의 상업화를 앞당길 것으로 예상된다. 특히, 본문에서 살펴 본 광 저장 기술들은 거의 모두 매체들을 구성하는 재료의 결핍으로 인한 제한을 크게 받고 있으며, 따라서 효율적인 저장 매체 재료의 개발이 매우 중요하다. DVD는 기존에 DVD 포럼에 참여한 업체들이 순이익을 기록할 때까지 주요 시장을 장악할 것으로 예상되며, 그 시점은 주요 벤처기업들이 연구 개발하고 있는 DVD 차세대 광 저장 매체의 상용화 시기를 좌우할 것으로 판단된다.

참고문헌

- c-3d.net/.
- [2] www.sony.co.jp/en/SonyInfo/News/Press/200011/00-54E1/
- [3] www.hp.com/hpinfo/newsroom/press/02nov00.htm.
- [4] "Read only technology" in www.calimetrics.com/Technology/ReadOnly/readonly.html.
- [5] White paper of Zen Research in www.xenresearch.com.
- [6] E. Betzig et al., "Near-field magneto-optics and high density data storage", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 61, pp.142-144, 1992.
- [7] B. D. Terris, et al., "Near-field optical data storage using a solid immersion lens", *Appl. Phys. Lett.*, Vol 65, pp.388-390, 1994.
- [8] G. R. Knight, "Near field recording", in www.nswc.navy.mil/cosip/nov98/sugg1198-2.shtml.
- [9] www.terastor.com/tech.html.
- [10] "Near-field method to extend optical recording" in www.semiconductor.net/semiconductor/issues/issues/2000/20.../six000901et.as
- [11] A. Partovi et al., "High-power laser light source for near-field optics and its application to high-density optical data storage", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 75, pp.1515-1517, 1999.
- [12] www.norsam.com/rom.html.
- [13] "Integral near-field optics" in www.calimetrics.com/Technology/Nearfield/nearfield.html.
- [14] "3-D optical memory" in www.rl.af.mil/div/IFB/techtrans/datasheets/3DOptMem.html.
- [15] J. L. Kann et al., "Mass storage and retrieval at Rome Laboratory, USAF", in www.tradespeak.com/htmldocs/1900.html.
- [16] S. Kawata and Y. Kawata, "Three-dimensional optical data storage using photochromic materials", *Chem. Rev.*, Vol. 100, pp.1777-1788, 2000.
- [17] J. Ashley et al., "Holographic data storage",
- [1] White paper of Constellation 3D Inc. in www.

IBM. J. Res. Develop., Vol. 44, pp.341-368,

저자약력



정 상 돈

1984년 숭전대학교 화학공학과 (학사)
1986년 서울대학교 화학공학과 (석사)
1993년 서울대학교 화학공학과 (박사)
1989년-현재 한국전자통신연구원 원천기술연구소 책임연구원
관심분야: 3차원 광 기록 매체, 고분자 나노테크놀로지, 분자 공학
e-mail : jsd@ard.etri.re.kr