

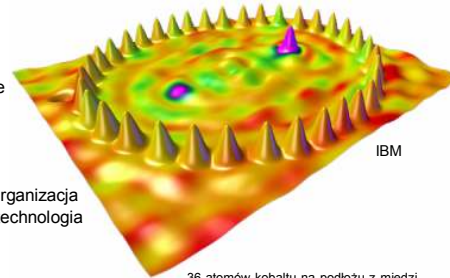
NanoTechnologia



Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl <http://www.fuw.edu.pl/~szczytko>

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Zakład Fizyki Ciała Stałego

1. Nanotechnologia na codzień
2. Jak działa komputer?
 - a) Trochę logiki
 - b) Od bramki do bramki
 - c) Jak działa tranzystor
3. Prawo Moora i jego konsekwencje
 - a) Więcej! Szybciej! Taniej!
 - b) Wyzwania i problemy
4. Nanotechnologie
 - a) JAK?
 - a) Bottom-up, czyli samoorganizacja
 - b) Top-down, czyli (nano)technologia
 - b) CO?
 - a) Studnie, druty, kropki
 - b) Nanorurki i nanomaszyny
 - c) Bio



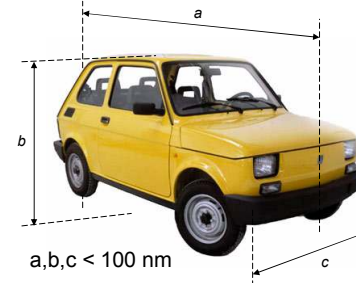
IBM
36 atomów kobaltu na podłożu z miedzi tworzy „korale kwantowe”. Elektrony na powierzchni miedzi oddziałują z atomem kobaltu umieszczonym w ognisku elipsy tworząc „kwantowy miraż”.

NanoTechnologia

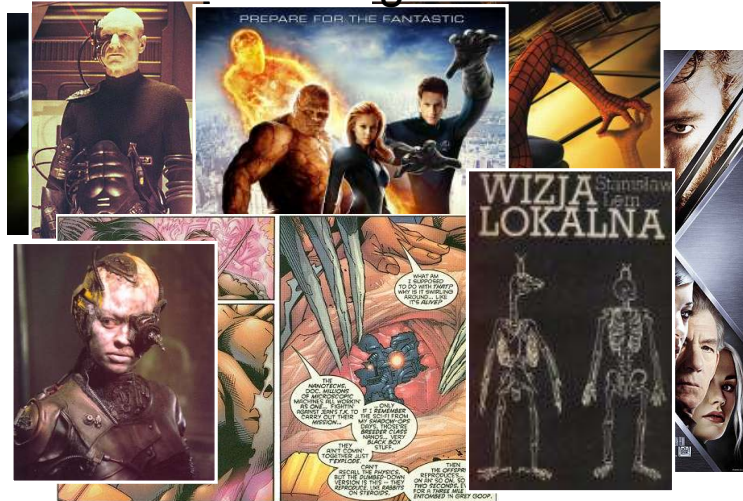


10^{-9}
0,000 000 001

Nauka
Inżynieria
Technologia



Nanotechnologia w kulturze



Nanotechnologia na codzień

Motoryzacja (Hummer H2 sport utility truck)



Budownictwo
Samoczyszczący się beton



Elektronika
Wyświetlacze OLED



Ubrania (Nano-Tex)



Zdrowie (filtr krwinek)



Kosmetyki



Sport

www.sts.utexas.edu/projects/nanomodules/

http://www.fuw.edu.pl/~szczzytko
 Jacek.Szczzytko@fuw.edu.pl

Nanotechnologia na codzień



AGD
 Samoczyszcząca się lodówka
 Samsung Nano SilverSeal



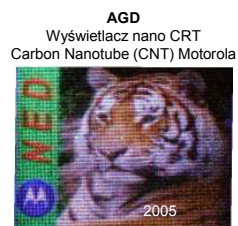
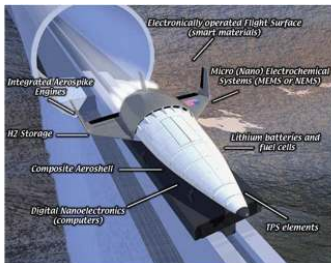
NanoDynamics Revolution

Energia
 Ogniwa
 paliwowe



NEC Corp.

Nowe materiały
 NASA



AGD
 Wyświetlacz nano CRT
 Carbon Nanotube (CNT) Motorola



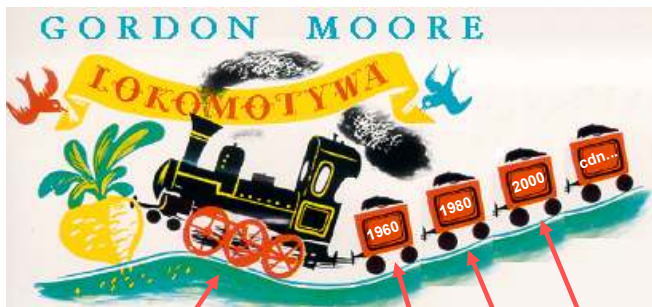
2005

Dlaczego XXI w?



nano
 mikro
 mili

Dlaczego XXI w?

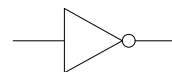


Parowóz dziejów

Przez ostatnie 40 lat na badania technologii krzemowej wydano bilion (ang. trillion) 10^{12} USD

mili
 mikro
 nano

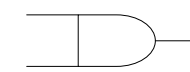
Jak to działa? Trochę logiki



NOT	
0	1
1	0



OR	0	1
0	0	1
1	1	1



AND	0	1
0	0	0
1	0	1

WEJŚCIE

1
 +
 1

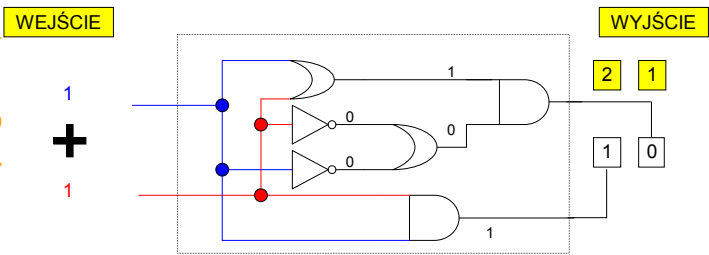
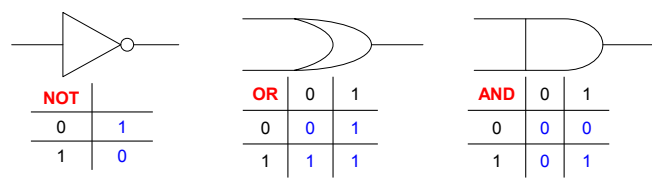
Sumator:

	8	4	2	1
= 0 =	-	-	-	0
1 = 1 =	-	-	-	1
1 + 1 = 2 =	-	-	1	0
1 + 1 + 1 = 3 =	-	-	1	1
1 + 1 + 1 + 1 = 4 =	-	1	0	0

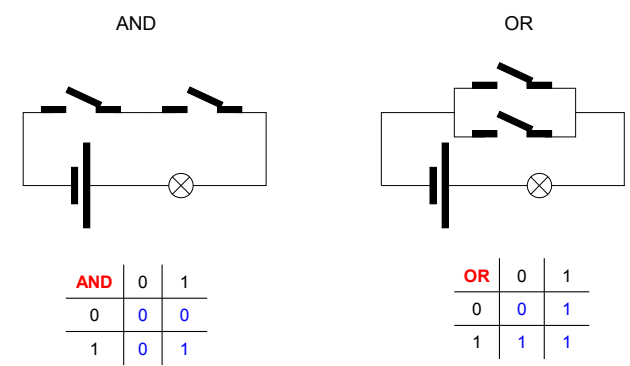
WYJŚCIE

2 1
 1 0

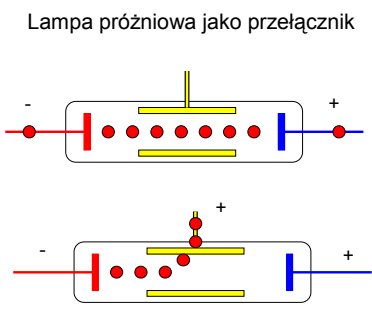
Jak to działa? Trochę logiki



Od bramki do bramki.

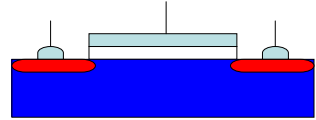
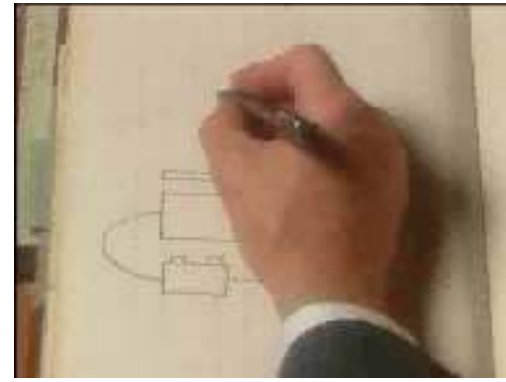


Od bramki do bramki.



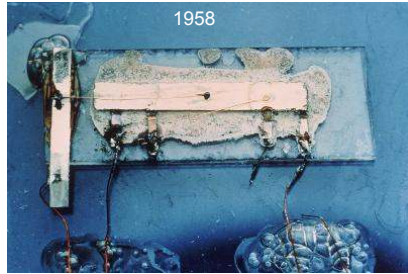
Potrzeba było przełączników: **szybkich i niezawodnych**.
 Na początku (rewolucji koszty, rozmiar, pobór mocy, łatwość obsługi, uniwersalność, skalowalność, kompatybilność nie miały dużego znaczenia...

Jak działa tranzystor?

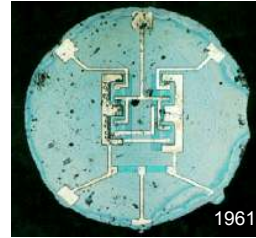


Trochę historii

Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl http://www.fuw.edu.pl/~szczytko



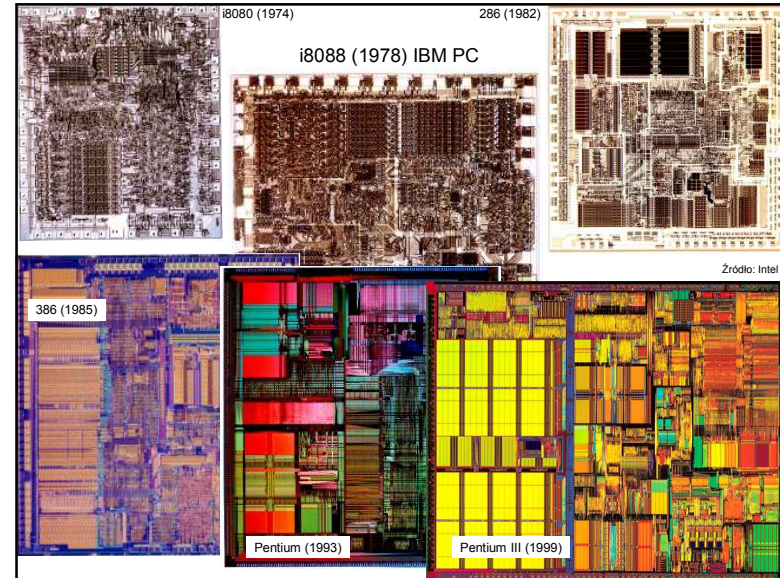
1958



1961

1958 Pierwszy układ scalony (IC – Integrated Circuit) wykonany przez Jacka Kilby'ego na germanie w Texas Instruments (2000 Nagroda Nobla z fizyki). Niezależnie Robert Noyce (Fairchild) zbudował IC na krzemie.

Zródło: http://www.facsnet.org/tools/sci_tech/tech/applications/chipsys.php3 <http://www.lucent.com/minds/transistor/history.html>



Zródło: Intel

Pentium 4 (2000)
 42 000 000 tranzystorów
 technologia 0,18 mikrona.
 Zegar 1,5 GHz
 6 warstw

Rozmiar procesorów Intel (w skali)

4004	8080	8085	8088	8088
80286	386	486	Pentium	Pentium II

Zródło: Intel, http://www.facsnet.org/tools/sci_tech/tech/fundamentals/mooreslaw.php3

Nanotechnologia

Core Duo Extreme X6800 (2006)

291 000 000 tranzystorów
 technologia 65 nm
 Zegar 2,93 GHz
 8 warstw
 Moc 75 W

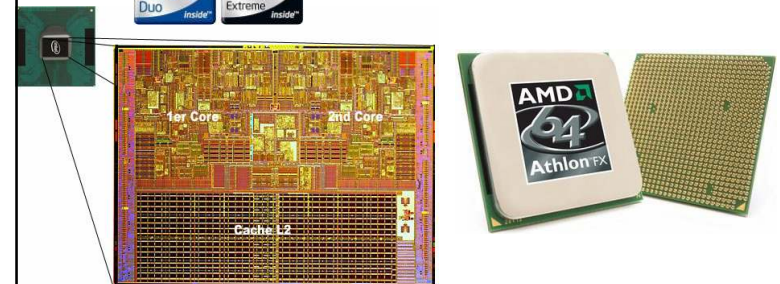


Pentium D 900 (2006)

376 000 000 tranzystorów
 technologia 65 nm
 Zegar 3,2 GHz
 8 warstw
 Moc 115 W

AMD Athlon 64 FX-62 (2006)

227 400 000 tranzystorów
 technologia 90 nm.
 Zegar 2,8 GHz
 9 warstw
 Moc 125 W



TRENDY: Pierwsze Prawo Moore'a

http://www.fuw.edu.pl/~szczzytko

http://www.fuw.edu.pl

http://www.fuw.edu.pl/~szczzytko

Intel - granica 1 mld tranzystorów przekroczone

NetWorld 18-10-2005, ostatnia aktualizacja

Intel zaczął dostarczać wybranym klientom pierwsze dwudziestokrotnie mniejsze układy Itanium 2 noszące nazwę kodową Montecito, które zawierają ponad miliard tranzystorów. Oznacza to, że jesteśmy świadkami przekroczenia kolejnego progu w dziedzinie technologii produkcji układów scalonych.

Intel zapowiadał już w 2002 roku, że pracuje nad układem CPU zawierającym ponad miliard tranzystorów. Warto przypomnieć, że układ Itanium 2 noszący nazwę kodową Madison zawiera 500 mln tranzystorów.

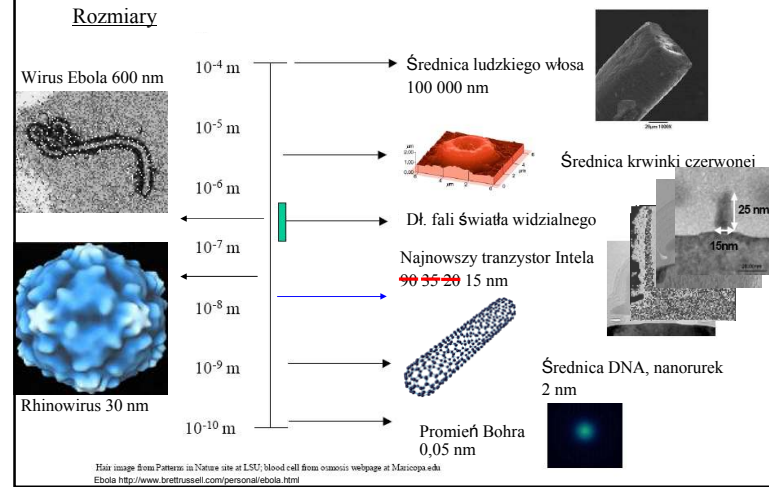
Kolejną ważną cechą układu Montecito jest to, że każdy rdzeń dysponuje swoim własnym buforem na dane. Dlatego układ ma duże rozmiary (ok. 580 milimetrów kwadratowych). Układy Itanium drugiej generacji, produkowane w 2002 roku, miały powierzchnię 400 do 450 milimetrów kwadratowych.

Intel zwiększał przez ostatnie 20 lat sukcesywnie liczbę tranzystorów zgnieżdżanych na układach scalonych. Układ 386, którego produkcję uruchomiono w 1985 roku, miał 275 tys. Tranzystorów. Liczba jednego miliona tranzystorów została przekroczona w 1989 roku, z chwilą podjęcia produkcji układu 486.

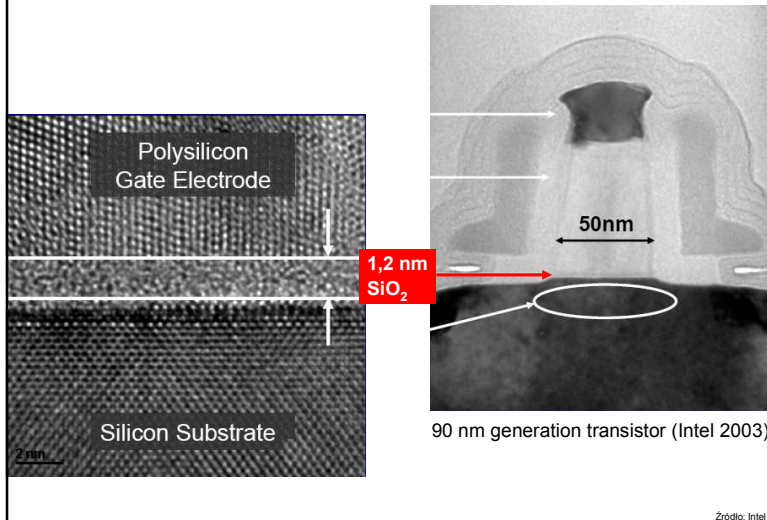
Kolejne rekordy padły w 1993 roku (układ Pentium; 3,1 mln tranzystorów) i następnie w 2002 roku (Pentium 4,42 mln tranzystorów). Pierwszy układ Itanium 2 (2002 rok) zawierał 220 mln tranzystorów.

Janusz Chustecki

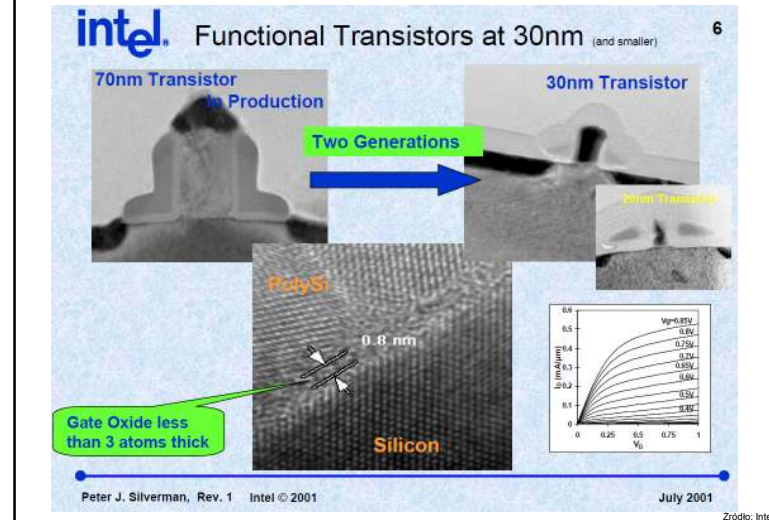
Nanotechnologia



Nanotechnologia



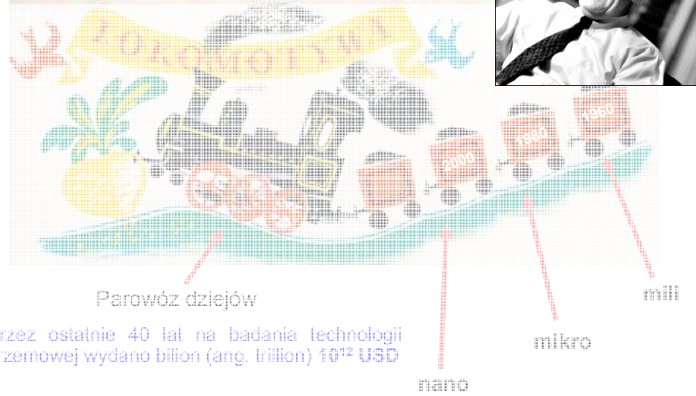
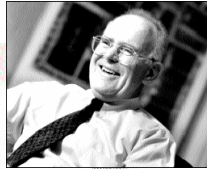
Nanotechnologia



Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl http://www.fuw.edu.pl/~szczytko

Dlaczego XXI w?

GORDON MOORE



Parowóz dziejów

Przez ostatnie 40 lat na badania technologii krzemowej wydano bilion (ang. trillion) 10^{12} USD

nano

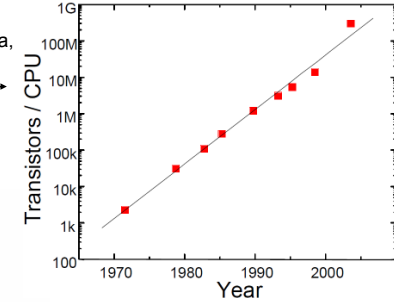
miko

mili

TRENDY: Pierwsze Prawo Moore'a

Ilość komponentów (tranzystory, połączenia, izolacje itd.) w IC podwaja się co około 18 miesięcy.

Rozmiar liniowy komponentów również zmniejsza się wykładniczo w czasie.



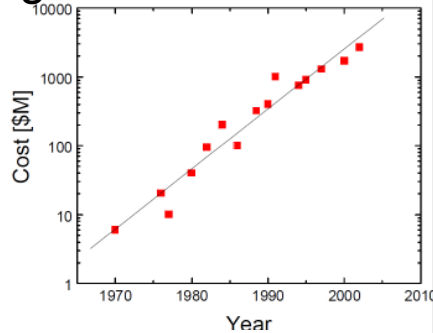
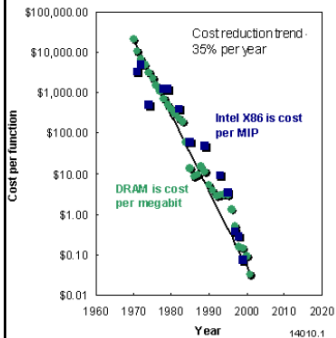
Te trendy nie mogą być kontynuowane w nieskończoność.

- Co zastąpi technologię Si?
- Z czego będzie wynikała ta zmiana technologii?

EKONOMIA

Źródło: Intel

PROBLEM: Drugie Prawo Moore'a



Koszt pojedynczego komponentu maleje wykładniczo o ok. 35% na rok.

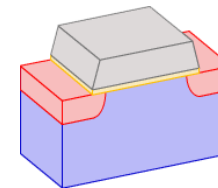
ALE: Koszt fabryki produkującej chipy rośnie także wykładniczo!

W 2025 roku fabryka procesorów kosztowałaby 1 bilion USD (10^{12} USD)

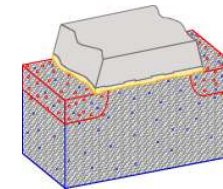
Ten trend w oczywisty sposób również nie może być kontynuowany!

Źródło: Intel

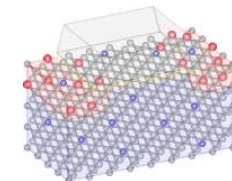
Granice miniaturyzacji?



Myślmy, że tranzystor jest zbudowany tak.



25 nm MOSFET
Produkcja od 2008



4,2 nm MOSFET
Produkcja ???

Asen Asenov, Glasgow
David Williams Hitachi-Cambridge

IEEE Trans Electron Dev 50(9), 1837 (2003)

Nanotechnologie

JAK?

- Bottom-up, czyli samoorganizacja
- Top-down, czyli (nano)technologia

CO?

- Studnie, druty, kropki
- Nanorurki i nanomaszyny

↑ Bottom-up



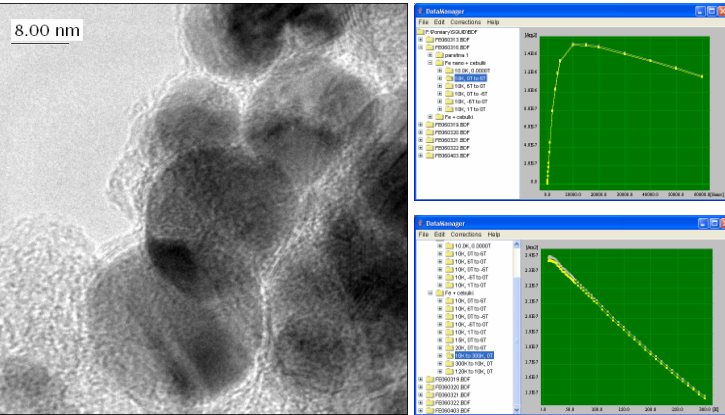
Wydział (nano)Chimii UW

<http://www.chem.uw.edu.pl/labs/elektrochemia/Nanogaleria/nanogaleria.htm>

Nanorurki, nanowąsy i kropki

http://www.fuw.edu.pl/~szczzytko

Magnetyczne QD's



Jacek Szczytko



Stand-alone QD

• Farby

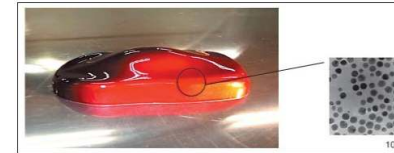
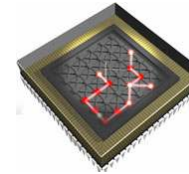
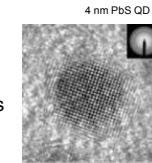


Figure 7
Polymer-stabilized colloidal gold (shown as TEM image) produces a 'dynamic' paint effect (Picture courtesy of Nippon Paint) (41)



Paint-On Lasers
By Aris Pearson
ScienceNOW Daily News
21 April 2006



Now, a team at the University of Toronto in Canada [...] the researchers suspended quantum dots—nanometer-sized particles of semiconductors—in a liquid and painted the suspension on the inside of a tiny glass tube.

Energia – ogniwa sloneczne

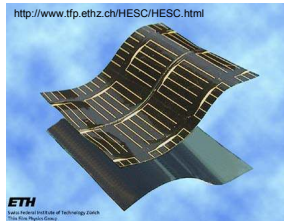
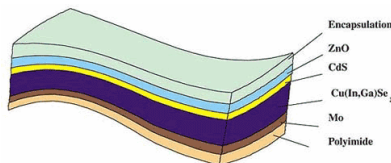


http://www.daystarech.com/lightoil.cfm



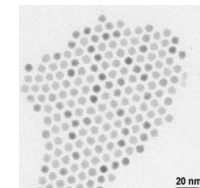
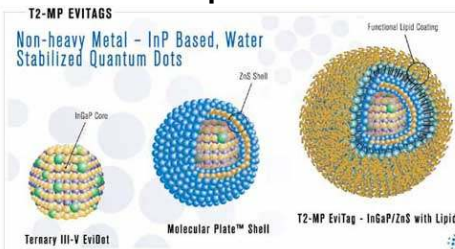
Cu(In,Ga)Se₂ (also called CIGS) compound semiconductor solar electricity conversion efficiency of 12.8%

http://www.tfp.ethz.ch/HESC/HESC.html

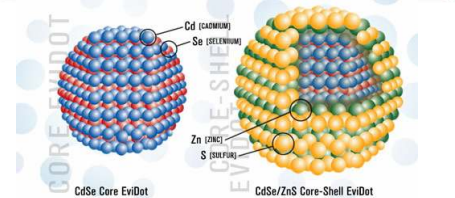


ETH

Kropki kwantowe + bio

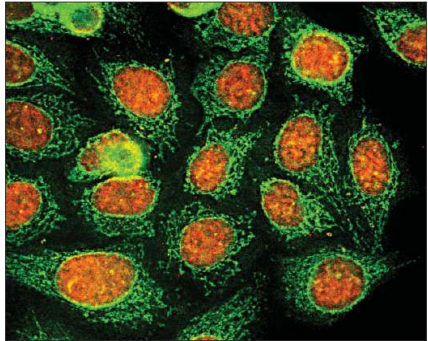


A PbSe Quantum Dot as seen through a transmission electron microscope (TEM).



http://www.evidenttech.com/

Kropki kwantowe + bio



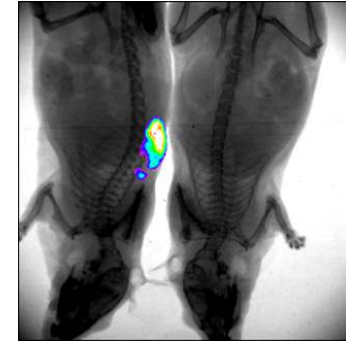
Double duty. Green quantum dots cling to mitochondria in the cytoplasm; orange ones label proteins in the same cells' nuclei.

Science, Vol 300, Issue 5616, 80-81, 4 April 2003

Kropki kwantowe + bio



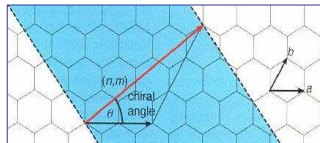
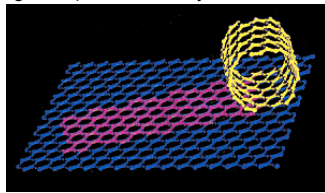
Bull's-eye. Red quantum dots injected into a live mouse mark the location of a tumor.



Science, Vol 300, Issue 5616, 80-81, 4 April 2003

Nanorurki

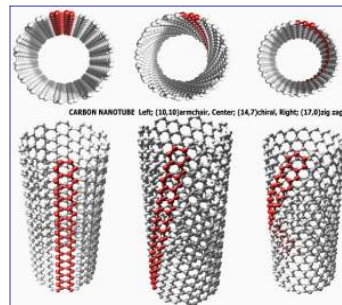
Nanorurki można sobie wyobrazić jako warstwy atomów węgla (takie jak w graficie), które zostały zrolowane.



Orientacja jest zdefiniowana przez wektor chiralny (n,m)
 $c_h = n a + m b$

Rozróżniamy orientacje:

- Armchair
- Zig-zag
- Chiral



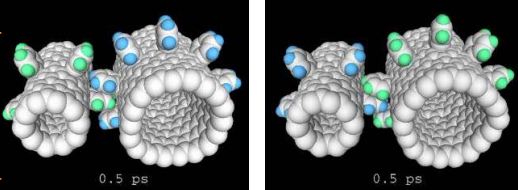
American Scientist THE JOURNAL OF SCIENCE, BY THE SCIENTIFIC RESEARCH SOCIETY

Winda do nieba

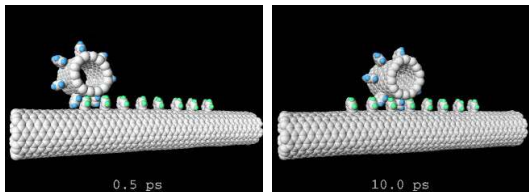
Countertorque = 62,000 mi
 EED station = 22,240 mi
 Elevator car
 Cable
 Base station

Nanomaszyny

Large Gear Drives Small Gear



Gear and Shaft Operation



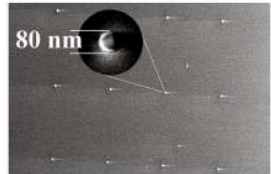
Powered Shaft Powered Gear

http://www.tuw.edu.pl/~szczzytko

http://www.ipt.arc.nasa.gov

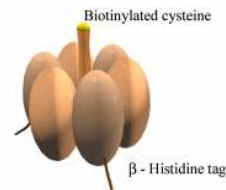
Bio-nano-silnik (ATPaza)

A



80 nm

B

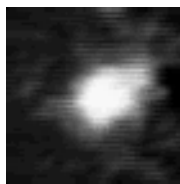


Biotinylated cysteine


β - Histidine tags

http://www.linkclub.or.jp/~hiikoysd/ryohei/papers.html

C

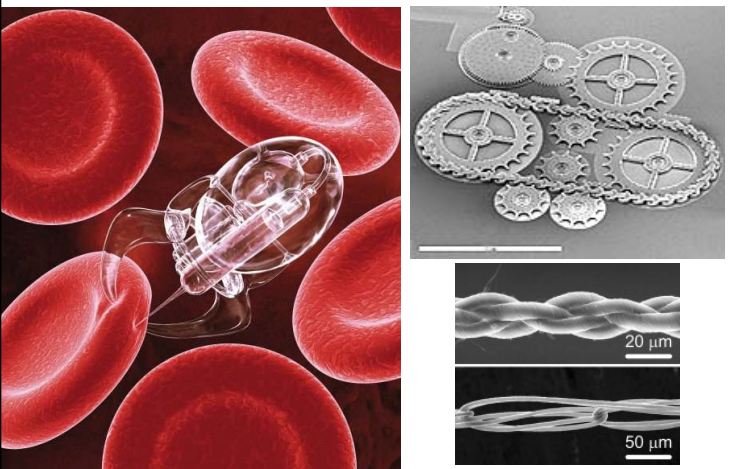


D



http://www.foresight.org/Conferences/MNT6/Papers/Montemagno/index.html

Nanoroboty



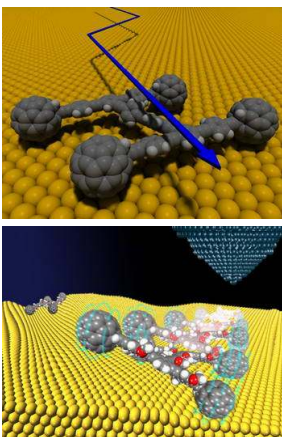
Nano Tech Web

Nano-samochód

RICE UNIVERSITY OFFICE OF NEWS AND MEDIA RELATIONS

Search Rice GO Search Archives Find an Expert

Y. Shira/Rice University 20.10.2005



They found the nanocar was quite stable on the surface remaining parked until the surface was heated above 170 °C - presumably because of strong adhesion between the fullerene wheels and the underlying gold. Flat gold surface was used to prevent the nanocar actually roll around on its fullerene wheels, rather than slip like a car on ice. Between 170 °C and 225 °C, the researchers observed that the nanocar moved around by translational motion and pivoting. The translational motion was always in a direction perpendicular to the handcar's axle, indicating that it moves by rolling rather than sliding.

http://www.nanonewsnet.com/index.php?module=pagesetter&func=viewpub&tid=4&pid=2

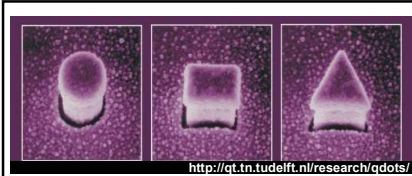
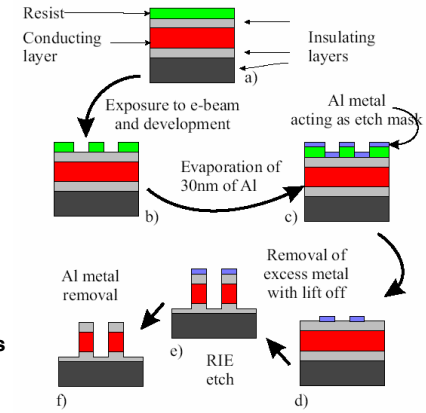
↓ Top-down



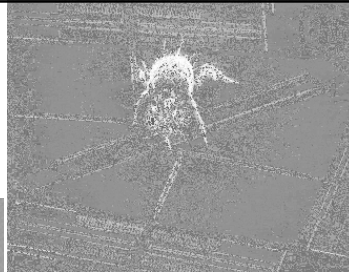
Vincent Laforet/The New York Times

How do we make information processing circuits now?

1. **Silicon technology predominates**
2. **Current circuits ~ 10^9 - 10^{10} transistors**
3. **Wafers - 300mm, ~ 10^3 chips**
4. **Photolithography, deposition, etching etc**
5. **Typically ~20 mask steps, 150 - 200 process steps**



<http://qt.tn.tudelft.nl/research/qdots/>



Nano Tech Web

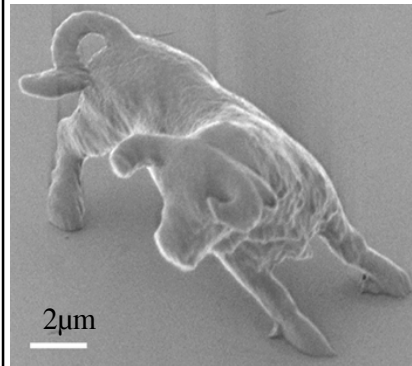
[S. Kawata *et al.*, *Nature* **412**, 697 (2001)]

7 μ m

(3 hours to make)

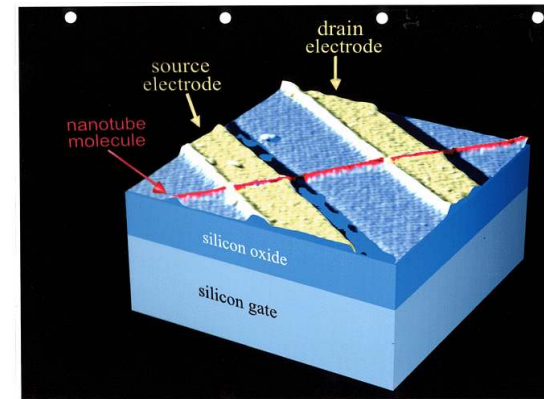
$\lambda = 780\text{nm}$

resolution = 150nm



2 μ m

Nanotubes as molecular quantum wires



Gea Dakter

Nanotechnologie

JAK?

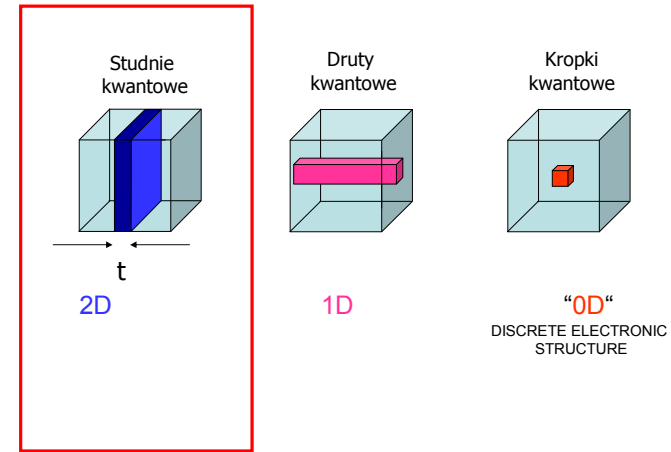
- Bottom-up, czyli samoorganizacja
- Top-down, czyli (nano)technologia

CO?

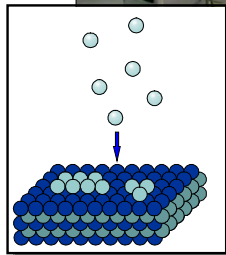
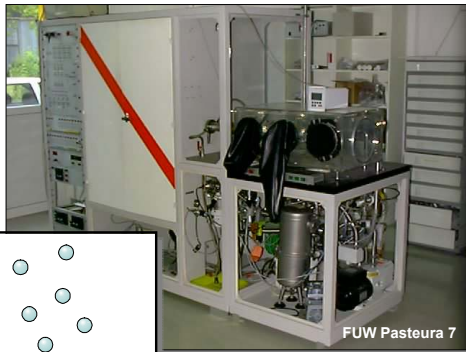
- Studnie, druty, kropki
- Nanorurki i nanomaszyny

Struktury niskowymiarowe

Low-dimensional Semiconductor Systems

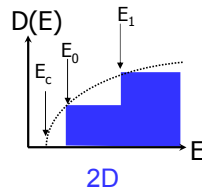
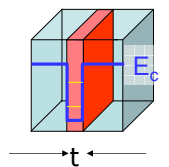


MOCVD



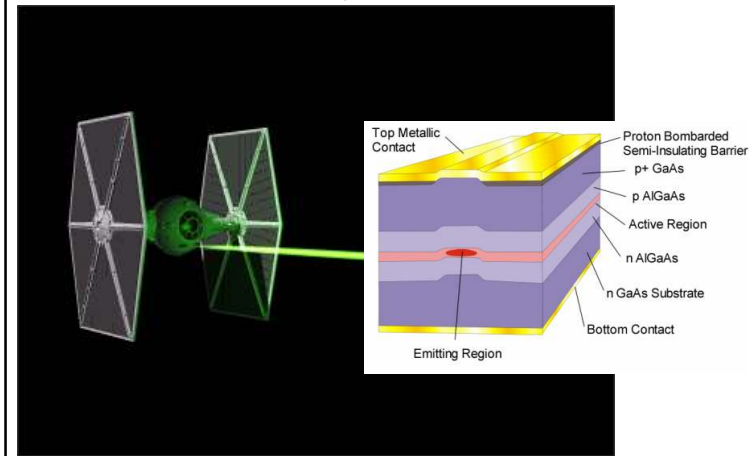
MOCVD → Osadzanie z atomową precyzją warstw o różnym składzie lub domieszkowaniu

Studnia kwantowa



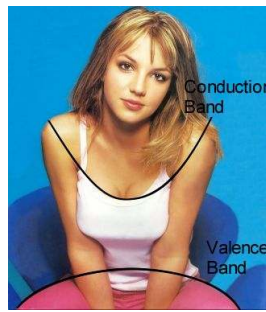
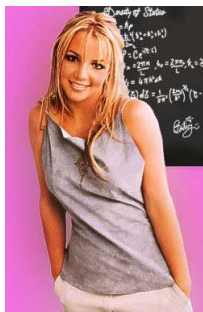
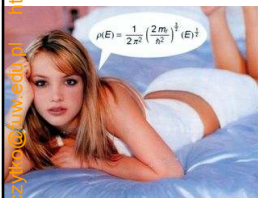
Studnie Kwantowe

Lasery półprzewodnikowe



Studnie Kwantowe

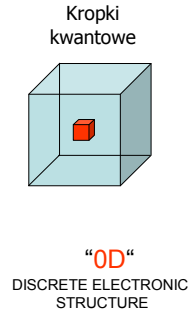
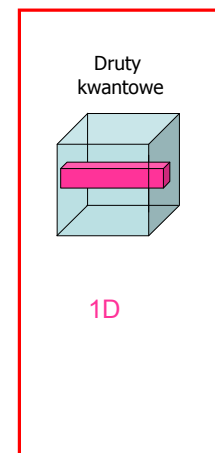
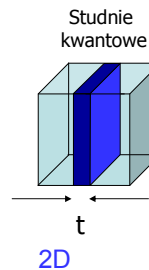
Więcej: <http://britneyspears.ac/lasers.htm>



http://www.fuw.edu.pl/~szcztyko

Struktury niskowymiarowe

Low-dimensional Semiconductor Systems



Hubert J. Kremer

Druty

Figure 9 Quantum wire fabrication based on nanoscale etching and re-growth

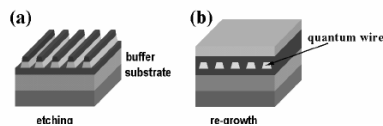


Figure 12 Selective growth of quantum wires on a pre-patterned V-groove substrate

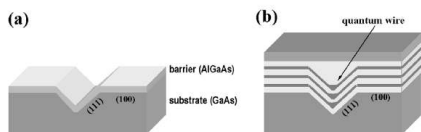
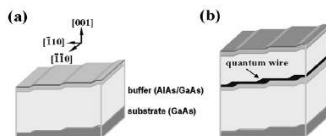


Figure 11 Growth of quantum wires on a vicinal surface with multistep steps



Druty

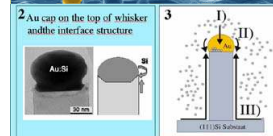
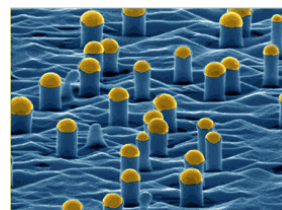


Fig. 3) Growth contains three components: (I) droplet surface diffusion, (II) surface diffusion along the whisker, (III) diffusion from the surrounding of the whisker.

<http://www.mpi-halle.mpg.de/~mbe/>



www.ece.odu.edu/g_seminar.htm

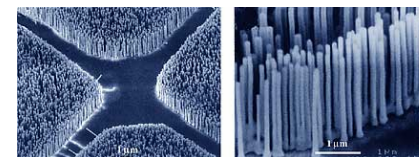
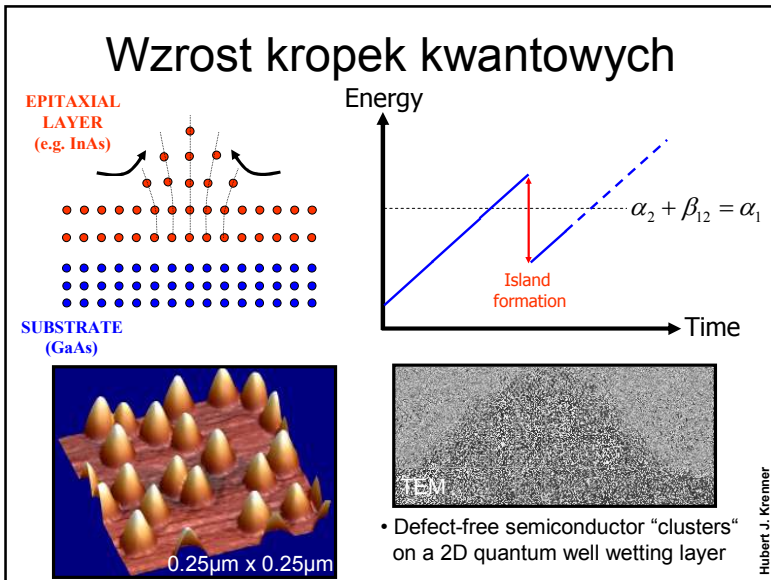
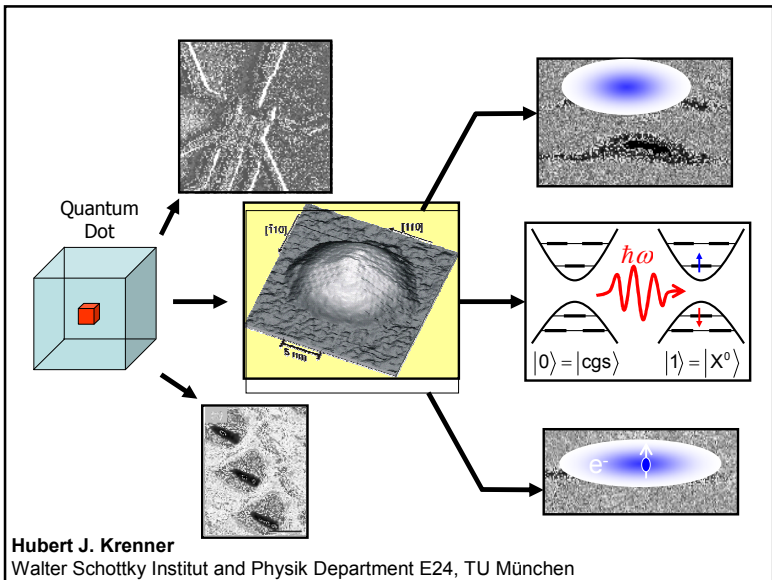
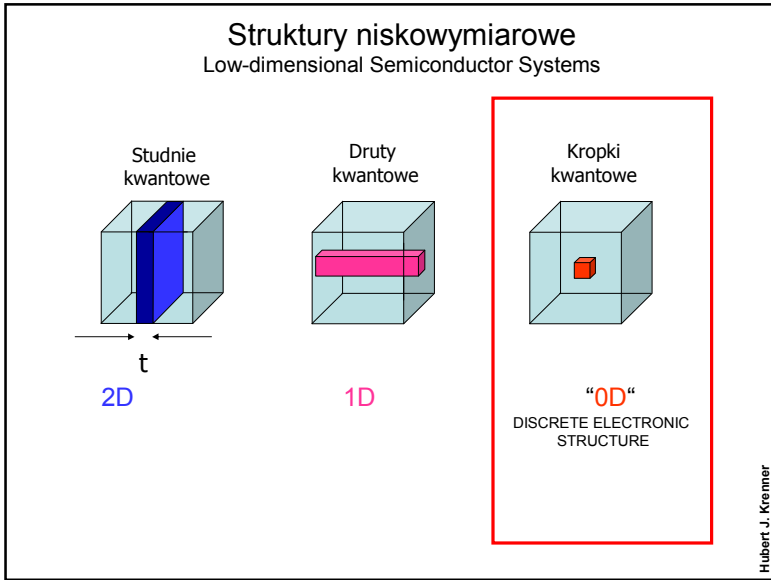
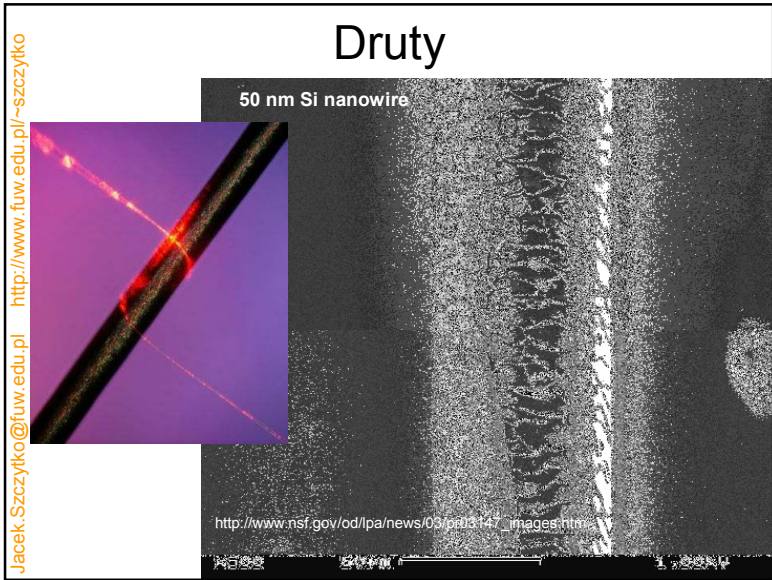
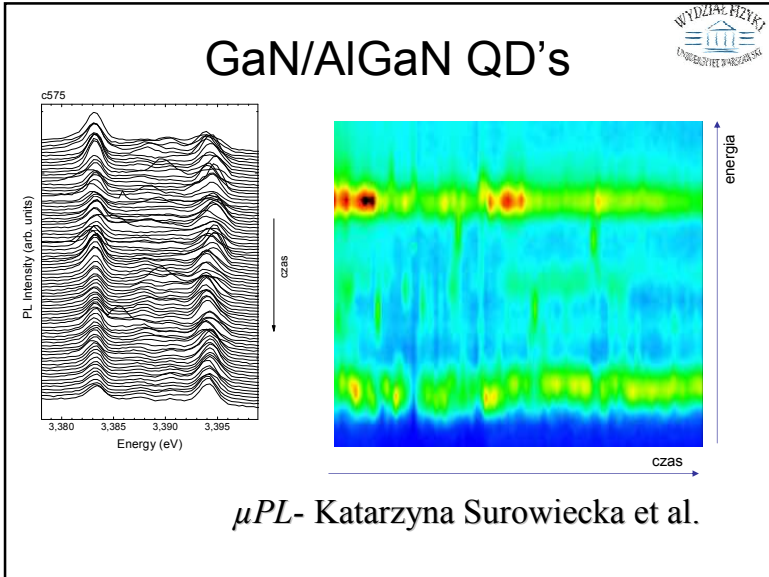
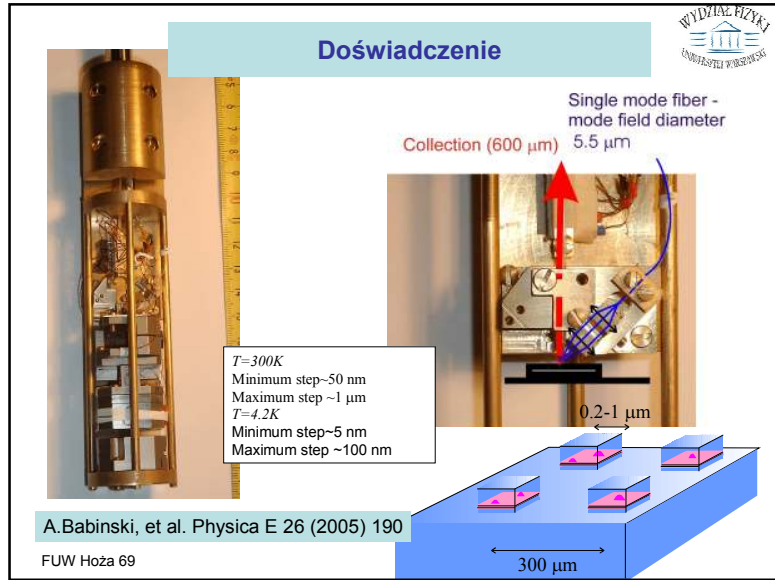
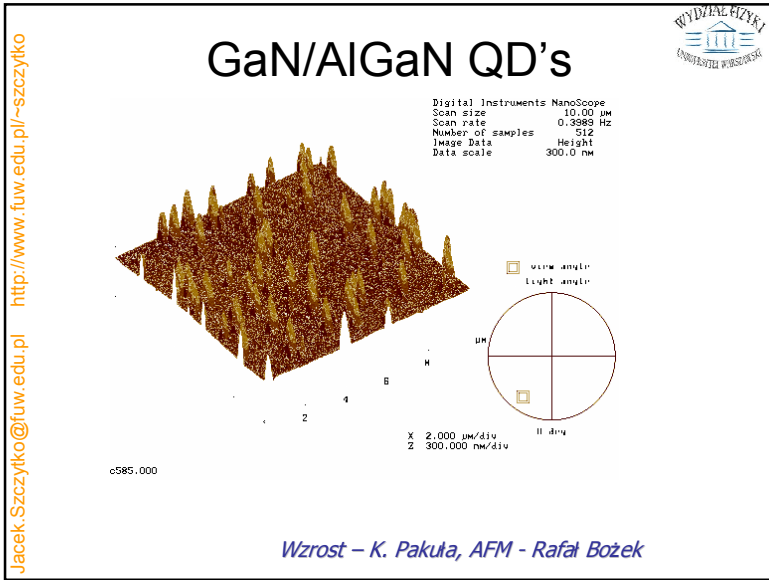


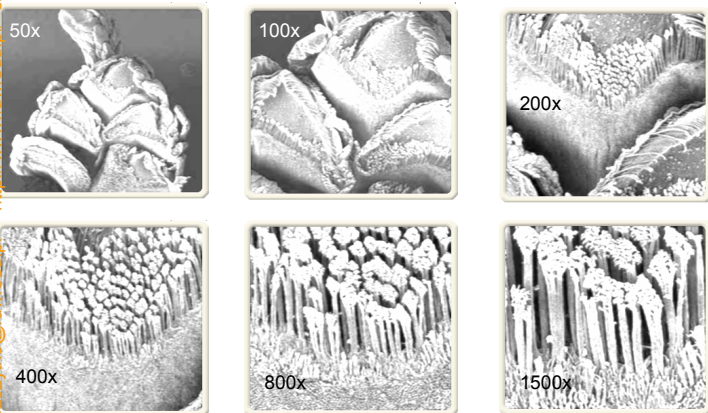
Photo by Peidong Yang/UC Berkeley, courtesy of Science





http://www.fuw.edu.pl/~szcztyko

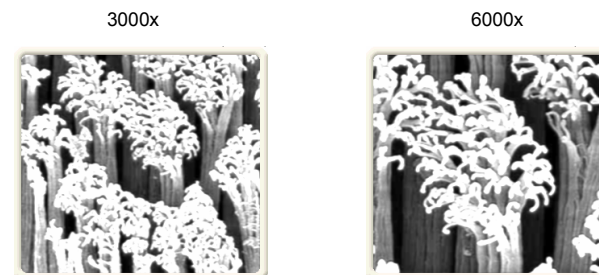
Nano i bio (gekon)



Jacek.Szcztyko@fuw.edu.pl

<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/electronmicroscopy/magnify1/index.html>

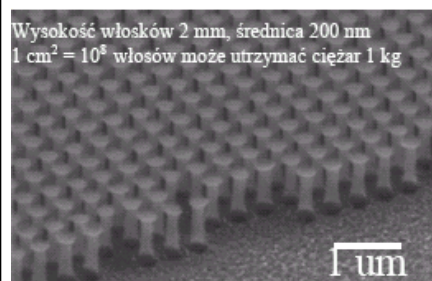
Nano i bio (gekon)



<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/electronmicroscopy/magnify1/index.html>

Nano i bio (gekon)

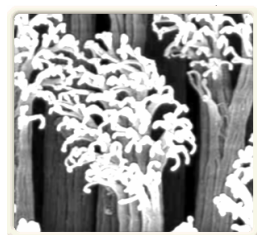
6000x



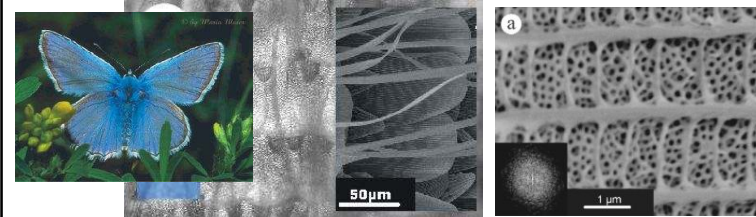
Wysokość włosków 2 mm, średnica 200 nm
 $1 \text{ cm}^2 = 10^8$ włosków może utrzymać ciężar 1 kg

Paweł Tomasz Pęczkowski

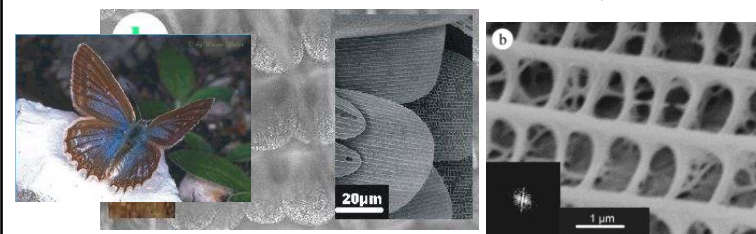
<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/electronmicroscopy/magnify1/index.html>



Biologiczne kryształy fotoniczne



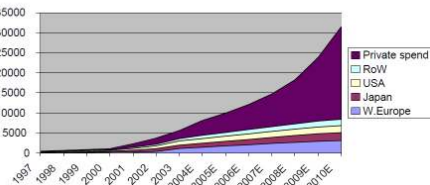
http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/online/2002_butterfly/



Nanotechnologie

Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl <http://www.fuw.edu.pl/~szczytko>

Total spend on nanotechnology



CENT

Centrum Nauki i Technologii UW
Centrum Naukowo Technologiczne UW

icm INTERDYSCYPLINARNE CENTRUM MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO I KOMPUTEROWEGO
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

Wydział Biologii
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Wydział Chemii

WYDZIAŁ FIZYKI
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
Faculty of Physics
Warsaw University

Podziękowania

Zakład Fizyki Ciała Stałego <http://www.fuw.edu.pl/~zfcfs/>



Nowe technologie

Jacek.Szczytko@fuw.edu.pl <http://www.fuw.edu.pl/~szczytko/NT>

1. Koniec technologii krzemowej? Prawo Moora i jego konsekwencje (czyli o postępie technologicznym)
2. Kwanty, stany, pasma (czyli mechanika kwantowa dla początkujących).
3. Miniaturyzujemy I (czyli nano jest trendy)
4. Miniaturyzujemy II (czyli studnie, druty, kropki).
5. Miniaturyzujemy III (o nanorurkach).
6. Miniaturyzujemy IV (o nanomaszynach).
7. Komputery kwantowe I (czyli o przyszłych informatykach)
8. Komputery kwantowe II (czyli o przyszłych komputerach)
9. Kwantowa kryptografia i teleportacja I (czyli o spleciani kwantowym)
10. Kwantowa kryptografia i teleportacja II (czyli o kodach i kluczach).
11. Optoelektronika (czyli o manipulowaniu światłem).
12. W smutnym kolorze blue (czyli o niebieskim laserze i białych diodach).
13. Spintronika stosowana. Dlaczego elektrony kręcą? (czyli o spinie)
14. Kolorowe obrazy (czyli o wyświetlaczach).
15. Czy komputer może myśleć?
16. Prezentacja prac studentów

Aula, WF Hoża 69
Środy 17:15-19:00
Popularnonaukowy!

Dialog z przyrodą musi być prowadzony w języku matematyki, w przeciwnym razie przyroda nie odpowiada na nasze pytania.

Michał Heiler