



Zakład Fizyki Magnetyków

**Uniwersytet w Białymstoku
Instytut Fizyki Doświadczalnej**

Lipowa 41, 15-424 Białystok

Tel: (85) 7457228 <http://physics.uwb.edu.pl/zfmag>

Mikroskopia skaningowa tunelowa i siłowa

M. Kisielewski, J. Sveklo

- 1. Skaningowa mikroskopia tunelowa - STM***
- 2. Skaningowa mikroskopia sił atomowych - AFM***
- 3. Skaningowa mikroskopia sił magnetycznych - MFM***

06.09.2006

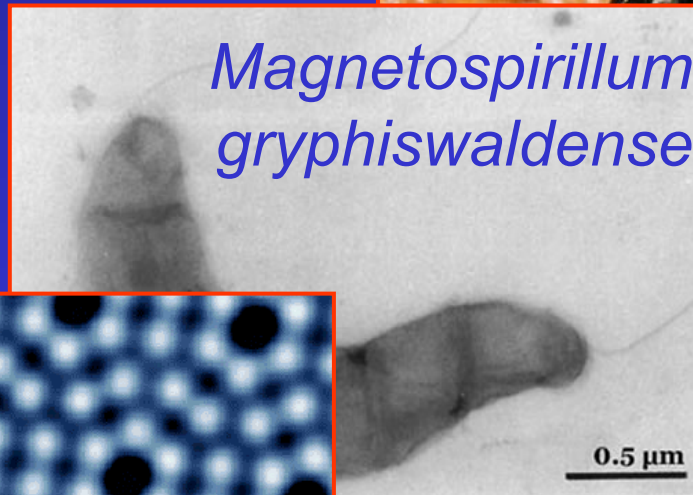
Mikroskopia ...



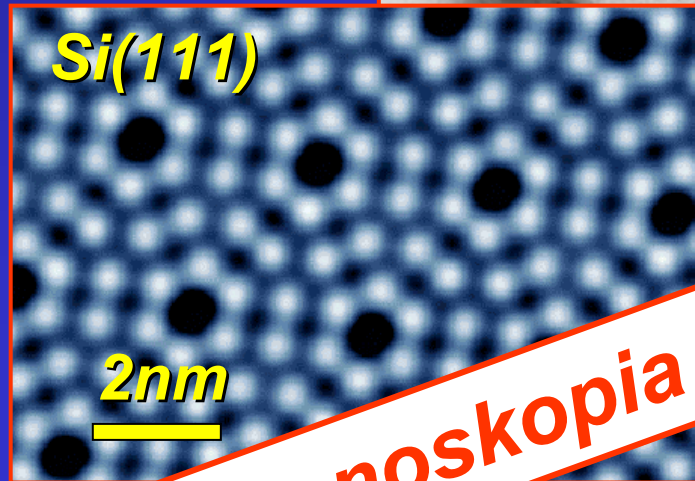
m



mm = 0.001 m



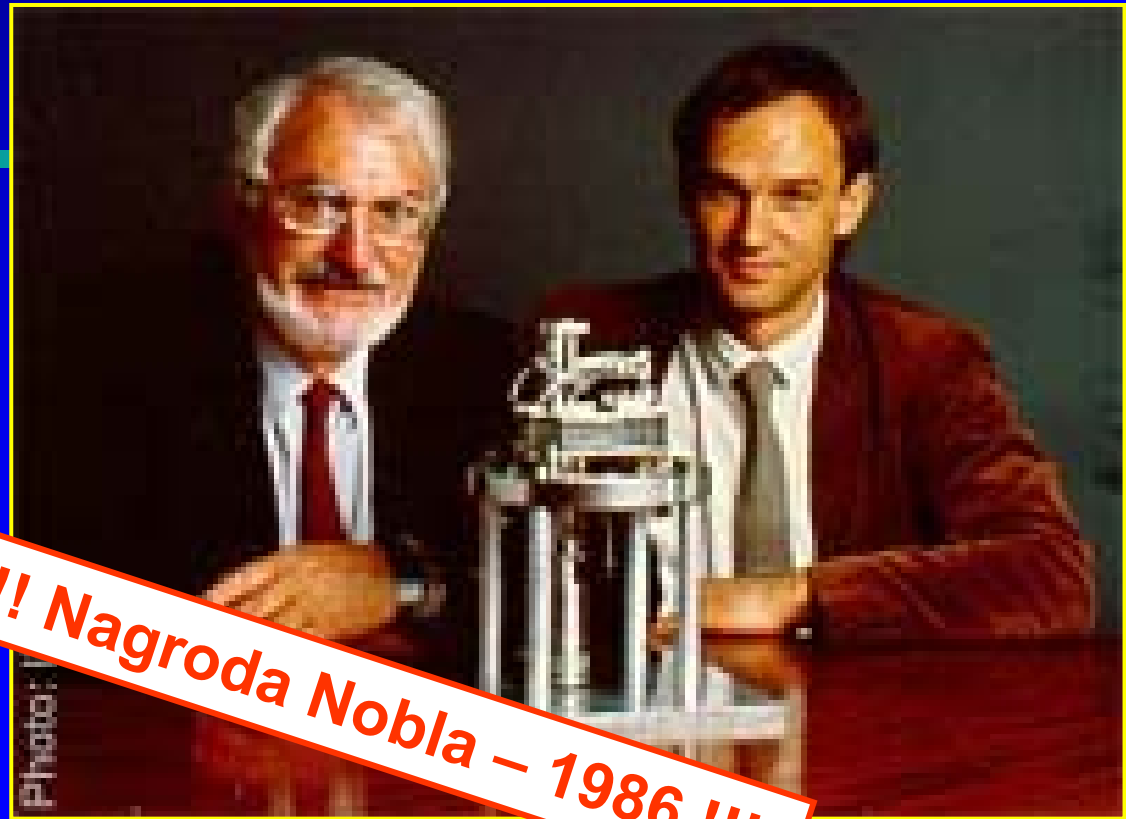
μm = 0.001 mm



nanoskopia !!!

nm = 0.001 μm = 0.000 000 001 m

STM / AFM



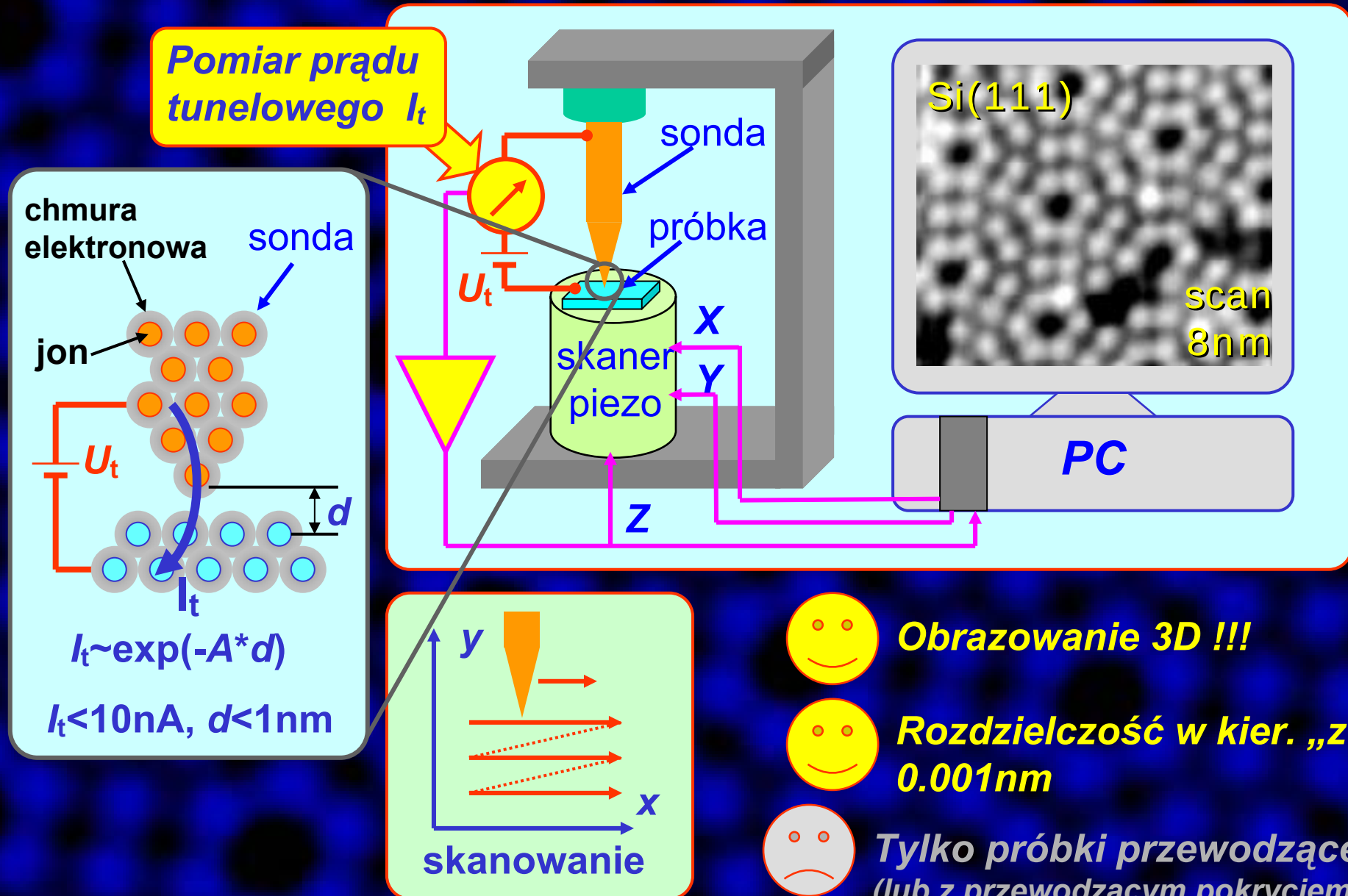
!!! Nagroda Nobla – 1986 !!!



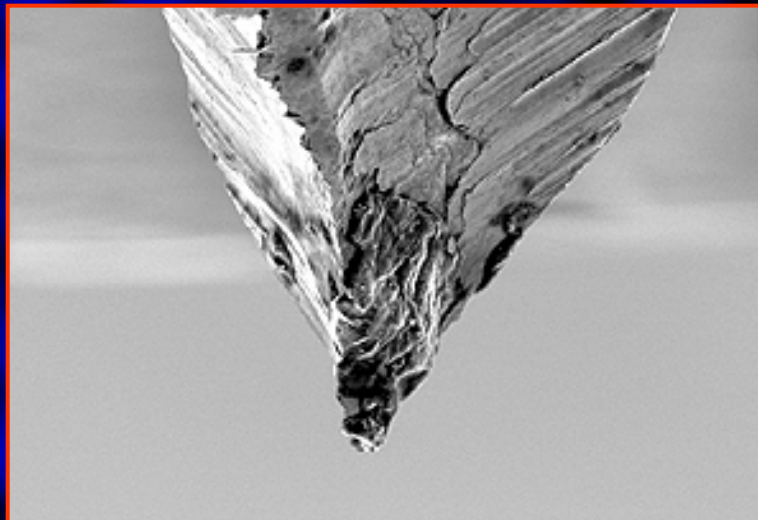
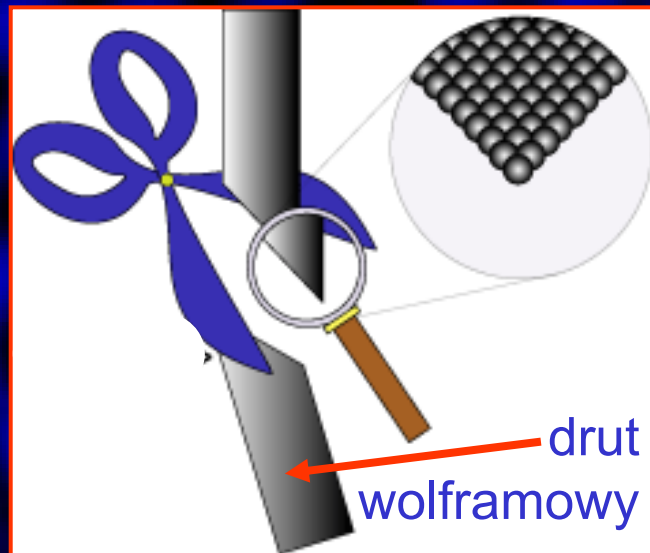
1981 H.Rohrer i G.Binnig
skaningowa mikroskopia tunelowa STM
 $ZR < 1\text{nm}$

1986 G.Binnig, Ch.Gerber
skaningowa mikroskopia siłowa AFM
 $ZR < 1\text{nm}$

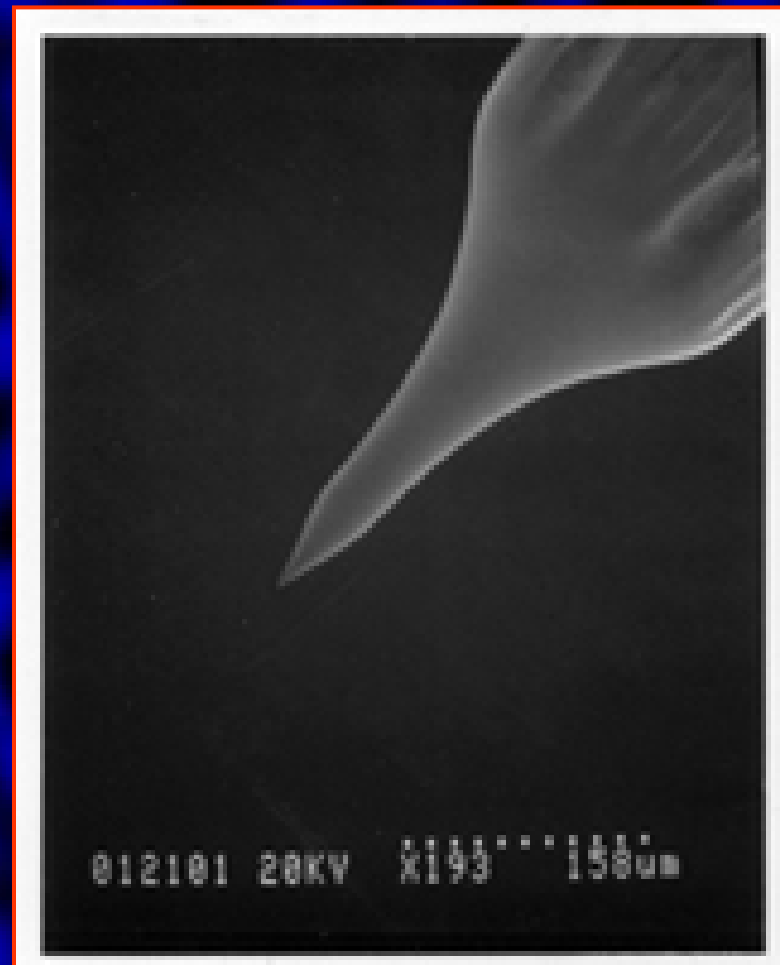
Skaningowy mikroskop tunelowy (STM)



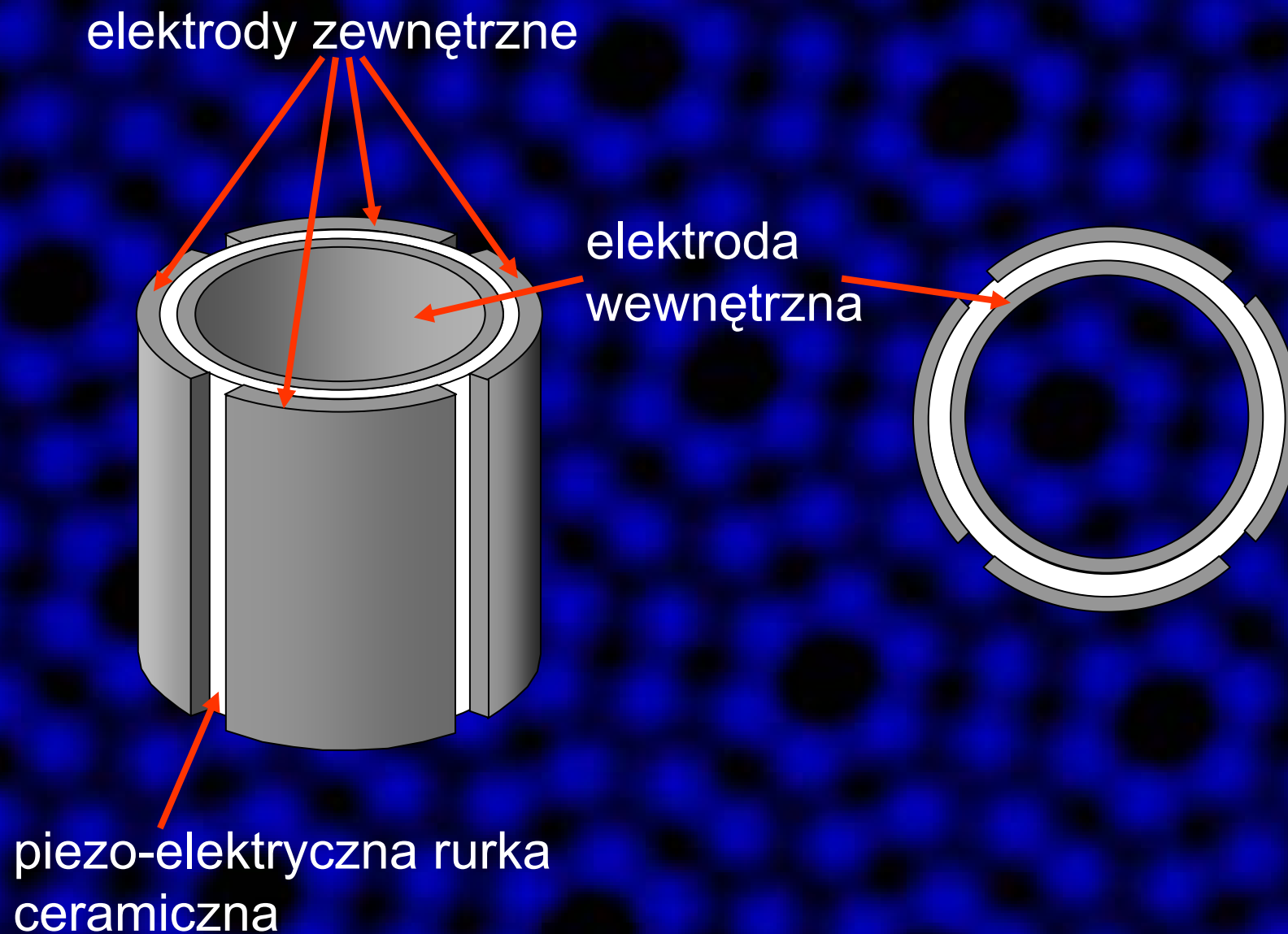
Preparatyka sondy STM



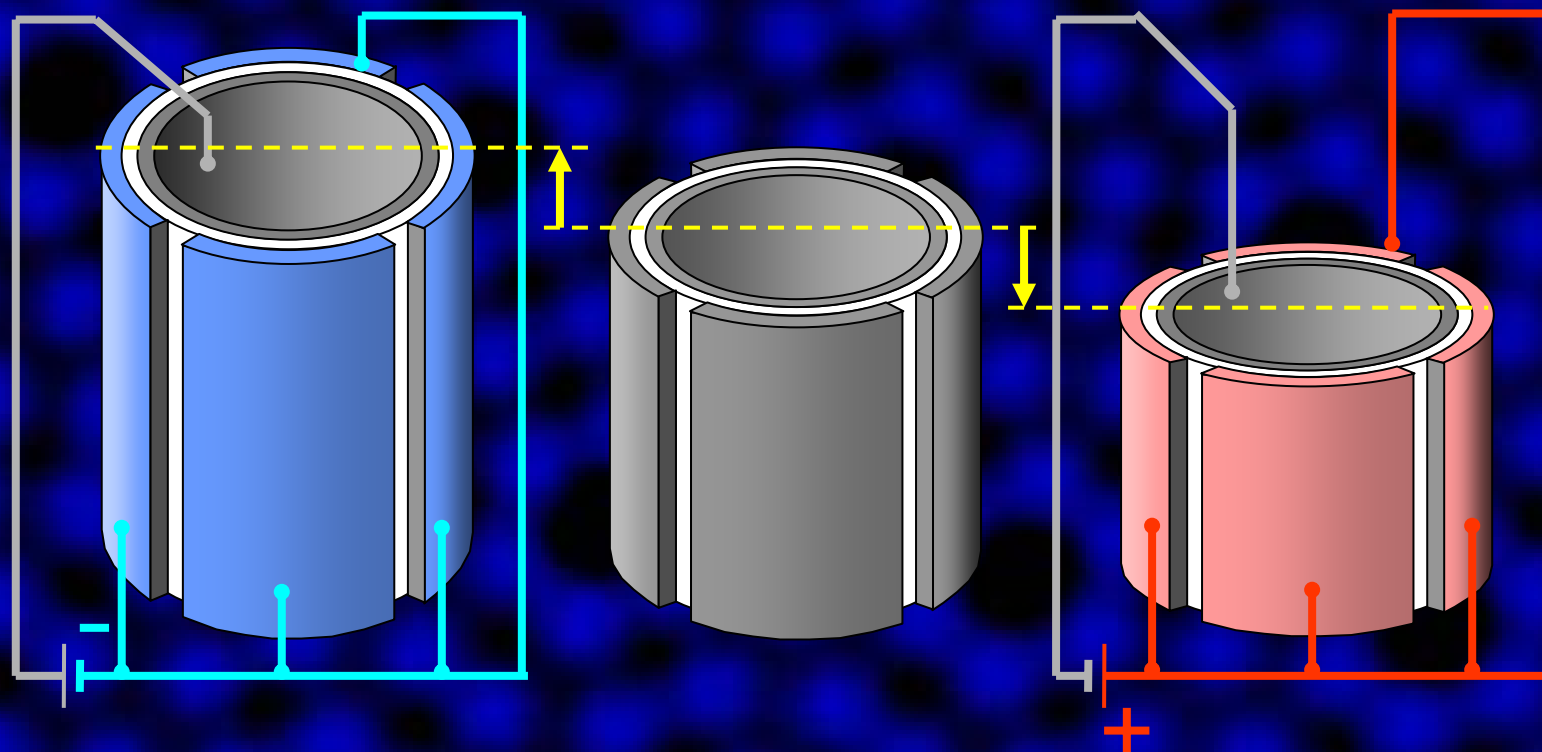
Ostrze uzyskane metodą trawienia chemicznego



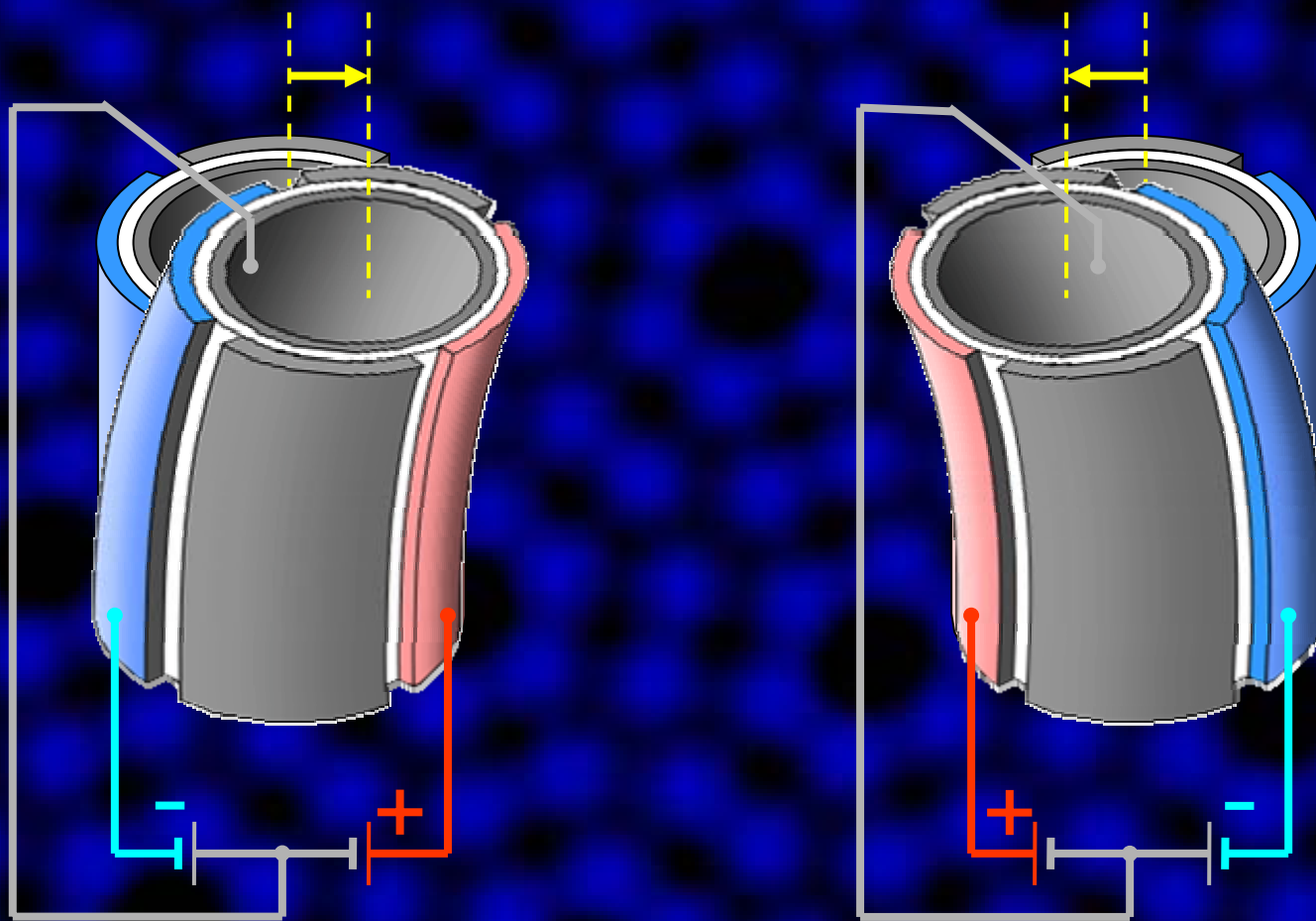
Skaner piezo-elektryczny



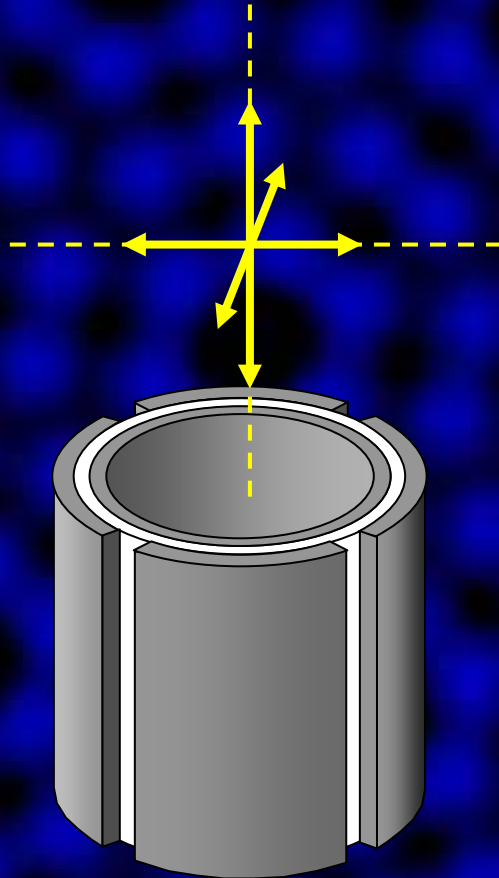
Skaner piezo-elektryczny – zmiana położenia w kierunku „z”



Skaner piezo-elektryczny – zmiana położenia w kierunku „x”



Skaner piezo-elektryczny



Typowe parametry:

Długość – 5 cm

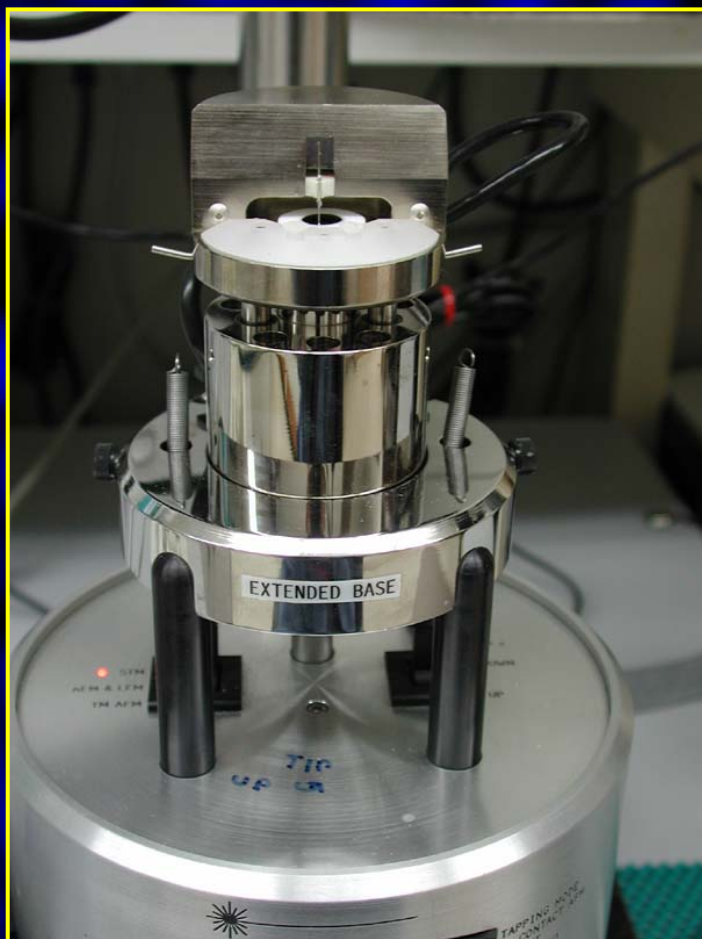
Zmiana długości – 5 μm

Odchylenie x, y – 25 μm

Napięcie sterujące – do 150 V

STM –

– wygląd typowej głowicy



[www.webs1.uidaho.edu/
nanomaterials/Equipment.htm](http://www.webs1.uidaho.edu/nanomaterials/Equipment.htm)

– nisko-temperaturowy



[www.specs.com/products/
stm/STM-lrg.htm](http://www.specs.com/products/stm/STM-lrg.htm)

Zastosowania STM

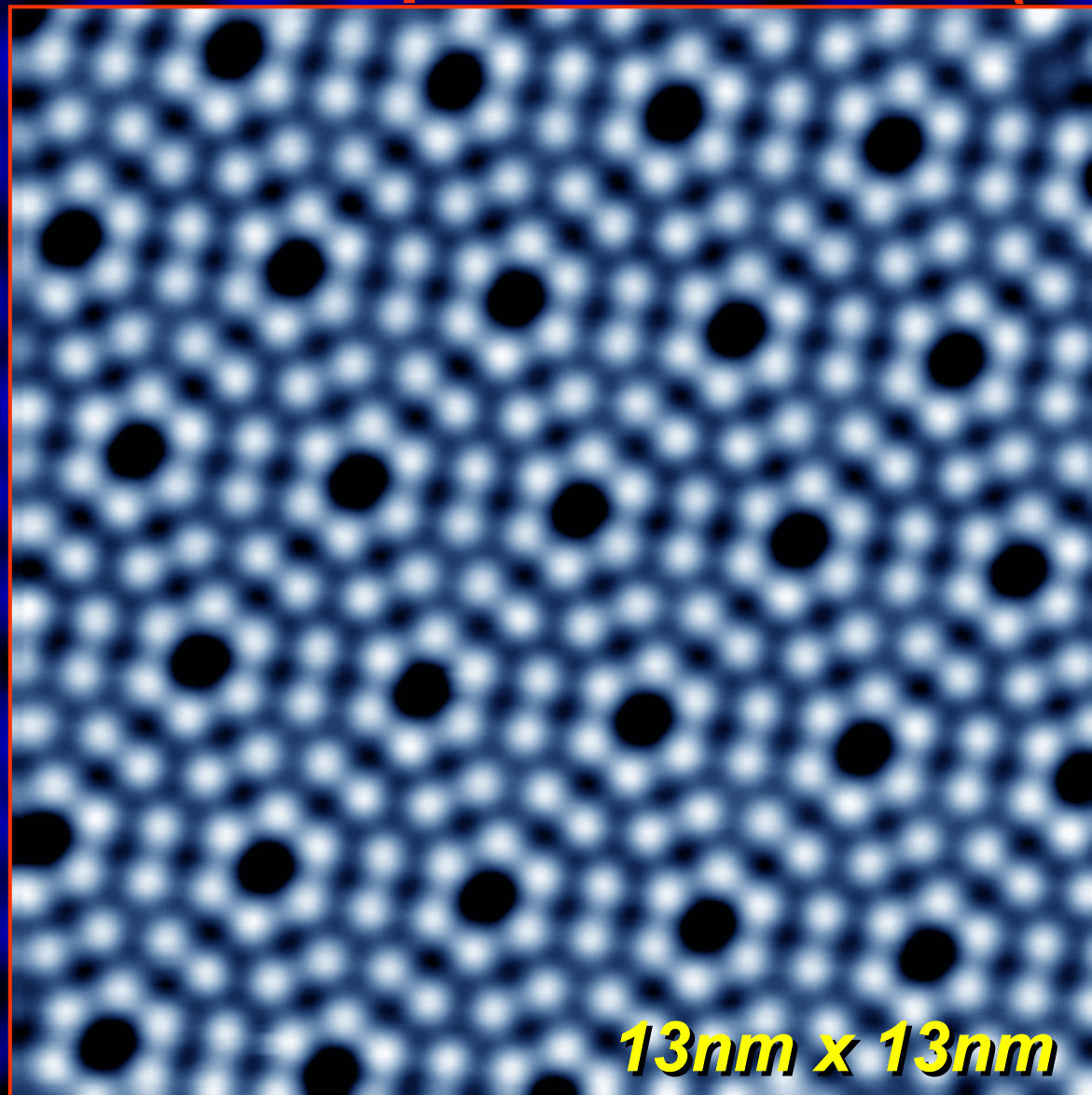
1. *Obrazowanie struktury atomowej i profilu powierzchni skanowanej próbki*

2. *Obróbka materiału na poziomie atomowym*

Odpowiednio duże napięcie przyłożone do sondy wyrywa atom z powierzchni próbki i umożliwia umieszczenie go w innym miejscu.

STM – narzędziem nanotechnologii !!!

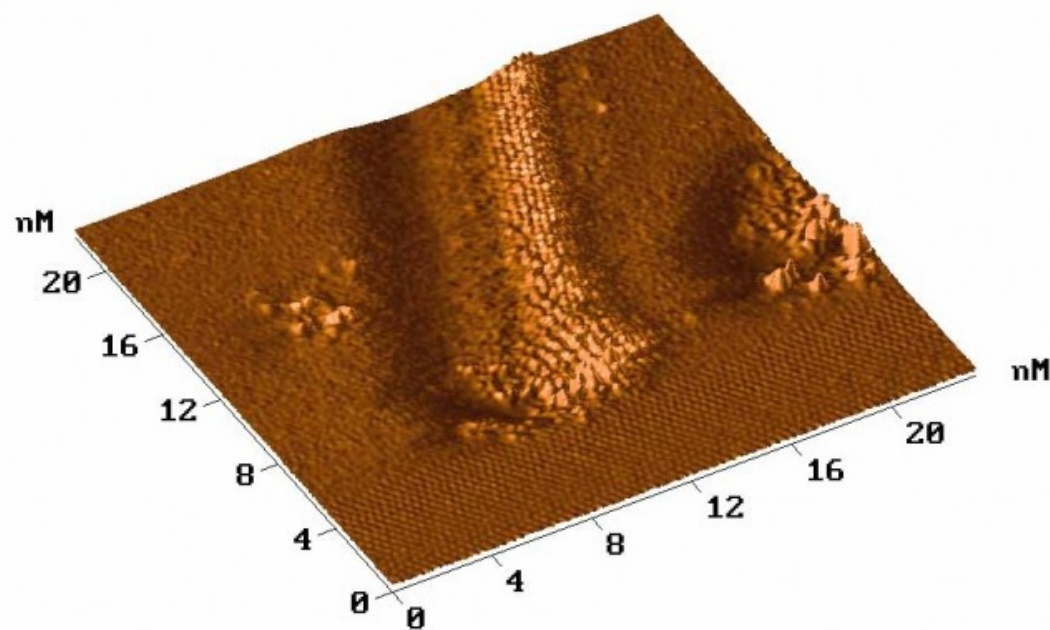
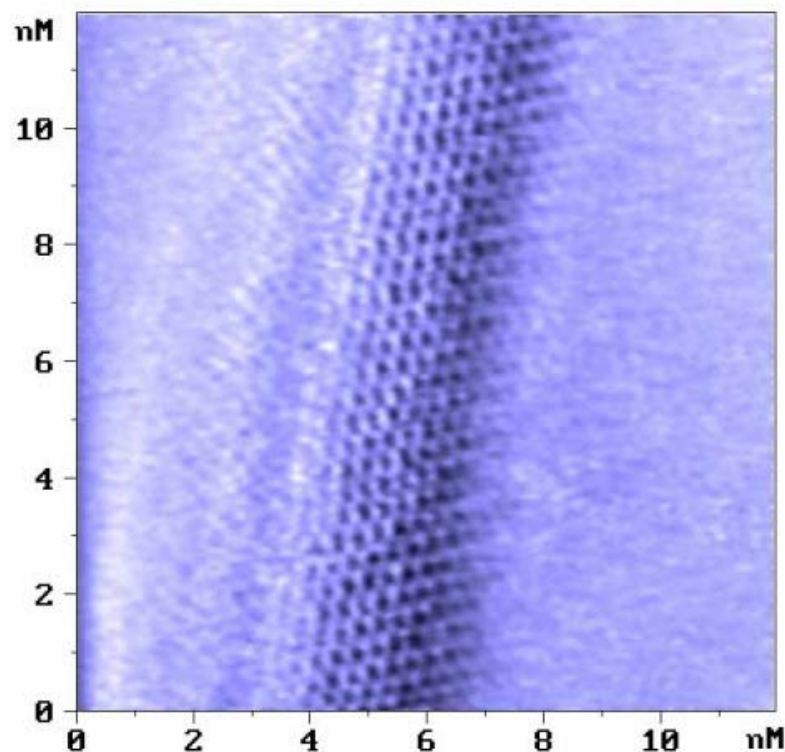
Obraz STM - powierzchnia Si(111)



13nm x 13nm

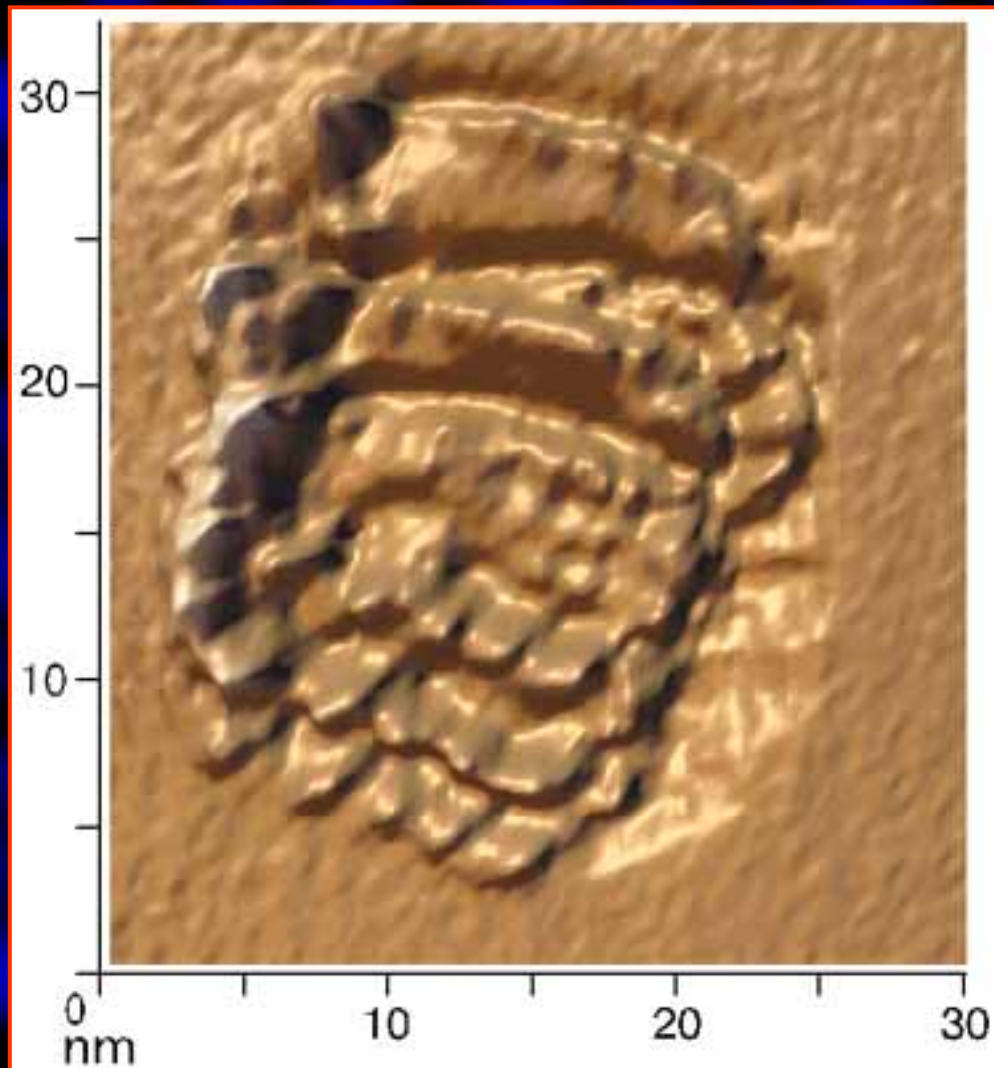
[http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/~sschem/haselab/hitosugi/stm_gall/gallery/Si\(111\).html](http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/~sschem/haselab/hitosugi/stm_gall/gallery/Si(111).html)

STM – wizualizacja struktury atomowej nanorurek węglowych osadzonych na graficie



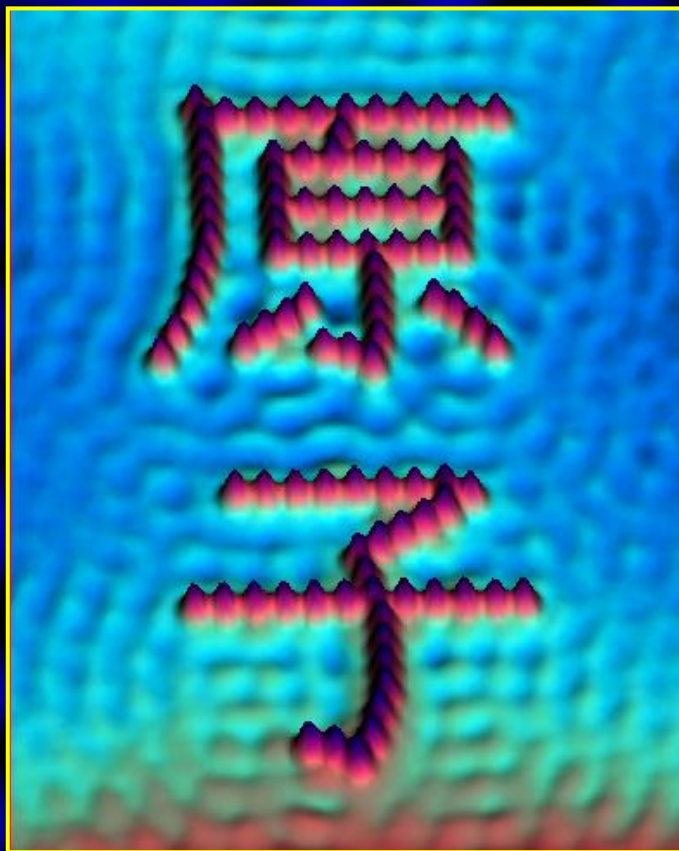
http://www.ntmdt.ru/Scan-gallery/Critical_Resolution/

STM – wirus Parvo spreparowany na powierzchni grafitu



http://www.ntmdt.ru/Scan-gallery/Life_Sciences/

STM – manipulacja pojedynczymi atomami



***Atomy żelaza na
powierzchni
miedzi (111)***

***słowo „atom”
(po japońsku)***

<http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/atomo.html>

Mikroskop sił atomowych (AFM)



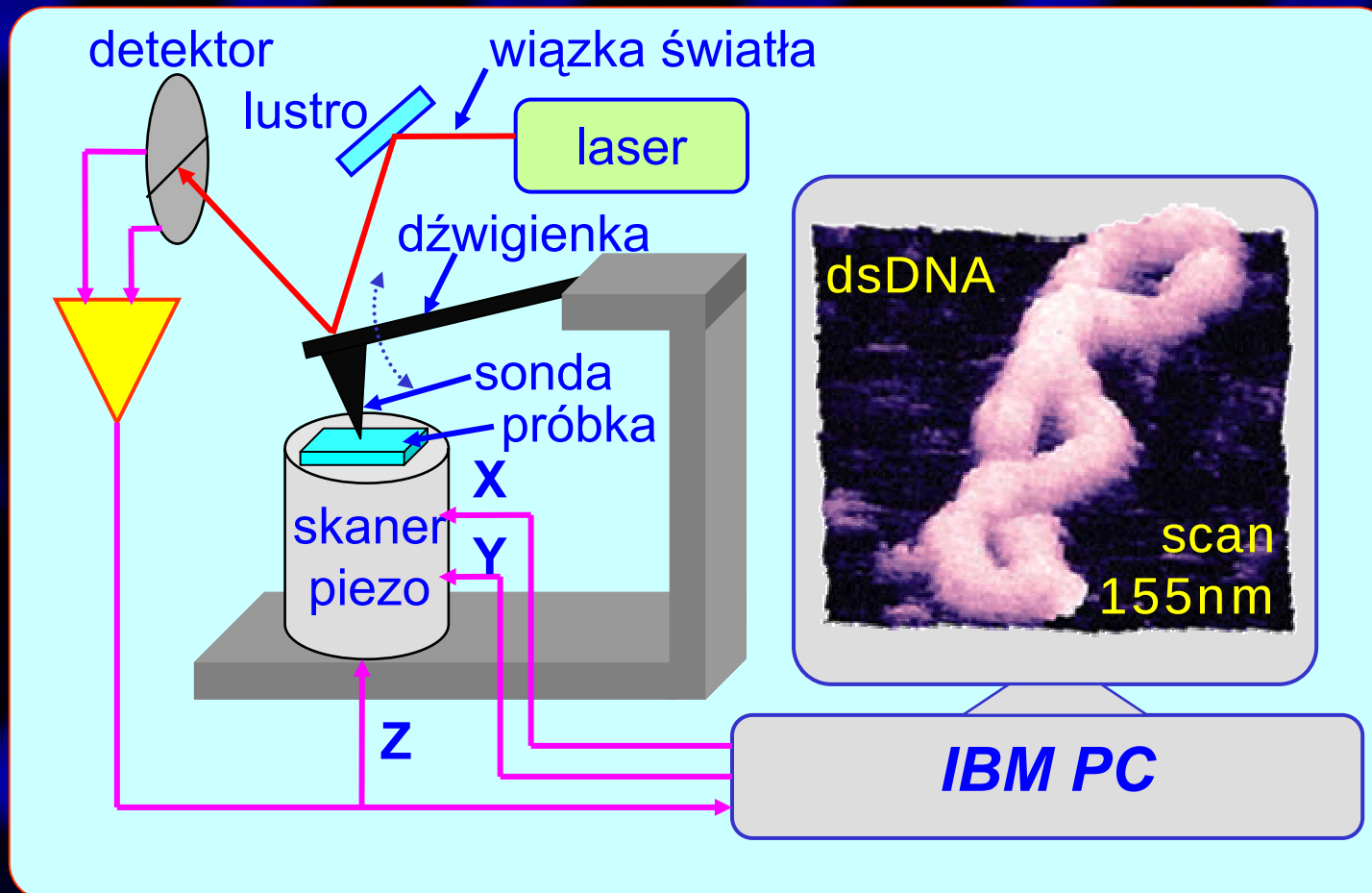
Obrazowanie 3D !!!



Próbki – dowolne, bez specjalnej preparacji !!!



Działa w próżni, w powietrzu i w cieczy !!!



Dźwigienki i sondy - wymagania

Dźwigienka (cantilever)

Długość L –
jak największa
($L = 3 \div 15 \mu\text{m}$)

Stosunek L/x –
jak największy
(do 10:1)

R – jak najmniejszy
($R = 10 \div 100 \text{ nm}$)

Twardość –
jak największa
(SiO_2 , Si, Si_3N_4)

sonda
(tip)

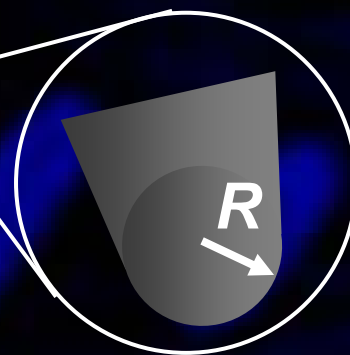
L

x

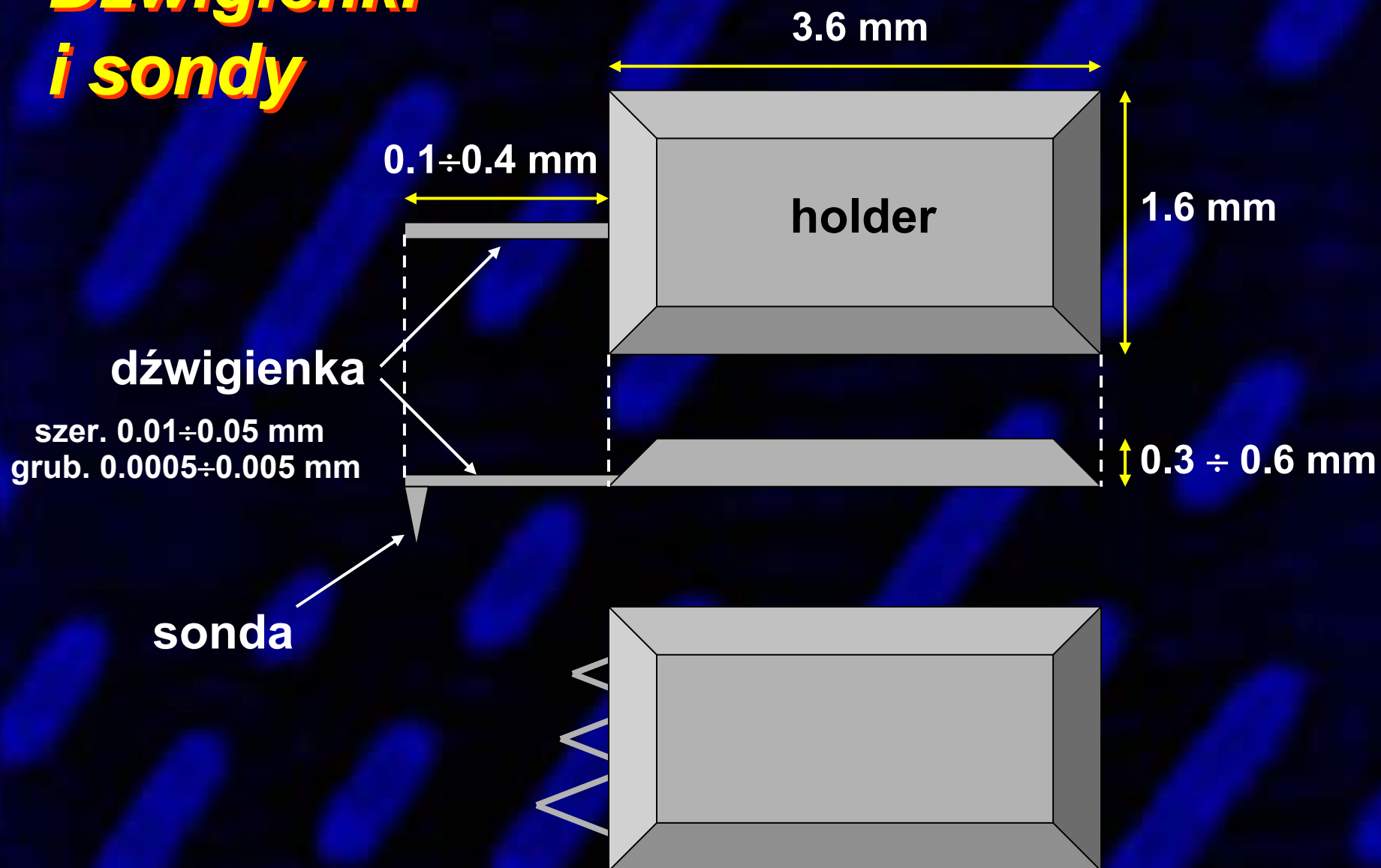
k – jak najmniejszy –
!!! pomiar małych sił
rzędu $10^{-13} \div 10^{-4} \text{ N}$!!!
($k = 0.02 \div 10 \text{ N/m}$)

f_{rez} – jak największa –
!!! redukcja wpływu
wibracji otoczenia i
zaburzeń akustycznych !!!
($f_{\text{rez}} = 6 \div 100 \text{ kHz}$)

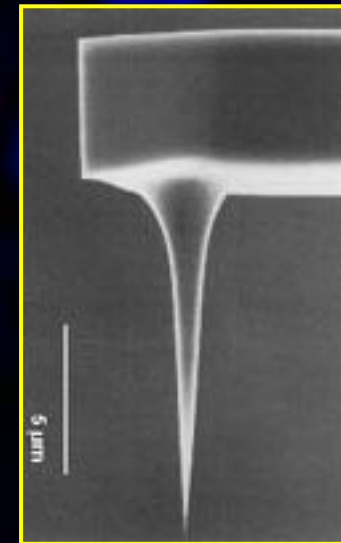
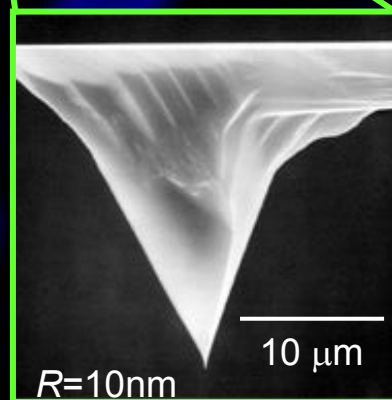
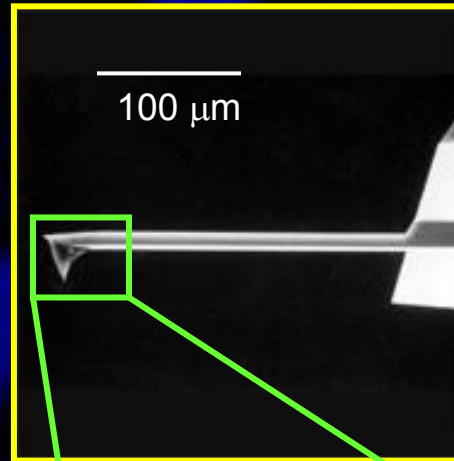
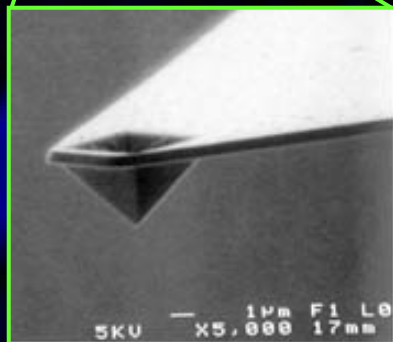
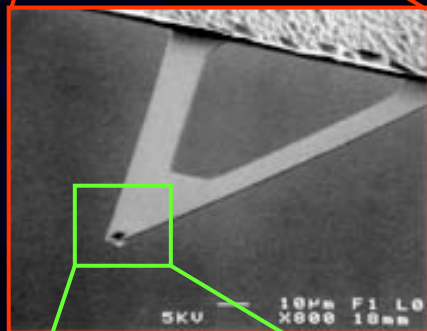
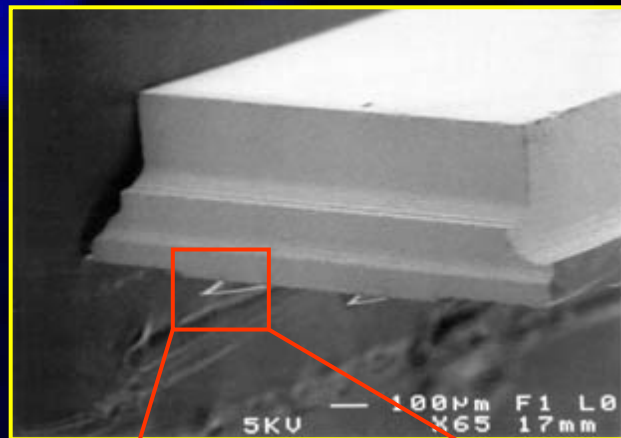
m (masa) –
jak najmniejsza
!!! $f_{\text{rez}} = (k/m)^{1/2}$!!!



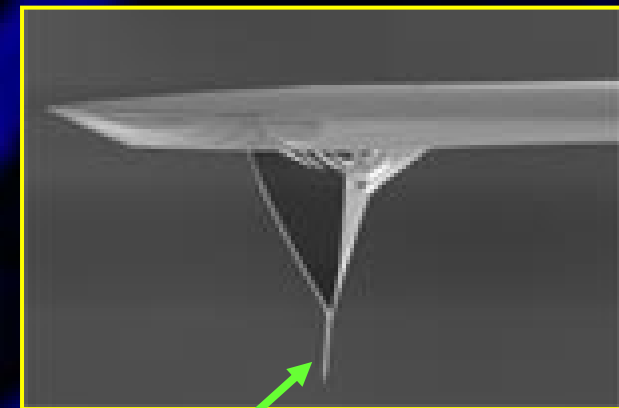
Dźwigienki i sondy



Sondy AFM



„supercone”



Oddziaływanie sonda - próbka

dźwigienka

długozasięgowe:

- Van der Waals'a – $\sim 60\text{nm}$, $\sim 60\text{nN}$
- Kapilarne – $5\div 50\text{nm}$, $\sim 60\text{nN}$
- Magnetyczne
- Elektrostatyczne

sonda

10^{10}
atomów

Otoczenie – gaz, ciecz
Stała dielektryczna
Siły kapilarne

Skanowanie –
tworzenie i rozrywanie
Tarcie wiązania

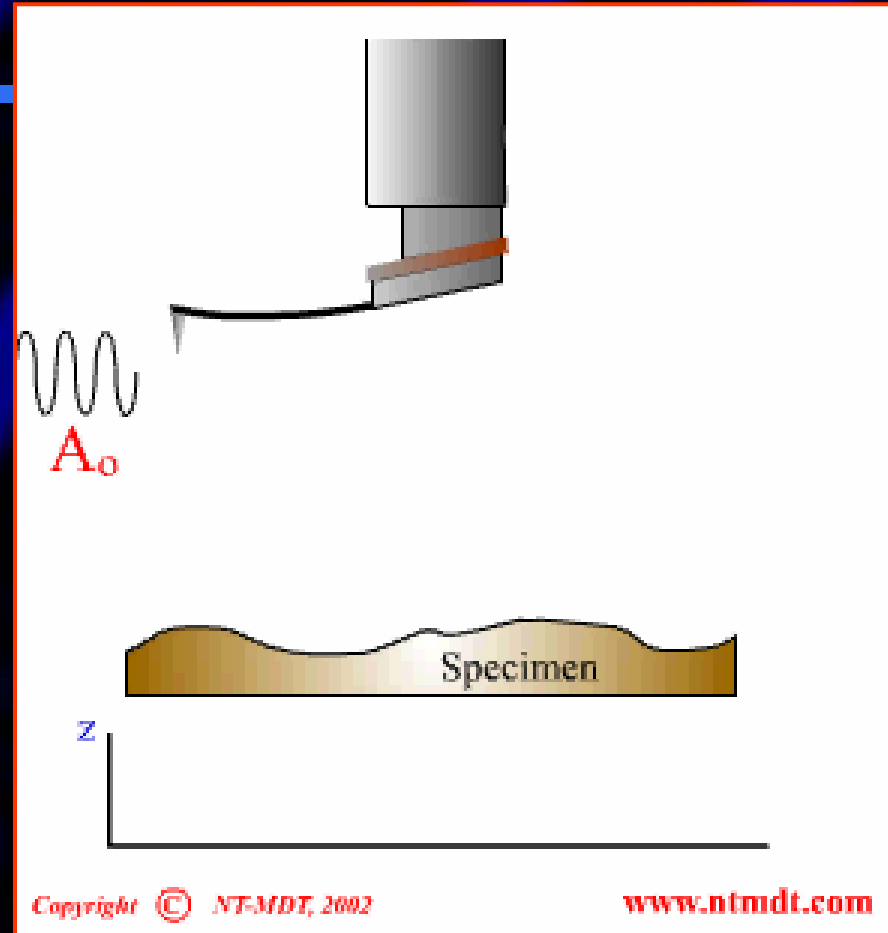
merle

krótkozasięgowe

- Odpychanie jonowe i „Pauli’ego” – 1Å
- Wiazania kowalenc. i metaliczne – kilka Å
- Zmiana konfiguracji elektronowej
- Deformacje elastyczne i plastyczne

AFM – „tapping mode”

- oscylująca sonda lekko „dziobie” powierzchnię próbki
- zmiany amplitudy drgań dźwigienki związane z ukształtowaniem powierzchni próbki służą do wytworzenia obrazu topograficznego



Możliwość badania miękkich próbek (bo brak sił tarcia, niszczących miękką próbkę)

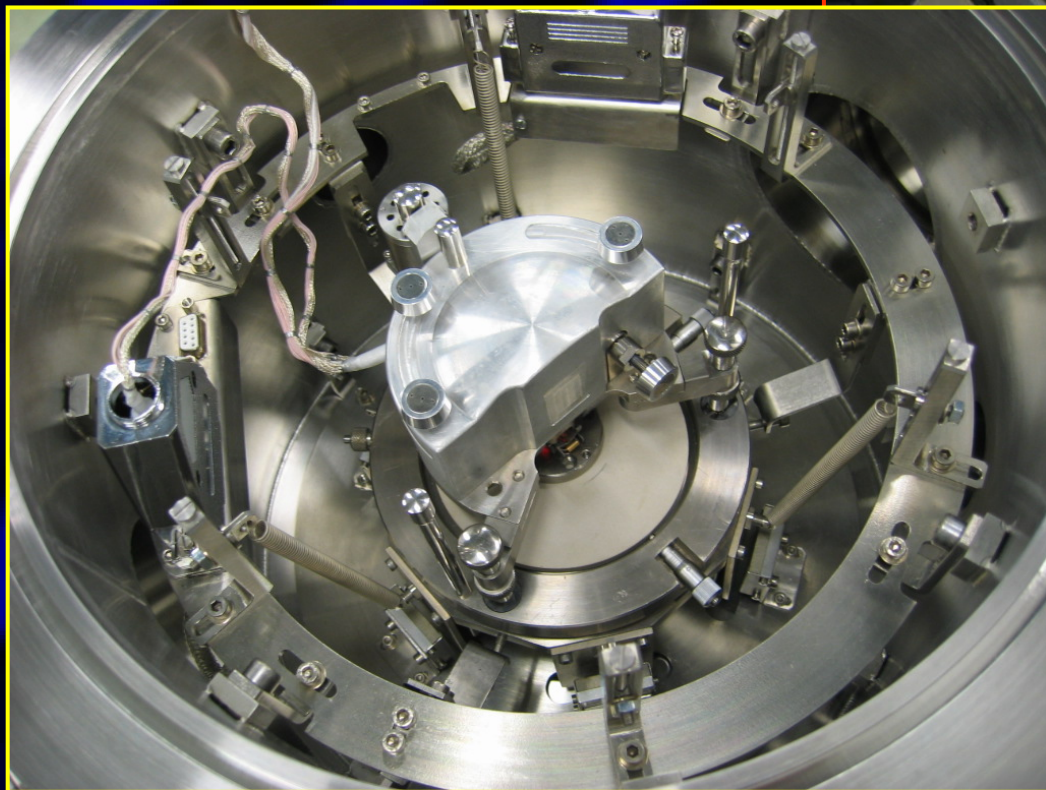
AFM



NT- MDT Ntegra

AFM

NT- MDT Solver HV



głowica



Zastosowania AFM

1. Sporządzanie mikroskopowych map:

- *ukształtowania powierzchni – topografia*
- *sił tarcia*
- *adhezji*
- *przestrzennego rozkładu magnetyzacji*
- *przestrzennego rozkładu ładunku elektrycznego*

2. Modyfikacja lokalnych właściwości próbki

- *nanolitografia*

Zastosowania AFM

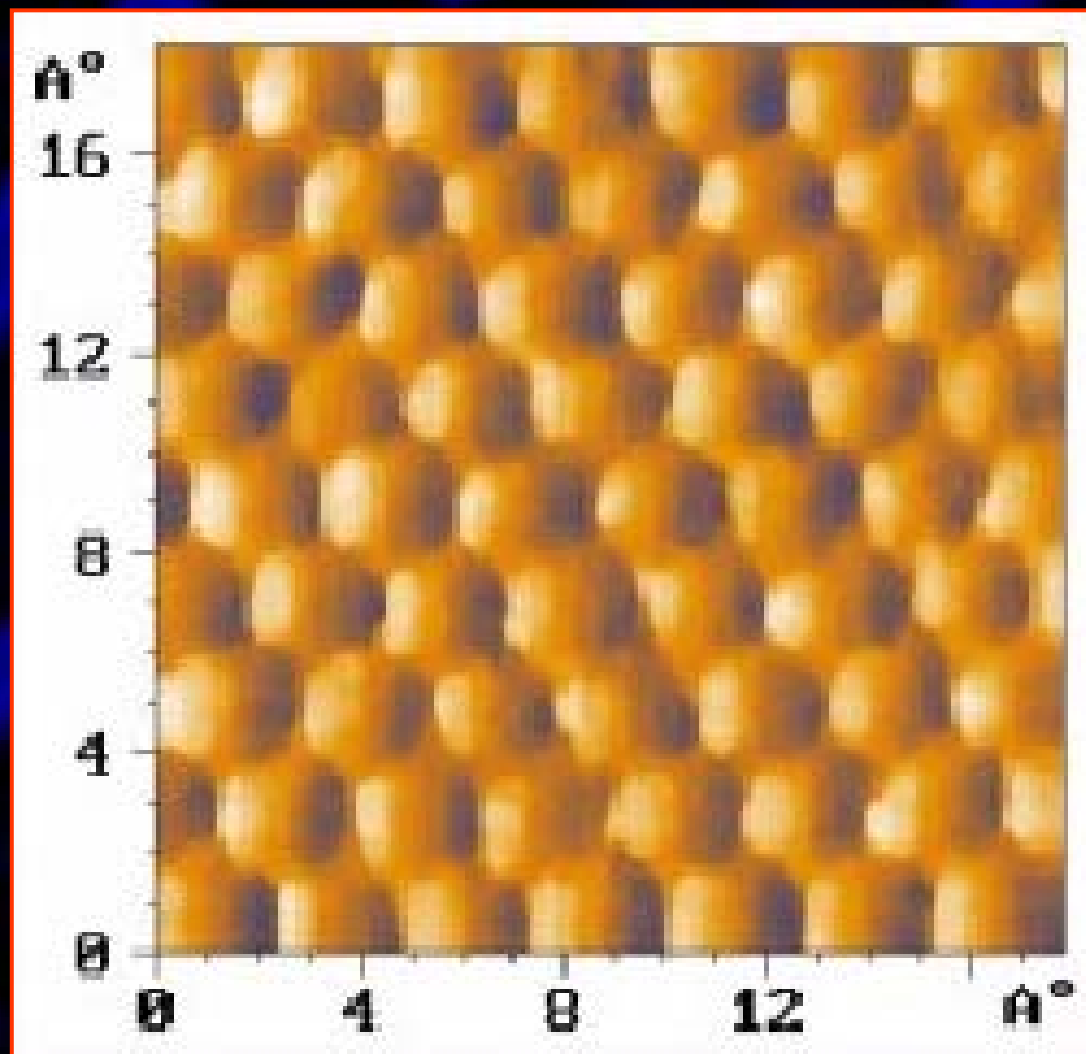
Nauka

- **fizyka**
- **chemia** (np. badania polimerów)
- **biologia** (np. badanie komórek w ich naturalnym, ciekłym środowisku)
- **biofizyka**
- **metalurgia**
- **geologia**

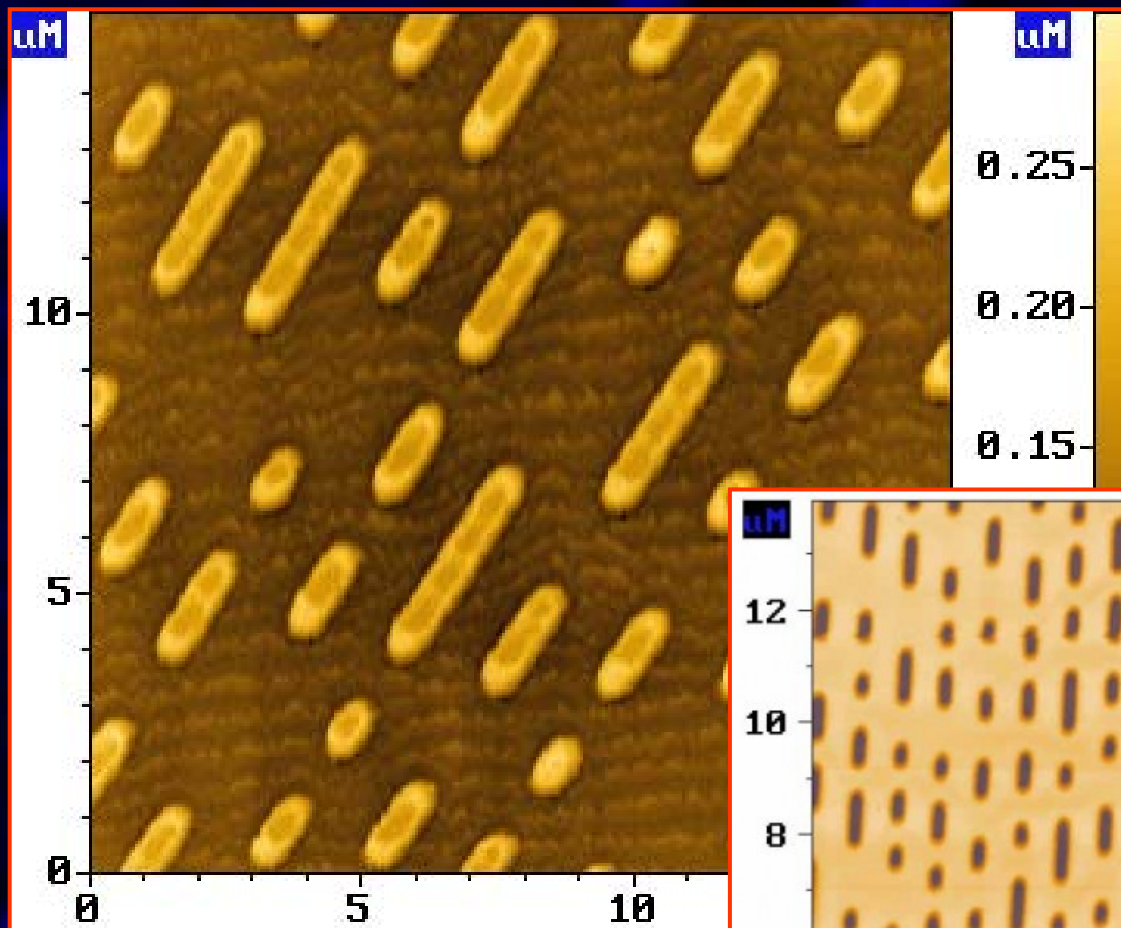
Przemysł

- **materiałów optycznych**
- **półprzewodników**
- **magnetycznych nośników pamięci**

AFM – powierzchnia grafitu

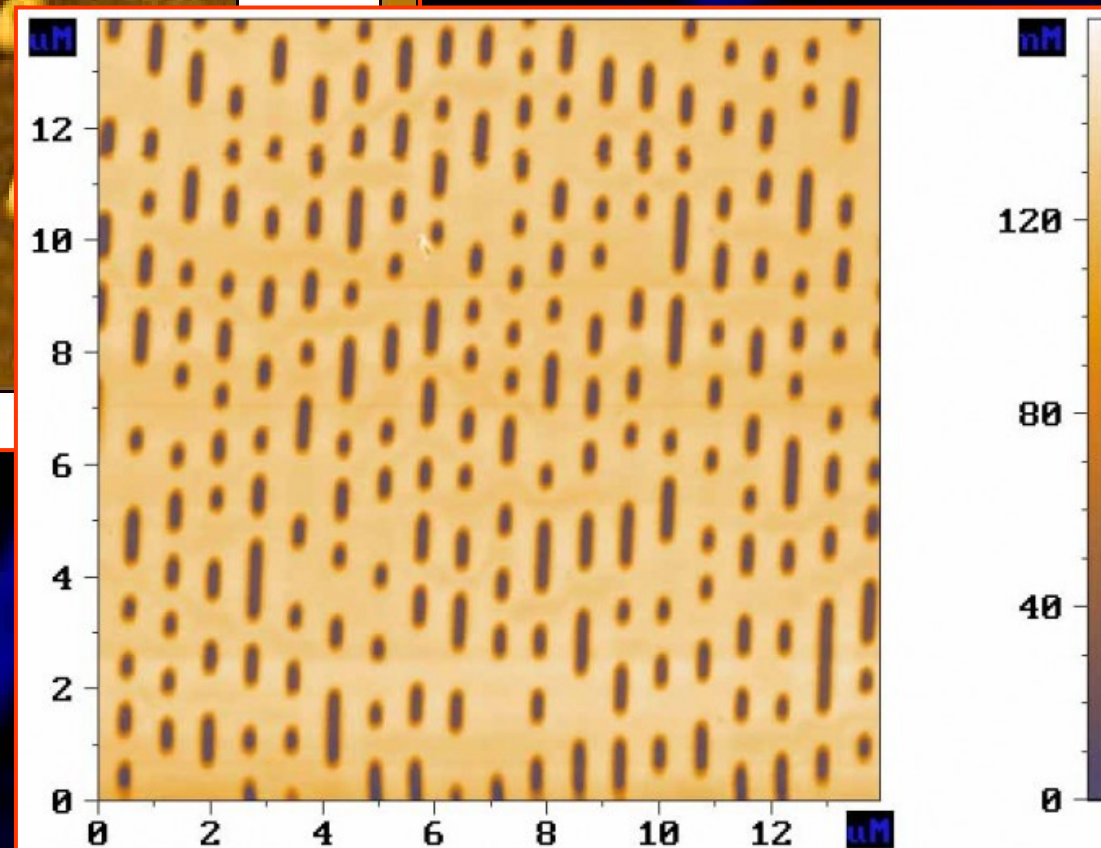


<http://www.ntmdt.ru/Scan-gallery>



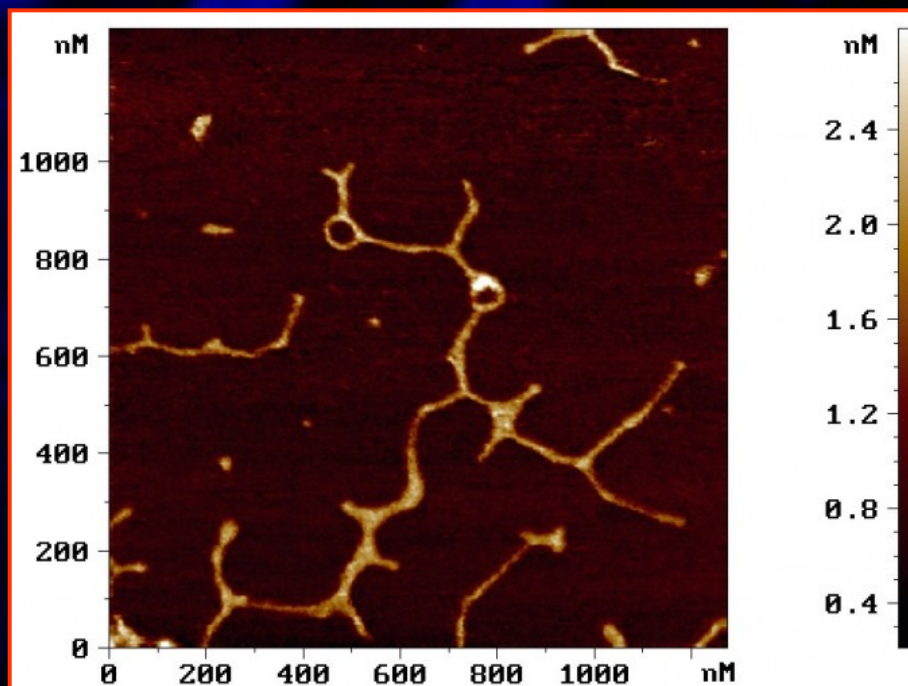
AFM
powierzchnia
CD...

... i DVD

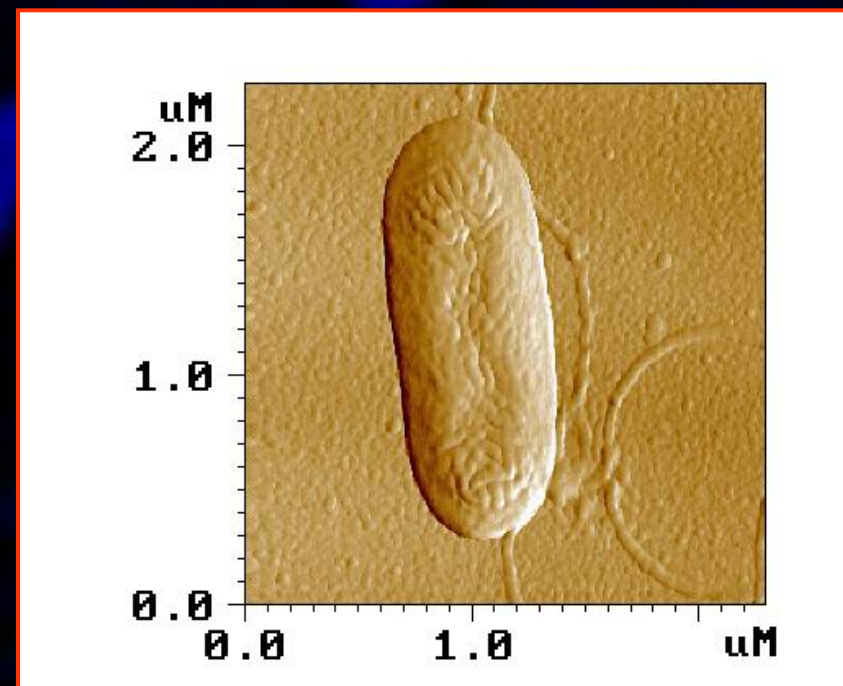


http://www.ntmdt.ru/Scan-gallery/Engineering_Industry/

AFM – obiekty biologiczne



*Agregacje okrągłych
i liniowych plazmidów DNA.
Obraz uzyskany w alkoholu.*

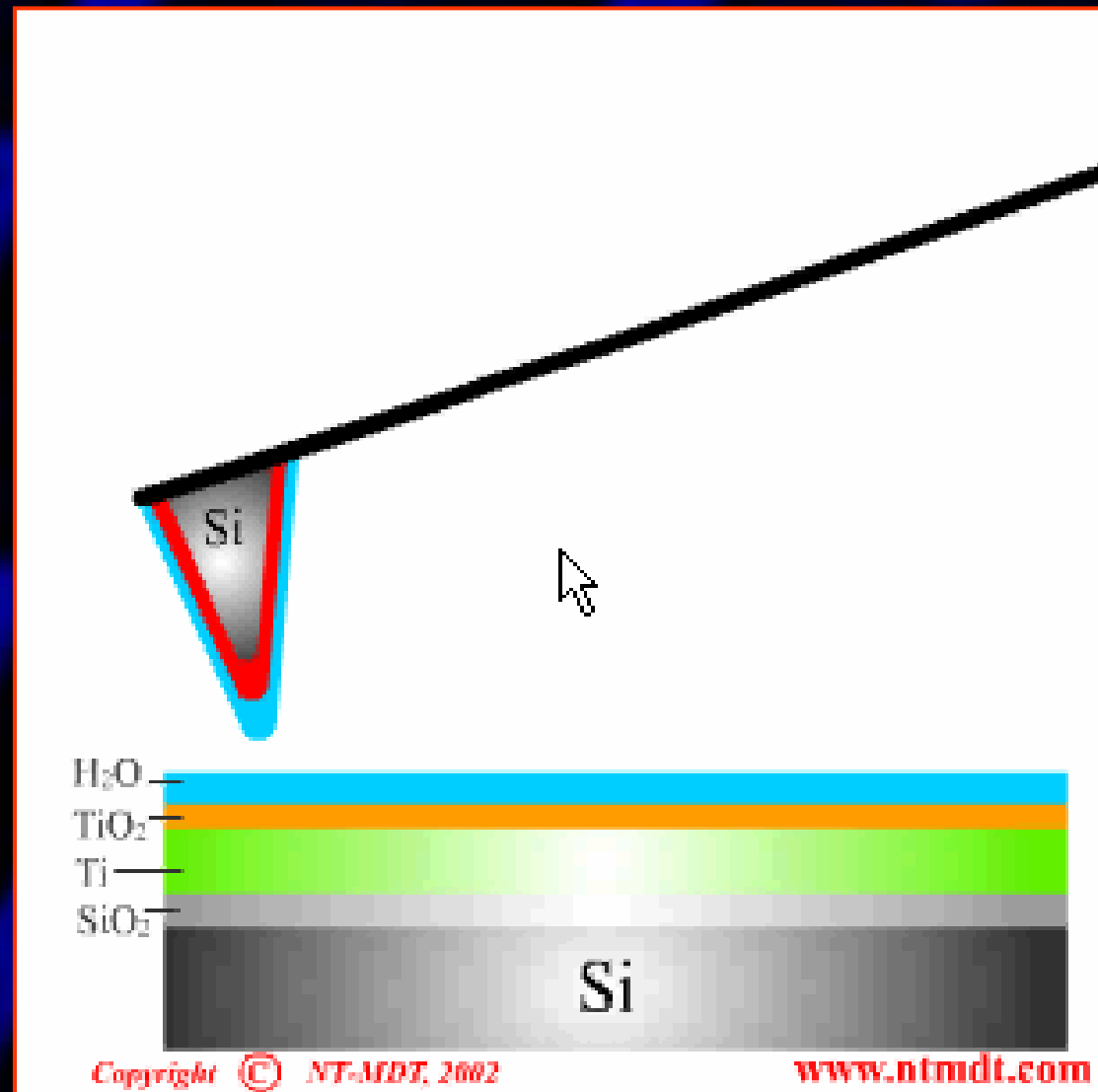


Bakteria Pseudomonas.

http://www.ntmdt.ru/Scan-gallery/Life_Sciences/

AFM - nanolitografia

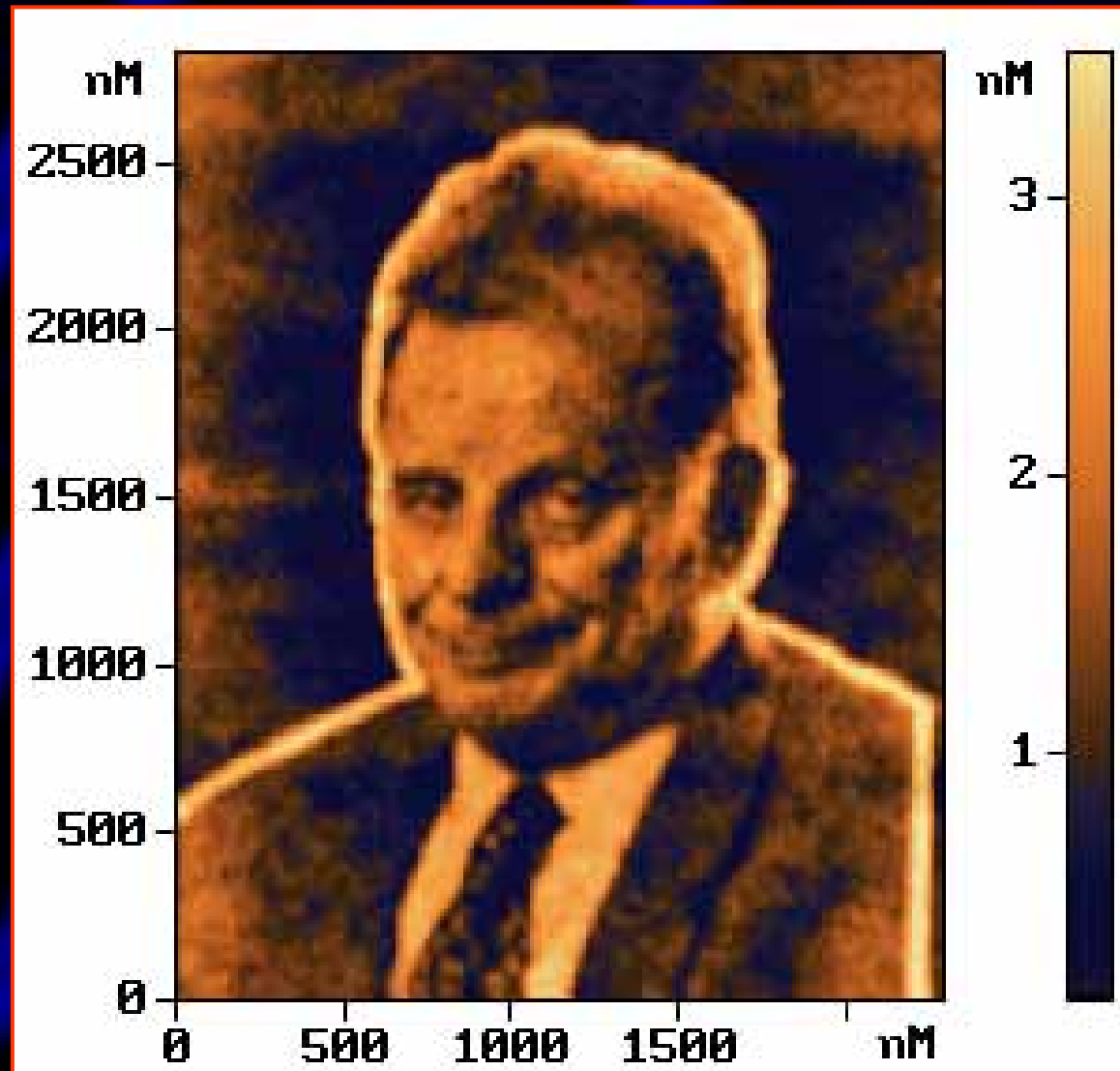
*Technika lokalnego
elektrycznego
utleniania sondą
ultracienkiej
warstwy tytanu na
podłożu
krzemowym*



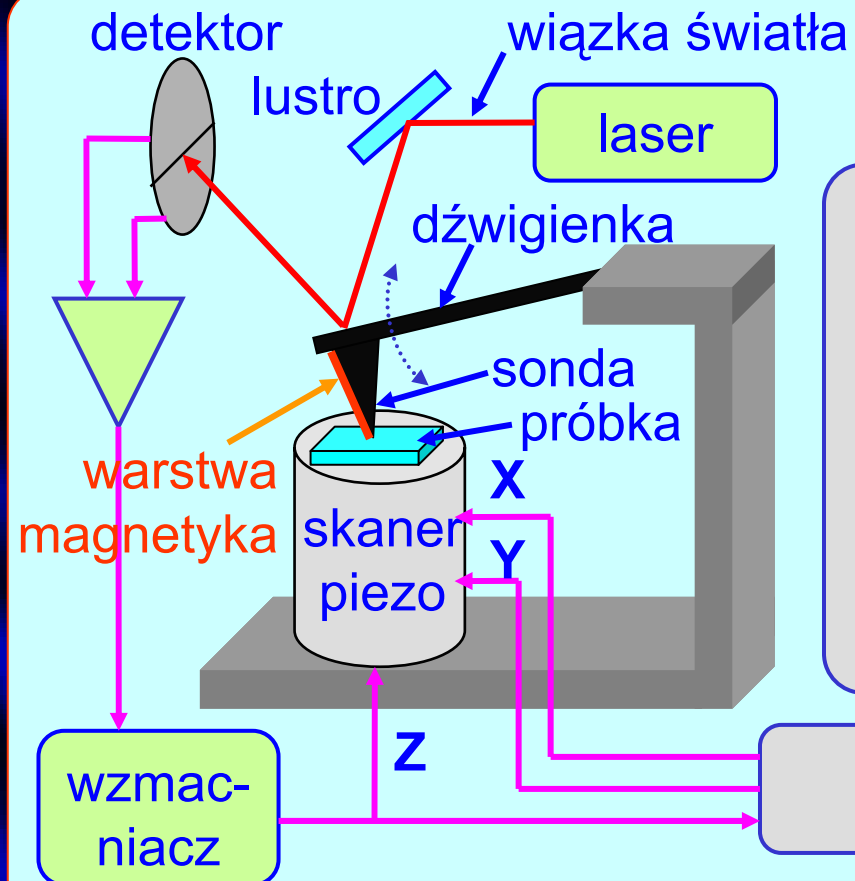
AFM - nanolitografia

Zhores Alferov
(Rosja)

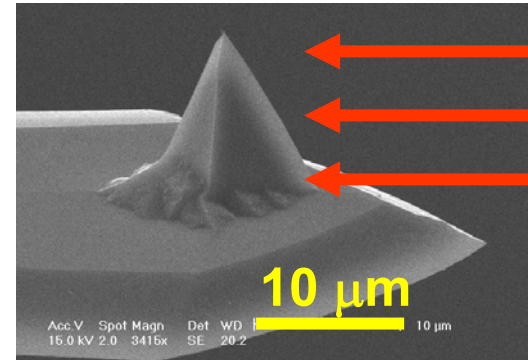
*laureat nagrody Nobla
z fizyki w 2000 r. za
wkład w rozwój
półprzewodnikowych
heterostruktur*



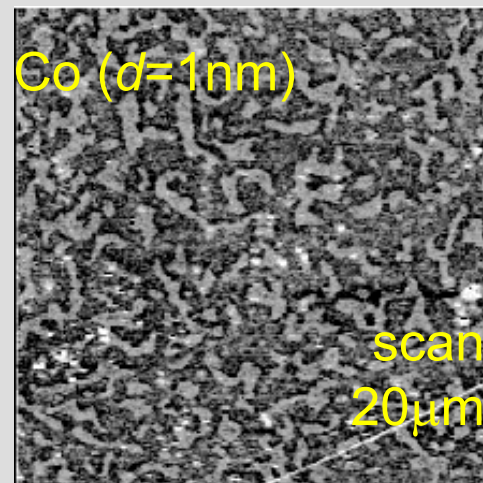
Mikroskop sił magnetycznych



Sonda pokryta warstwą
 $\text{Co}_{80}\text{Cr}_{20}$ (ok. 15 nm)



CoCr

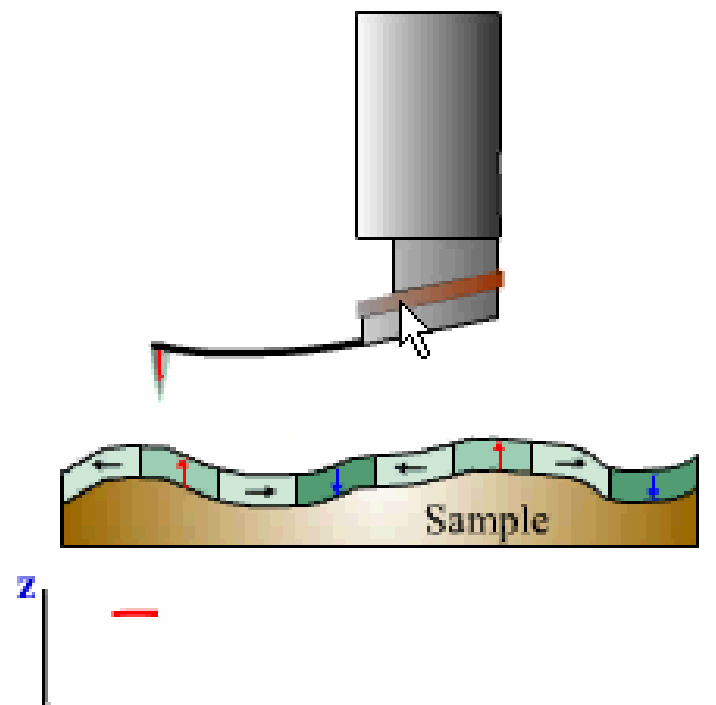


IBM PC

MFM – „lift mode”

- ❑ 1. przebieg: **profil topograficzny – „tapping mode”**
- ❑ uniesienie sondy na zadaną wysokość nad próbką
- ❑ 2. przebieg wzdłuż profilu topograficznego: **kontrast magnetyczny – z przesunięcia fazowego pomiędzy sygnałem wymuszającym drgania dźwigienki a drganiami dźwigienki**

1-st pass. Sample profile acquisition.

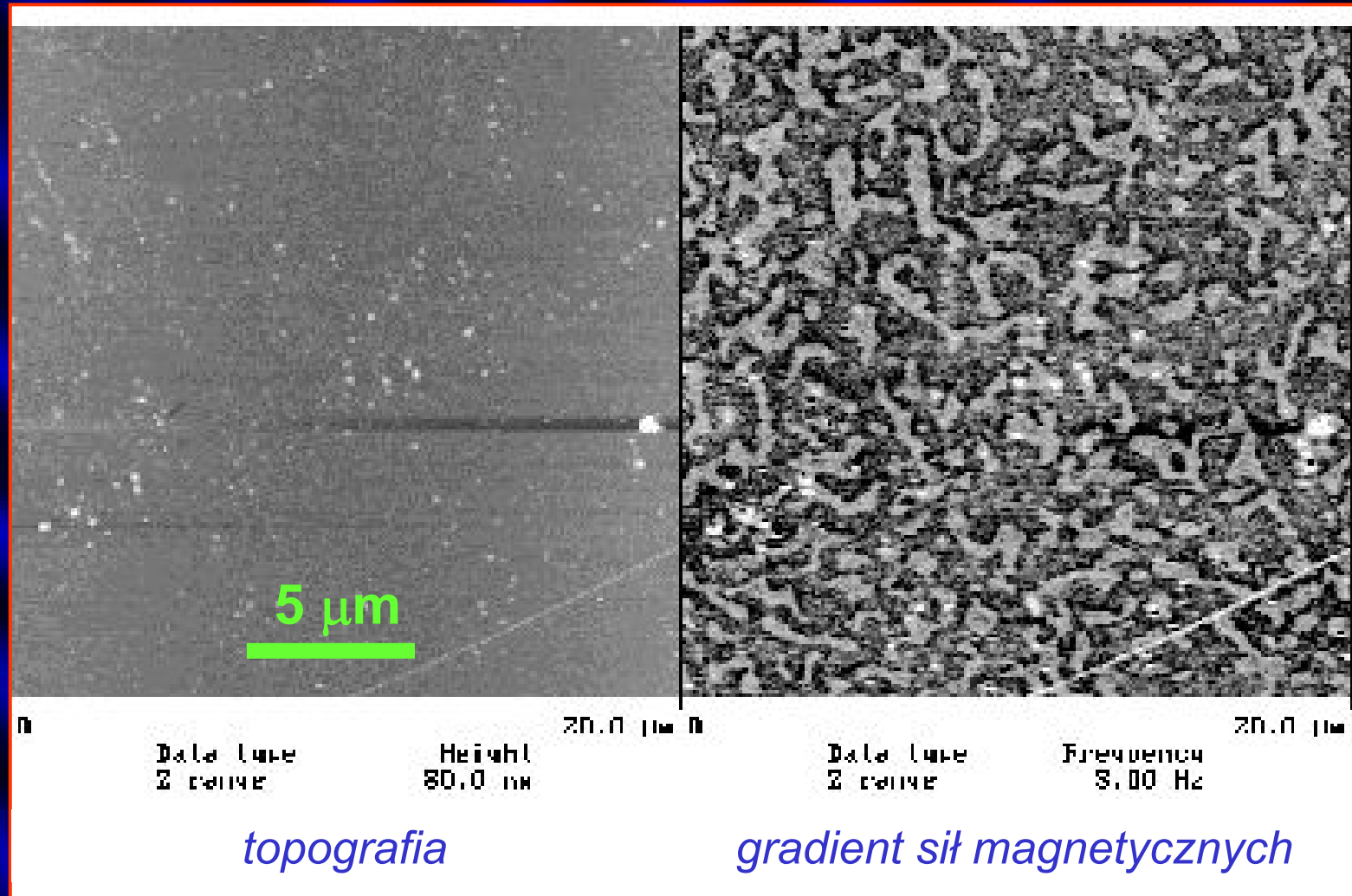


Copyright © NT-MDT, 2002

www.ntmdt.com

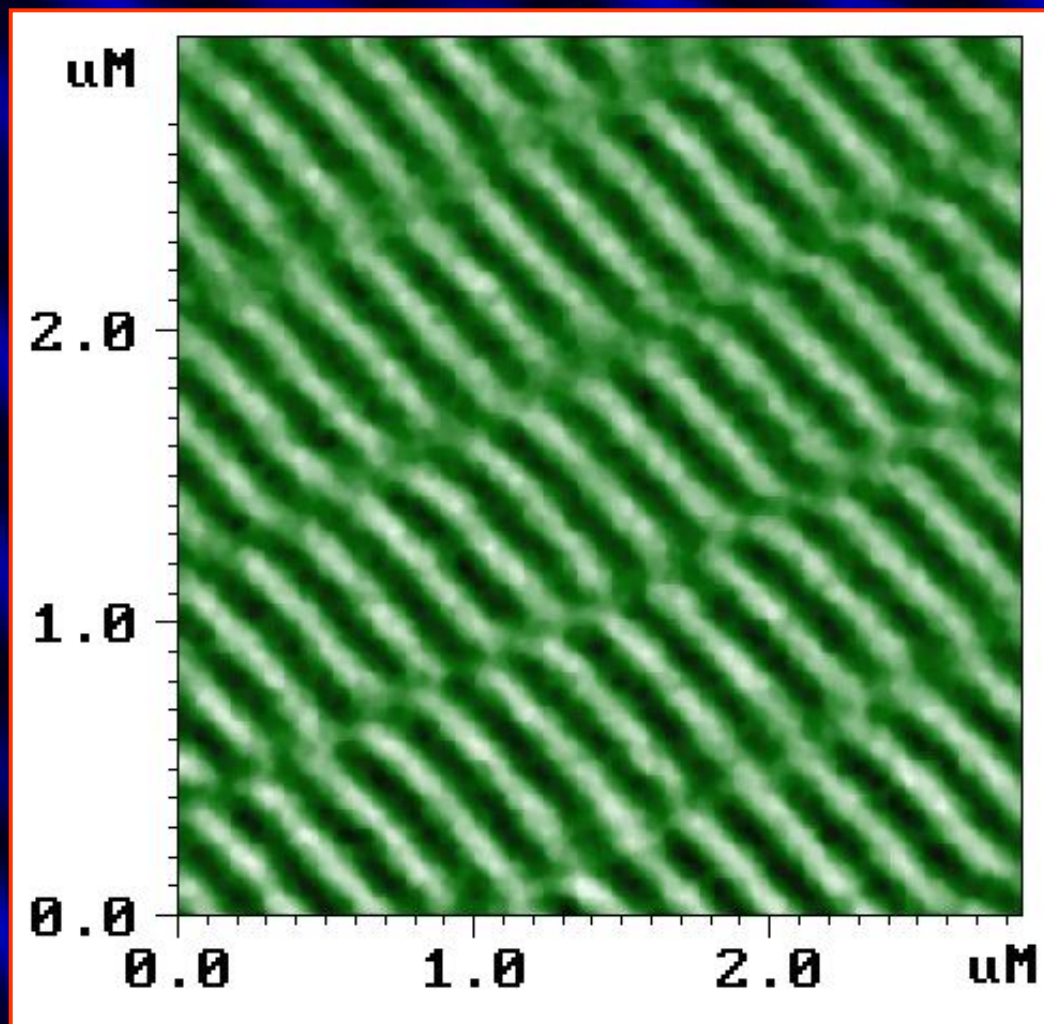
MFM – ultracienka warstwa Co ($d=1\text{nm}$)

***Multi Mode
DI / VEECO***



***M.Kisielewski, A.Maziewski, V.Zablotskii, T.Polyakova, J.M.Garcia,
A.Wawro, L.T.Baczewski, Journal of Applied Physics, 93, 6966 (2003)***

Dysk twardy o dużej gęstości zapisu (40Gb)

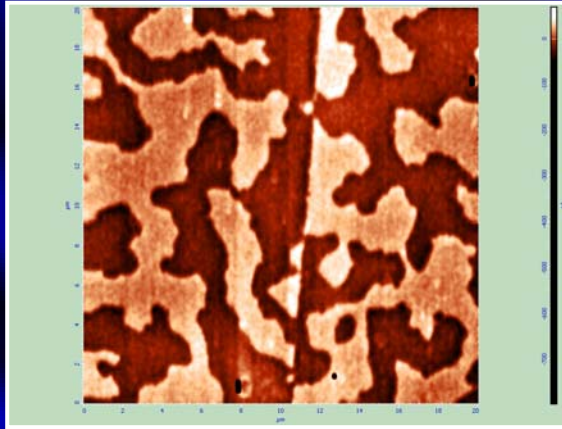
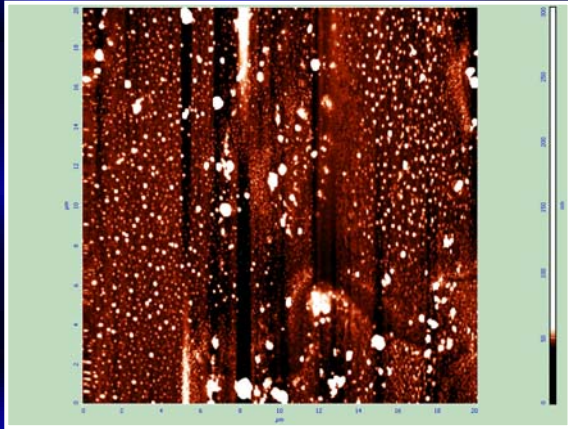


***Odległość pomiędzy
bitami wynosi ok.
200 nm.***

***Obraz uzyskano przy
pomocy miękkiej
magnetycznie
sondy z pokryciem
permalojowym.***

http://www.ntmdt.ru/Scan-gallery/Engineering_Industry/

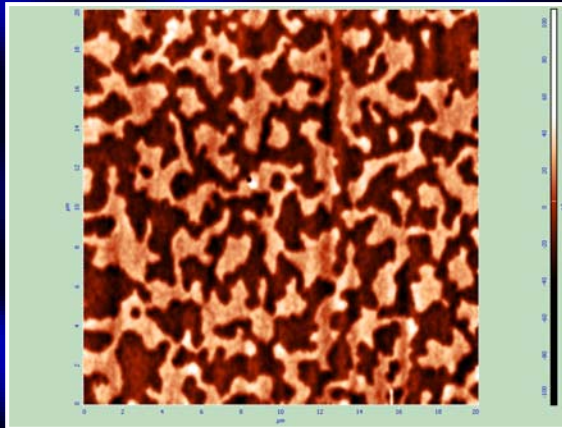
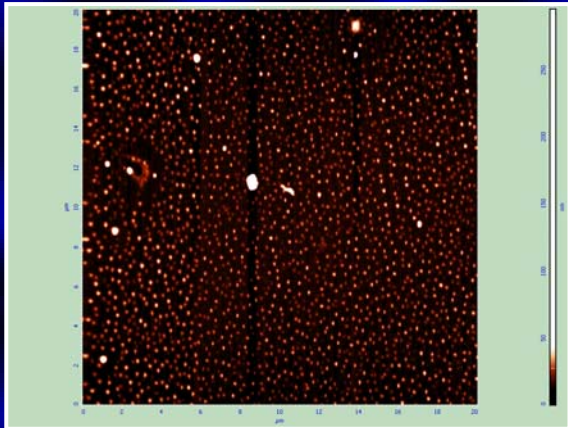
AFM 20×20 μm **MFM**



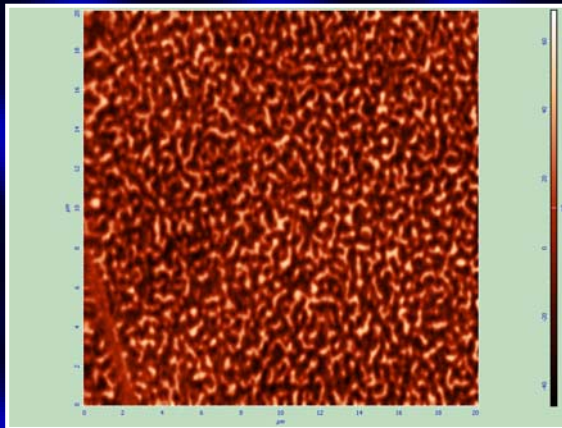
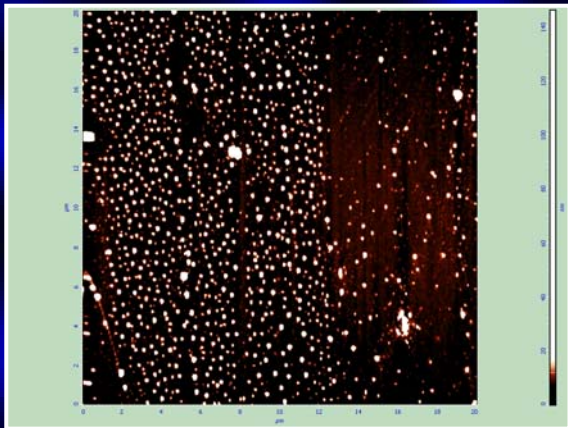
**Ultracienka
warstwa Co**

szafir/Mo/Au/Co(d)/Au

$d \approx 1.65 \text{ nm}$



$d \approx 1.70 \text{ nm}$



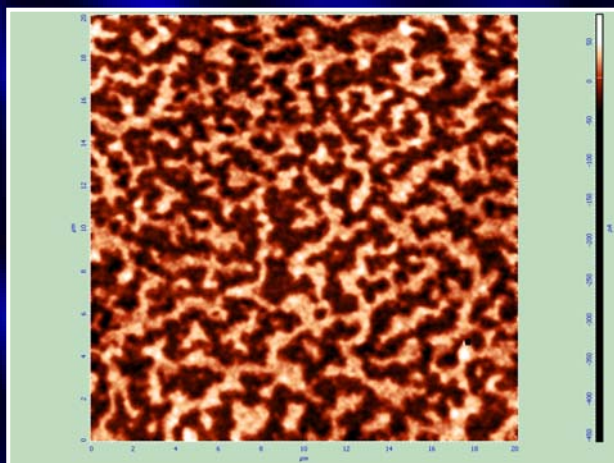
NT-MDT Ntegra

$d \approx 1.75 \text{ nm}$

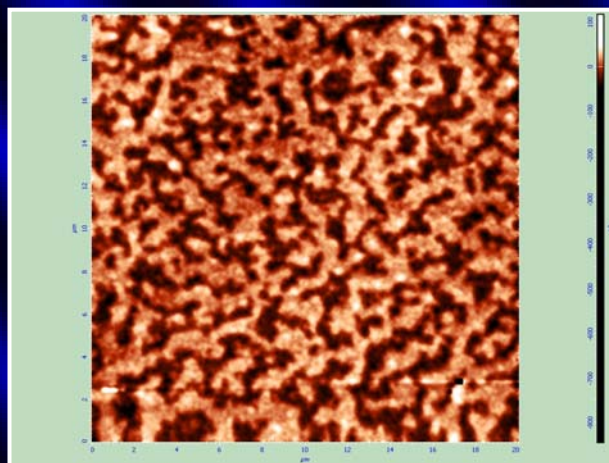
Ultracienki Co – MFM w polu prostopadłym

NT-MDT Ntegra

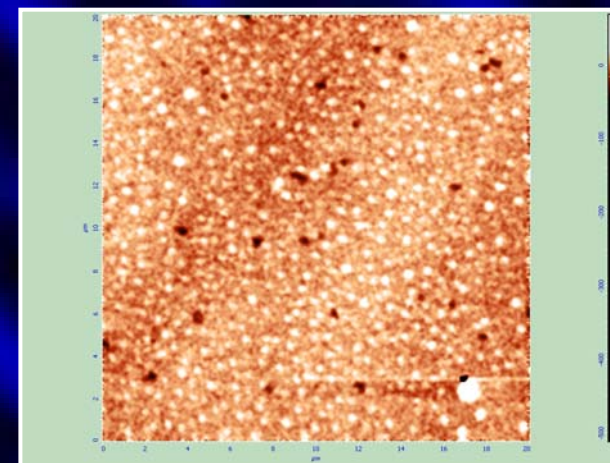
20×20 μm



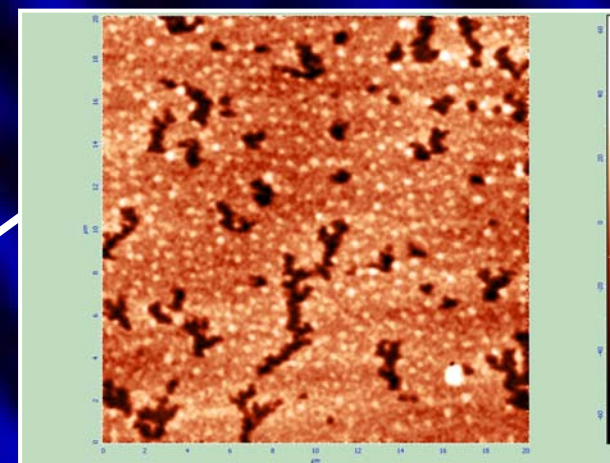
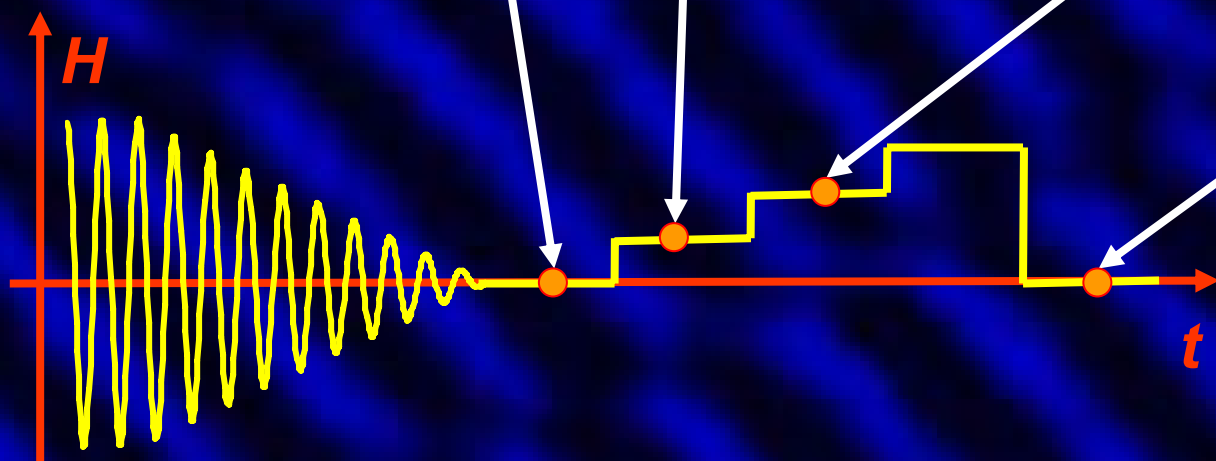
rozma-
gowanie H_{AC}



H=50 Oe



H=100 Oe



H=0 Oe

Podsumowanie

1. **STM** – obrazowanie 3D powierzchni próbek przewodzących z rozdzielczością atomową i manipulacja pojedynczymi atomami.
2. **AFM** – obrazowanie 3D powierzchni dowolnych próbek w dowolnym otoczeniu; wszechstronne zastosowania w nauce i przemyśle
3. **MFM** – obrazowanie struktur magnetycznych z rozdzielczością sub-mikronową

