

제 8 장 Scanning Probe Microscope (SPM)

8.1 개요

SPM은 Scanning Probe Microscope의 약자로서 물질의 표면특성을 원자단위까지 측정할 수 있는 새로운 개념의 현미경을 총칭하는 말이다. 우리나라에서는 원자현미경이라고 한다. 원자는 너무 작아서(0.1-0.5 nm) 아무리 좋은 현미경로도 볼 수 없다는 기존의 통념을 깨뜨린 원자현미경은 제1세대인 광학현미경과 제2세대인 전자현미경 다음의 제3세대 현미경으로 자리 잡아가고 있다. 광학현미경의 배율이 최고 수천 배, 전자현미경(SEM)의 배율이 최고 수십 만 배인데 비해 원자현미경의 배율은 최고 수천만 배로서, 개개의 원자를 관찰할 수 있다. 투과식 전자 현미경인 TEM도 수평 방향의 분해능은 원자단위이나 수직 방향의 분해능은 훨씬 떨어져 개개의 원자를 관찰할 수는 없다. 원자현미경의 수직방향의 분해능은 수평 방향보다 더욱 좋아서 원자지름의 수십 분의 일(0.01nm)까지도 측정해낼 수 있다.

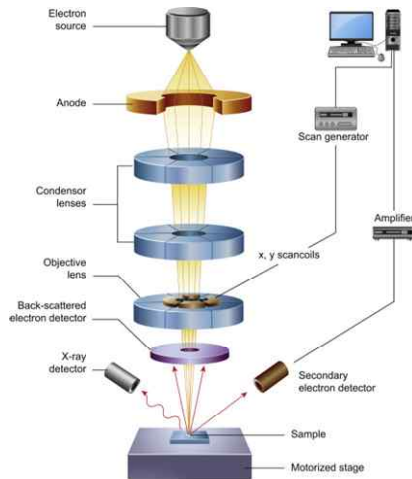
SPM에는 원자현미경 계열 중 처음으로 등장한 STM (Scanning Tunneling Microscope), 반도체 시료의 측정을 가능케 한 AFM (Atomic Force Microscope), 물질의 형상이외에 다른 특성들을 측정할 수 있는 MFM (Magnetic Force Microscope), LFM (lateral Force Microscope), FMM (Force Modulation Microscope), EFM (Electrostatic Force Microscope), SCM(Scanning Capacitance Microscope) 그리고 EC-SPM (Electrochemistry SPM)등이 있다. 이러한 원자현미경 외에도 물질의 광학적 특성을 빛의 파장 보다 훨씬 작은 분해능(~50 nm)으로 알아내는 NSOM (Near-field Scanning Optical Microscope), 시료표면의 온도분포를 재는 SThM (Scanning Thermal Microscope) 등의 원자현미경이 있는데 아직은 널리 사용되고 있지 않으나 앞으로 발전, 응용 가능성이 많다.

현재 원자현미경은 주로 연구용과 산업용 분석, 측정기기로 쓰이고 있다. 연마된 광학 렌즈나 증착막의 두께 및 굴곡도 측정에서부터 천연 광석의 표면분석에 이르기까지 종래 보다 더 작은 단위로 측정하려는 모든 곳에 활용되고 있다. 산업용으로는 반도체의 표면 계측, defect 분석, 콤팩트 디스크, 자기 디스크나 광 자기 디스크 등에 쓰인 비트(bit)의 모양새 조사 등에 쓰이고 있으며 최근 큰 성장을 보이고 있는 FPD (Flat Panel Display)의 제조 공정 분석 장비로도 활용되고 있다. 특히 미국 SIA (Semiconductor Industry Association)에서 발행하는 National Technology Roadmap에 발표되어 있듯이 반도체 산업에서는 원자현미경을 차세대 정밀 계측 장비로 인정하기에 이르렀다. 원자현미경은 진공 상태나 대기 중 뿐만 아니라 액체 내에서도 작동하므로 살아있는 세포내의 구조나 세포 분열 등을 관찰할 수 있다. 전자현미경이 진공 상태에서만 가능하다는 것을 감안하면 원자현미경의 응용범위가 대단히 넓다고 할 수 있다. 원자현미경은 관찰, 측정에 그치지 않고 초소형 로봇의 기능도 할 수 있어서 나노리소그래피 (Nanolithography; 사진묘사), 나노머시닝 (Nanomachining; 절삭), 나아가 분자의 합성 등의 연구에 사용되고 있다.

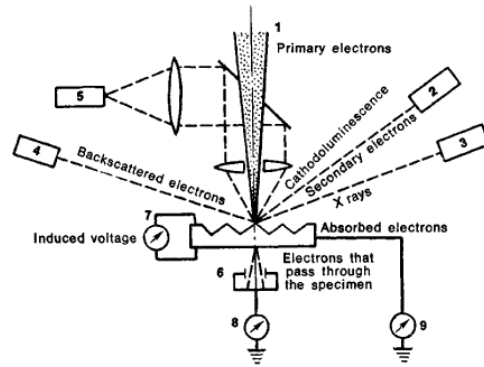
8.2 SEM (Scanning Electron Microscope)

* 참고: Wikipedia, the free encyclopedia

전자를 고전압으로 가속하여 시편 위에 충돌시켜서 시편의 형태 및 성분을 분석하는 기기



Schematic of an SEM



검출 부분

Backscattered electrons detector: PIN diode 또는 scintillator detector (형광물질)

Secondary electrons detector: Evehart-Thornley (E-T) Detector (형광물질, PMT)

X-ray detector: silicon or germanium doped with lithium: Si(Li) or Ge(Li)

Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS, EDX, or XEDS),

물질 원소 분석

배율: x10 ~ x500,000 이상 (x250 광학현미경)



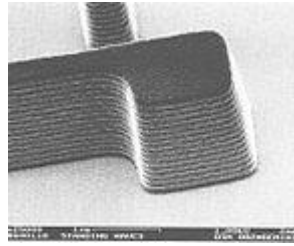
JSM-7610F

SEM 이미지 예

Secondary electrons detector 이용

평면: 어둡게

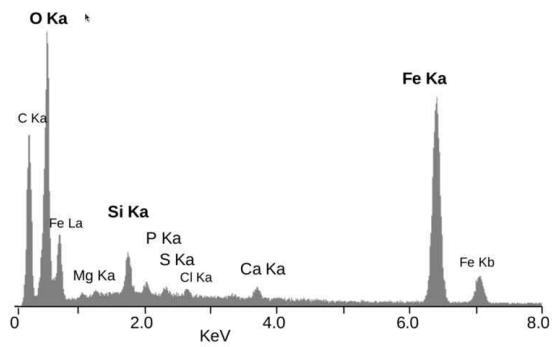
경사진 면: 밝게



SEM image of a photoresist layer (field emission SEM)

성분 분석 예

X-ray detector 이용



심해새우 껍질의 성분 분포

8.3 AFM (Atomic Force Microscope)

1) AFM의 기본원리

van der Waals force (or van der Waals interaction)에 기초하여 측정함.

(네덜란드 (Dutch)과학자 “Johannes Diderik van der Waals”)

판데르발스 힘은 원자, 분자, 그리고 표면간의 인력을 포함한다.

판데르발스 힘이 근처의 입자에 의한 편극에 의해 발생되기 때문에 전자의 공유에 의한 공유결합이나 전자의 과부족에 의한 이온결합과는 다르다.

분자간 힘은 네 가지 주요 원인이 있다. 대개 분자간 위치 에너지는 서로 가까이 다가가면 작용하여 분자의 붕괴를 막는 반발 성분과 세 가지 요인으로 이루어진 인력 성분을 갖는다.

1. 전하(이온의 경우), 쌍극자(반전 중심이 없는 분자의 경우), 사중극자(입방체보다 대칭성이 떨어지는 모든 분자), 그리고 일반적으로 영구적 다중극 간의 정전기적 상호작용. 정전기적 상호작용은 가끔 윌렘 헨드릭 키솜의 이름을 따서 키솜 상호작용 혹은 키솜 힘이라 불린다.
2. 인력의 두 번째 원인은 한 분자의 영구적 다중극과 다른 분자의 유도된 다중극 간의 상호작용인 분극화현상이다. 이 상호작용은 피터 J.W. 디바이의 이름을 딴 디바이라는 단위로 측정되기도 한다.
3. 세 번째 인력은 그것을 분산력이라 불렀던 프리츠 런던의 이름을 따서 런던 힘(London force)이라 붙여졌다. 이것은 무극성 원자에서만 보여지는 인력이지만 대칭성에 상관없이 어떤 분자 간에도 작용한다.

AFM에 의하여 측정되는 힘들:

mechanical contact force, van der Waals forces, capillary forces, chemical bonding, electrostatic forces, magnetic forces (see magnetic force microscope, MFM), Casimir forces, solvation forces, etc.

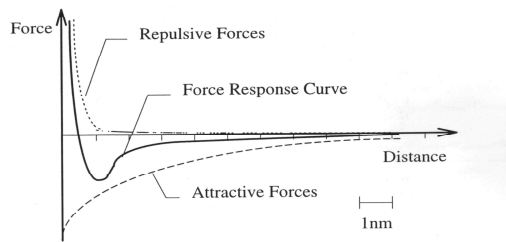
In AFM, a tip (most commonly made of silicon or silicon nitride (Si_3N_4)) approaches the sample to within interatomic distances (approximately 10 \AA). The tip (3-15 microns in length) is mounted at the end of a spring cantilever (approximately 100-500 microns in length).

The spring constant (between 0.10-0.34 N/m for Contact-Mode Silicon tips) of such a tip is less than the equivalent spring between atoms of the samples. As the tip is rastered across the sample, it fluctuates with respect to the surface features of the sample.

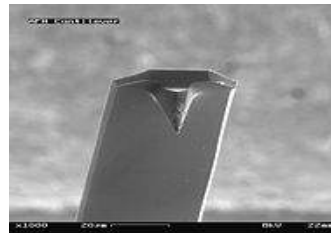
As the atoms of the tip and sample are brought together they initially weakly attract each other. This attractive force increases until the interacting atoms are so close that their electron clouds begin to repel one another electrostatically. This electrostatic repulsion continues to weaken the attractive force as the separation distance decreases. The attractive force goes to zero (i.e., approaches the limit of zero) when the distance comes within the length of a chemical bond (a few Angstroms). Once the total Van der

Waals forces (repulsive forces) are positive, the atoms are in contact.

Notice that the slope of the Van der Waals forces curve is quite steep in the contact region. As a result, the van der Waals forces dominate almost any other force that attempts to push the atoms closer together. Thus, in AFM, the cantilever bends when it pushes the tip against the samples surface, rather than probing it further into the sample



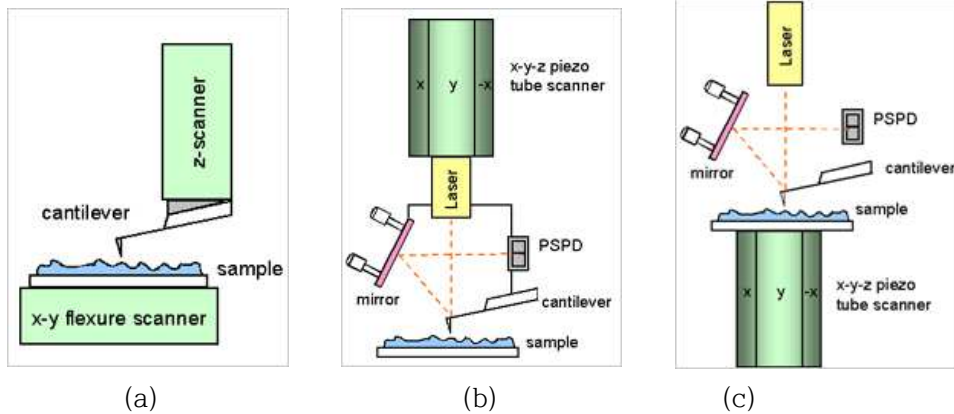
Displacement - Force relation



AFM cantilever tip image
(width ~100 micrometers.)

* 참고: Wikipedia, the free encyclopedia

2) AFM 의 구성 및 동작



3) 측정 예

NC-AFM image of STI patterns on a 6 inch photomask taken with an XE-150 (5×5μm scan, 70nm z range). 3-D rendering of un-processed raw data. The AFM probe traced both upper and lower terraces faithfully and almost imaged the side walls.



AFM 측정 이미지 예