



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

# Ηλεκτρονική Μικροσκοπία

Β. Μπίνας, Γ. Κυριακίδης  
Τμήμα Φυσικής



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης Creative Commons και ειδικότερα

*Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 Ελλάδα*  
*(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives 4.0 Greece)*



CC BY-NC-ND 4.0 GR

*[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]*

*[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]*

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

**ΔΡ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΠΙΝΑΣ**

*Post Doc Researcher, Chemist  
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης  
Email: [binasbill@iesl.forth.gr](mailto:binasbill@iesl.forth.gr)  
Thl. 1269*

Crete Center for Quantum Complexity and  
Nanotechnology  
Department of Physics, University of Crete

Transparent Conductive Materials (Head prof. G. Kiriakidis)  
Institute of Electronic Structure & Laser – IESL  
Foundation for Research and Technology - FORTH



# *Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης* *Atomic Force Microscopy AFM*



# *Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης* *Atomic Force Microscopy AFM*

- Εισαγωγή
- Αρχή Λειτουργίας / Ανατομία AFM
- Αλληλεπιδράσεις με την επιφάνεια
- Τρόποι Λειτουργίας του AFM
- Γεωμετρία ακίδας και Μορφολογία Επιφάνειας
- Εφαρμογές



# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης Atomic Force Microscopy AFM

Οπτικό μικροσκόπιο  
~ 1700

1942

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης  
Scanning Electron Microscopy (SEM) 1981

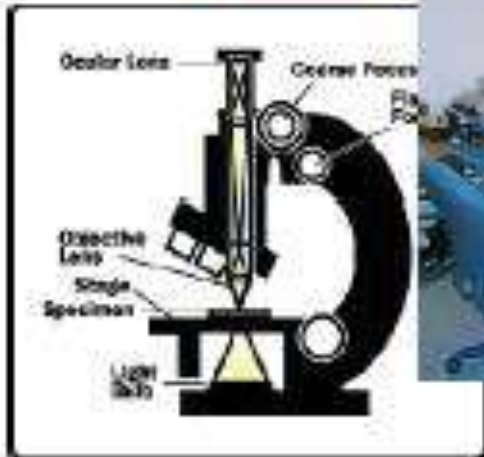
Σαρωτική Μικροσκοπία Σήραγγας  
Scanning Tunneling Microscopy (STM)

1931

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διέλευσης  
Transmission Electron Microscopy (TEM)

1986

Μικροσκοπία Ατομικής Δύναμης  
Atomic Force Microscopy (AFM)





# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης Atomic Force Microscopy AFM

Σαρωτική Μικροσκοπία Σήραγγας  
Scanning Tunneling Microscopy (STM)

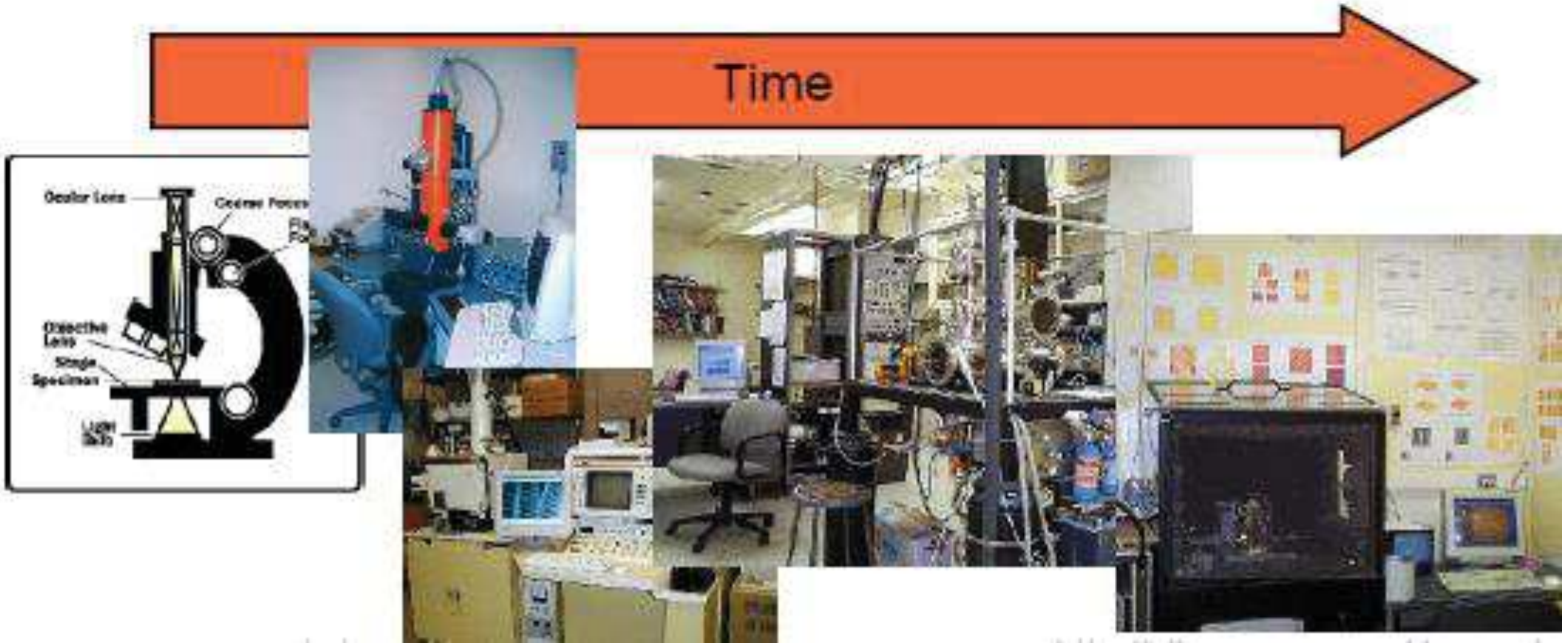
Μικροσκοπία Ατομικής Δύναμης  
Atomic Force Microscopy (AFM)

Διακριτική Ικανότητα

AFM

1.000.000X

Βασικό  
πλεονέκτημα  
3 διαστάσεις

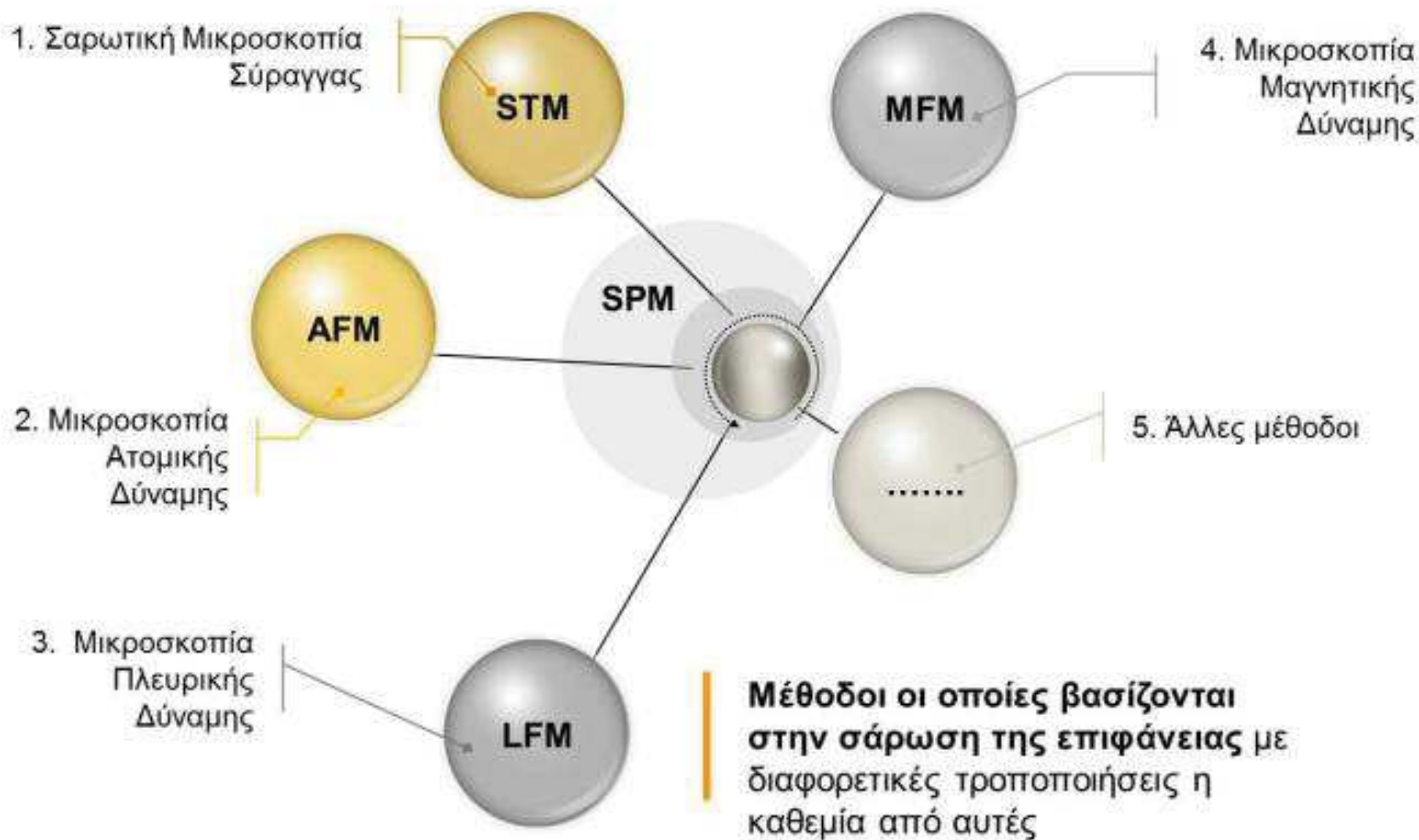






# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM

Αλληλεπίδραση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας δείγματος





# *Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα* *Scanning Probe Microscopy SPM*

- STM** scanning tunneling microscope
- AFM** Atomic force microscope
- FFM (or LFM)** (Lateral or Friction) force microscope
- SEFM** Scanning electrostatic force microscope
- SFAM** scanning force acoustic microscope
- AFAM** atomic force acoustic microscope
- SMM** scanning magnetic microscope
- MFM** magnetic force microscope
- SNOM** scanning near field optical microscope
- SThM** scanning thermal microscope
- SEcM** scanning electrochemical microscope
- SKpM** scanning Kelvin Probe microscope
- SCPM** scanning chemical potential microscope
- SICM** scanning ion conductance microscope
- SCM** scanning capacitance microscope

Family of SPM



# *Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα* *Scanning Probe Microscopy SPM*

Αλληλεπίδραση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας δείγματος

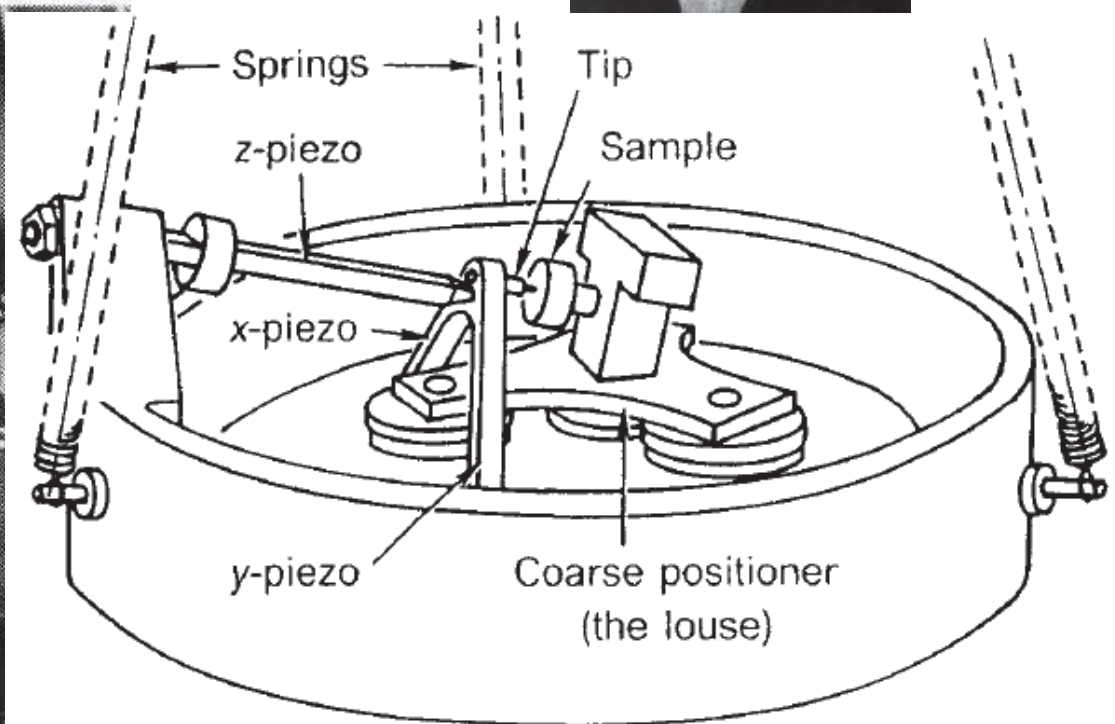
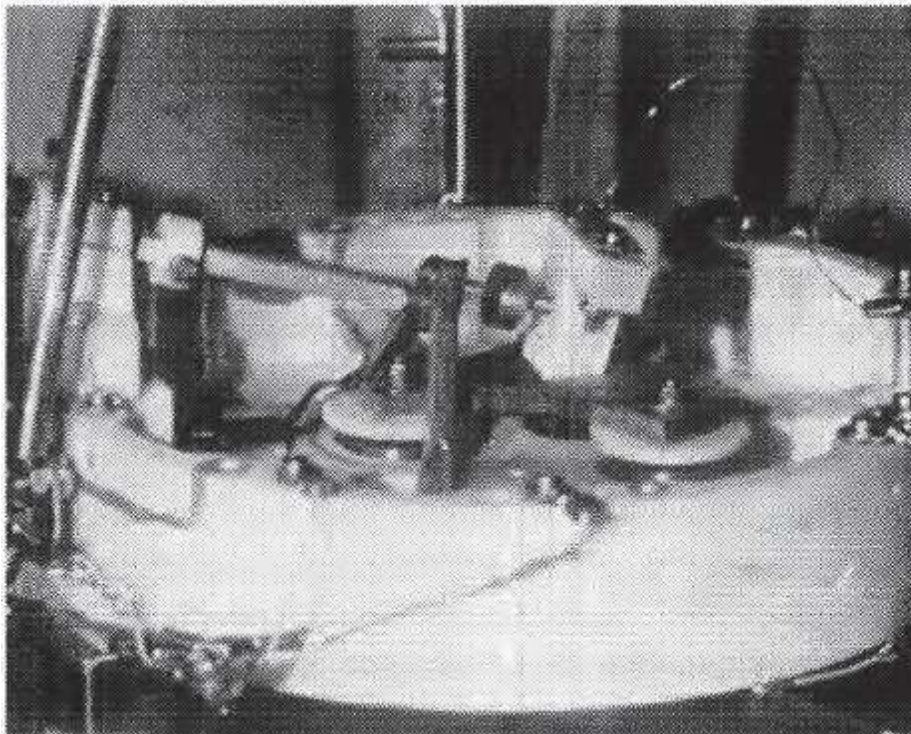
Σαρωτική Μικροσκοπία Σήραγγας  
Scanning Tunneling Microscope (STM)

Μικροσκοπία Ατομικής Δύναμης  
Atomic Force Microscope (AFM)



# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM

- 1981 – Swiss scientists Gerd Binnig and Heinrich Rohrer
- Atomic resolution, simple
- 1986 – Nobel prize





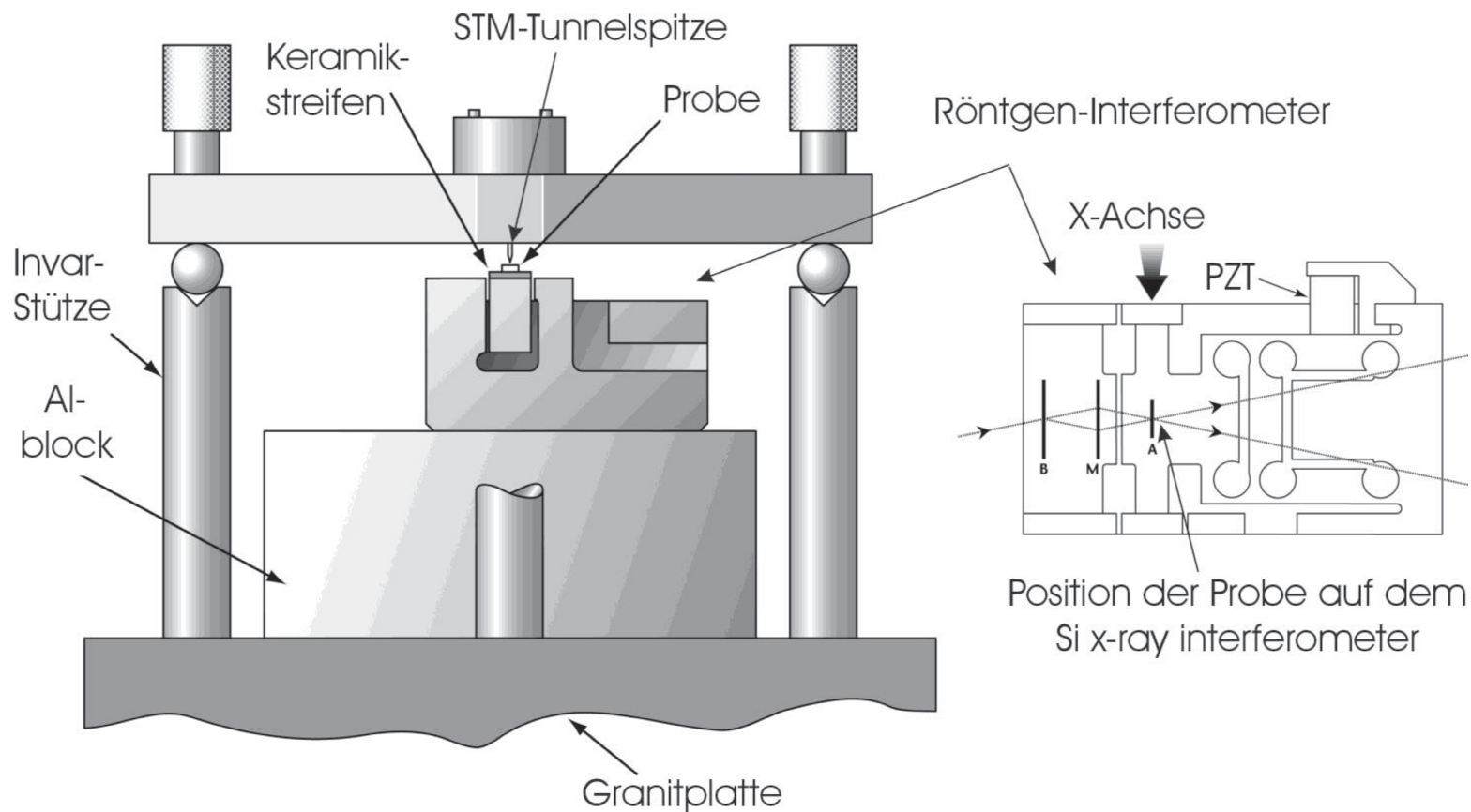
# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM



χρησιμοποιούνται για την μελέτη επιφανειών και για την μελέτη των ιδιοτήτων του υλικού στη τάξη μεγέθους έως μερικά μικρά

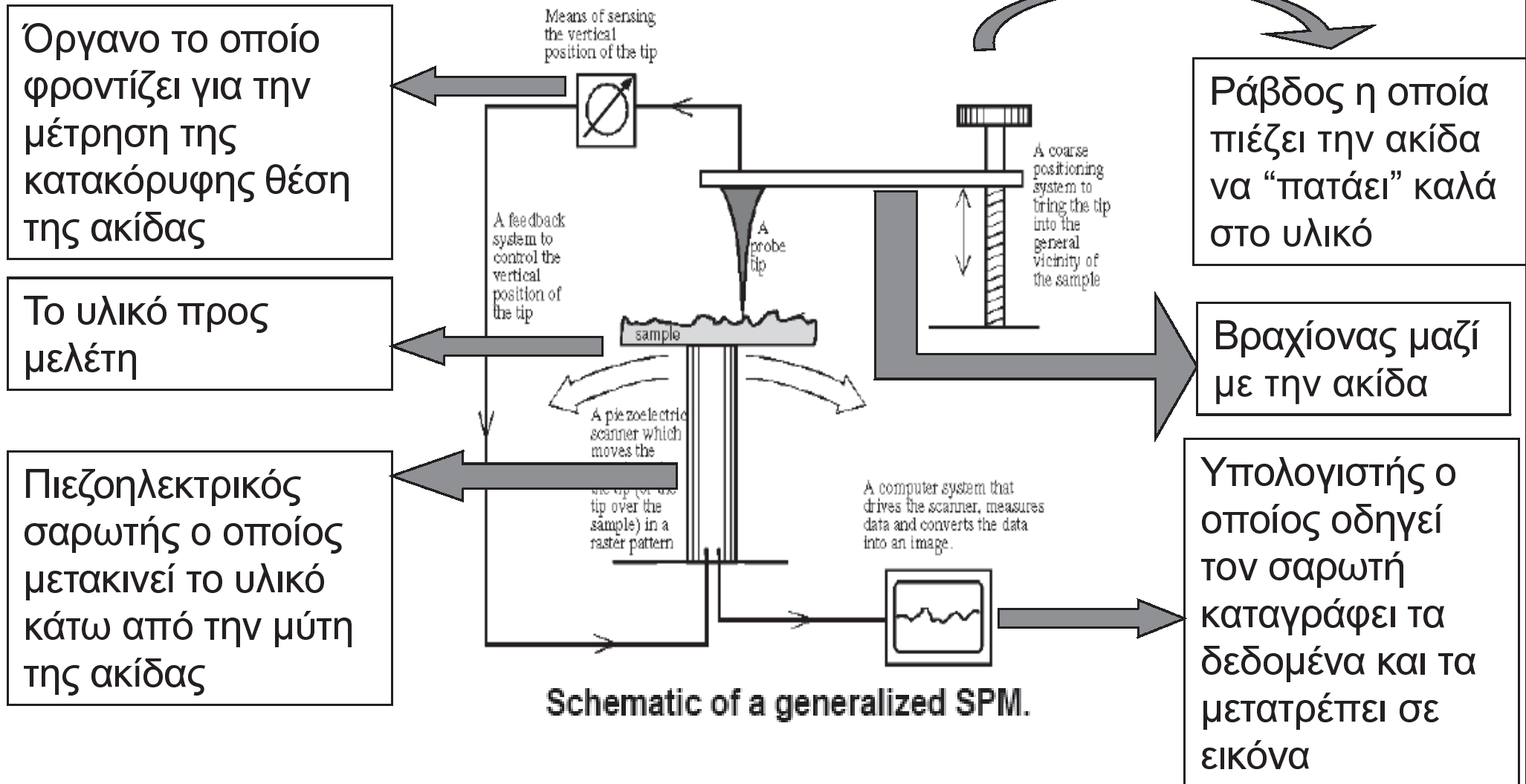


# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM





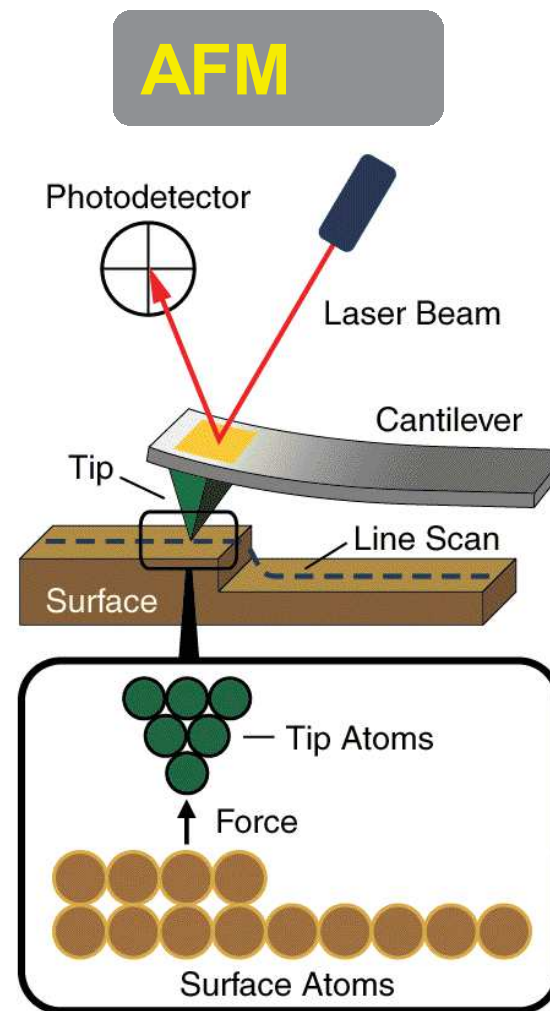
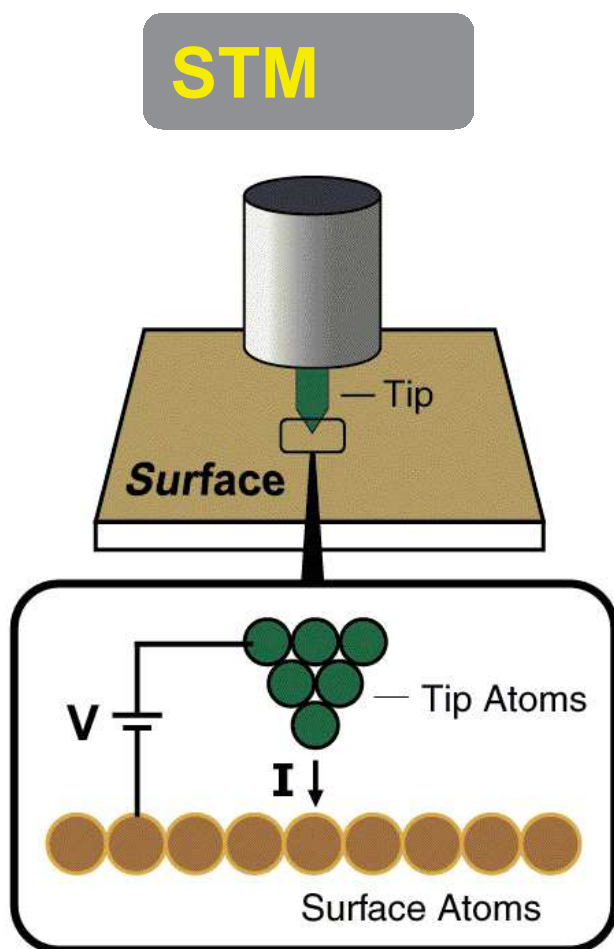
# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM





# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM

Βασικές Αρχές

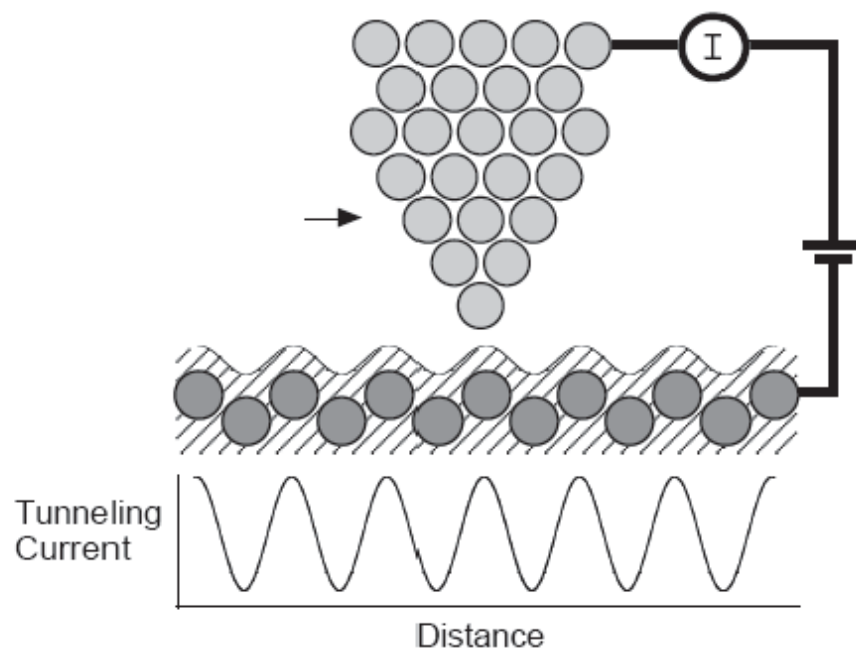
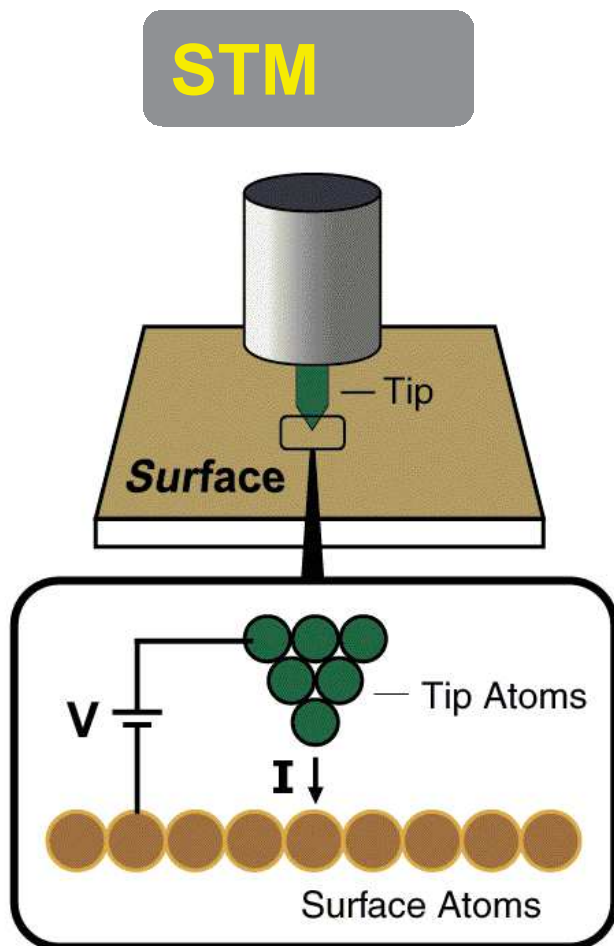






# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM

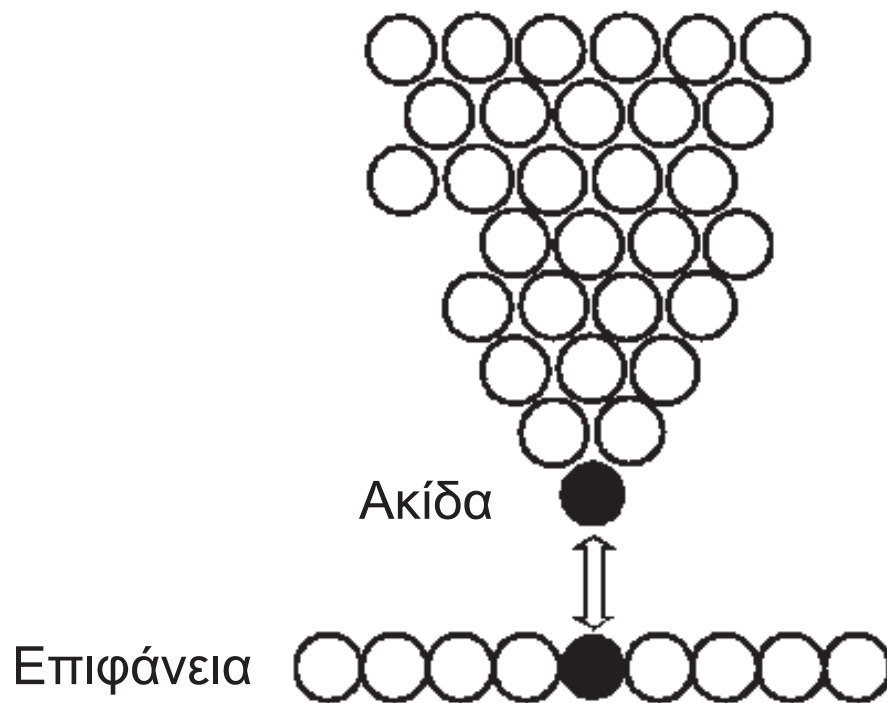
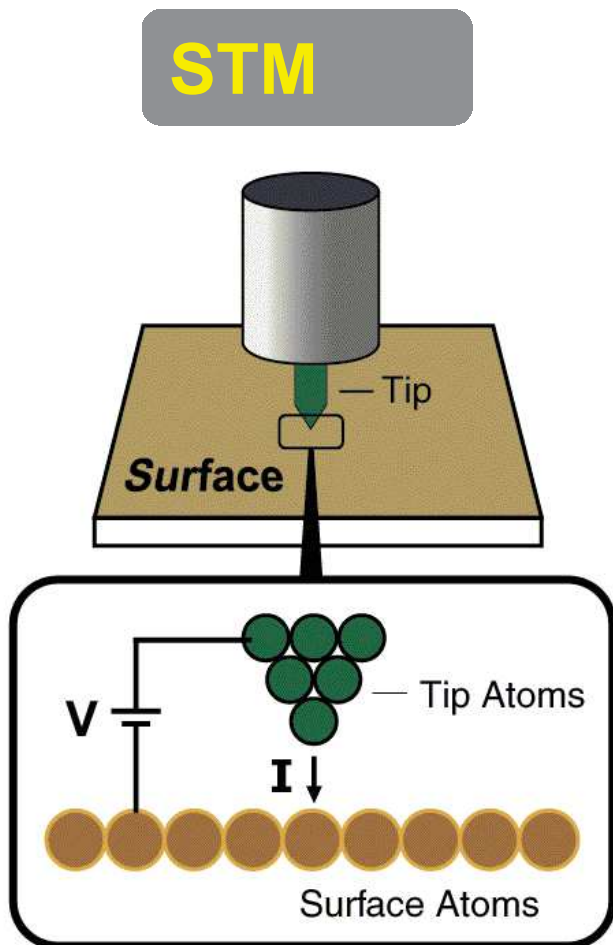
Βασικές Αρχές





# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM

## Βασικές Αρχές

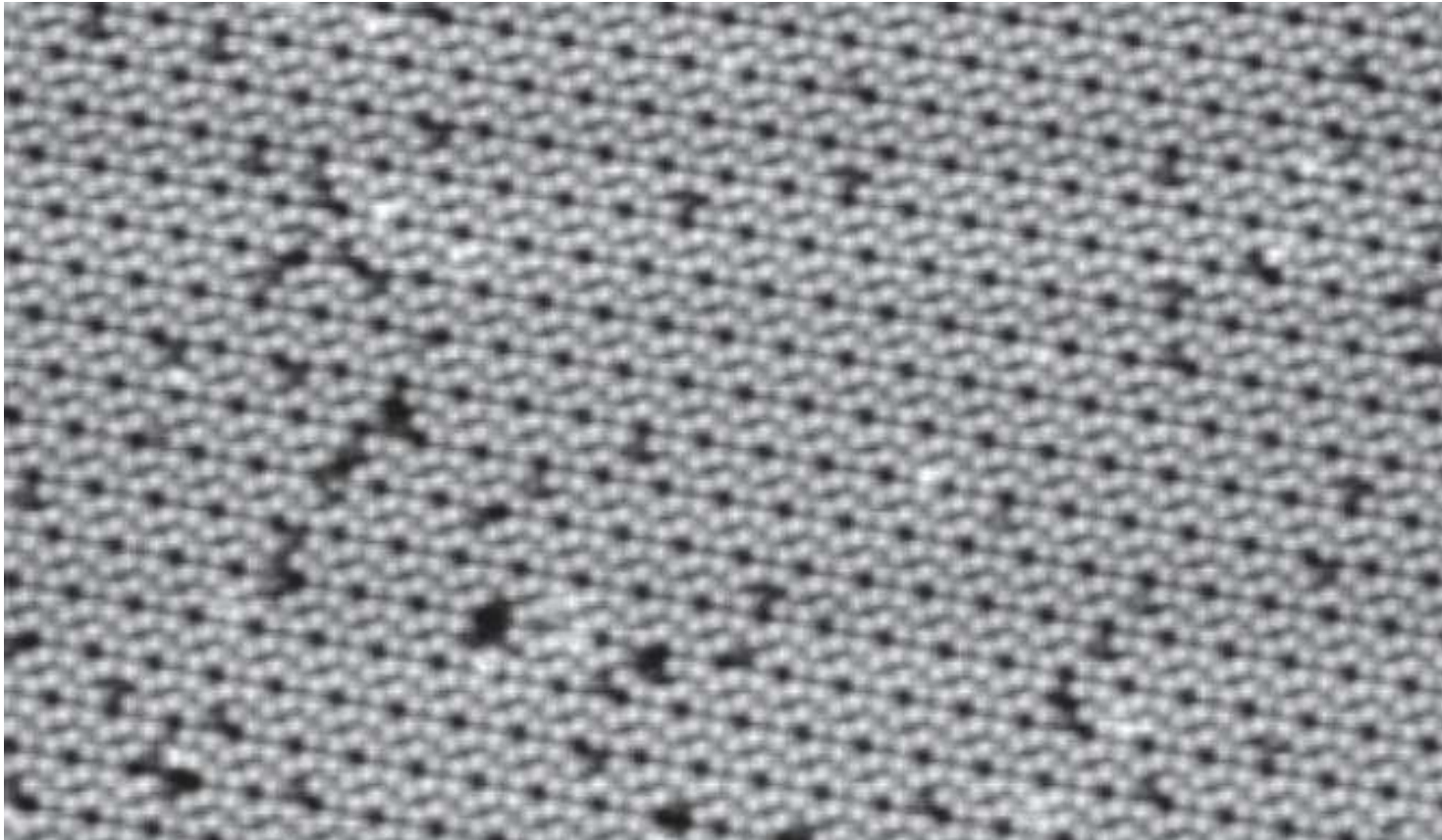


Tunneling current εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας



# Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα Scanning Probe Microscopy SPM

Παράδειγμα



**Fig. 1.4.** Example of an STM image with atomic resolution. The image shows an atomic-resolution image of the  $5 \times 5$  reconstruction of the Si(111) surface. Individual atoms, defects and vacancies are visible. Reproduced with kind permission from Dr. Randall Feenstra.



# *Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακίδα* *Scanning Probe Microscopy SPM*

**Ανάγκες**

**μη αγώγιμα δείγματα**

**Δονητικές παρεμβολές (Vibrational interference)**

**Φυσικές** (σκόνη και ρύποι από τον αέρα)

**& Χημικές βρωμιές** (χημική δραστηριότητα)

# ΣΑΡΩΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ SCANNING TUNNELING MICROSCOPY (STM)

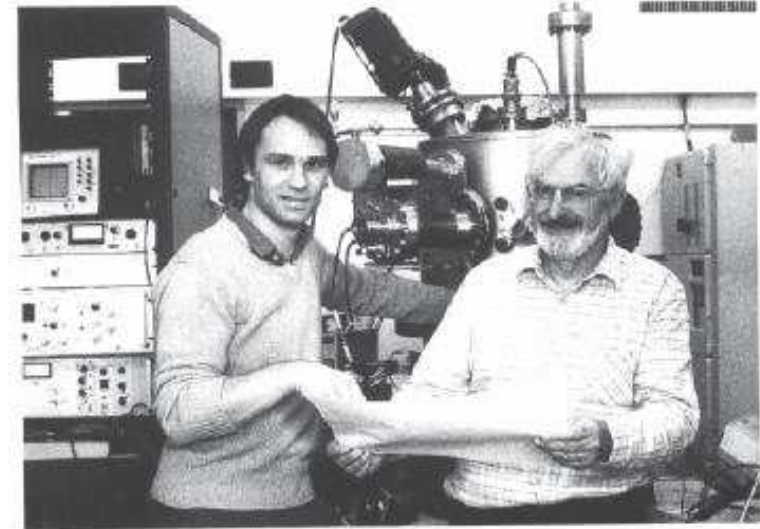
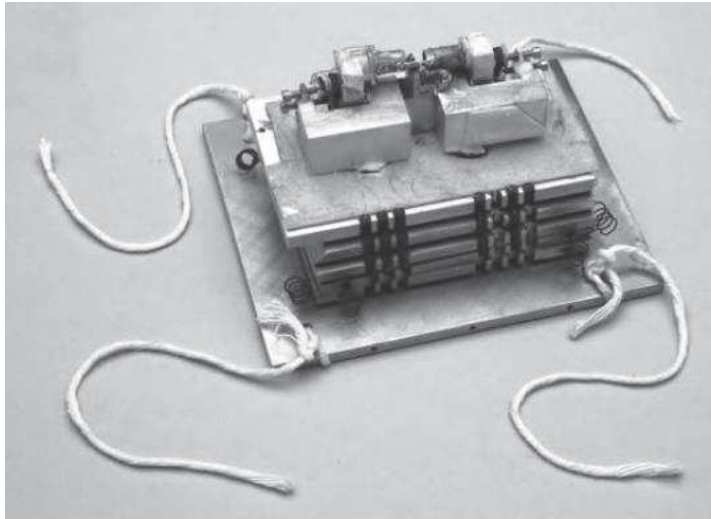
## Ανάγκες

Ανάγκη για την κατασκευή ενός μικροσκοπίου το οποίο θα παρέχει ατομική ανάλυση και σε **μη αγώγιμα δείγματα**

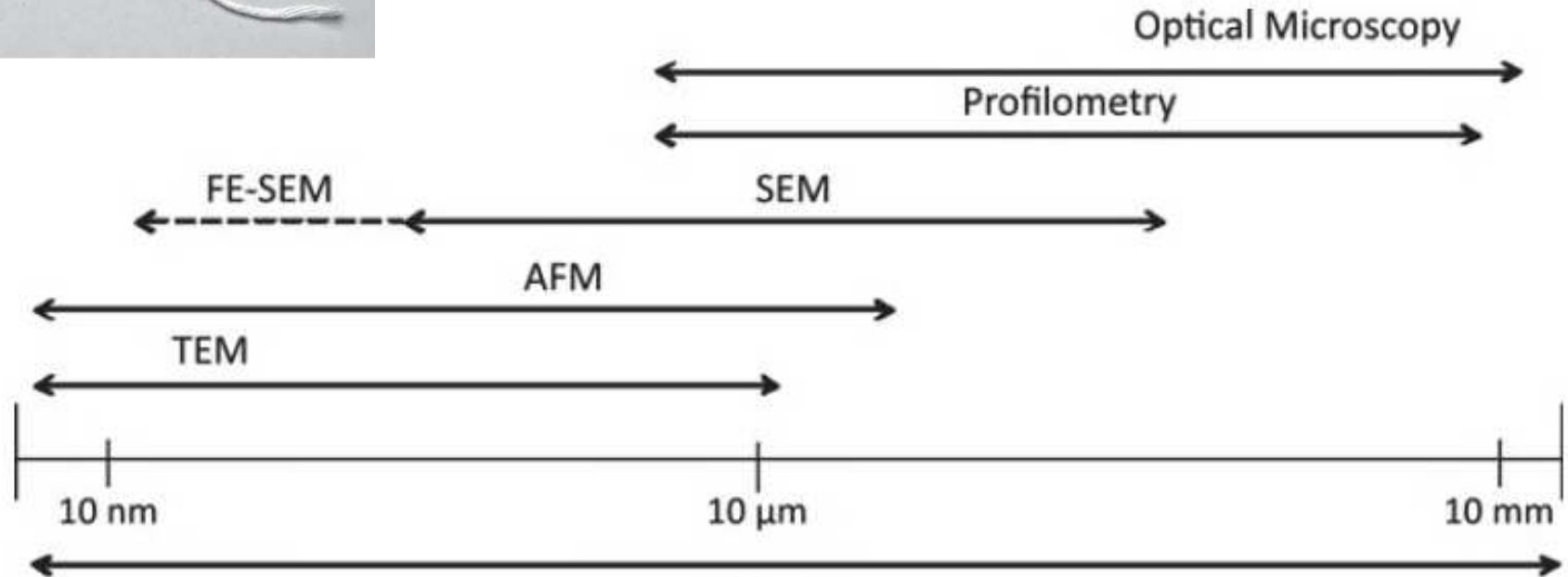
- **Δονητικές παρεμβολές (Vibrational interference)**
- **Φυσικές** (σκόνη και ρύποι από τον αέρα)
- **& Χημικές βρωμιές** (χημική δραστηριότητα)



# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης *Atomic Force Microscopy AFM*



Gerd Binnig (left) and Heinrich Rohrer (right) who were awarded the Nobel Prize for their invention of the scanning tunneling microscope.





# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης *Atomic Force Microscopy AFM*

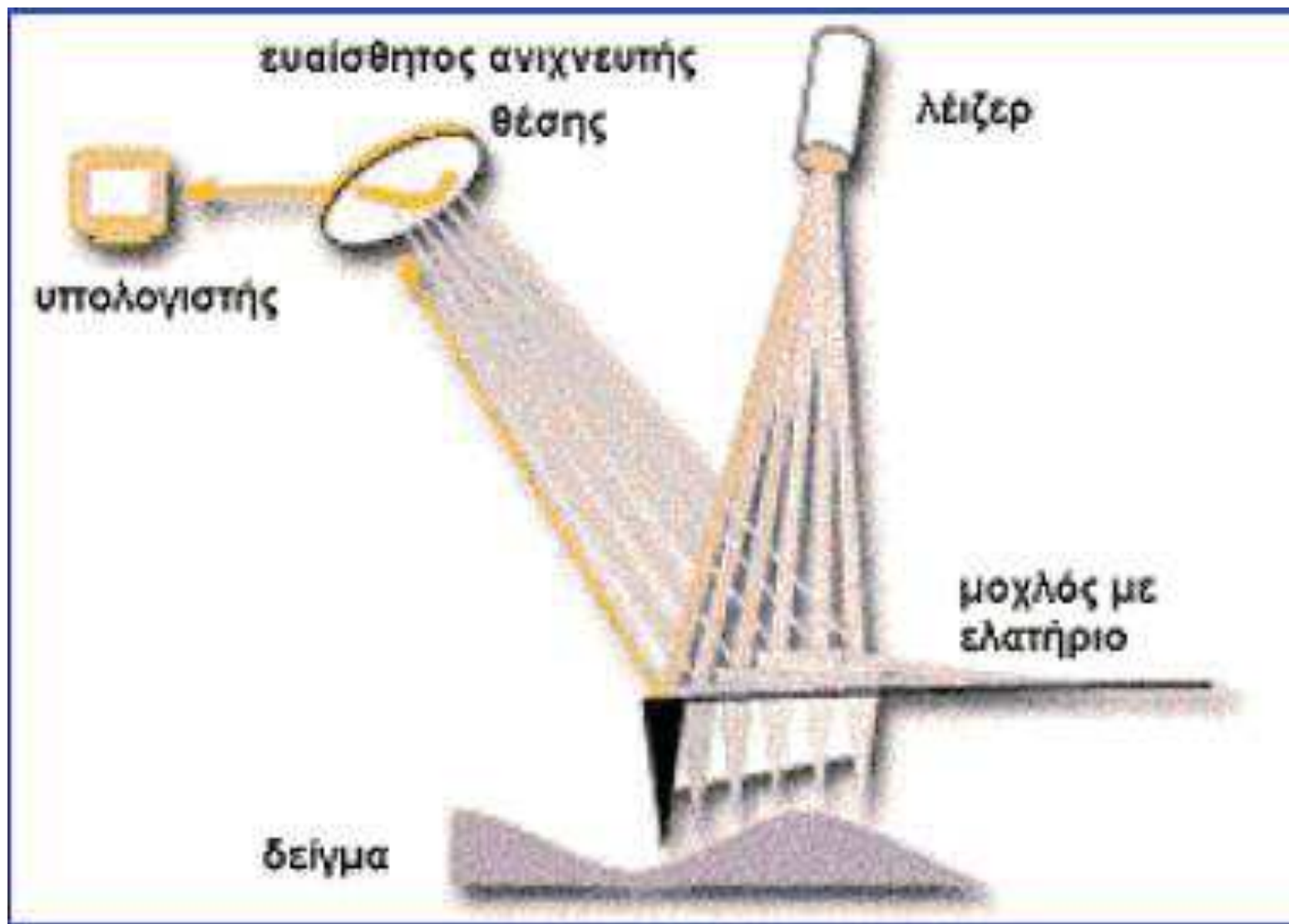
**Table 1.1.** Comparison of AFM with SEM and TEM.

	AFM	SEM	TEM
Sample preparation	little or none	from little to a lot	from little to a lot
Resolution	0.1 nm	5 nm	0.1 nm
Relative cost	low	medium	high
Sample environment	any	vacuum(SEM) or gas (environmental SEM)	vacuum
Depth of field	poor	good	poor
Sample type	Conductive or insulating	conductive	conductive
Time for image	2–5 minutes	0.1–1 minute	0.1–1 minute
Maximum field of view	100 $\mu\text{m}$	1 mm	100 nm
Maximum sample size	unlimited	30 mm	2 mm
Measurements	3 dimensional	2 dimensional	2 dimensional



# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης Atomic Force Microscopy AFM

Βασικά Μέρη



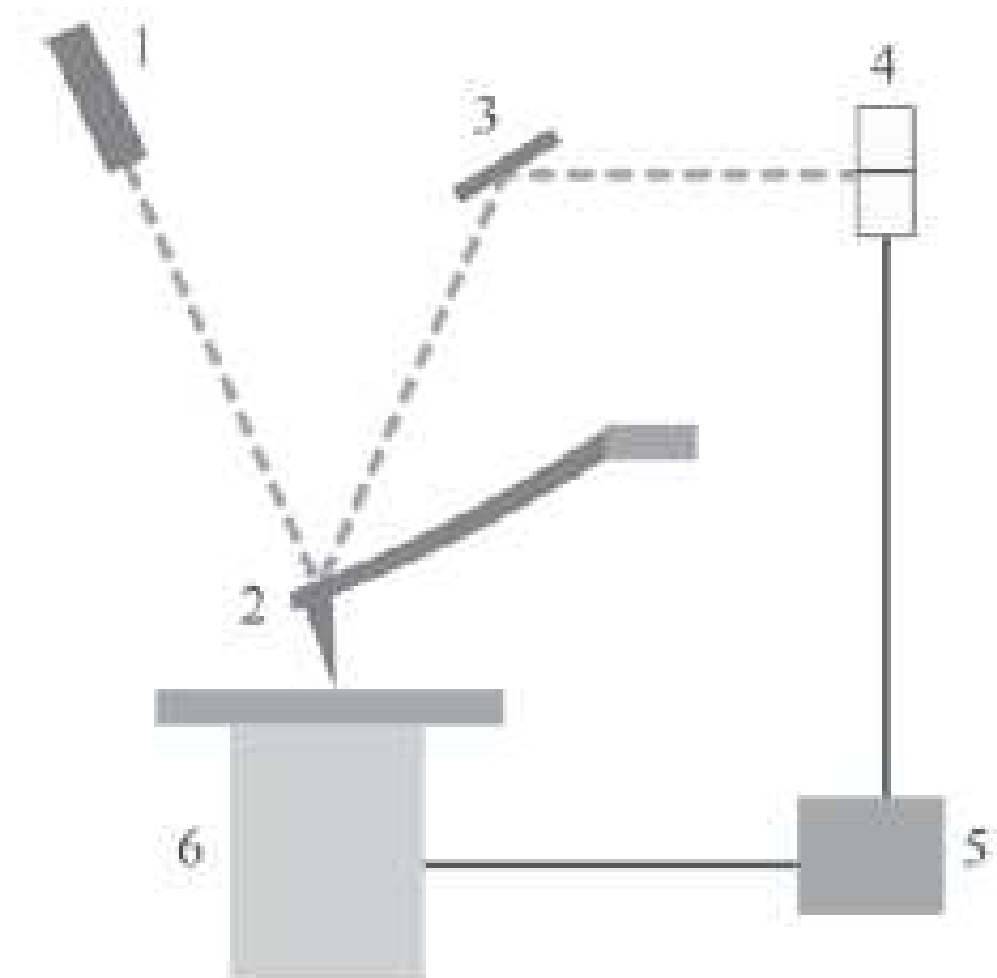




# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης Atomic Force Microscopy AFM

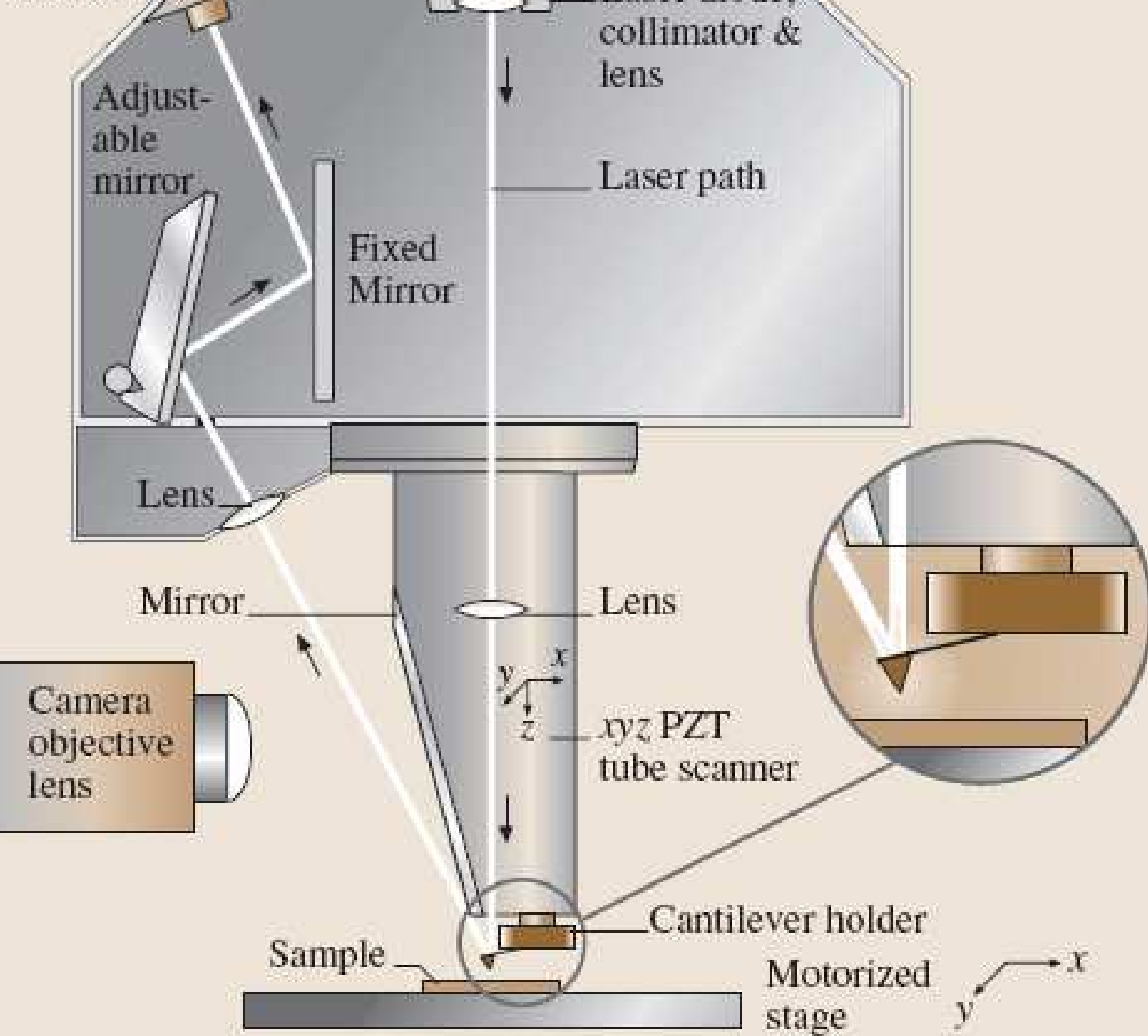
Βασικά Μέρη

- 1. Laser
- 2. Εύκαμπτος βραχίονας (cantilever)
- 3. Κάτοπτρο
- 4. Φωτοανιχνευτής
- 5. Ηλεκτρονικό κύκλωμα
- 6. Scanner with sample



b)

Split-diode photo-detector

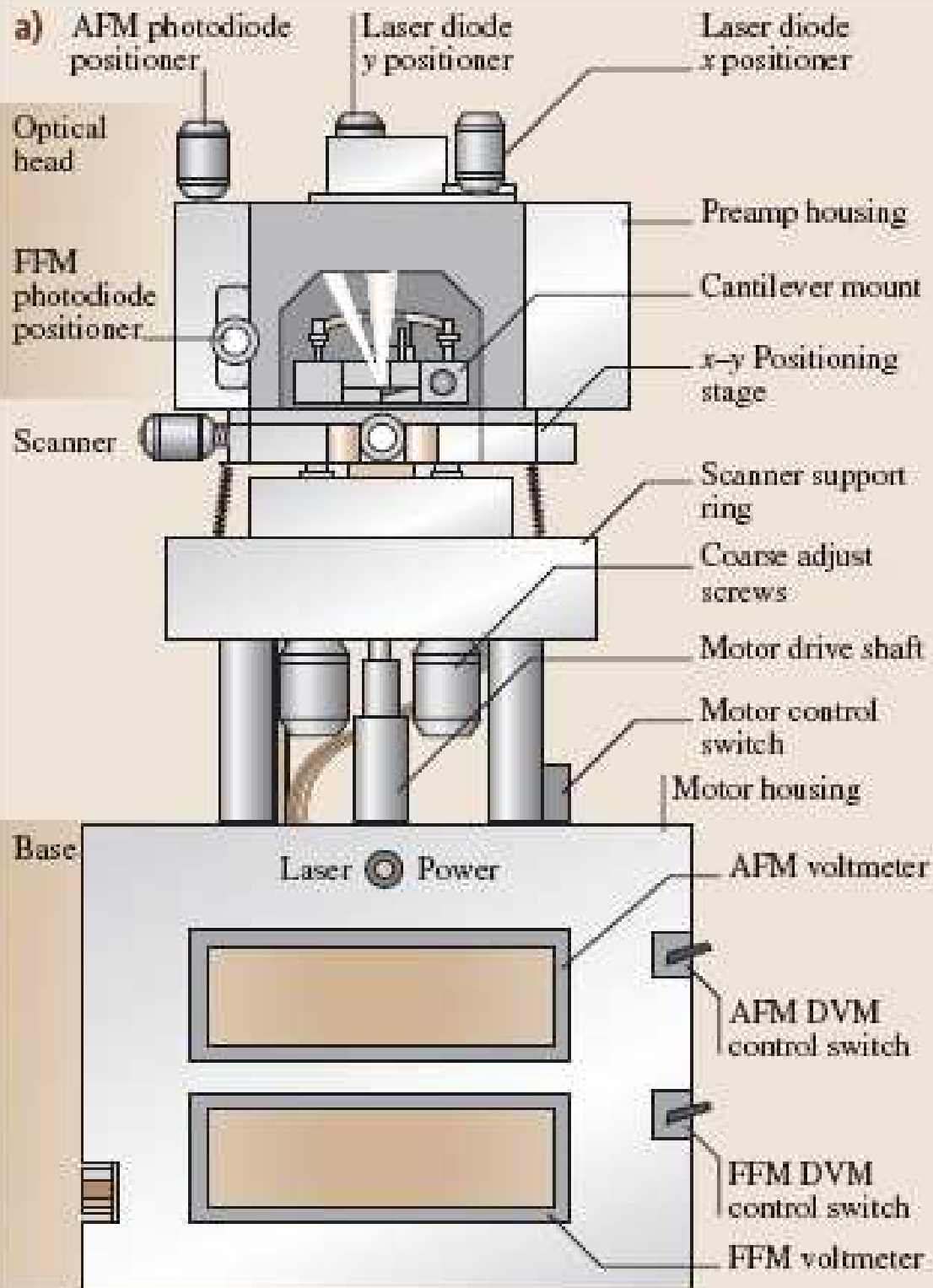


# Ατομικής Δύναμης Microscopy AFM

Ανατομία AFM

# Όπιο Ατομικής Δύναμης Force Microscopy AFM

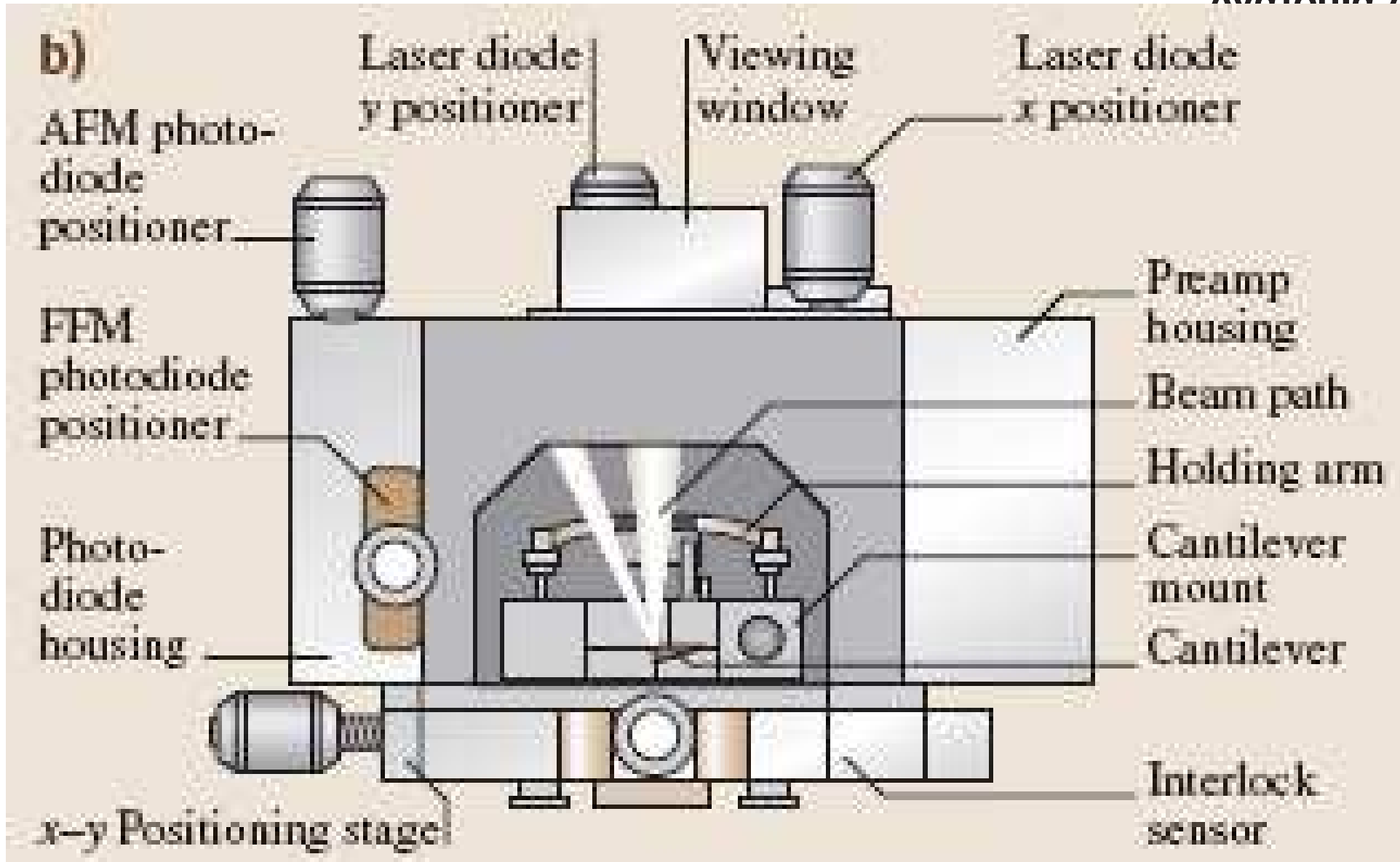
## Ανατομία AFM





# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης Atomic Force Microscopy AFM

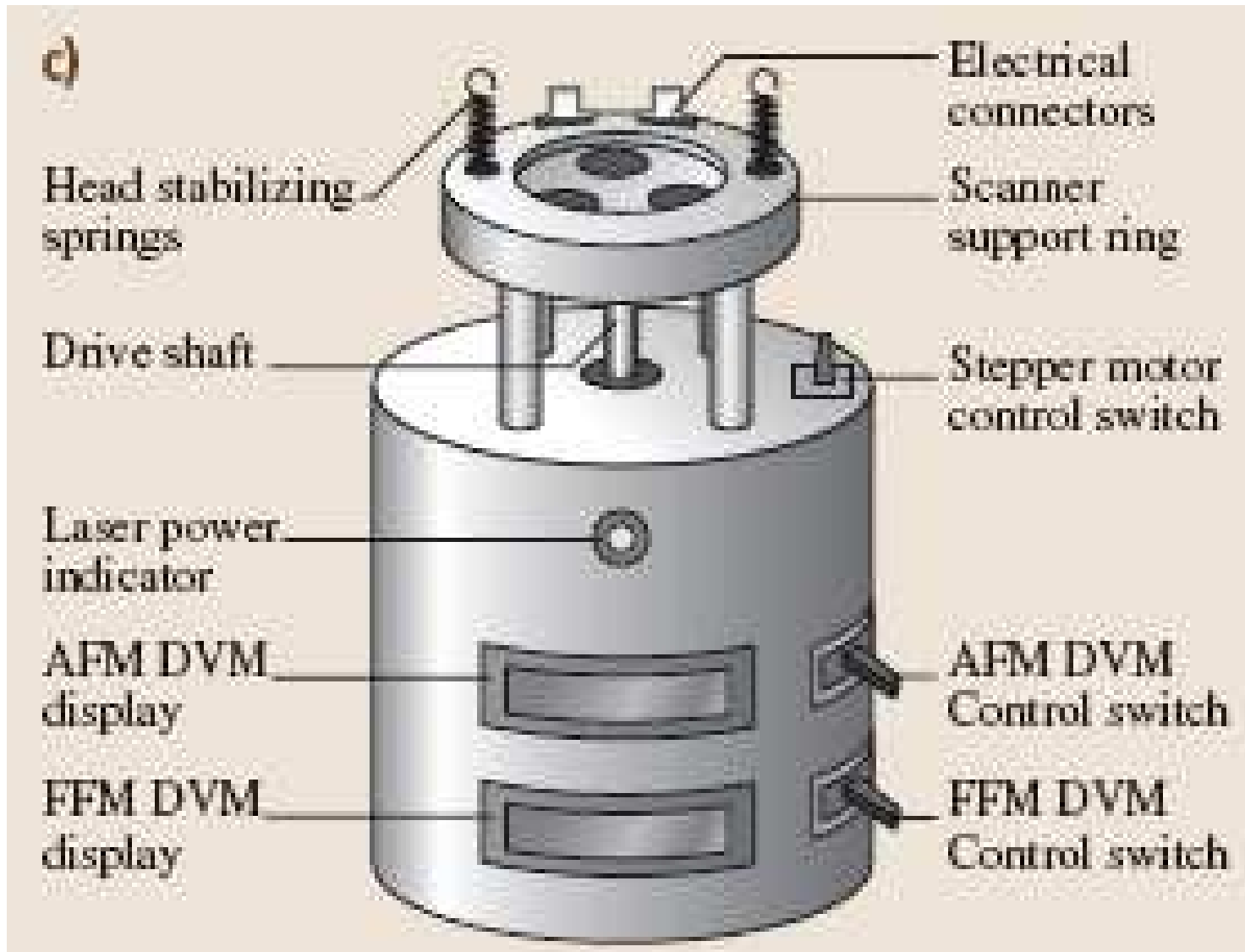
Λειτουργία AFM





# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης *Atomic Force Microscopy AFM*

Ανατομία AFM





# *Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης* *Atomic Force Microscopy AFM*

Ανατομία AFM

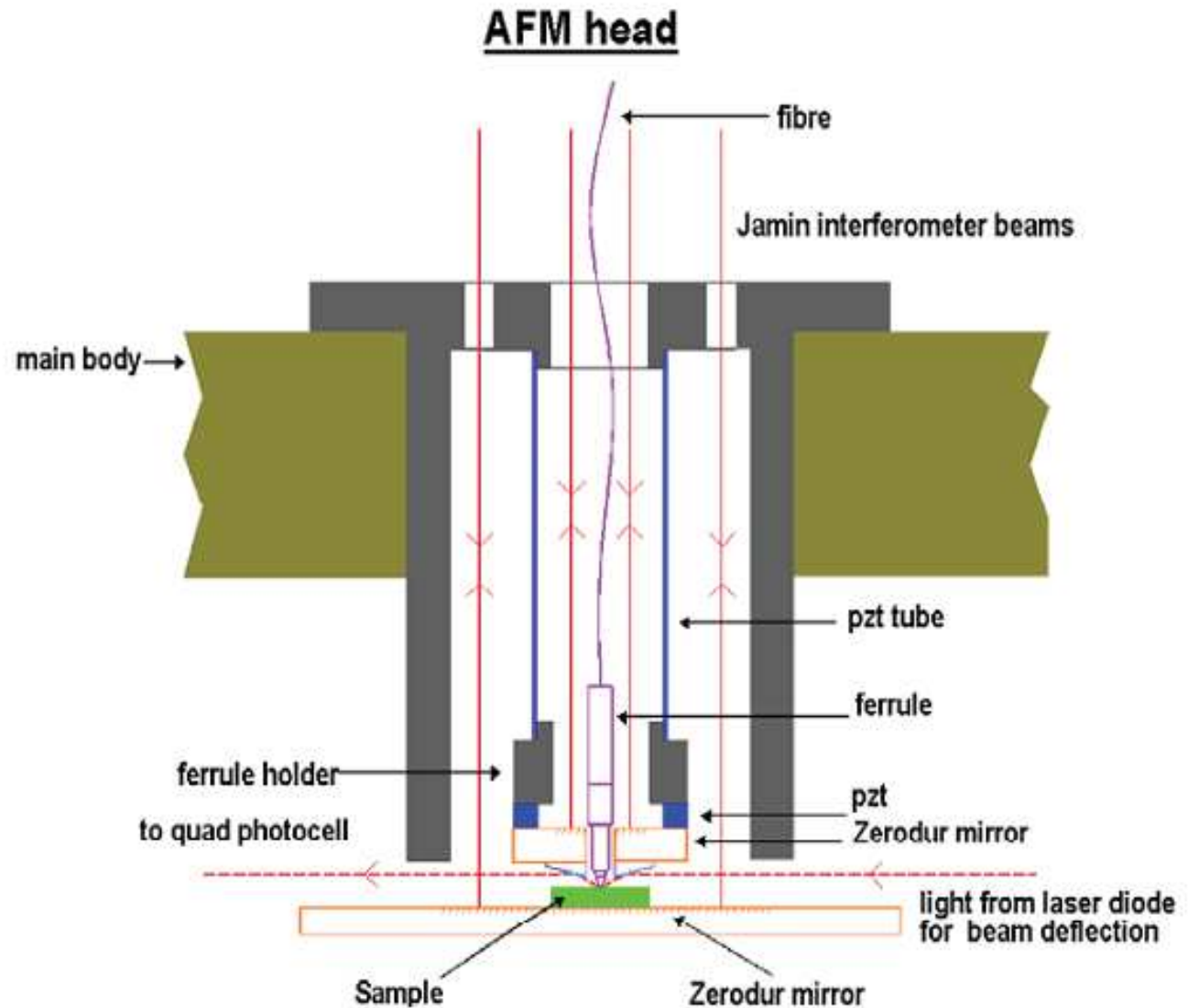
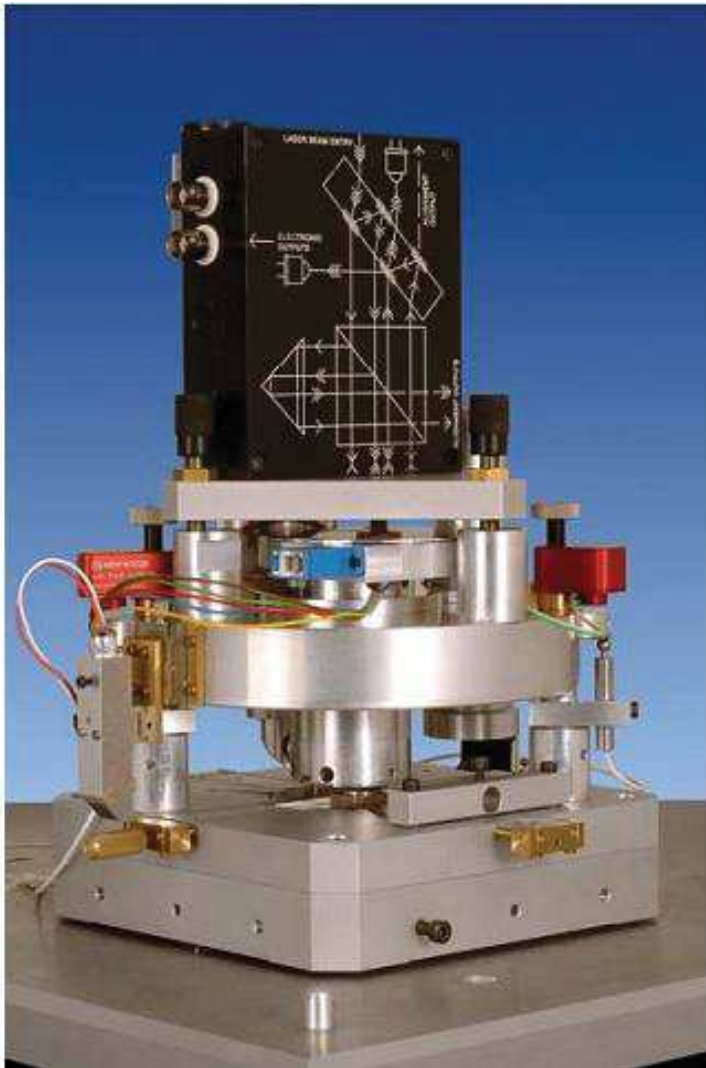


**ΟΠΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ, Φ-277**



# Μικροσκόπιο Ατομικής Δύναμης *Atomic Force Microscopy AFM*

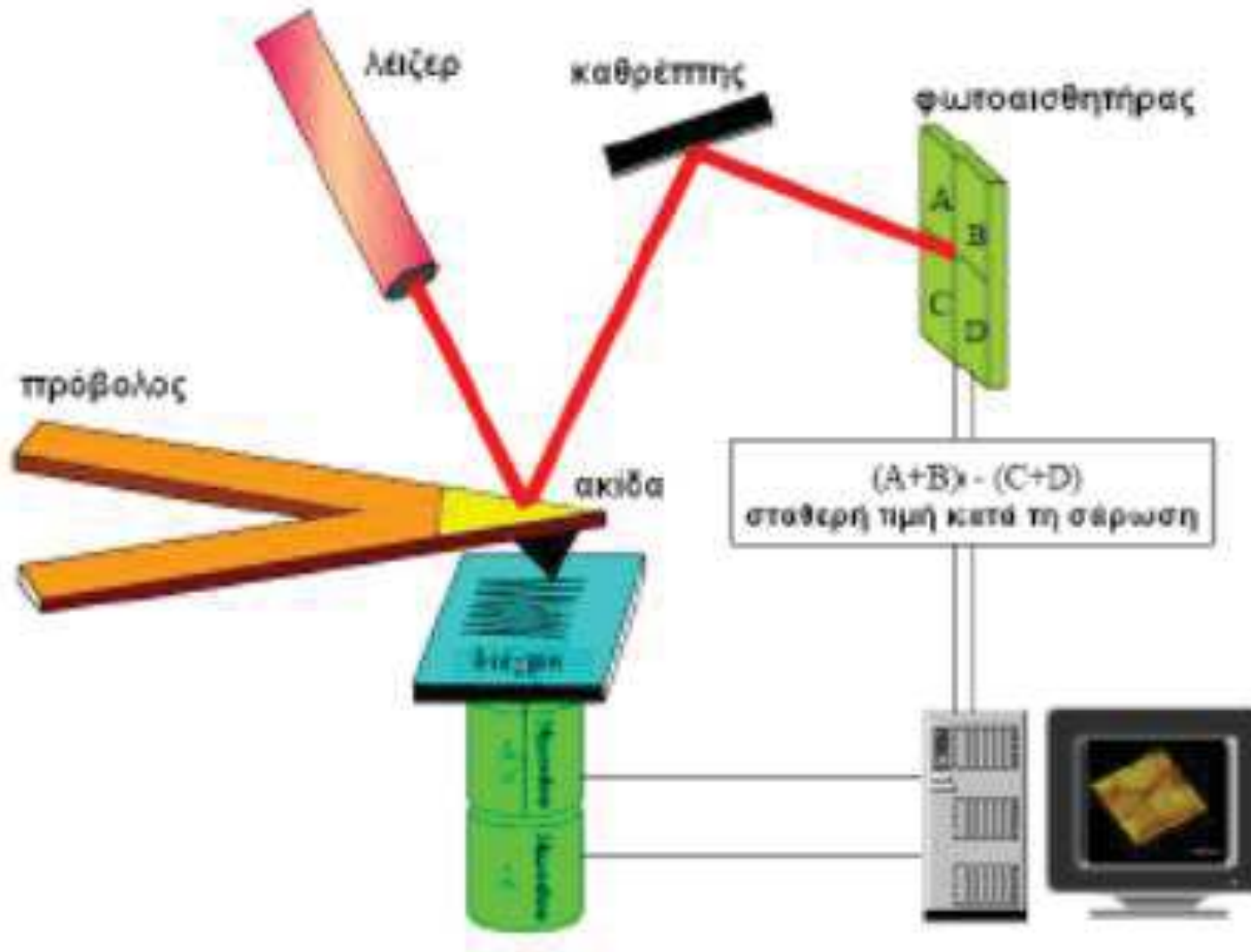
Ανατομία AFM



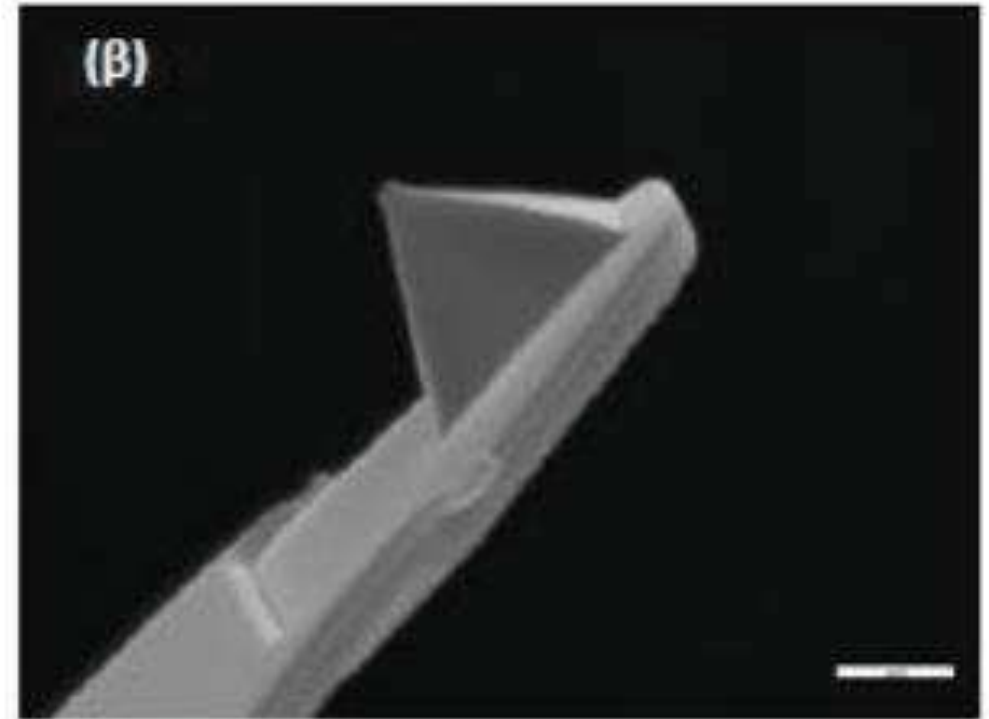
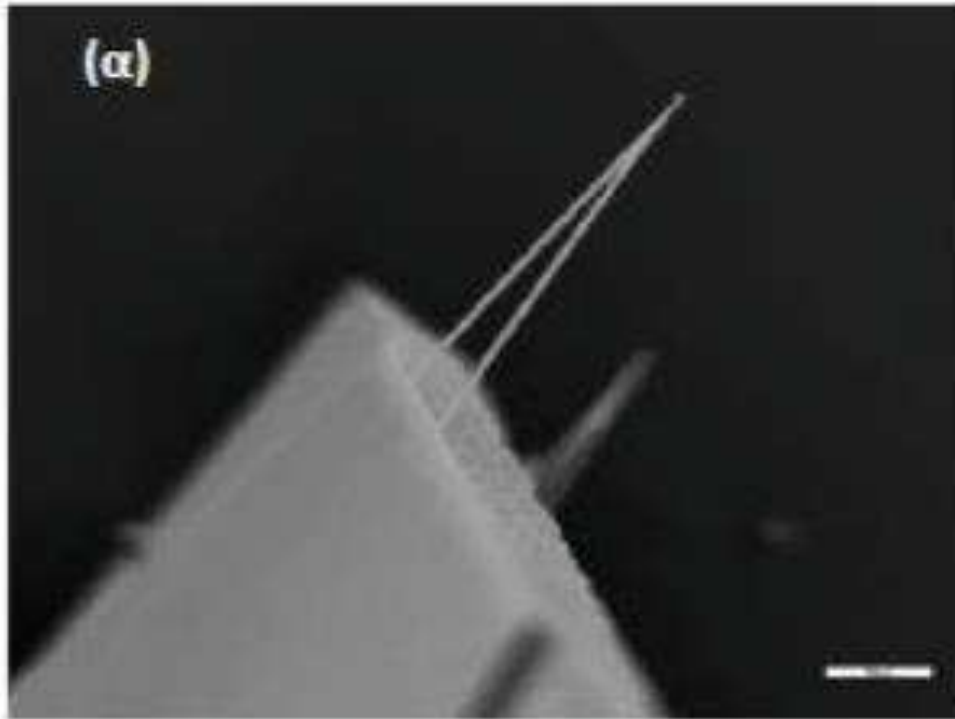


# Αρχή Λειτουργίας | AFM

Αλληλεπίδραση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας δείγματος







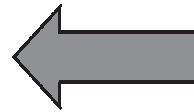
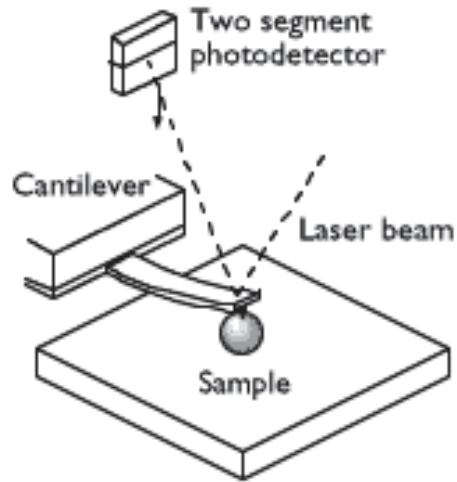
Εικόνες  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ακίδων AFM από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM). (α) Διακρίνονται οι τριγωνικοί πρόβολοι δυο από τις τέσσερις ακίδες, οι οποίες υπάρχουν σε κάθε φορέα/τεμάχιο. (β) Εστίαση σε μία από τις ακίδες. Διακρίνεται η πυραμοειδής μορφή της.



# Αρχή Λειτουργίας | AFM

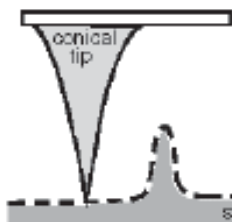
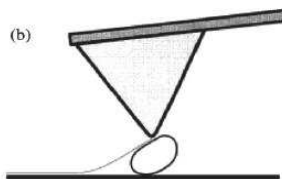
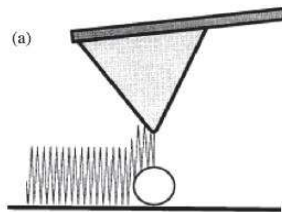
Ακίδα

Atomic force microscopy



Μέσω της ακίδας ανιχνεύουμε την επιφάνεια του δείγματος

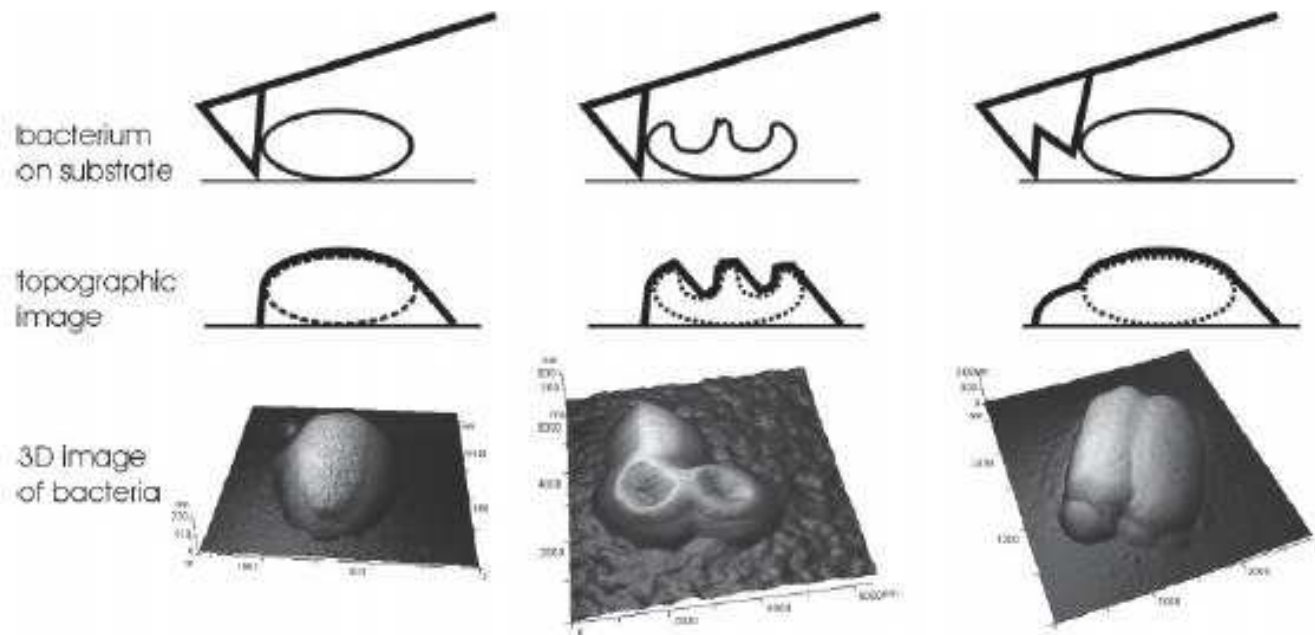
- Μήκος βραχίονα → 25-300 μm
- Πλάτος → 10-30 μm
- Πάχος → 0.5-3 μm
- Υλικό → Si ή Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>



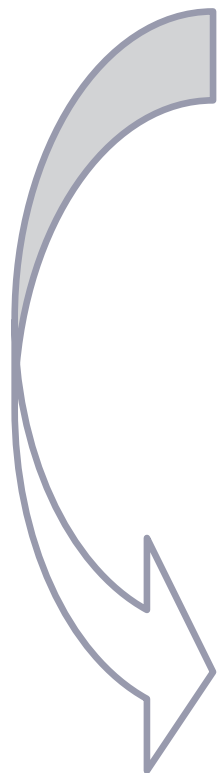
Ο βραχίονας μπορεί να είναι είτε μονός είτε τριγωνικός (δηλ. με δυο μπράτσα)

# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

**Ακίδα**



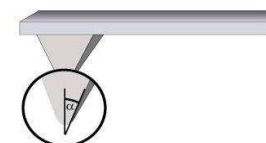
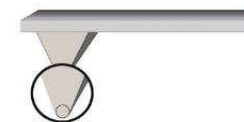
**Παράδειγμα σε  
κάποια βακτήρια**



**Μικρή Διάμετρος  
Ακίδας**

•Μεγάλη Ανάλυση  
(αιχμηρή μύτη)

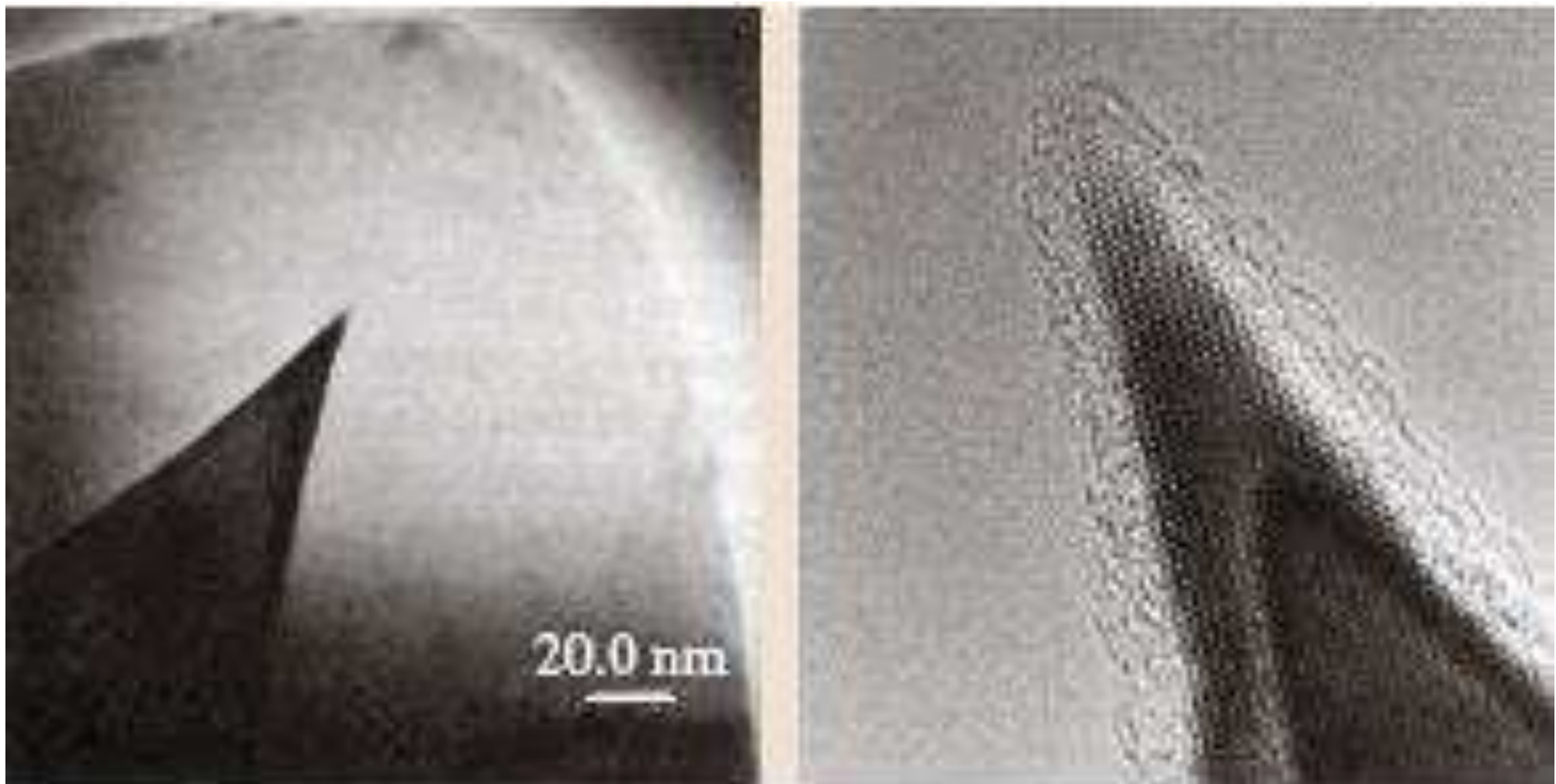
•Βαθιά και στενή  
μορφολογία  
(μικρότερη επιφάνεια)



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

**Ακίδα**

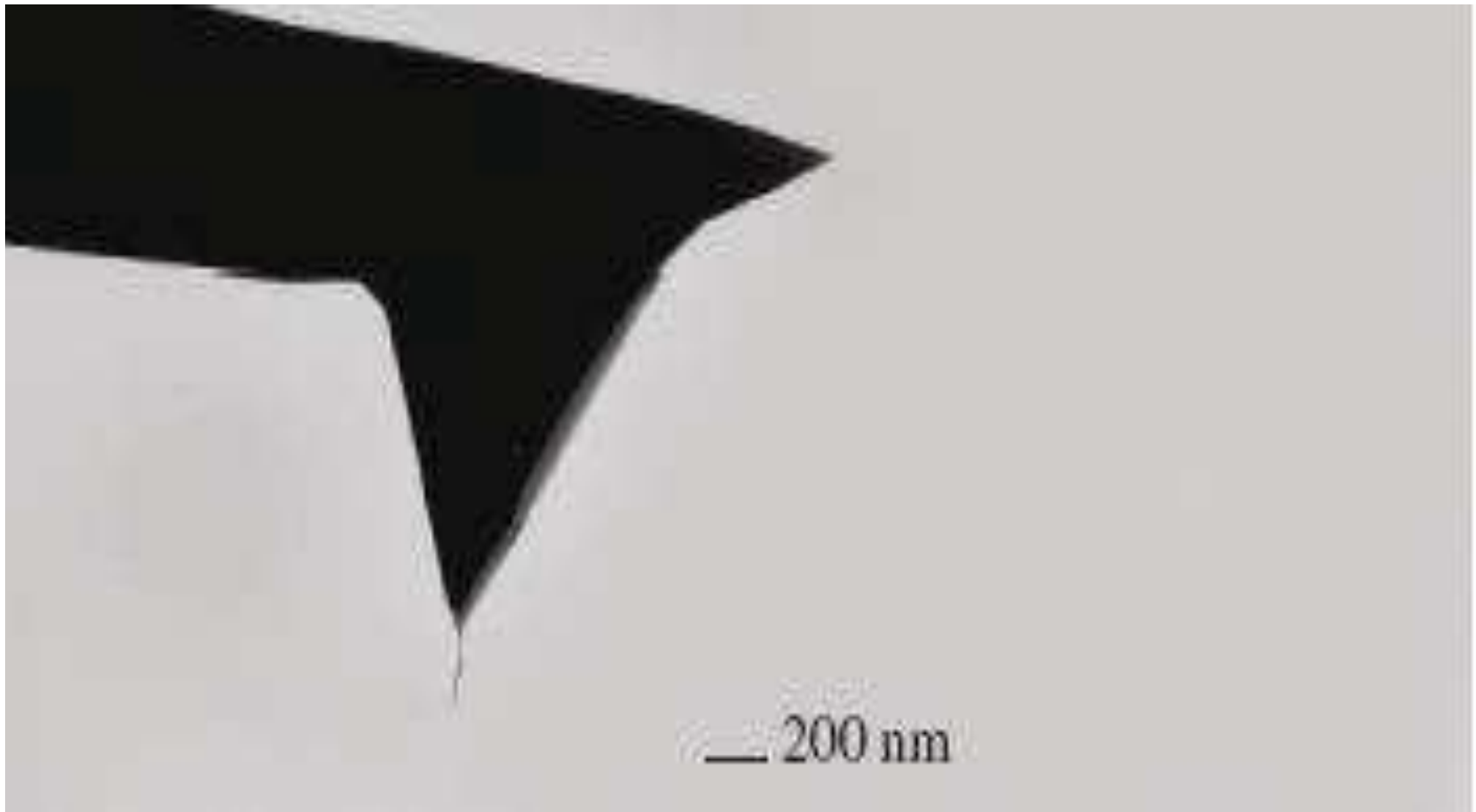
Oxide sharpening of silicon tips



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

**Ακίδα**

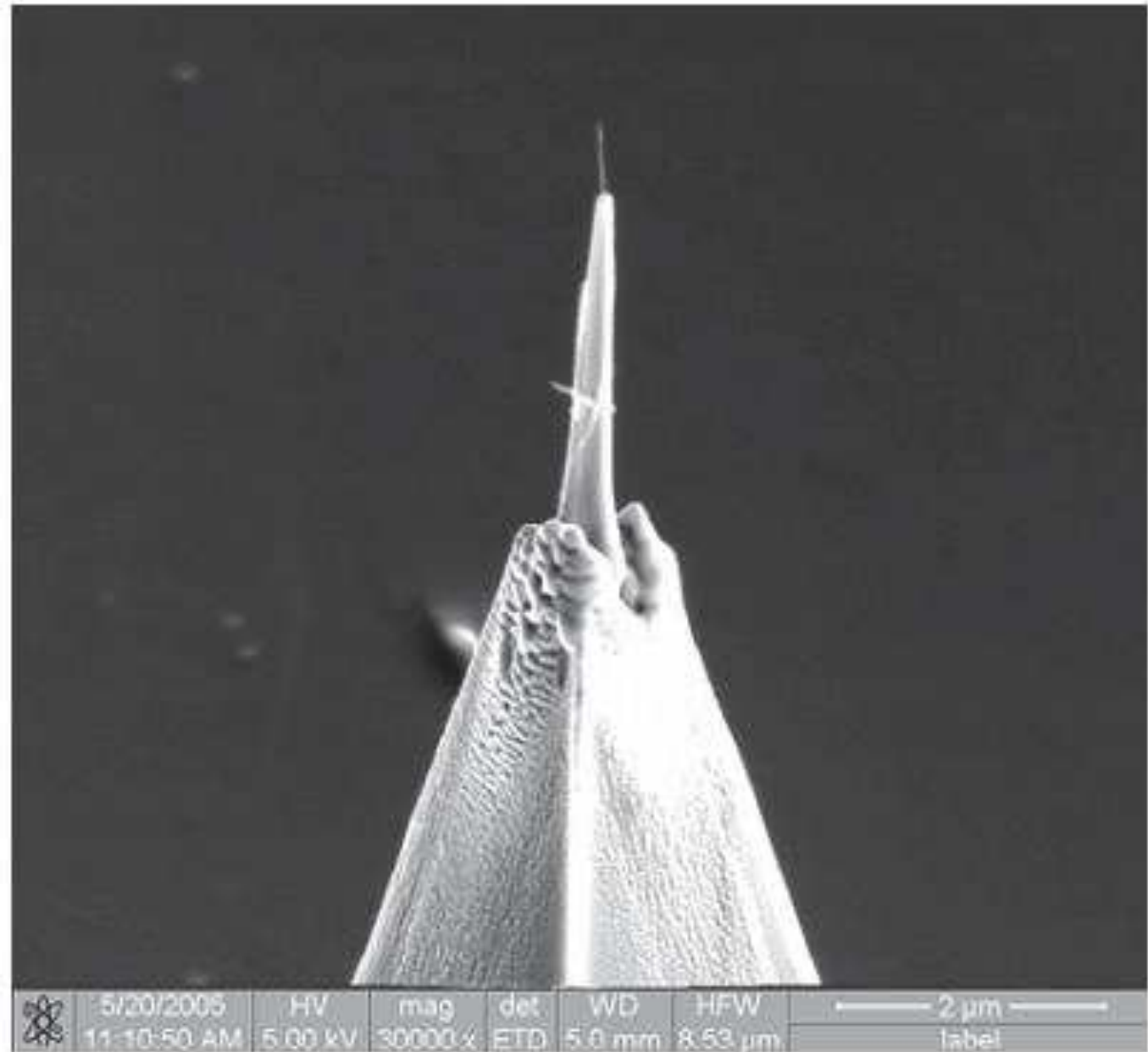
## Carbon Nanotube Tips



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

**Ακίδα**

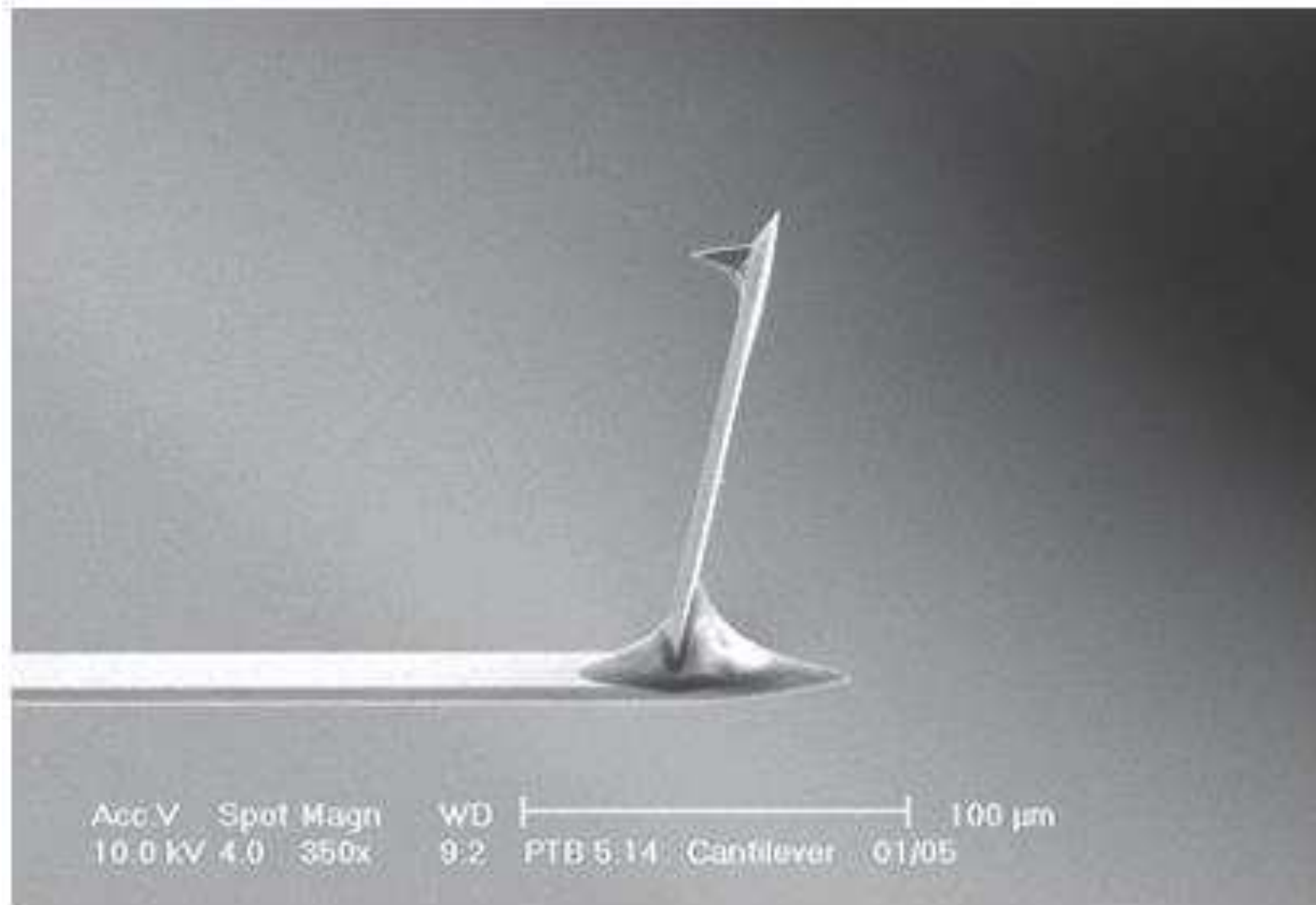
## Carbon Nanotube Tips



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

**Ακίδα**

Assembled Cantilever Probe (ACP)



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

**Ακίδα**

A mechanically cut STM tip (left) and an electrochemically etched STM tip (right)

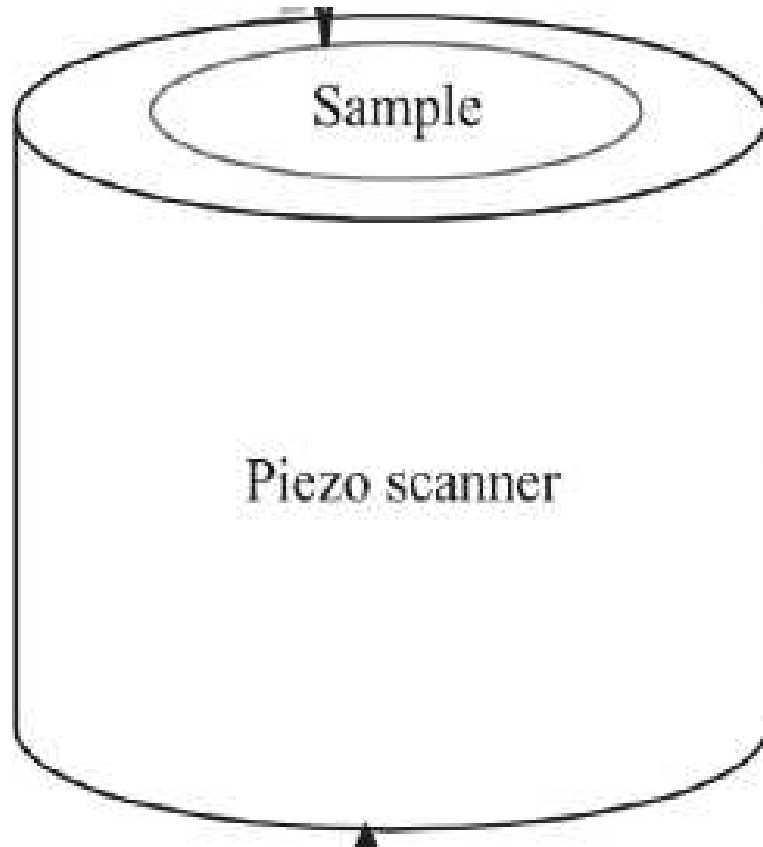






# Αρχή Λειτουργίας | AFM

Σαρωτής - Scanner



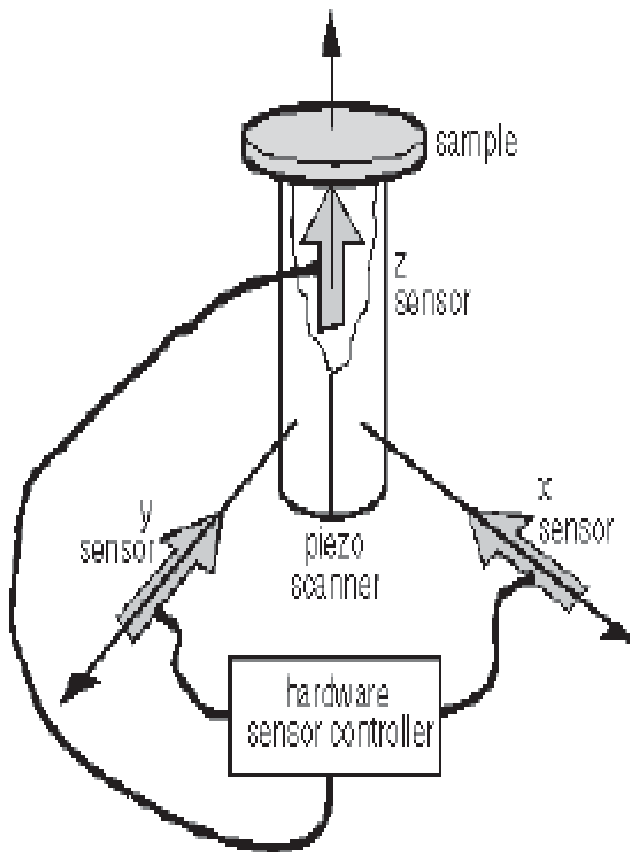
Ο πιεζοηλεκτρικός σαρωτής είναι υπεύθυνος για την καταγραφή της επιφάνειας στους **άξονες X και Y**

Πως γίνεται αυτό;



# Αρχή Λειτουργίας | AFM

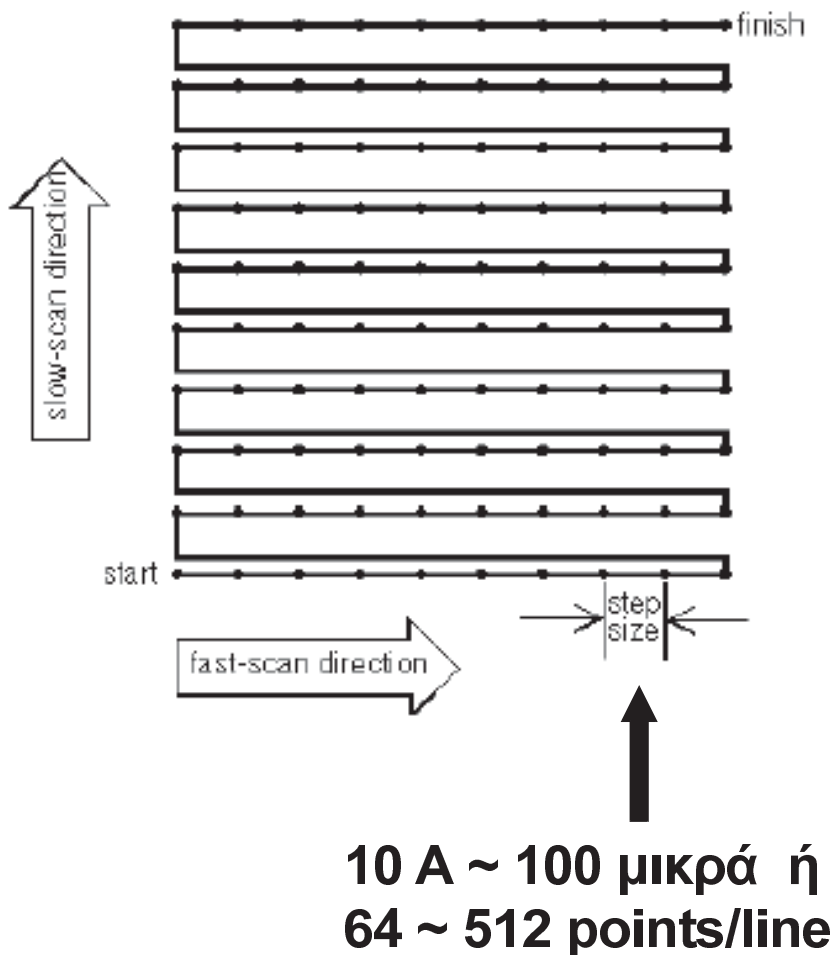
## Σαρωτής - Scanner



- Ο πιεζοηλεκτρικός σαρωτής μετακινεί την επιφάνεια προς μελέτη κάτω από την αιχμή της ακίδας.
- Μόλις η αιχμή της ακίδας βρει μια ανωμαλία στην επιφάνεια υπάρχει μια αλλαγή της δύναμης την οποία δέχεται ο πιεζοηλεκτρικός σαρωτής.
- Οι συντεταγμένες κατά τους άξονες x,y είναι γνωστές από τη θέση του σαρωτή.
- Μέσω του μηχανισμού ανατροφοδότησης μετρούνται αυτές οι δυνάμεις και μέσω του υπολογιστή δημιουργείται η εικόνα του αντικειμένου μελέτης



### Τυπική σάρωση



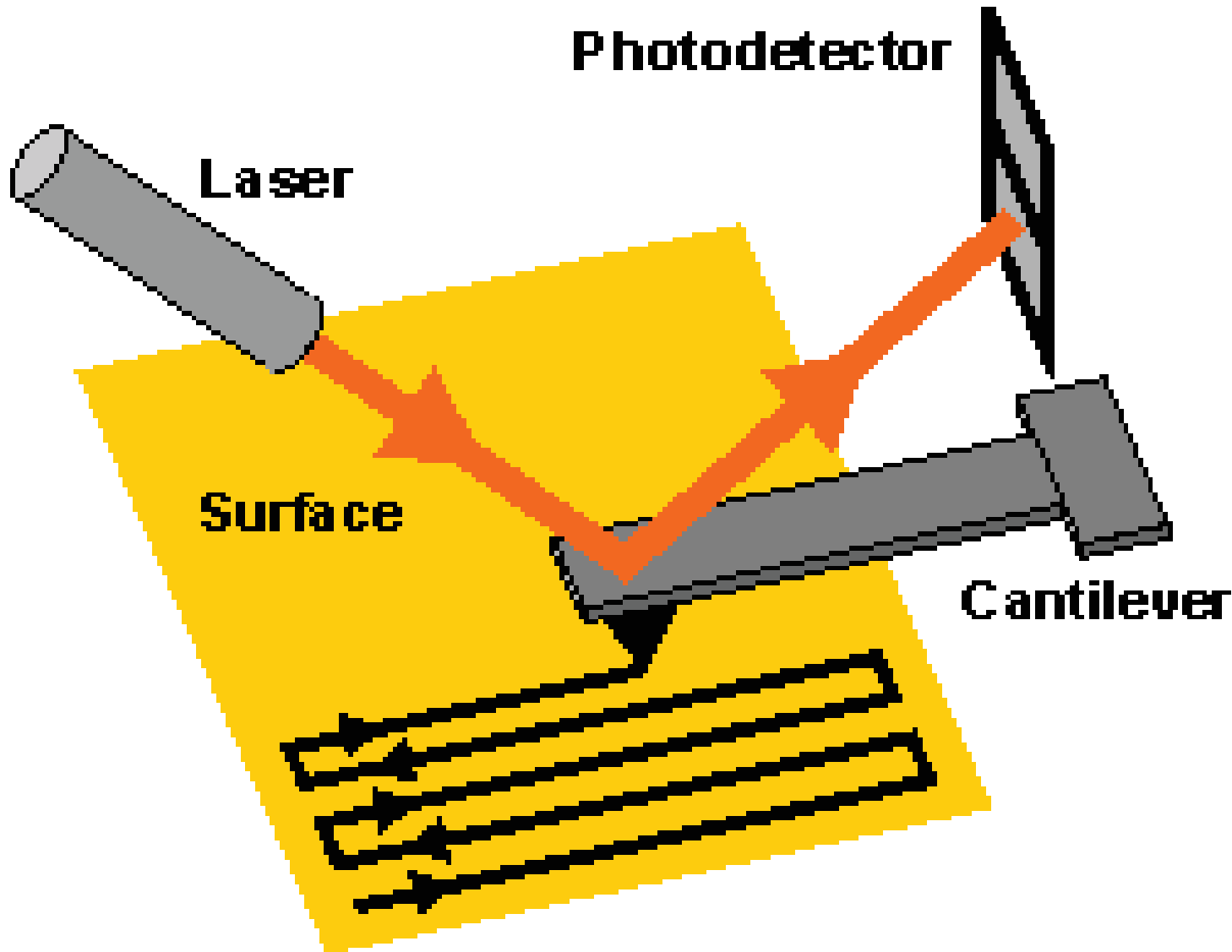
Ο σαρωτής είναι κυρίως φτιαγμένος από Ζιρκόνιο και τιτάνιο. Φτιάχνονται πιέζοντας μαζί την σκόνη από τα υλικά και παίρνουμε το μίγμα (την συμπιεσμένη σκόνη). Το αποτέλεσμα είναι ένα πολυκρυσταλλικό σώμα. Καθένας από αυτούς τους κρυστάλλους είναι ένα ηλεκτρικό δίπολο.

Σ' αυτούς βασίζεται και η τάση που παίρνουμε από την πίεση που ασκείται.



# Αρχή Λειτουργίας | AFM

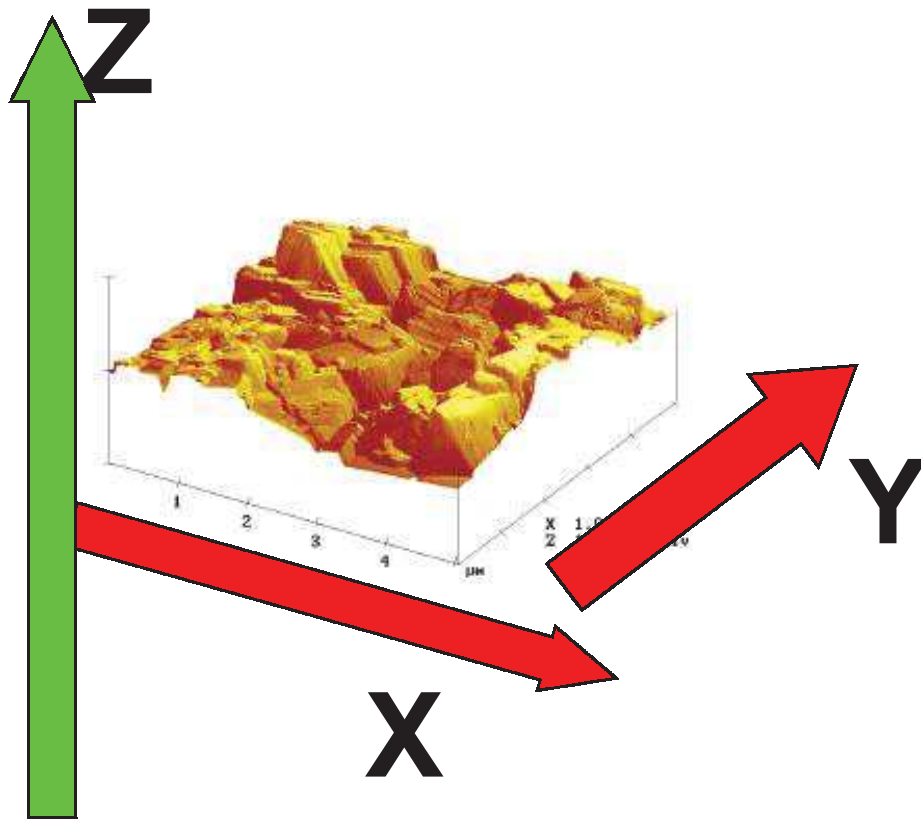
Σαρωτής - Scanner





# Αρχή Λειτουργίας | AFM

## Laser & Φωτοδίοδος



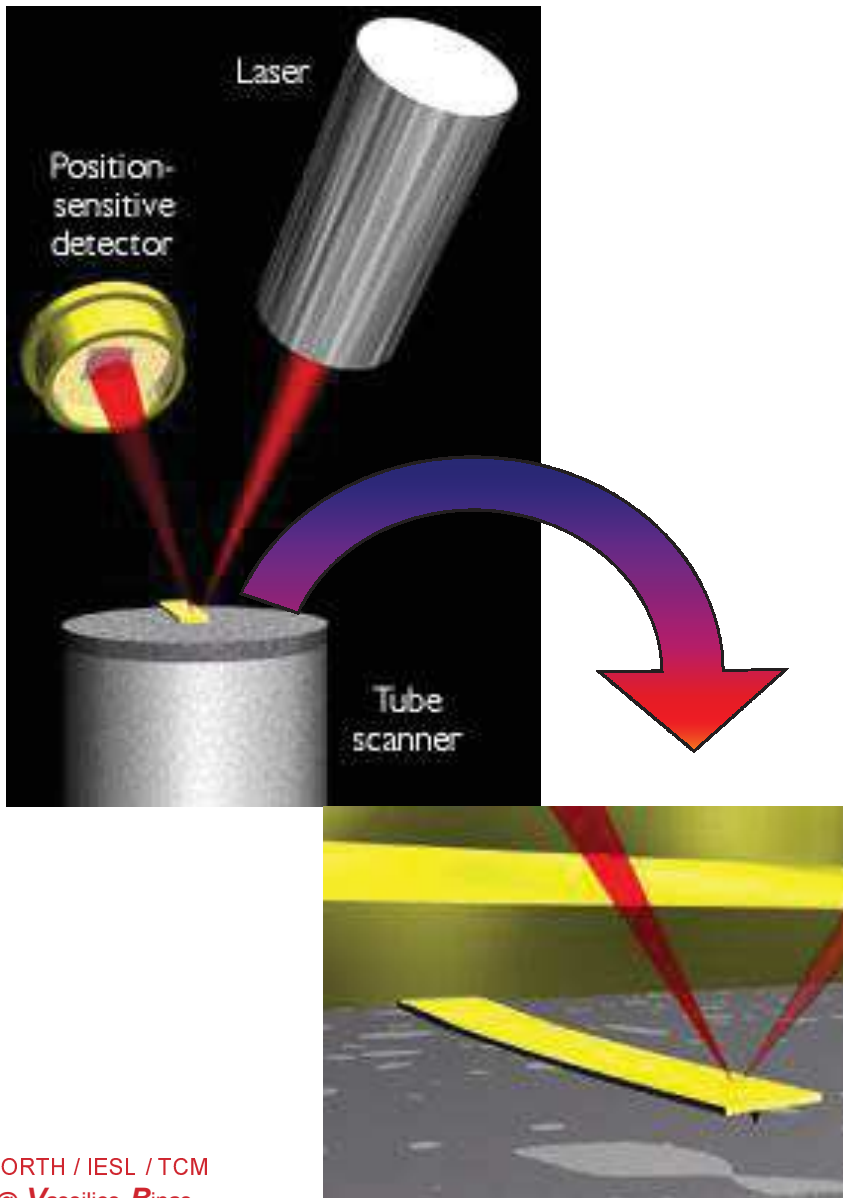
Έτσι μέχρι τώρα καταφέραμε να σκιαγραφήσουμε τις κάθετες μόνο ανωμαλίες της επιφάνειας μας. Μόνο δηλαδή κατά *τον άξονα z*.

Πως όμως παίρνουμε τρισδιάστατη εικόνα?



# Αρχή Λειτουργίας | AFM

## Laser & Φωτοδίοδος

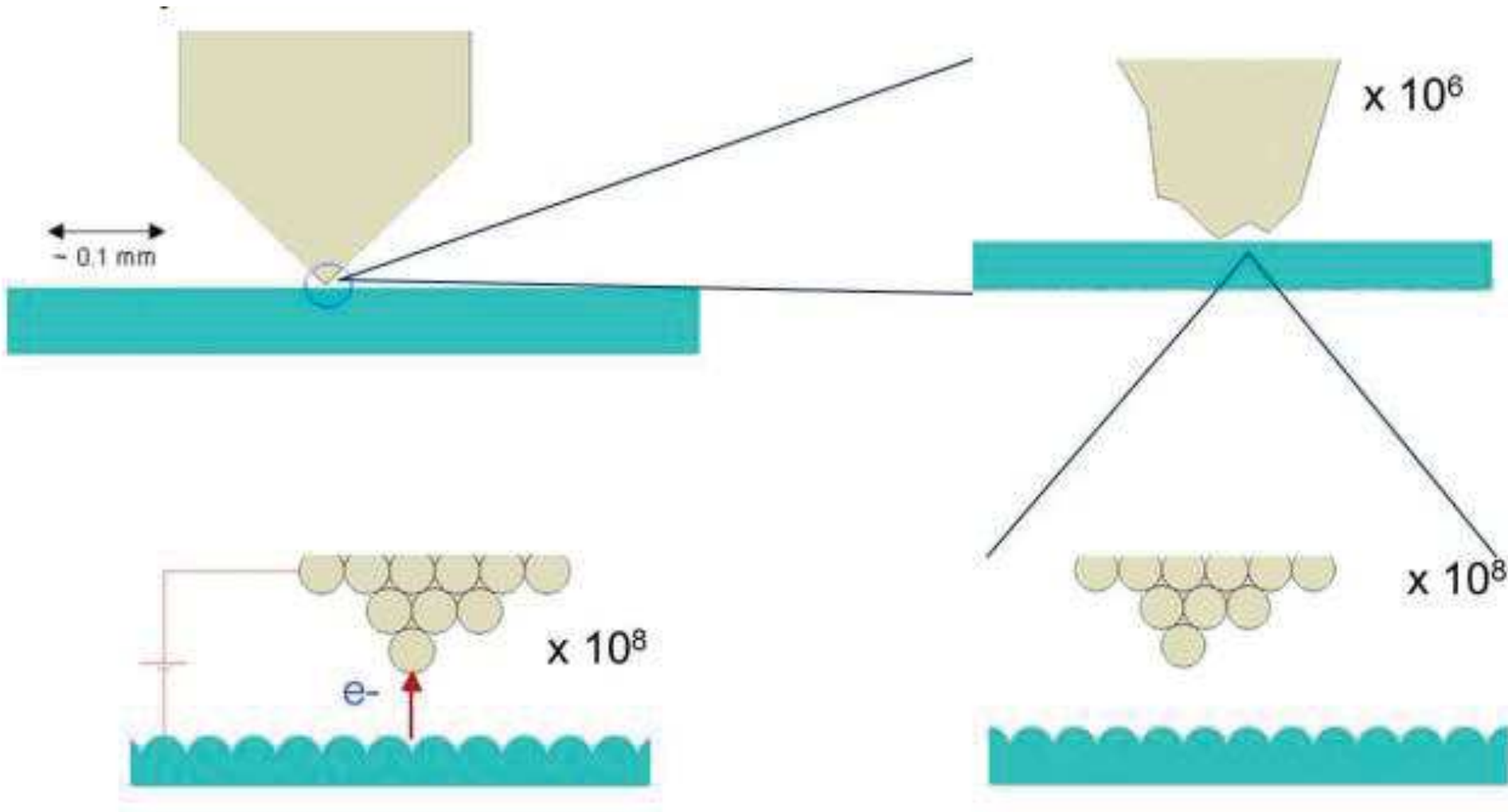


Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ της επιφάνειας και της ακίδας προκαλούν στη βάση της ακίδας μια καμπή ή μια απόκλιση. Αυτές οι αποκλίσεις ή οι κάμψεις της βάσης της ακίδας με τη χρήση ενός απλού laser μπορούν να μετρηθούν από έναν ανιχνευτή (φωτοδίοδο στην συγκεκριμένη περίπτωση)



# Αλληλεπιδράσεις με την επιφάνεια

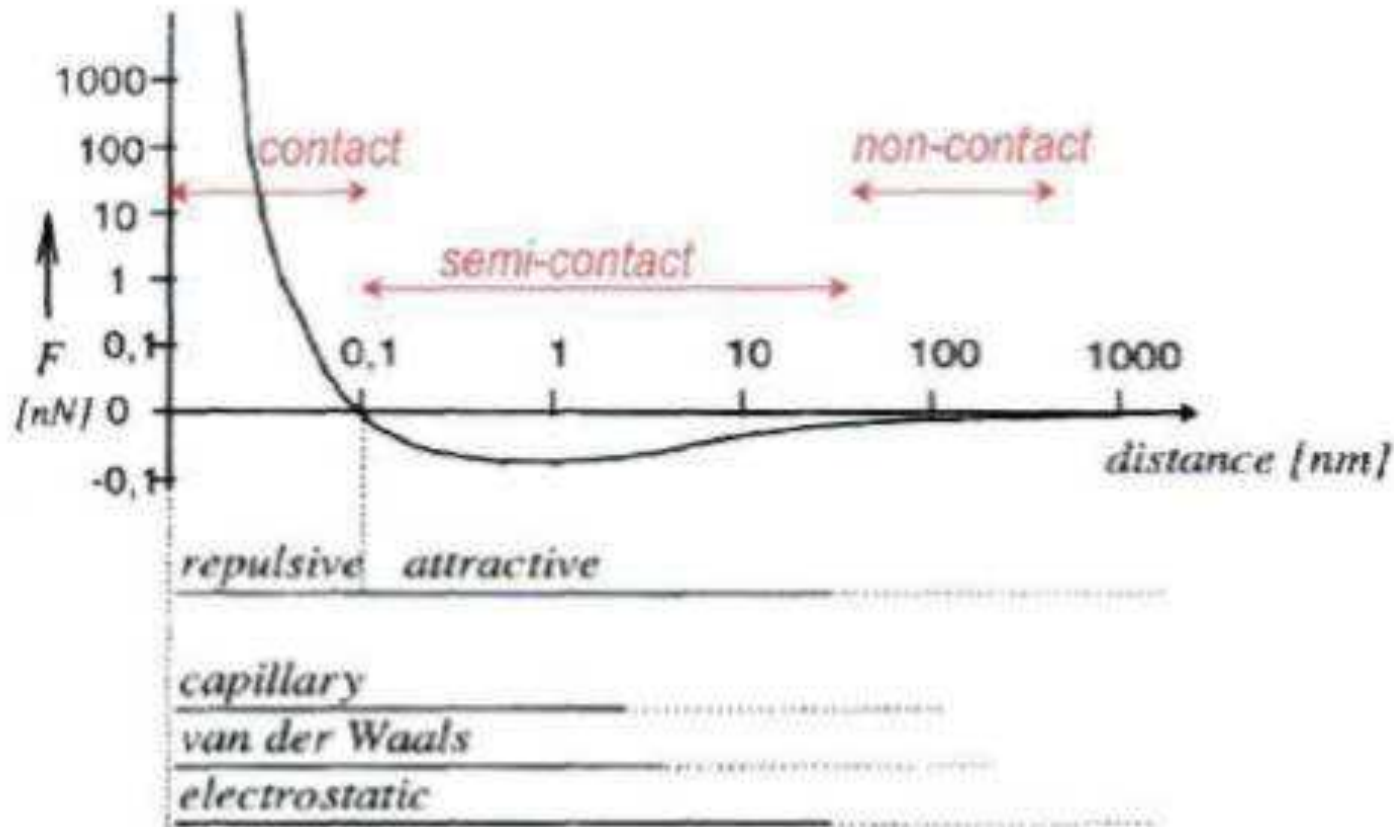
Μέγεθος ακίδας



Source: [http://www.chem.qmw.ac.uk/surfaces/scc/scat7\\_6.htm](http://www.chem.qmw.ac.uk/surfaces/scc/scat7_6.htm)



# Τρόποι Λειτουργίας AFM



Σχήμα 10.5. Διάγραμμα της δύναμης αλληλεπίδρασης μεταξύ ακίδας –επιφάνειας συναρτήσει της μεταξύ τους απόστασης και περιοχές λειτουργίας του AFM.





# Τρόποι Λειτουργίας AFM

Τρόπος Λειτουργίας με επαφή  
Contact mode

Τρόπος Λειτουργίας χωρίς επαφή  
Non Contact mode

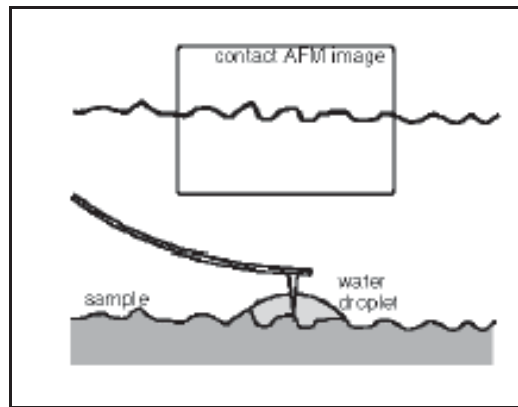
Παλλόμενος Τρόπος Λειτουργίας  
Tapping mode

Μικροσκοπία Πλευρικών Δυνάμεων  
Lateral Force Microscopy

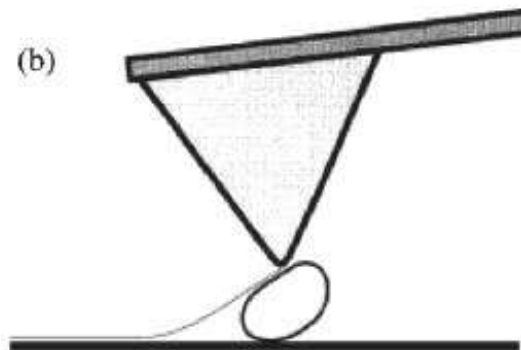


# Τρόποι Λειτουργίας AFM

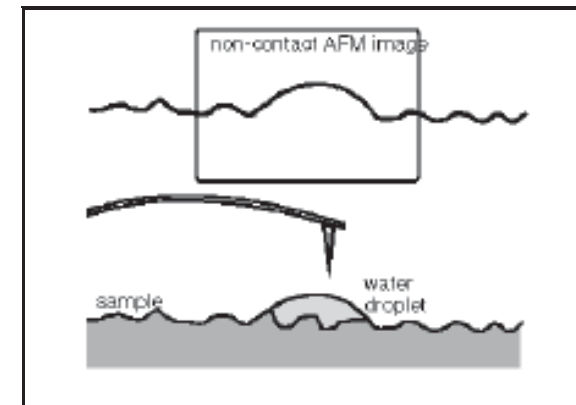
## Τρόπος Λειτουργίας με επαφή Contact mode



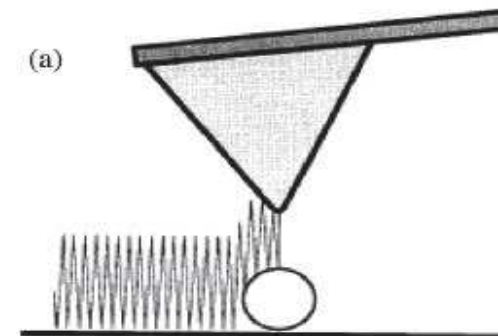
Η ακίδα έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια κατά την διάρκεια της σάρωσης



## Τρόπος Λειτουργίας χωρίς επαφή Non Contact mode



Η ακίδα ταλαντεύεται επάνω στην επιφάνεια χωρίς να την αγγίζει



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## Τρόποι Λειτουργίας & Είδη Δυνάμεων

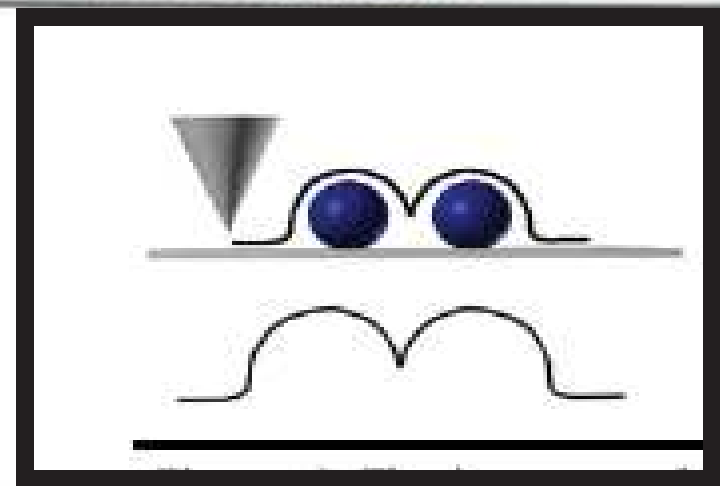
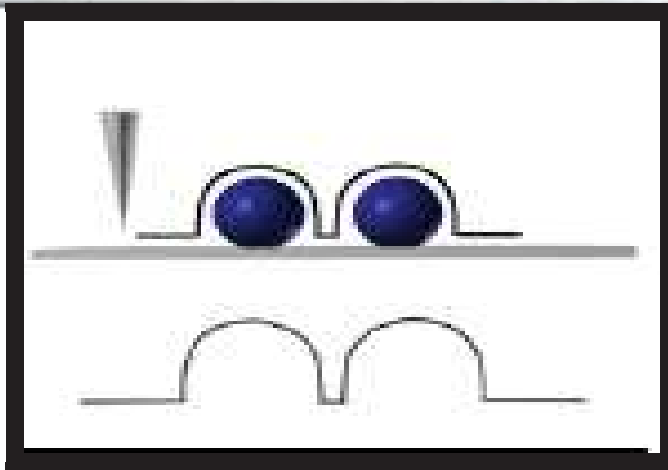
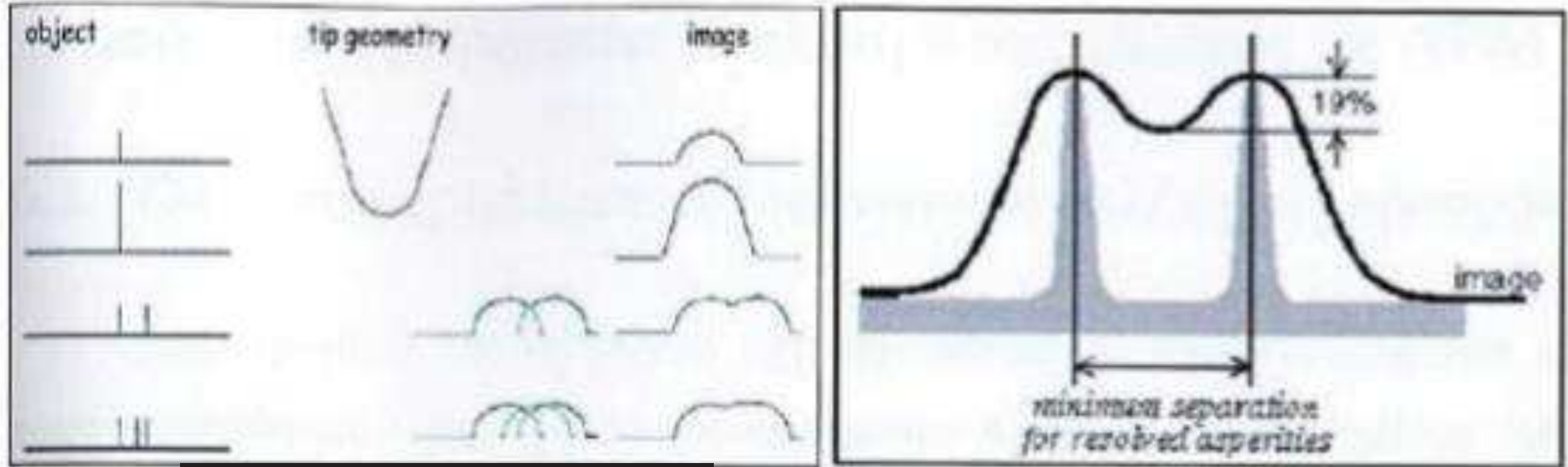
Μετρούνται δυνάμεις ανάμεσα στην ακίδα και στην προς εξέταση επιφάνεια μέσω της μετατόπισης της ακίδας

- Van der Waals
- Ηλεκτροστατικές
- Μαγνητικές
- Από επαφή
- ...



# Γεωμετρία Ακίδας και μορφολογία επιφάνειας

## Αλληλεπίδραση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας δείγματος

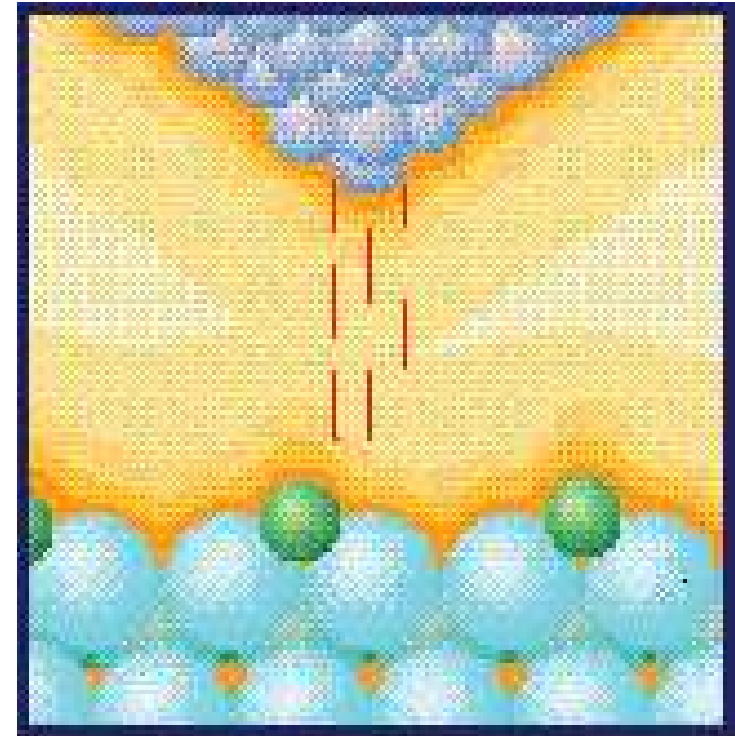
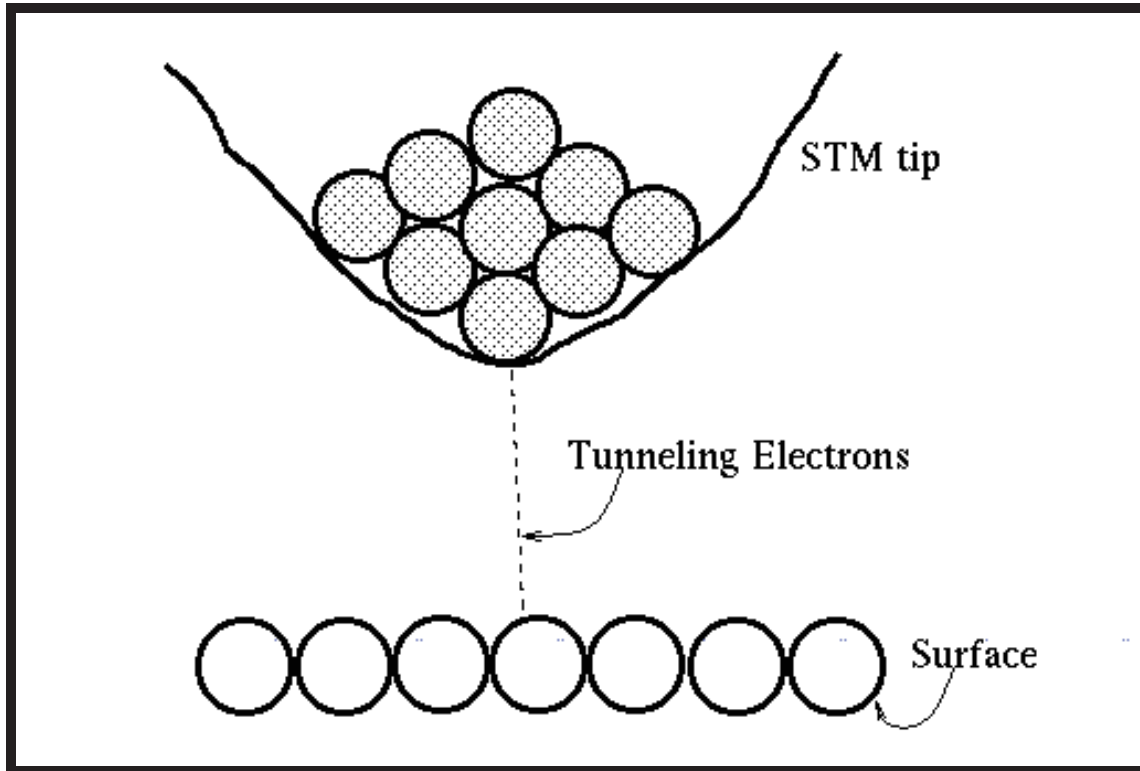


Σχήμα 10.8. Η Δ.Ι. περιορίζεται από την πεπερασμένη καμπυλότητα της αιχμής της ακίδας.



# Γεωμετρία Ακίδας και μορφολογία επιφάνειας

Αλληλεπίδραση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας δείγματος

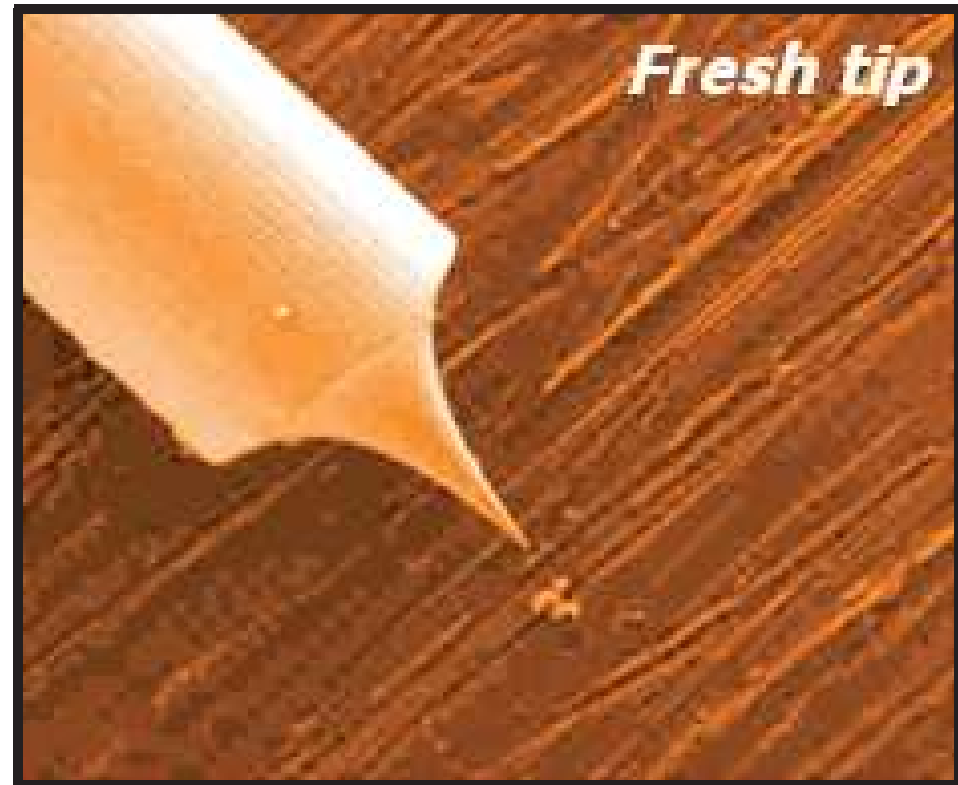
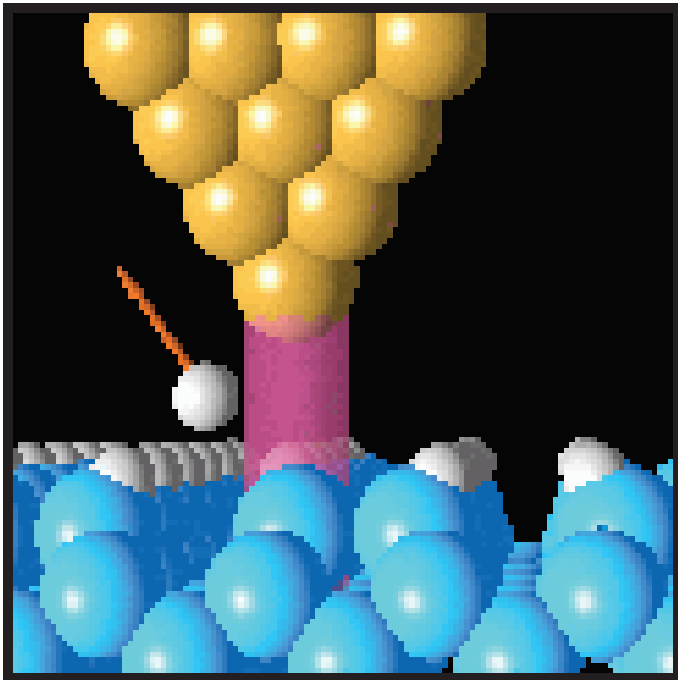


**When the tip of the STM probe is sufficiently close to the surface of the specimen ( $\sim 1\text{nm}$ ) a tunneling current can become established**



# Γεωμετρία Ακίδας και μορφολογία επιφάνειας

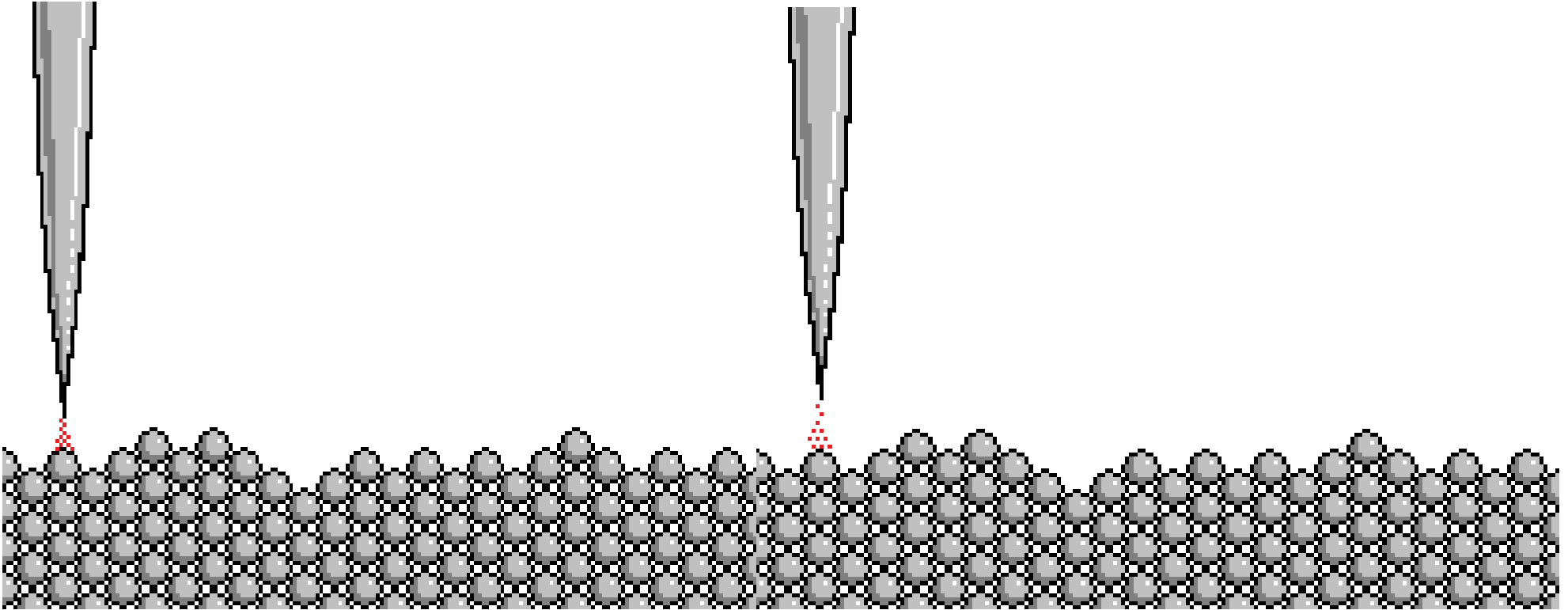
Αλληλεπίδραση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας δείγματος





# Γεωμετρία Ακίδας και μορφολογία επιφάνειας

Αλληλεπίδραση μεταξύ ακίδας και επιφάνειας δείγματος

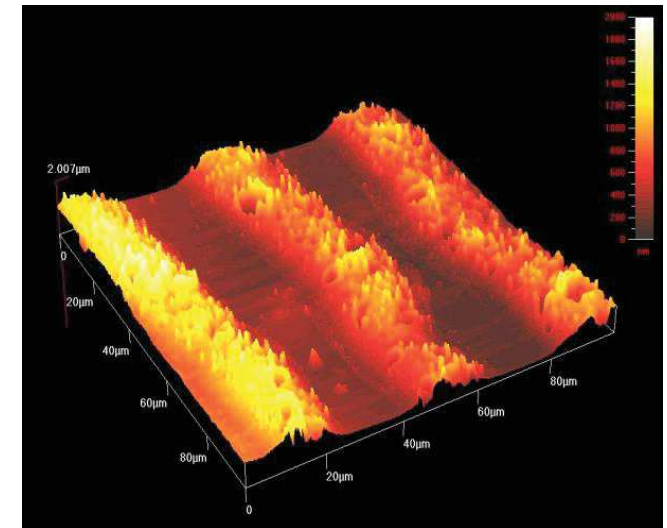


# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- 1) *Νανοδιατάξεις*
- 2) *Πολυμερή υλικά*
- 3) *Εύρεση Ελαττωμάτων σε υλικά*
- 4) *Μεταλλουργία*
- 5) *Αναλύσεις σε οπτικό δίσκο DVD*
- 6) *Ανάλυση μεμβρανών*
- 7) *Βιοιατρική*

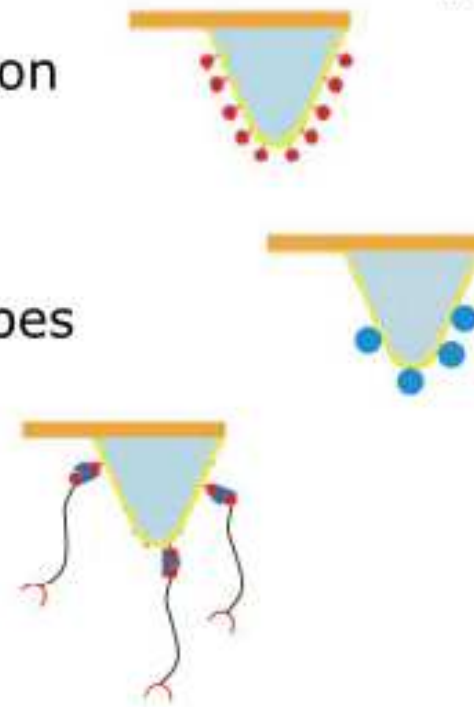
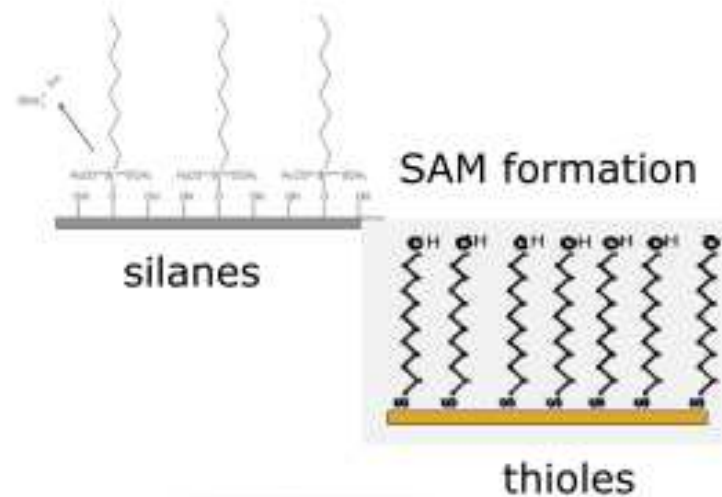
*κ.α.*





# Surface-/ Tip-Functionalisation

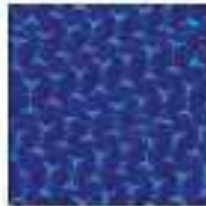
- Surface modification
  - self assembling monolayers (SAM)
    - silanes on glass- and Si-surfaces
    - thioles on Au-surfaces
- Tip modification
  - Adsorption of molecules from solution e.g. proteins
  - Decrease AFM tip radius with attachment of molecules or nanotubes
  - Attachment of linker molecules e.g. PEG linker for antibodies, crosslinker for SH-, NH-groups



## Lifescience



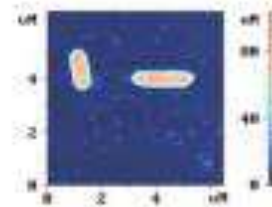
Actin filaments



Proteins



Erythrocytes



Bacteria



Linearised DNA

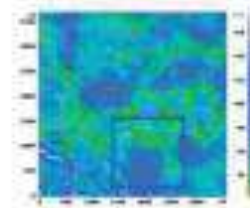
## Materials and Surface Science



Organic film



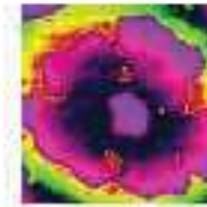
Transistor



Ferroelectric domains



Triblock copolymer film



Polymer

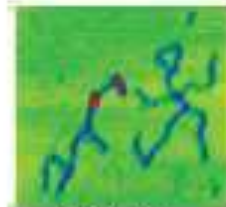
## Nanolithography & Nanomanipulation



Polymer film engraving



Anodic oxidation



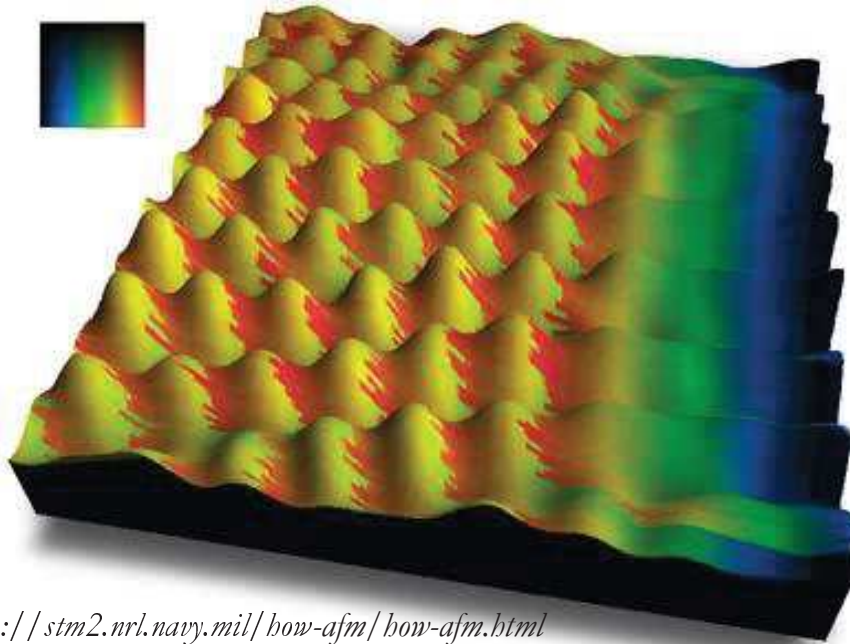
DNA on mica

<http://www.jpk.com/>  
<http://www.veeco.com/nanotheatre/>  
<http://www.ntmdt.ru/Scan-gallery/>



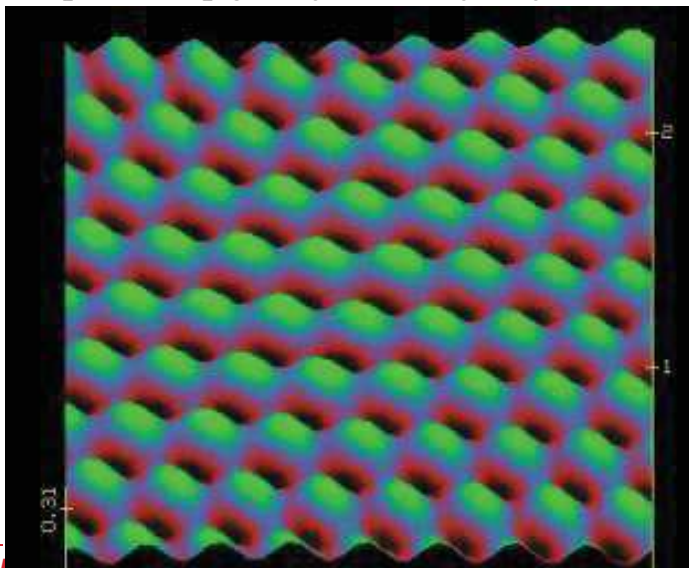
XXXXXX

## Highly Oriented Pyrolytic Graphite (HOPG)

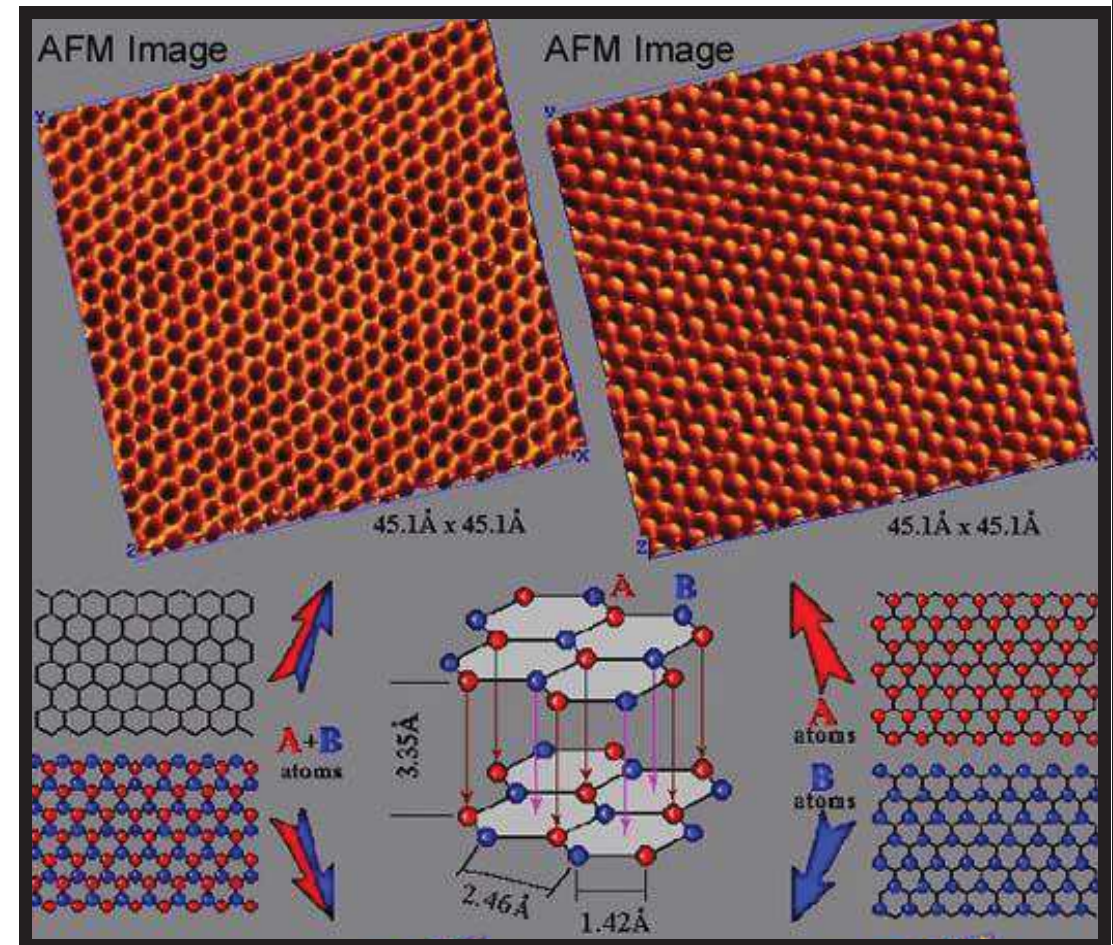


<http://stm2.nrl.navy.mil/how-afm/how-afm.html>

<http://www.physics.sfasu.edu/afm/afm.htm>



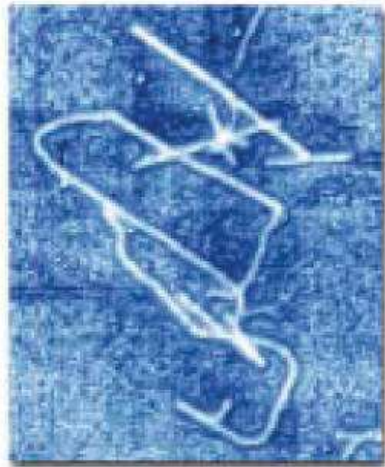
SAMPLE	REFERENCE
graphite	Binnig, <i>et al.</i> , <i>Europhys. Lett.</i> <b>3</b> , 1281 (1987)
molybdenum sulfide boron nitride	Albrecht, <i>et al.</i> , <i>J. Vac. Sci. Tech. A</i> <b>6</b> 271 (1988)
gold	Manne, <i>et al.</i> , <i>Appl. Phys. Lett.</i> <b>56</b> 1758 (1990)
sodium chloride (001)	Meyer, <i>et al.</i> , <i>Appl. Phys. Lett.</i> <b>56</b> 2100 (1990)
lithium flouride	Meyer, <i>et al.</i> , <i>Z. Phys.B.</i> <b>79</b> 3 (1990)
(1014) cleavage plane of a calcite (CaCO <sub>3</sub> ) crystal	Ohnesorge, <i>et al.</i> , <i>Science</i> <b>260</b> 1451 (1993)



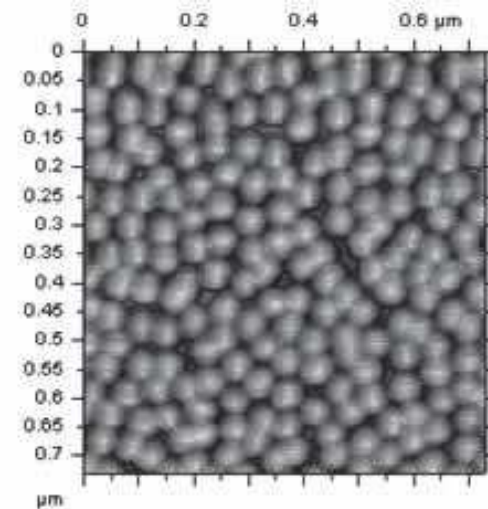
# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 1) Νανοδιατάξεις



Carbon  
Nanotubes

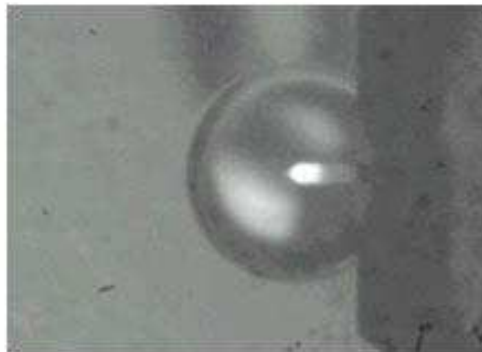


GaAs

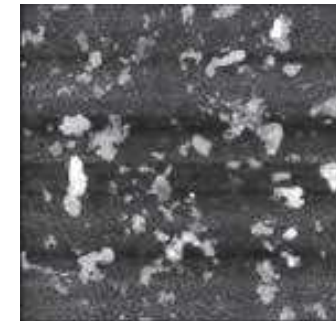
# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 2) Πολυμερή υλικά



Video microscope image  
of AFM cantilever directly  
above A glass sphere.  
(image size .9 X.9 mm)



Defects at surface of Glass Sphere

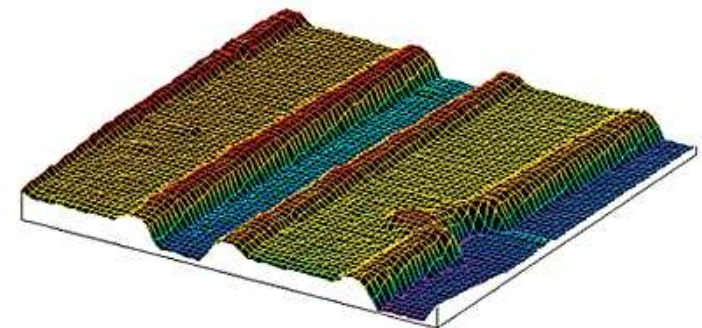
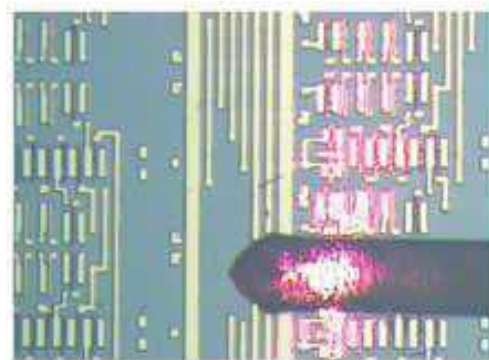
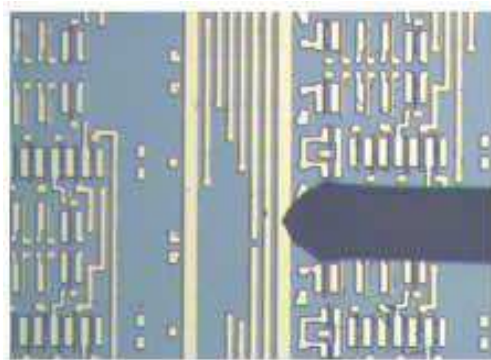


# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 3) Εύρεση Ελαττωμάτων σε υλικά

AFM σαν εργαλείο μετρολογίας  
Ουσιαστικά στην βιομηχανία



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

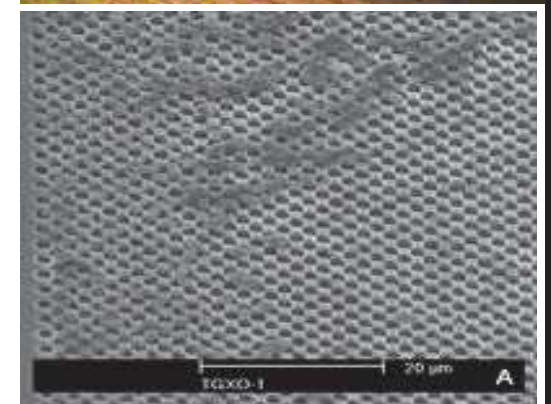
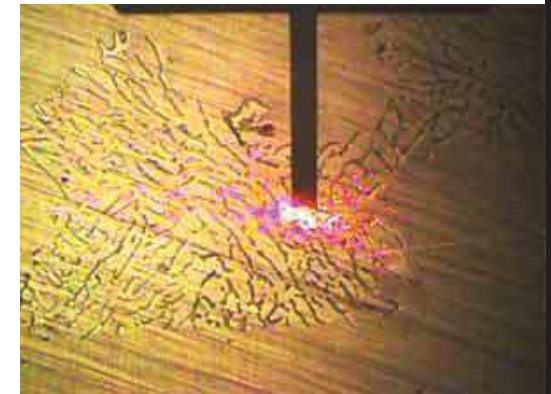
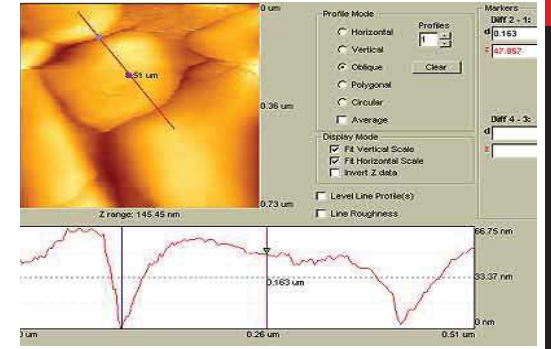
### 4) Μεταλλουργία

Συχνά στις βιομηχανίες για ανίχνευση καλής ποιότητας των υλικών αναλύοντας χαρακτηριστικά τους

Μελετώντας την επιφάνεια των υλικών βρίσκουμε την αντοχή τους και την αντίδρασή τους σε διάφορους εξωτερικούς παράγοντες όπως θερμοκρασία κα.

#### Πλεονεκτήματα

- Μεγάλη ανάλυση
- Τρεις διαστάσεις
- Εύκολο στην χρήση

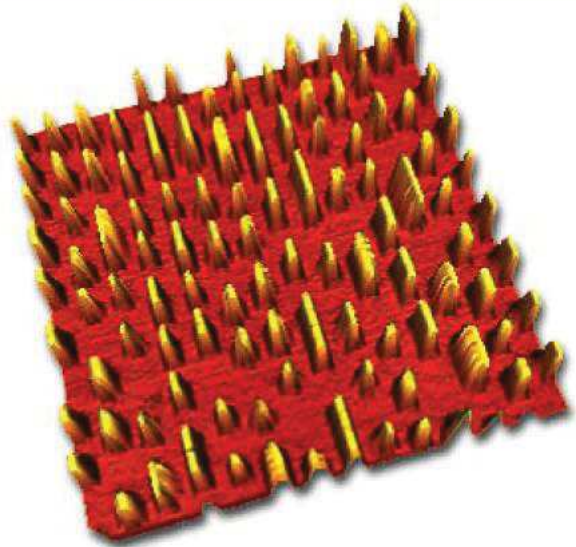


# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

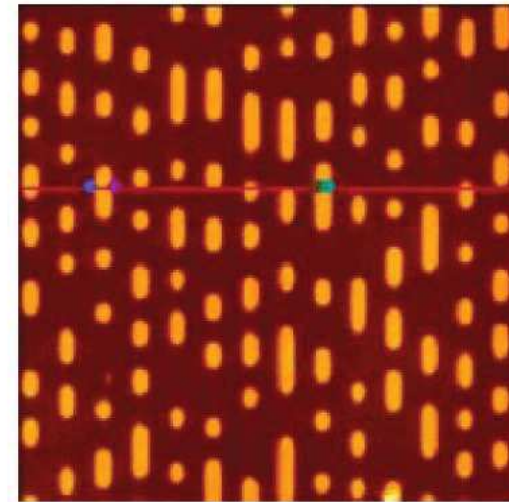
### 5) Αναλύσεις σε οπτικό δίσκο DVD

Figure 1



Three dimensional image of a stamper surface. The scan range is 10 X 10 microns and the maximum Z range is 192 nanometers.

Figure 2



2-D image of the DVD stamper showing the alignment of bits. Any defects on the surface are readily identified in 2-D images.

Αναλύσεις σε επιφάνειες οπτικών δίσκων

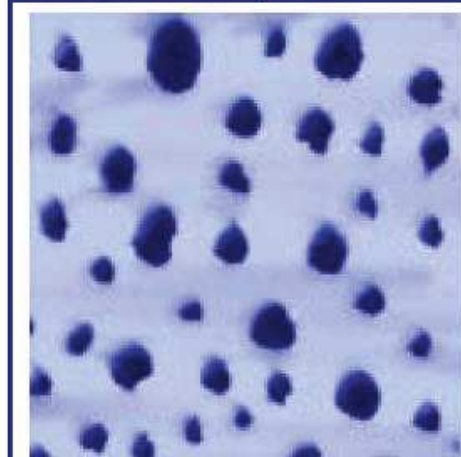


# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

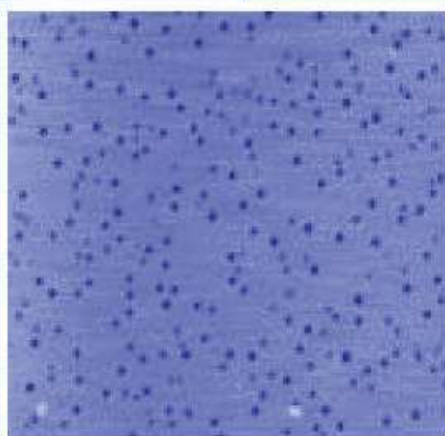
## 6) Ανάλυση μεμβρανών

Figure 1



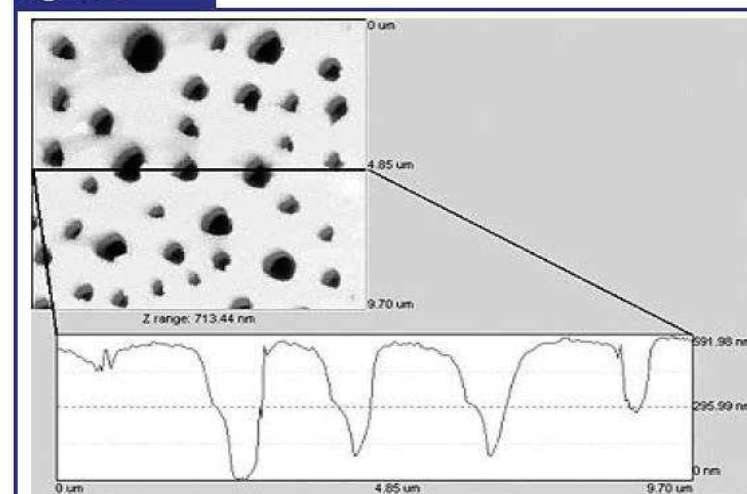
$10^5$  ppm membrane, raw scan at  $9.7 \times 9.7$  nm<sup>2</sup>; RMS roughness is 105 nm.

Figure 2



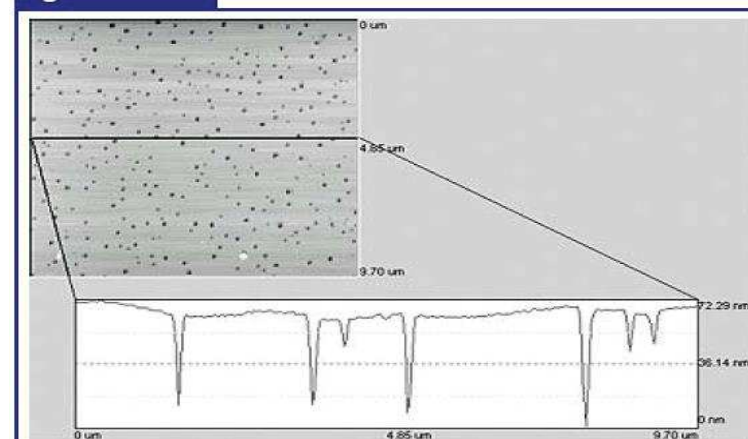
$10^4$  ppm membrane, raw scan at  $9.7 \times 9.7$  nm<sup>2</sup>; RMS roughness is 7.11 nm.

Figure 3



$10^5$  ppm membrane, raw scan at  $9.7 \times 9.7$  nm<sup>2</sup> and cross section of pits.

Figure 4



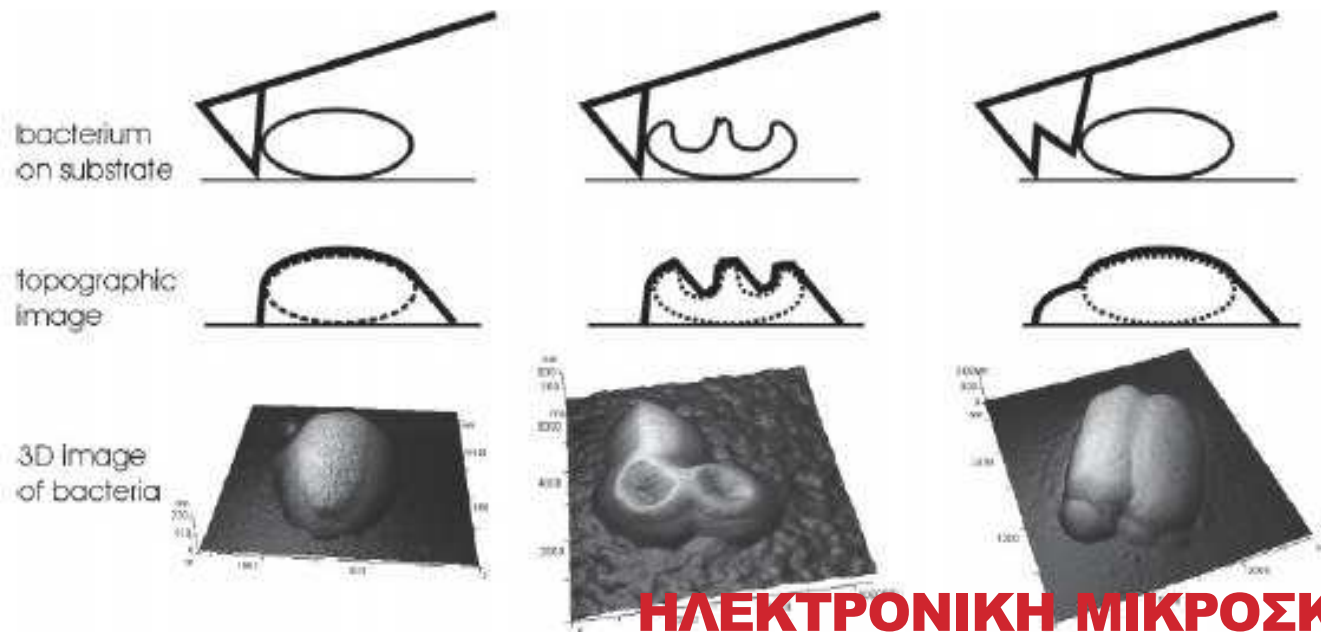
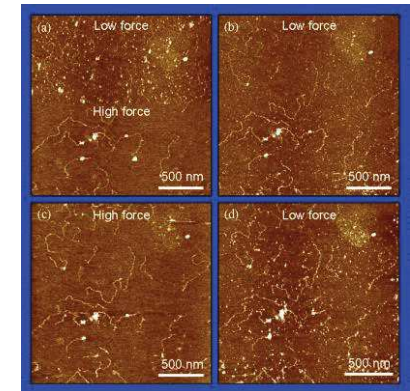
$10^4$  ppm membrane, raw scan at  $9.7 \times 9.7$  nm<sup>2</sup> and cross section of pits

# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## 7) Βιοιατρική

- Μελετούνται σε βάθος βακτήρια, κύτταρα, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, ιούς
- DNA
- Βρίσκονται ανωμαλίες
- Μορφολογία τους
- Τρισδιάστατη απεικόνιση

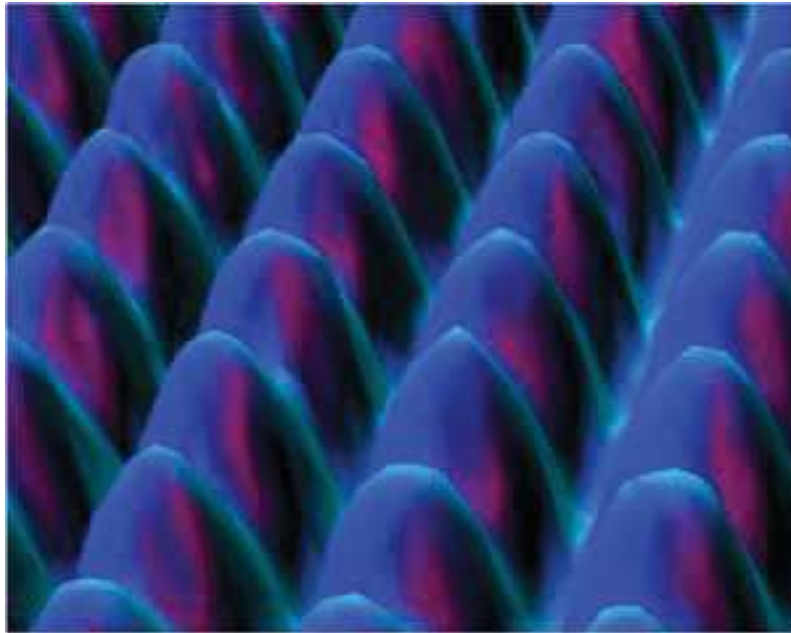


# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

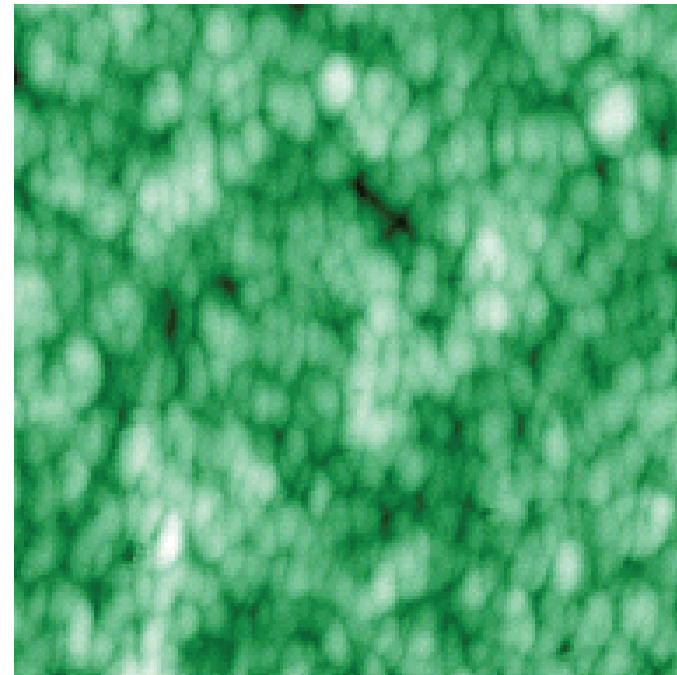
## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



# SO WHAT DO WE SEE?



Nickel from an STM

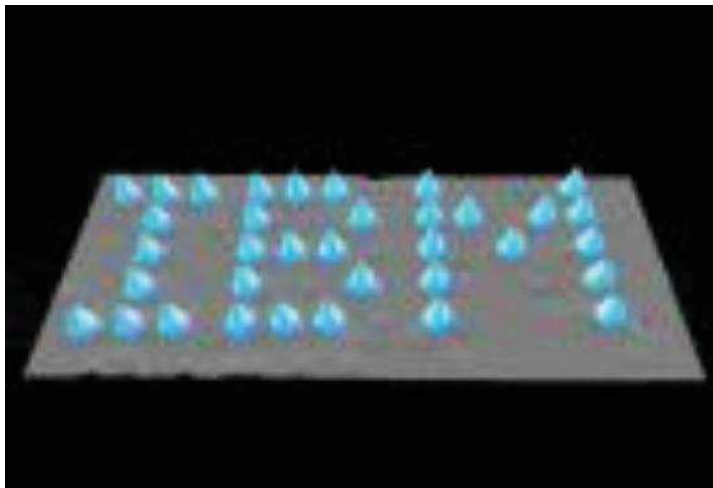


ZnO from an AFM

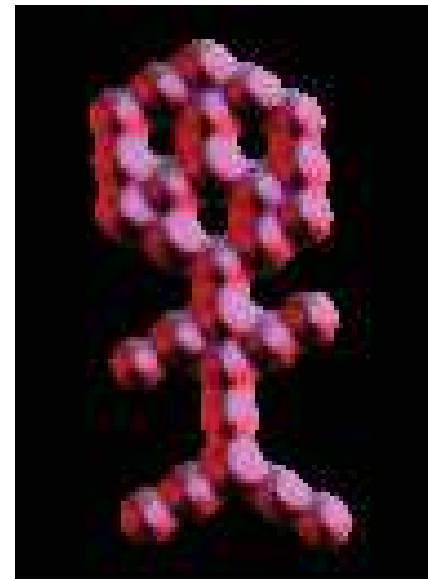
# AND WHAT CAN WE DO?

## Using STMs and AFMs in Nanoscience

- Allows atom by atom (or clumps of atoms by clumps of atoms) manipulation as shown by the images below

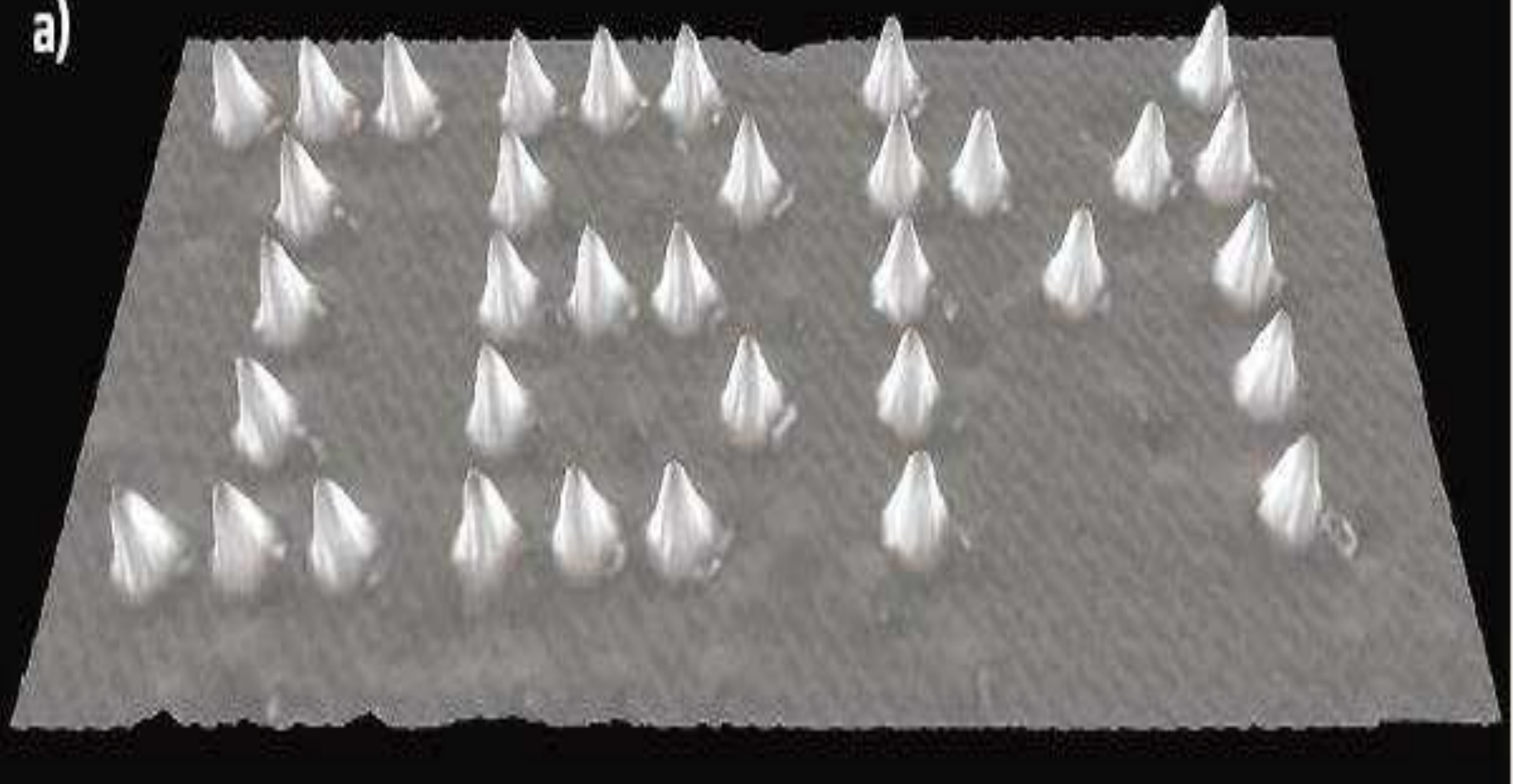


Xenon atoms



Carbon monoxide molecules

a)



The first demonstration of **manipulating atoms** was performed by Eigler and Schweizer (1990), who used Xe atoms on a Ni(110) surface to write the three letters “IBM” (their employer) on the atomic scale

# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## Πλεονεκτήματα

- Τρισδιάστατη «φωτογραφία»
- Πολύ μεγάλη ανάλυση
- Μπορούμε να μελετήσουμε υλικά που δεν είναι αγωγιμα
- Το προς μελέτη υλικό δε χρειάζεται ειδική προεργασία (π.χ. τοποθέτηση μεταλλικού μανδύα που μπορεί να καταστρέψει το δείγμα)
- Λειτουργεί και σε υδάτινο περιβάλλον (βιολογικά μακρομόρια – ζωντανοί οργανισμοί)

# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ATOMIC FORCE MICROSCOPY (AFM)

## Μειονεκτήματα

- ✘ Μέγεθος εικόνας (mm x mm)
- ✘ Η ανάλυση της φωτογραφίας εξαρτάται από την ακτίνα της ακίδας
- ✘ Μικρή ταχύτητα σάρωσης (αρκετά λεπτά)
- ✘ Χρειάζεται απομόνωση από εξωτερικές δονήσεις
- ✘ Χρειάζεται ειδική προετοιμασία για υλικά που μπορεί να παραμορφωθούν από το μικροσκόπιο λόγω της δύναμης που εμφανίζεται. Δεν υπάρχει γενική μέθοδος αλλά κάθε υλικό θέλει ξεχωριστή μελέτη.