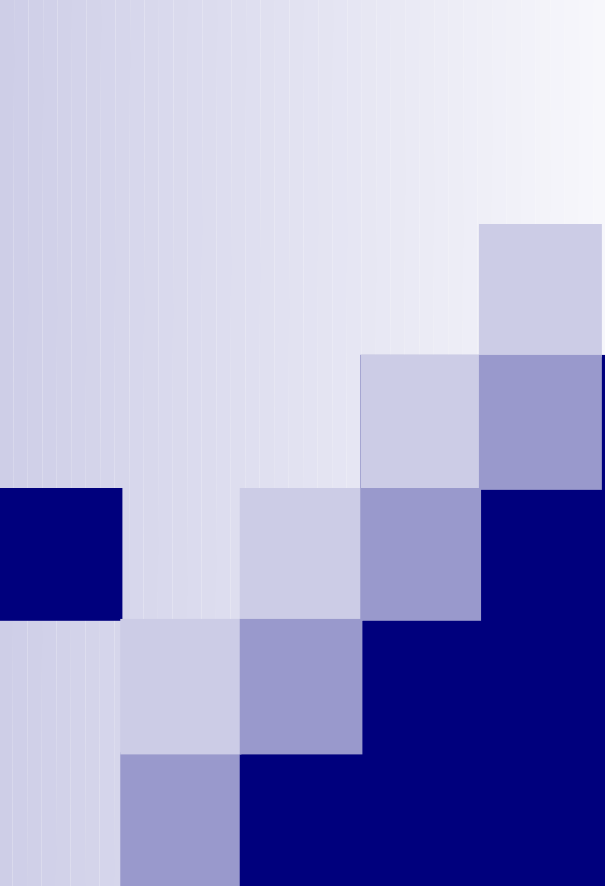




Kryształy, półprzewodniki, nanotechnologie.

Dr inż. KAROL STRZAŁKOWSKI
Instytut Fizyki UMK w Toruniu
skaroll@fizyka.umk.pl

Plan ogólny

- Krysztály, półprzewodniki, nanotechnologie, czyli czym będziemy się zajmować.
- Budowa materii - pojęcie atomu.
- Co to są krysztály i jak powstają.
- Krysztály półprzewodnikowe - właściwości.
- Nanowymiarowe struktury półprzewodnikowe.
- Metody badań nanoukładów.
- Nanotechnologie - jaka przyszłość ?

Wykład VI.

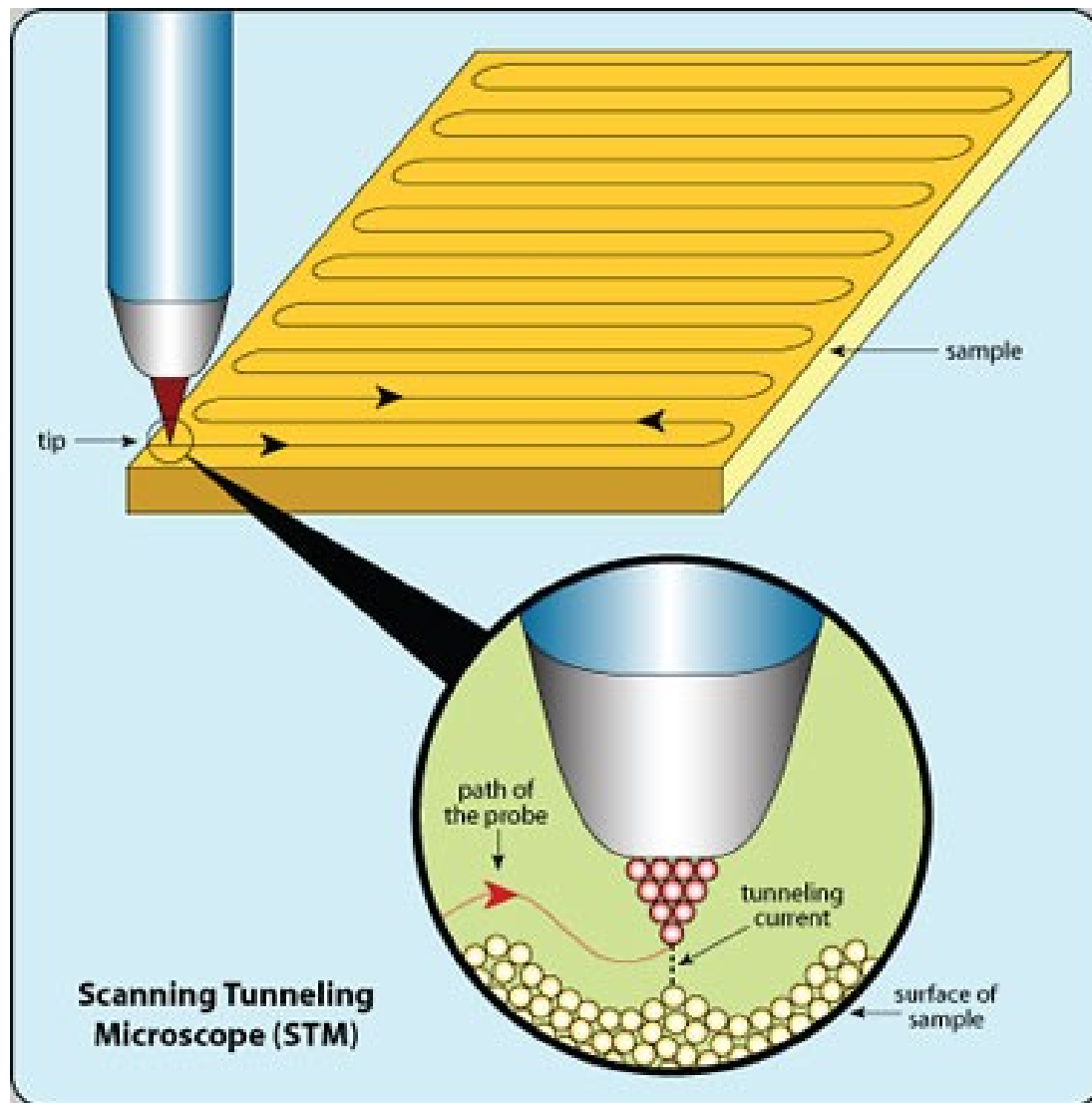
Metody badań nanoukładów.

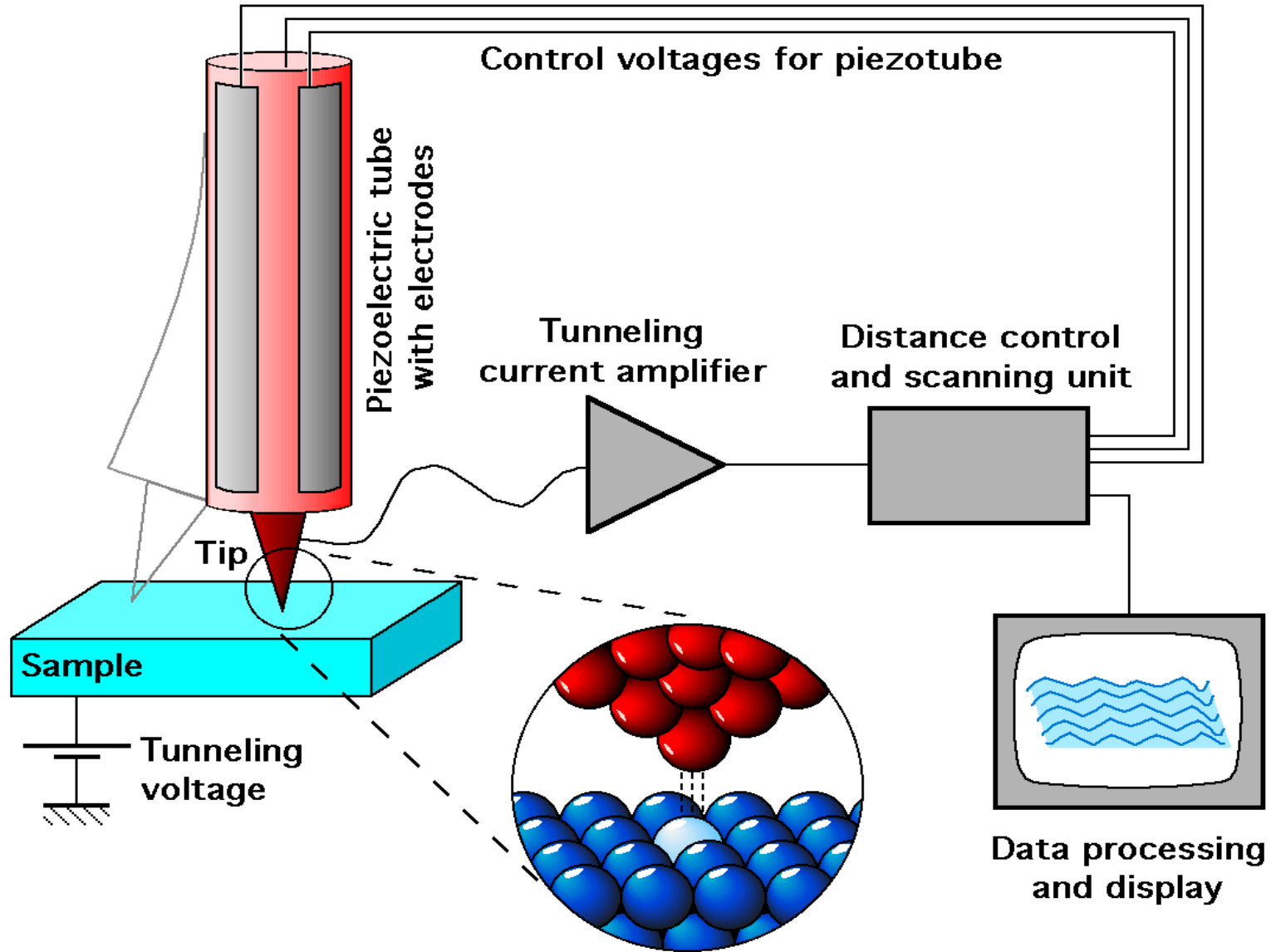
Nanostruktury - plan na dziś.

- Mikroskop STM.
- Zasada działania AFM.
- Scanning Electron Microscopy SEM.
- Studnia kwantowa, kwantowy efekt rozmiarowy.
- Cienkie warstwy - dwuwymiarowe.
- Druty kwantowe - jeden wymiar.
- Kropki kwantowe - twory 0 D.
- Fullereny i nanorurki.
- Podsumowanie.

Mikroskop STM.

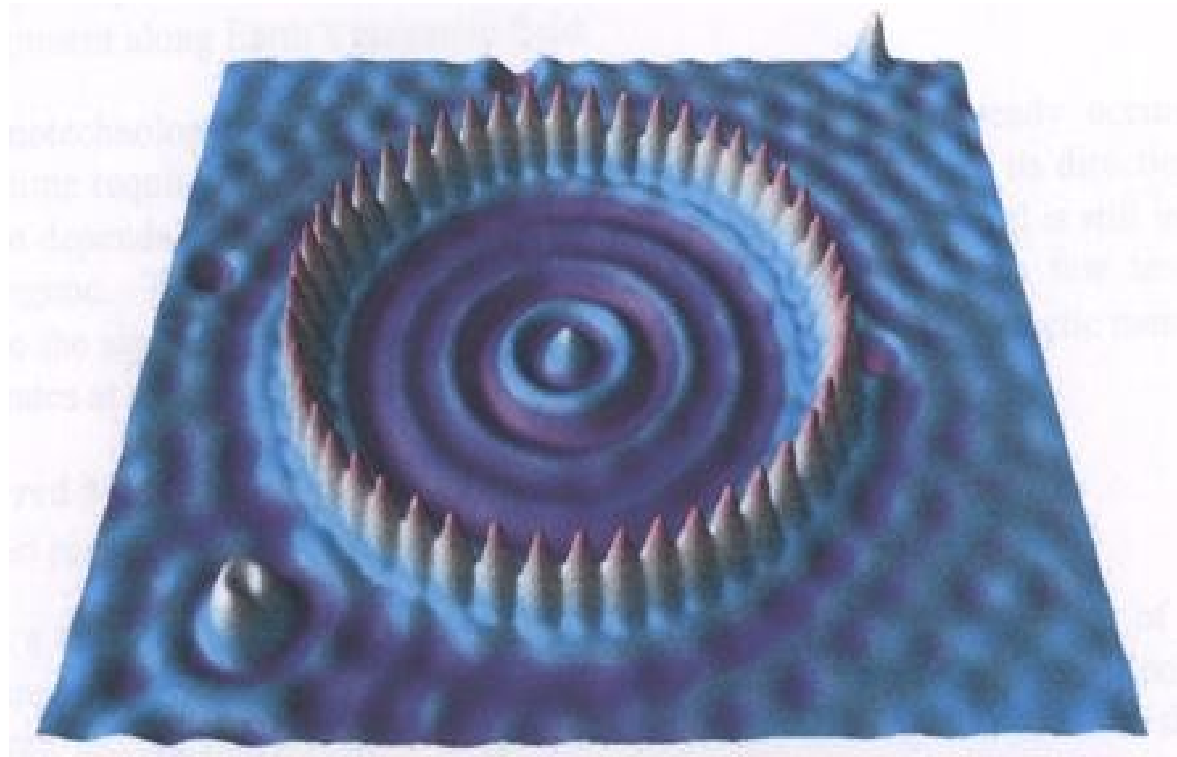
- Zasada działania
STM - Scanning
Tunneling Microscopy.

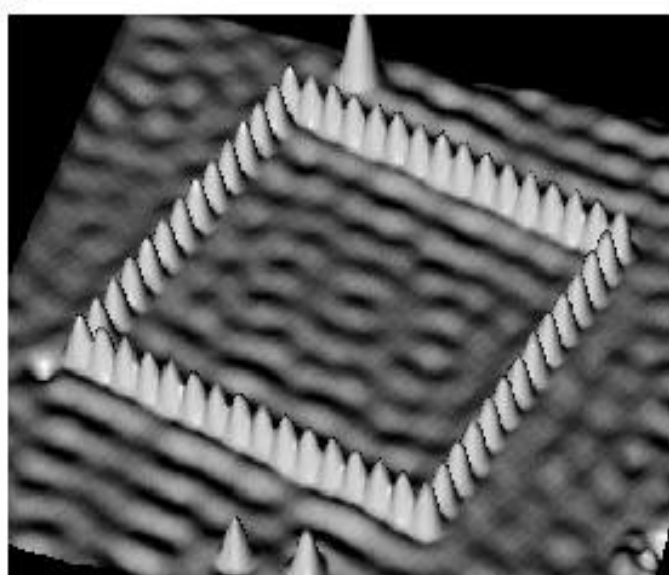
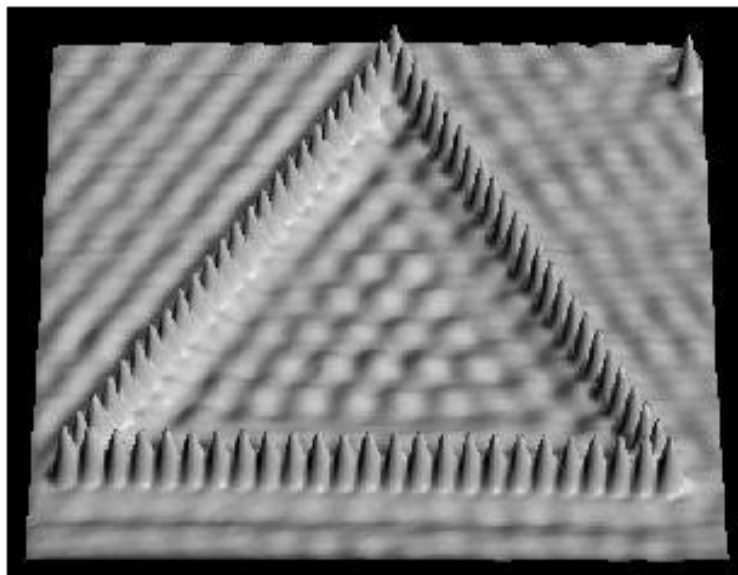
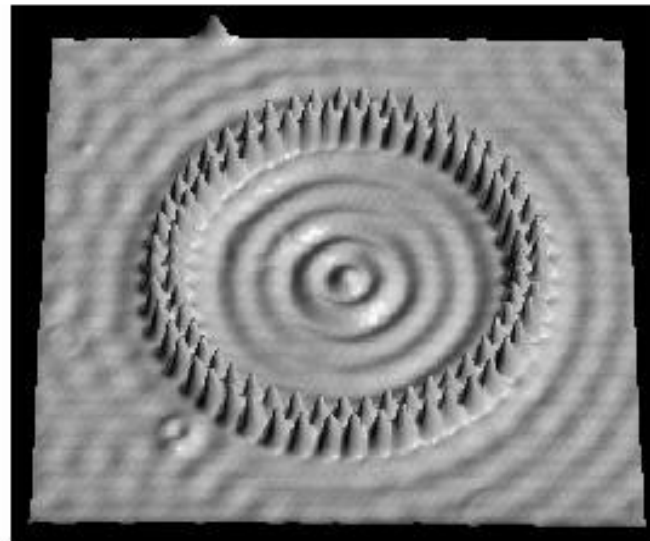
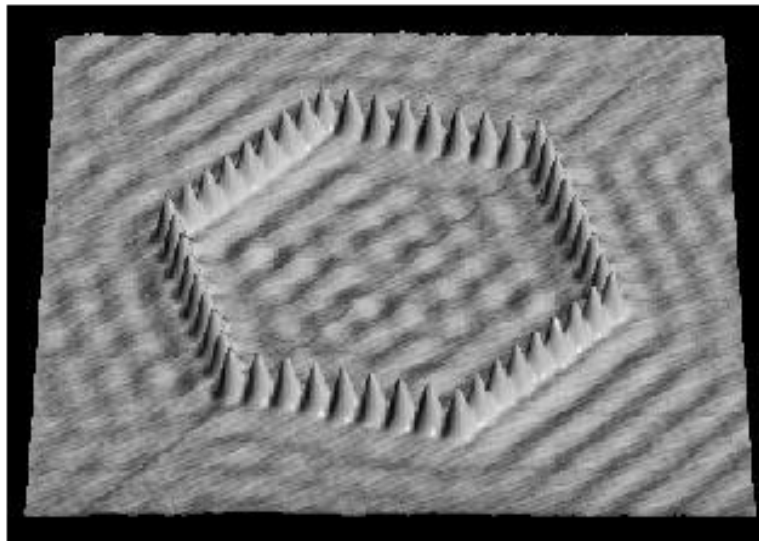




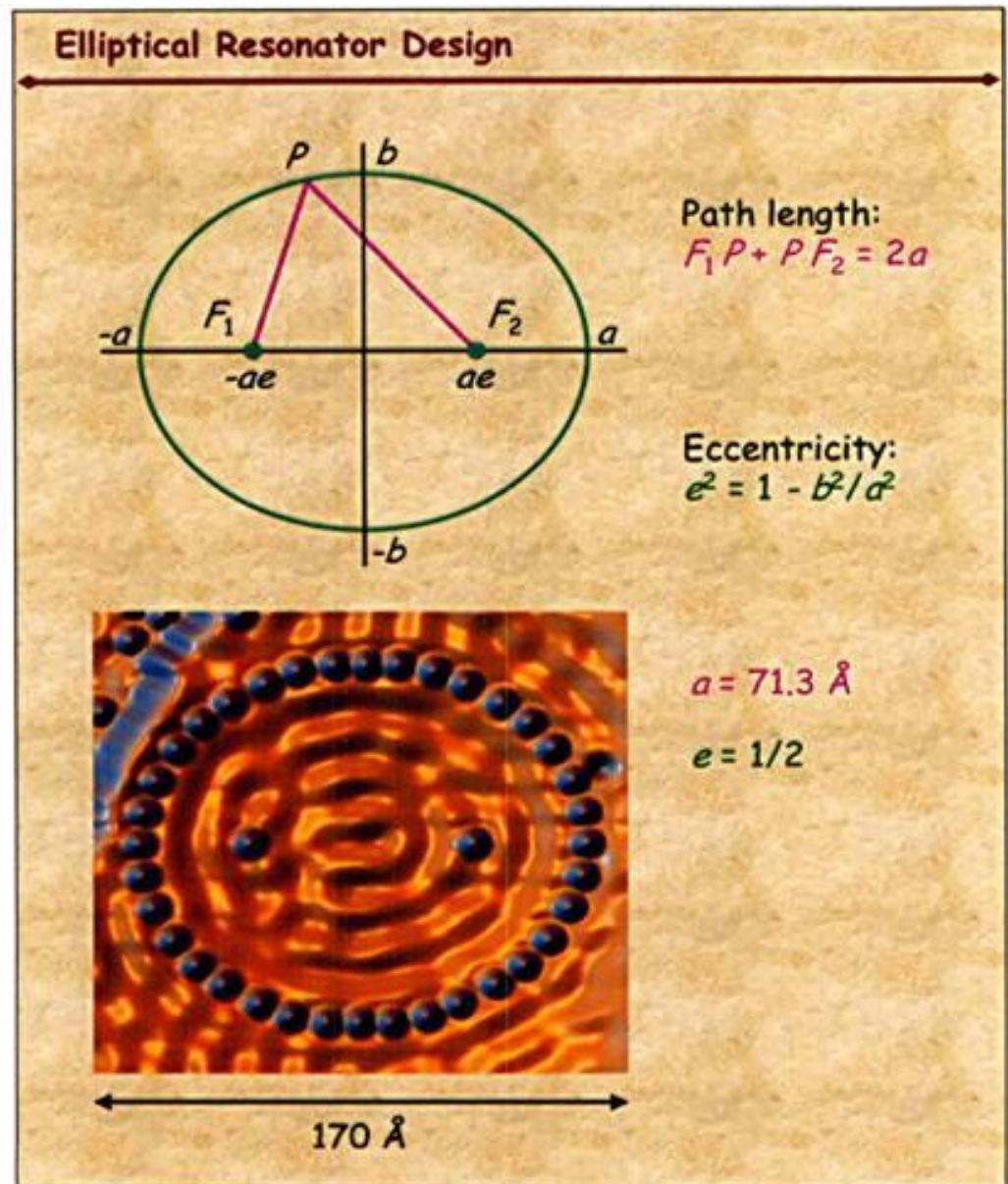
Obrazy uzyskane za pomocą STM.

- Atomy żelaza
na podłożu
miedzi -
kwantowy
„corral” - fale
de Broglie
elektronów -
widoczna
interferencja.

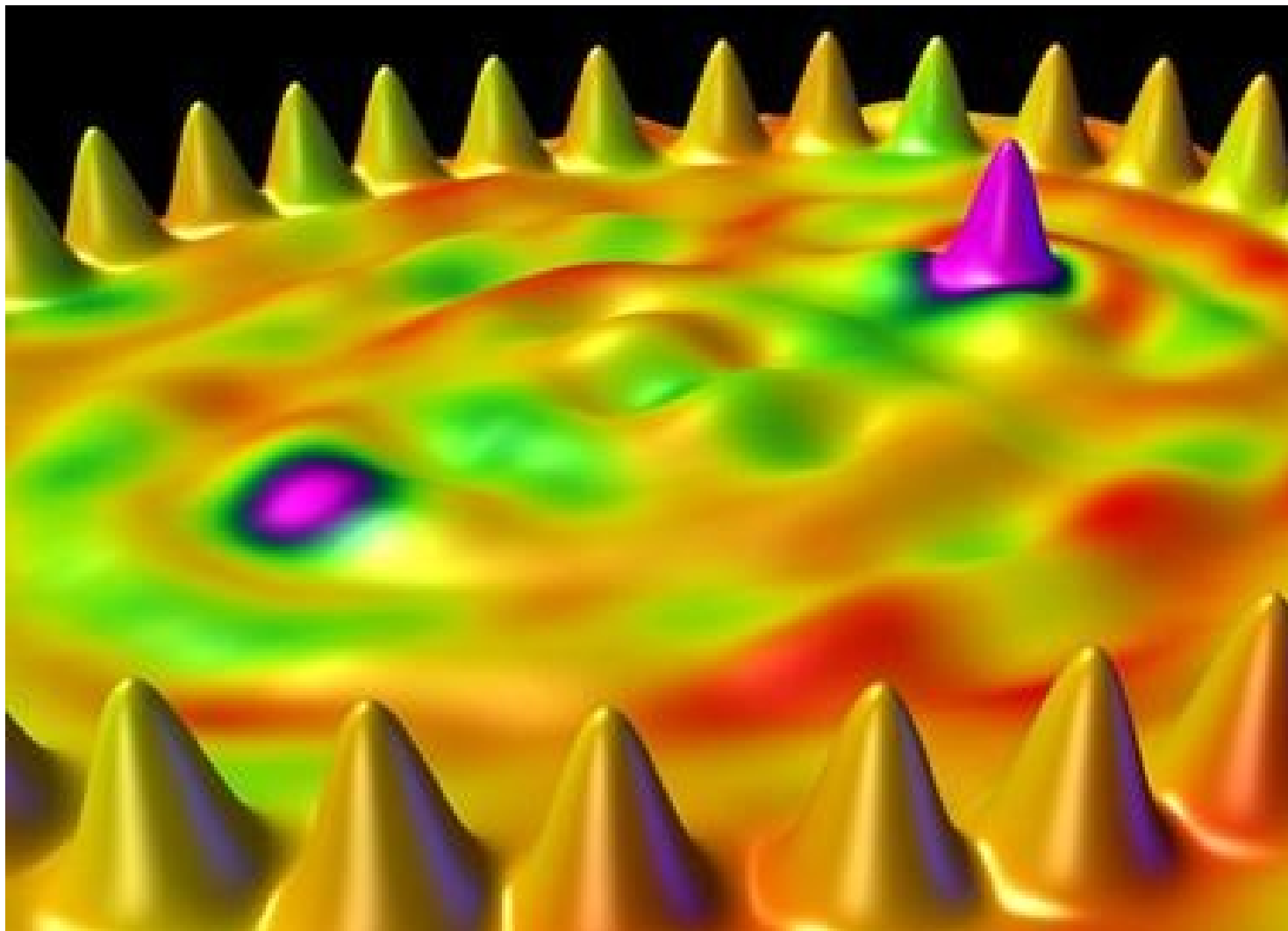




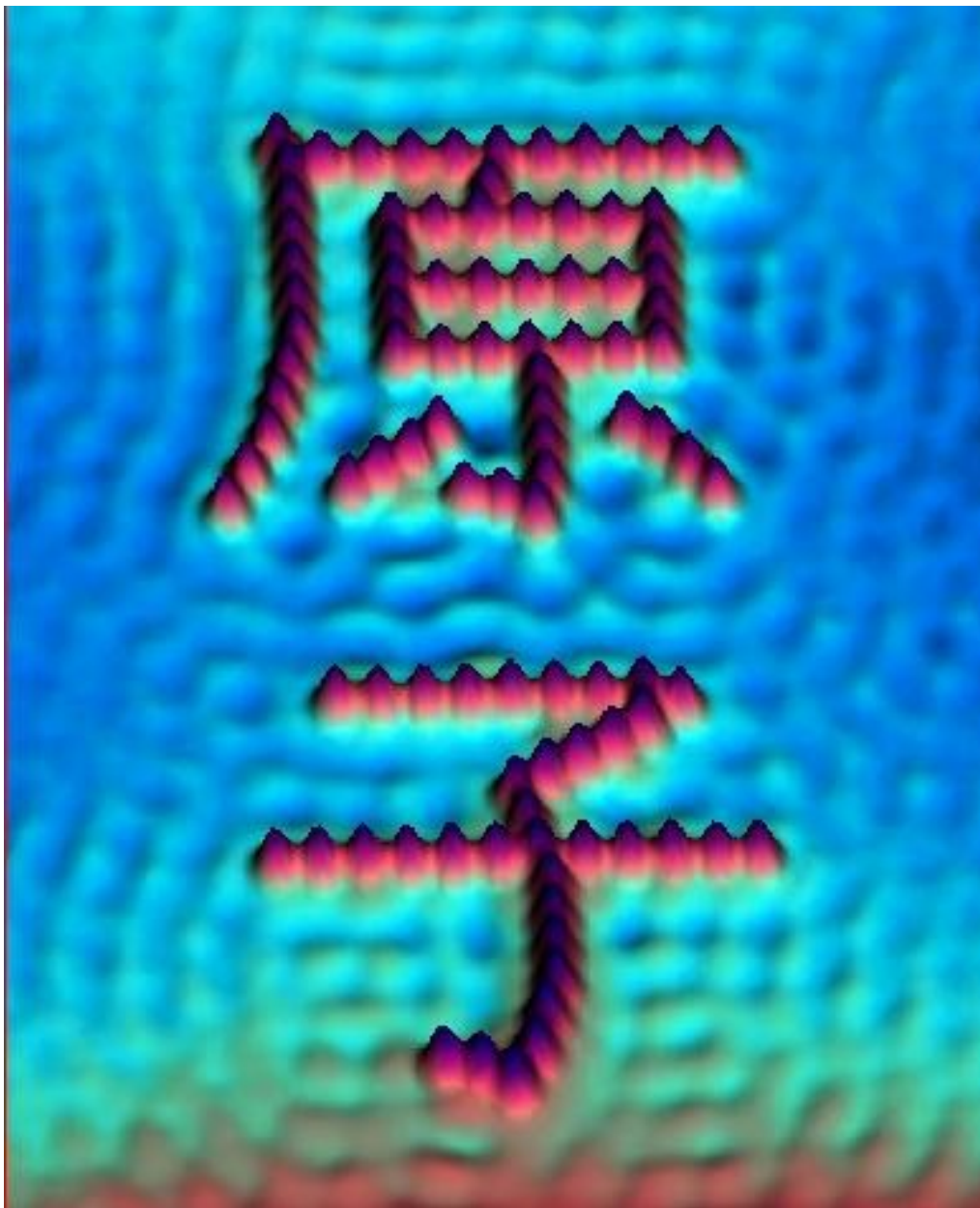
- Miraż kwantowy.
- Kształt elipsy.
- Atomy kobaltu Co na podłożu Cu.



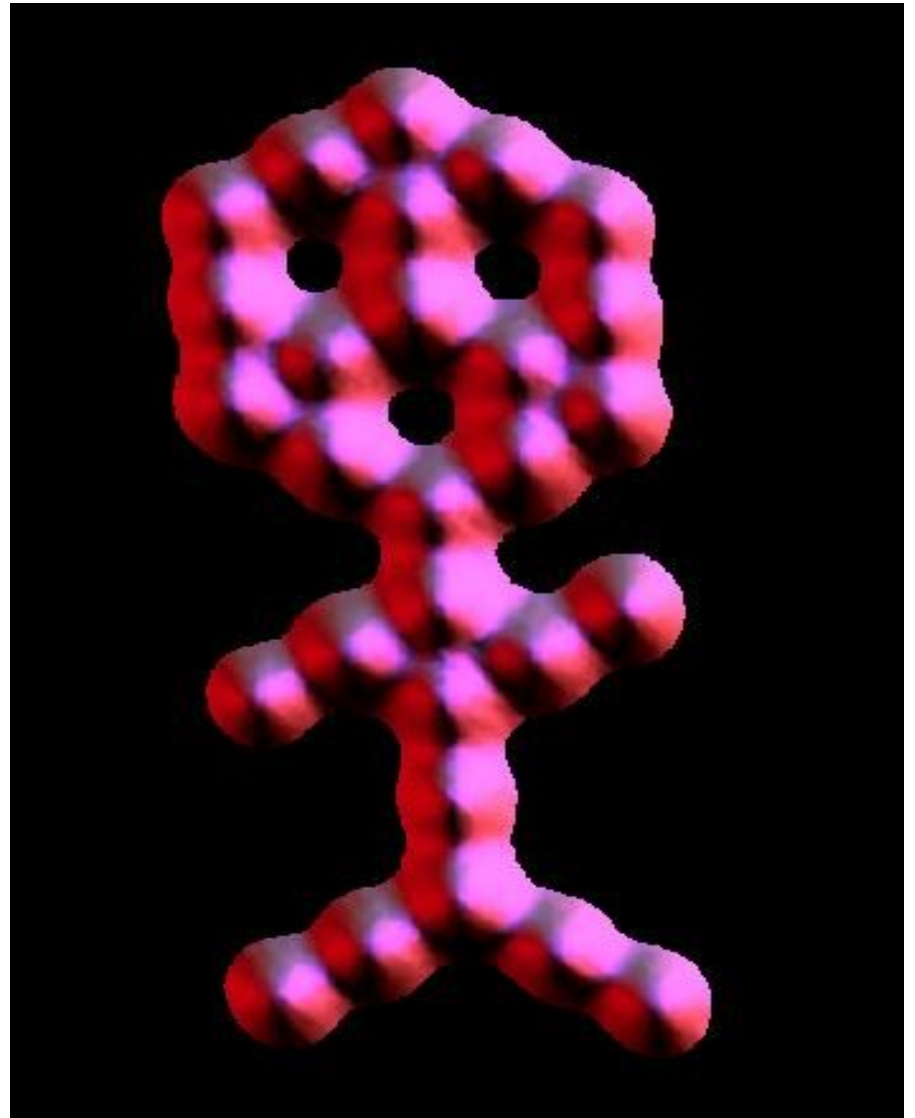
Miraż kwantowy.



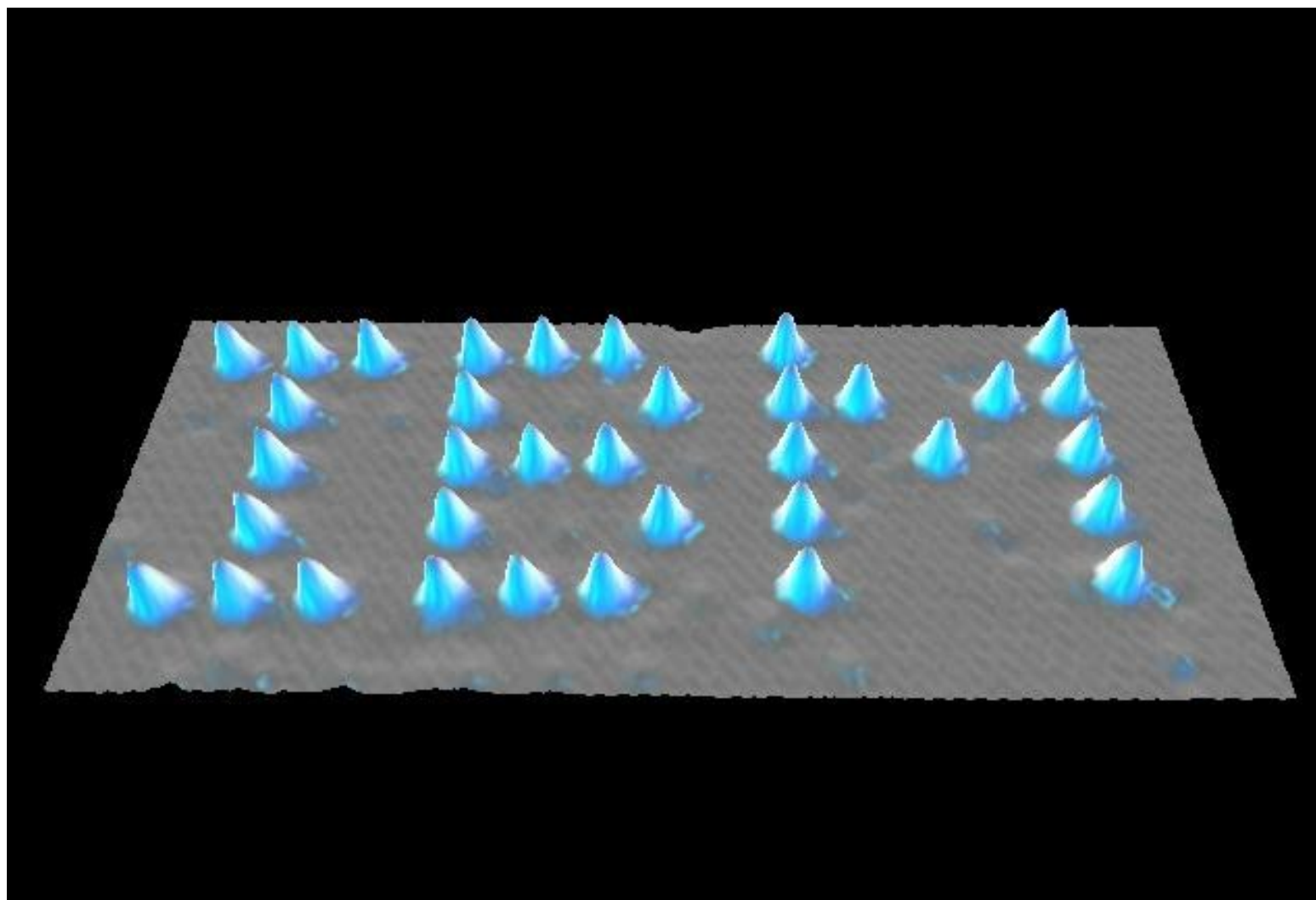
- Obrazy STM.
- Fe na Cu (111).



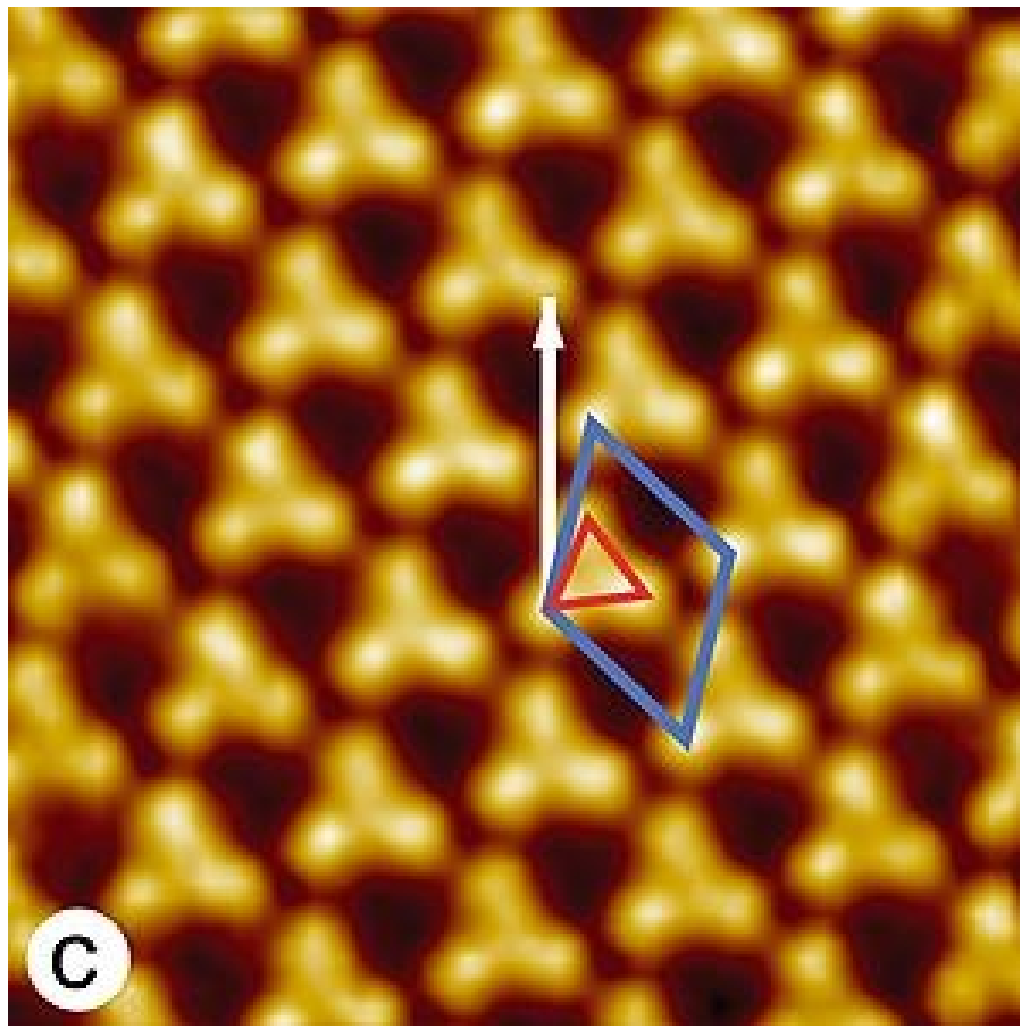
- Carbon Monoxide Man.
- CO na pl. (111).



- Napis wykonany przez IBM.
- Xe na Nikiel (110).

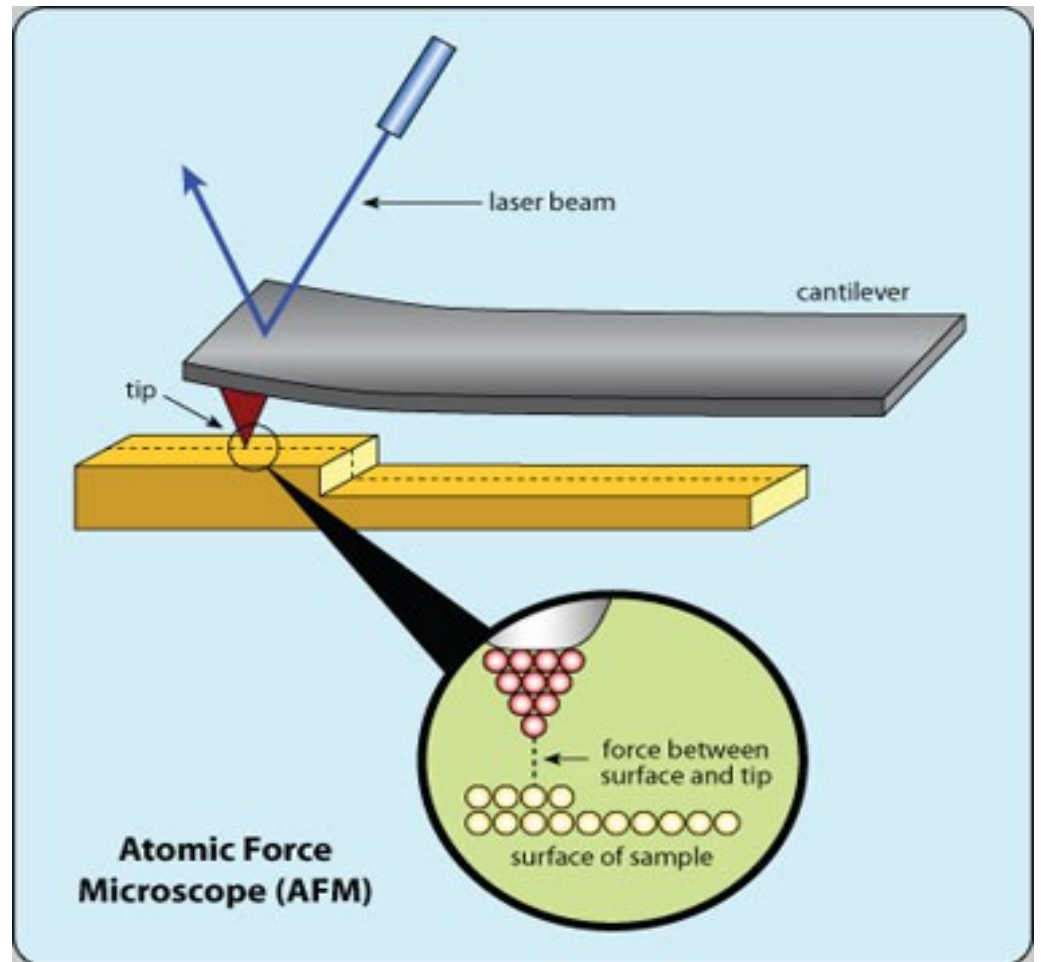
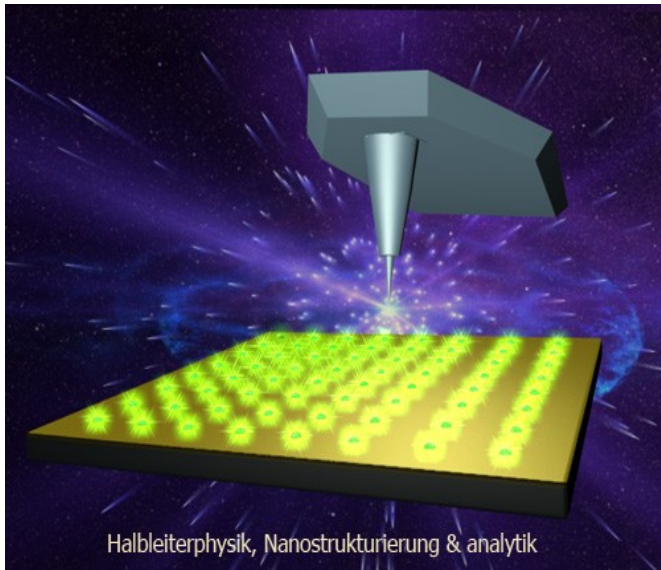


- Organiczny kryształ $C_{30}H_{18}$ ([7]H) na podłożu Cu (110).



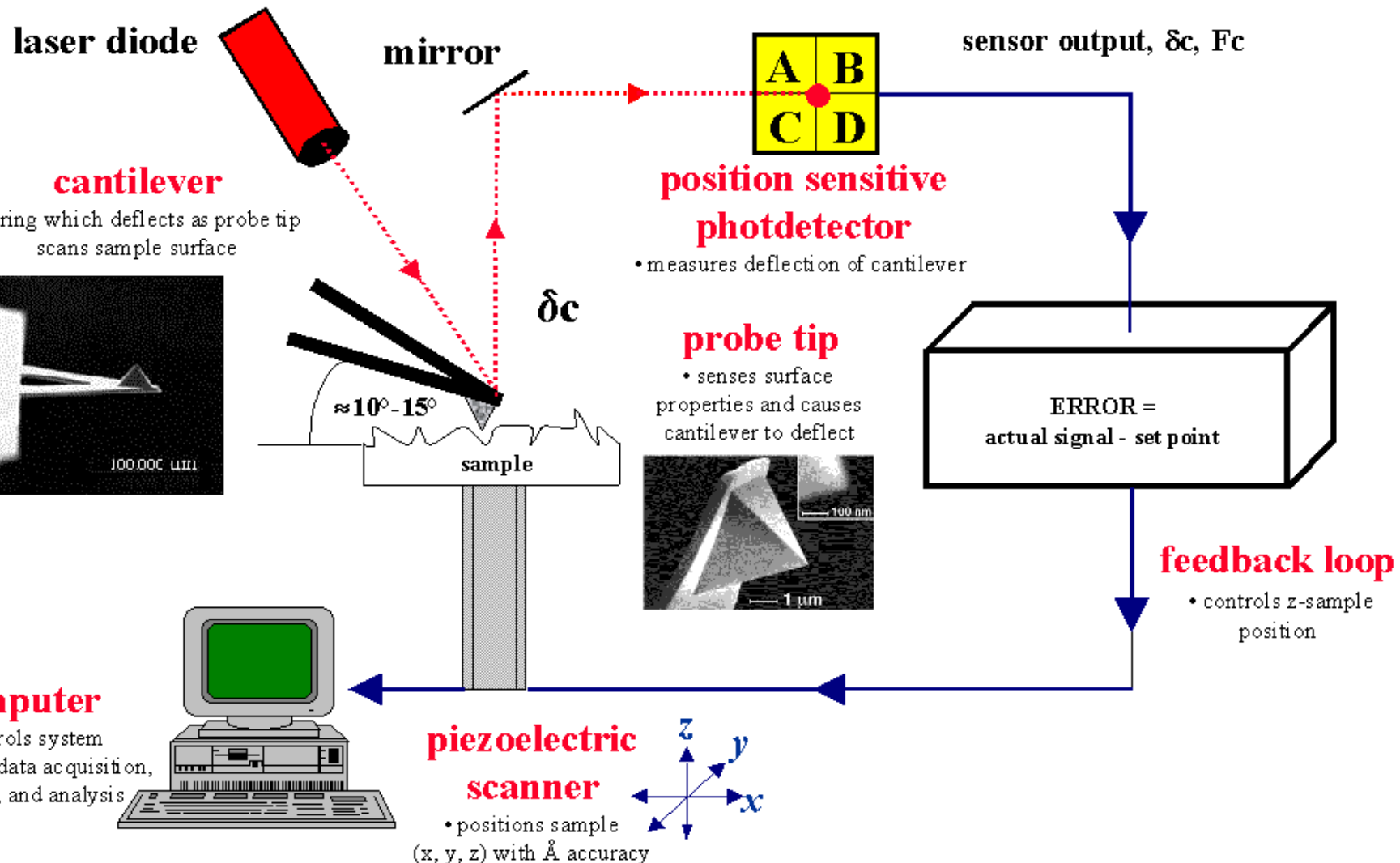
AFM - Atomic Force Microscopy.

- Zasada działania mikroskopu.

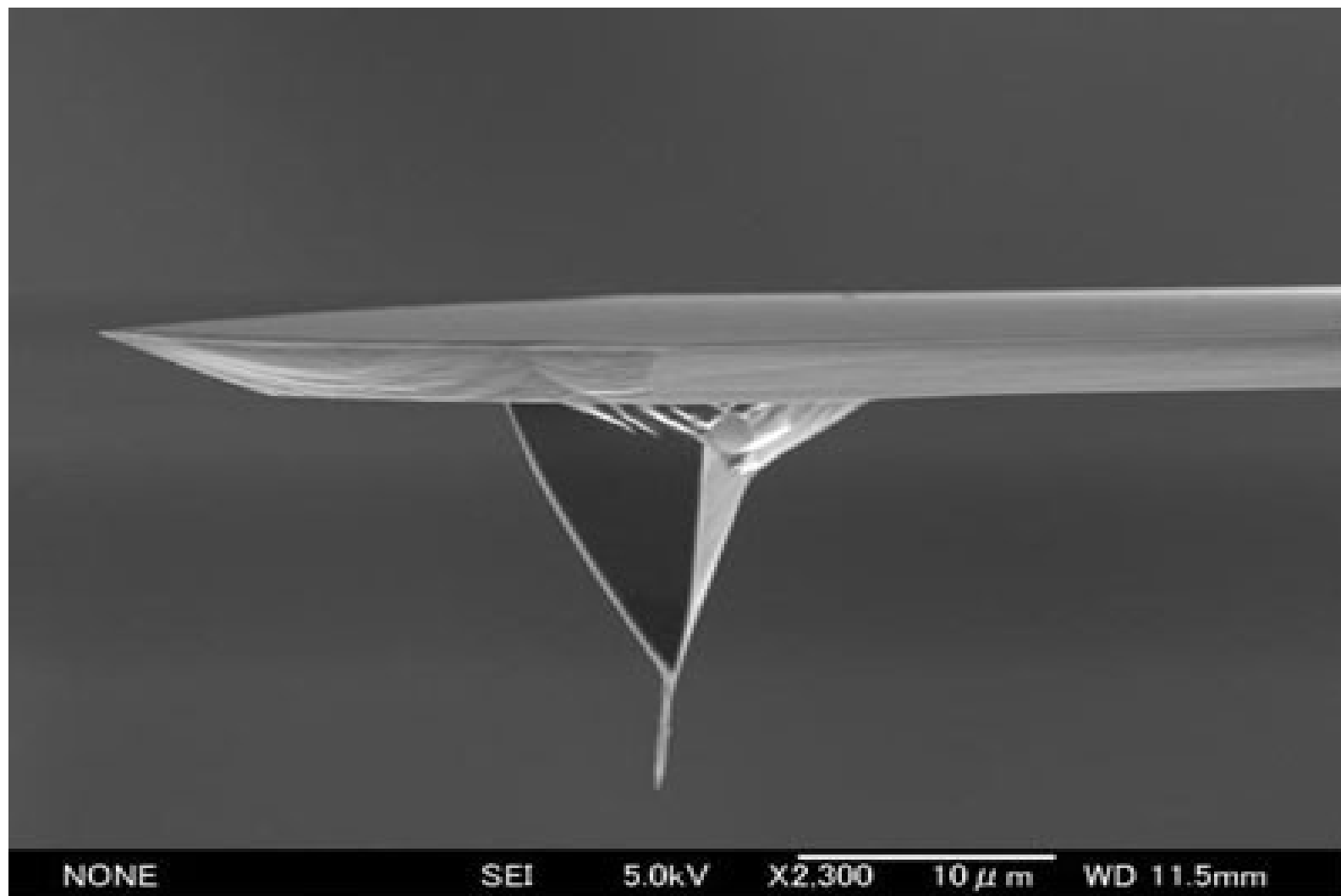


Atomic Force Microscopy (AFM) :

General Components and Their Functions

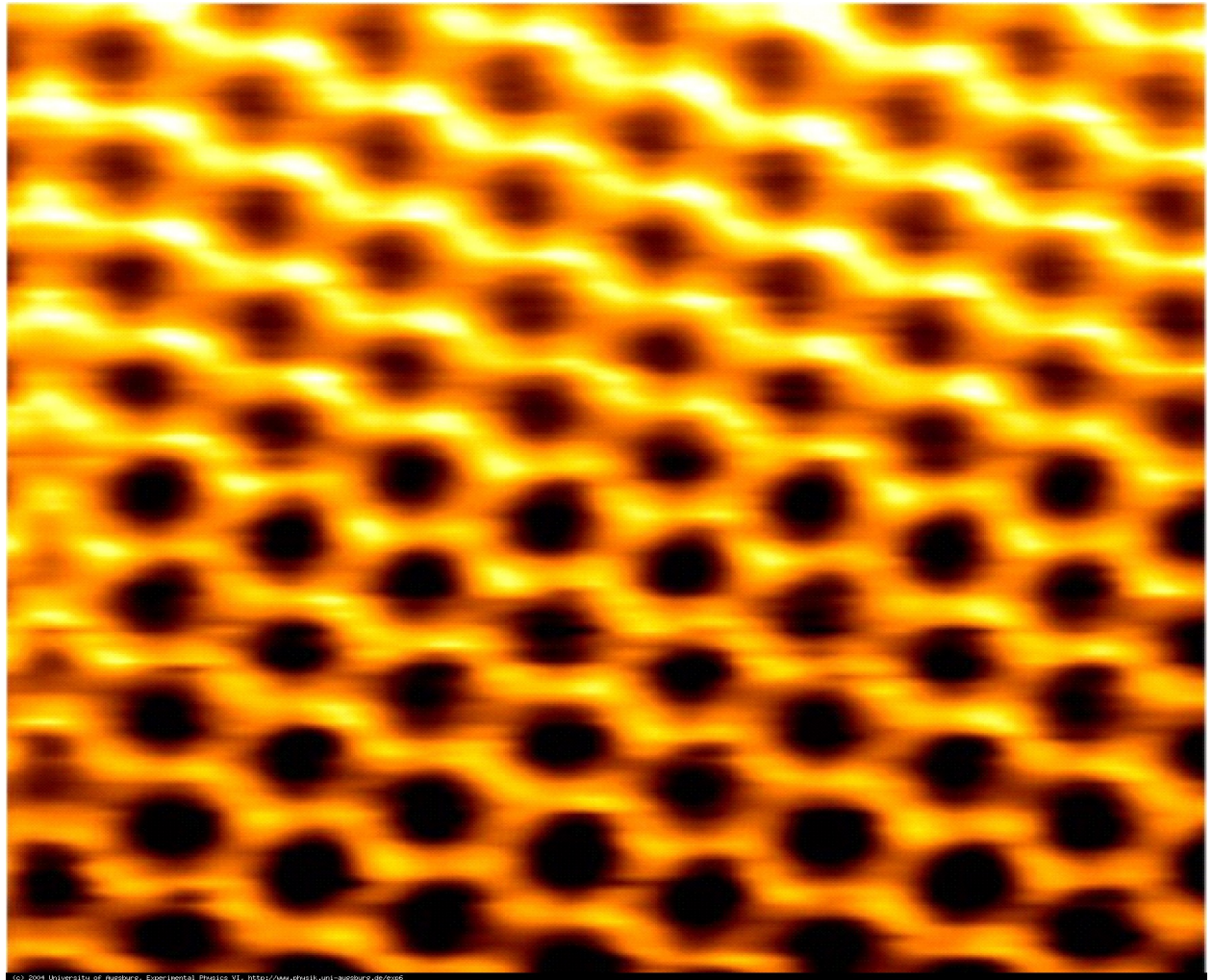


AFM TIP nanorurka węglowa.



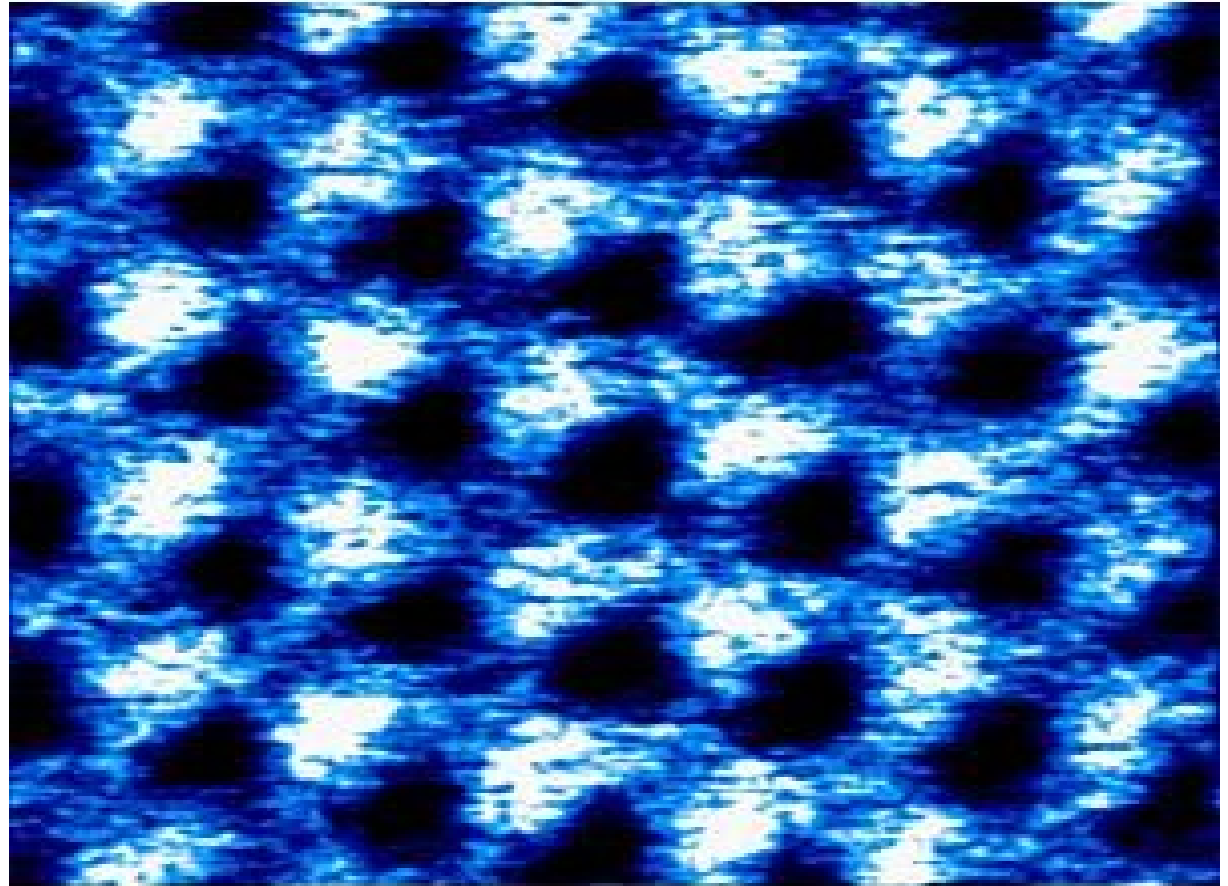
Przykładowe obrazy AFM.

- Warstwa grafenowa.



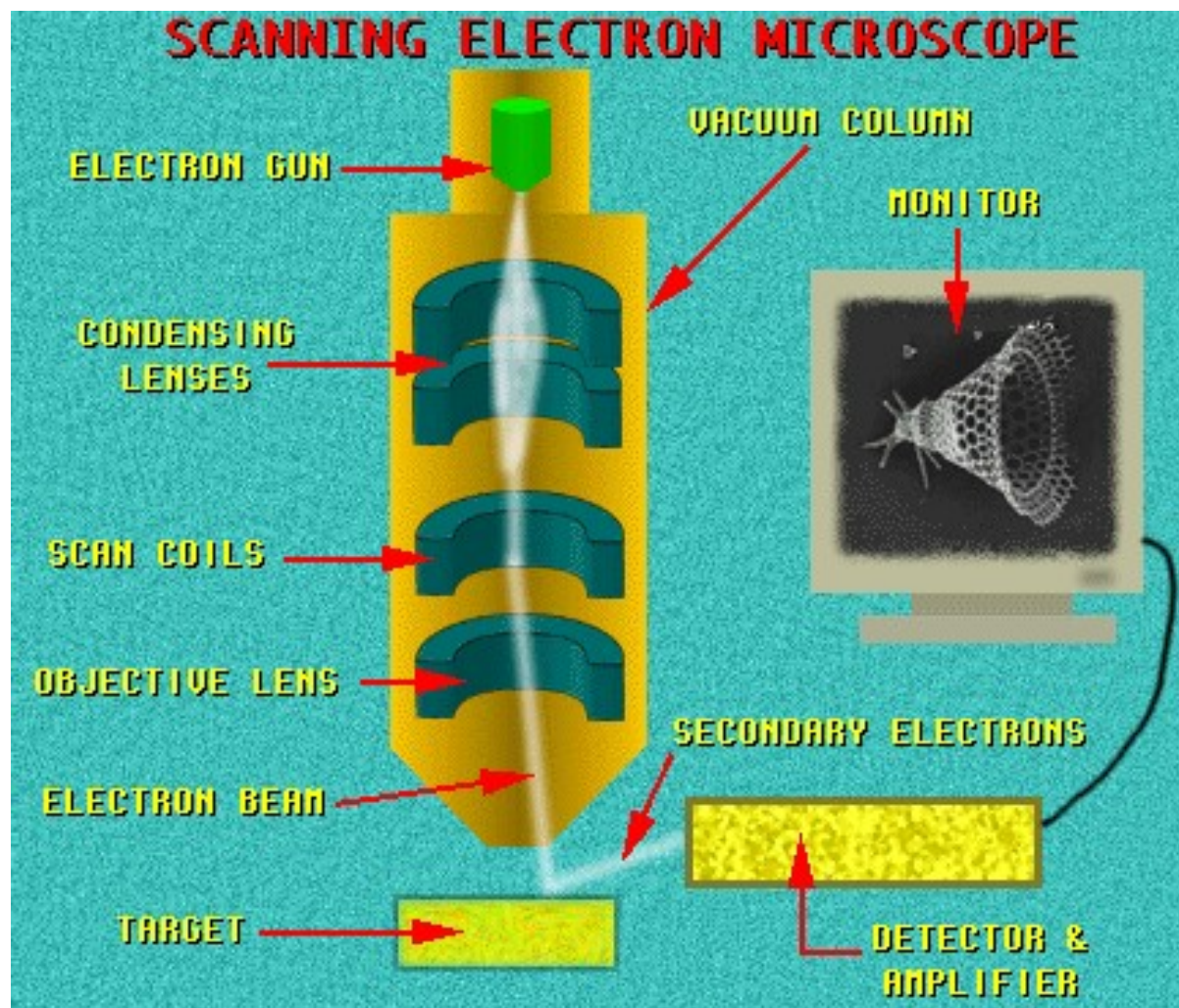
Obrazy AFM - rozdzielczość atomowa.

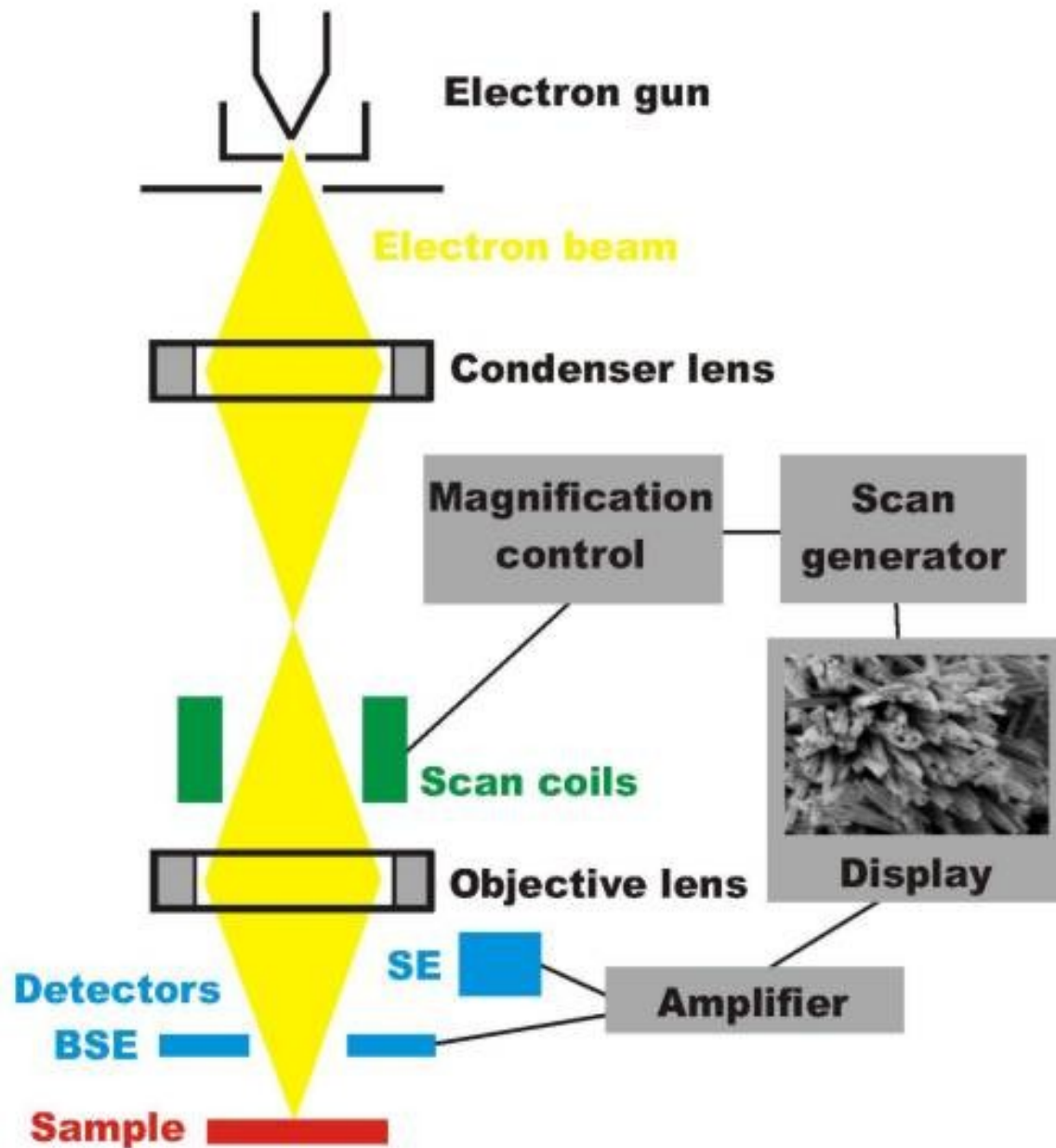
- Dwuwarstwa CaF_2 na Si (111), wymiar 2nm x 2nm.



SEM - Scanning Electron Microscopy.

- Fale elektronów de Broglie.





Fale de Broglie'a

- De Broglie wysunął hipotezę, że dwoiste, korpuskularno-falowe zachowanie się jest cechą nie tylko promieniowania lecz również materii.
- Tak samo jak z fotonem stowarzyszona jest pewna fala świetlna, która "rządzi" jego ruchem, tak i cząstce materialnej (np. elektronowi) przypisana jest pewna, określająca jej ruch fala materii.
- Poniższy wzór określa długość fali De Broglie'a, czyli długość fali materii stowarzyszonej z ruchem cząstki materialnej o pędzie p .

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

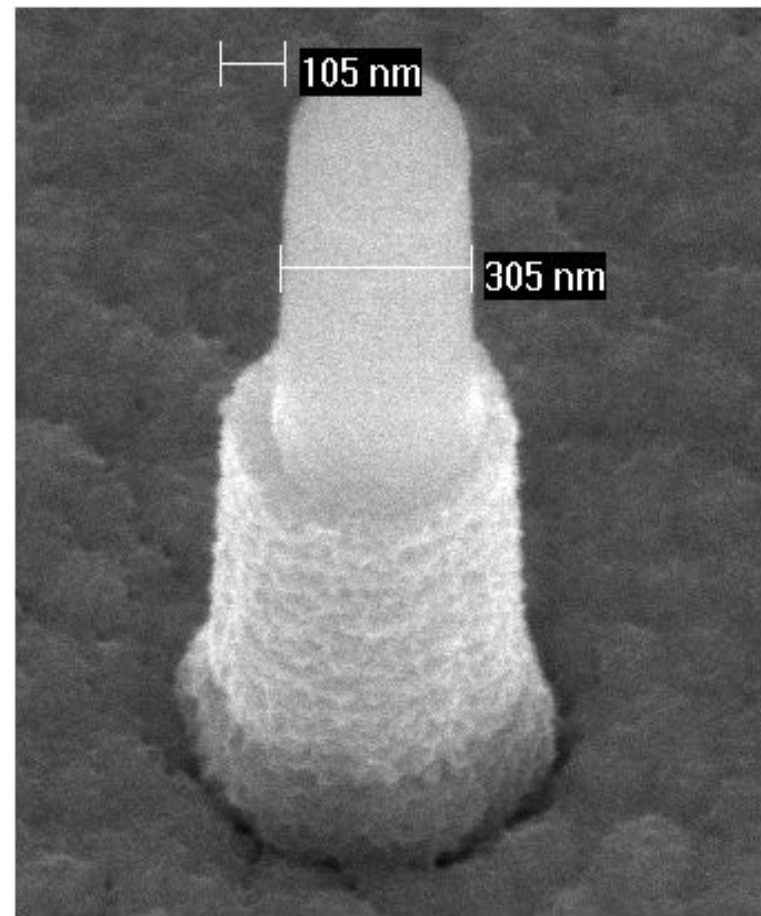
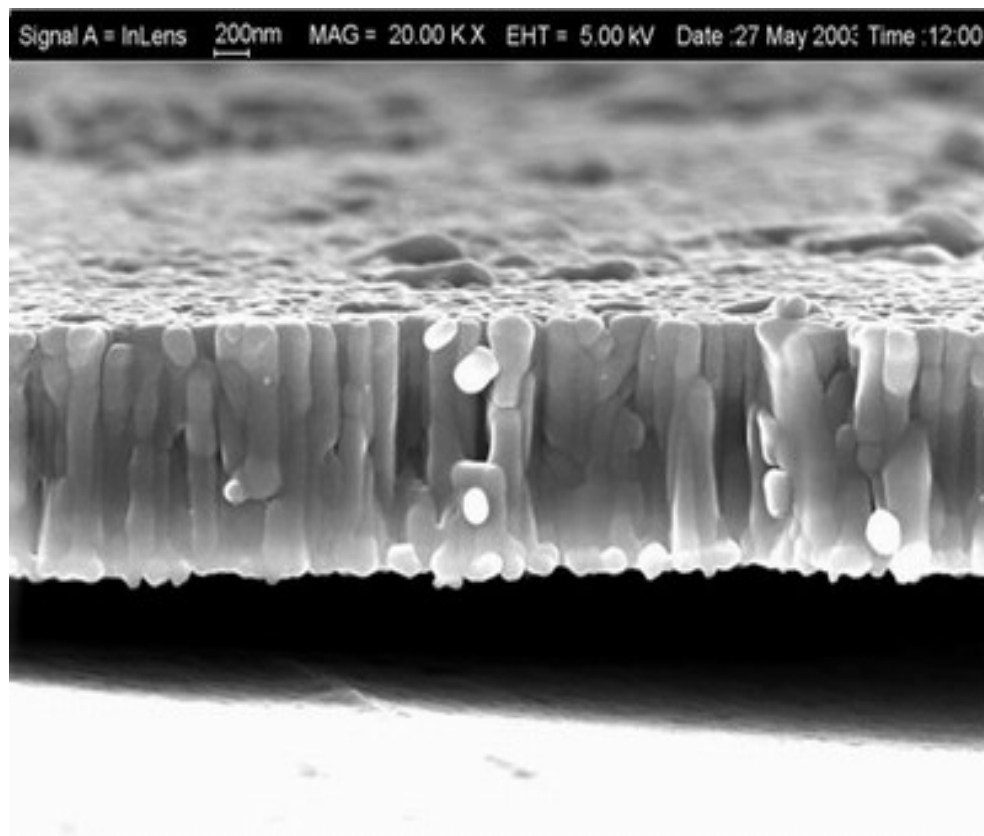
$$h = 6,626\ 0693\ (11) \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$$

Obrazy SEM.

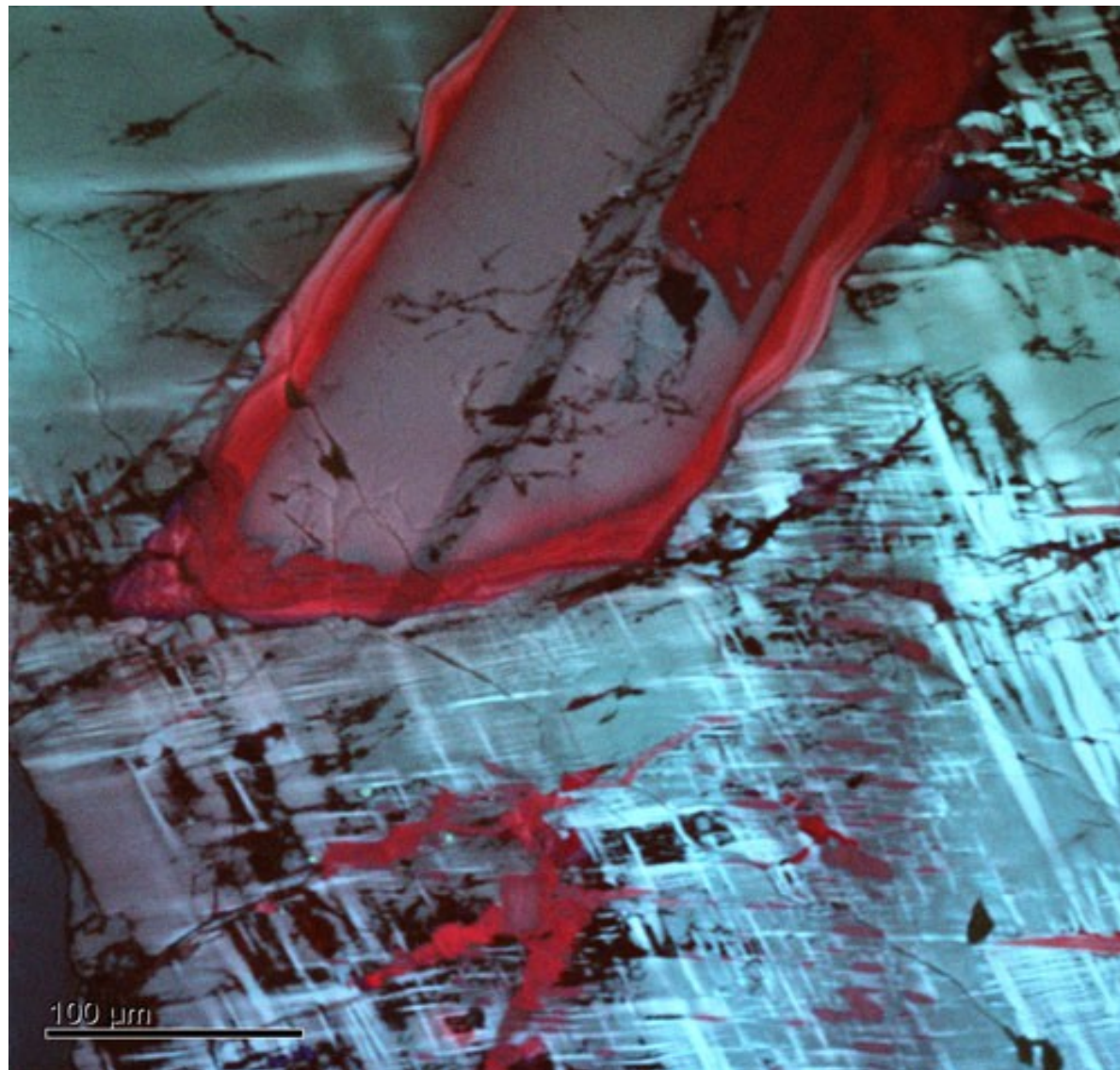
- Nano flowers, three-dimensional Si composite nanostructures.



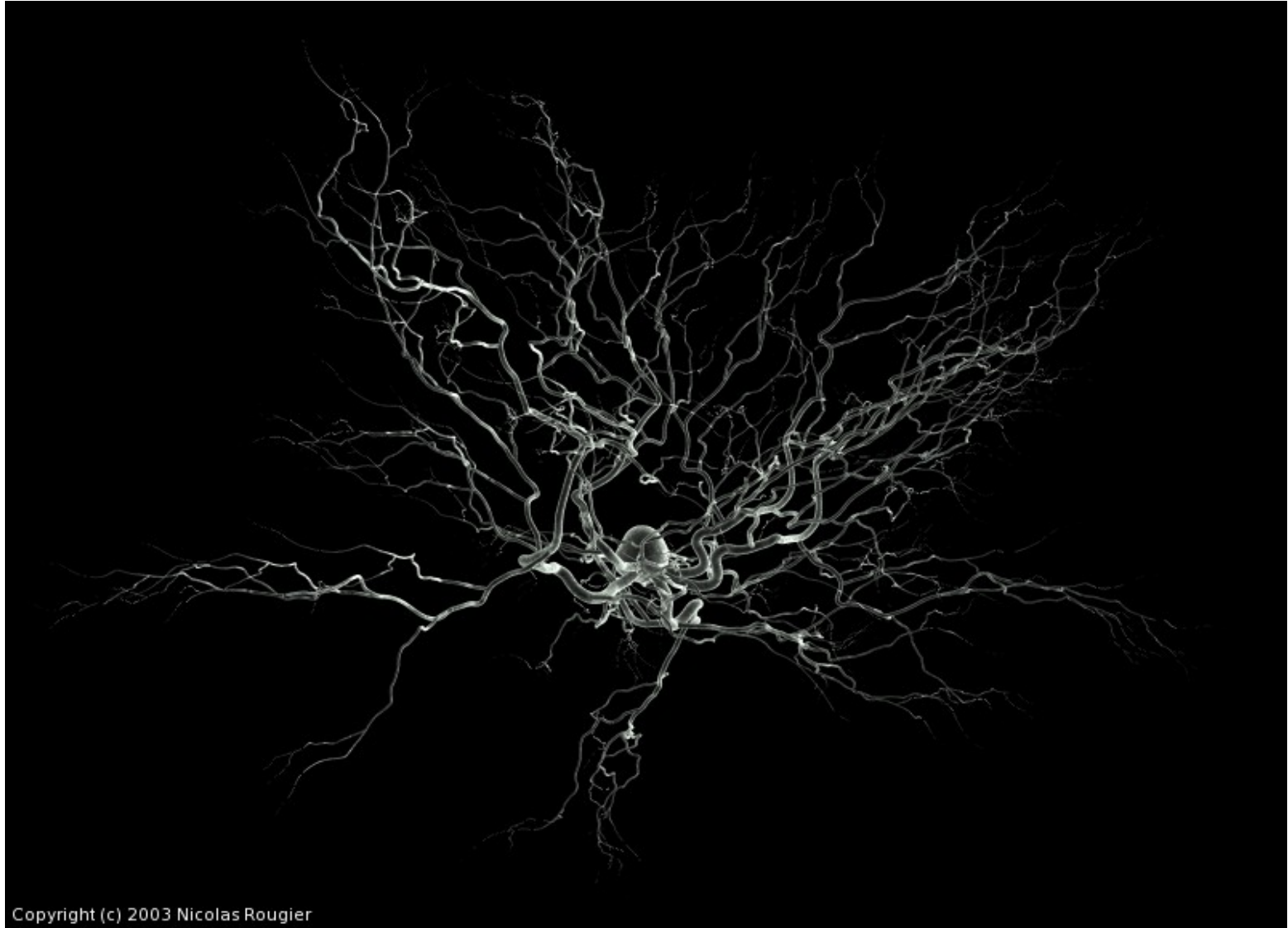
- Powierzchnie i nanodruły.



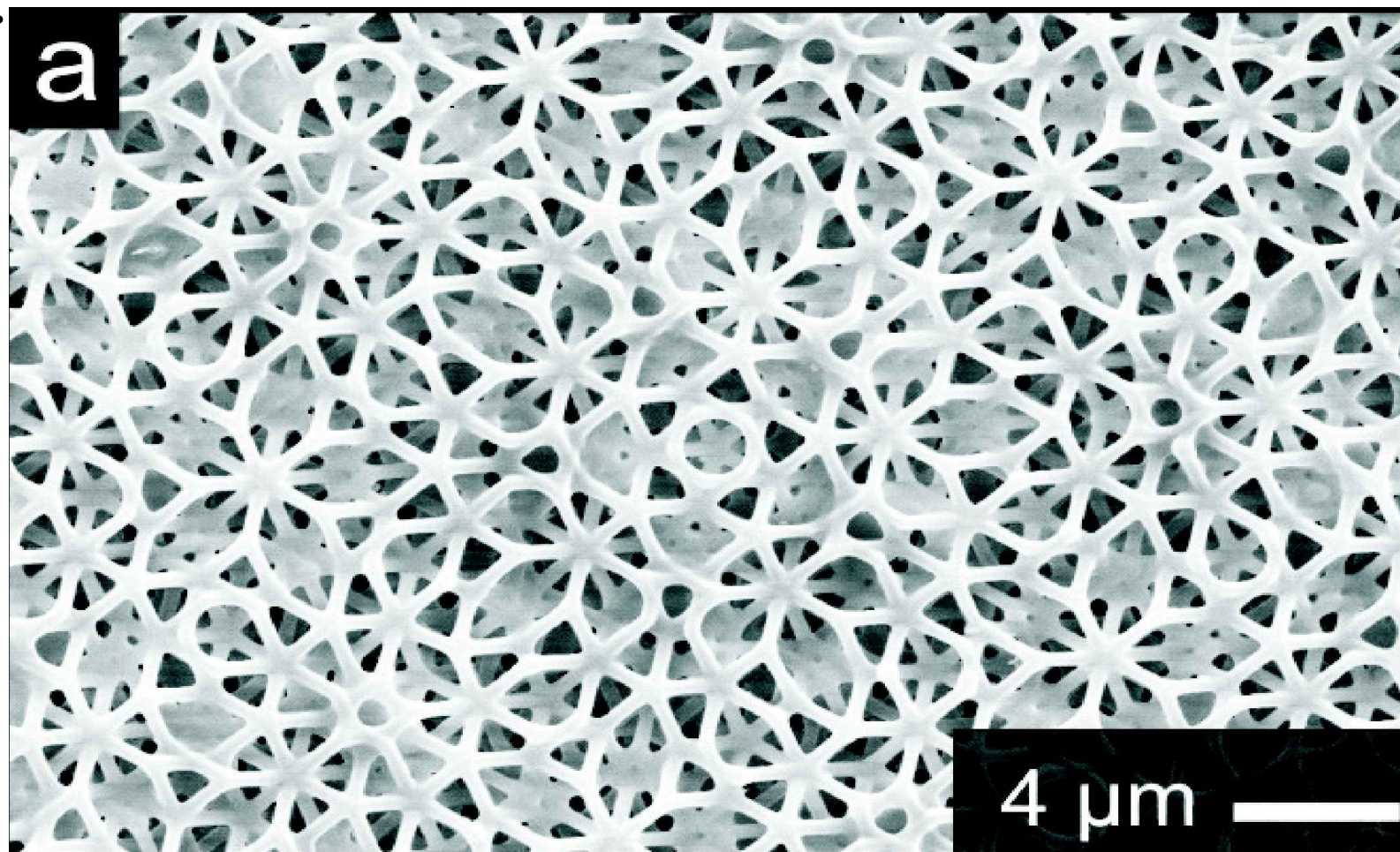
- Powierzchnia granitu.



Obraz SEM neuronu.



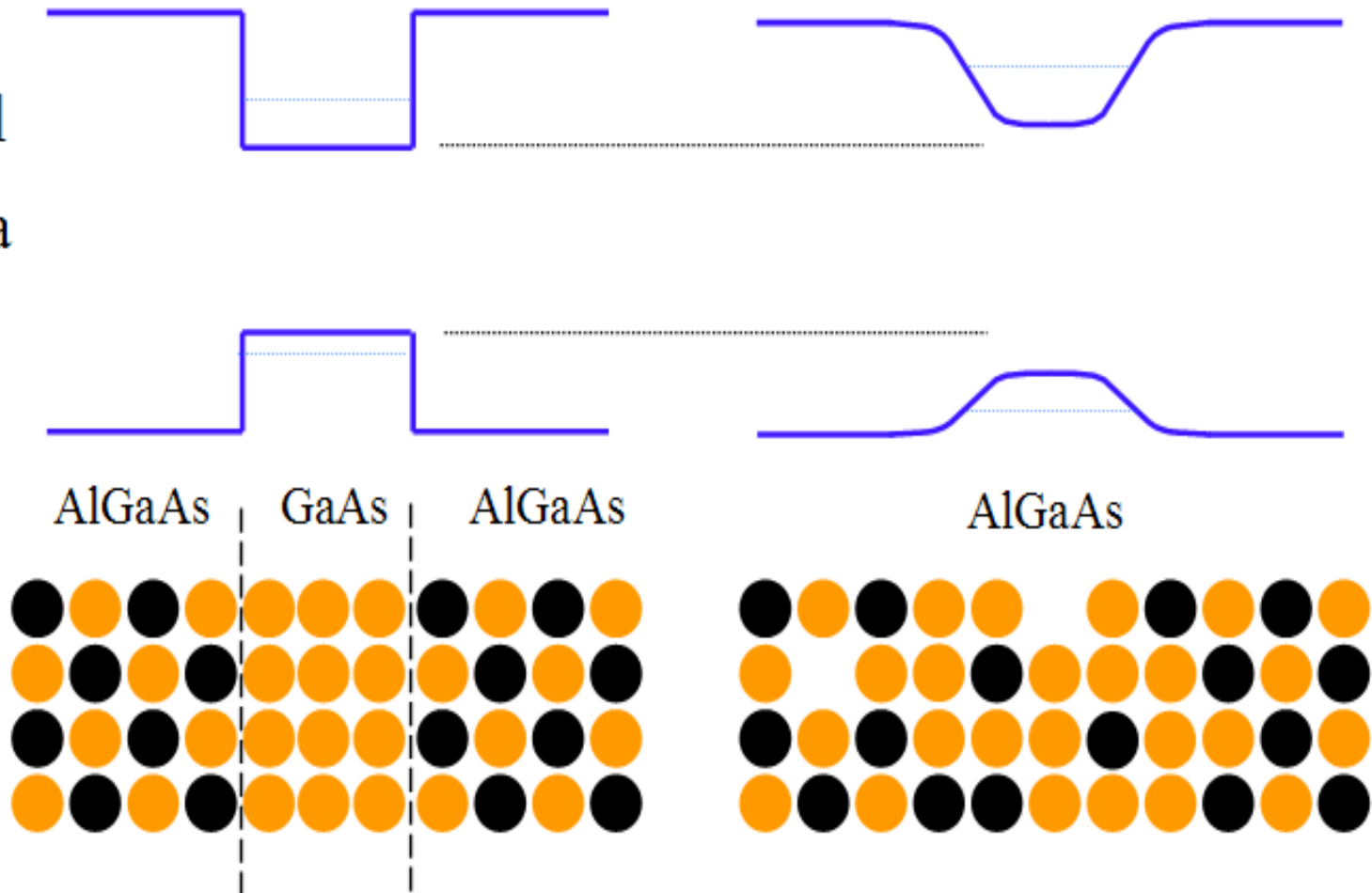
Powierzchnia stopu aluminium i manganu, widoczna pięciokrotna symetria !!! Kwazikryształ.



Studnia kwantowa.

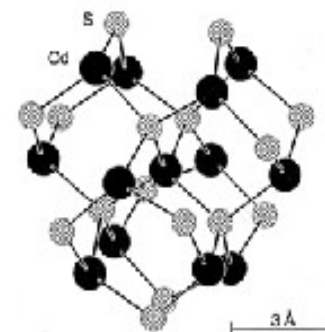
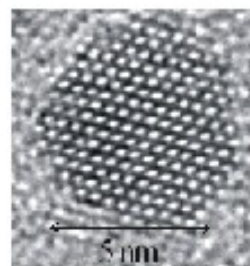
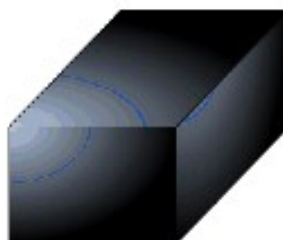
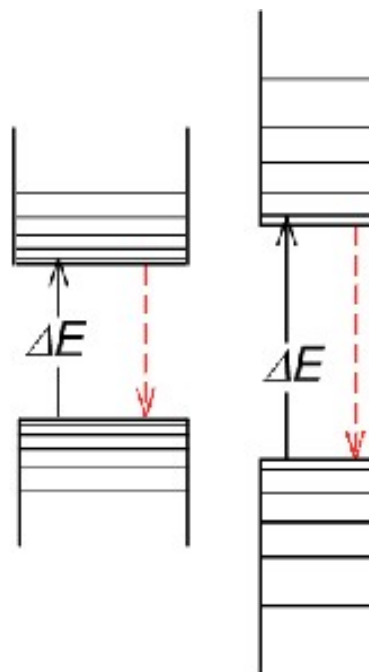
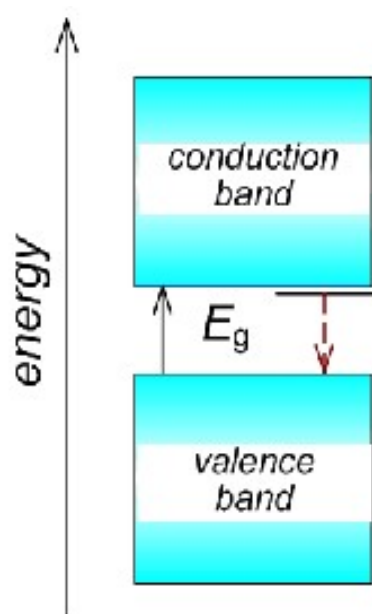
● Al

● Ga



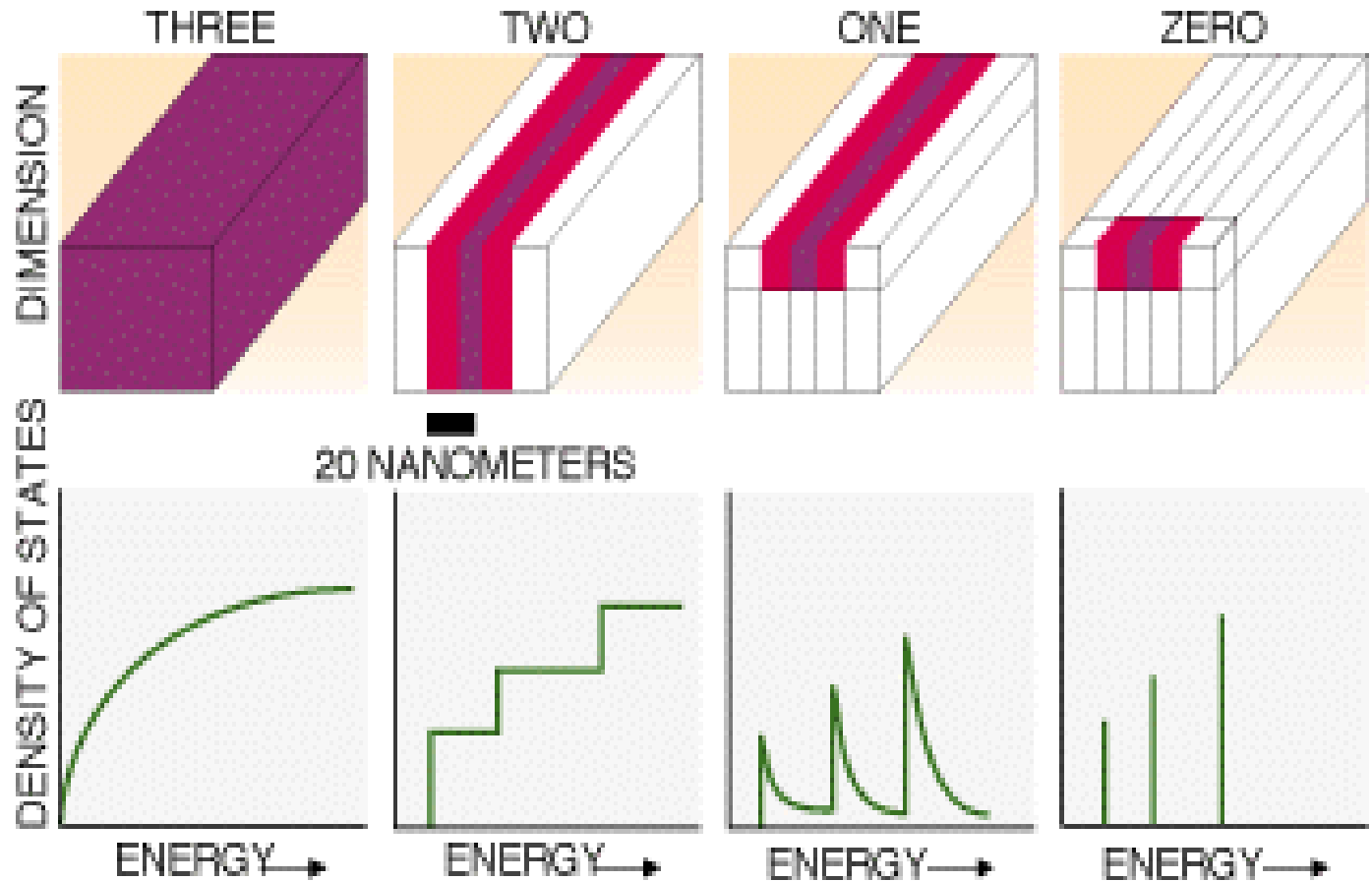
Kwantowy efekt rozmiarowy.

$$E_n \sim \frac{1}{a}$$



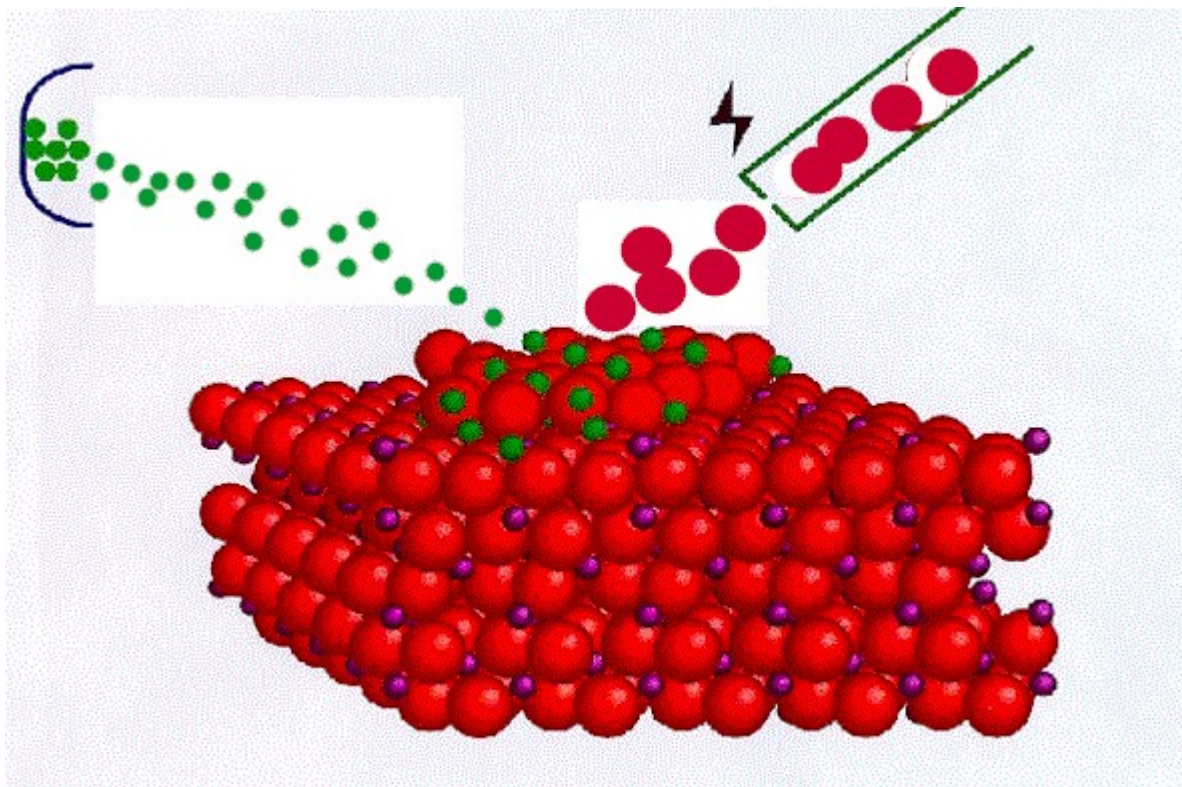
Kwantowy efekt rozmiarowy.

$$E_n \sim \frac{1}{a}$$

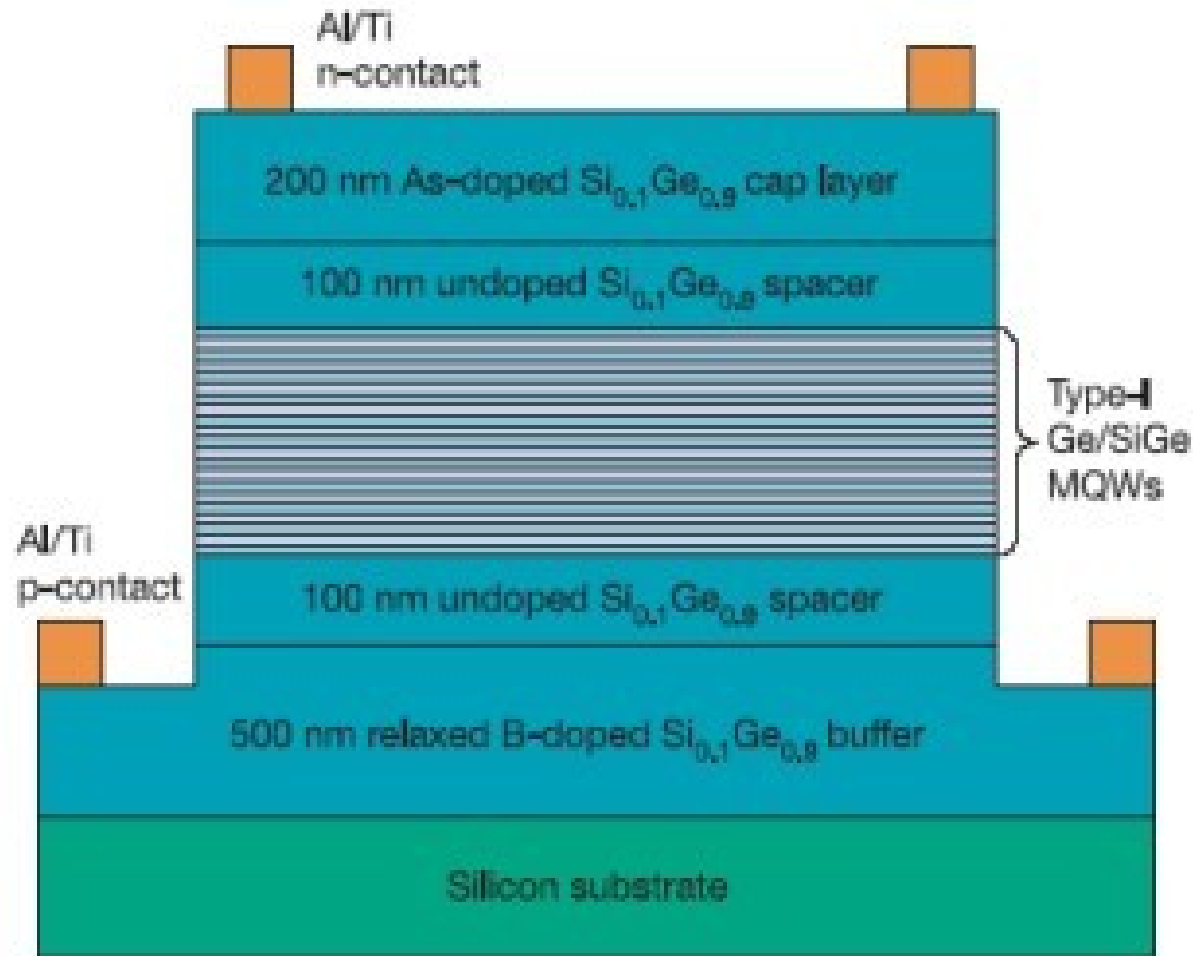


Cienkie warstwy - 2D.

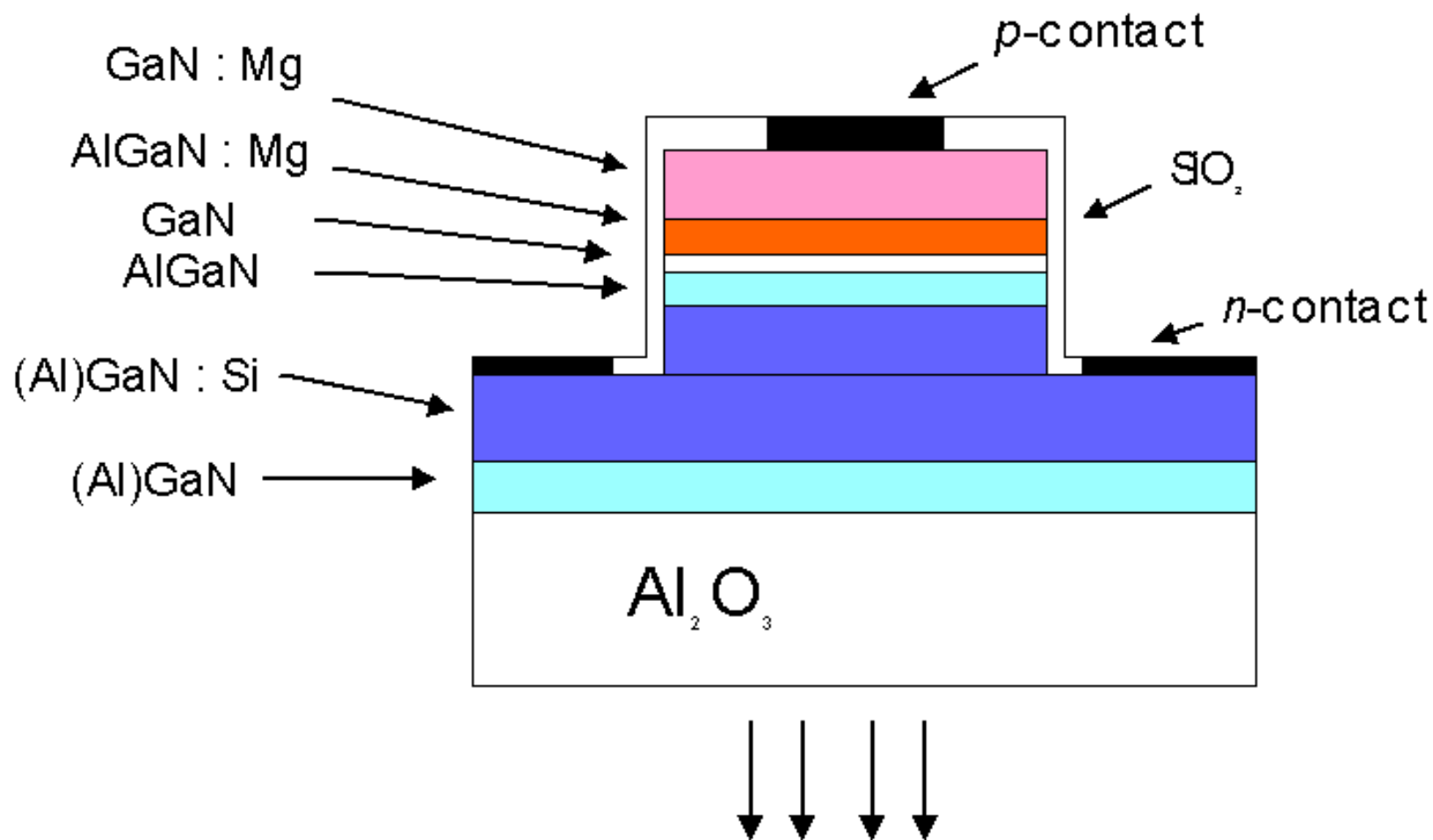
- Otrzymywanie poprzez naparowywanie.



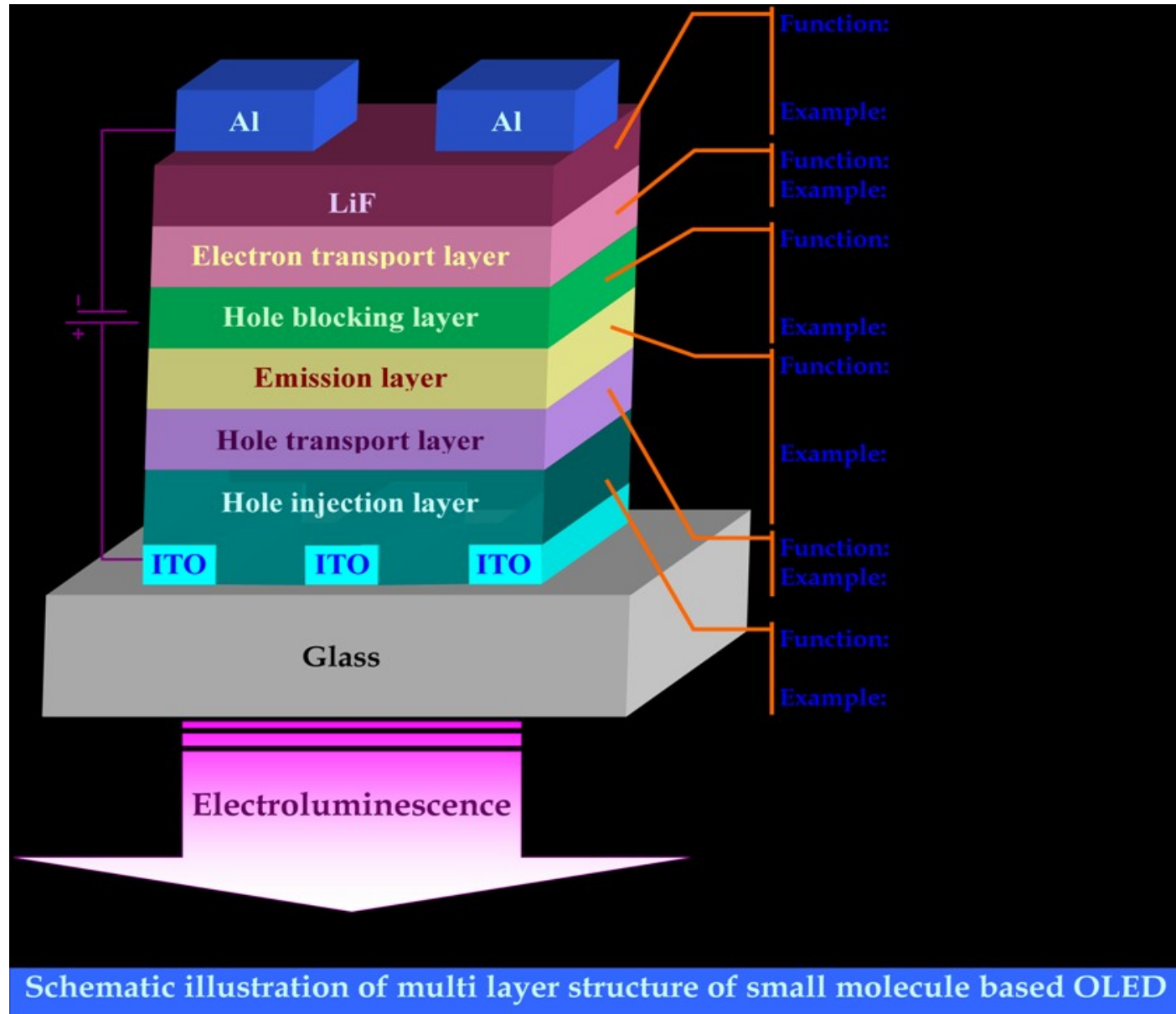
Dioda typu pin.

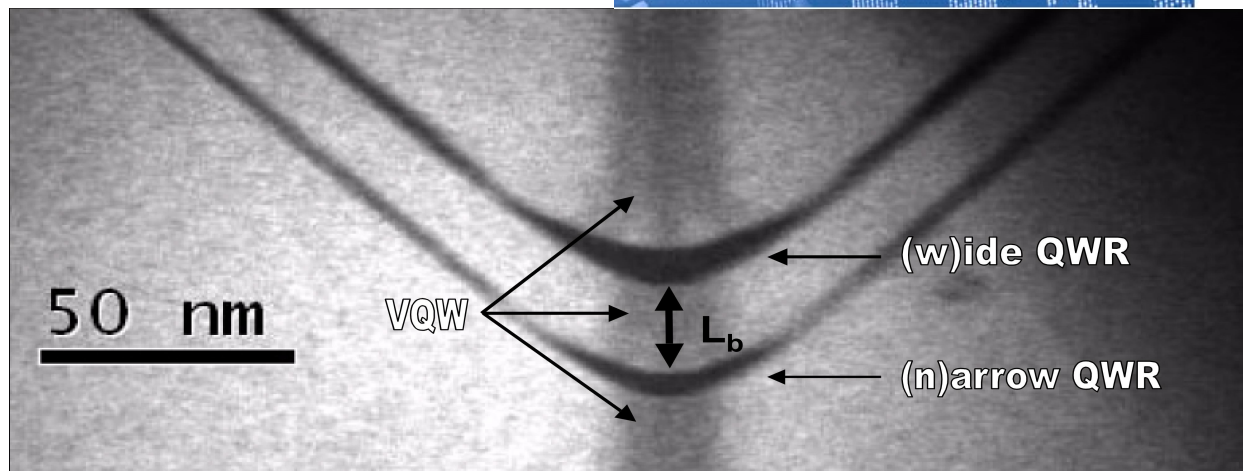
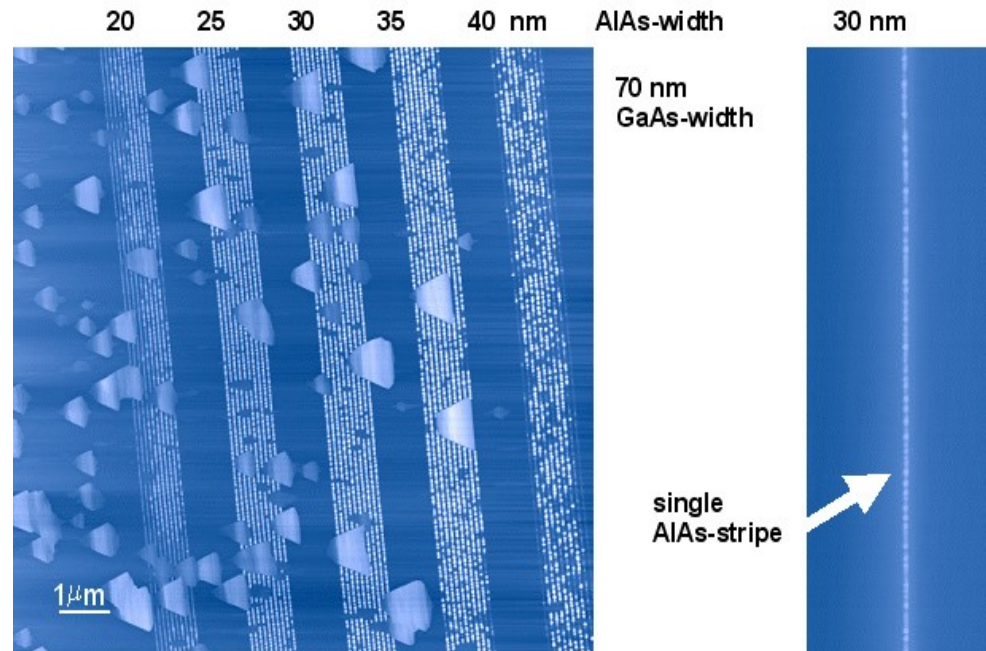
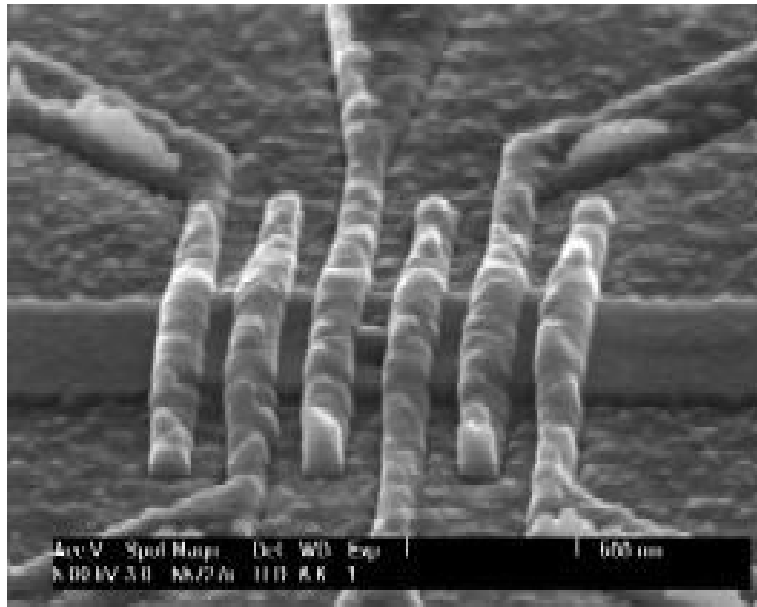


Dioda elektroluminescencyjna.

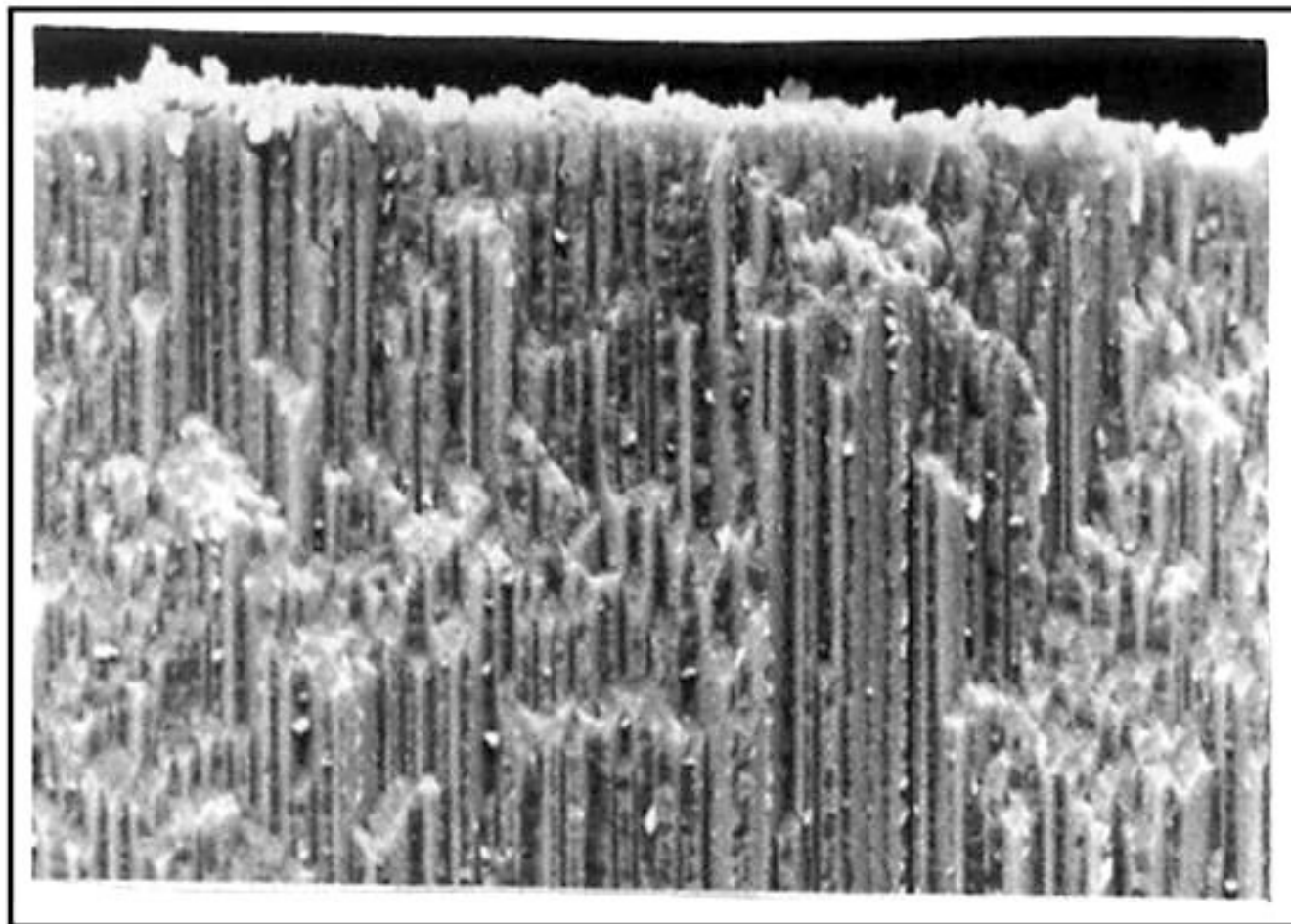


Dioda OLED.



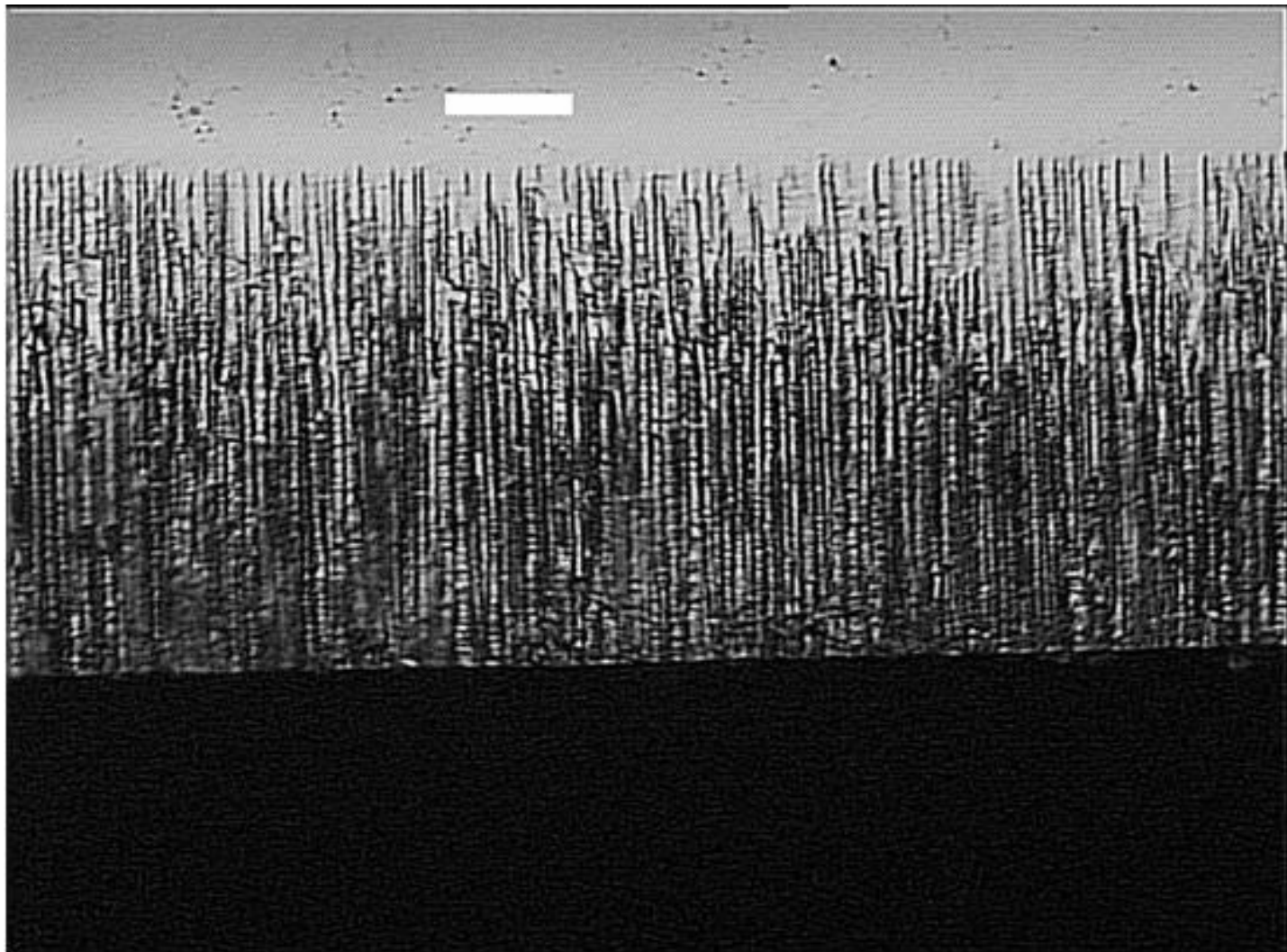


Druty kwantowe - krzem porowaty.



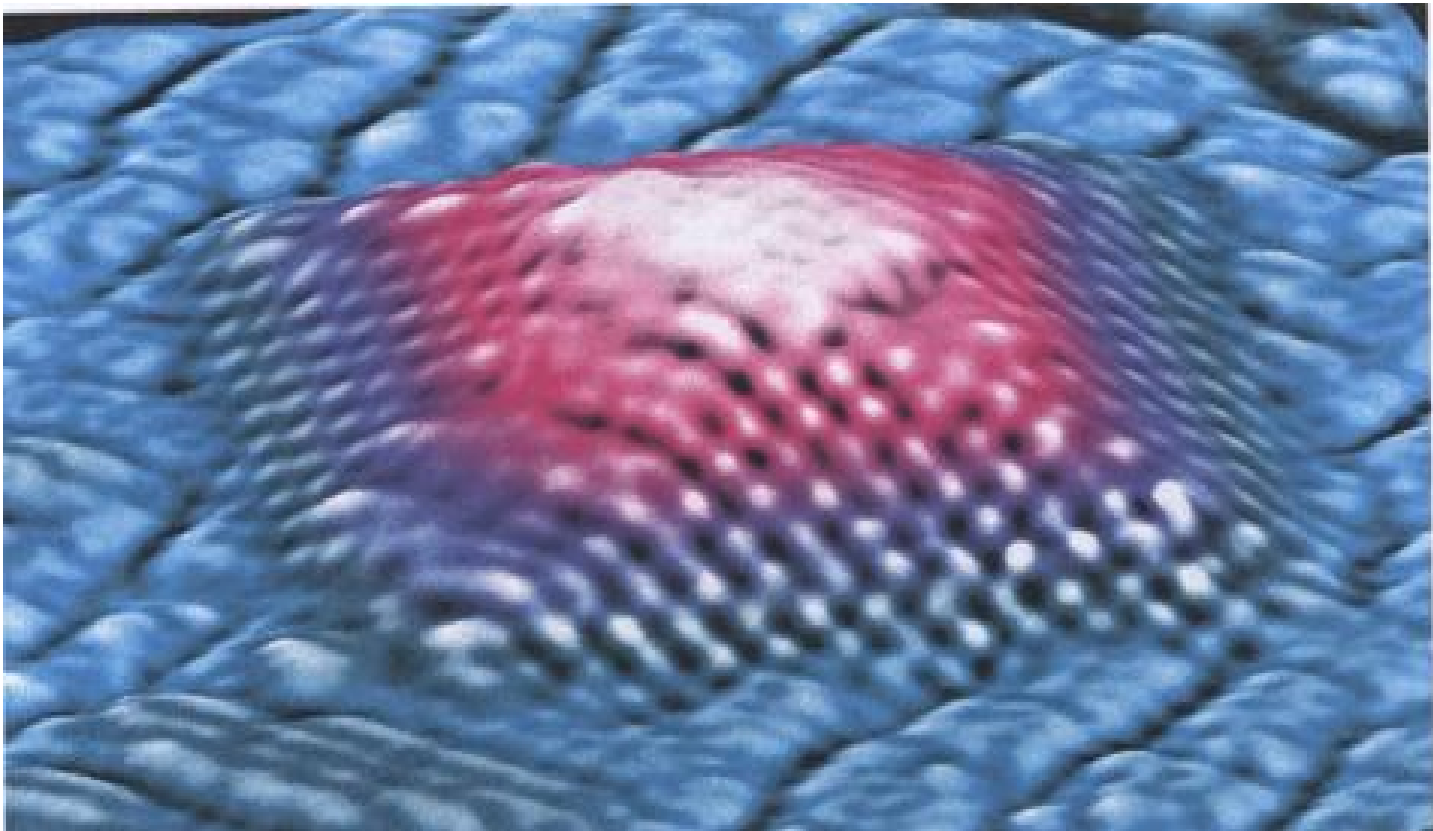
Micrograph of electro-etched porous silicon surface (from Sailor)

Druty kwantowe - krzem porowaty.

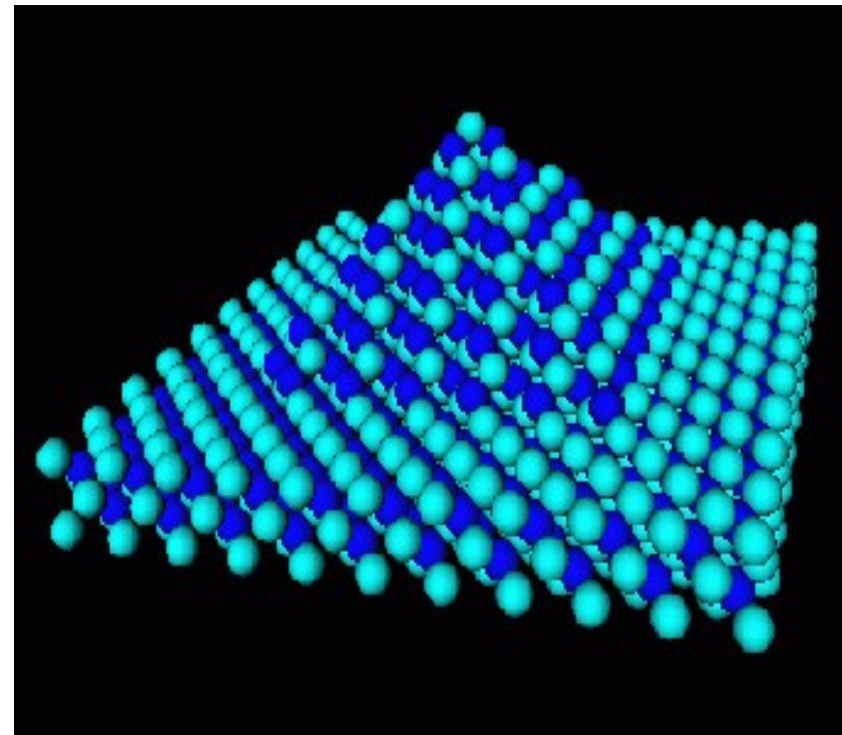
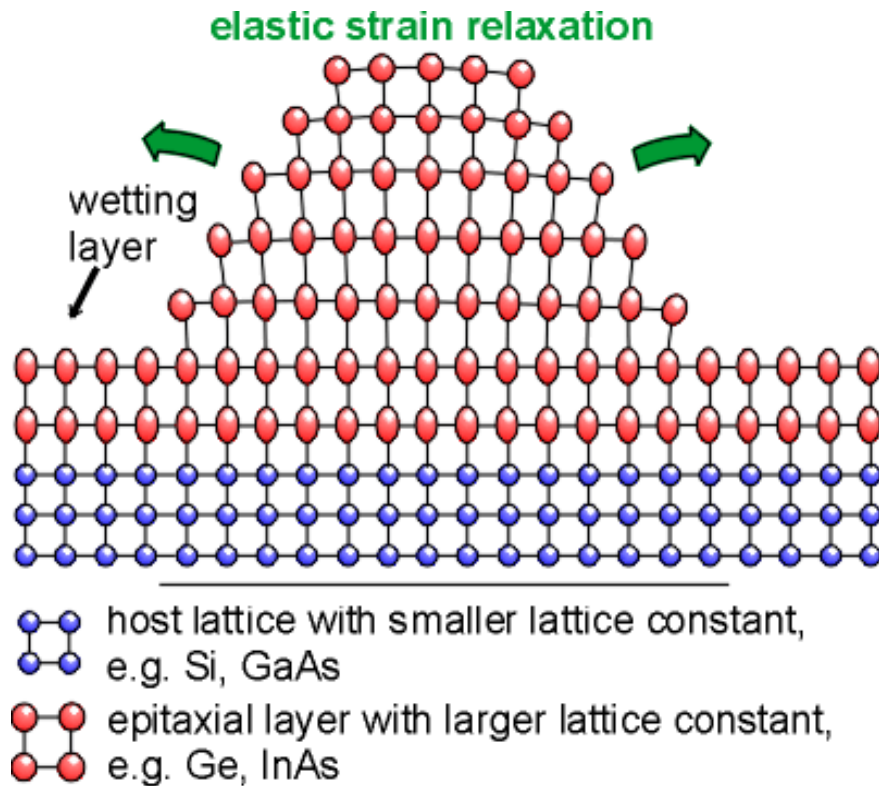


Kropki kwantowe.

- Piramida atomów Ge na podłożu Si - spontanicznie tworzy się kropka kwantowa, podstawa 10 nm, wysokość 1.5 nm.

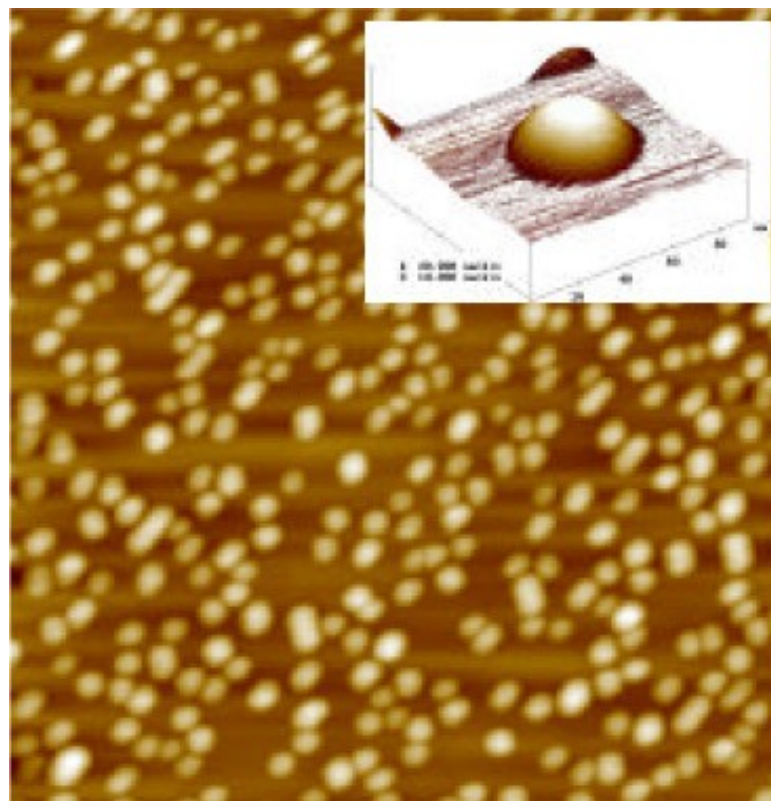
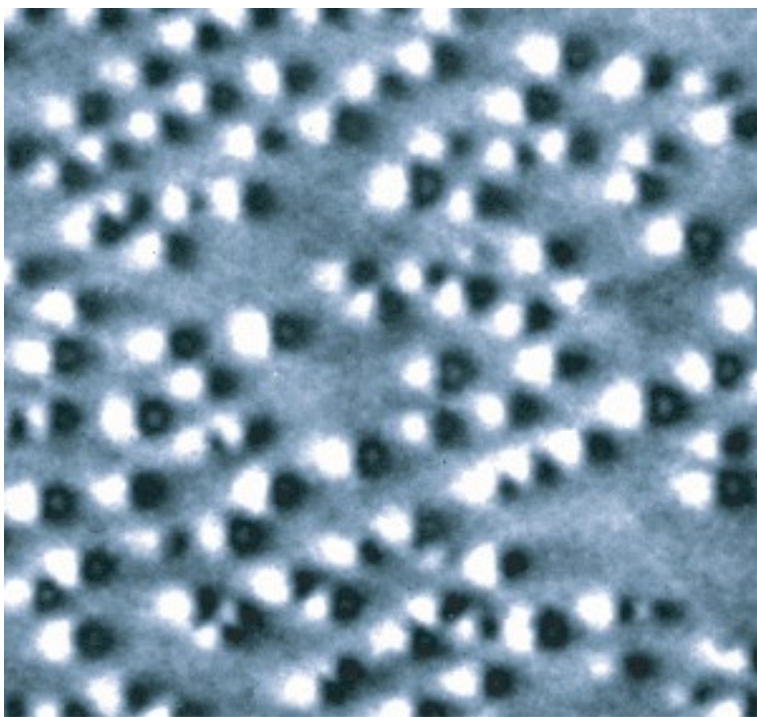


Kropki kwantowe - jak powstają.



Kropki kwantowe - obrazy.

- Piramidki InGaAs.



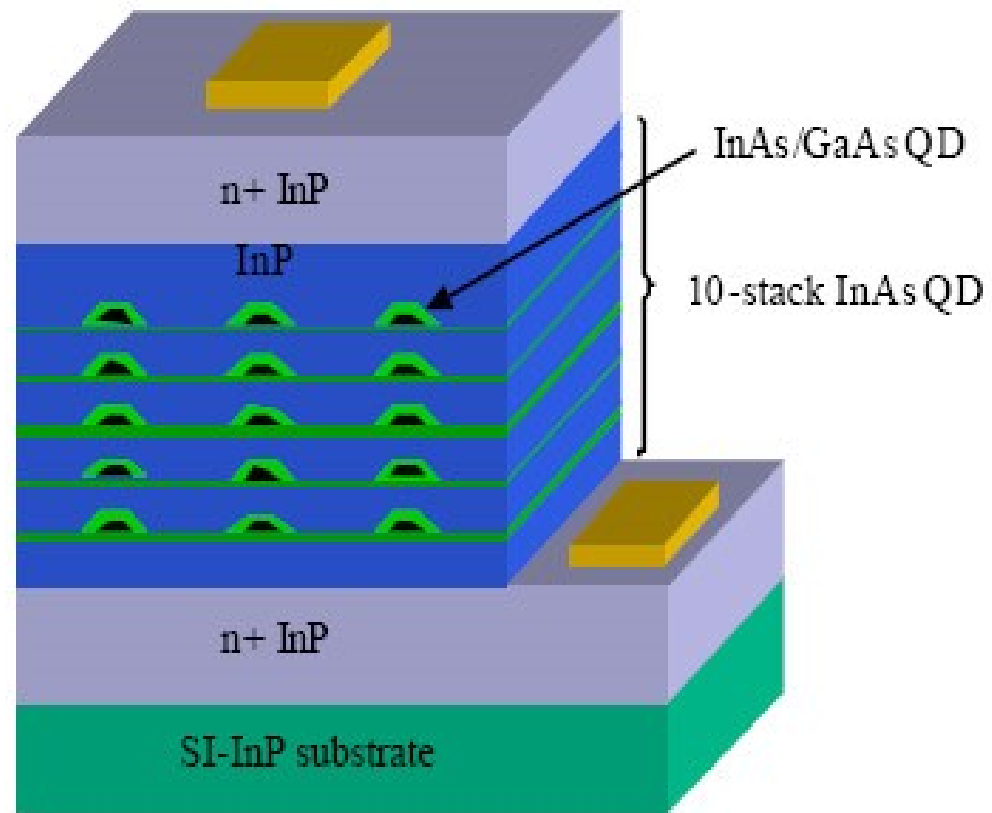
Kropki kwantowe - świecenie.

- CdSe - różne E_g - różne kolory.



Kropki kwantowe - infrared detektor.

- Lepsze parametry w porównaniu do innych detektorów.

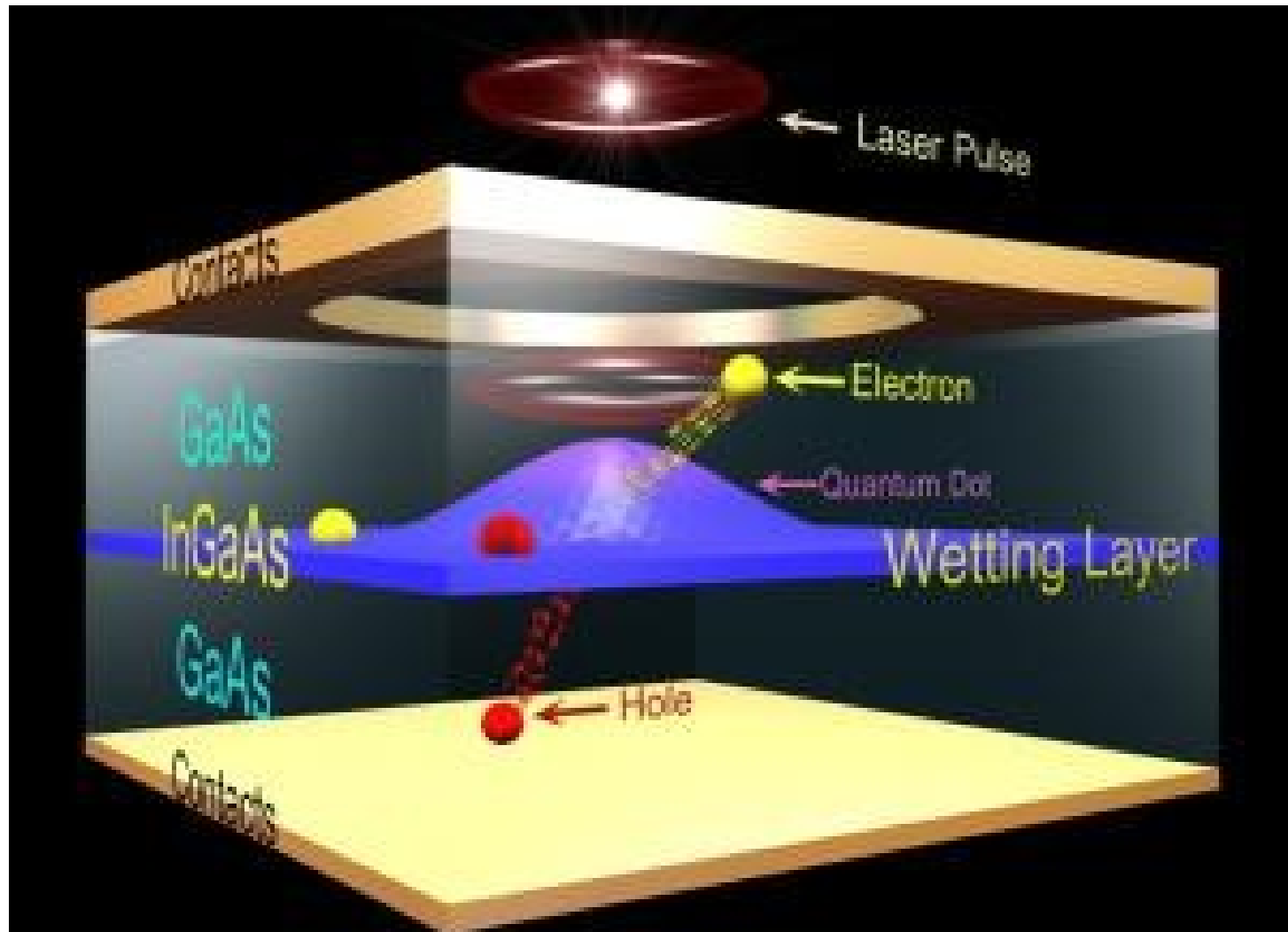


Kropki kwantowe - infrared detektor.

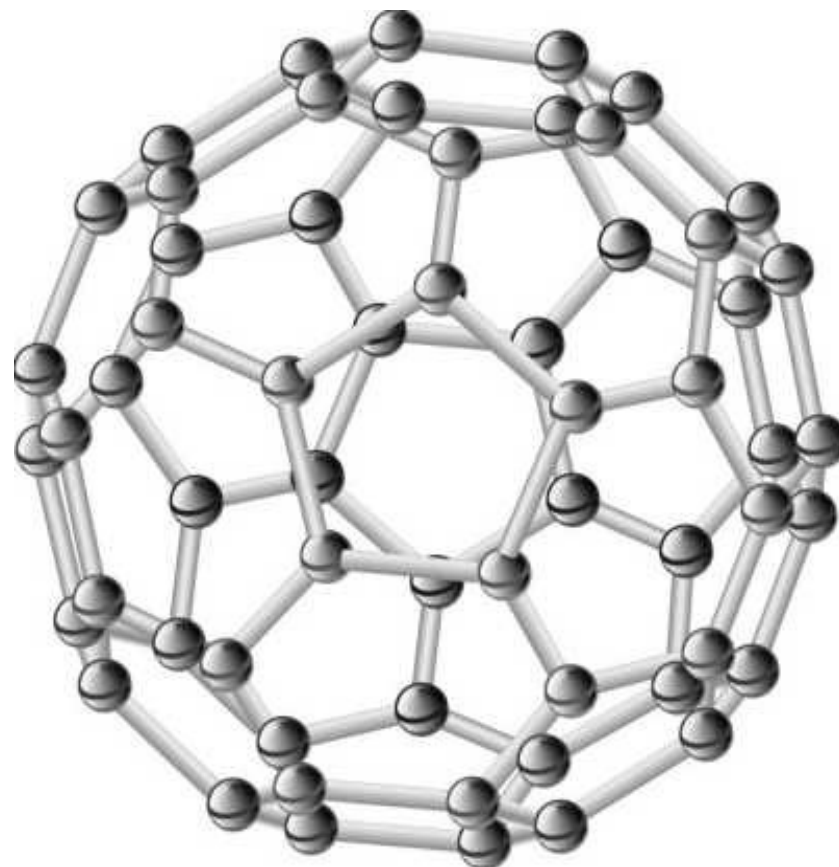
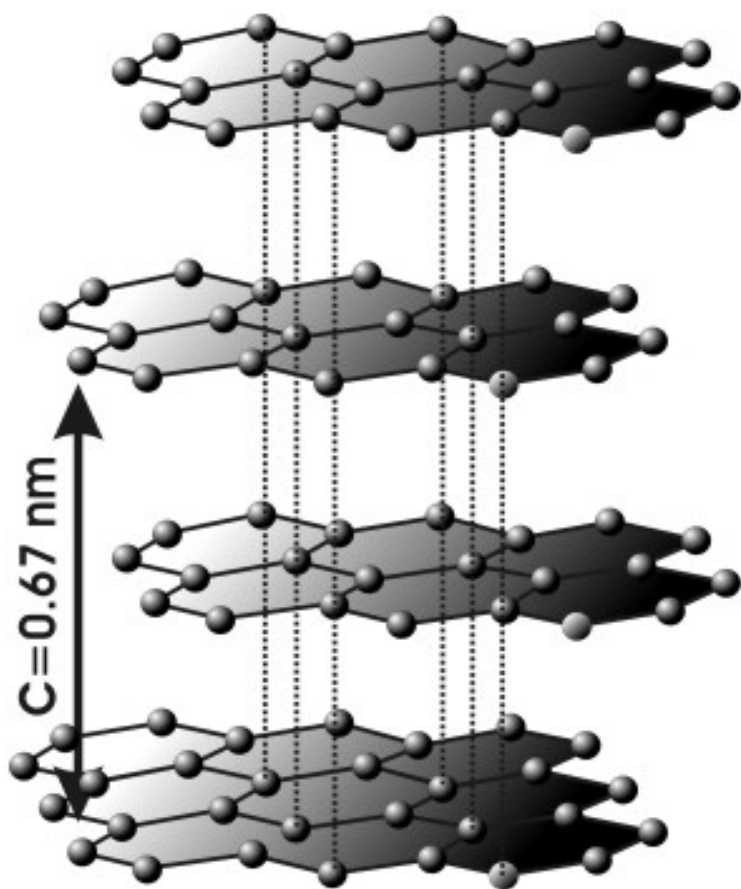
- Dwuwymiarowy obraz termiczny z detektora na kropkach kwantowych.

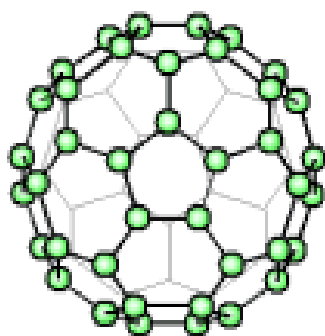


Kropki kwantowe - struktura.

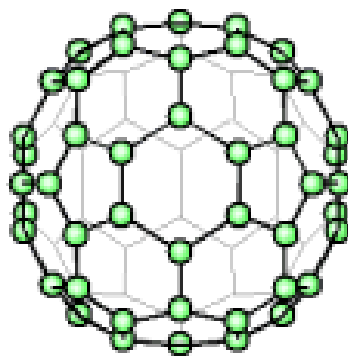


Fulereny - nowa forma węgla.

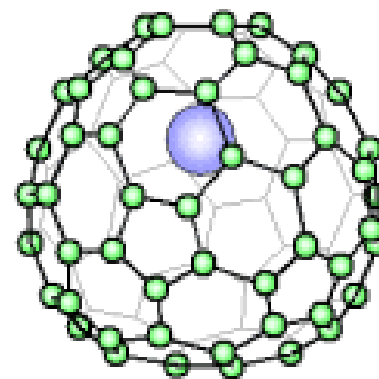




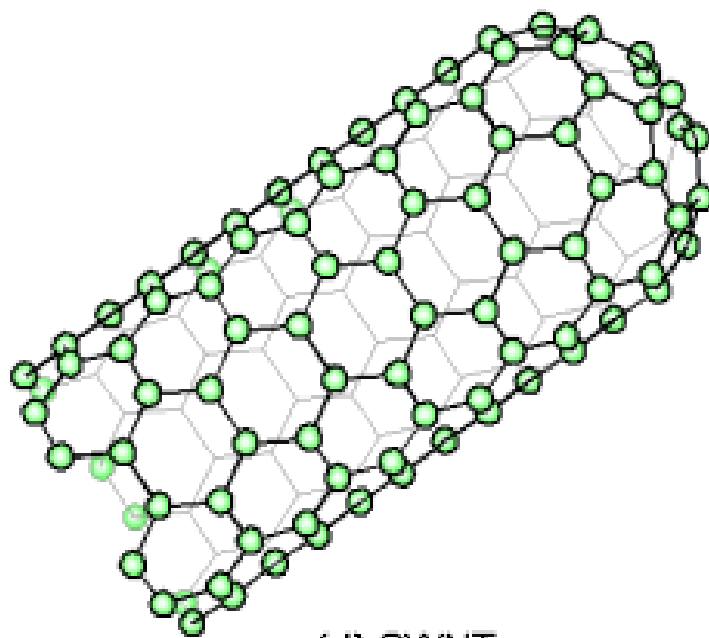
(a) C_{60}



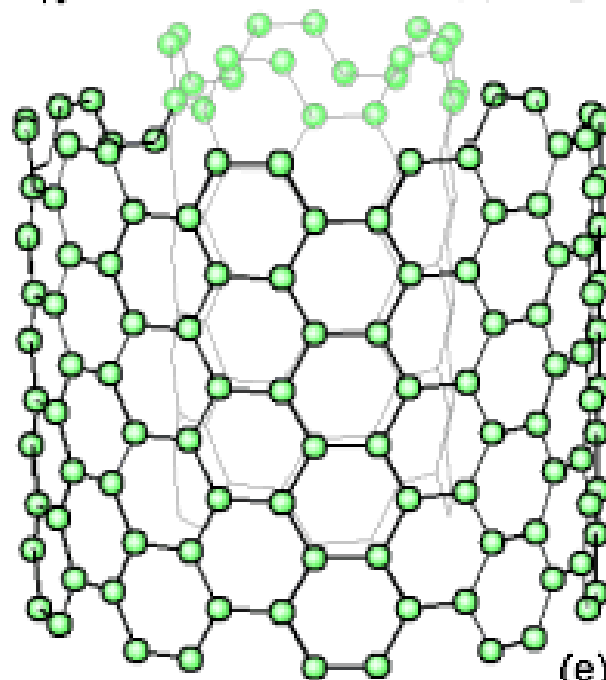
(b) C_{70}



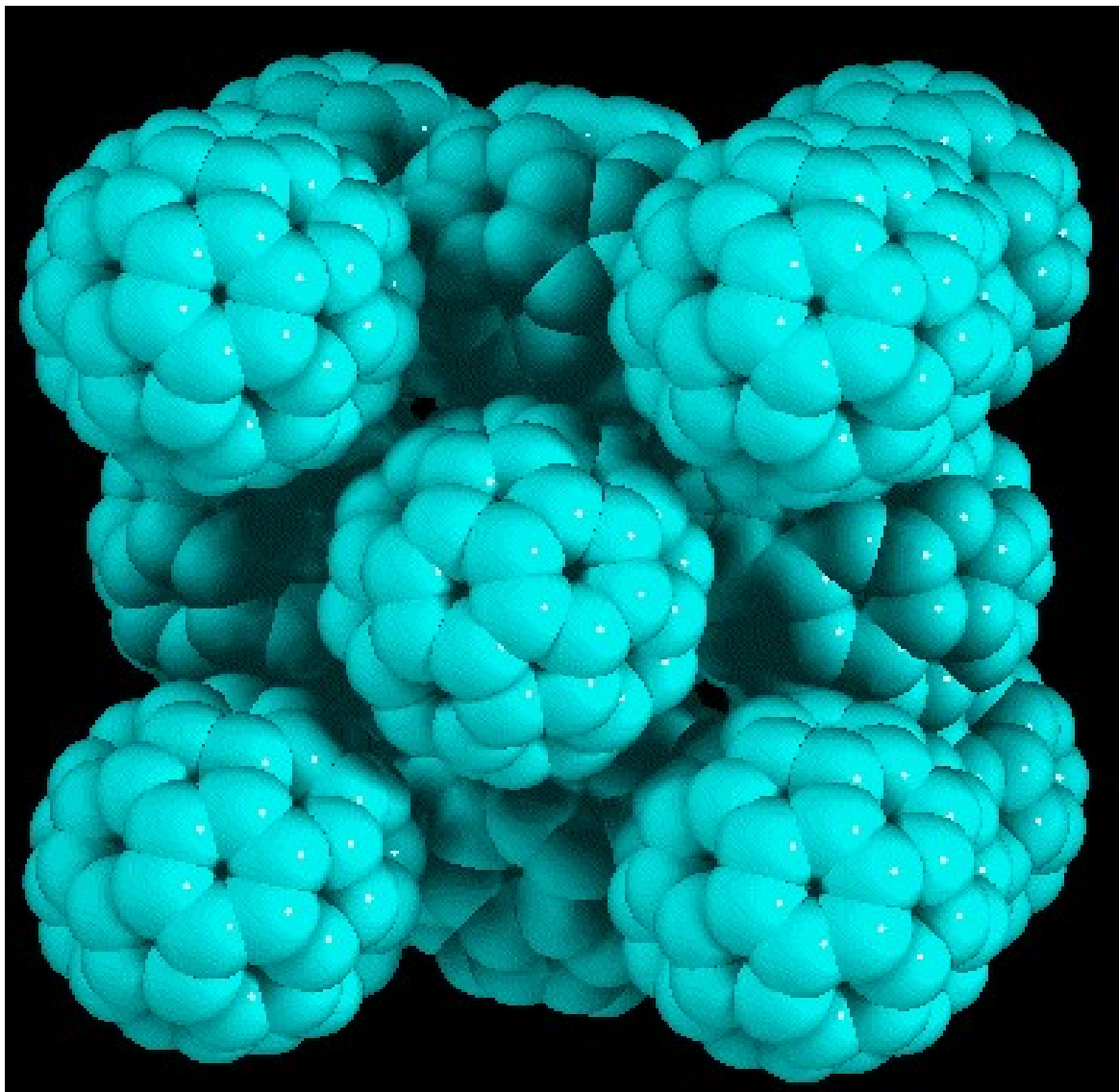
(c) $La@C_{82}$



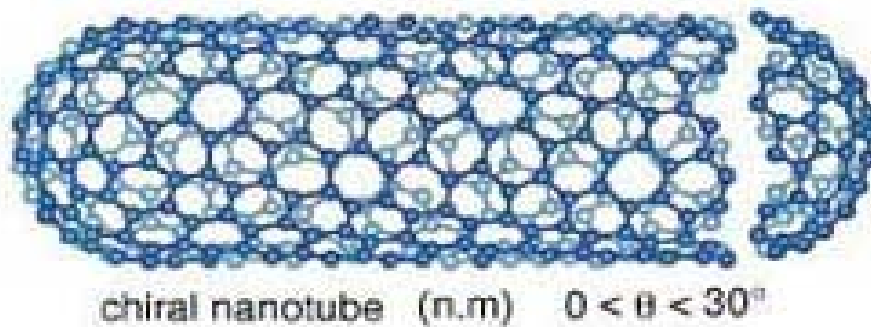
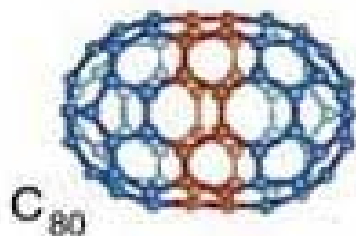
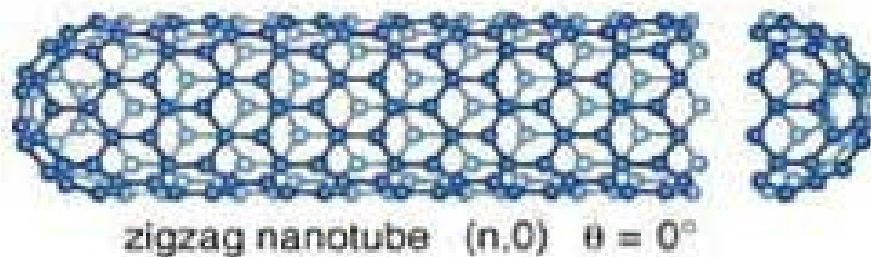
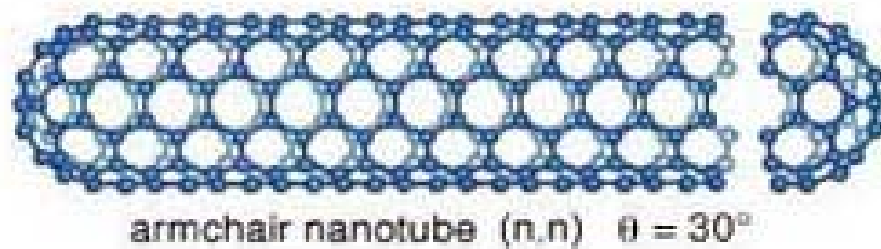
(d) SWNT



(e) MWNT

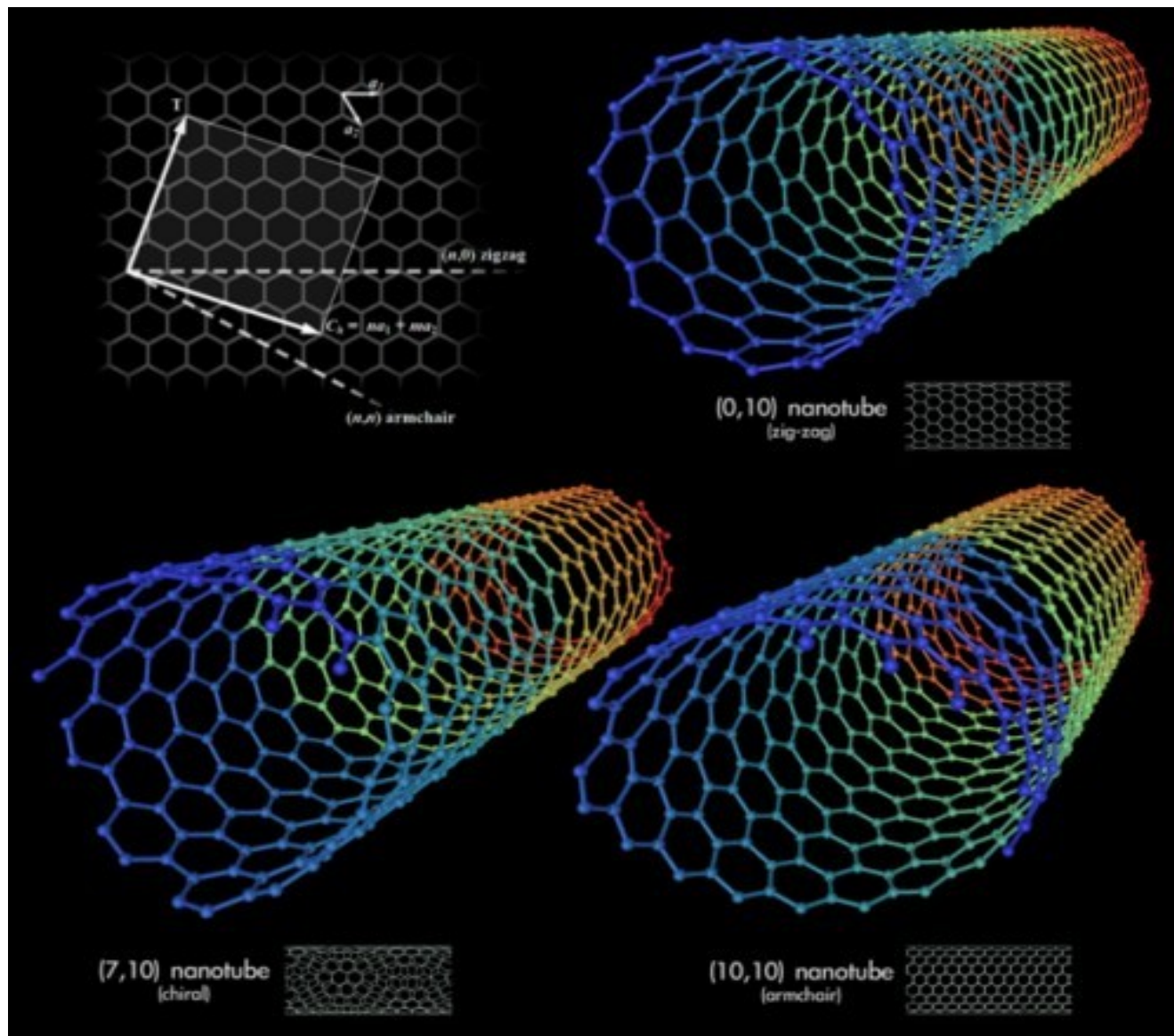


Nanorurki węglowe.



Nanorurka węglowa.

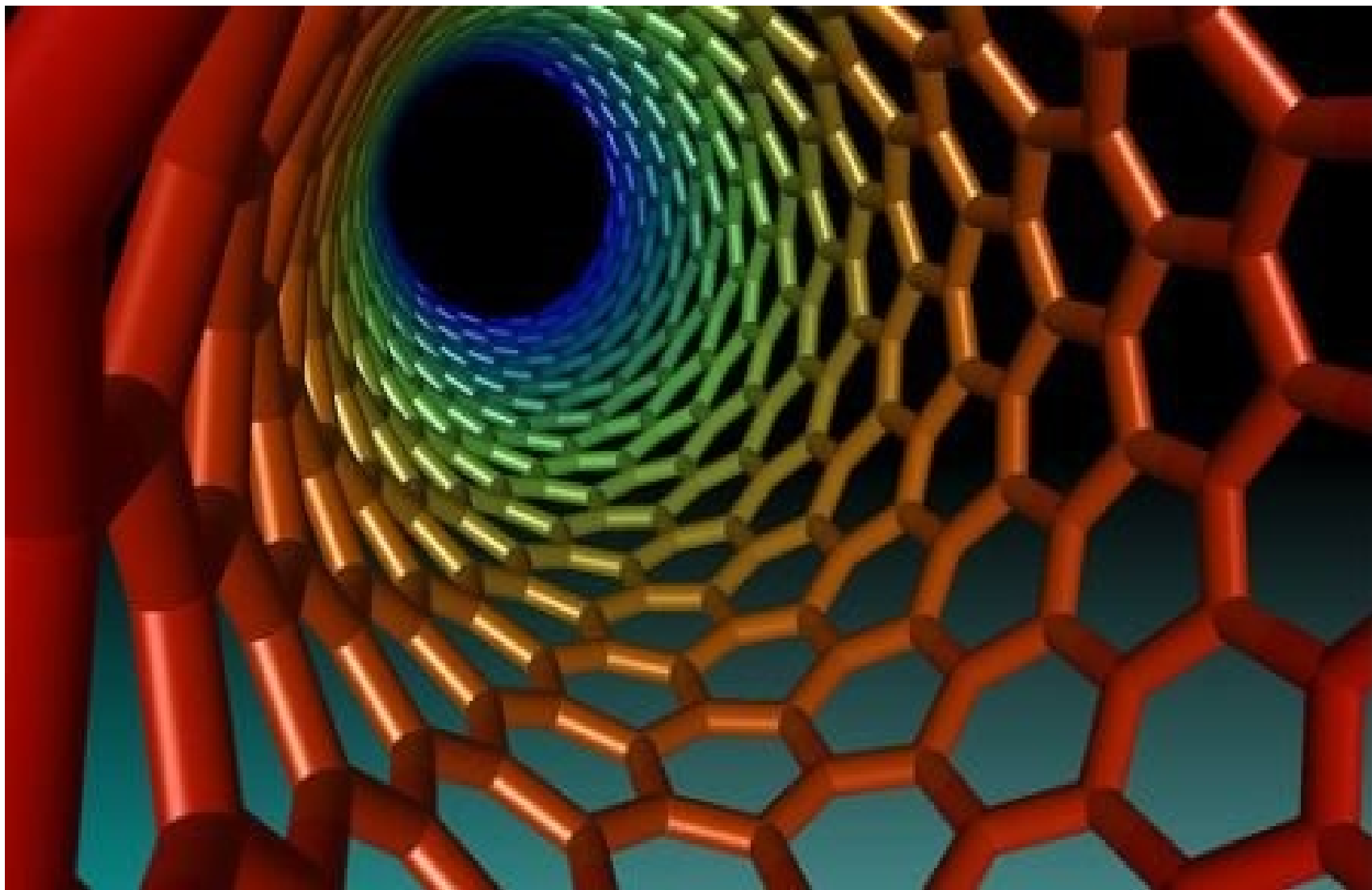




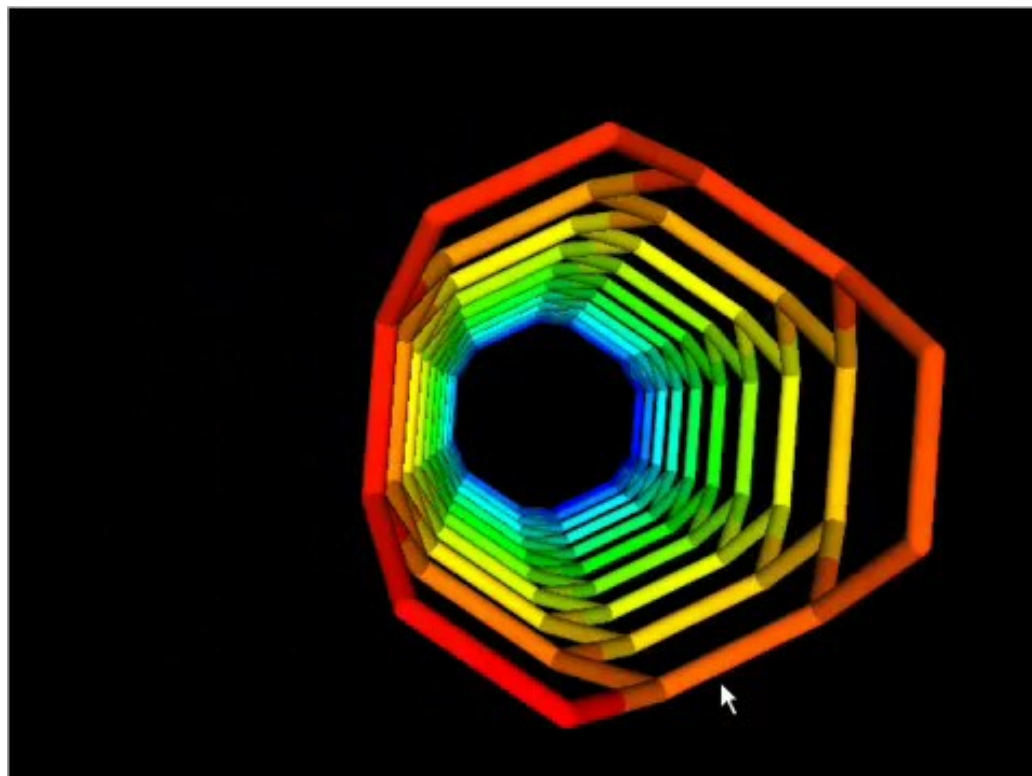
Węglowe nanorurki mają służyć jako nośniki siRNA.

Foto: Created by Michael Ströck
Wikipédia, GNU Free License

Wnętrze nanorurki.

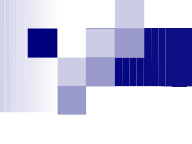


Wytrzymałość nanorurki.



Podsumowanie.

- Technologia konsekwentnie rozwija się w stronę nanotechnologii.
- Małe jest nie tylko piękne ...
- Fizyka klasyczna - fizyka kwantowa.
- Nowe efekty, nowe zjawiska, ogromne pole do badań.
- Trzeba pamiętać o tym, że: „more is different”.
- Przyszłość - ???



Dziękuję za uwagę !