

특집

탐침형 정보저장 장치 연구 동향 소개

신진국, 최영진, 서문석, 이철승, 이경일, 조진우 (전자부품연구원 나노정보에너지연구센터)

1. 서론

정보 기기의 성능 향상과 다기능화 추세로 인하여, 초소형 정보 저장 장치에 대한 시장의 요구는 크게 증대되고 있다. 그러나 이에 대응하는 각 기술들이 현재 시장의 요구와 미래 시장의 잠재적 요구에 대응할 수 있을지는 아직 미지수로 남아있다. 시장의 요구 사항은 대략 표 1과 같이 예견되고 있다. 개인용 멀티미디어 플레이어(PMP, Personal Multimedia Player)는 1.8인치 이하의 폼 팩터에 수십GB에서 백GB까지 요구하고 있으며, mp3 player도 1인치 이하의 폼 팩터에 20 GB급의 절대 용량을 요구하고 있다. 가장 수요가 많을 것으로 예상되는 hand phone의 경우 게임 콘텐츠와 VOD(Video On Demand) 수요로 인해 초소형 대용량(0.8인치 이하 크기, 10GB급 용량)의 저장 장치가

필요할 것으로 예상되고 있다.

각종 기능을 모두 통합한 개인 휴대 정보 기기의 표준 플랫폼이 모바일 폰 형태의 폼 팩터를 가질지 PMP 형태의 폼 팩터를 가질지 아니면 이들 둘이 시장을 양분하게 될지 아직은 미지수로 남아있다. 이는 디스플레이에 대한 시장적 요구와 긴밀히 맞물려 있다. 하여튼 이들 기기에 요구되는 저장장치의 폼 팩터와 절대 용량은 표 1과 같다. 현재의 기술 수준과 소비자 가격을 고려하면 시장의 요구가 기술 개발 수준보다 더 거세다는 것을 한 눈에 알 수 있다. 요약하면 개인정보단말기의 주력이 될 제품들이 공히 1인치 정도의 크기에 수십 GB에서 100GB에 이르는 절대 용량을 요구하고 있다는 것이다. 이것이 이른바 지능형 휴대기기(smart hand-held device) 시장에서의 요구 사항이다.

〈표 1〉 휴대용 기기에서 요구되는 저장 장치의 용량 및 예상 시기

PMP	MP3P	H-Phone	채용예상시기
1.8"	1.8" - 1"	0.8x"	Form Factor
30GB	10GB	4GB	2005년
50GB	15GB	8GB	2007년
100GB	20GB	20GB	2010년

이러한 시장적 요구에 부응하기 위해서 몇 가지 기술 개발이 진행되고 있으며 일부는 이미 제품으로 출시되어 있다. 마이크로 드라이브를 비롯한 초소형 하드 디스크 기술은 현재 5GB급까지 출시되었으며, 히다찌와 코니스, 중국 GS 등의 삼파전이 예상되고 있다. 현재 히다찌의 0.85인치 하드디스크에서 보다 높은 기록밀도를 구현할 여지가 남아 있어 0.85인치의 경우 올해 말 플레이트당 4GB 그리고 2010년경 플레이트당 20GB의 capacity를 달성할 수 있을 것으로 조심스럽게 점쳐지고 있다.

플래시 메모리의 경우도 선풍을 계속 줄이고 적층 패키지를 채용하여 10GB 이상의 용량을 가지는 제품을 합리적인 가격으로 출시하고자 개발 중이다. PRAM (Phase Change Random Access Memory)을 위시한 비휘발성 메모리의 경우는 아직 대용량 저장장치로서의 로드맵이 확실하지 않은 상황이나 휘발성 램에 대한 기록 보존, 저 전력 소모의 장점과 플래시에 대한 기록 속도면에서의 장점을 앞세워 메모리뿐 아니라 스토리지 시장으로 진출할 가능성이 있다. 이는 폴리머 램과 같은 저가격화가 가능할 것으로 기대되는 기술들이 계속 제시되고 있기 때문이다. 광디스크의 경우 '매체 탈착 가능'의 장점으로 인해 기확보한 DVD나 소프트 웨어 분야에서의 disposable 플랫폼으로써의 위상에 힘입어 향후의 고용량 배포형 미디어 시장을 선점하고자하는 전략으로 디스크당 1GB 정도의 용량을 가지는 1인치급의 탈착형 저장 장치를 만들기 위한 노력이 경주되고 있다. 이와 같이 각 기술들은 최대 시장으로 예상되는

smart hand-held device 시장을 노리고, 공히 1인치급 이하의 폼 팩터에 수십 GB급의 고용량을 확보하고자 경쟁하고 있는 상태이다.

이와 같이 기존 기술의 성능 향상을 통해 시장의 요구에 부응하려는 노력외에 새로운 원리에 입각한 제품을 개발하고자 하는 노력이 있다. 홀로그래피 저장장치와 근접장광 저장장치 그리고 탐침을 이용한 저장장치 등이 그것이다. 그러나 아무리 기존 기술이 문제가 있다고 하더라도, 기존 기술은 쉽게 사라지는 것이 아니기 때문에 대안기술의 선택은 매우 신중하게 이루어져야 한다. 대안기술의 선택에 있어 여러 판단기준이 있을 수 있으나 주요 판단기준으로 한국이 선도하고 있는 기술과의 호환성, 그리고 기술의 미래 발전가능성을 들 수 있다. 이러한 측면에서 탐침 저장장치는 반도체 기술과 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System)기술을 적용하고 있어 한국은 기술 인프라상의 유리한 위치를 선점하고 있다.

탐침저장장치의 탐침은 마이크로 기술(예를 들면 DRAM제조 기술에서 4M 혹은 16M DRAM 제조 기술)로 나노기술을 구현할 수 있어 기술 호환성 면에서도 우수하다. 기록 밀도 면에서도 나노미터 크기에서 원자 크기까지 가능하며, 휴대기기 응용 측면에서도 실리콘 wafer에 제작되기 때문에 소형화할수록 단가 면에서 유리한 측면이 있다. 아울러 반도체 기술을 이용하고 모터를 이용하지 않기 때문에 저전력화가 용이하다. 이렇듯 한국의 기술상황(후발주자)과 기술의 미래지향성(고밀도화, 소형화, 저렴화, 저전력화)을



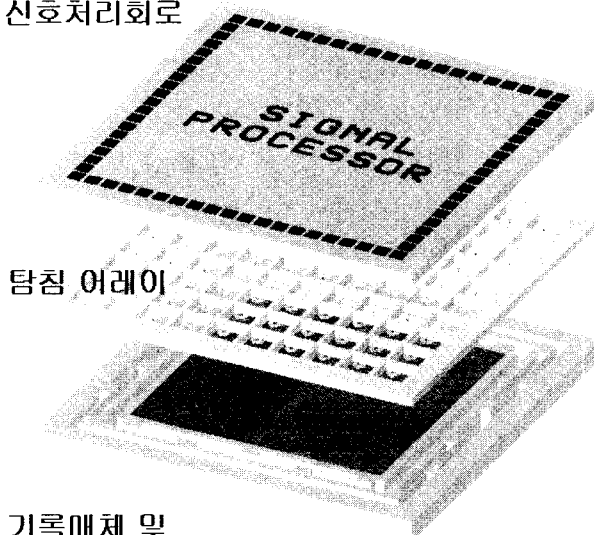
고려했을 때 탐침저장기술은 이후 산업 발전에 있어 매우 유망한 기술로 기대를 모을 수 있다. 그러면 이제 이 기술에 대해서 기술적으로 알아보자.

II. 탐침 기술을 이용한 탐침형 저장 장치 소개

탐침형 저장 장치는 그림 1처럼 매체에 정보를 기록하고, 재생하는 헤드부(탐침 어레이)와 정보 기록의 대상이 되는 기록매체부(미디어) 및 헤드와 미디어의 상대적인 위치 제어를 위한 구동부(스캐너), 그리고 헤드와 구동부에 대한 신호를 주고받는 신호처리부 등 크게 네 부분으로 설명될 수 있다. 실제로 어떻게 정보를 기록하고 재생할 것인가에 따라 헤드부의 디자인이나 기록매체의 종류가 결정되므로 헤드부와 기록매체부는 따로 떼

어서 이야기할 수는 없으나, 일반적으로 헤드부는 곡률 반경이 10nm이하의 매우 뾰족한 탐침으로 이루어져 있어, nm의 데이터를 기록하고 재생할 수 있도록 해준다. 그림에서는 이들 탐침이 이차원 배열을 이루는 배열형 탐침으로 표현되어 있는데, 이는 탐침 기록 장치의 속도 문제를 해결하기 위해서는 탐침을 이차원 배열형으로 배치하여 동시에 기록하고 재생하는 방식을 취하기 때문이다. 각 탐침은 탐침마다 기록 및 재생을 담당하는 영역이 있고, 이 영역 내에서의 이동을 그림에서 xy-stage와 같이 보이는 구동부가 담당하므로, 기록위치의 정밀도와 재연성 등은 바로 이 구동부가 담당하게 된다. 10nm 이하의 기록을 가능하게 하기 위해서는 nm급의 정밀도와 정확도를 가지는 구동기가 필요하다. 탐침형 정보저장장치에서는 모터구동 방식이 아니라, xy stage 방식이라는 점에 주목

신호처리회로



기록매체 및
스캐너

〈그림 1〉 탐침형 정보저장 장치의 구조

할 필요가 있으며, 모터부가 없어 전력과 소음 측면에서 이점을 가진다.

III. 탐침형 저장 장치의 기록 재생 기구

3-1. 개요

탐침형 정보저장장치는 기본적으로 xy-stage 구동기를 채용하므로, 구동기의 동작 주파수에 의해 데이터 입출력 속도가 크게 제한된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 탐침형 정보저장장치의 기록/재생 헤드는 수천 개의 탐침 어레이로 구성되어야 할 필요가 있다.

기록/재생 헤드의 각 탐침부는 탐침과 기록미디어 사이의 어떤 상호작용력을 이용할 것인가에 따라 구조가 결정된다. 현재 유력한 기록/재생 방식은 자기적인 상호작용력을 이용한 방식(자기기록 방식)과, 탐침을 가열하여 기록미디어에 물리적인 홈을 형성하는 방법(열기계 기록 방식), 탐침과 기록미디어를 접촉시킨 후 전류를 흘려 기록미디어의 국부적인 영역의 전기적인 특성을 변화시키는 방식(상전이 기록 방식) 등이 있다. 이외에도 탐침을 이용하여 질화막과 산화막 사이에 전하를 국부적으로 포획하는 방법이나 강유전체 박막에 탐침을 이용하여 국부적으로 전기쌍극자를 형성하여 기록하는 방법 등이 있다.

3-2. 기록/재생 기구의 요소 기술

(1) 탐침의 어레이화

탐침형 정보저장장치의 데이터 입출력 속

도를 개선하기 위해서는 탐침의 어레이화가 필수적이다. 탐침의 어레이화를 용이하게 하기 위해서는 탐침의 제작공정이 가능한 단순해야 하며, 각 탐침의 높이가 균일해야 한다. 만일 실제 구동에 필요한 탐침의 개수보다 더 많은 탐침을 어레이로 만든다면, 모든 탐침이 올바르게 작동하지 않아도 되는 여유가 생길 수 있다. 탐침 개수의 증가는 필연적으로 소자 자체의 크기를 증가시키므로, 데이터 입출력 속도 및 공정 마진 등을 고려하여 적절한 개수를 선정하여야 한다.

(2) 각 탐침의 크기 제한

탐침형 정보저장장치의 미디어 구동거리가 구동기의 성능에 제한되어 있기 때문에, 각 탐침이 차지하는 공간을 고려해서 탐침 어레이를 제작하여야 한다. 미디어의 데이터 면적을 최대한 활용하기 위해서는 구동기의 구동범위 보다 작은 크기의 탐침이 필요하다.

(3) 내마모성

일반적으로 탐침과 미디어 사이의 상호작용력은 탐침과 미디어 사이의 간격에 반비례하며, 특정 상호작용력의 경우 탐침과 미디어가 접촉해야만 발생하는 경우가 있으므로, 탐침과 미디어는 접촉하는 것이 가장 간단한 구조가 된다. 특히 각 탐침의 높이 오차는 마이크로머시닝 공정오차에 의해 제한되므로, 탐침의 높이 오차를 제거할 수 있는 유력한 방안으로서 탐침이 미디어와 접촉하는 것을 생각할 수 있다. 이 경우 탐침 또는 미디어 표면의 마모가 중요한 이슈가 된다. 따라서 탐침은 미디어 표면과 접촉했을 때 마모되지 않는 성질을 가져야 한다.

(4) 저전력 구동

탐침형 정보저장장치의 목표 시장은 휴대용 정보저장장치이므로, 저전력 구동이 필수적이다. IBM에서 연구 중인 열기계 기록/재생 방식은 기록 뿐 만 아니라 재생시에도 미디어를 가열한다는 점에서 소모전력이 많은 구조를 가진다.

(5) 고속 동작

일반적으로 탐침형 정보저장장치에서 데이터 입출력 속도는 미디어 구동기의 동작 주파수에 제한이 되지만, 탐침과 미디어 사이의 상호작용 시간이 usec 이상이 되면 이 상호작용 시간에 의해 제한이 될 수 있다. 따라서 탐침과 미디어 사이의 상호작용 시간은 짧을수록 좋다.

3-3. 국내외 연구 동향

(1) 자기 기록방식

자기기록방식의 경우 미국의 Carnegie Mellon 대학(CMU)과 네덜란드의 Twente 대학에서 주로 연구하고 있는데, CMU의 경우는 inductive 기록부와 GMR 센서를 캔틸레버 프로브에 집적하는 방식을 채택하고 있으며, Twente 대학의 경우는 캔틸레버 위에 강자성체 탐침을 형성하여 기록/재생하는 방식을 채택하고 있다.

CMU에서 개발하고 있는 기록/재생 헤드부는 자성물질로 이루어진 탐침 주변을 코일이 둘러싸고 있어 코일에 전류를 흘려주면 탐침이 monopole의 역할을 하여 데이터를 기록할 수 있도록 설계되었으며, 재생을 위해서는 yoke 형태의 GMR 센서를 장착하였

다. 이 때 기록층은 수직자화방향을 가지는 PtCo 자성박막을 사용하였고, 기록시 탐침에 강한 자속이 걸릴 수 있도록 기록층 아래에 연자성박막을 두었다. 이러한 구조는 다른 탐침형 정보저장장치의 기록/재생 헤드부에 비해 복잡한 형태를 보이며, 제작공정이 복잡한 단점을 가지고 있다. 아직 기록/재생한 결과는 보고 되고 있지 않지만, 모델링 결과에 따르면 최소 250Gbit/in² 수준의 기록밀도와 구동기의 물리적인 한계를 고려하지 않는다면 단일 탐침으로 1Gbit/sec 수준의 데이터 입출력 속도를 가질 수 있다고 발표하였다¹¹⁾.

Twente 대학에서는 magnetic force microscopy(MFM)에 기반한 형태의 자기기록 방식을 채택하고 있는데, 이는 강자성 탐침을 patterned media에 접촉시켜 기록매체의 자화방향을 바꿔주어 정보를 기록하고, 재생시에는 기록매체와 탐침 사이의 자기력에 의해 캔틸레버의 휘어지는 정도를 측정함으로써 데이터를 판독하는 방식이다. 이 경우 2진법의 데이터를 기록하기 위해서는 탐침의 자화 방향이 up/down 두 가지가 모두 가능해야 하며, 외부 자극에 의해 탐침의 자화방향이 바뀌는 개념이 도입되어야 하나, 실제 디바이스로의 구현이 어렵다. 또한 정보를 재생할 때는 탐침과 미디어 사이의 간격을 일정하게 유지해야 하기 한다는 어려움을 가지고 있다. 이 문제를 해결하기 위해 MR 센서가 집적화된 탐침을 제작하여 미디어와 접촉된 상태에서 미디어의 자화방향에 따라 변하는 MR 신호로써 정보를 재생하는 방법을 고안하고 있다. 그러나 이 경우에도 역시 up/down 두 가지 방향의 정보를 기록

할 수 있는 기록헤드의 제작이 어렵다는 점은 공통적으로 가지고 있다. 이러한 문제로 인해 Twente 대학의 방식 역시 아직 기록/재생한 결과는 보고되고 있지 않다.

(2) 열기계 기록방식

탐침형 정보저장장치에 가장 현실화된 기록/재생 방식으로 IBM에서 다년간 연구하고 있는 열기계 기록방식(thermomechanical recording)을 꼽을 수 있다²⁾. 이 방식은 날카로운 탐침을 이용하여 얇은 폴리머 박막에 nm 크기의 물리적인 홈을 내는 방식으로, 홈을 내기 위하여 탐침을 폴리머 막에 대고 누르면서 동시에 열을 가한다. 이 때 홈의 크기는 인가된 힘과 열의 크기에 의존하며, 폴리머 미디어는 주로 PMMA를 사용한다.

기록을 위한 히터는 캔틸레버의 다른 부위에 비해 적게 도핑하여 상대적으로 저항값을 크게 만들어 제작하였다. 이렇게 만들어진 캔틸레버에 전류를 흘려 탐침부를 약 400℃ 정도까지 가열하면서 탐침을 기록미디어인 PMMA에 접촉시키면, PMMA가 국부적으로 녹으면서 물리적인 홈을 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(60~80nm)을 두었고, 데이터 비트 크기 확대를 막기 위하여 가능한 데이터 기록층을 얇게(20~50nm) 만들었다.

이러한 방식으로 IBM에서는 단일 탐침으로 40nm 정도의 bit size, 즉 400Gbit/in² 정도의 기록밀도의 가능성을 발표하였고 최근에

는 1Tbit/in² 정도까지 단일 탐침 실험을 통해 입증한 바 있다. 또한, 단일 탐침으로 37nm 정도의 bit size, 즉 641Gbit/in² 정도의 기록밀도에서 raw BER(bit error rate)이 10⁻⁴ 수준을 보고하였다.

정보의 재생을 위해서는 IBM에서 꾸준히 연구해오고 있는 열변위 감지센서 방식과 최근 국내 기업인 LG전자에서 개발한 압전센서 방식이 유력하다. IBM의 열변위 감지센서 방식은 열기계 기록을 위한 캔틸레버 제작공정에서 동시에 센서 제작이 가능하다는 점에서 가장 간단히 제작되어질 수 있다. 열변위 감지 센서는 데이터 기록면을 주사하면서 탐침을 PMMA가 녹지 않는 약 300℃ 정도로 순간적으로 가열하면, 홈이 있는 부위에서는 쉽게 냉각이 되고, 홈이 없는 부위에서는 더디게 냉각이 되는 성질을 이용한 것으로, 탐침의 온도는 열저항을 통해서 알 수 있는 바, 이러한 방식으로 데이터의 유무를 알 수 있게 된다. 이 열변위 감지 센서의 감도는 1nm당 10⁻⁵ 정도이며, 열응답 속도는 usec 수준으로 단일 탐침으로는 100kbit/sec 정도의 데이터 입출력 속도를 가진다.

국내 기업인 LG전자에서는 같은 열기록 방식을 쓰면서 데이터를 재생하는 방식으로 압전센서를 개발하였다. 이는 압전체인 PZT 박막을 캔틸레버 위에 도포하여, 캔틸레버가 데이터를 읽을 때 캔틸레버의 힘을 전기적인 신호로 바꾸어 준다. 이 방식은 열감지 센서 방식과는 달리 정보를 재생할 때 추가적인 외부 전원이 필요 없기 때문에 소모전력 면에서 열감지 센서 보다 우수하며, 응답속도가 매우 빨라 데이터 입출력 속도는 순전히 기계적 구동부의 응답 속도에만 의존한다³⁾.

(3) 상전이 기록방식

상전이 물질을 이용한 기록 방식은 상전이 광기록 방식과 유사하게 상전이 물질이 지정 질 상태에 있을 때와 결정질 상태에 있을 때의 물리적 특성의 차이를 이용한 것으로, 광기록 방식에서는 빛의 반사도 차이를 이용하나 탐침형 정보저장장치에서는 전기저항의 차이를 이용한다. 10nm 두께의 GeSbTe 박막 위에 도전성을 가지는 탐침을 접촉시킨 후 전압펄스를 인가하여 데이터를 기록하고, 재생한 결과 대략 20nm 이하의 데이터 비트가 형성할 수 있었다.

그러나 탐침을 단단한 상전이 박막에 직접 접촉시키는 경우, 탐침의 마모나 신호의 재현성 등이 문제가 되기 때문에 적절한 보호 박막에 대한 연구가 필수적이다. 보호막을 생각하지 않는다면 미국의 HP사에서 시도하고 있는 ARS(Atomic Resolution Storage) 방식이 적절할 수 있다¹⁴⁾. 이 방식은 탐침과 기록막을 접촉시키지 않고 탐침으로부터 전계 방출되는 전자를 이용하여 정보를 기록하는 방식이다. 재생을 위해서는 EBIC(전자빔 유도 전류)라는 현상을 이용하는데, 이는 전자빔이 결정화된 데이터 비트에 조사될 때 기록매체의 표면과 기저 사이에 큰 전류가 흐르는 현상을 이용하는 것이다. 이 때 결정화된 부분과 비정질인 부분과의 전류 차이는 14배에 달하며, 단일 탐침을 사용하는 경우 재생 신호의 밴드는 550kHz 정도로 보고되었다. 그러나 이 방식의 경우 전자빔의 안정도가 가장 큰 이슈가 되고 있다.

IV. 탐침형 저장 장치의 구동기 기술

4-1. 개요

탐침형 정보저장장치는 기록/판독 속도의 향상을 위해 이차원적으로 배열된 수천~수만개의 탐침들이 함께 작동하므로 자기 디스크나 광학식 디스크와 달리 회전형 구동 장치를 사용하기에 적절하지 않다. 따라서 한 탐침에 할당된 기록 영역을 주사하기 위해서는 기본적으로 이차원 구동기가 필요한데 이에 요구되는 사양은 먼저 기본적인 주사 성능으로 탐침 영역에 해당하는 구동 변위 및 위치 정밀도, 짧은 접근 시간(access time) 등이며 주 공략 목표인 휴대용 정보통신기기에서 요구되는 온도변화, 진동이나 충격 등 외부 환경 변화에 대한 신뢰성과 제품 경쟁력을 위한 낮은 전력 소모 및 작은 크기, 낮은 가격 등이 있다.

또한 현재까지 발표된 정보저장장치용 구동기가 대부분 그러하듯이 탐침부는 고정자에, 기록 매체는 구동기에 결합되어 있는 형태에서는 기록 매체와의 결합성이 중요한 요소가 된다. 단위 기록 비트(bit)가 매우 작은 크기를 가지므로 열팽창으로 인한 위치 편차를 줄이기 위해서는 실리콘 탐침 배열과 가급적 열팽창 계수가 비슷한 소재를 사용하여 기록 매체부를 구성하는 것이 유리하며 기록 매체와 구동기를 일체화하는 것이 제조 공정을 단순화시킬 수 있다. 따라서 구동기의 소재로 가공성이 좋은 실리콘이 가장 유리하며 초미세가공기술을 사용하여 여러 가지 형태의 구동기가 연구되고 있다.

4-2. 구동기의 요소 기술

(1) 구동기 최적화

탐침형 정보저장장치의 구동기의 1차적인 목적은 탐침 배열의 각 탐침에 할당된 영역을 주사하는 것이다. 탐침 하나에 할당된 영역은 일반적인 이차원 구조에서는 탐침 자체의 크기보다 넓을 수밖에 없으므로 탐침의 크기를 줄인다면 구동기의 부담을 줄일 수 있으나 이는 탐침 자체의 성능 및 배열의 신호처리를 고려해 크기를 결정해야 한다. IBM¹⁵⁾의 경우 약 0.1 x 0.1 mm² 정도의 영역이 한 탐침에 할당되어 있으므로 그에 해당하는 구동기는 각 축당 0.1 mm 이상을 주사할 수 있어야 한다.

또한 수 nm 이하의 정밀도가 요구되므로 변위 특성은 가급적 선형적이거나 입력 신호에 대해 단조증가 특성을 갖는 것이 제어에 편리하다. 그러나 요구되는 정밀도가 매우 높으므로(최대 변위 대비 0.01% 이하) 피드백 제어를 위한 정밀한 위치 센서가 하나 혹은 여러 단계로 필요하다.

한편 정보 장치 기록/판독 속도는 단위 탐침의 성능과 구동기의 주사 속도, 그리고 프로브 어레이의 신호 처리 속도에 의해 결정되는데 N x N 탐침 배열의 경우 구동기만을 고려한다면 기록 속도는 다음 식 (1)과 같이 결정된다.

$$\text{data speed} = N \times N \times \text{scan length} / \text{bit pitch} \times \text{주사 주파수} \quad \text{식 (1)}$$

예를 들어 64 x 64 탐침 배열의 경우 1 Tbit/in² 정도의 기록 밀도를 가정할 때 10Hz

정도의 주사 주파수에서 약 200Mbit/s 이상의 속도를 얻을 수 있으며 현재 초소형 하드 디스크가 약 10ms 전후의 접근 시간을 보이고 있으므로 기록 속도와 접근 시간을 고려해볼 때 구동기의 공진 주파수는 대략 100Hz 이상이 되어야 함을 알 수 있다. 높은 공진 주파수를 위해서는 구조물의 질량 대비 스프링상수 값이 낮아야 하는데 이는 진동자의 질량을 줄이거나 스프링 상수를 높힘으로써 달성할 수 있다. 그러나 단순히 스프링 상수를 높이면 요구되는 변위를 달성하기 필요 구동력이 증가하고 이는 전력 소모의 증가로 이어지므로 기록 면적을 유지한 채 질량을 줄이고 구동력을 높힐 수 있는 효율적인 설계가 필요하다.

(2) 내진동, 내충격

일반적으로 휴대용 기기에서는 1G(5~500 Hz) 이상의 내진동 특성과 수천 G 이상의 내충격 특성을 요구한다. 탐침형 정보저장장치용 구동기는 회전 운동이 아닌 XY 이차원 구동을 하므로 외부 진동/충격에 매우 민감할 수 밖에 없다. 따라서 외부 진동 영향을 가급적 줄여 피드백 제어의 부담을 줄여야 하며 공진 주파수가 위 대역에 포함될 경우는 적절한 감쇄 구조가 덧붙여져야 한다. 또한 실리콘 단결정 기판을 사용할 경우 외부에서 충격이 가해질 때 구조에 따라 응력 집중으로 인해 파손될 수 있으므로 응력을 적절히 분산시킬 수 있는 능동형 혹은 수동형 구조로 제작되어야 한다.

(3) 기록 매체 집적화

구동기의 핵심적인 역할인 기록 매체의 안

정적인 이송을 위해서는 기록 매체가 XY구동기와 일체화되는 것이 유리하다. 기록 매체가 형성된 별도의 기판을 구동기에 조립하는 경우 진동자의 질량을 줄이기 위해 가급적 얇은 기판이 선호되나 이는 일반 생산 장비에 적용하기 어려우며 또한 접합에서 발생할 수 있는 여러가지 불량 및 감도 저하 가능성이 있다.

구동기에 기록 매체를 직접 형성하는 경우는 기록 매체 형성 중의 구동기 열화나 이후 추가 공정에서 매체의 열화가 없어야 하므로 공정 순서에 따른 호환성을 고려해야만 한다.

4-3. 국내외 연구 동향

(1) IBM Millipede

IBM의 밀리피드(Millipede)의 경우 초기 진동자에 도금 공정으로 제작된 평면형 나선 코일을 배치하고 고정자에 영구자석을 배치하는 X/Y/Z 구동기^[6]에서 최근 자석을 진동자에 배치하고 솔레노이드형 코일을 고정자에 배치한 형태^[6]로 변화하였다. 이 구동기는 제작 공정이 매우 단순하며 SD 메모리 카드

에 적용할 수 있는 전체 크기 16.5 x 17.5 x 0.8mm³에 6.8 x 6.8mm²의 기록 면적을 가지고 있어 약 1Tbit/in²의 기록 밀도에서 약 8GB의 용량을 가질 수 있도록 되어 있다. 실리콘 기판을 식각하여 진동자를 제작한 뒤 코일이 고정되어 있는 하부 기판과 접합한 형태이며 약 75mA 구동 시 60 μ m 변위를 보이고 공진 주파수는 124Hz 이다. 주목할만한 점은 X/Y 축 방향으로 보상 질량 구조를 도입하고 큰 중횡비를 갖는 스프링을 사용하여 Z축 방향의 강성을 높혀 각 방향에 대한 진동 영향을 크게 줄인 점이다. 위치 제어는 프로브 어레이에 형성되어 있는 저항형 온도 센서가 진동자의 위치 변화에 따른 열전도를 변화를 감지하여 1차 피드백 제어를 하며 탐침 배열의 일부를 제어용으로 할당해 미세 제어에 사용하도록 되어 있다. 전력 소모도 수십 mW 정도로 미만으로 전반적으로 볼 때 휴대용 기기에 적용될 수 있는 탐침형 정보 저장장치용 구동기의 가능성을 가장 잘 보여줬다고 할 수 있다. 물론 아직 용량 등 여러 해결되어야 할 점들이 있으나 점차 개선 가능할 것으로 보인다.

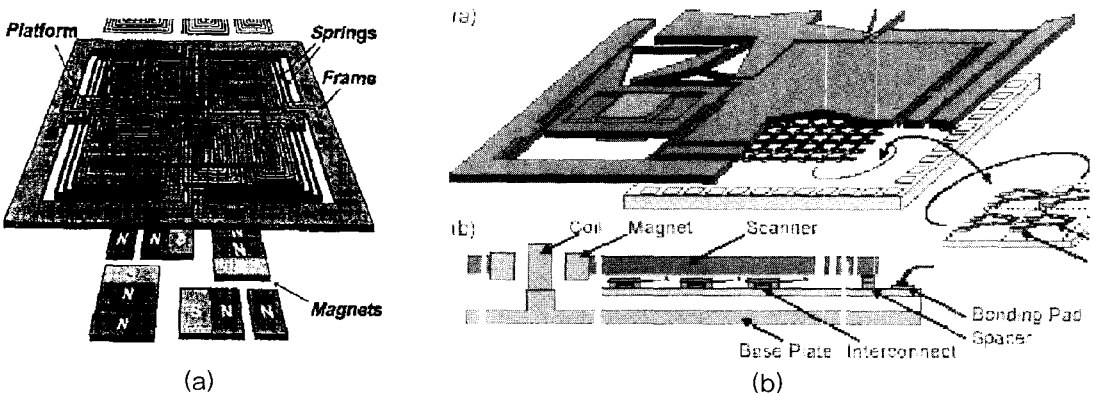


그림 2. IBM Millipede용 구동기 (a) 초기 형태^[6] (b) 최근 형태^[6]

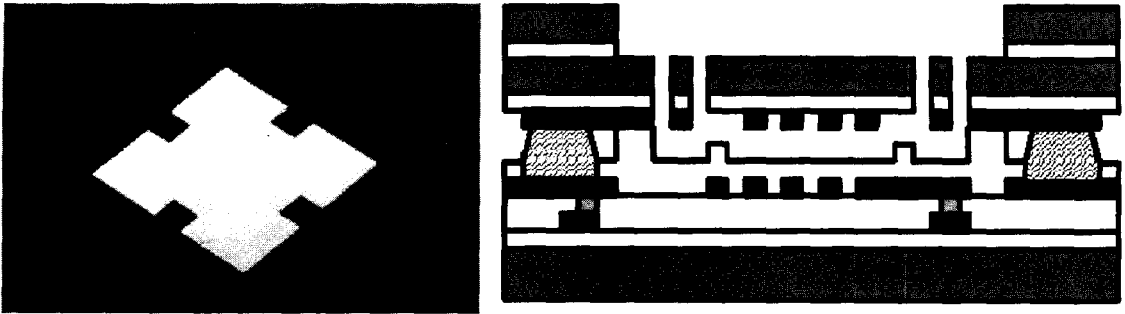


그림 3. Agilent의 정전기력 구동기

(2) Agilent

구동 방향 상으로 전극을 배치하는 일반적인 정전기력형 구동기와 달리 그림 2와 같이 상하부 기판에 각각 전극 배열을 형성하고 접합한 후 전압에 의한 정전기력을 이용해 기판에 평행한 방향의 변위를 얻는 방식의 구동기가 발표되었다¹¹⁾. 진동자의 면적은 약 $1.2 \times 1.2\text{mm}^2$ 정도이며 18V에서 $\pm 25\mu\text{m}$ 의 변위를 얻고 공진주파수는 127Hz 이다. 공정이 복잡하나 별도의 조립 공정 없이 일괄 공정으로 제작되며 자석을 사용하지 않기 때문에 후공정의 허용 온도가 높은 장점이 있으나 탐침형 정보저장장치에 사용되기 위해서는 크기나 제어 특성 등에서 많은 개선이 요구된다.

(3) 기타

미국 카네기메론 대학에서는 콤팩트 드라이브를 사용한 정전기력형 구동기를 발표하였는데¹²⁾ 실제 제작된 샘플에 대한 결과는 없었으나 기록매체부의 두께를 $20\mu\text{m}$ 로 줄여 질량을 줄인 결과 1kHz이상의 공진 주파수를 갖도록 하여 접근 시간을 1ms 정도로 줄일 수 있음을 보여주었다.

또 국내에서는 삼성종합기술원¹³⁾과 전자부품연구원¹⁴⁾에서 IBM 초기 구동기와 유사한 형태의 전자기형 XY 구동기를 발표하였고 서울대에서 정전기력을 이용한 구동기를 발표하였으나¹⁵⁾ 기본적인 변위 및 공진 주파수 특성을 보여준 상태로 구동 성능이나 신뢰성 면에서 많은 개선이 요구되고 있다.

V. 탐침형 저장 장치의 신호처리부

초기에는 개개의 캔틸레버를 동작시키는 전자회로를 집적화하는 것이 어려워서 한 줄씩 시간 분할로 구동하는 방식을 채택하였으나, 이 경우 동시에 작동할 수 있는 캔틸레버의 갯수는 한 줄에 국한된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 IBM에서는 최근에 “Device Transfer Method”를 고안하였는데, 이 방식은 CMOS 회로를 캔틸레버 구조와 완전히 분리하여 제작한 후 접합하는 방식으로 궁극적으로는 개개의 캔틸레버를 작동할 수 있도록 제작이 가능하다¹²⁾.

시스템 제어를 위해서는 서보시스템이 필수적이다. 서보시스템은 탐침이 임의의 위치에서 데이터를 기록/재생하고자 하는 데이터



영역을 찾아가는데 필요하며, 또한 기록/재생시 탐침이 데이터 트랙에서 벗어나는 것을 방지하기 위해 필요하다. Comb 드라이브 형태의 구동기를 사용하는 경우 전극자체에서 구동기의 위치변화를 감지할 수 있기 때문에 되먹임회로를 이용하면 별도의 서보마크가 필요하지 않지만, 전자기력을 이용한 구동기를 사용하는 경우는 따로 서보마크 영역을 두어야 한다. IBM에서는 최근 위치오류 신호를 감지하고 이를 되먹임회로로 제어할 수 있는 서보마크에 대한 연구결과를 보고하였으며, 이에 따르면 전체 데이터 영역의 5% 정도를 서보마크에 할당함으로써 탐침형 정보저장장치의 서보 기능을 원활히 수행할 수 있다고 한다¹³⁾.

참고문헌

- [1] L. R. Carley et al., "Single-chip computers with microelectromechanical systems-based magnetic memory", J. of Appl. Phys., 87, 6680-6685, 2000
- [2] P. Vettiger et al., IEEE Trans. Nanotech. 2002, 1, 39-55, 2002
- [3] C. S. Lee, W. H. Jin, H. J. Nam, S. M. Cho, Y. S. Kun, J. U. Bu, Proc. 16th Ann. Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems, IEEE, 28-32, 2003
- [4] S. Neberhuis, "Probe-based recording technology", J. Mag. Magn. Mat., 249, 447-45, 2002
- [5] H. Rothuizen, U. Drechsler, G. Genolet, W. Haberle, M. Lutwyche, R. Stutz, R. Widmer, P. Vettiger, "Fabrication of a Micromachined Magnetic X/Y/Z Scanner for Parallel Scanning Probe Applications", Microelectron. Eng. 53, pp. 509-512, 2000
- [6] A. Pantazi, M. A. Lantz, G. Cherubini, H. Pozidis and E. Eleftheriou, "A servomechanism for a micro-electro-mechanical-system-based scanning-probe data storage device", Nanotechnology 15, S612-S621, 2004
- [7] S. Hoen, Q. Bai, J. A. Harley, D. A. Horsley, F. Matta, T. Verhoeven, J. Williams, and K. R. Williams, "A high-performance dipole surface drive for large travel and force", Transducers, Boston, USA, June, 2003
- [8] J. F. Alfaro and G. K. Fedder, "Actuation for Probe-based Mass Data Storage", MSM, 2002[4] Actuation
- [9] J. J. Choi, et al., "Electromagnetic micro x-y stage with very thick Cu coil for probe-based mass data storage device", J. Semiconductor Technol. Sci. 1, 84, 2001
- [10] 조진우, 이경일, 김성현, 최영진, "실리콘 공정 및 동 도금 기술을 이용한 탐침형 정보저장장치의 전자기력 미디어 구동기 제작", 대한전기학회 논문집 53C-4-7, 2004
- [11] C. Kim, H. Jeong, J. Jeon, Y. Kim, "Silicon Micro XY-Stage With a Large Area Shuttle and No-Etching Holes for SPM-Based Data Storage", J. MEMS V.12, N. 4, 2003
- [12] M. Despot, U. Drechsler, R. Yu, H.B. Pogge and P. Vettiger, "Wafer-scale microdevice transfer/interconnect: from a new integration method to its application in an AFM-based data-storage system", Transducer'03, 1907-1910, 2003
- [13] E. Eleftheriou et al., "A nanotechnology-based approach to data storage", IBM Research Report, 2003

저자소개



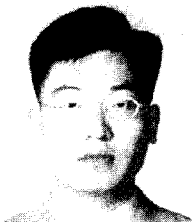
신진국

2000년 3월 - 2002년 2월 LG전자(주) LG 전자기술원 선임연구원
 2002년 3월 - 2002년 7월 전자부품연구원 나노응용 기술사업단 책임연구원
 2002년 7월 - 2005년 1월 전자부품연구원 나노정보 에너지연구센터장
 주관심 분야 나노급 정보저장 기술, 태양 전지



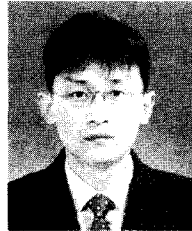
최영진

1997년 11월 - 1999년 2월 서울대학교 반도체 공동 연구소 나노기억매체 연구단 연구원
 1999년 4월 - 현재 전자부품연구원 나노정보에너지연구센터 책임연구원
 2004년 2월 - 2005년 1월 미국 Stanford University Visiting Scholar
 주관심 분야 나노급 정보저장 기술, 탐침기술



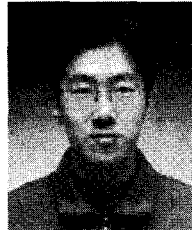
서문석

1999년 12월 - 2002년 11월 서울대학교 물리학과 Post-doc.
 2002년 12월 - 2003년 1월 전자부품연구원 나노정보 에너지연구센터 위촉연구원
 2003년 2월 - 현재 전자부품연구원 나노정보에너지연구센터 선임연구원
 주관심 분야 나노급 정보저장 기술, 나노-바이오



이철승

2003년 1월 - 2004년 2월 한국과학기술연구원 학생 연구원
 2004년 3월 - 2005년 1월 전자부품연구원 나노정보 에너지연구센터 선임연구원
 주관심 분야 보호 박막, 나노급 정보저장 기술



이경일

1997년 2월 - 2005년 1월 전자부품연구원 나노정보 에너지연구센터 선임연구원
 주관심 분야 나노급 정보저장 기술, MEMS 센서



조진우

1997년 1월 - 1998년 2월 LG금속(주) 주임연구원
 1999년 1월 - 현재 전자부품연구원 나노정보에너지연구센터 선임연구원
 주관심 분야 도금기술, 표면처리, MEMS