

# 심심기록기술을 이용한 휴대용 정보저장장치의 개발

□ 김진·이철동 / 전자부품연구원

## 서론

정보통신 서비스 시스템의 진화에 따라 초고속 통신이 가능해지고, 이에 따라 정보의 사용주체(개인, 가정, 사회, 국가)의 정보 취급량이 급증하고 있다. 개인이 취급하는 디지털 정보의 양은 정보의 형태가 문자에서 음성이나 화상으로 발전함에 따라 지난 10년 사이에 무려 100배 정도로 폭발적으로 증가했고 이러한 추세는 21세기에 들어서 더욱 가속화될 전망이다.

현재까지 정보저장장치는 HDD(하드디스크드라이브), CD, DVD 등의 자기/광 기록 저장기와 플래시 메모리 등의 반도체 기억소자를 중심으로 발전되어 왔다.

개인용 컴퓨터의 발전과 더불어 성장하여 현재 정보 저장기기의 대표주자로 손꼽히는 HDD는 자기저항헤드와 거대자기저항헤드의 등장으로 면

저장밀도 증가율이 연평균 60%에서 100%에 달하는 비약적인 발전을 이루고 있으며[1], 현재 실험실 수준에서는 56Gbits/in<sup>2</sup> 정도의 고집적도를 달성하고 있다[2]. 그러나 데이터비트의 크기가 줄어들며 따라 상온에서의 열적 요동에 의해 데이터 비트가 소실되는 초상자성 한계(약 100 Gbits/in<sup>2</sup> 부근으로 예상)라는 물리적 한계의 벽에 부딪치게 될 것이다[3]. 이러한 초상자성 한계를 극복한다 할지라도 head, HGA(Head Gimbal Assembly), arm 등으로 구성되는 기계적인 부분과 이를 정밀 제어하는 서보제어기가 점점 조밀해지는 데이터 트랙을 신속하게 액세스하고 정밀하게 트랙킹할 수 있을지는 의문이다. 또한 기록매체를 고정, 회전하는 스피들부의 회전정밀도 개선에도 한계가 있을 것이다.

CD, DVD 등 광학현상을 이용하는 정보 저장기기는 면저장밀도 면에 있어서는 HDD에 크게

못미치나, 디스크 형태로 가지고 다닐 수 있어 정보의 휴대 및 이전이 용이하다는 특성을 통해 크게 발전해 왔다. 특히 광기록 기술을 이용한 정보 저장장치의 경우는 음성 및 화상 정보 저장 및 전달체로서의 효용성을 인정받고 있다. 그러나 광기록 기술을 이용한 정보저장장치에 있어서도 빛의 회절현상으로 인해 저장밀도의 개선에는 한계가 존재한다. 최근 들어 이러한 빛의 회절현상의 한계를 극복하기 위해 NFRD(Near-Field Recording Drive)에 대한 연구가 해외의 벤처기업인 Terastor, Quinta나 국내의 LG전자 등을 중심으로 활발히 연구되어 지고 있으나 HDD의 기구형태를 그대로 이용하기 때문에 저장밀도의 획기적 증가에 대한 궁극적인 해결책을 제시하지는 못한다.

한편, 플래시 메모리의 경우는 면기록밀도 면에 있어서 광자기 기록 저장기에도 미치지 못하고 있으며 소자의 단위 용량당 가격도 고가이고 향후 가격 전망도 불투명한 상태이다.

현재는 정보의 수요가 desktop 형이 주를 이루고 있으나 대용량의 화상정보를 저장하고 자유롭게 이동할 수 있는 휴대용 저장장치에 대한 수요가 급증할 것이다. 이러한 추세에 중심에는 플래시 메모리로 대변되는 반도체 기억소자가 자리 잡고 있으나 높은 가격과 낮은 저장밀도로 인하여 HDD의 일종인 Micro Drive™와 같은 경쟁매체의 집중 공격을 받고 있다. Micro Drive™의 경우는 그동안 축적된 HDD 기술이 적용된다는 점에서 시장 진입이 용이할 수 있으나 결국 자기 기록 방식의 한계로 인하여 저장밀도의 확장성 측면(현재 1GB급 출시)에서 한계에 봉착할 수 밖에 없다. 따라서 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 개념의 저장기기의 출현은 필연적이라

고 할 수 있겠다.

해외의 선진 연구소 및 학계에서는 10여년 전부터 이러한 차세대 정보 저장기기 개발의 필요성을 인식, 여러 핵심 기술을 중심으로 기술을 제안, 연구해 오고 있다. 이 중에서 주사 탐침 현미경(SPM, Scanning Probe Microscope) 기술을 적용한 정보기록방식이 초소형 고집적 정보 저장기기로서의 개발 가능성이 가장 높은 기술로 평가를 받고 있으며, 많은 연구소 및 학계에서 연구되고 있다.

본 고에서는 주사 탐침 현미경 기술을 이용한 정보저장장치인 SDS(SPM-based Data Storage)의 기본 원리와 이에 대한 최근 연구동향을 IBM의 "Millipede" 사례[4]를 중심으로 소개하기로 하겠다.

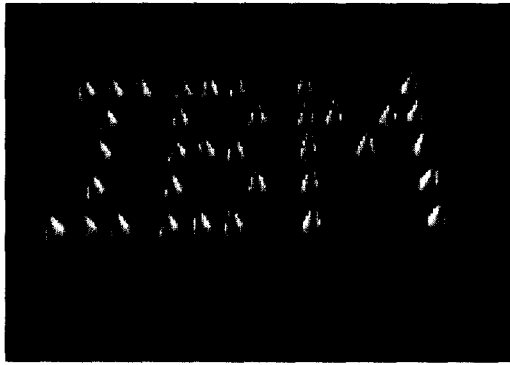
## SDS의 원리

1981년 Zurich의 IBM 연구소에서 Binnig, Rohrer 등의 연구원들에 의해 개발된 STM(Scanning Tunneling Microscope)은 날카로운 금속탐침을 시료 위에서 주사하여 원자수준의 분해능을 가지면서 표면을 관측할 수 있는 가능성을 제시하여 현미경 기술에 새장을 열었다[5]. 이는 이후에 탐침주사방식을 이용하여 여러 물리량을 측정할 수 있는 다양한 형태의 현미경으로 발전되었는데 이를 통칭하여 SPM(Scanning Probe Microscope)이라고 한다.

SPM의 기본구조는 끝이 매우 날카로운(곡률 반지름 10 nm 이하의) 팁을 가진 탐침과, 탐침이 시료 위를 주사할 수 있게 하는 스캐너, 그리고 이들을 제어하고 신호를 받아 처리하는 제어 및

정보처리시스템으로 구성된다. SPM은 STM이 최초로 발명된 1981년 이후 다양한 형태로 급속히 발전하였는데, 측정하려는 물리량에 따라 탐침이 작동하는 원리도 조금씩 다르다. 탐침과 시료 사이에 걸린 전압차로 인해 터널링되는 전류를 이용한 STM, 탐침과 시료 사이의 여러 가지 원자적 힘을 이용한 AFM(Automic Force Microscope), 시료의 자기구(magnetic domain)와 자화된 탐침간의 자기적 힘을 이용한 MFM(Magnetic Force Microscope)[6], 빛의 소산파(evanescent wave) 성질을 이용하여 가시광선 파장에 의한 해상도의 한계를 개선한 NSOM(Near-field Scanning Optical Microscope)[7], 시료와 탐침간의 정전기력을 이용한 EFM(Electrostatic Force Microscope)[8] 등의 SPM 기술이 개발되었다. 또한 시료에 따른 탐침의 종류와 제작상의 정밀도도 많은 발전이 있었다. 다양한 원리에 의해 발전한 SPM이 측정할 수 있는 물질의 특성도 단순한 표면의 굴곡수준에 머물지 않는다. SPM의 기본적인 용도인 표면의 굴곡 측정 이외에 마찰계수, 열전도성, 자기구, 전기구(ferroelectric domain), 전위차, 전기화학적 특성 등 다양한 물리적 특성의 미세한 측정이 가능하게 되었다. 또한 SPM의 작동에 필요한 환경으로서 빠른 컴퓨터와 작은 크기의 레이저, 높은 해상도의 디스플레이 등 주변기술에 대한 발전도 함께 요구되었으며 이러한 기술의 발전은 SPM의 기능에 큰 영향을 주었다.

SPM은 탐침과 시료 표면의 다양한 상호작용을 이용하여 시료 표면의 원자 구조, 전자 에너지, 전자기장 분포, 온도 분포 등의 다양한 물성을 원자 단위의 해상력으로 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 탐침을 이용하여 시료 표면에 특정한 물리적 자

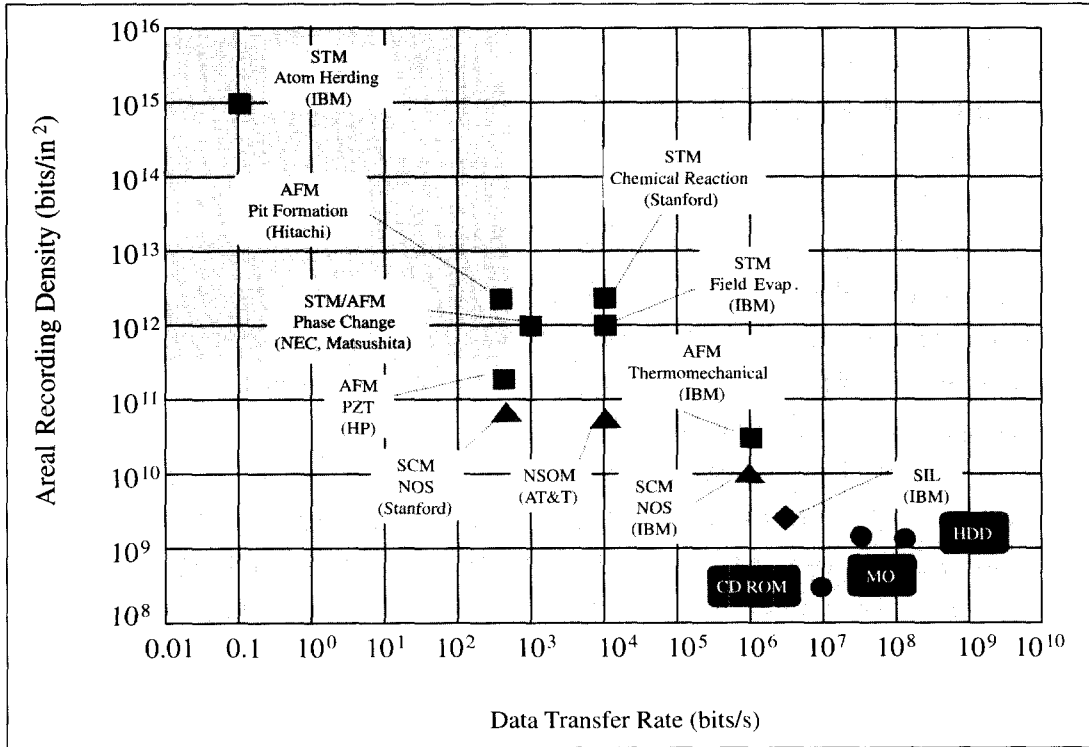


〈그림 1〉 니켈 표면 위에 제논원자를 이용하여 IBM 글자를 기록한 예

극을 가함으로써 국소적으로 표면의 물성을 변화시킬 수 있다. 이는 시료의 표면에 정보를 쓰고 읽을 수 있다는 것을 의미하고, SPM 기술이 정보저장장치로 기능할 수 있음을 보여준다.

〈그림 1〉은 1990년 IBM Zurich의 Eigler와 Schweizer가 텅스텐 탐침으로 니켈(Ni) 표면 위에서 제논(Xe) 원자를 움직여 IBM이라는 글자를 쓰고, 다시 STM을 통하여 영상화시킨 결과이다.[9] 이 실험은 초고진공( $<10^{-10}$  Torr) 상태에서 액화 헬륨을 통해 온도를 4.2 K로 유지한 후 행하여졌으며, IBM이라는 글자를 쓰는데 22시간이 걸렸다. 초고진공이 필요한 이유는 안정적인 전자 터널링을 위한 것이고, 온도를 극저온으로 유지하는 이유는 제논원자가 니켈 표면 위에서 쉽게 움직이지 못하게 하고자 하기 때문이다. 이 실험은 비록 정보저장장치를 목표로 한 것은 아니지만, STM을 이용하여  $10^6$  Gbit/in<sup>2</sup>(=1Pbit/in<sup>2</sup>) 이상의 면기록밀도가 가능함을 예시하는 중요한 실험이었다.

이 실험 이후 다양한 SPM을 이용하여 정보를 기록하고 재생하는 방식에 대해 많은 연구가 이루어져왔다.



〈그림 2〉 각종 SPM을 이용한 정보저장 기록 방식의 성능 비교[10]

특히 AFM을 이용한 방식이 많이 연구되었는데, 그 이유는 AFM은 STM과 달리 탐침과 기판 표면 사이의 반 데르 발스 힘을 이용하므로 초고진공이 아닌 대기 중에서도 안정적으로 작동될 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 그 구조가 매우 간단하다는 점이다. 일반적인 리소그래피 방식이나 보다 개선된 마이크로머시닝 기술을 이용하면 끝의 직경이 100 Å 안팎이 되는 탐침을 쉽게 제작할 수 있어, HDD와 같은 자기기록 방식에 비해서 헤드에 해당하는 탐침의 구조가 매우 간단하며, 전체 시스템의 경우도 기록매체와 탐침 구조, 탐침과 기록매체를 상대적으로 움직일 수 있는 구조물 정도가 필요하므로, 값싸고 간단하게 제작할 수 있다는 이점을 가지고 있다.

〈그림 2〉는 각종 SPM을 이용한 정보저장 기록 방식의 성능을 비교한 그림이다.

〈그림 2〉를 보면 면기록밀도가 증가함에 따라 데이터 입출력속도가 줄어드는 경향이 존재함을 알 수 있다. 면기록밀도 못지 않게 데이터 입출력 속도 또한 정보저장기기의 중요한 성능지표이므로 데이터 입출력속도를 희생하여 면기록밀도를 높이는 것은 실용적인 가치가 떨어진다. 따라서 데이터 입출력속도의 고속화는 SDS 개발에 있어서 중요한 분야이고 이를 해결하기 위하여 여러 개의 탐침을 병렬로 구동하는 방식에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 실제로 32×32 탐침 배열을 사용하는 경우 대략 1000배 이상의 속도 향상을 가져올 수 있다.

SDS의 데이터 비트 크기는 수십 나노미터 이하를 목표로 하고 있기 때문에 하드디스크드라이브와 같이 원판형의 기록 미디어를 회전시키면서 기록/재생하는 방식을 차용하는 경우 모터 스피들 부의 회전 정밀도의 한계 등으로 인하여 제대로 데이터를 기록/재생할 수 없다. 따라서 SPM에서 널리 사용되는 X-Y scanner와 같이 나노미터 이하의 위치 정밀도를 가지는 평면 주사형의 구동기를 사용하여야 한다. SPM의 경우는 시스템 전체의 크기가 소형일 필요가 없으므로 미세 변위 조절이 가능한 Piezo Tube 등을 이용하나 SDS의 경우는 시스템의 소형화를 목표로 하고 있으므로 마이크로머시닝 기술을 이용하여 초소형의 구동기를 제작할 필요가 있다.

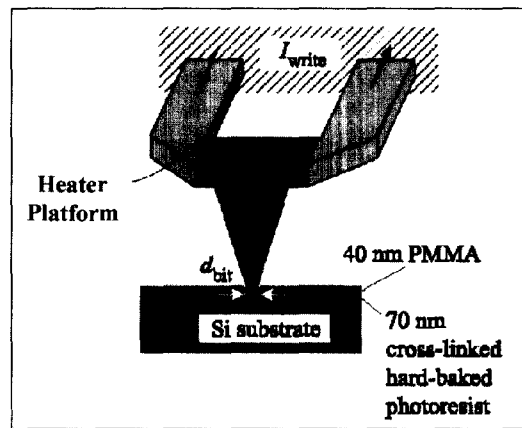
### SDS 최신 연구동향

앞서 살펴본 바와 같이 SDS를 구현하기 위해서는 크게 기록/재생원리, 탐침구조, 구동기 등 3가지 부분에 대한 연구가 종합적으로 이루어져야 한다. 수년 전까지는 주로 안정적인 기록/재생원리를 구현하는 부분에 대해서 연구가 집중되어 왔으나[11], 최근 들어서는 시스템적인 측면에서 탐침구조 어레이라든가 마이크로 구동기에 대한 연구가 상당부분 진행되고 있다.

SDS와 관련되어 제품화 관점에서 가장 앞선 연구를 수행하고 있는 기관으로는 미국의 IBM, HP 및 일본의 Hitachi 등을 들 수 있으며, 그 중 IBM의 연구활동이 가장 체계적으로 진행되어 왔고 성과 또한 뛰어나므로 이에 대해 중점적으로 소개하고자 한다.

IBM에서는 1992년부터[12] 가열된 탐침으로

시료 표면을 국소적으로 녹여 데이터 비트를 기록하는 thermomechanical 방법으로 정보저장장치를 구현하고자 노력해 왔다. 초기에는 탐침에 레이저를 쏘아 국부적으로 탐침을 가열하는 방법을 사용했으나, 이 경우 외부의 레이저가 필요하다는 점에서 시스템을 크게 만들게 되는 단점이 지적되었다. 따라서 탐침이 장착된 캔틸레버의 특정 부위(가열부)를 다른 부위에 비해 적게 도핑하여 상대적으로 저항값이 크게 만든 후 캔틸레버에 전류를 흘려 가열부가 발열함으로써 탐침을 가열하는 방식이 채택되었다[13]. 물리적으로 시료 표면(Si 기판 위의 PMMA)에 접촉하고 있는 탐침을 이러한 방식으로 약 400°C 정도까지 가열하면, PMMA(폴리머의 일종)가 녹으면서 물리적인 흠을 만들게 되고 이로써 데이터비트를 기록하게 된다. 여기에서 탐침이 견고한 Si 표면과 직접 접촉함으로써 발생할 수 있는 탐침의 마모 방지 및 열전달의 효율성 제고를 위해 데이터 기록층 바로 아래에 경화된 폴리머 얇은 층(70nm)을 두었고 데이터 비트 크기 확대를 막기 위하여 가능한 데이터 기록층을 얇게 (40nm) 만들었다[14].



〈그림 3〉 IBM의 Thermomechanical 기록 원리

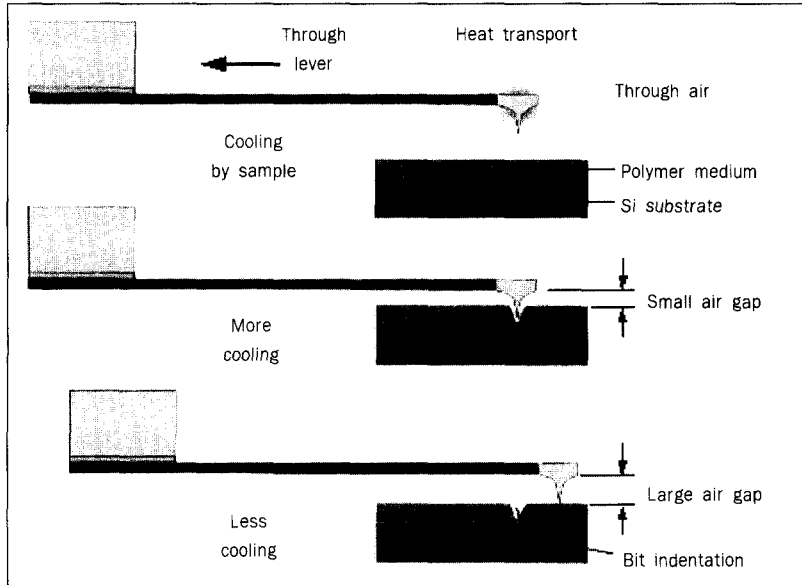
데이터를 재생하기 위해서는 열저항 변화를 이용하였는데, 이는 데이터 기록면을 주사하면서 탐침을 PMMA가 녹지 않는 약 350°C 정도로

순간적으로 가열하면, 흠이 있는 부위에서는 쉽게 냉각이 되고, 흠이 없는 부위에서는 더디게 냉각이 되는 성질을 이용한 것이다. 탐침의 온도는 열저항을 통해서

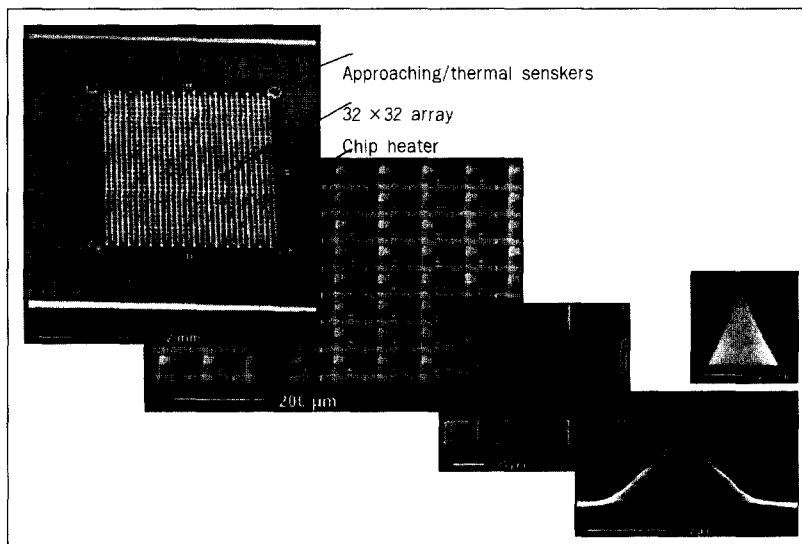
알 수 있는 바, 이러한 방식으로 데이터의 유무를 알 수 있게 된다.

이러한 방식으로 500Gbit/in<sup>2</sup> 정도의 기록밀도를 구현하였으나, 데이터 입출력속도는 20kbit/s 정도로 HDD의 수 MB/s에 비해 백배 이상으로 느린 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 IBM에서는 32 × 32 캔틸레버 어레이를 만들어 병렬적으로 기록/재생을 시도하고 있다.

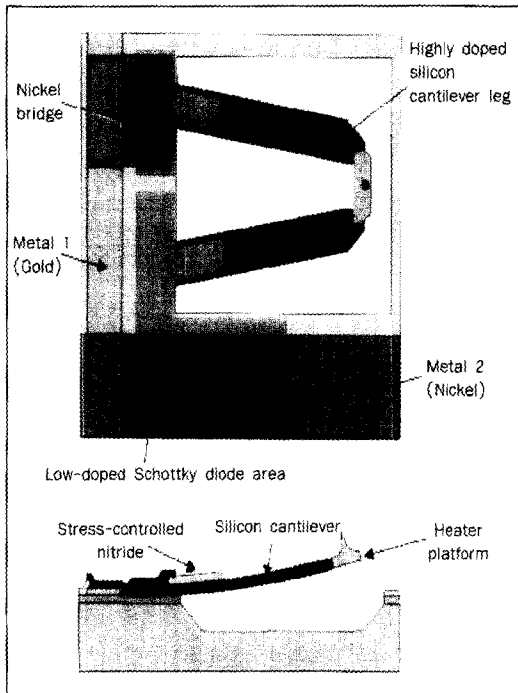
〈그림 5〉는 32 × 32 배열의 캔틸레버 어레이의 전자현미경 사진이다. 이 때 개개의 캔틸레버의 구조는 〈그림 6〉과 같은데, 캔틸레버의 다리는 두께 0.5 μm, 폭 10 μm, 길이 50 μm로 도평을 높게 하여 전기저항



〈그림 4〉 IBM의 Thermomechanical 재생 원리



〈그림 5〉 32 × 32 배열의 캔틸레버 어레이의 전자현미경 사진



〈그림 6〉 개개의 캔틸레버의 구조

에 의한 열발생을 최소화함과 동시에 낮게 도핑된 가열부에서 발생하는 열을 쉽게 전달할 수 있도록 고안되었다. 또한 지지부와 연결되는 부분에 질화막을 성장시켜 스트레스에 의해 캔틸레버가 수직방향으로 돌출되도록 하였다. 이는 캔틸레버 어레이가 기록미디어와 접촉할 때 모든 캔틸레버가 미디어와 접촉할 수 있도록 하기 위함이다. 이렇게 제작된 캔틸레버의 공명진동수는 200 kHz 정도이다. 또한 열시간상수는 1μs에 불과해 기존 열감지 방법에 비해 10배 정도 빠른 기록이 가능하다. 따라서 이 구조로는 이론적으로는 200 Mbit/s의 기록속도가 가능하다.

초기의 연구는 HDD를 대체한다는 개념으로 HDD의 구동기를 차용한 회전 디스크 형태의

SDS를 구현하기 위하여 노력하였으나, HDD의 기구적 특성을 이용하는 경우 기록밀도의 향상에 한계가 있을 것으로 지적되어, SPM의 구동원리인 평면주사형 구동기를 차용하는 방향으로 연구가 전개되었다.

일반적인 SPM의 주사형 구동기는 튜브형태의 압전물질을 사용하나, 이 경우 구동기가 차지하는 공간이 크고 히스테리시스 특성이 있어 제어가 어려우며, 변위 확보를 위해 고전압이 필요하다는 점 등으로 인해 저장장치에는 적합하지 않다. 그러나 최근 마이크로머시닝 기술의 급속한 발달로 인해 간단한 형태의 여러 가지 주사형 구동기 제작이 시도되고 있다.

구동원리는 크게 정전기력을 이용한 방식과 전자기력을 이용한 방식이 시도되고 있는데, 정전기력을 이용한 방식은 두 전극 사이에 전위차를 주어 발생하는 정전기력에 의해 이동부(moving part)가 움직이는 방식이다. 이때 작용하는 힘은 다음과 같은 식으로 주어진다.[15]

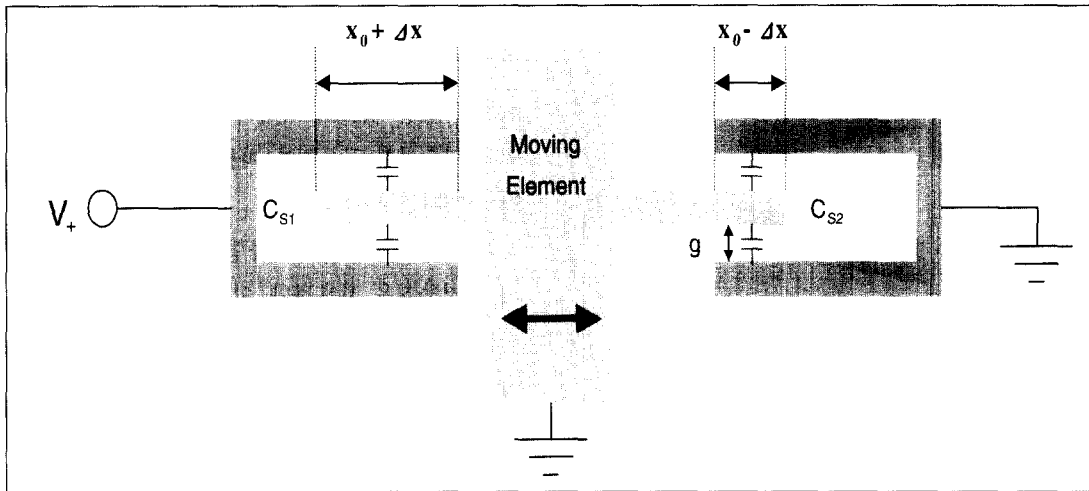
$$F = \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \frac{V_{dr}^2}{2} = \left( \frac{\epsilon N t}{2g} \right) V_{dr}^2$$

N : 전극쌍 개수

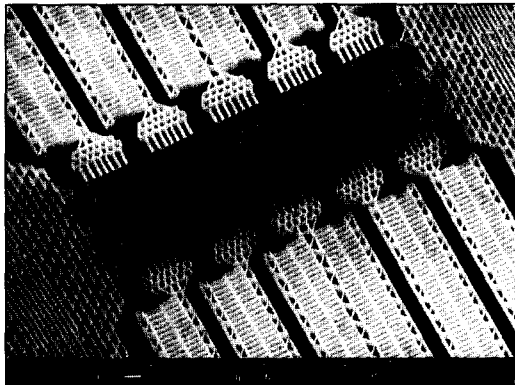
t : 전극두께

V<sub>dr</sub> : 구동전압

위 식에서 보듯이 전극의 개수가 많을수록 큰 힘이 형성된다. 따라서 원하는 힘을 충분히 내기 위해서 전극쌍을 여러 개 배열하게 되는데 그 형태가 빗살과 같다고 해서 흔히 빗살형 구동기(comb drive)라고 불린다. 빗살형 구동기는 일반적으로는 1차원 선형 구동기로 쓰이나, 미국의 Kionix사에서는 1999년 코넬 대학의 MacDonald 교수팀과 공동연구를 통하여 2차원



〈그림 7〉 빗살형 구동기의 구동 원리

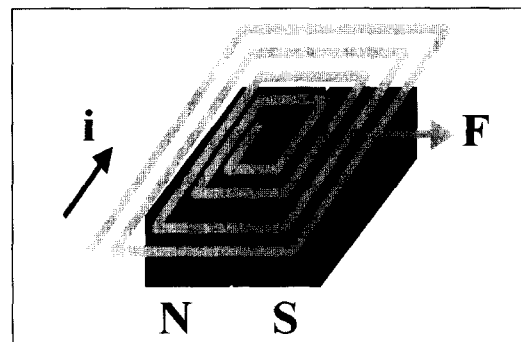


〈그림 8〉 Kionix에서 개발한 빗살형 구동기 형태의 2차원 스캐너

는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 IBM에서는 전류가 흐르는 코일이 자기장 속에 놓여 있을 때 코일에 미치는 로렌쯔힘을 이용하여 기록미디어를 움직일 수 있는 방식을 연구하였다[17] (〈그림 9〉). 〈그림 10〉은 IBM에서 고안한 전자기력을 이용한 구동기의 개념도이다. 구동기는 4개의 구동 코일이 장착되어 있는 실리콘 플랫폼으로 구성되어 있다. 실리콘 플랫폼은 실리콘 프레임에 구리 스프링으로 매달려 있고, 아래쪽에는 SmCo 영구자석이 있어, 코일에 전류

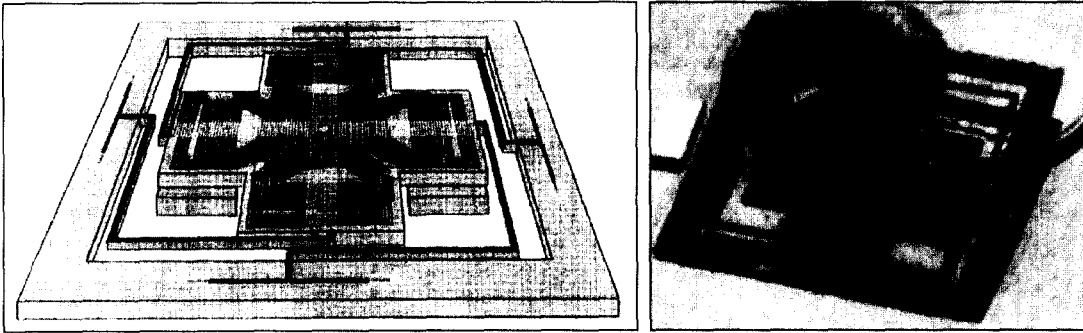
스캐너를 제작하였다.[16] 이들이 제작한 구동기는 중심부에 기록 미디어를 배치하고 이를 빗살형 구동기로 구동시키는 구조를 만들어 최대변위 30 μm(인가전압 50V), 해상도 25nm 이하를 달성하였다.

그러나 이 구조는 전체 구조에서 데이터 면적이 차지하는 영역이 작아, 기록밀도의 향상에도 불구하고 전체적인 기록용량이 적어지는 단점이 있다. 또한 대변위 구동을 위한 인가전압이 크다



〈그림 9〉 전자기력을 이용한 구동 원리





(a) IBM에서 고안한 스캐너의 개념도

(b) IBM에서 제작한 스캐너

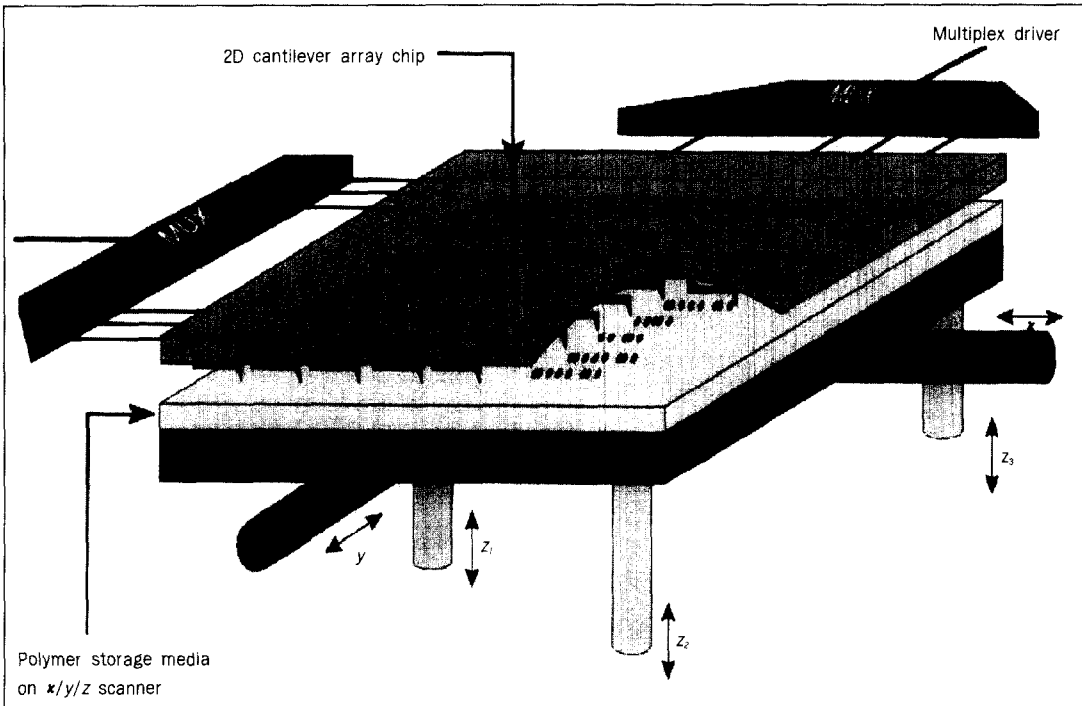
〈그림 10〉 IBM에서 고안한 전자기록을 이용한 구동기의 개념도 및 사진

를 흘리면 로렌즈힘에 의해 움직일 수 있는 구조로 되어 있다. 이 때 구리 스프링은 코일 제작시 동시에 제작되어 코일과 같은 물리적인 특성을 가지고 있다.

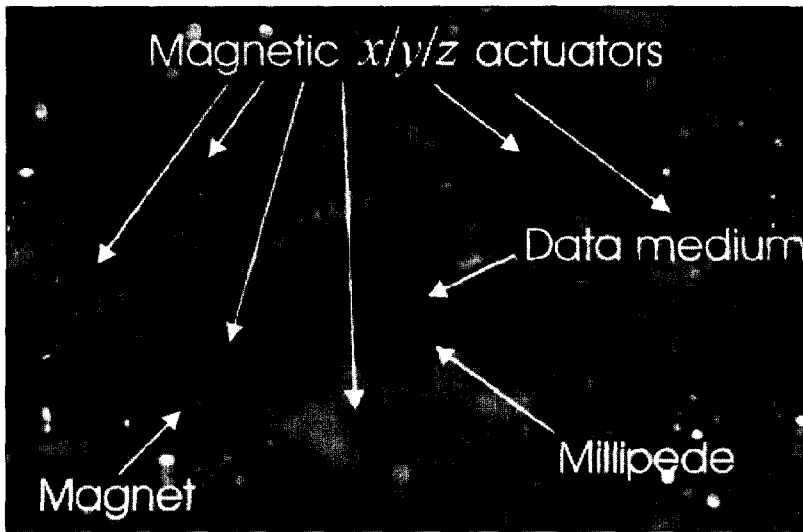
이렇게 제작된 캔틸레버 어레이와 구동기는

〈그림 11〉과 같이 하나의 칩형태로 집적화시켜 최종적인 SDS를 구현한다. 〈그림 12〉는 완성된 IBM의 Millipede의 실제 사진이다.

이렇게 제작된 Millipede를 이용하여 실제로 데이터를 기록하고 재생한 결과는 〈그림 13〉과



〈그림 11〉 IBM에서 고안한 Millipede의 개념도



〈그림 12〉 IBM에서 고안한 Millipede의 실제 사진

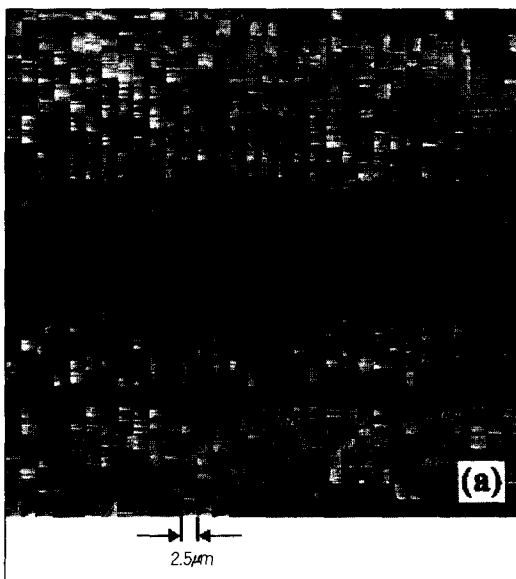
고 겹쳐 나타난 부분들이 있음을 알 수 있다. 이는 32×32 캔틸레버 어레이가 균일하게 제작되지 않은 것으로, 향후 탐침 간의 균일성 문제가 중요한 문제로 떠오르고 있음을 시사한다.

### 향후전망

이상에서 살펴 본 바와 같이 탐침기록기

술은 아직 성숙하지는 않았지만 현재의 정보저장기술들이 맞고 있는 물리적인 한계를 뛰어넘을 수 있는 유력한 대안 중의 하나이다. 또한 그 구조적인 특성상 값싸고 간결한 정보저장장치에 적용될 것으로 기대되어지고 있다. 그러나 탐침기록기술이 비록 데이터 비트 크기를 1000 Å에서 원자 수준까지 낮출 수 있다고는 하지만 실제 정보저장장치로 적용되기 위해서는 단지 데이터 비트 크기 크기를 줄이는 것만이 아니라 여러 다양한 요인들(예를 들어 신뢰성이나, 접근속도, 데이터입출력속도, 에러비율, 가격 등)을 고려되어야 할 것이다.

태동기에 있는 기술들은 현존하는 기술이 어디로 향해 가고 있는지를 항상 염두에 두어야 한다. 태동기의 기술들이 개발되는 동안 기존의 기술 역시 끊임없이 발전한다. 자기 기록 방식의 경우 이러한 발전은 놀라울 정도여서 새로운 잠재력 있는 기술들이 경쟁하기 어렵게 만들고 있다. 예를 들어, 2005년경 현재의 3.5인치 디스



〈그림 13〉 Millipede를 이용하여 실제로 기록하고 재생한 데이터 결과

같다. 각각의 사각 블록은 개개의 캔틸레버가 기록한 영역에 해당하며, 기록밀도는 대략 100~200Gbit/in<sup>2</sup> 정도가 된다고 보고되었다. 그러나 〈그림 13〉을 자세히 보면 데이터가 기록되지 않

크와 같은 크기에 100 Gbytes의 용량을 갖는 자기기록장치가 수백 달러에 팔릴 것이라고 예측되고 있다. 따라서 새로운 기술이 살아남기 위해서는 뭔가 경쟁력 있는 이점이 있어야 할 것이다.

탐침기록기술이 갖는 최대장점은 마이크로머시닝을 통해 제작되므로 가격이 쌀 것이라는 점과 간결하게 만들 수 있다는 점, 그리고 고기록밀도로 인해 크기가 작더라도 저장용량이 크다는 점이다. 이에 적절한 응용처는 휴대용 정보저장장치일 것이다.

궁극적으로 탐침기록저장장치의 미래는 기록밀도뿐만 아니라 여러 가지 요인들에 달려있다. 가격경쟁력, 시장의 수요, 경쟁기술의 발전 정도, 새

로운 응용처의 등장 등과 같은 여러 요인들은 탐침기록저장장치의 생존에 주요한 영향을 미칠 것이다. 그럼에도 불구하고 탐침기록기술에 대한 연구결과는 최종적인 상품화 여부를 떠나서 나노미터 크기 영역을 제어할 수 있다는 점에서 나노과학이나 나노리소그래피 공학적인 측면에서 유용하게 이용될 것이다. 또한 궁극적으로는 정보저장기술이 점점 나노 크기 영역으로 진행함에 따라 언젠가는 탐침기록기술의 성과를 이용해야 될 날이 반드시 올 것이다.

● 참고 문헌 ●

[1] [www.storage.ibm.com/technology/growchows/g02.htm](http://www.storage.ibm.com/technology/growchows/g02.htm).  
 [2] Fujitsu, 2000 (내부발표).  
 [3] Charap, IEEE Trans. Magn., 33, 978 (1997).  
 [4] P. Vettiger, M. Despont, U. Drechsler, U. Durig, W. Haberle, M. I. Lutwyche, H. E. Rothuizen, R. Stutz, R. Widmer and G. K. Binnig, IBM J. RES. DEVELOP., 44, 323 (2000).  
 [5] G. Binnig, H. Rohrer, C. Gerber, and E. Weibel, Phys. Rev. Lett., 50, 120 (1983).  
 [6] J. J. Sáenz, N. García, P. Grütter, E. Meyer, H. Heinzelmann, R. Wiesendanger, L. Rosenthaler, H. -R. Hidber, and H. -J. Güntherodt, J. Appl. Phys., 62, 4293 (1987).  
 [7] D. W. Pohl, W. Denk, and M. Lanz, Appl. Phys. Lett., 44, 651 (1984).  
 [8] Y. Martin, D. W. Abraham, and H. K. Wickramasinghe, Appl. Phys. Lett. 52, 1103 (1988).  
 [9] D. M. Eigler and E. K. Schweizer, Nature, 344, 524 (1990).  
 [10] Modified from [H. J. Mamin, B. D. Terris, L. S. Fan, S. Hoen, R. C. Barrext and D. Rugar, J. Res. Develop., 39, 681, (1995)].  
 [11] H. Shin, J. Lee, K. Lee, J. Jeon, K. Im, Y. Park and W. Moon, Sea Mulli, 38, 440 (1998). References are therein.  
 [12] H. J. Mamin and D. Rugar, Appl. Phys. Lett., 61, 1003 (1992).  
 [13] R. P. Ried, H. J. Mamin, B. D. Terris, L.-S. Fan, and D. Rugar, IEEE J. Microelectromech. Syst., 6, 294 (1997).  
 [14] G. Binnig, M. Despont, U. Drechsler, W. Haberle, M. Lutwyche, P. Vettiger, H. J. Mamin, B. W. Chui, and T. W. Kenny, Appl. Phys. Lett., 74, 1329, (1999).  
 [15] Gregory T. A. Kovacs, in Micromachined Transducers Sourcebook, New York : McGraw-Hill, 1998.  
 [16] [www.kionix.com](http://www.kionix.com).  
 [17] H. Rothuizen, U. Drechsler, G. Genolet, W. Haberle, M. Lutwyche, R. Stutz, R. Widmer, and P. Vettiger, Proceedings of the International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MINE 99), Rome, Italy, September 21~23, 1999.

## 필자소개



### 최영진

- 1993년 2월 : 서울대학교 물리학과 (이학사)
- 1995년 2월 : 서울대학교 물리학과 (이학석사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 물리학과 (이학박사)
- 1999년 4월 ~ 현재 : 전자부품연구원 마이크로머신 연구센터 선임연구원
- 주 관심분야 : 주사형 탐침 현미경 기술을 이용한 정보저장 장치, 나노 측정 장치
- email : choiyj@nuri.KeTi.re.kr



### 이철동

- 전자부품연구원 부품연구본부장, 충북대학교 컴퓨터공학과 박사.
- 전자기술연구소에서 디지털IC 설계, 반도체용CAD 개발, 전자통신연구원에서 반도체용CAD 개발 및 실장기술 개발을 담당하였다.
- 전자부품연구원에서 ASIC개발, ASIC교육, 시스템용 칩 개발 등을 담당하고, 현재는 부품연구본부에서 정보통신용 부품개발을 총괄하고 있다. 최근 수행중인 사업은 "전자핵심부품 및 기술개발 사업", "차세대 대용량 저장장치 기술개발사업" 등이 있다.
- email : leecd@nuri.KeTi.re.kr