

# 나노세계의 눈과 손 : 원자현미경 기술

글 ■ 박 강 호 / 한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소, 책임연구원 e-mail ■ pkh@etri.re.kr

이 글에서는 원자 및 분자 수준의 물성 분석 및 물질 제어가 가능한 원자 현미경의 기술 개요에 대해서 소개하고, 실용적 나노기술의 구현에 있어서 원자 현미경의 응용 기술로서 나노소자 제작 및 정보저장기술로의 활용에 대하여 기술한다.

## 원자현미경 기술의 개요

물질을 쪼갤 수 있는 가장 작은 단위로서 원자의 개념은 그리스의 철학자 데모크리투스 이래로 많은 사람들의 흥미와 관심의 대상이 되어 왔지만 원자 하나 하나를 직접 눈으로 보고 하나씩 제어하는 기술은 SPM(Scanning Probe Microscopy)으로 불리는 원자현미경이 발명되고 난 뒤에 비로소 시작되었다고 할 수 있다. 1980년 초, 전자의 터널링현상을 이용하는 STM(Scanning Tunneling Microscopy)이 개발되고 난 이후<sup>[1]</sup> 원자간력을 이용하는 AFM(Atomic Force Microscopy), 자력을 이용하는 MFM(Magnetic Force Microscopy), 그리고 근접장 광학을 이용하는 SNOM(Scanning Near-field Optical Microscopy) 등이 차례로 개발되면서 원자나 분자 수준에서 다양한 물성을 연구하고 또 제어할 수 있는 본격적인 나노 기술의 시대가 개막되었다<sup>[2]</sup>.

이 글에서는 원자 현미경 기술의 발명 및 이에 따른 다양하고 재미있는 연구의 내용

및 결과 그리고 앞으로 도래할 나노 기술 시대에서의 원자 현미경 기술의 역할에 대하여 서술하고자 한다.

## STM의 측정 원리 및 구조

1981년 IBM 취리히 연구소의 비니히(Binnig)와 로우러(Rohrer) 등은 자신들이 처음으로 개발한 STM이라는 장비로 실리콘 표면에서 오랫동안 수수께끼로 남아있던 Si(111)-7x7 의 원자 구조를 처음으로 발견하는 놀라운 경험을 하게 되는데, 이는 본격

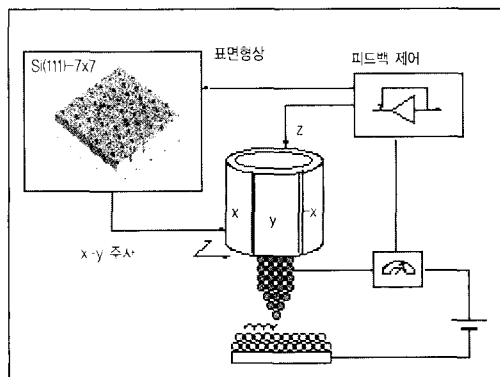


그림 1 STM의 측정 원리 및 구조



적인 원자 현미경 시대의 서막을 알리는 신호탄이었다<sup>[1]</sup>. STM은 텅스텐 선을 전기 화학적으로 그 끝을 뾰족하게 식각하여 원자 몇 개로 이루어진 탐침을 만들고 난 뒤, 전도체인 시료 표면에 아주 가까이 접근시켜 시료와 탐침의 양단간에 전압을 인가하여 미세한 터널링 전류를 흐르게 한다.

이 때 전류는 전자가 금속의 일함수에 의한 에너지 장벽을 넘지 못하고 양자역학적으로 뚫고 지나가는 원리에 의해서 흐르게 되는데, 수학적으로 이러한 터널링 전류는 그 값이 매우 작고 시료와 탐침 사이의 미세 간극에 대해 지수함수의 관계를 갖기 때문에 원자 크기의 옹스트롬( $\text{\AA}$ ) 단위의 미세한 변화를 측정할 수 있는 기반을 제공하였다. 또한 이러한 미세 제어 및 측정은 PZT라는 물질이 갖는 피에조(Piezoelectric) 특성 덕분인데, 이는 전압을 가하면 늘어나거나 줄어드는 특이한 성질을 이용하여 시료와 탐침 사이의 간극을 옹스트롬 이하의 정밀도로 조절할 수 있었던 기술이 있었기에 가능하였다. 결국 STM의 기본 구조는 나노미터 수준으로 끝이 매우 뾰족한 탐침과 이를 시료 위로 주사할 수 있게 하는 PZT 구동기(scanner), 그리고 이들을 제어하고 여러 물리적인 신호를 처리하는 제어 및 정보 처리 시스템으로 구성된다<sup>[2,3]</sup>. STM

은 표면 형상뿐 아니라, 각 원자에서의 전자 구조를 알아낼 수 있는 전자에너지 스펙트럼을 측정할 수 있는데, 이러한 STS (Scanning Tunneling Spectroscopy) 측정 기술을 이용할 경우, 각 원자에 해당하는 표면의 전자 구조 및 전기 전도도 그리고 진동모드도 알아낼 수 있다.

이 후 STM은 많은 연구자들이 비록 진공 내에서이지만 반도체 및 금속 등의 전도성의 다양한 재료의 표면 원자 및 전자 구조 이해 및 원자 및 분자 제어 등의 연구를 수행하는 유일한 도구로서 발전되어 비니히와 로우러는 1986년 STM을 개발한 지 5년 만에 노벨 물리학상을 수상하게 된다.

### AFM의 측정 원리 및 구조

전기 전도체의 시료만을 측정할 수 있는 STM의 단점을 해결하기 위하여 STM을 발명한 비니히가 Stanford 대학의 퀘이트(Quate) 교수와 공동으로 개발한 기술이 원자간력을 이용하는 AFM(Atomic Force Microscopy)이다. 이 기술은 마이크로 머시닝으로 공정 제작된 탐침이 형성된 길고 얇은 캔티레버를 이용하여 시료 표면의 원자와 탐침 끝의 원자 사이의 반데르 바알스(Van der Waals) 힘으로 불리는 인력 및 척력을 이용한다. 캔티레버는 아주 작은 힘에도 매우 잘 휘어져서 원자 사이의 작은 힘에 의해서 휘는 정도를 레이저를 사용하여 측정하는 원리를 이용한다.

일반적으로 접촉식 AFM은 원자간력이 1~10nN 정도의 다소 큰 척력을 이용하여 일정한 휘는 정도를 유지하면서 시료 위를 주사하면서 얻는 구동기의 높이의 정보를 기록함으로써 표면 형상에 대한 이미지를 얻게 된다. 이에 반해 비접촉식 AFM은 0.1~0.01nN의 다소 약한 인력을 이용하는 데, 이 힘은 워낙 약해서 캔티레버의 휘는

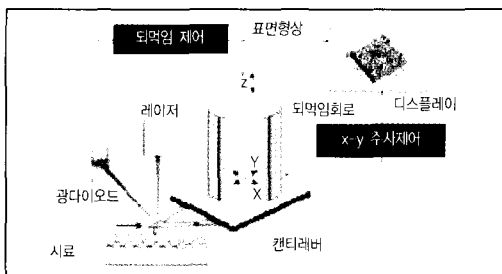


그림 2 AFM의 측정 원리<sup>[3]</sup>  
캔티레버 끝 부분에 달린 탐침과 시료 표면의 원자 사이의 힘에 의하여 캔티레버가 휘는 정도를 레이저 광선이 뒷면에서 반사되는 각도를 포토다이오드로 측정하여 표면 구조의 영상을 얻는다.



정도가 너무 작으므로 캔티레버를 일정한 공진 주파수로 떨리게 하면서 그 진동의 진폭 및 위상의 변화를 일정하게 유지하는 구동기의 높이의 정보를 얻는 방법으로 표면 영상을 얻게 된다. 그 외에도 태핑모드(Tapping Mode)라고 불리는 접촉식과 비접촉식의 중간 정도의 기술도 사용이 되고 있는데 이는 그야말로 시료를 두들기면서 표면의 형상을 측정하는 기술이다.

이러한 AFM 기술의 특징은 시료가 전기 부도체라도 측정이 가능하고 또 진공이 아닌 공기 중에서도 용이하게 측정할 수 있어서 STM에 비해서 실용적인 분석장비로서 그 진가를 발휘하고 있다.

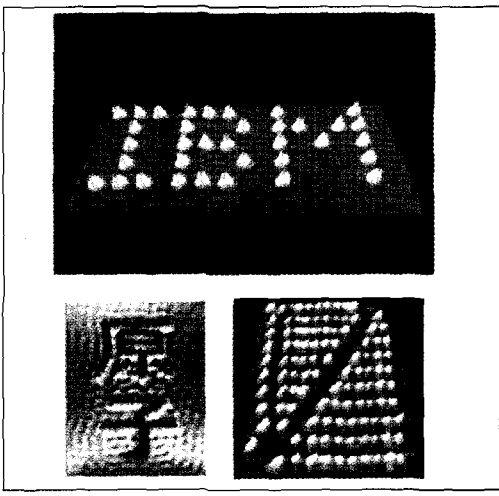


그림 3 원자 하나씩을 탐침으로 제어하여 IBM, 한자로 된 원자, 그리고 Cu(III)위에 C<sub>60</sub>를 이용하여 만든 나노 주판의 STM영상<sup>5)</sup>

### 각종 SPM 기술의 개발

이러한 나노규모의 탐침 및 PZT 정밀 제어를 이용하는 다양한 표면 물성을 측정하는 기술들이 개발되었는데, 표면의 마찰력을 재는 LFM(Lateral Force Microscope), 표면 정전기력을 측정하는 EFM(Electrostatic Force Microscope), 전기용량을 재는 SCM(Scanning Capacitance Microscope), 자기장의 세기를 측정하는 MFM, 그리고 표면의 근접장 광의 세기를 측정하는 SNOM 등이 그 계보로 분류될 수 있고, 그 외에도 다양한 형태의 물리, 화학적인 양을 나노 규모의 해상도로 측정하는 기술들이 개발되었고 지금도 여전히 많은 연구가 진행중이다. 이 글에서는 각각의 기술들에 대한 세부적인 설명은 생략하기로 한다<sup>2)</sup>.

### 원자현미경의 응용 기술

원자현미경 기술은 일차적으로 표면의 원자 배열 및 다양한 물성과 관련한 표면 영상을 얻는 수단으로 활용되는 것 이외에, 나

노 수준에서 직접 원자의 위치를 제어하거나 인위적인 분자 합성, 나노 규모의 소자 구조 제작, 그리고 분자 규모의 초고집적 정보 저장 기술로 활발히 응용되고 있다.

### 원자 및 분자 제어

그림 3은 1990년 IBM의 아이글러(Eigler) 등이 STM을 이용하여 니켈(Ni) 표면 위에서 35개의 크세논(Xe)의 원자 단위의 제어를 통하여 세계에서 가장 작은 로고를 기록한 결과<sup>4)</sup>와 함께 이러한 방법을 이용하여 다양한 형태의 글자 및 구조를 인위적으로 형성하는 획기적인 기술을 보여주는 그림이다.

물론 이러한 실험은 시료의 오염 및 상온의 열적 요동 때문에 현재 모두 초고진공 극저온 등에서 가능하지만 인류 역사상 원자 하나씩을 직접 제어하는 기술이 현실화되었다는 의미에서 나노 기술의 한 획을 그은 사건이었다.



이후 이러한 기술은 계속 발전하여 상온에서 실리콘 표면의 원자 하나 하나를 직접 제어하거나 다양한 종류의 분자를 탐침으로 직접 제어하는 기술로 발전되었고(그림3, 나노주판) 개개 원자의 고유 진동 모드 측정, 그리고 원자 수준의 자성 분석, 심지어 개개의 원자 및 분자를 제어하여 인위적으로 특정한 분자를 합성하는 꿈만 같은 연구 결과도 보고되었다. 이러한 연구는 비록 특수한 조건에서만 가능하고 또 탐침 하나 하나로 수행할 수 있는 작업이 매우 느려서 분석적인 연구에 한정되고 실용적인 공정 및 합성 기술로 쓸 수는 없지만 나노 규모에서 소자 구조 제작을 위한 리소그래피 등의 공정 및 테라급 이상의 고밀도 정보 저장 기술에 응용될 수 있는 가능성을 열었다는 의미에서 큰 발전으로 인식되고 있다.

원자 및 분자 제어가 원리적으로 구현 가능한 기술로서 현재 단순한 현미경으로서의 사용 이외에 정보기술(IT : Information Technology)로의 응용 가능성을 보면 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 10nm 규모의 전자소자를 제작하기 위한 공정 기술이고, 또 하나는 Tera( $10^{12}$ )급 집적이 가능한 정보 저장기 기술이다.

### 나노 소자 공정 기술

현재의 반도체 집적 기술의 급속한 발전 추세에 비추어 나노 수준에서의 구조 제작 및 소자의 구현은 이제 먼 미래의 이야기가 아니라 당면한 현실로 인식되고 있다. 최근에 삼성전자가 발표한 90nm 공정 기술 및 이를 이용한 Giga( $10^9$ )급 메모리 기술의 개발은 나노 기술이 이제 과학자들이 학술적으로 수행하는 선택적인 연구가 아니라 세계 산업 경쟁에서 우리가 확보해야만 하는

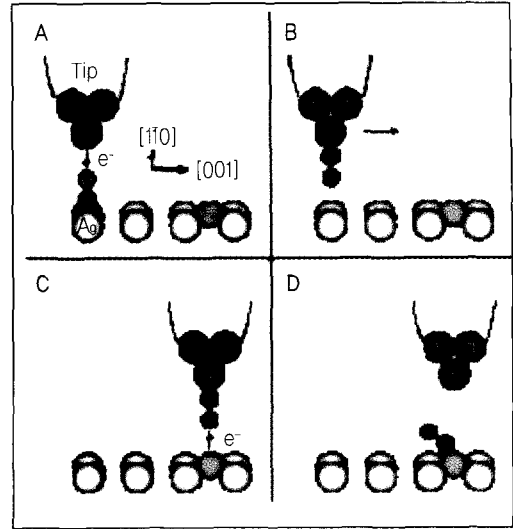


그림 4 Ag 표면 위에서 STM으로 Fe(CO)의 분자를 인위적으로 합성하는 개념도<sup>[6]</sup>

필수 기술이라는것을 인식시켜준 사례라 여겨진다.

현재 나노소자 제작을 위한 나노 리소그래피 기술이 많이 연구 개발되고 있는데, 대표적인 것으로서 자외선 및 극자외선을 이용하는 기술, X-레이를 이용하는 기술 등이 있다. 그러나 위에서 열거한 대부분의 리소그래피 기술은 초고진공 또는 특수한 광원 또는 전자빔이 요구되므로 그 장비 제작에 많은 비용이 들어서 반도체 소자의 전체 단가 상승에 영향을 주고 그 제작 크기도 20~30nm 이하의 구조는 만들기 어려운 한계가 있다. 손쉽게 10nm급 크기의 나노소자 구조를 제작하는 용도로서 원자현미경을 응용한 공정 기술이 각광받고 있다.

본 장에서는 대표적인 나노스케일의 공정 기술로서 1) 나노 저전압 전자빔 기술 2) 나노 산화막 기술(nano oxidation), 3) 나노 딥펜 기술 (Nano Di p-Pen lithography) 기술의 핵심 사항을 기술하고자 한다.

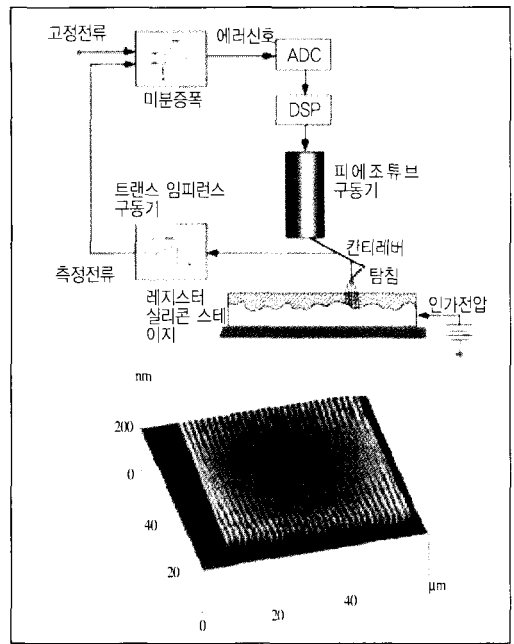


그림 5 전도성 탐침에서 흐르는 전계 방출 전류에 의한 유기 레지스터의 분자 구조 변화 유도를 이용하는 나노리소그래피 기술(상)과 이를 이용하여 식각되어 제작된 30nm 이하의 나노선패턴(하)<sup>2)</sup>

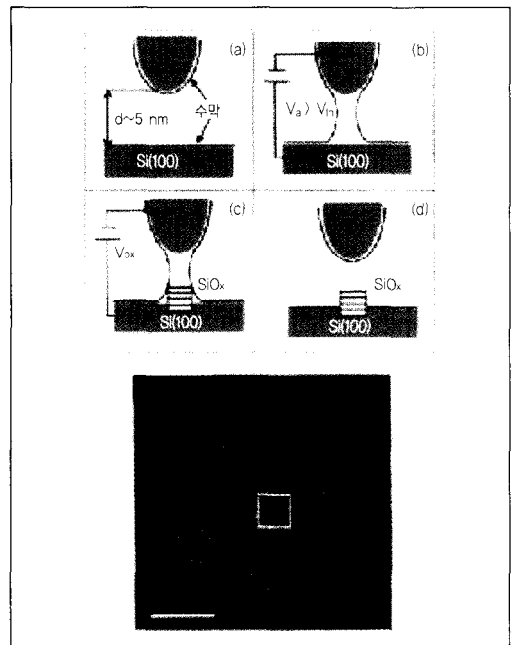


그림 6 시료와 탐침의 수막에 의해 나노 크기의 산화막이 형성되는 원리(상)와 이를 이용하여 제작된 10nm 크기의 나노점 격자 패턴(하)<sup>3)</sup>

### 저전압 전자빔 기술

원자현미경의 빠른 전도성 탐침을 시료에 근접시키고 시료보다 상대적으로 낮은 전압을 인가하면 전도성 탐침에서의 전자의 일함수에 의한 전위 장벽을 투과하는 전자에 의한 전계 방출 전류가 흐르게 된다. 이러한 전류는 시료 표면에 있는 유기분자 또는 금속의 구조를 화학적 또는 물리적으로 변화시켜 나노스케일의 화학구성 변화나 표면 형상 변화를 유도하게 된다. 특히 유기분자가 이러한 전류에 의해서 그 반응성이 변화하면 나중에 특수한 성질을 갖는 현상용액에 의해 전자빔에 노출된 부분이 제거될 수 있다. 이러한 방식으로 나노 패턴을 제작할 수 있는데, 이것은 현재 널리 사용되고 있는 광 리소그래피나 전자빔 리소그래피에서 흔히 쓰이는 포토레지스터(photoresistor)와 유사한 기술이지만 탐침에서 유도되는 저에너지 전자빔에 의해서 기록이 이루어지므로 고에너지 전자빔의 산란에 의한 패턴의 부정확성이 극복될 수 있어 30nm 이하의 패턴 제작이 용이하다.

### 나노 산화막 기술

실험실의 공기 중에 존재하는 습기에 의하여 탐침과 시료 사이에 얇은 수막이 형성되고 이러한 수막이 존재할 때에 탐침에 전압이 인가되면 마치 수용액 내에서 산화반응이 일어나 실리콘이나 금속 표면에 산화막이 형성되는 것처럼, 탐침의 크기에 비례하여 나노크기의 산화막이 형성될 수 있다. 이러한 기술을 nano anodization이라고 부르기도 하는데, 인가되는 전압, 노출되는 시간, 그리고 공기 중의 습도를 조절함으로써 산화막의 폭 및 두께의 크기를 변화시킬 수 있다. 그림은 이러한 방식으로 기록된 산화막의 형성을 보여주고 있는데, 현재까지 개발된 원자 현미경을 이용한 나노리소그래

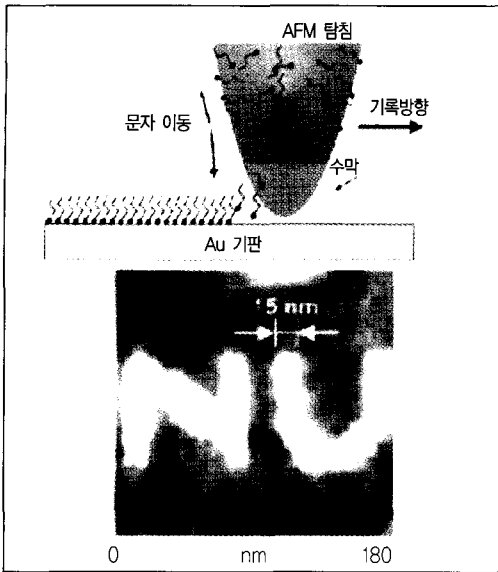


그림 7 탐침 끝에 코팅된 유기 분자가 금속 위에 단분자막으로 자기조립 메카니즘으로 형성되는 원리(상)와 이를 이용하여 제작된 15nm 크기의 나노 패턴(하)<sup>[9]</sup>

피 방식 중에서 가장 재현성이 뛰어난 기술로 인식되고 있고, 다양한 나노 소자가 이러한 기술을 이용하여 제작된 바 있다.

### 나노 임프린트 기술

탐침에 마치 잉크처럼 자기조립박막을 형성할 수 있는 유기분자를 묻히고 이 분자가 잘 달라붙는 금속표면에 접촉시켜 탐침에서 시료 표면에 일정한 단분자 두께의 박막이 나노선폭으로 형성되게 하는 기술을 이용하여 나노 패턴을 형성하는 기술이다. 이러한 기술을 이용할 경우, 원하는 유기분자를 탐침의 훼손을 극소화하면서 코팅할 수 있고, 또 계속 탐침에 잉크처럼 유기분자를 묻혀서 사용할 수 있는 장점이 있는 기술이다. 현재 다중 어레이 구조의 배열된 탐침을 이용하면 그림과 같이 동시에 동일한 패턴을 전사할 수 있기 때문에 공정 시간을 단축할 수 있다. 특히 단분자막을 이용하므로 10나

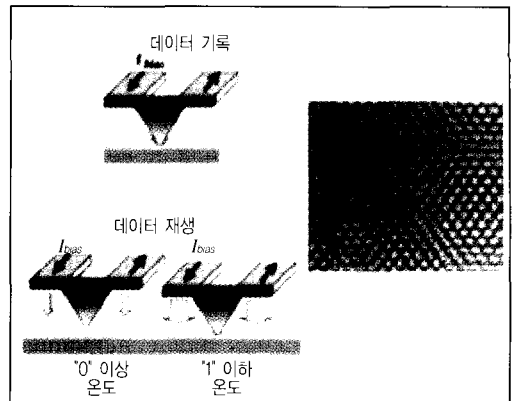


그림 8 (좌) AFM 탐침의 전기저항열에 의한 PMMA박막 위의 열기계 데이터 기록 및 재생 방식. (우) 기록밀도 400 Gb/in<sup>2</sup>에 해당하는 비트 크기 40nm의 기록 패턴<sup>[10]</sup>

노미터급의 크기의 구현이 용이하다고 각종의 바이오 패턴닝에 응용될 수 있다는 장점이 있다.

### 나노 정보 저장기 기술

정보통신의 발달로 다양화되는 정보화 사회의 요구에 따라 기존의 하드디스크, 광디스크 등의 정보 저장기의 대용량화 및 소형화가 가속화되고 있지만 현재의 자기, 광 저장 기술은 초상자성 한계 및 광의 회절 등의 원리적 한계로 인하여 정보 수요량의 증가에 따른 기술 발전 속도를 감당하기 어려워지고 있다. 이러한 위기를 극복하기 위한 새로운 개념의 정보 저장기 기술 중에서 먼기록 밀도 면에서 탁월하고 완전히 새로운 접근 방법을 모색하고 있는 것이 원자 현미경 기술을 응용한 탐침형 정보 저장기 기술이다. 특히 원자 및 분자 수준에서 정보를 저장하고 재생할 수 있으므로 이상적으로는 Peta급 (10<sup>15</sup> bits/in<sup>2</sup>)의 기록밀도 구현도 가능하다. 여기서는 여러 가지 방식의 정보 저장 기술 중 대표적인 것 만 다루고자 한다.

### AFM 정보 기록/재생 기술

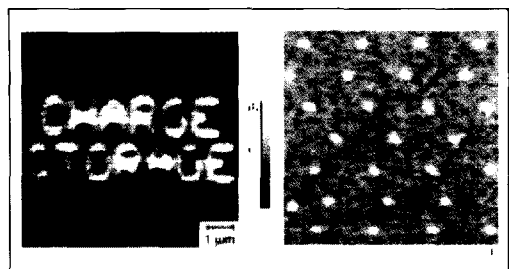


그림 9 (좌) NOS 박막에서의 SCM을 이용한 정보 저장 기술<sup>[11]</sup>, (우) EFM을 이용한 PZT 박막 위에서의 기록 크기 60nm 정보 기록/재생 예 (삼성)

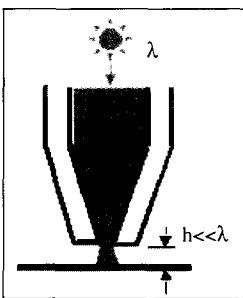


그림 10 광섬유 탐침에서 나오는 근접광을 이용한 SNOM 기술의 원리

이러한 정전하를 이용하는 정보 저장 기술로서는 그림 9에서처럼 1) 전기 전하를 산화물 박막에 충전시켜 전기용량 변화를 측정하는 방법,<sup>[11]</sup> 2) 강유전체 박막의 도메인을 인위적으로 형성하여 EFM으로 읽

는 방법<sup>[12]</sup> 등이 연구되고 있다. 이 방법은 정전하를 이용하므로 재기록이 원리적으로 수월한 장점 때문에 많이 연구되고 있다.

일반적으로 AFM은 표면 형상을 직접적으로 정보 비트로 이용하거나 표면 형상에 의한 간접적인 열저항 차이를 정보 재생에 응용하는 방법 그리고 전기전도 탐침을 이용하여 전기 전도도의 차이를 정보 비트로 이용하는 방법들이 가능하다. 이제까지 개발된 많은 기술 중에서 가장 상용화에 근접한 기술이 그림 8의 IBM의 열기계(thermo-mechanical) 기록/재생 방식인데, 이는 전기저항에 의해 가열되는 탐침을 이용하여 PMMA 등의 폴리머에 나노 구멍을 형성하여 정보를 기록하고 정보를 재생할 때는 형상 자체를 읽거나 탐침이 미디어에 접촉하는 면적이 넓어져 가열된 탐침의 온도 저항이 달라지는 것을 측정하는 방법을 이용한 다<sup>[10]</sup>.

### EFM/SCM 전기장 정보저장기 기술

EFM은 시료 표면의 정전기력을 감지하여 이미지로 보여주는 것으로서 그 원리는 전압이 가해진 탐침과 시료 표면에 존재하는 다양한 종류의 전하 및 전압에 의해 발생하는 미세한 정전기력을 측정하여 표면의 전기적 성질을 얻는 것이다. 비슷한 기술로서 탐침과 시료 사이의 정전용량(capacitance)를 측정하여 이를 영상화하는 SCM(Scanning Capacitance Microscopy)도 비슷한 기술 계보로 분류될 수 있다.

SNOM(Scanning Nearfield Optical Microscopy) 근접장 광 정보 저장기 기술 광학 현미경이 갖고 있는 빛의 회절에 의한 해상도의 한계인  $0.6\lambda/NA$ ( $\lambda$ : 파장, NA: numerical aperture)<sup>[13]</sup>를 극복하는 기술로서 SNOM 또는 NSOM으로 불리는 기술이다<sup>[14]</sup>. 광섬유의 끝을 잡아당기거나 식각하여 뾰족하게 만든 뒤, Al 또는 Au/Cr 등으로 코팅하여 나노 구멍(aperture)을 만드는 방법과 AFM 캔티레버 형태에 피라미드형으로 공정으로 나노 구멍을 제작하여 시료에 근접하여 주사함으로써 표면 형상뿐만 아니라 100nm 이하의 근접장 광 영상도 동시에 얻을 수 있는 기술로 발전되었다.(그림 10)

정보 저장 기술로의 적용은 Bell Lab.의 Betzig 등에 의한 광자기를 이용한 60nm 비트 사이즈 광 정보 기록/재생 기술이 최초이고<sup>[15]</sup>, 그 이후 일본의 Hitachi 등에서 CD-RW 매체인 상변화 미디어를 이용한 기록 기술 등이 시도되었다. 비접촉 방식으로도 정보를 기록/재생 할 수 있고, 표면 형상의 정보보다 훨씬 더 안정적으로 정보를 입출력할 수 있는 장점이 있다. 최근에는 나노

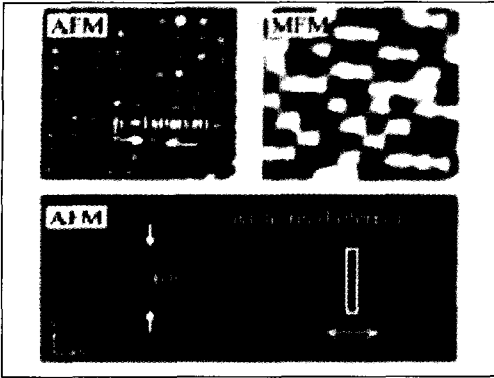


그림 11 (a) 패턴된 CoPtCr 수직자기 미디어의 자기 기록 AFM/MFM 영상 (b) 미디어 전체 패턴의 AFM 영상<sup>[7]</sup>

구멍(aperture)에서의 광 투과율의 증대를 위한 공정 기술 연구<sup>[16]</sup>와 함께 어레이형 다중 개구열 등을 이용한 고속 기록/재생 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

### MFM(Magnetic Force Microscopy) 자기 정보 저장 기술

실리콘 탐침에 강자성체를 코팅시켜 시료 표면의 자기장과 탐침의 자기 모멘트와 작용하는 힘을 이용하여 표면의 자기장의 세기의 분포를 측정하는 기술이다. 일반적인 AFM처럼 자기력에 의한 캔틸레버의 휘는 정도를 이용하거나 캔틸레버의 고유진동수가 변화되는 것을 감지하여 자기력을 영상화할 수 있다. 이를 이용한 정보 기록/재생 기술은 자성체가 코팅된 탐침을 이용하여 코일을 이용하여 자성시료 표면을 국소적으로 자화시키고 기록된 자성도메인을 자화된 탐침으로 자기력을 측정함으로써 정보를 재생하는 원리를 이용한다.

최근에는 고속 주사가 가능한 하드디스크의 자기저항(MR : Magneto Resistance) 헤드 기술을 응용한 자기 탐침 구조를 채택한 고밀도 기록/재생 기술들이 연구 개발되고 있다.(그림 11)

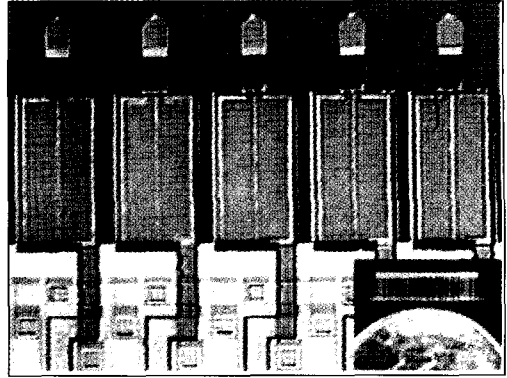


그림 12 다중 어레이형 AFM 캔틸레버 탐침<sup>[18]</sup>

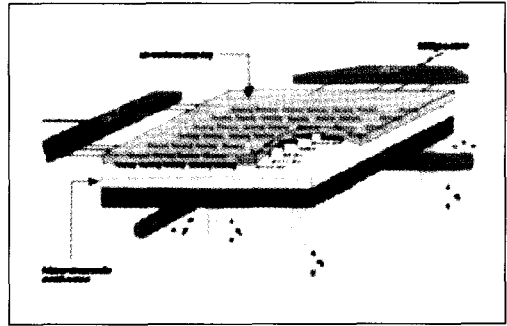


그림 13 32x32 어레이형 Millepede 개념도<sup>[10]</sup>

### 다중화 기술

고속의 정보 처리 속도를 달성하는 좋은 방법은 어레이 형태의 다중 탐침으로 동시에 정보를 기록하고 재생하는 것이다. Stanford 대학에서는 대면적 영상 및 리소그래피를 위해서 그림 12처럼 PZT나 ZnO 등의 자체구동 박막형 구동부와 휘는 정도를 전기적으로 자체센싱하는 센서가 캔틸레버에 마이크로 공정으로 형성된 50개의 탐침을 평행하게 제작하여 다중 채널로 데이터를 수집하는 기술을 선보였다.

이러한 기술의 결정판이 그림 13처럼 IBM 취리히에서 제작한 32x32 어레이 실리콘 캔틸레버가 정보를 다중으로 처리하는 일명 "Millepede" 정보 저장기 기술이다<sup>[10]</sup>.





“Millepede”는 사전적인 의미로는 노래기 같은 다지 동물을 일컫는 말로 STM 개발자인 비니히를 포함한 IBM 연구자들은 실리콘 공정으로 다지류의 발처럼 생긴 1,024개의 캔티레버 탐침이 유기미디어 박막 위에서 병렬처리(parallel process)로 정보를 기록하고 재생하는 그들의 시스템의 이름으로 사용되고 있다.

이때 미디어는 MEMS형 전자기력 구동기(electromagnetic driver)로 x-y 평면 주사하면서 정보 기록/재생을 할 수 있게 한다. 400Gb/in<sup>2</sup> 이상의 기록밀도가 가능한 최초의 시스템 기술로서 원자현미경 정보 저장기를 가시화한 기술로 자리 매김 하고 있다. 현재 이 기술은 한 줄 및 구역 단위로 기록된 정보를 지울 수 있고 재기록이 가능한 기술로 발전되고 있다.

### 원자 현미경 기술의 미래 전망

원자현미경 기술은 원리적으로는 원자 및 분자 수준에서의 물체의 형상 및 다양한 물성을 직접 측정할 수 있는 유일한 기술이다. 더욱이 나노소자 제작을 위한 공정 및 정보 저장기에서 10nm급의 크기를 갖는 1Tb/in<sup>2</sup>의 초고밀도가 가능한 소자 및 정보 저장기 기술로의 응용이 가능하다. 그러나 IT분야로의 상용화 기술로 정착되기 위해서는 우선 높은 해상도에 맞는 고속의 주사 속도가 가능하여야 한다. 이러한 목적을 위해서는 단일 탐침의 주사 속도를 향상시켜야 한다. 여기에는 높은 고유진동수를 갖는 캔티레버의 설계 제작 그리고 제어 기술과 함께 탐침과 시료의 훼손 문제도 아직은 개선되어야 할 과제이다. 특히 다중 탐침이 동시에 측정 및 공정을 하기 위한 여러 가지 제어 기술의 확보도 필요하다<sup>19)</sup>.

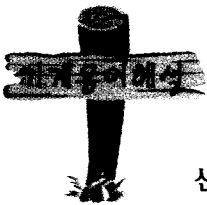
이러한 원자 현미경 기술의 발전에 힘입어 우리는 나노 스케일 영역에서의 전기, 자기, 광, 기계적인 물성을 직접적으로 만지듯이 연구할 수 있는 도구를 가질 수 있기 때문에 앞으로 나노 기술(NT) 영역 전반, 그리고 정보 기술(IT) 및 바이오 기술(BT) 영역에 있어서도 선구적인 연구를 수행할 수 있는 기반 기술을 확보할 수 있다. 1959년 미국의 물리학자 리처드 파인만이 “There’s plenty of room at the bottom”이라는 말로 예언적으로 제시했던 조그만 핀 머리 위에 Brittanica 백과사전의 정보를 모두 집적하는 나노 기술의 꿈(★)이 이러한 원자 현미경 기술을 통하여 이루어지고 있다.

#### [참고문헌]

- [1] G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, and E. Weibel., 1982, “Surface studies by scanning tunneling microscopy”, Phys. Rev. Lett., Vol. 49, No. 1, p. 57.
- [2] J. A. Stroscio and W. J. Kaiser, “Scanning tunneling microscopy”, Academic press, p. 80, 1997.
- [3] S.-I. Park, J. Hong, and Y. Nho, “Scanning probe microscopy”, <http://www.psia.co.kr>.
- [4] D. M. Eigler and E. K. Schweizer, 1990, “Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope”, Nature, Vol. 344, p. 524.
- [5] IBM research home page <http://www.research.ibm.com>.
- [6] H. J. Lee and W. Ho, 1999, “Single-bond formation and characterization with a scanning tunneling microscope”, Science, Vol. 286, p.1719.
- [7] K. Wilder, C. F. Quate, 1998, “Noncontact nanolithography using the atomic force microscope”, Appl. Phys. Lett., Vol. 73, p.2527.
- [8] R. Garcia, M. Calleja, and H. Rohrer, 1999, “Patterning of silicon surfaces with noncontact atomic force microscopy : field-induced formation of



- nanometer-size water bridges", J. Appl. Phys., Vol. 86, p. 1898.
- [9] R. D. Piner, J. Zhu, F. Xu, S. Hong, C. A. Mirkin, 1999, "Dip-pen nanolithography", Science, Vol. 283, p. 661.
- [10] P. Vettiger, M. Despont, U. Drechsler, U. Drig, W. Hberle, M. I. Lutwyche, H. E. Rothuizen, R. Stutz, R. Widmer, G. K. Binnig, 2000, "The millipede - more than one thousand tips for future AFM data storage", IBM J. Res. Develop., Vol. 44, No. 3, p. 323.
- [11] R. C. Barrett and C. F. Quate, 1991, "Charge storage in a nitride-oxide-silicon medium by scanning capacitance microscopy", J. Appl. Phys., Vol. 70, No. 5, p. 2725.
- [12] T. Hidaka, T. Maruyama, M. Saitoh, N. Mikoshiba, M. Shimizu, T. Shiosaki, L. A. Wills, R. Hiskes, S. A. Dicarolis, and J. Amano, 1996, "Formation and observation of 50 nm polarized domains in PbZr<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>3</sub> thin film using scanning probe microscope", Appl. Phys. Lett., Vol. 68, No. 17, p. 2358.
- [13] A. B. Marchant, 1990, "Optical recording : a technical overview", Addison-Wesley, p. 106.
- [14] U. Drig, D. W. Pohl, and F. Rohner, 1986, "Near-field optical-scanning microscopy", J. Appl. Phys. Vol. 59, No. 10, p. 3318.
- [15] E. Betzig, J. K. Trautman, R. Wolfe, E. M. Gyorgy, P. L. Finn, M. H. Kryder, and C.-H. Chang, 1992, "Near-field magneto-optics and high density data storage", Appl. Phys. Lett., Vol. 61, No. 2, p. 142.
- [16] K.-B. Song, J. Kim, and K.-H. Park, 2002, "Technique to enhance the throughput on a near-field aperture by the use of self-focusing effect", Appl. Phys. Lett. Vol. 80, p. 2827.
- [17] J. Lohau, A. Moser, C. T. Retner, M. E. Best, and B. D. Terris, 2001, "Writing and reading perpendicular magnetic recording media patterned by a focused ion beam", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 7, p. 990.
- [18] S. C. Minne, G. Yaralioglu, S. R. Manalis, J. D. Adams, J. Zesch, A. Atalar, and C. F. Quate, 1998, "Automated parallel high-speed atomic force microscopy", Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 18, p. 2340.
- [19] 박강호, 2002, "근접탐침형 정보 저장기 기술의 현황과 전망", 전기전자재료, Vol.15, p. 18p.



### 신경회로망(Neural Network)

알고리즘은 생물의 신경전달 과정을 단순화하고 이를 수학적으로 해석한 모델로서, 복잡하게 얽혀있는 뉴런(neuron-신경세포 : 신경망에서는 네트워크를 이루는 최소단위)을 통과시켜가면서 뉴런끼리의 연결강도를 조절하는 일종의 학습(training)과정을 통해 문제를 분석한다. 이러한 과정은 사람이 학습하고 기억하는 과정과 비슷하며, 이를 통해 추론, 분류, 예측 등을 수행할 수 있다.