

Scanning Probe Microscope (SPM)

Kyoung Su Jeon

Contents

- 1. Scanning Probe Microscope (SPM)**
- 2. Scanning Tunneling Microscope (STM)**
- 3. Atomic Force Microscope (AFM)**
- 4. Lateral Force Microscope (LFM)**
- 5. Force Modulation Microscope (FMM)**
- 6. Phase Detection Microscope (PDM)**
- 7. Magnetic Force Microscope (MFM)**
- 8. Chemical Force Microscope (CFM)**

Scanning Probe Microscope (SPM)

- 정의 : 물질의 표면 특성을 원자 단위까지 측정할 수 있는 현미경
 - 1세대 : 광학 현미경 (× 수천배)
 - 2세대 : 전자 현미경 (× 수십만배)
 - 3세대 : 원자 현미경 (× 수천만배)

- 특징
 - 배율에 있어 TEM이나 SEM보다도 높기 때문에 원자나 분자의 특성관찰까지 가능하다.
 - 액중에 있는 시료를 관찰할 수 있으므로 세포, 생체물질, 고분자, 전기화학분야까지 폭 넓게 이용될 수 있다.
 - 3차원적 이미지를 컴퓨터 data로 얻음으로 해서 여러 가지 data해석에 용이하다.
 - 물리적인 interaction이기 때문에 이미지 뿐만이 아니라 표면의 여러 성분을 특성에 따라 구분해 이미지화시킬 수 있어 응용의 폭이 넓다.

	광학현미경	SEM	SPM
측정정보	표면의 상태	표면형상	표면형상
관찰기술	3차원형상 (표면)	2차원 형상	3차원형상(표면), 마찰, 표면전의
X축 분해능(평면)	0.1 μ m	100	10
Y축 분해능(입체)	0.1 μ m	100	0.2
배율	1~2 $\times 10^3$	10~10 ⁶	25~10 ⁸
시료의 환경	대기, 진공	진공	대기, 진공, 용액
시료의 제한	거의 모든 고체	도전성의 도체	거의 모든 고체
시료의 손상	없음	크다	적다
측정시간	~분	~100초	~분
Probe		전자총	Tip

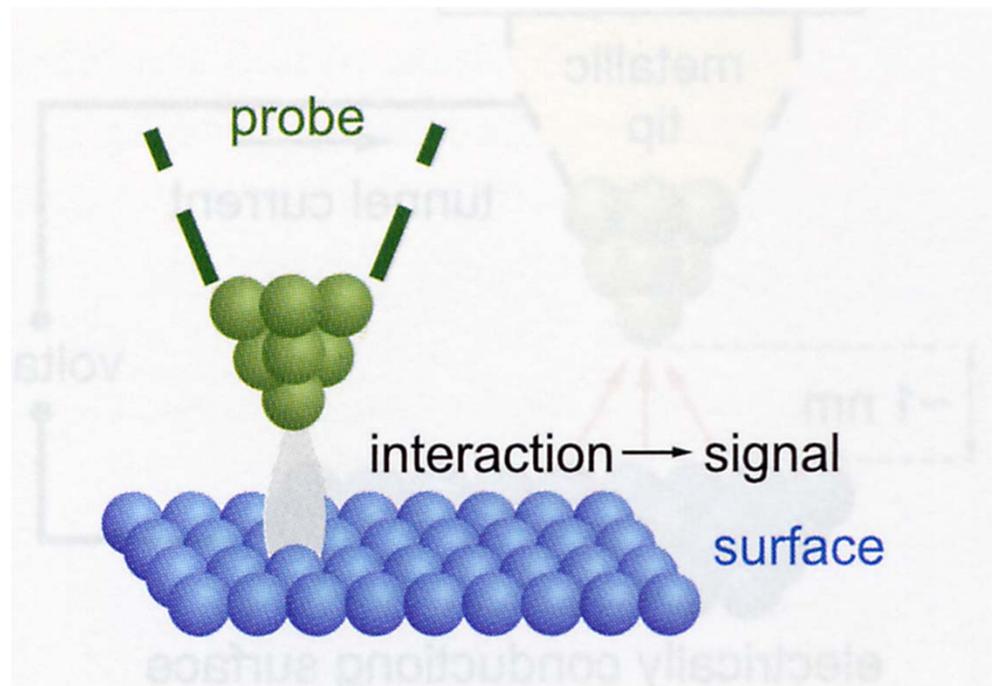
Scanning Probe Microscope (SPM)

- 역사

- 스위스 취리히, IBM연구원 **Binning, Roher, Gerber, Weibel**에 의해 개발 (1982)

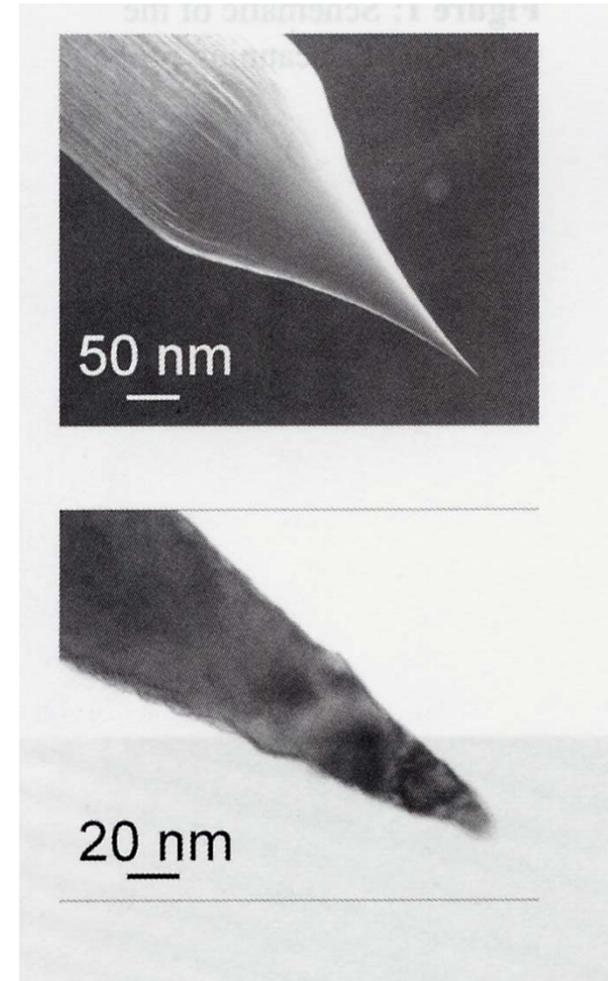
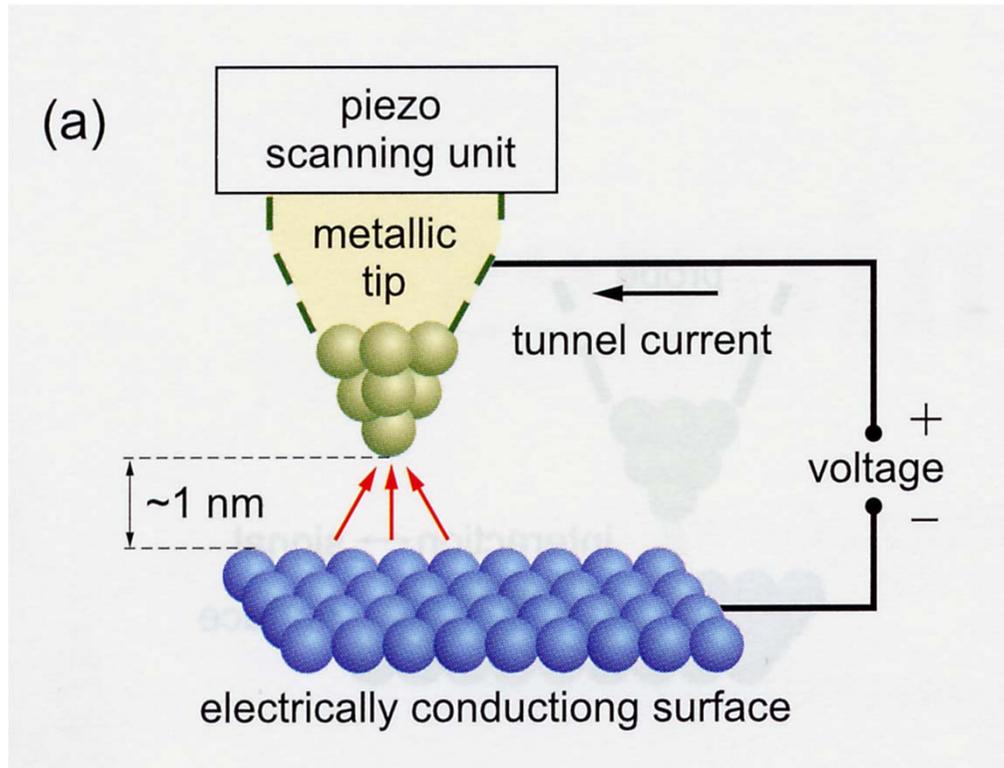
- ➡ **Binning, Roher**는 이것으로 인해 1986년 노벨물리학상 수상

- **Binning**과 **Roher**는 IBM 주도하에서 **AFM**을 개발 (1986)



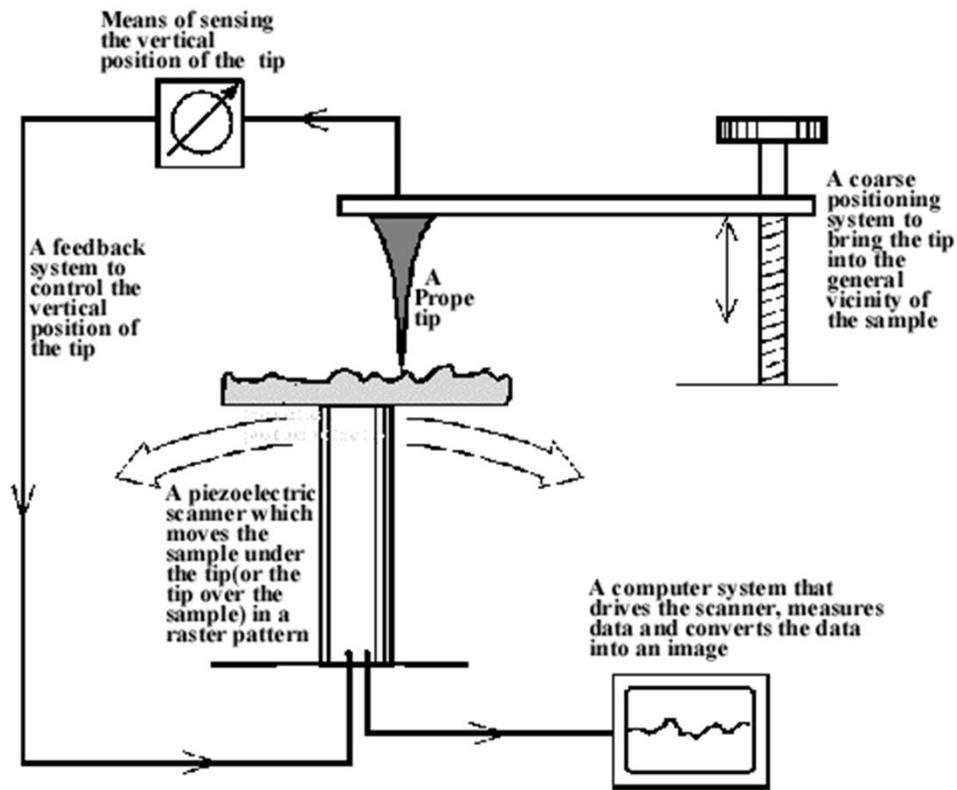
❖ Schematic diagram of generalized SPM

Scanning Tunneling Microscope (STM)

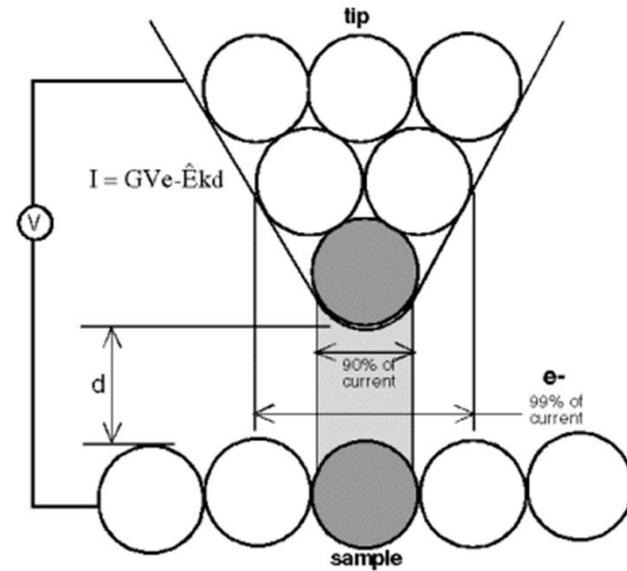


SEM and TEM images of a STM tip

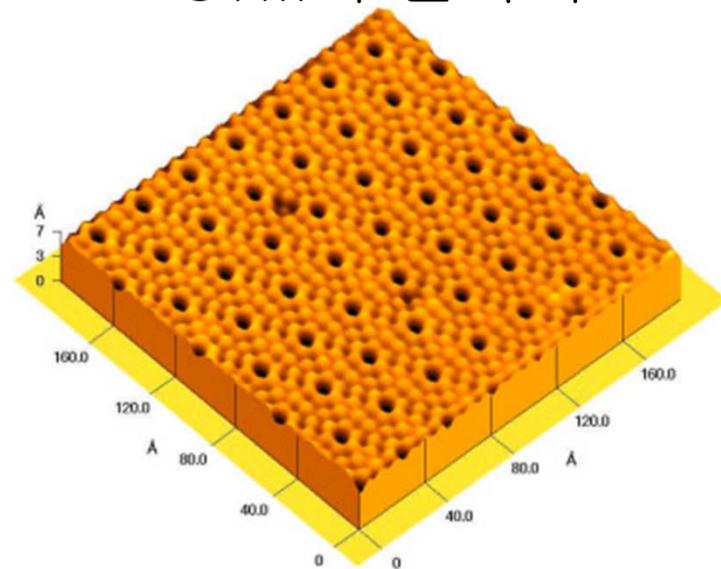
Scanning Probe Microscope (SPM)



SPM의 일반적인 구조도



STM의 원리 구조도

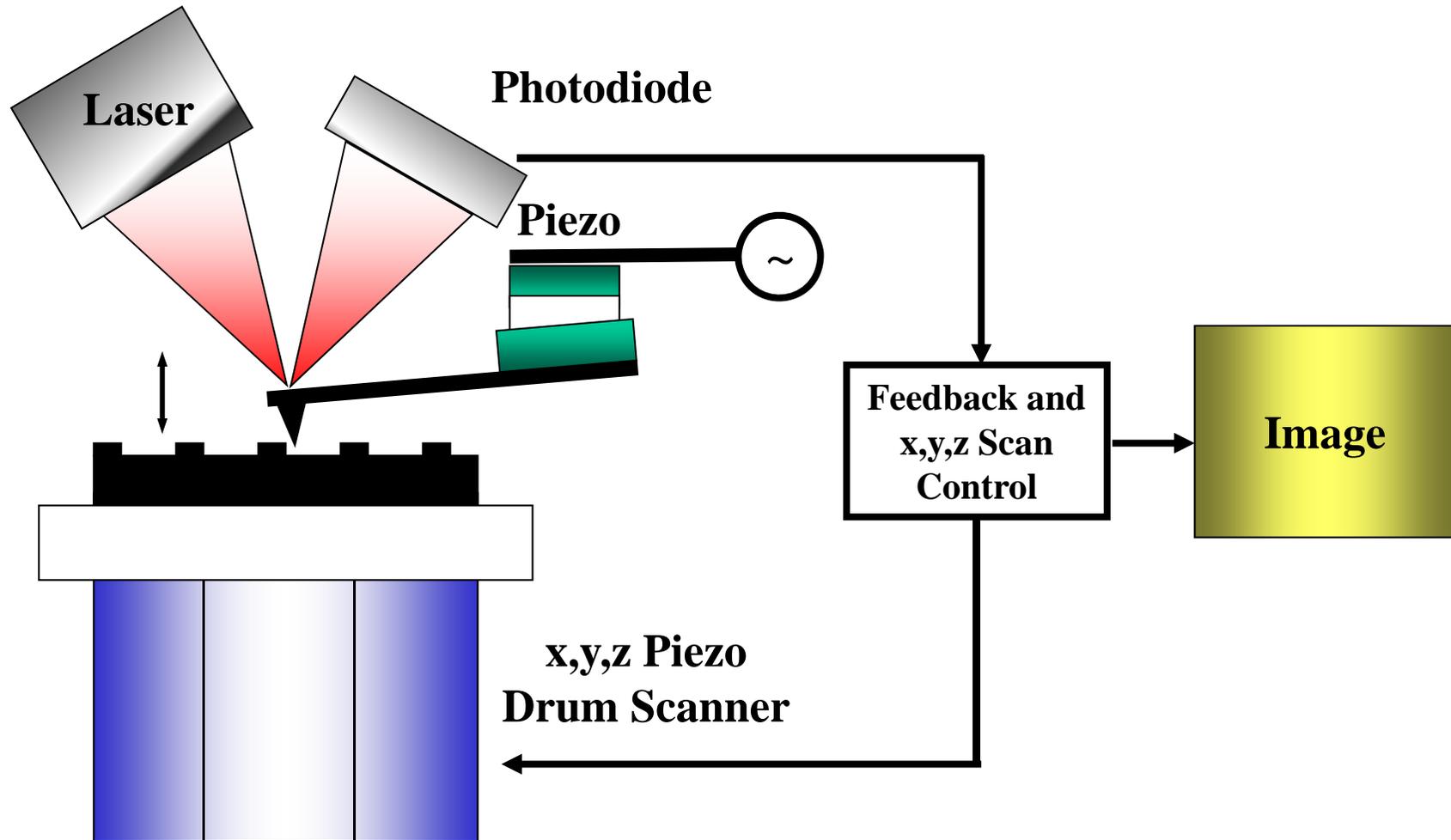


실리콘 (111) 표면

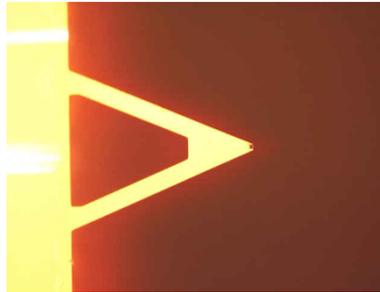
Atomic Force Microscope (AFM)

- 가장 보편적인 원자현미경
- 시료와 Tip(cantilever)사이의 Van der Waals힘의 변화를 감지해서 이미지화 한다.
- STM의 결점을 해결
- STM의 텅스텐 바늘 대신 마이크로 머시닝으로 제조된 캔틸레버(cantilever)를 이용
→ 길이: $100\mu\text{m}$, 폭: $10\mu\text{m}$, 두께: $1\mu\text{m}$
- 캔틸레버 역시 STM 탐침과 비슷해서 단지 미세한 힘에 의해 이것이 아래위로 쉽게 휘어짐
- 원리
 1. 탐침을 시료 표면에 접근시키면 서로의 간격에 따라 인력과 척력이 작용
 2. 캔틸레버와 시료원자사이의 힘에 의해 캔틸레버가 휘어짐
 3. 휘어지는 정도를 측정하기 위하여 레이저를 캔틸레버에 비추고 반사된 각도를 포토다이오드를 사용하여 측정 → 0.01nm 의 미세 움직임까지 측정가능

Atomic Force Microscope (AFM)

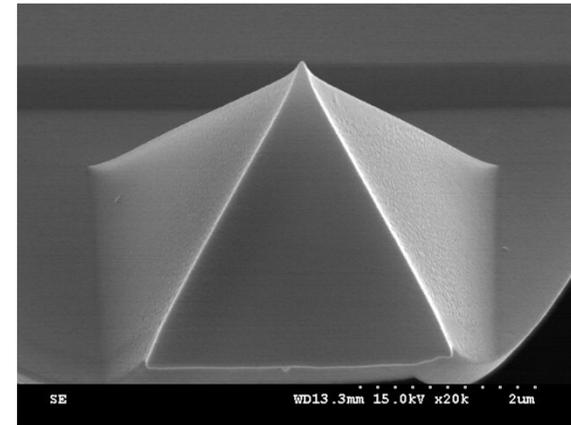


Cantilever



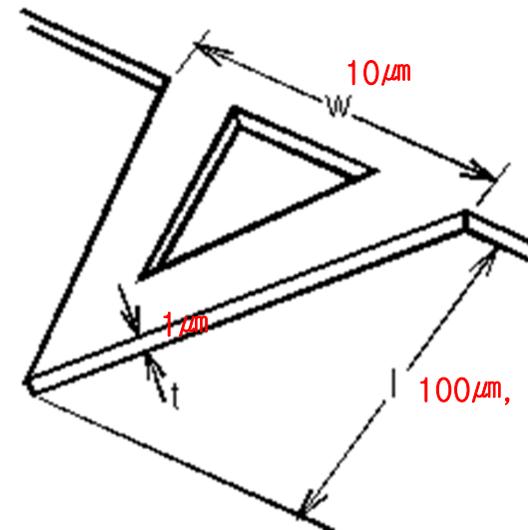
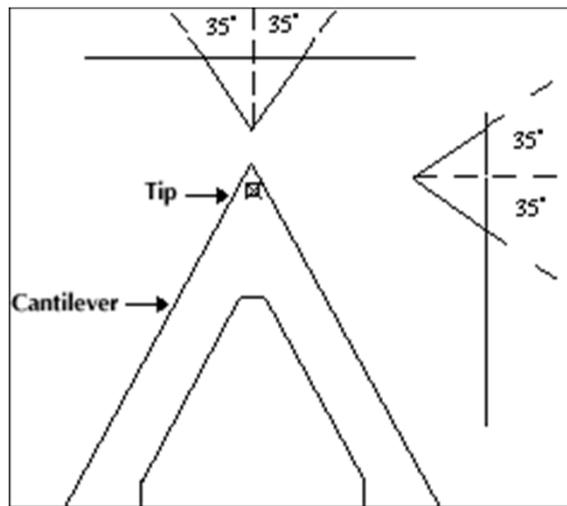
×500

< Microscope image >

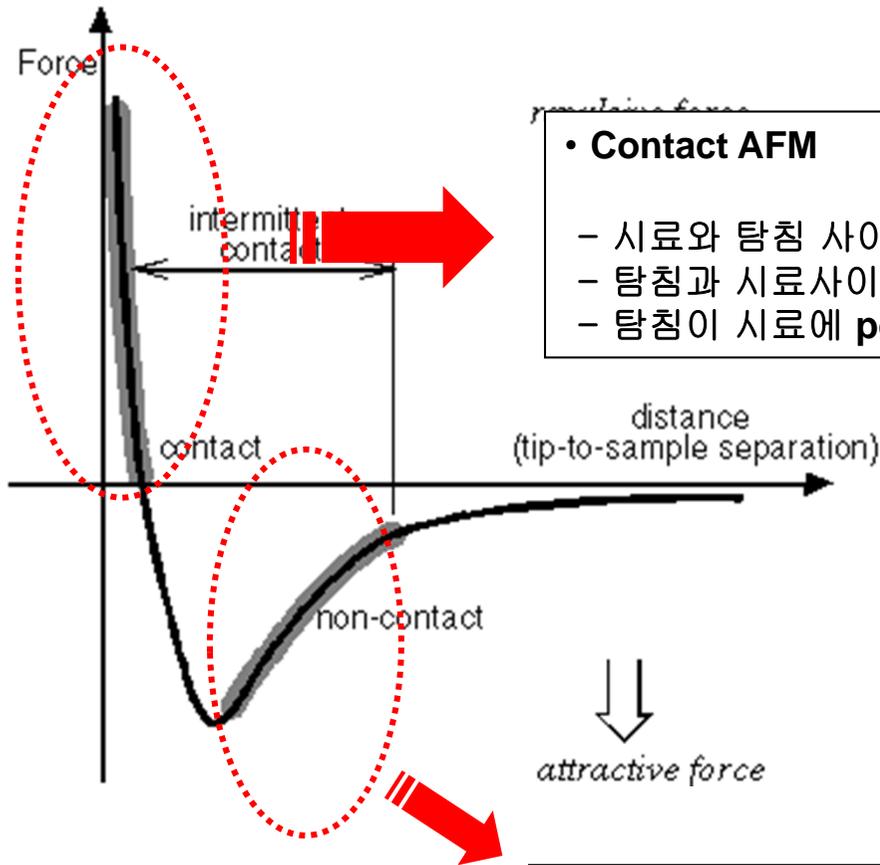


×20000

< FE-SEM image >



Atomic Force Microscope (AFM)



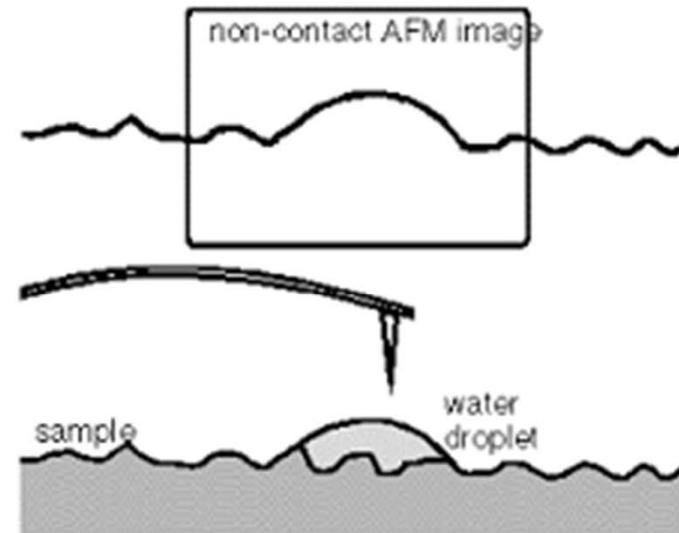
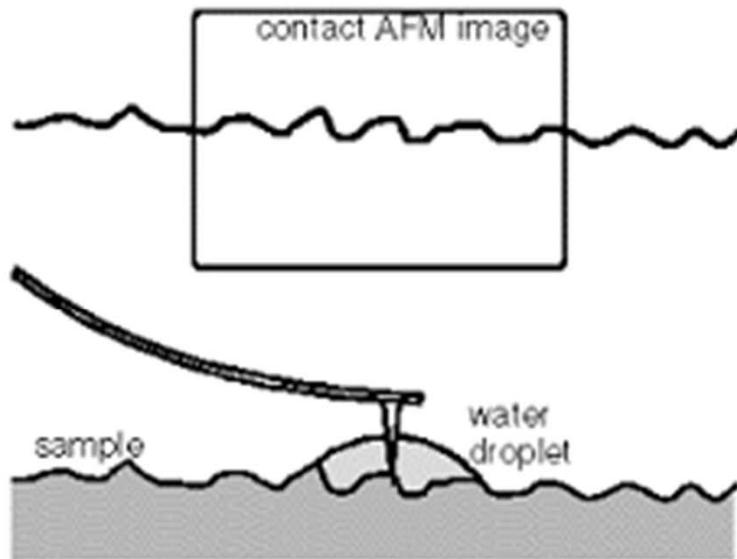
• Contact AFM

- 시료와 탐침 사이의 거리가 가까울때 작용하는 반발력 사용
- 탐침과 시료사이의 거리가 가까우므로 수평 분해능이 좋다.
- 탐침이 시료에 **positive force**를 인가하므로 시료가 손상될 수 있다.

• Non - contact AFM

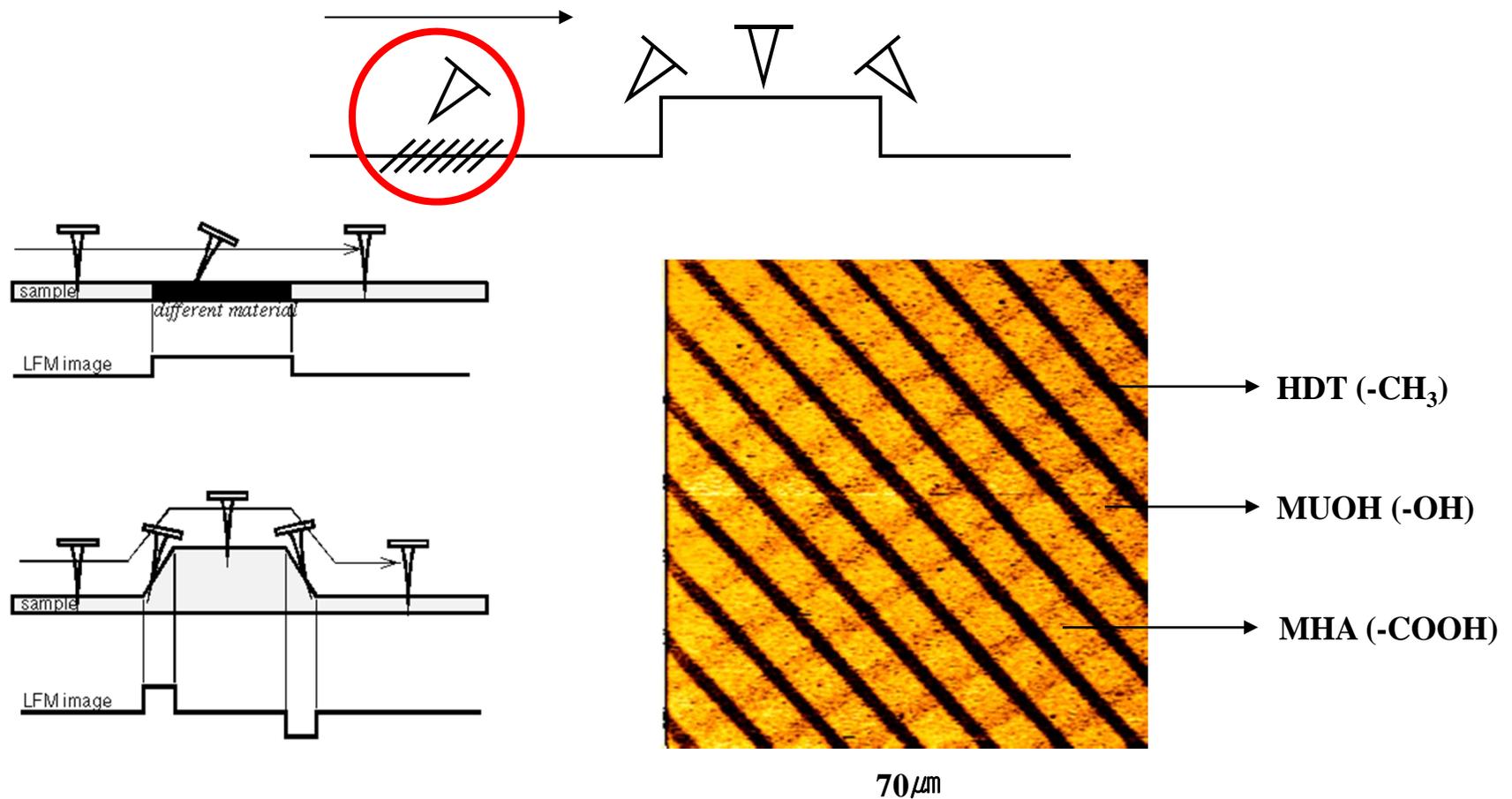
- 인력이 너무 작아 캔틸레버가 휘는 각도를 직접 잴 수 없다.
- 측정원리
 1. 캔틸레버를 고유진동수 부근에서 기계적으로 진동시킴
 2. 시료표면에 다가가면 원자간의 인력으로 인하여 고유진동수가 변함
 3. 진동수 변화를 **lock-in amp**로 측정
- 전기력이나 자기력이 원자간 인력보다 크면 순수한 표면 현상을 관찰하기 힘들

Atomic Force Microscope (AFM)



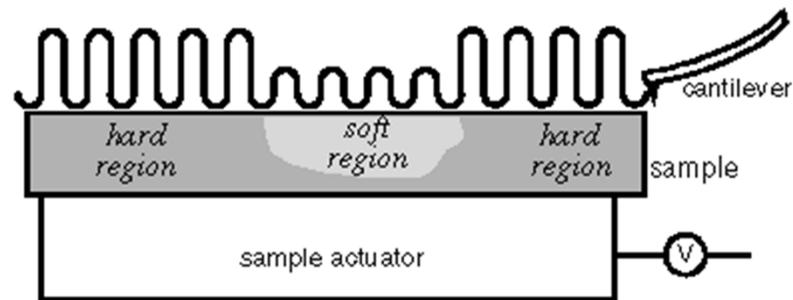
Lateral Force Microscope (LFM)

- 표면의 마찰력을 재는 원자 현미경
- 시료와 Tip (cantilever) 사이의 Lateral force의 변화를 감지해서 이미지화 한다.



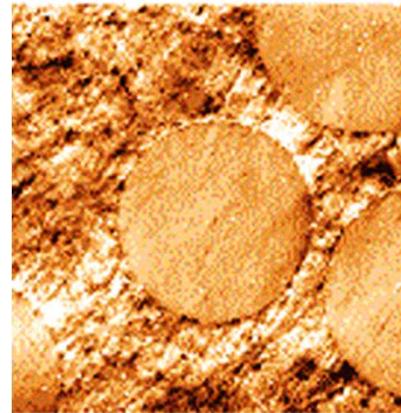
Force Modulation Microscope (FMM)

- 시료의 경도를 재는 원자 현미경
- 시료와 Tip사이의 Contact Force의 변화를 감지해서 이미지화 한다.
- 시료나 Tip을 진동시켜 표면까지 전달되는 진동의 진폭과 위상 변화를 감지해서 이미지화 한다.

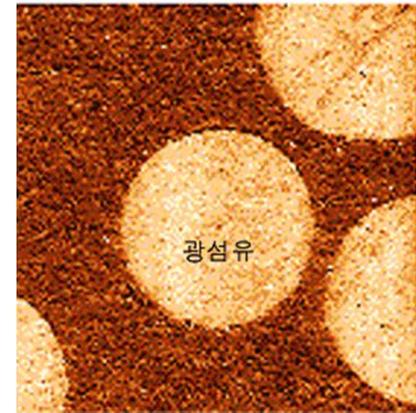


❖ Scheme of FMM

탄소 광섬유가 폴리머 접착제 사이에 들어있는 단면을 찍은 사진.



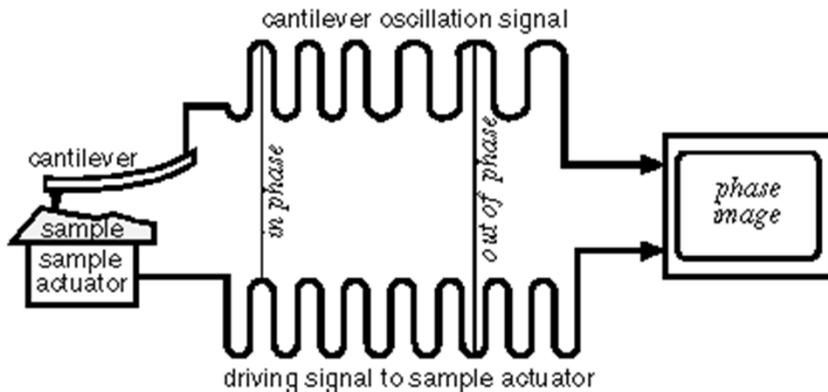
❖ AFM image



❖ FMM image

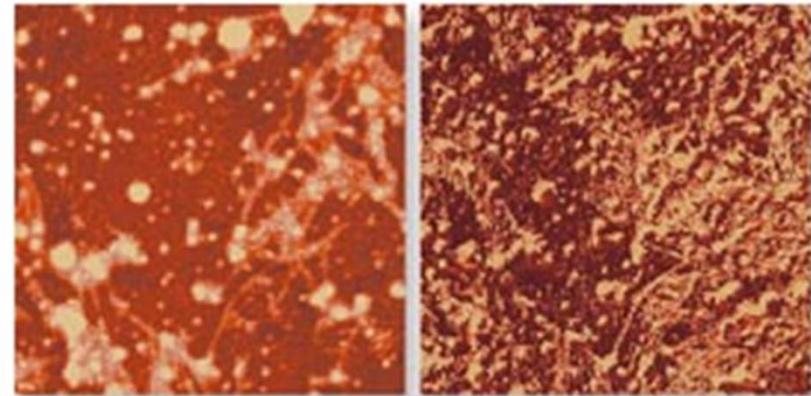
Phase Detection Microscope (PDM)

- 시료의 탄성 및 점성등을 재는 원자 현미경
- Tip(cantilever)을 진동시켜 진동 주파수 신호의 변화를 감지해서 이미지화 한다.



❖ Scheme of FMM

폴리머 코팅한 것을 찍은 사진

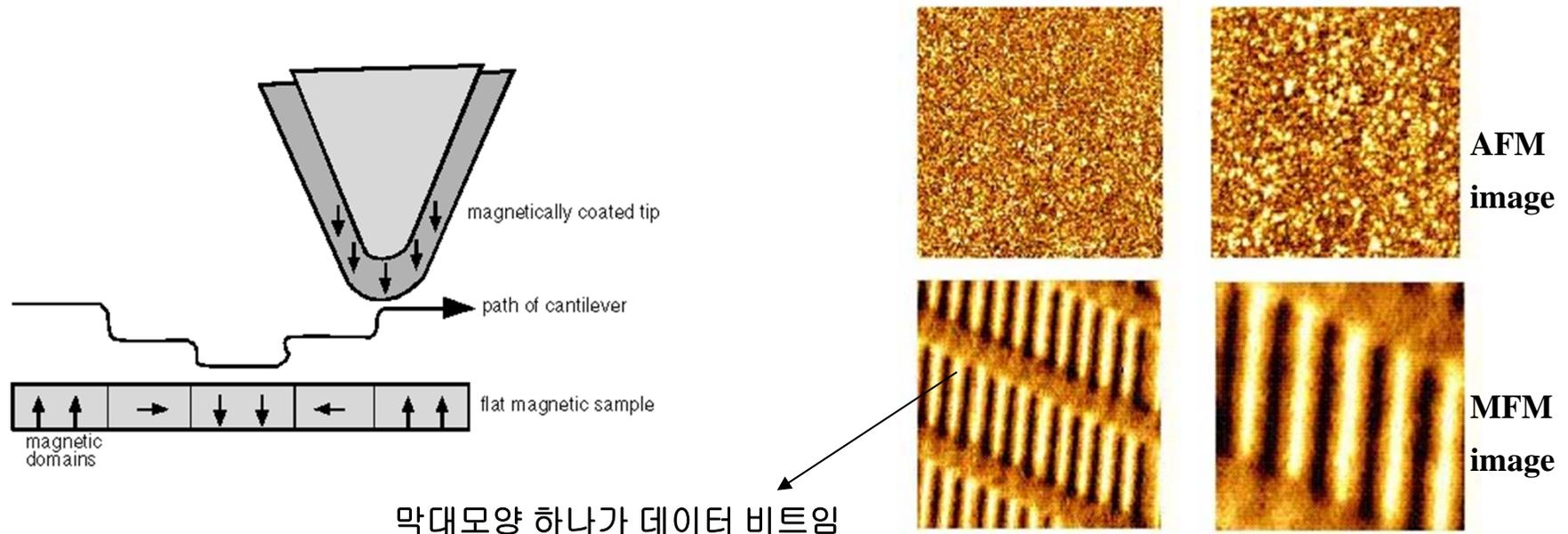


❖ NC-AFM image

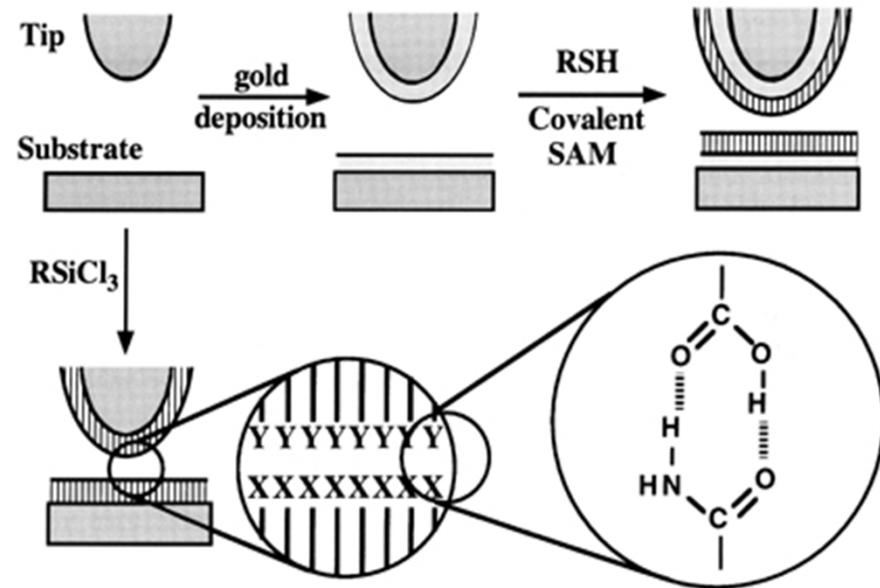
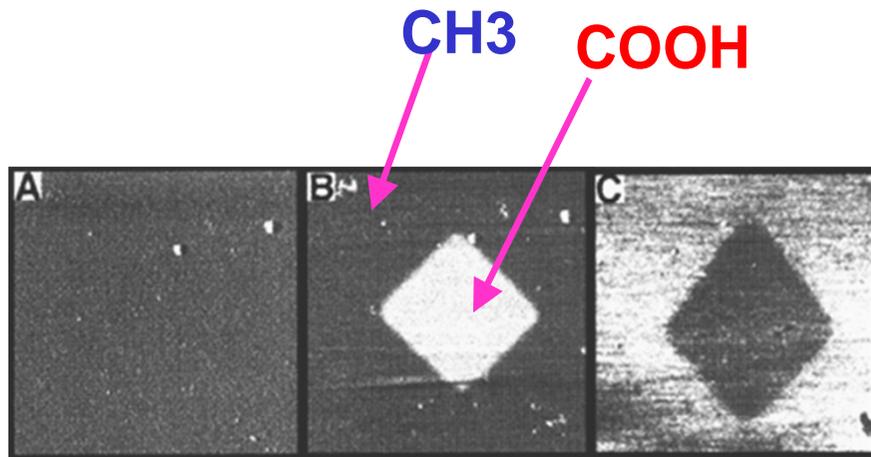
❖ PDM image

Magnetic Force Microscope (MFM)

- 자기력을 재는 원자 현미경
- Non-contact mode에서 측정
- 탐침을 자성체(코발트, 크롬, 니켈)로 코팅
- 원자력과 자기력의 힘을 구분해서 사용할 수 있다.
 - 원자력간 : short-range force → 가까이서 측정하면 topography 영상이 얻어짐
 - 자기력간 : long-range force → 멀리서 측정하면 자기 분포도가 얻어짐



Chemical Force Microscope (CFM)



- (A) topography
 (B) friction force using a tip modified with a COOH-terminated SAM,
 (C) friction force using a tip modified with a methyl-terminated SAM.

Light regions → high friction

dark regions → low friction