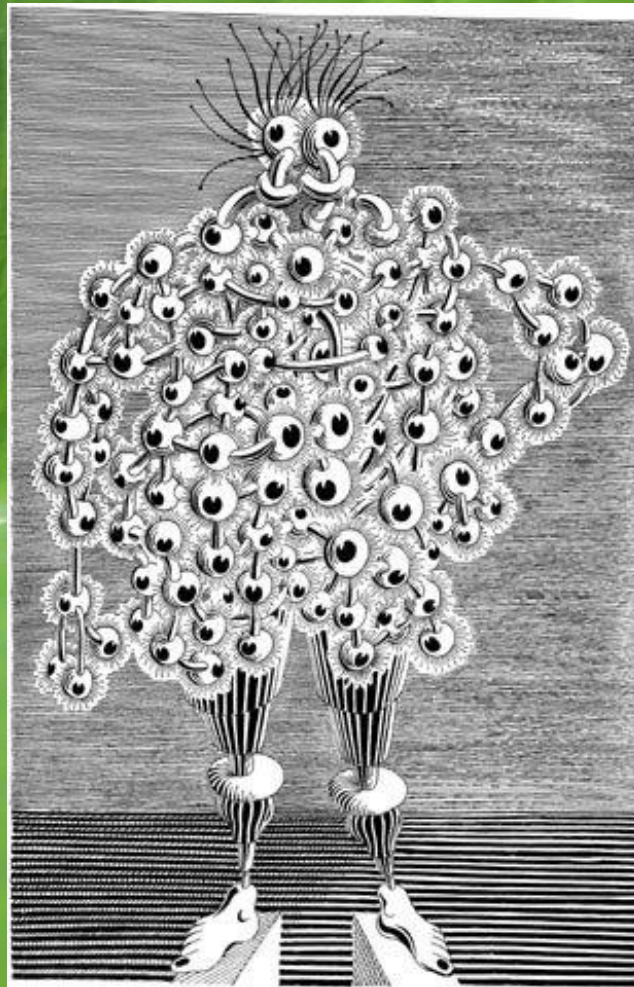


# Nanotechnologia



# Nanotechnologia

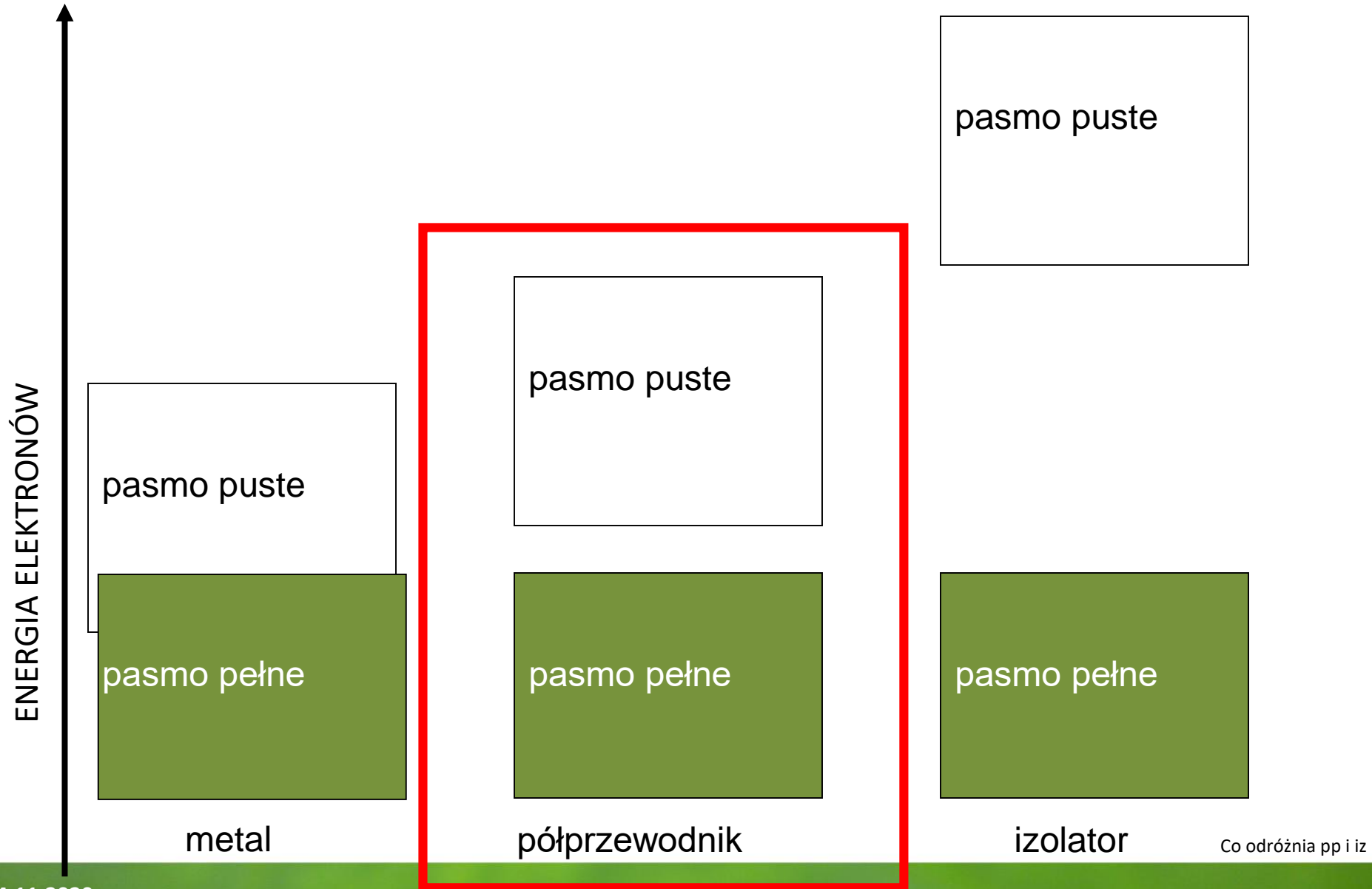
## CO?

- Studnie, druty, kropki

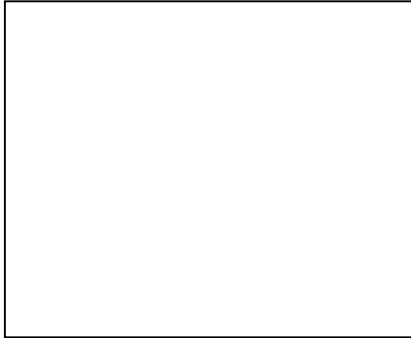
## JAK?

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

# Teoria pasmowa ciał stałych.



# Teoria pasmowa ciał stałych.



półprzewodnik typu p

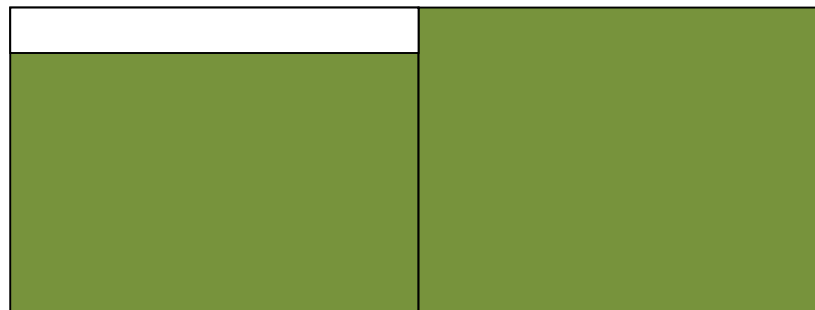
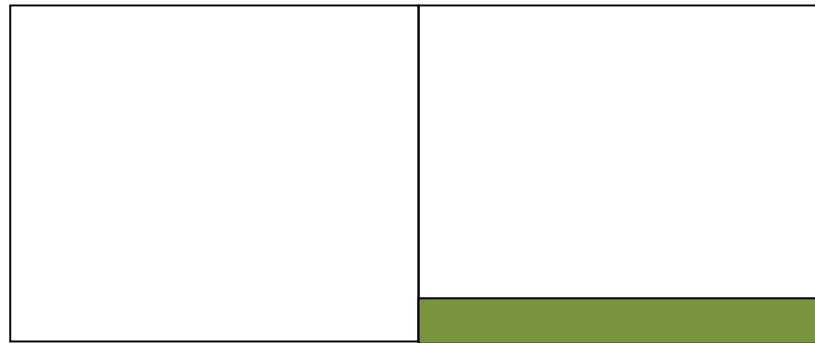


półprzewodnik typu n



# Teoria pasmowa ciał stałych.

Dioda – czyli złącze  $p$ - $n$



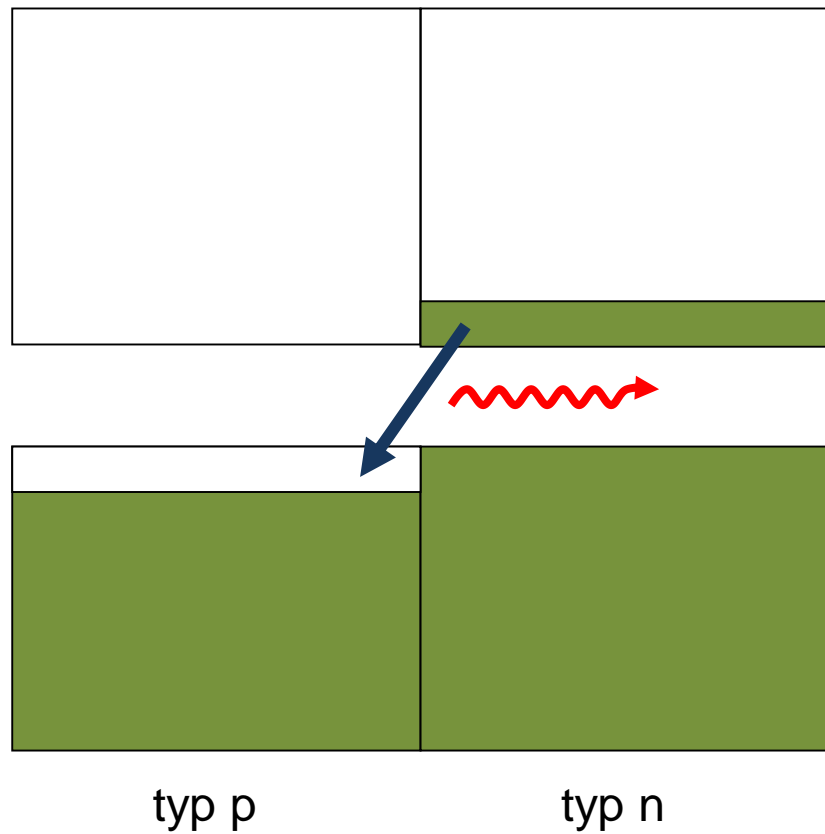
typ p

typ n

Flat band

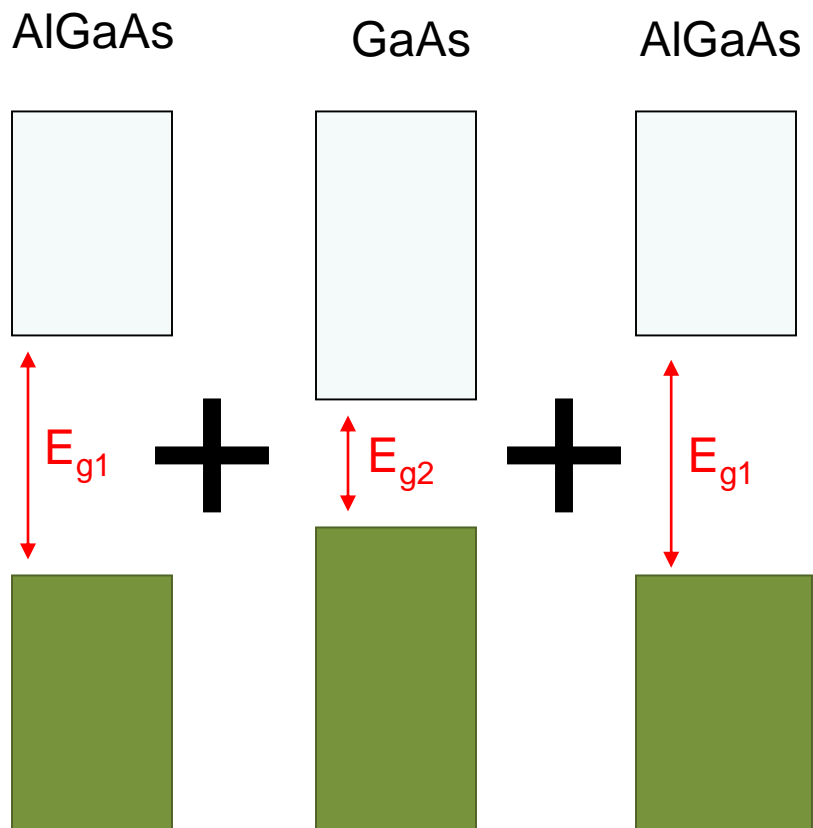
# Teoria pasmowa ciał stałych.

Dioda – czyli złącze  $p$ - $n$

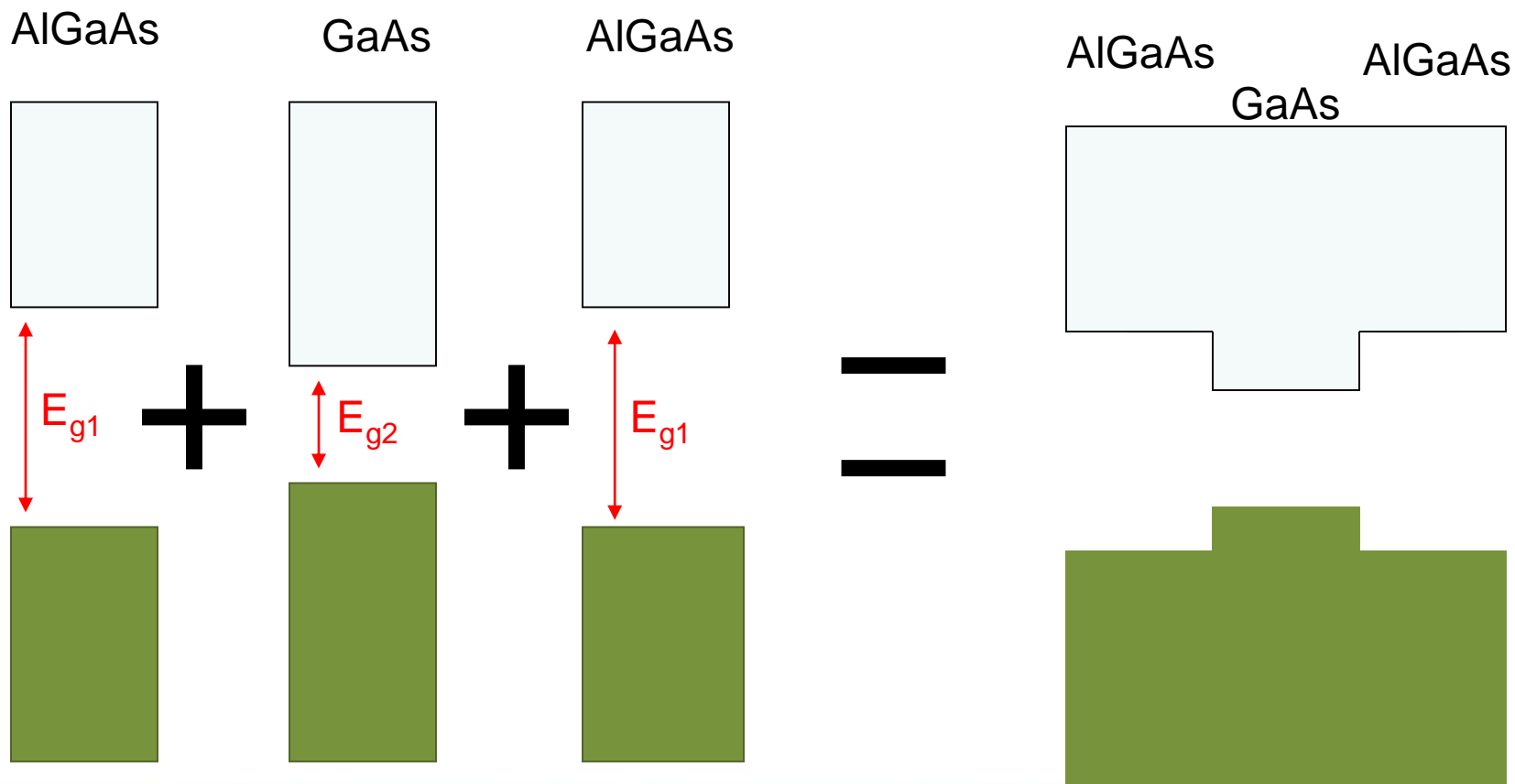


Flat band

# Studnia Kwantowa



# Studnia Kwantowa

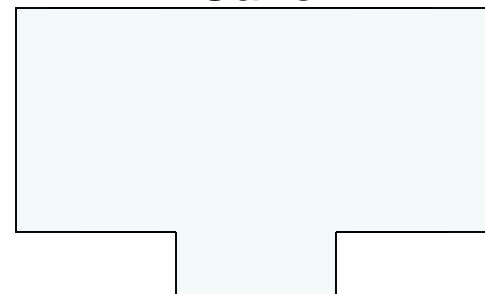




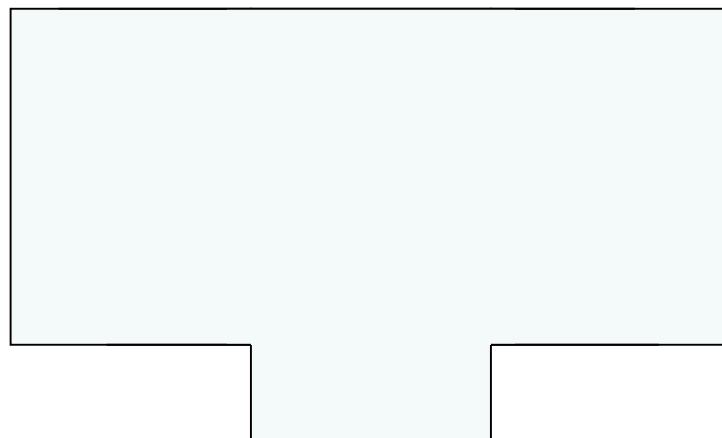
# Studnia Kwantowa



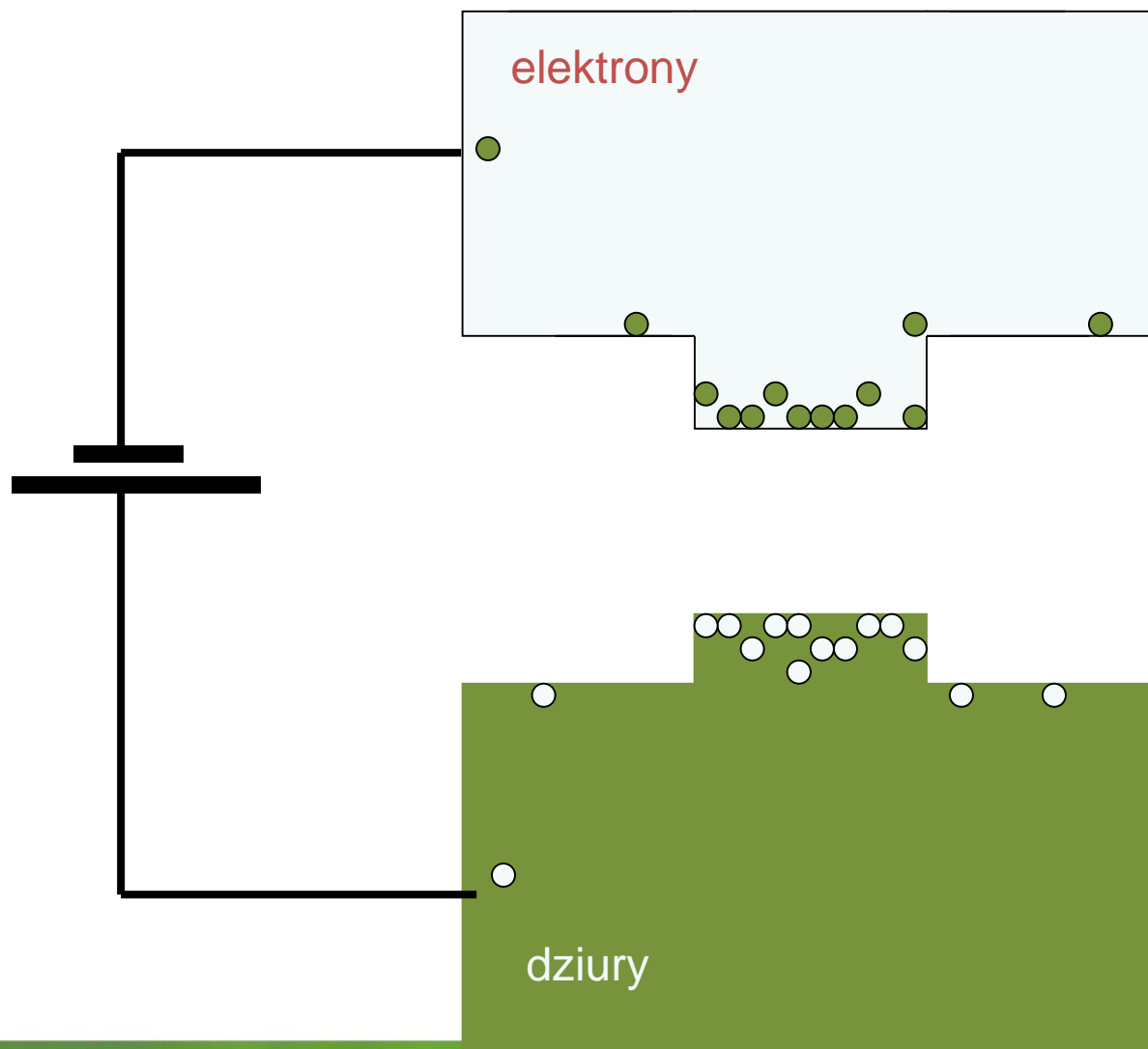
AlGaAs      GaAs      AlGaAs



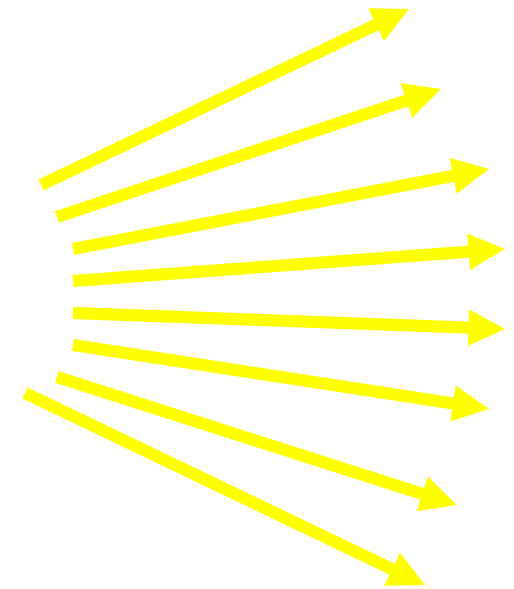
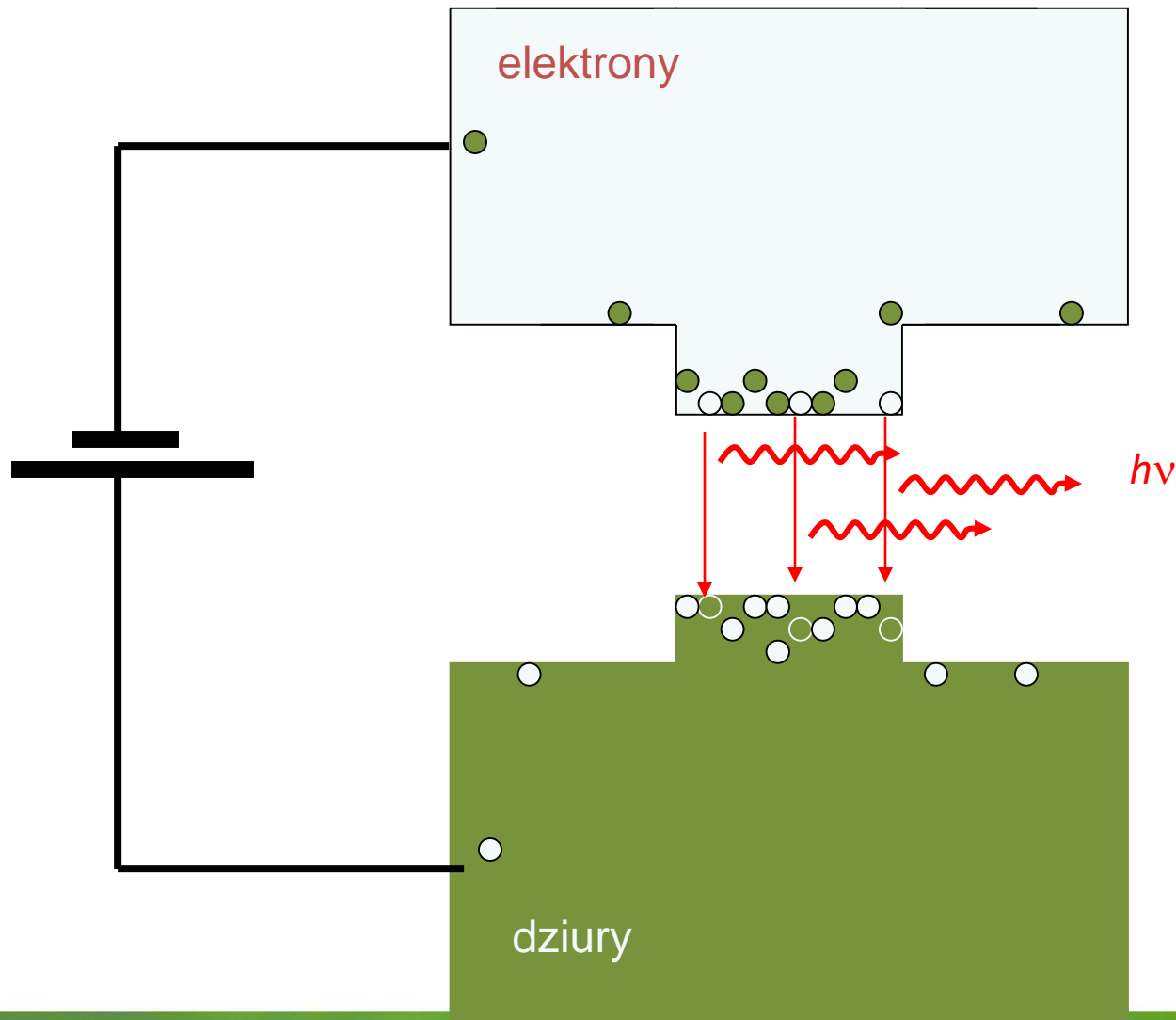
# Studnia Kwantowa



# Studnia Kwantowa



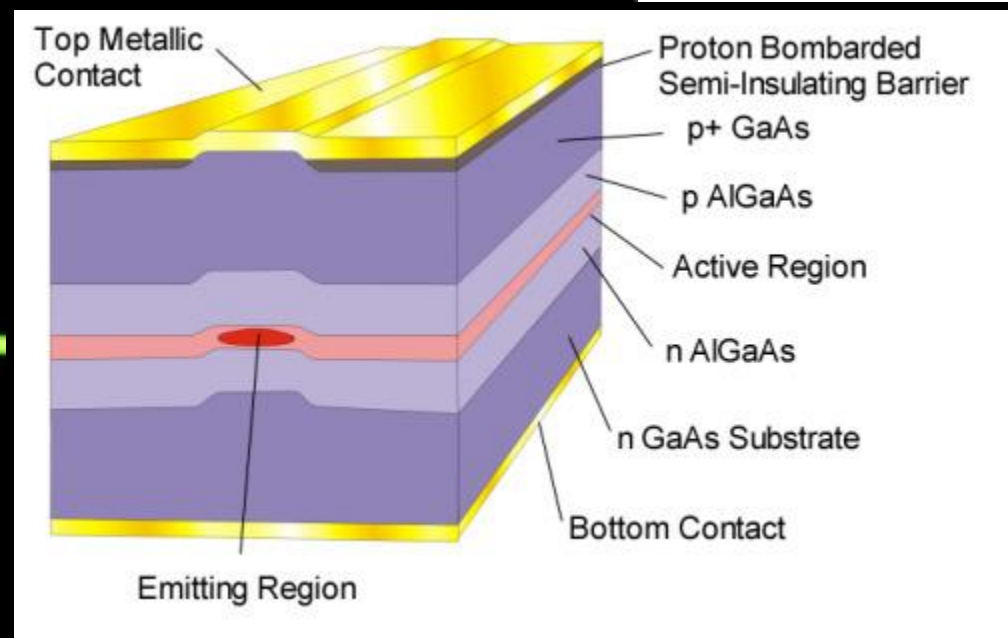
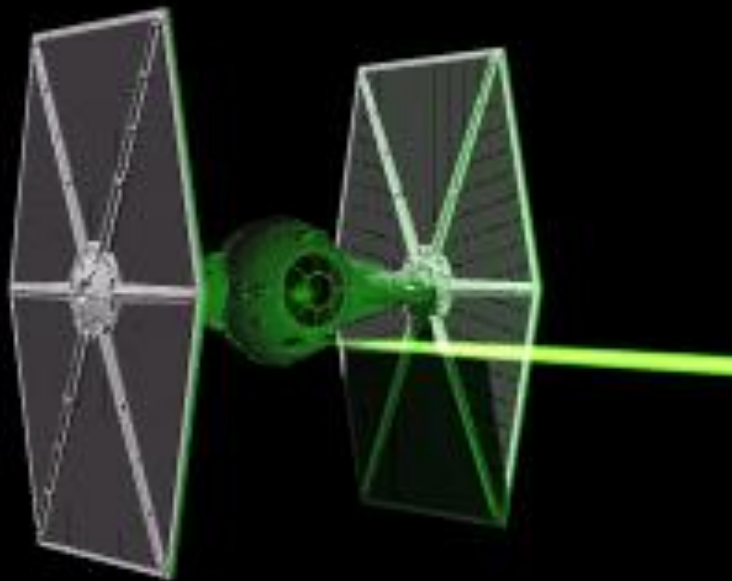
# Studnia Kwantowa





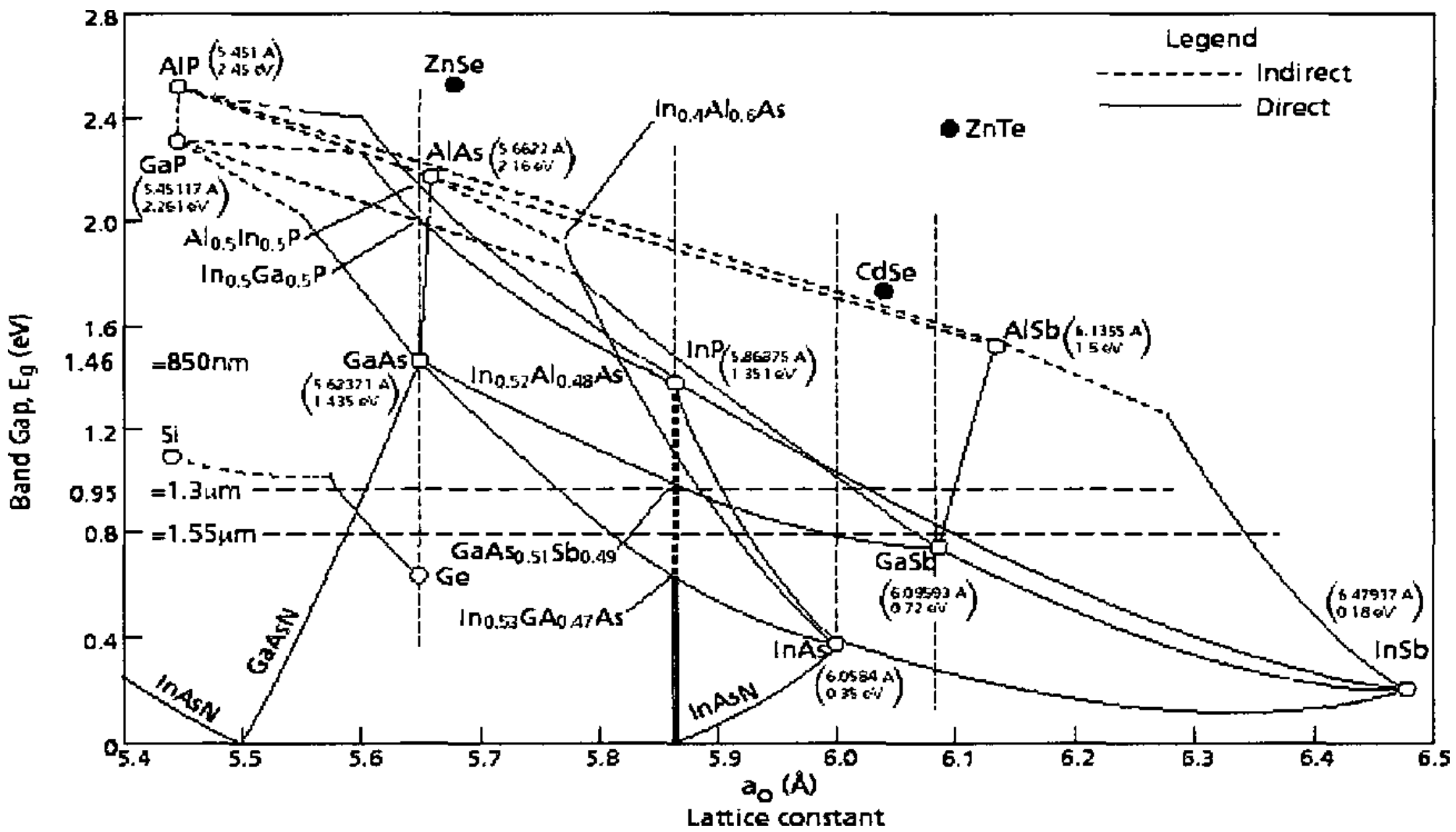
# Studnia Kwantowa

## Lasery półprzewodnikowe



Dioda laserowa zawiera ok. 400 różnych warstw

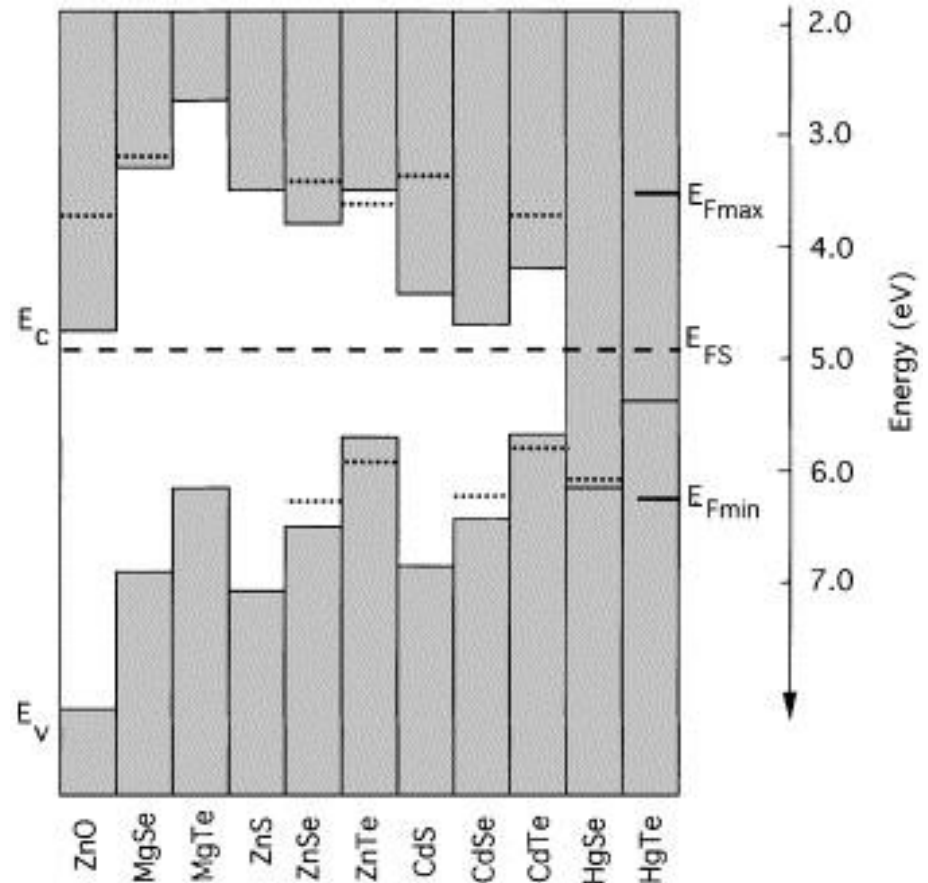
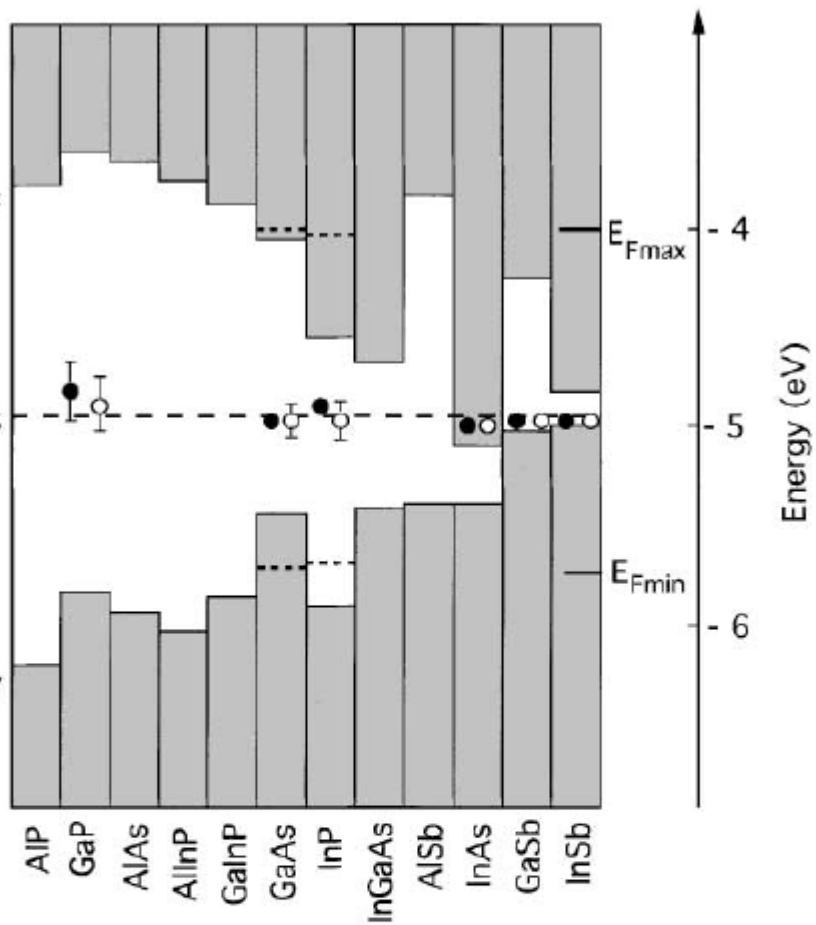
# Heterostruktuury półprzewodnikowe



Investigation of high antimony-content gallium arsenic nitride-gallium arsenic antimonide heterostructures for long wavelength application

# Bandgap engineering

Valence band offset

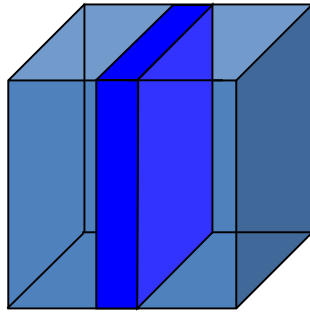


Band offsets and the Fermi level stabilization energy in III-V compounds. The energy is measured relative to vacuum level. The filled circles represent stabilized Fermi levels in heavily damaged materials, exposed to high energy

# Struktury niskowymiarowe

## Low-dimensional Semiconductor Systems

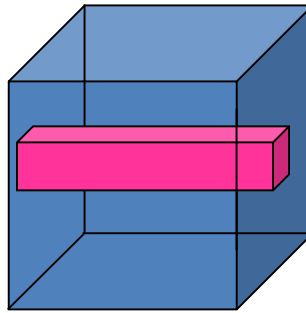
Studnie  
kwantowe



$t$

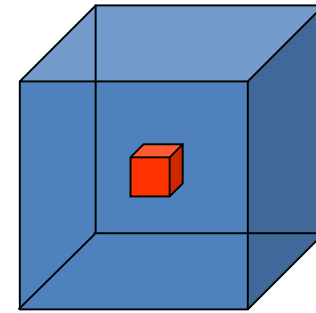
2D

Druty  
kwantowe



1D

Kropki  
kwantowe



“0D”

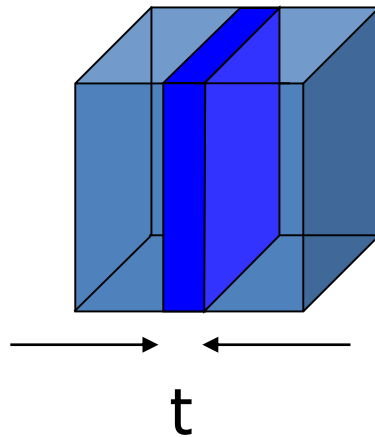
Dyskretna struktura elektronowa



# Struktury niskowymiarowe

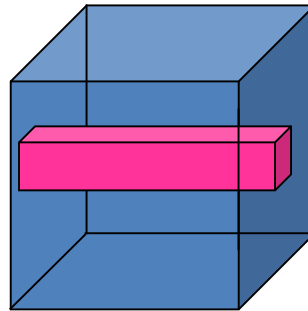
## Low-dimensional Semiconductor Systems

Studnie  
kwantowe



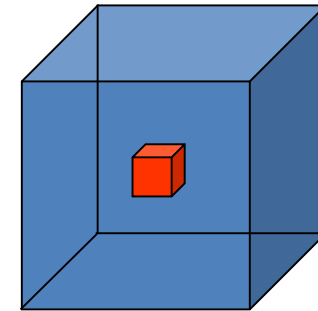
2D

Druty  
kwantowe



1D

Kropki  
kwantowe

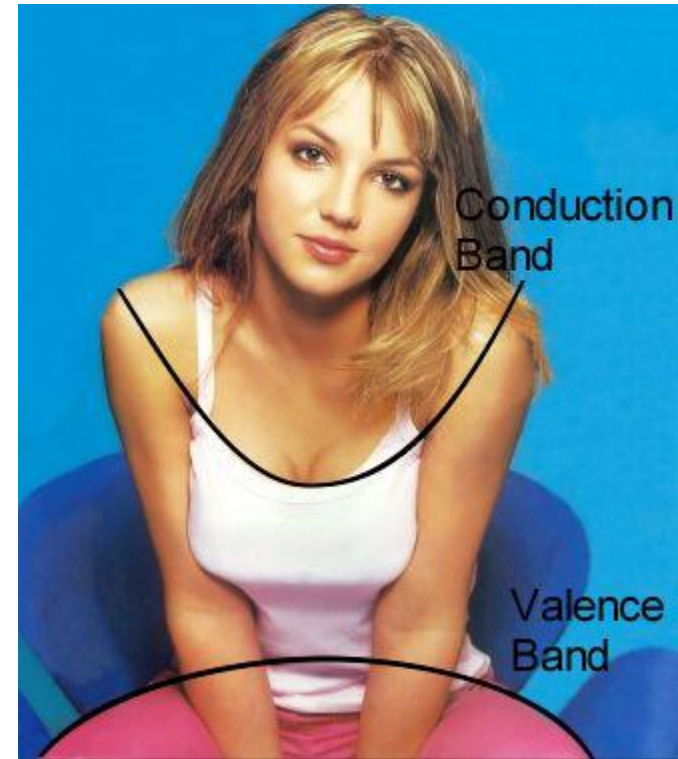
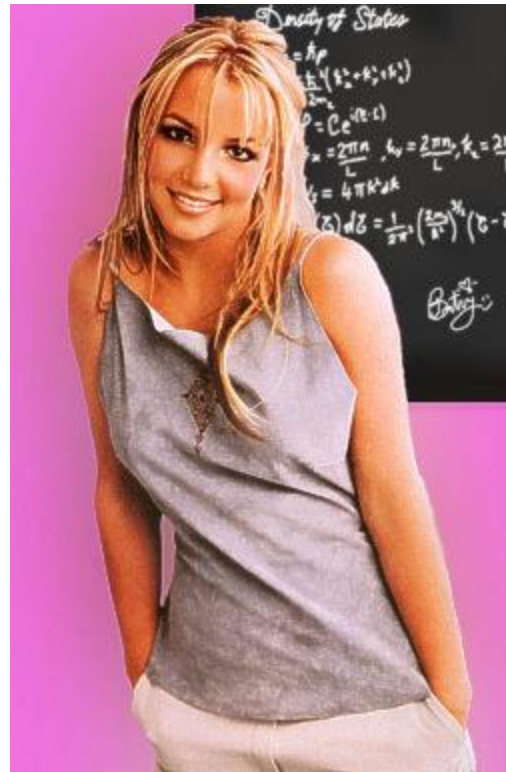
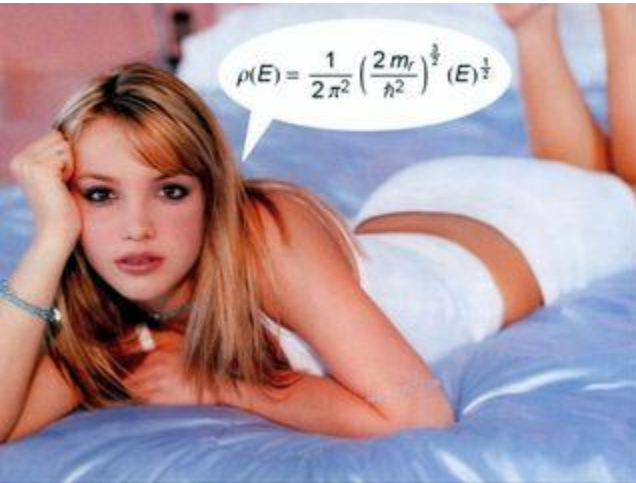


“0D”

Dyskretna struktura elektronowa

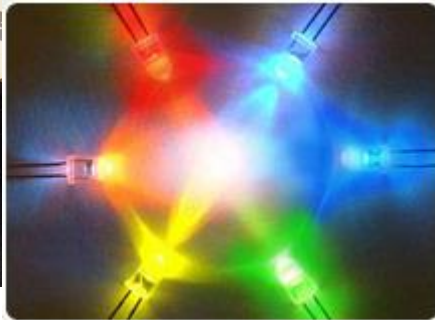
# Studnia kwantowa

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



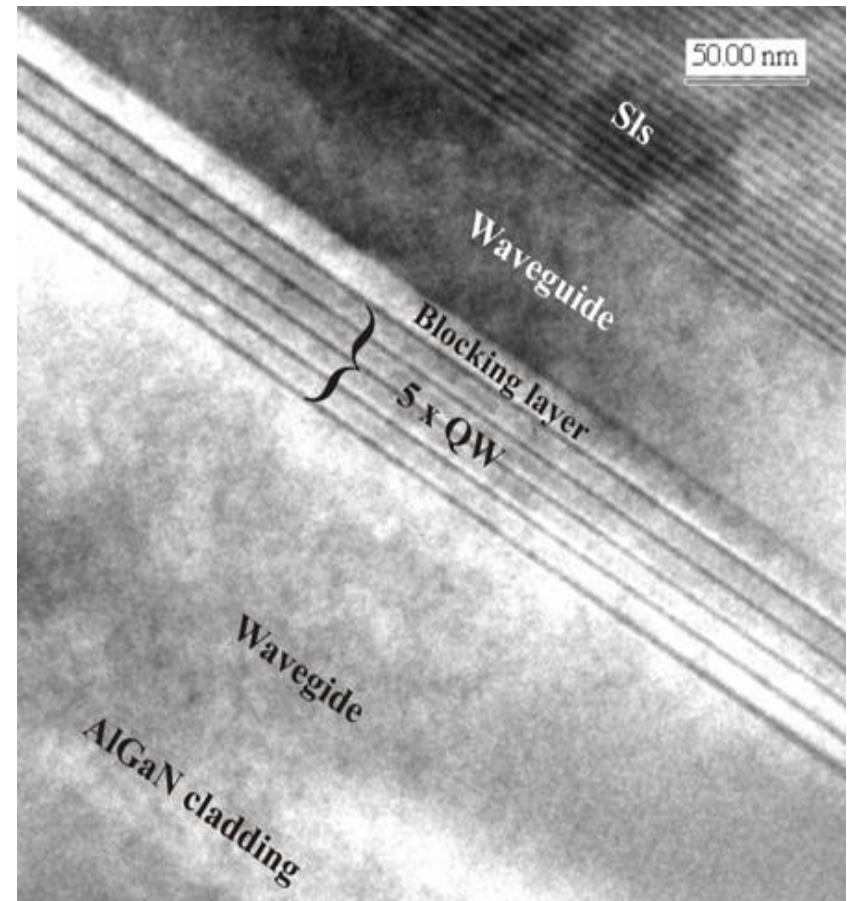
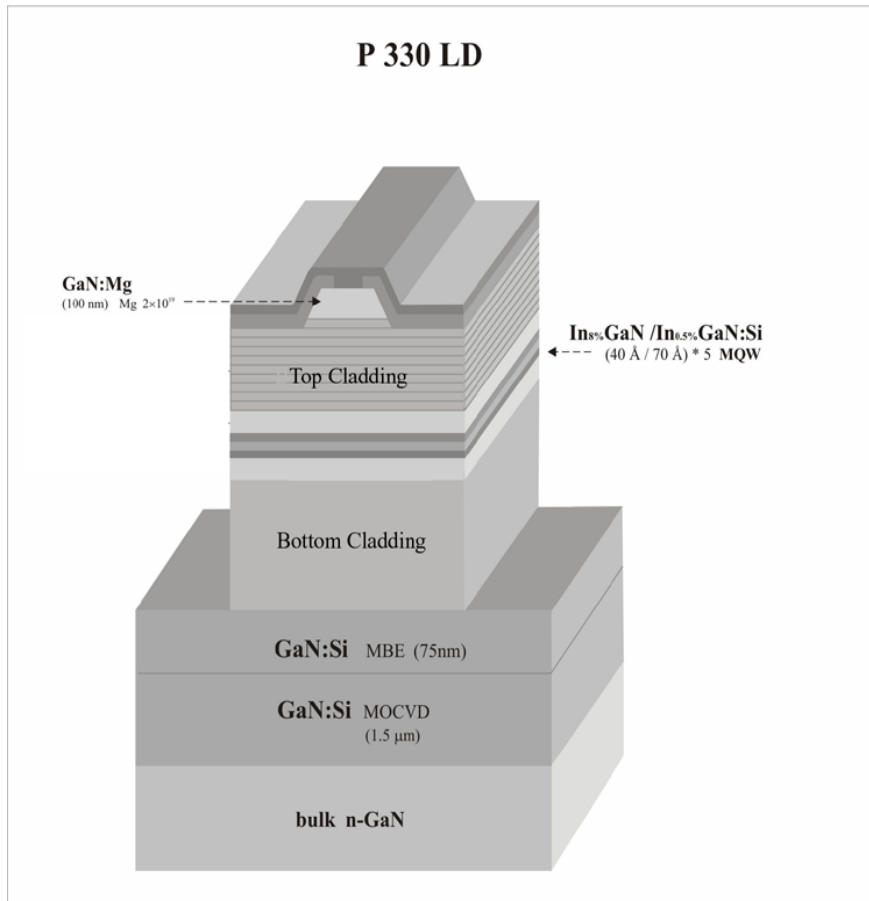
S

va



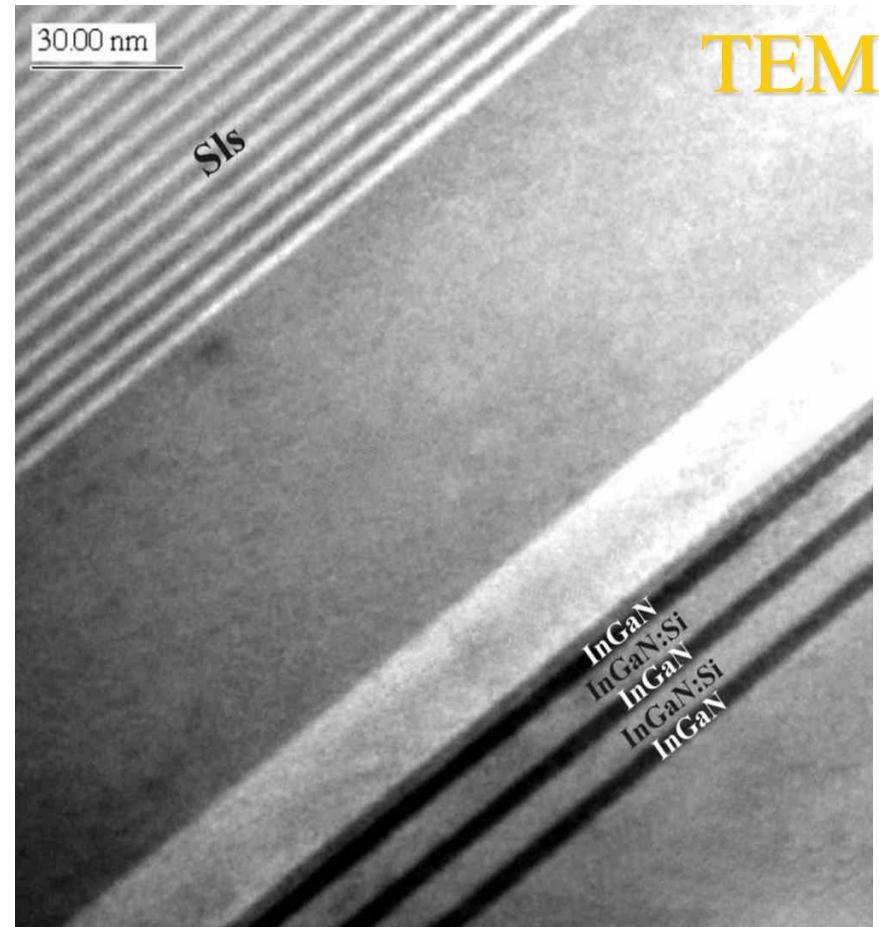
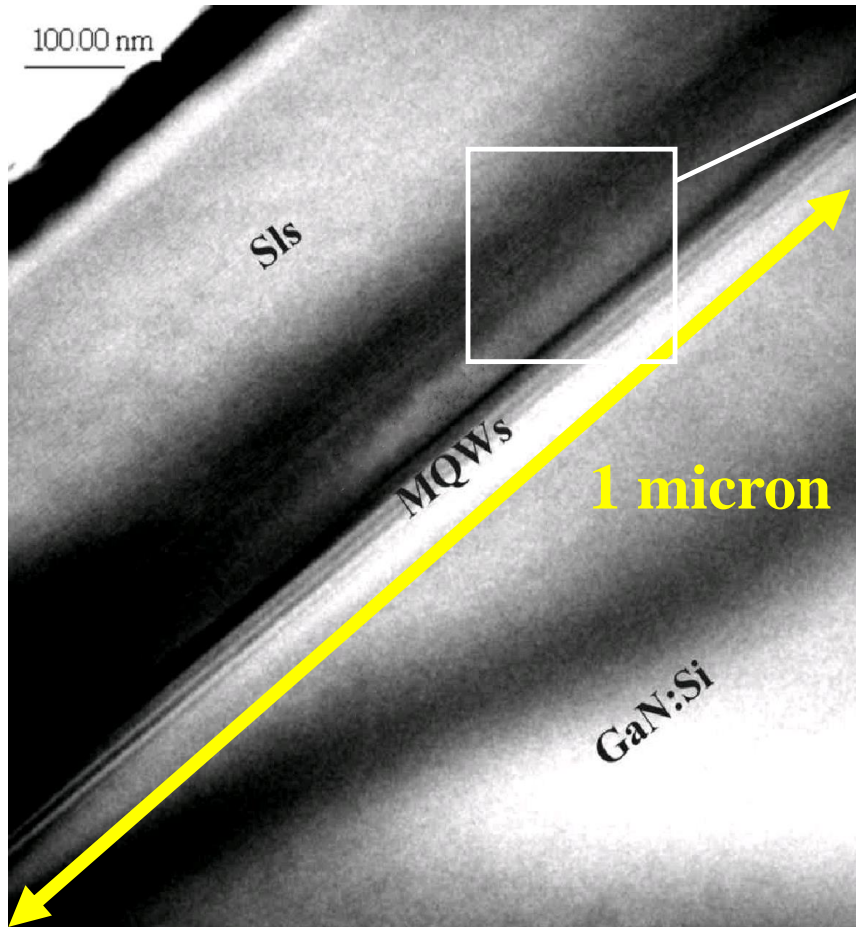


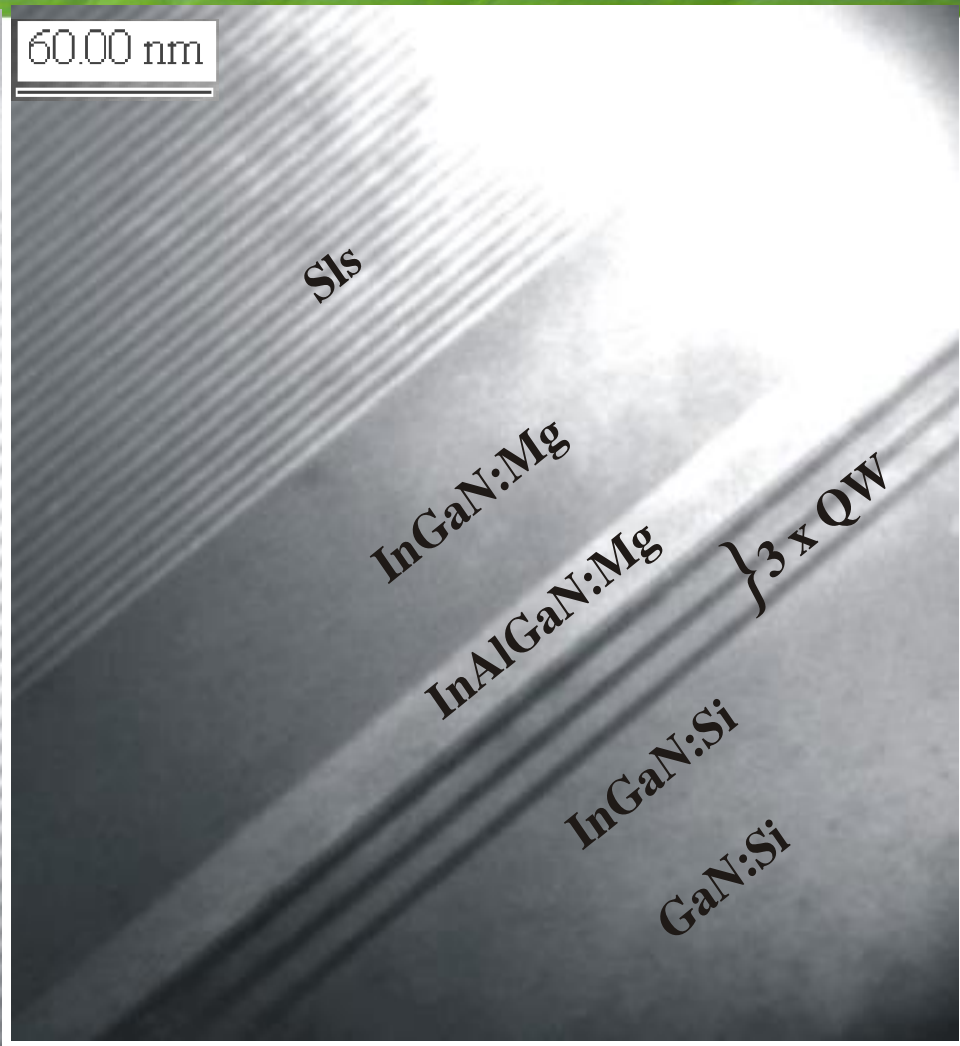
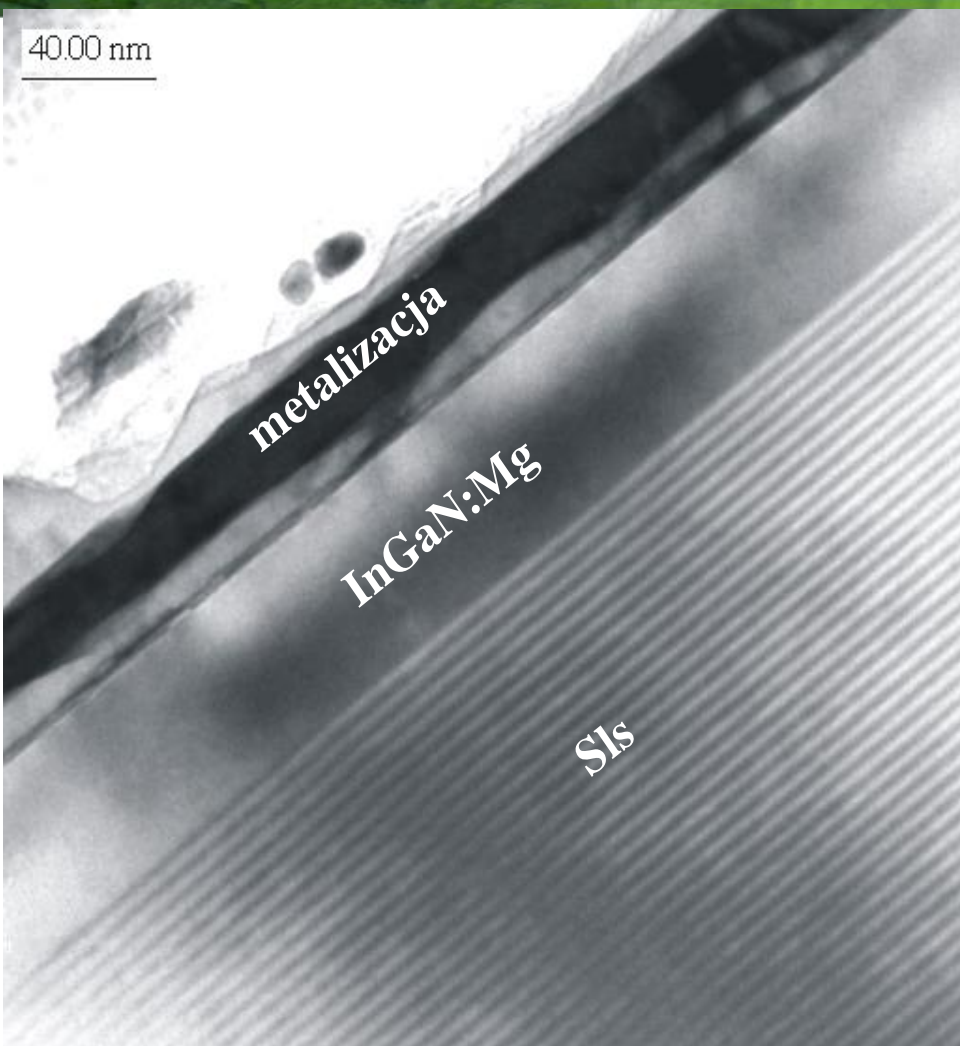
# Dioda laserowa wykonana metodą MBE



TEM

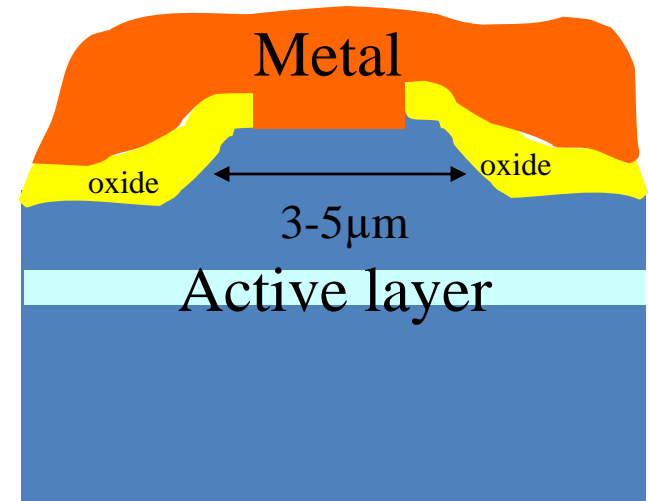
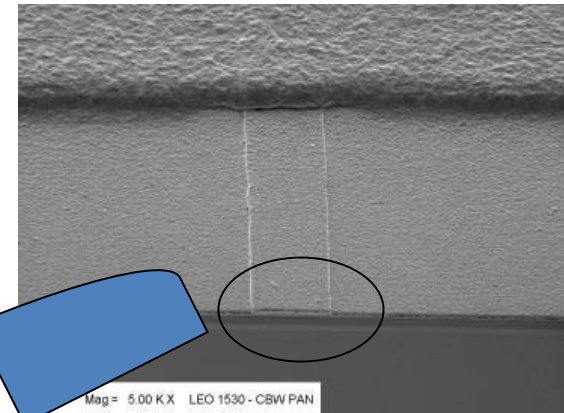
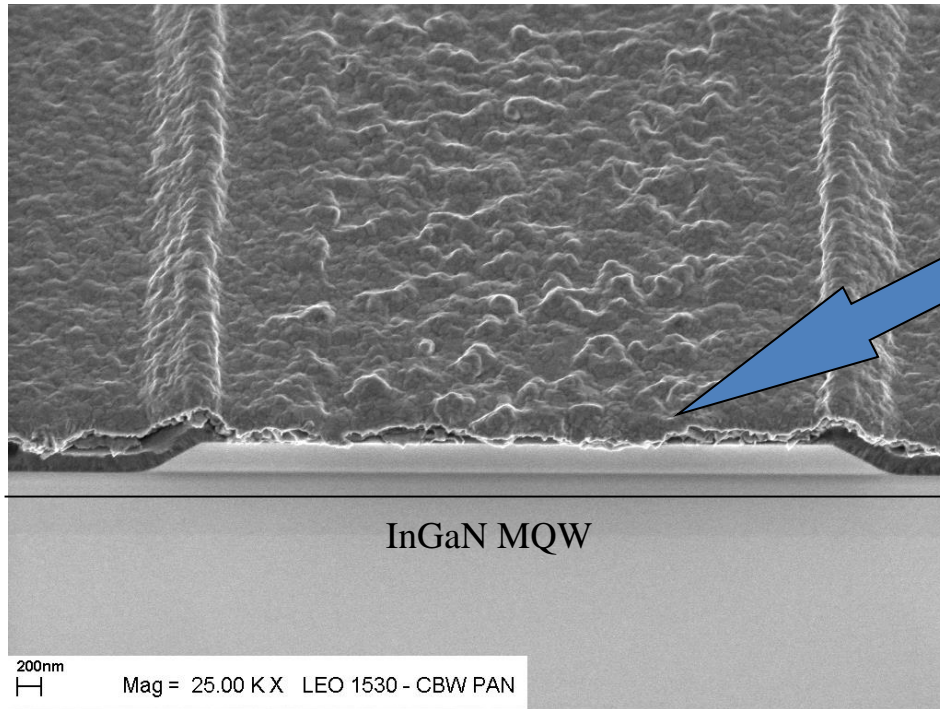




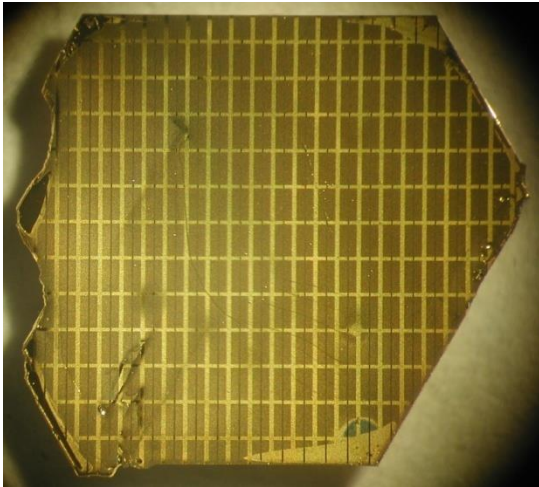




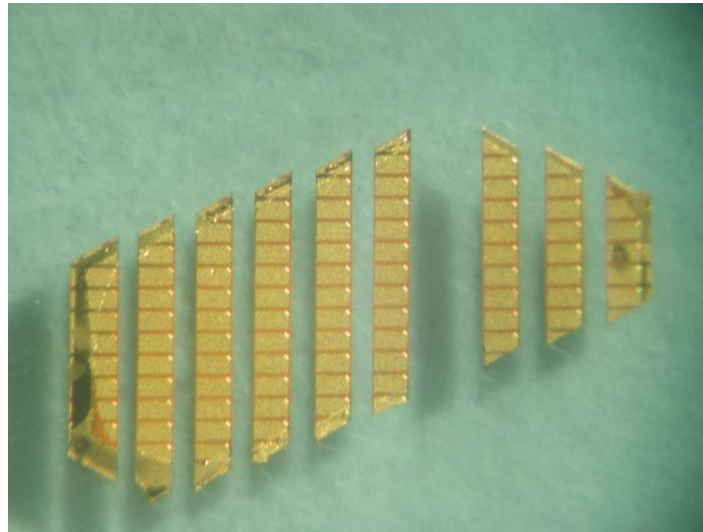
# Processing laserów na azotku galu



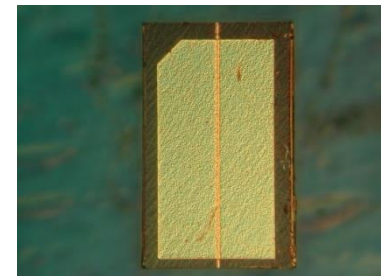
## Struktura laserowa po processingu



## Łupanie na linijki laserowe

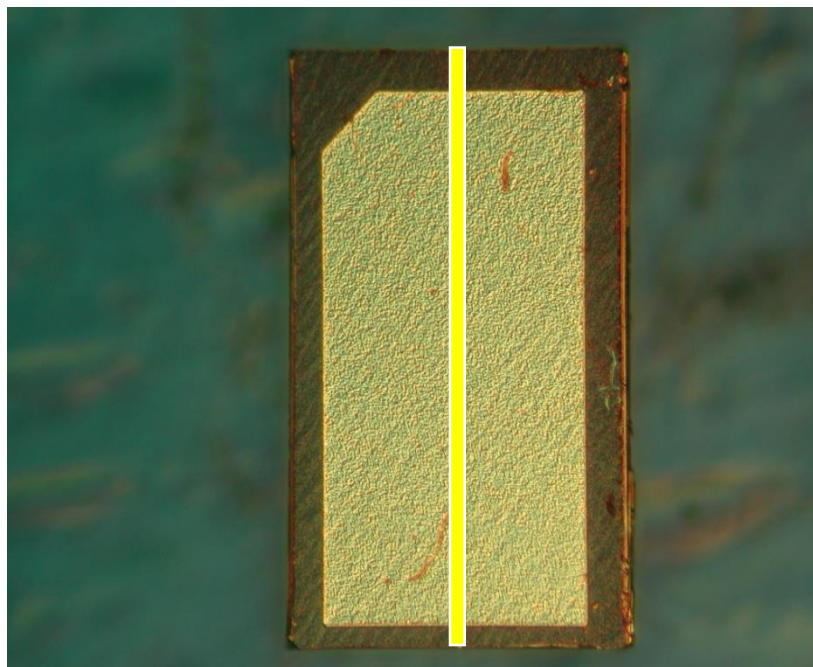
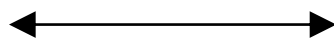


## Pojedynczy przyrząd



# Lasery półprzewodnikowe są bardzo małe

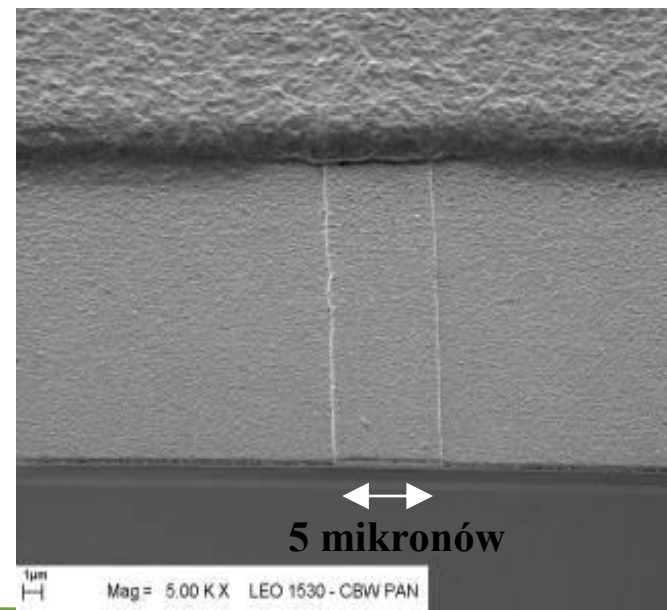
Szerokość kostki = 0.3 mm



Długość lasera = 0.5 - 1 mm

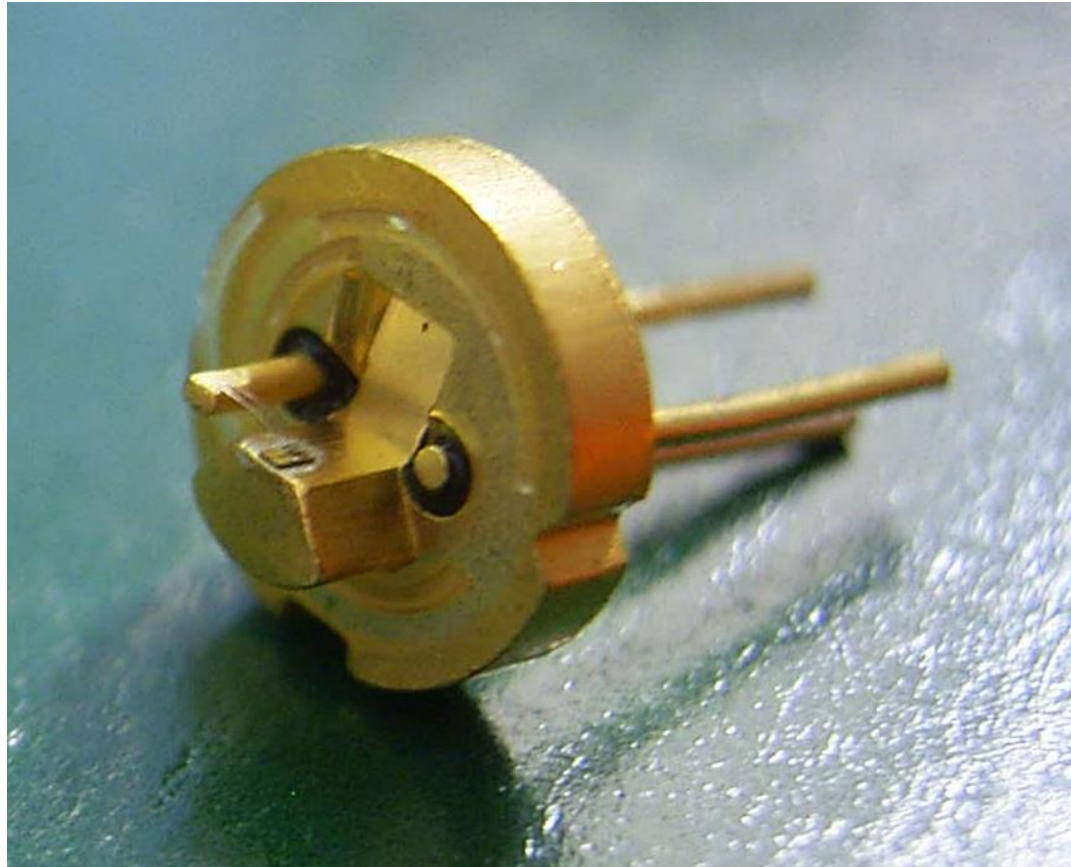


Szerokość lasera = 0.001 – 0.02 mm !! (1  $\mu\text{m}$  - 20 $\mu\text{m}$ )





# Montaż laserów – wersja impulsowa





# Jak się robi heterostruktury?

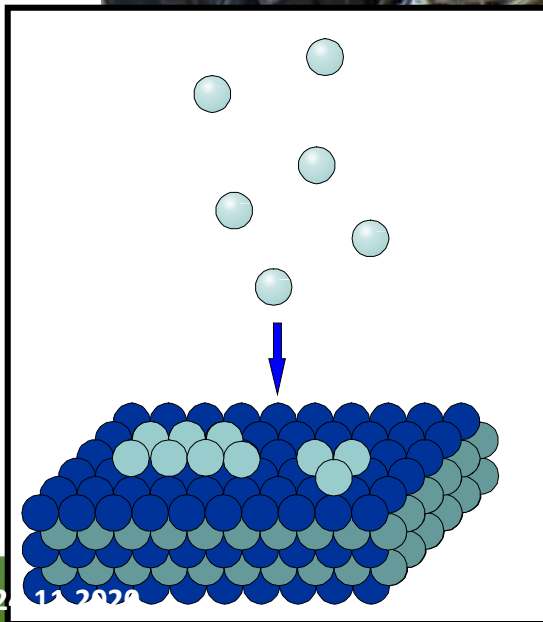
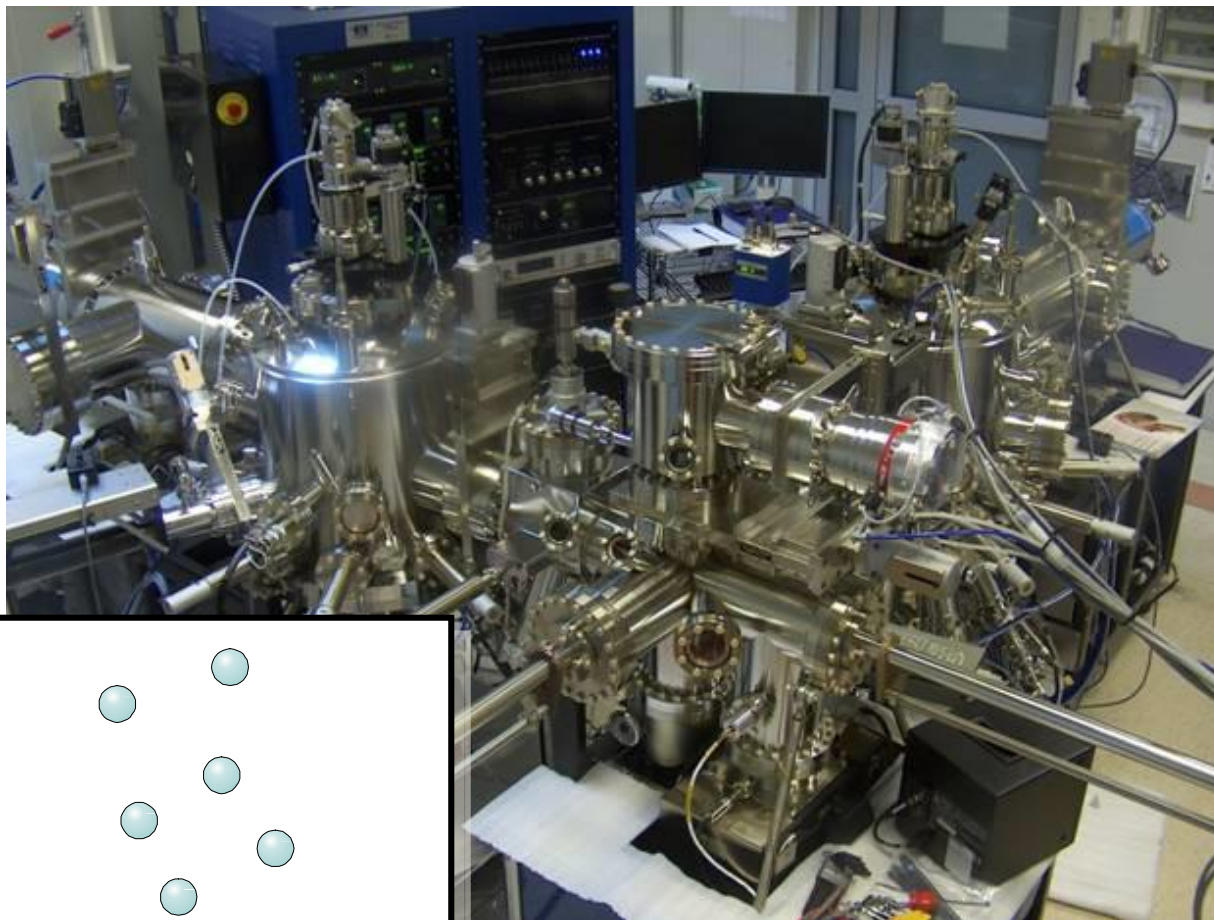
Reaktor Metal-Organic Chemical Vapour Epitaxy (MOCVD) w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego



Aixtron CCS 3x2

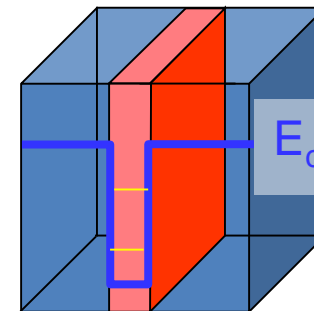
Heterostruktury GaInSb, AlGaInAs and AlGaIn.

# Jak się robi heterostruktury?

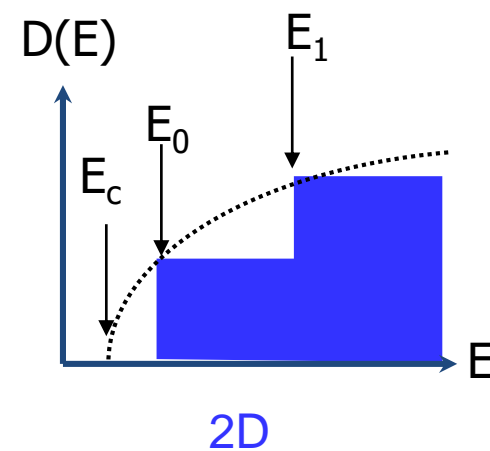


MBE → Osadzanie z atomową precyzją warstw o różnym składzie lub domieszkowaniu

## Quantum Well



← t →



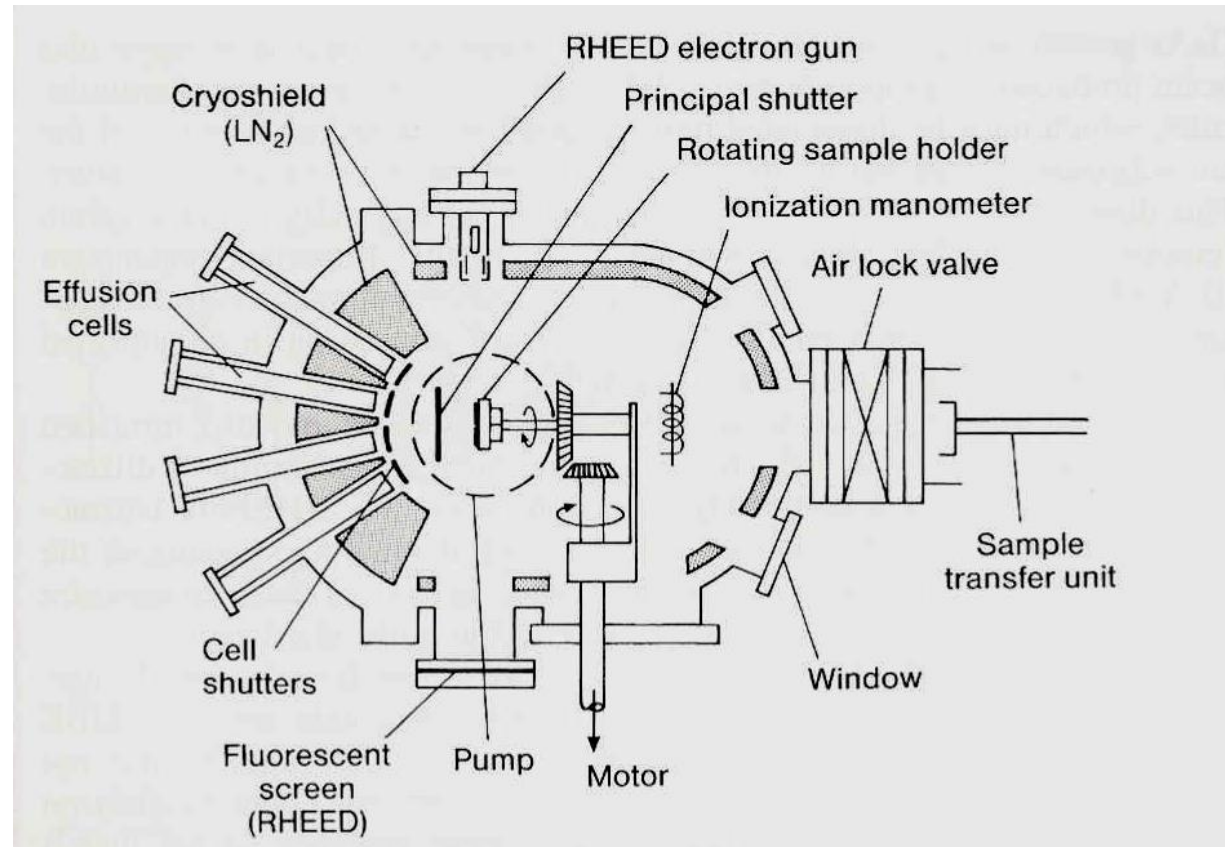
Hubert J. Krenner



# Jak się robi heterostruktury?

Wzrost warstw **MBE** jest monitorowany przez Reflection High Energy Electron Diffraction (REED). Komputer steruje przesłonami (shutterami) na froncie podgrzewanych komórek efuzyjnych, co pozwala na precyzyjną kontrolę wzrostu do poziomu pojedynczej warstwy atomowej.

Wzrost warstw z jamami kwantowymi (quantum wells), kropek kwantowych (quantum dots) – struktury LD, LED.



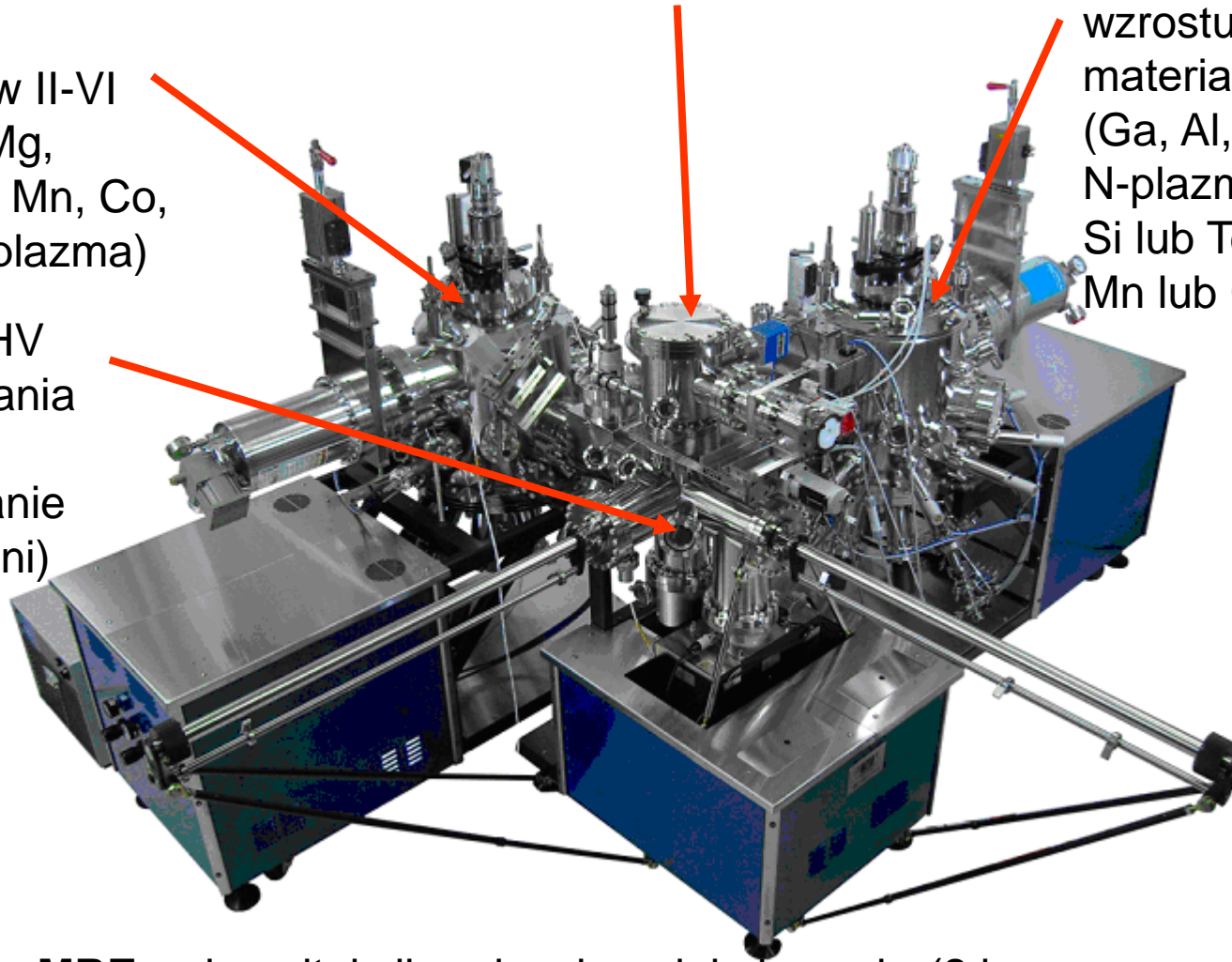
# Jak się robi heterostruktury?

komora UHV  
wzrostu  
materiałów II-VI  
(Zn, Cd, Mg,  
S, Se, Te, Mn, Co,  
ZnCl<sub>2</sub>, N-plazma)

komora UHV  
przygotowania  
podłoży  
(odgazowanie  
powierzchni)

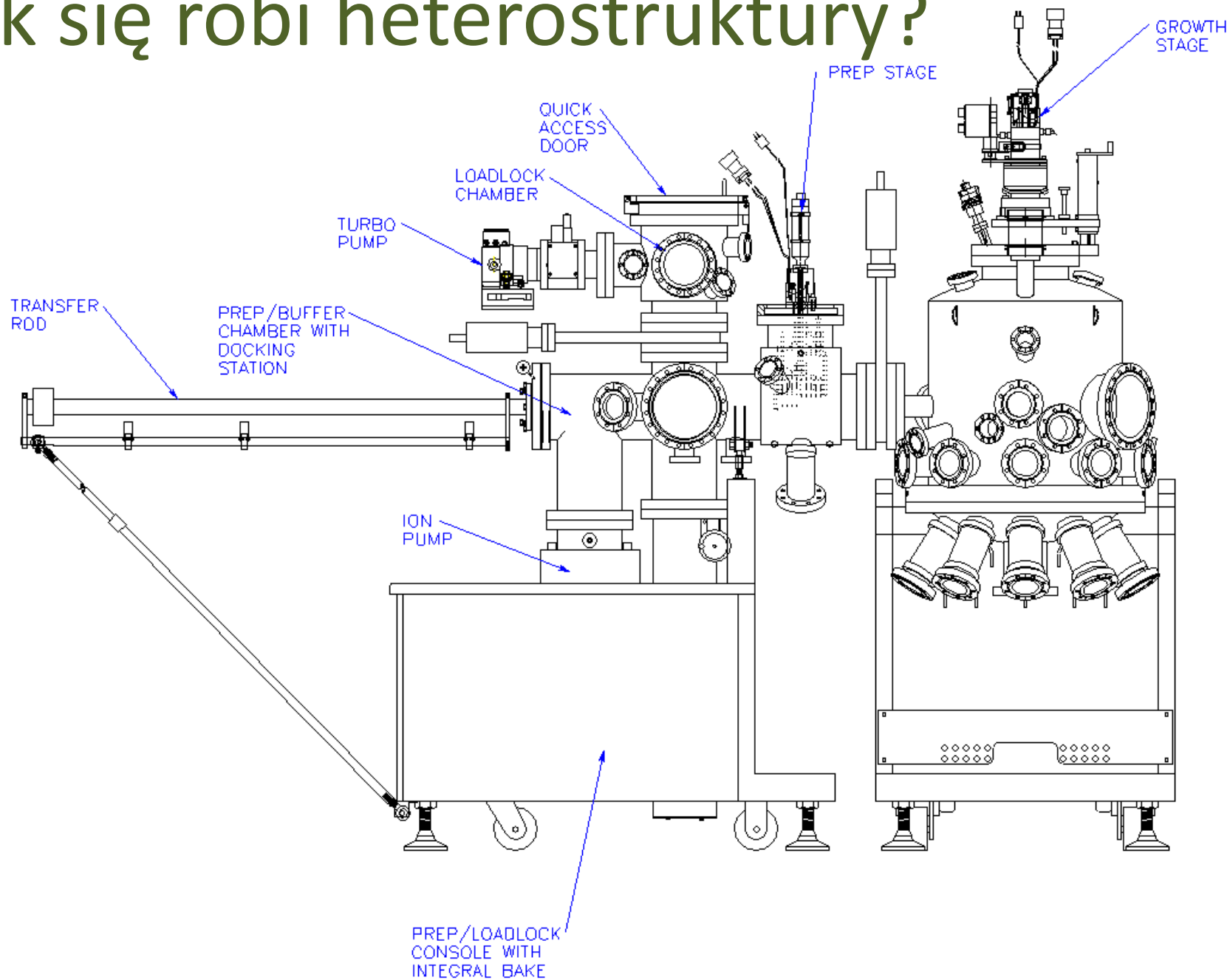
komora załadunkowa

komora UHV  
wzrostu  
materiałów III-V  
(Ga, Al, In, As, Sb,  
N-plazma,  
Si lub Te, Be lub Zn,  
Mn lub Cr lub Co)



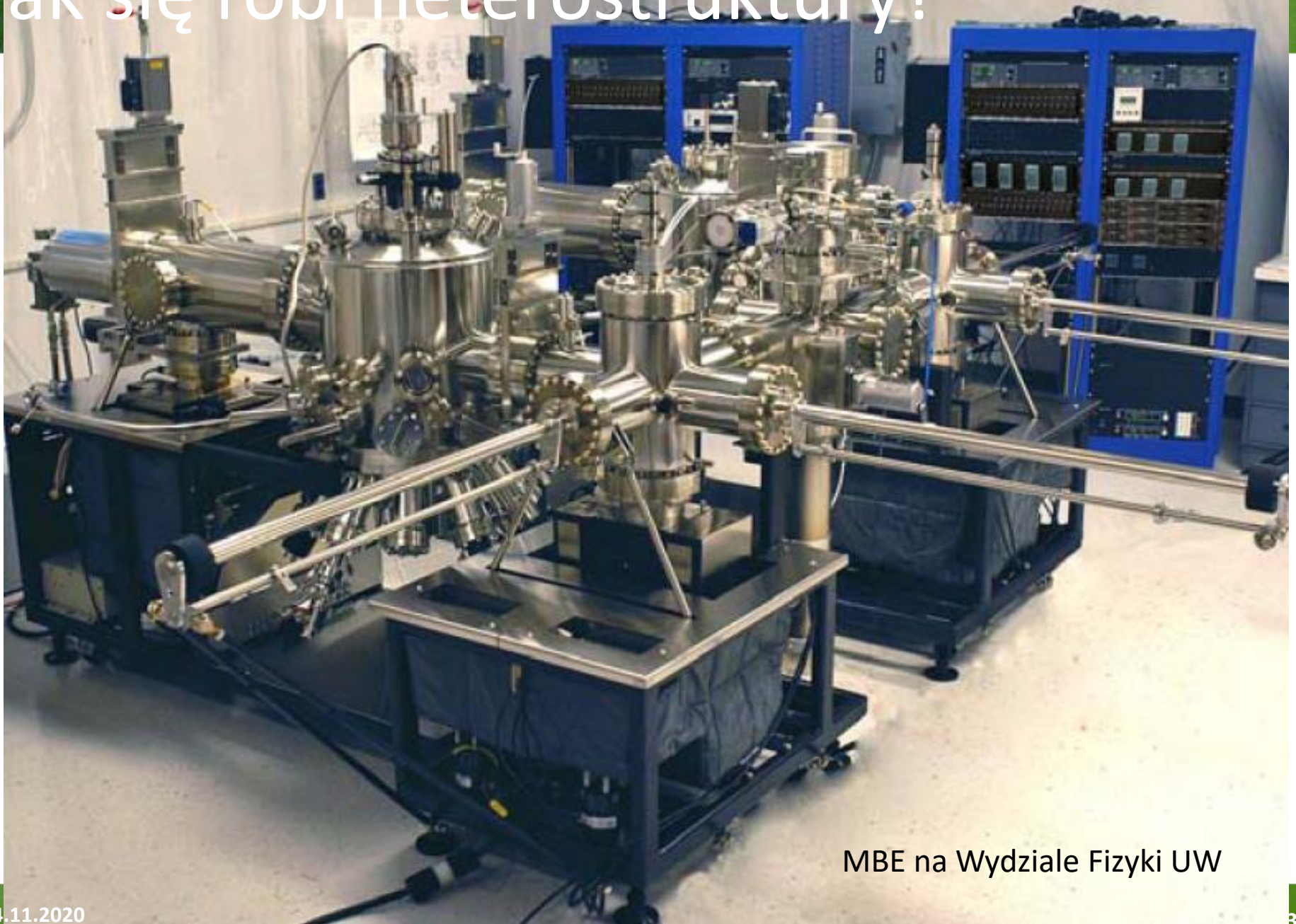
**Urządzenie MBE** - do epitaksji z wiązek molekularnych (2 komory wzrostu)  
producent SVTA (USA). Zakup przez Wydział Fizyki w r. 2010, program CePT

# Jak się robi heterostruktury?





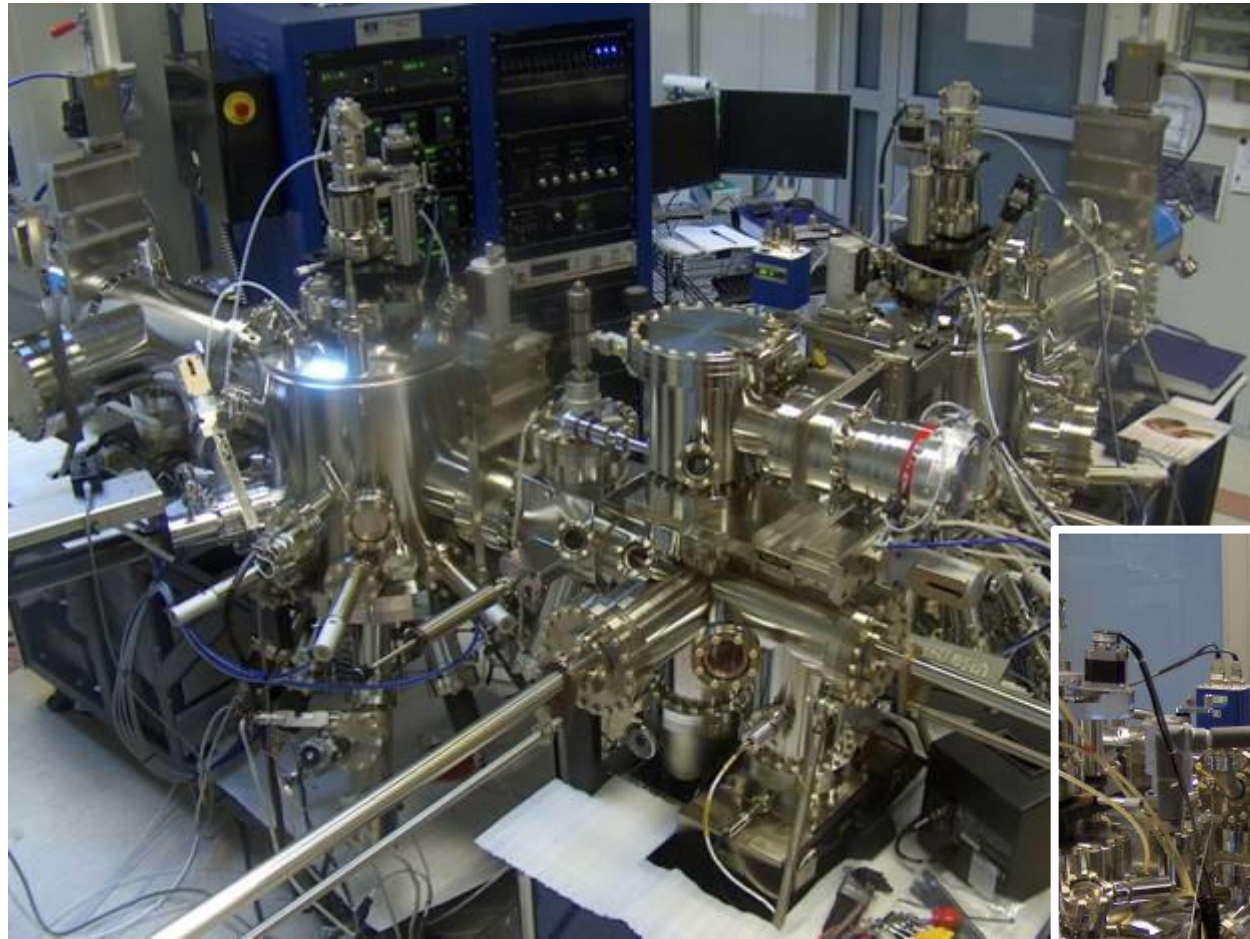
# Jak się robi heterostruktury?



MBE na Wydziale Fizyki UW



# Jak się robi heterostruktury?

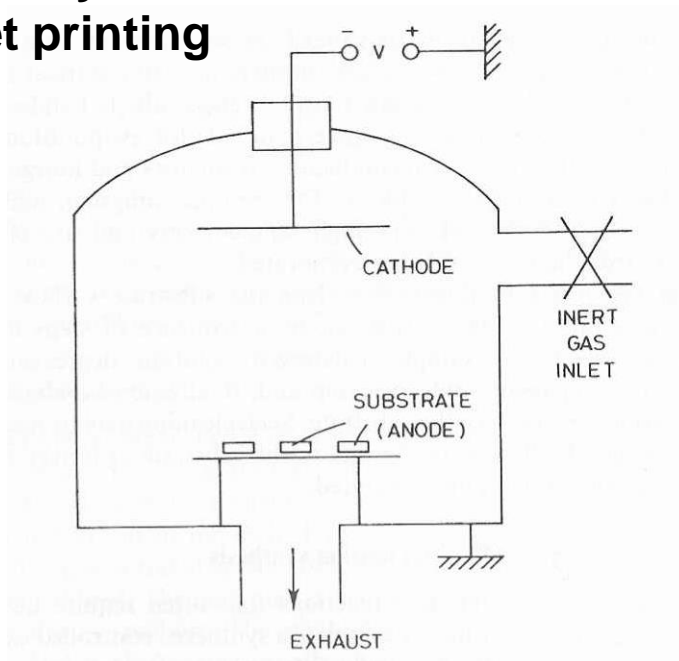


MBE na Wydziale Fizyki UW

# Jak się robi heterostrukture?

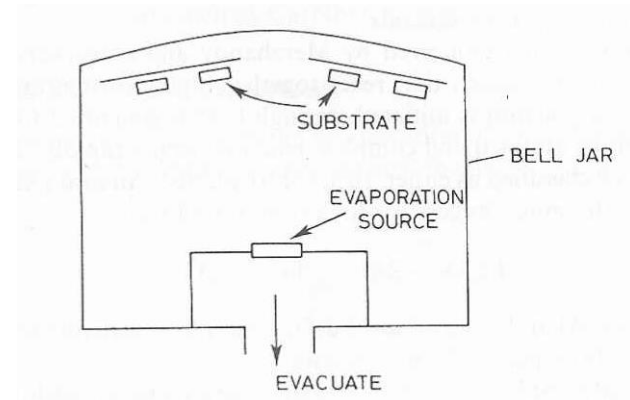
W dzisiejszych dla otrzymywania cienkich warstw czasach często stosuje się również tanie technologie:

- elektrochemiczne (elektrolityczne nakładanie metali, elektrolityczne utlenianie),
- sputteringowe
- naparowywania warstw.
- ink-jet printing



## Sputtering katodowy

obniżone ciśnienie  $10^{-1}$ - $10^{-2}$  Torr gazu obojętnego przy napięciu kilkunastu kV jony dodatnie wybijają materiał katody i osadzają go na m.in. materiale podłożowym



## Naparowywanie warstw

w próżni  $<10^{-6}$  Torr materiał źródłowy jest zamieniany w fazę gazową przez podgrzanie lub bombardowanie i deponuje się na m.in. materiale podłożowym



# Jak się robi heterostrukture?

W dzisiejszych dla otrzymywania cienkich warstw czasach często stosuje się również tanie technologie:

- elektrochemiczne (elektrolityczne nakładanie metali, elektrolityczne utlenianie),
- sputteringowe
- naparowywania warstw.
- ink-jet printing

Materials  
Views

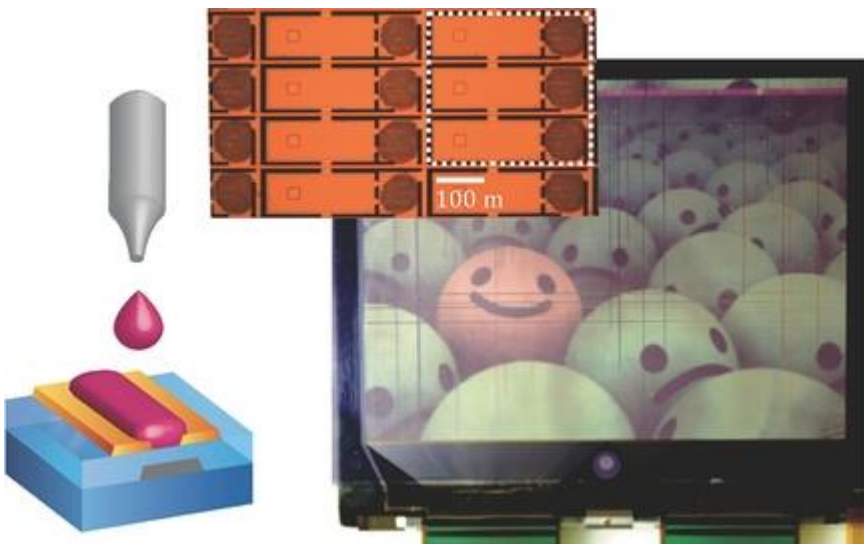
[www.MaterialsViews.com](http://www.MaterialsViews.com)

ADVANCED  
MATERIALS

[www.advmat.de](http://www.advmat.de)

Reliable and Uniform Thin-Film Transistor Arrays Based on Inkjet-Printed Polymer Semiconductors for Full Color Reflective Displays

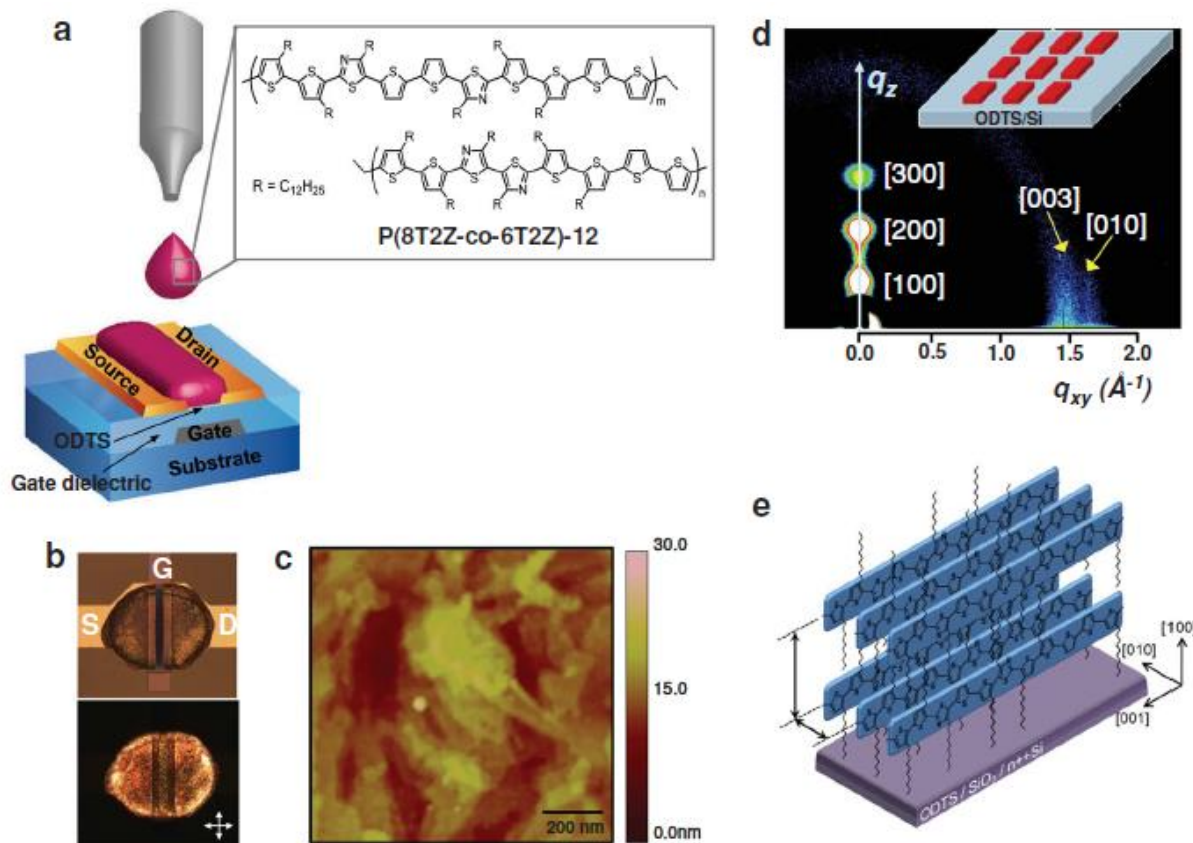
*Jiyoul Lee, Do Hwan Kim, Joo-Young Kim, Byungwook Yoo, Jong Won Chung, Jeong-Il Park, Bang-Lin Lee,\* Ji Young Jung, Joon Seok Park, Bonwon Koo, Seongil Im,\* Jung Woo Kim, Byungkwon Song, Myung-Hoon Jung, Jae Eun Jang, Yong Wan Jin, and Sang-Yoon Lee*



polymer light-emitting-diode (PLED)

# Jak się robi heterostrukturę?

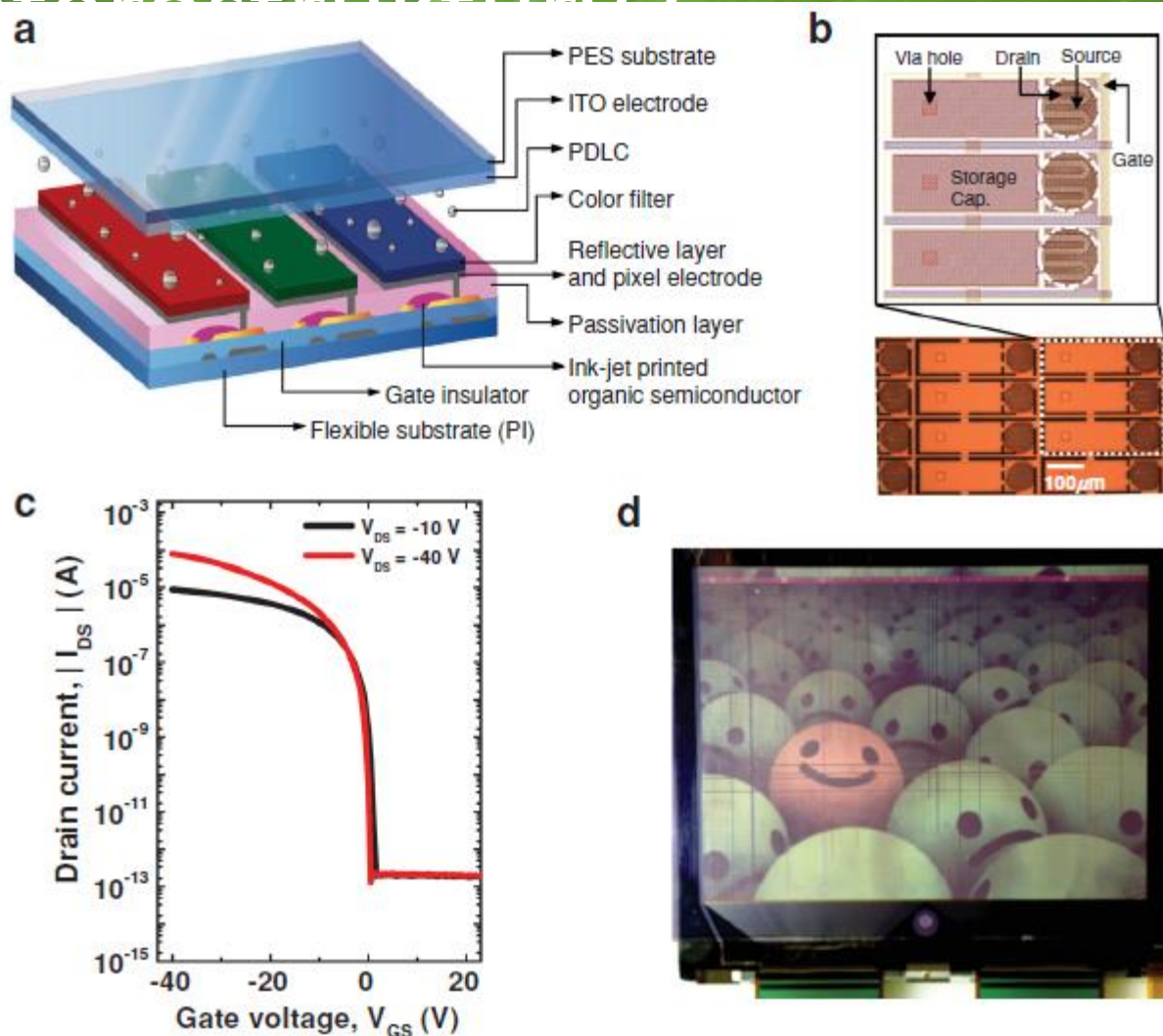
## - ink-jet printing



**Figure 1.** a) Inkjet printing scheme of OTFT and molecular design for polymer semiconductor **P(8T2Z-co-6T2Z)-12** with charge-transfer moieties used in this system. b) Optical vs. polarized microscopy of the inkjet-printed OTFT device. c) Atomic force microscopy image of active channel area of the printed OTFT (right). d) Molecular packing and orientation of inkjet-printed **P(8T2Z-co-6T2Z)-12** films characterized by 2D-GIXD. Film was post-annealed at 150 °C on ODTS treated SiO<sub>2</sub> gate dielectrics. e) Schematic illustration of molecular ordering in inkjet-printed **P(8T2Z-co-6T2Z)-12** polymer semiconductor film.

# Jak się robi heterostruktury?

- ink-jet printing



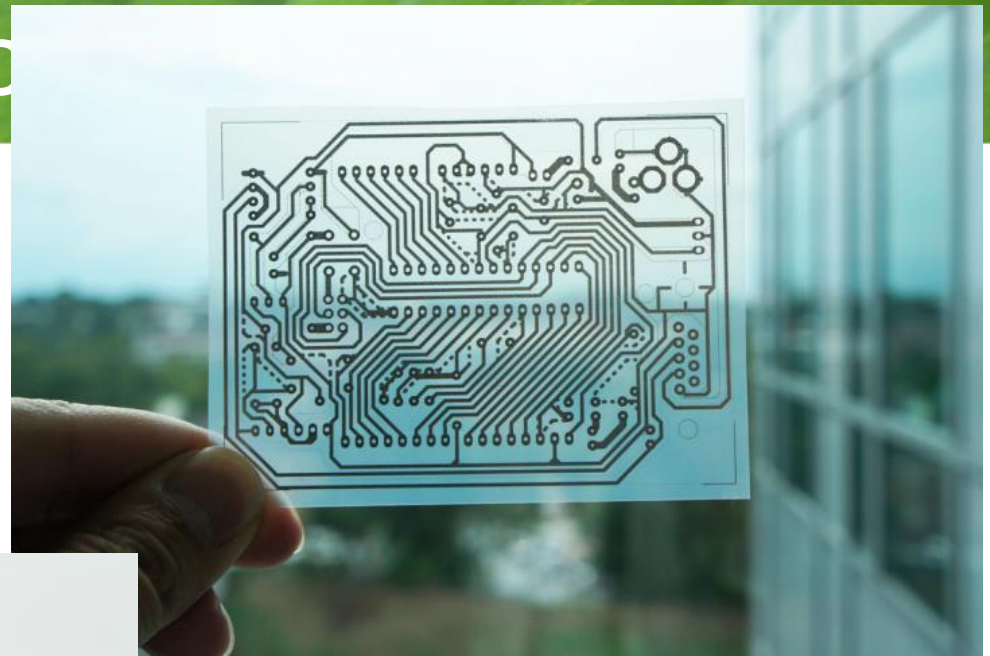
**Figure 4.** a) Schematic 3-dimensional view of one PDLC display pixel including OTFT drivers for red, green, and blue color display. b) Pixel array photos taken from optical microscopy, along with detailed scheme of one pixel that contains storage capacitors and three TFTs with interdigitized channels. c) Our TFTs display decent transfer characteristics with high mobility even after completion of all the backplane processes. d) 4.8-inch QVGA color reflective PDLC Display driven by inkjet-printed OTFTs.



# Jak się robi hetero

## - ink-jet printing

Silver nanoparticle ink is injected into an empty cartridge and used in conjunction with an off-the-shelf inkjet printer to enable “instant inkjet circuit” prototyping (credit: Georgia Institute of Technology)



A single-sided wiring pattern for an Arduino microcontroller was printed on a transparent sheet of coated PET film (credit: Georgia Institute of Technology)



<http://www.kurzweilai.net/how-to-inkjet-print-circuits-at-fraction-of-time-and-cost#!prettyPhoto>



# Jak się robi heterostruktury?

- ink-jet printing



<http://www.robots-dreams.com/2013/10/world-maker-faire-2013-print-your-own-circuits.html>

Firefox

Vigo System / Home page

www.vigo.com.pl/index.php/en/main\_menu/home

vigo optics

09 October 2012

Search

Zablokuj...

**SYSTEM S.A.**  
The leader in **IR** technology

[Home page](#) [About Us](#) [Distributors](#) [Support](#) [Contact](#)

### News

- » **MIRSENS-II**
- » **Curiosity has landed on Mars**
- » **DSS - Defense, Security and Sensing**
- » **Plasmonics in the IR**
- » **Laser Optics Berlin 2012**
- » **Viao IR Detectors selected for**

### Products

- **LAB Detector**
- **IR Detectors & Modules**
  - » **IR Detectors - Comparison Table**
  - » **Preamplifiers**
  - » **TEC Controllers**
  - » **Accessories**



The screenshot shows a Firefox browser window displaying the Mars Science Laboratory website. The address bar shows the URL `mars.jpl.nasa.gov/msl/`. The page features a navigation menu with links for MISSION, NEWS, MULTIMEDIA, PARTICIPATE!, and SEARCH. A large image shows the Curiosity rover on the Martian surface. A prominent text box contains the following information:

**View of Curiosity's First Scoop Also Shows Bright Object**

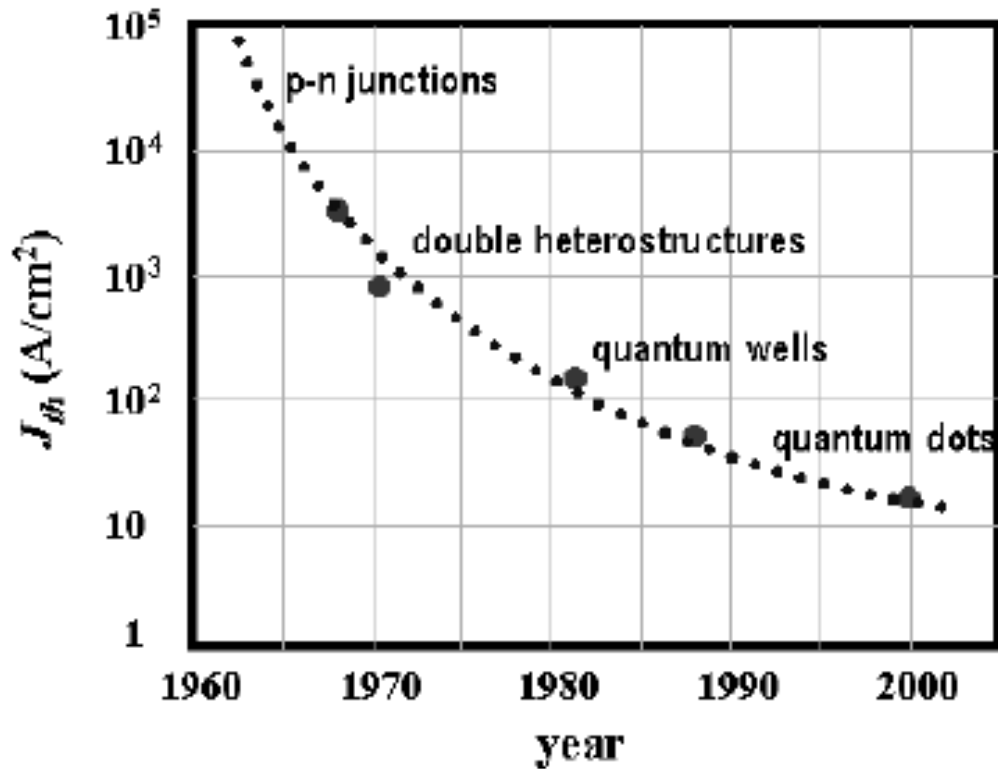
This image from the right Mast Camera (Mastcam) of NASA's Mars rover Curiosity shows a scoop full of sand and dust lifted by the rover's first use of the scoop on its robotic arm. [More >](#)

1 / 6

At the bottom of the page, there is a navigation bar with icons and labels for: What's New?, Recent Images, Recent Videos, Fun, Send Me a Message, Ask Dr. C, and Curiosity.

# Druty kwantowe

Figure 8 The trend of the reduction of semiconductor laser threshold



# Nanotechnologia

## CO?

- Studnie, druty, kropki

## JAK?

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



# Nanotechnologia

## CO?

- Studnie, druty, kropki

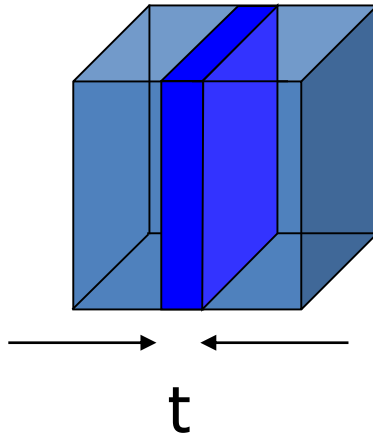
## JAK?

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

# Struktury niskowymiarowe

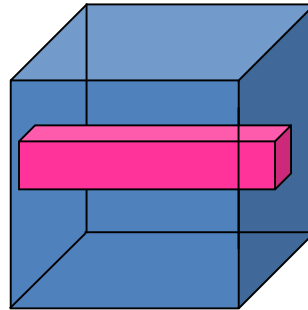
## Low-dimensional Semiconductor Systems

Studnie  
kwantowe



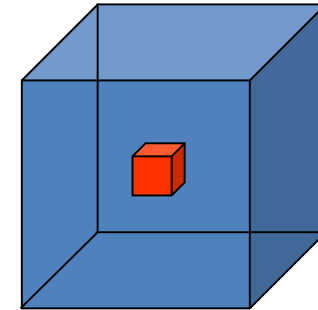
2D

Druty  
kwantowe



1D

Kropki  
kwantowe



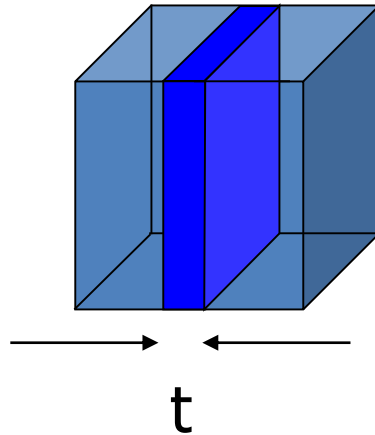
“0D”

Dyskretna struktura elektronowa

# Struktury niskowymiarowe

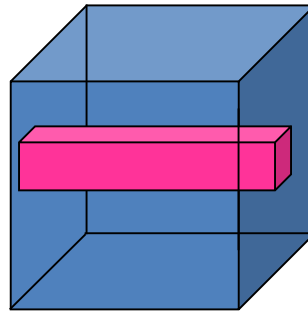
## Low-dimensional Semiconductor Systems

Studnie  
kwantowe



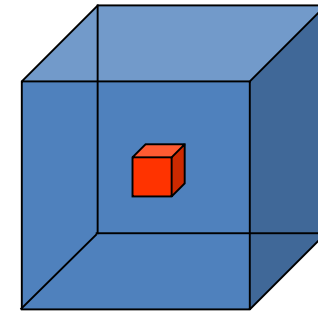
2D

Druty  
kwantowe



1D

Kropki  
kwantowe



“0D”

Dyskretna struktura  
elektronowa



# Druty kwantowe

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

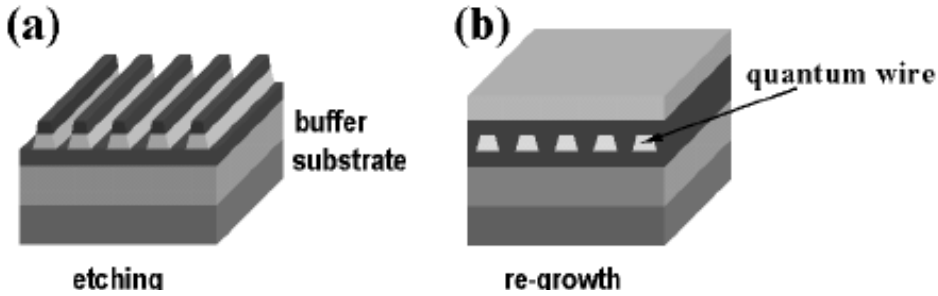


Figure 12 Selective growth of quantum wires on a pre-patterned V-groove substrate

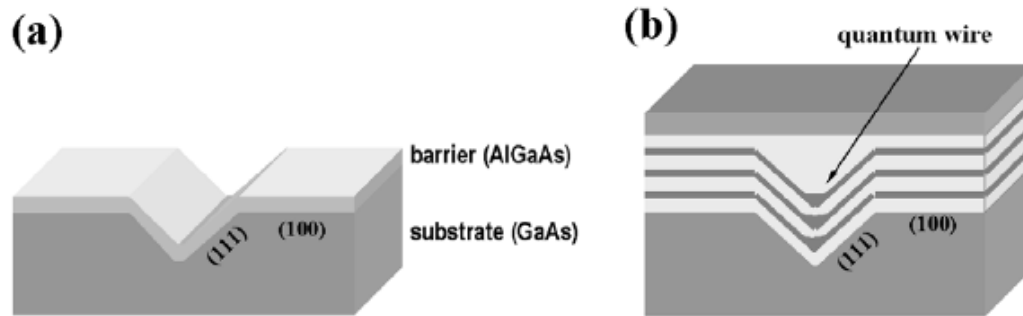
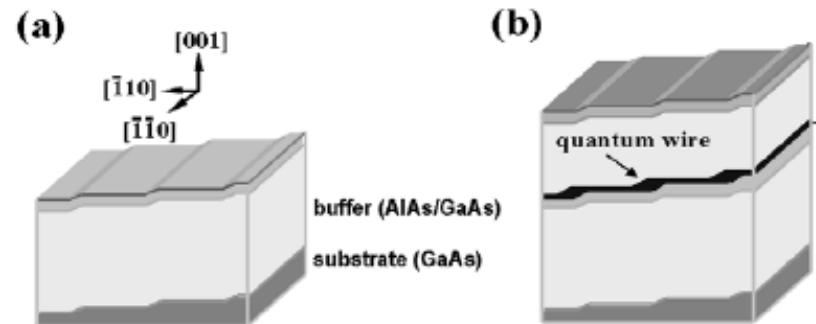


Figure 11 Growth of quantum wires on a vicinal surface with multiaatomic steps



# Druty kwantowe

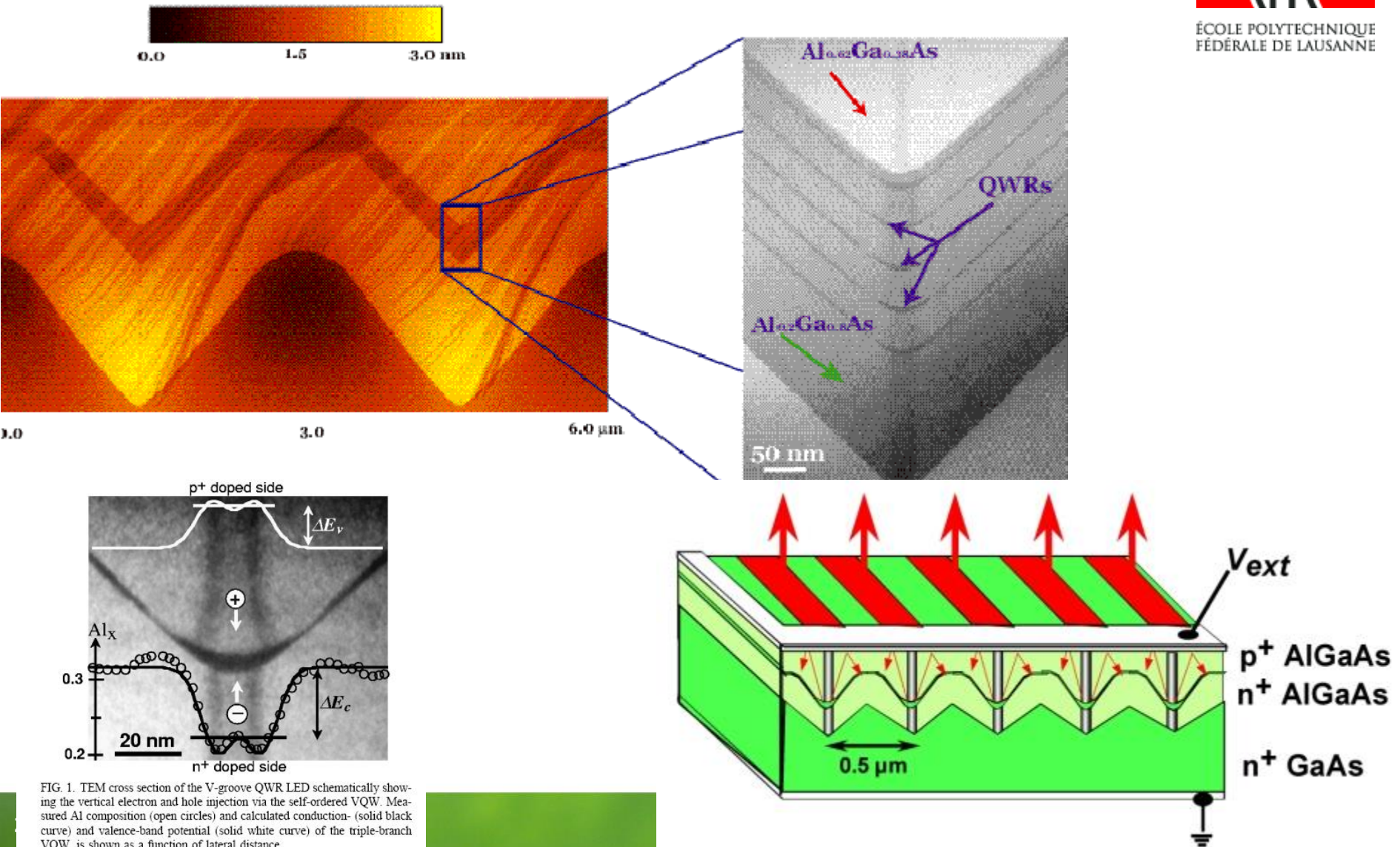
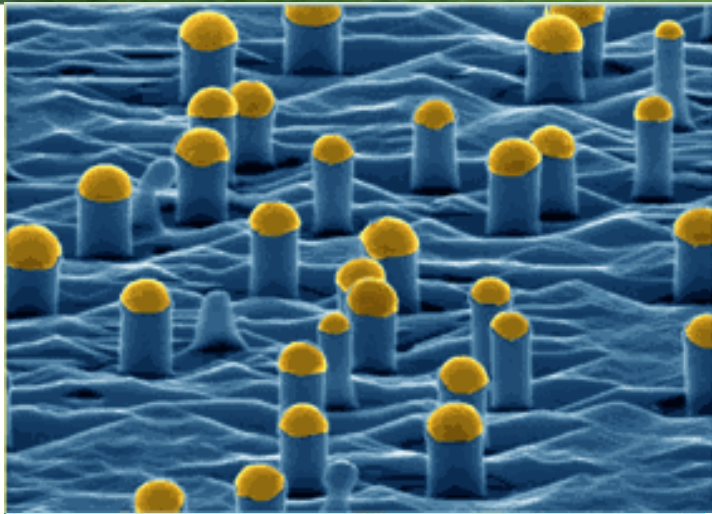


FIG. 1. TEM cross section of the V-groove QWR LED schematically showing the vertical electron and hole injection via the self-ordered VQW. Measured Al composition (open circles) and calculated conduction- (solid black curve) and valence-band potential (solid white curve) of the triple-branch VQW, is shown as a function of lateral distance.



# Druty kwantowe



2 Au cap on the top of whisker and the interface structure

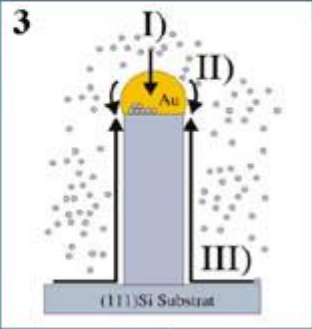
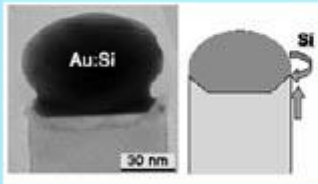

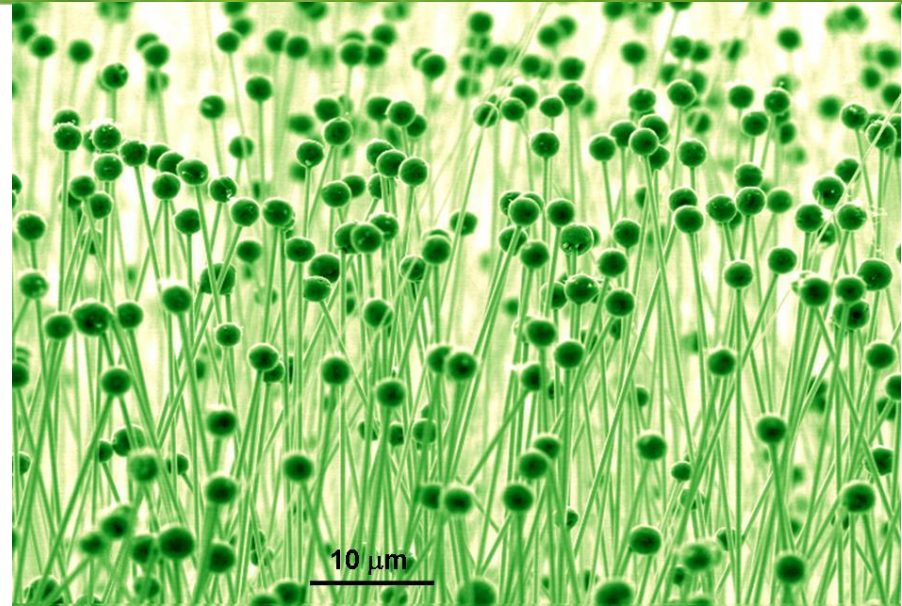


Fig. 3) Growth contains three components:  Beside diffusion through the droplet (I) and diffusion on the droplet surface (II), there is a strong surface diffusion component (III) along the whisker. Si material is coming from the surrounding of the whisker.

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



[www.ece.odu.edu/g\\_seminar.htm](http://www.ece.odu.edu/g_seminar.htm)

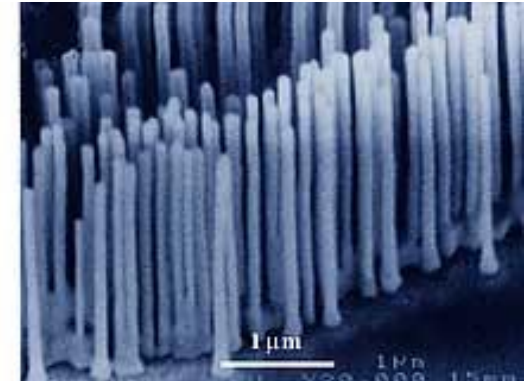
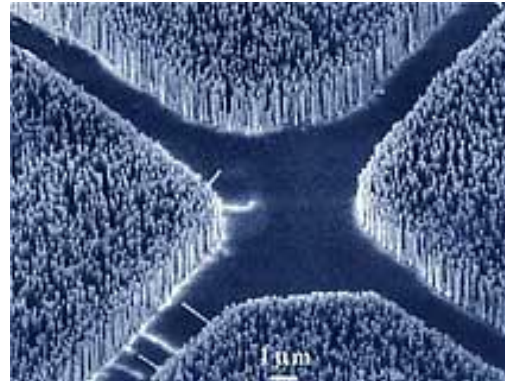


Photo by Peidong Yang/UC Berkeley, courtesy of *Science*



# Druty kwantowe

*P.X. Gao et al. / Chemical Physics Letters 408 (2005) 174–178*

175

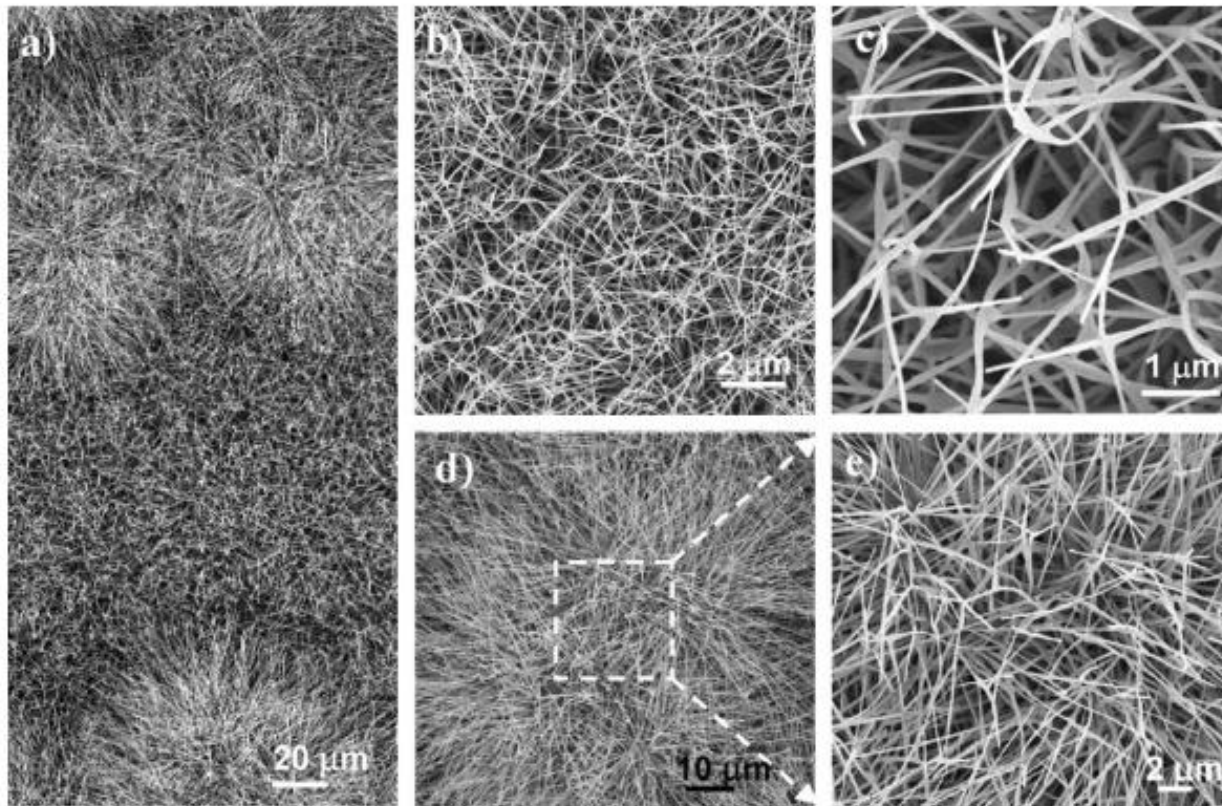


Fig. 1. (a) A typical low magnification SEM image of the as-grown networks of ZnO nanowires and nanorods consisting two types of morphologies, as indicated by area b (b,c) and c (d,e). (b,c) Enlarged SEM images of uniform networks of ZnO nanowires and nanorods. (d,e) Enlarged SEM images of clumps of nanowires showing the interconnected nanowires and nanorods.

# Druty kwantowe

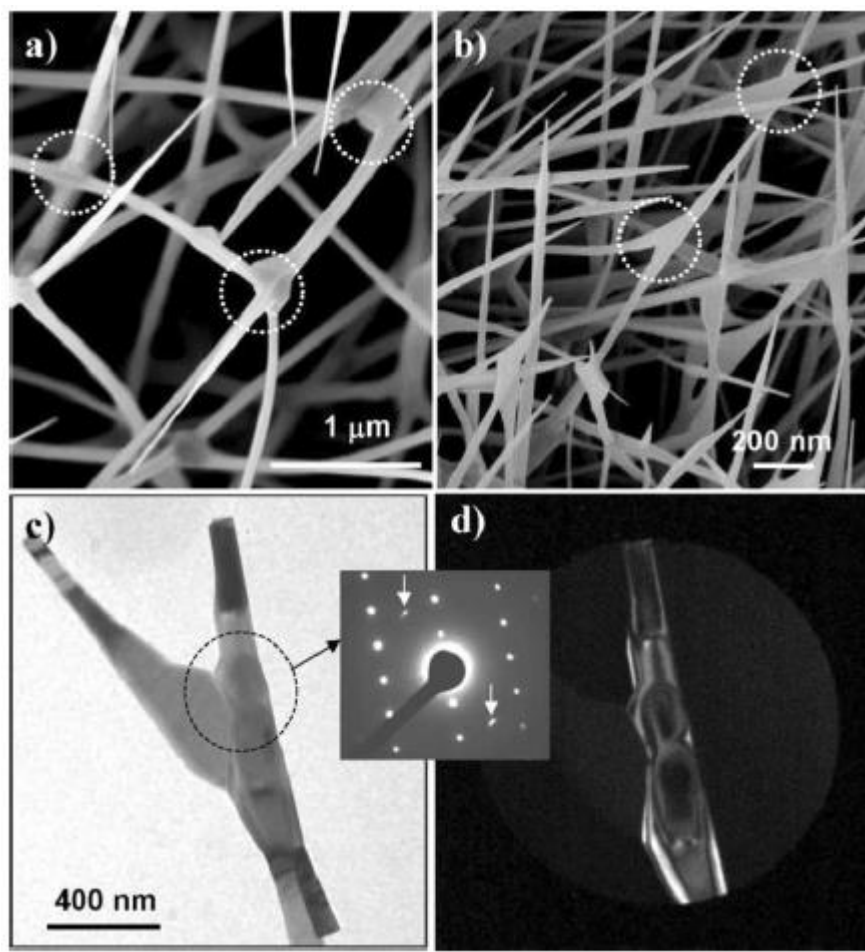


Fig. 4. (a,b) Interconnection types of ZnO nanowires in the nano-network. (c,d) Bright-field and dark-field TEM images of two nanowires interconnected with each other, indicating that the two nanowires are single crystals but they have no orientation relationship. The circle area is used for recording the selected area electron diffraction pattern (inset).

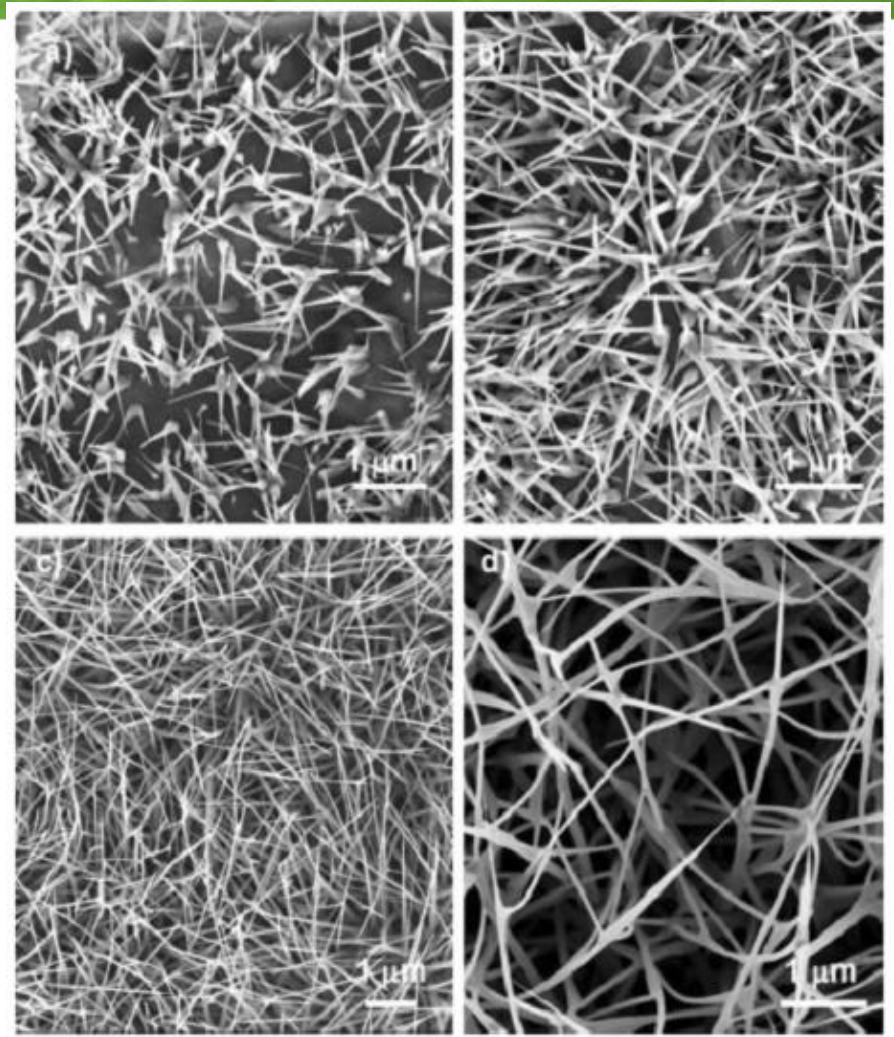


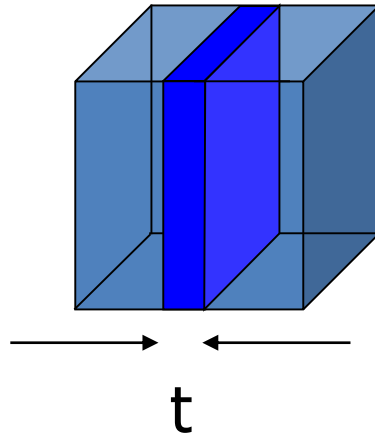
Fig. 5. Formation process of the 3D network. (a) The initial stage of interconnected nanorods growth. (b) The first layer of networking between short nanowires and nanorods. (c) The beginning of the second layer of networking. (d) Highly magnified SEM image giving a clear description about the 3D ZnO networks with mesh space around  $2 \times 2 \times 2$  ( $\mu\text{m}$ ).



# Struktury niskowymiarowe

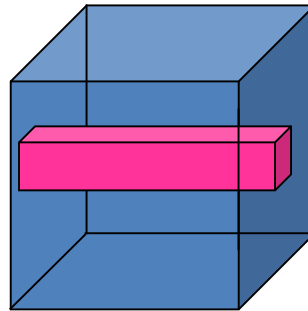
## Low-dimensional Semiconductor Systems

Studnie  
kwantowe



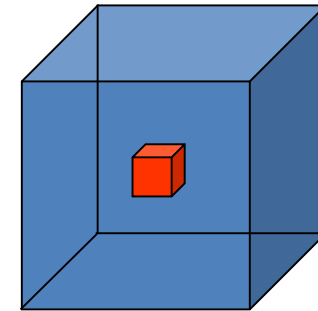
2D

Druty  
kwantowe



1D

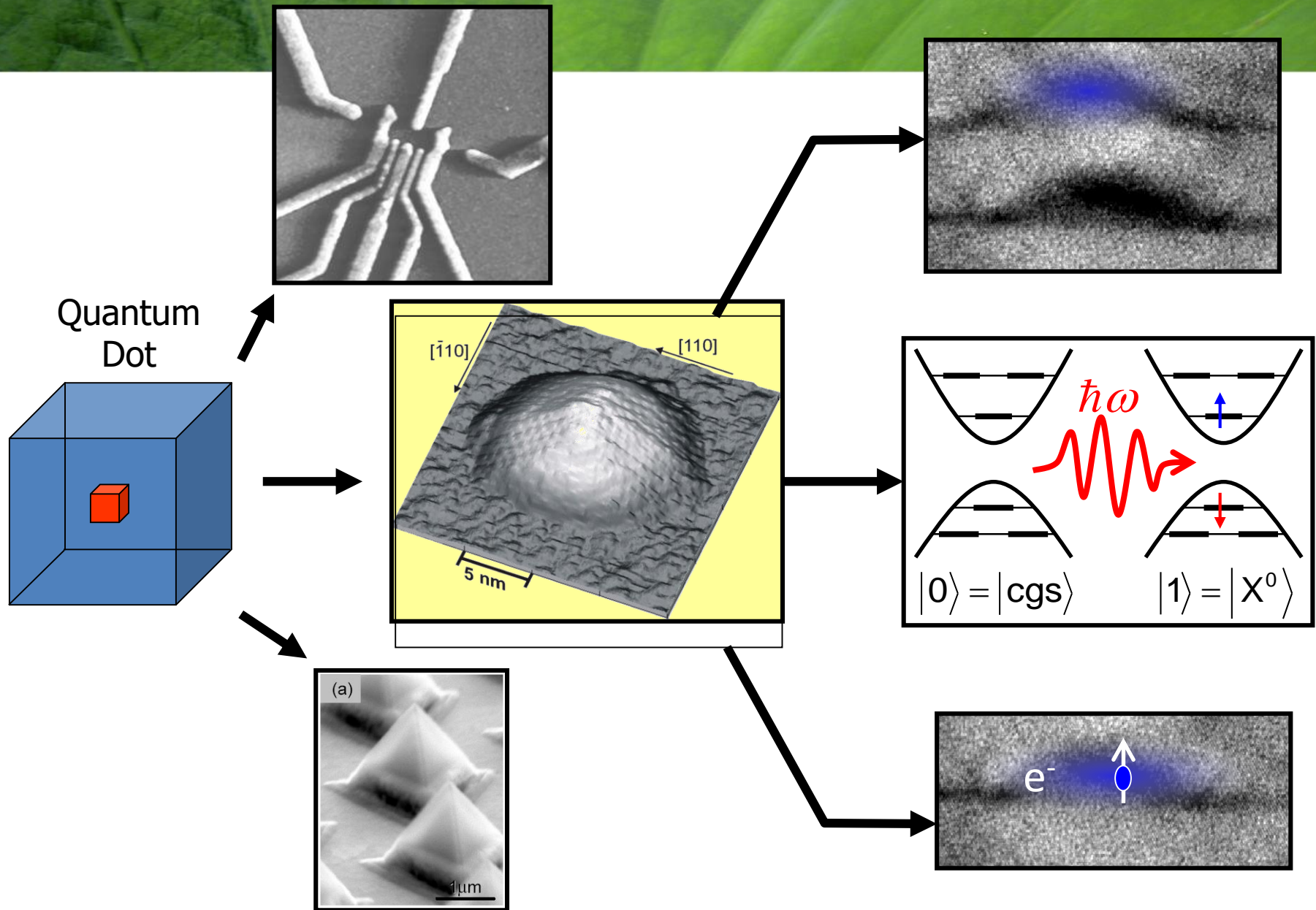
Kropki  
kwantowe



“0D”

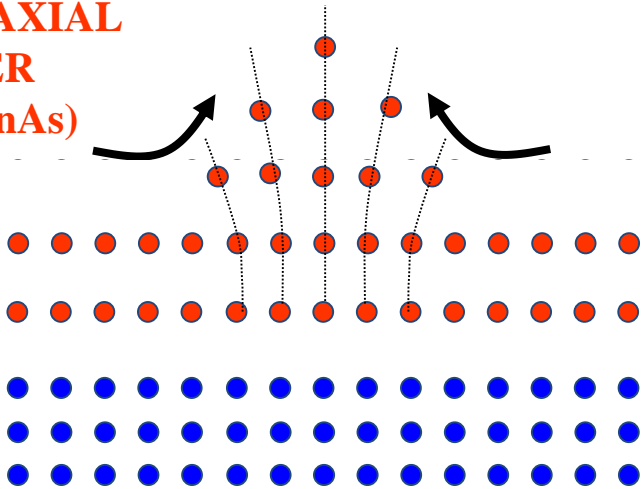
Dyskretna struktura  
elektronowa



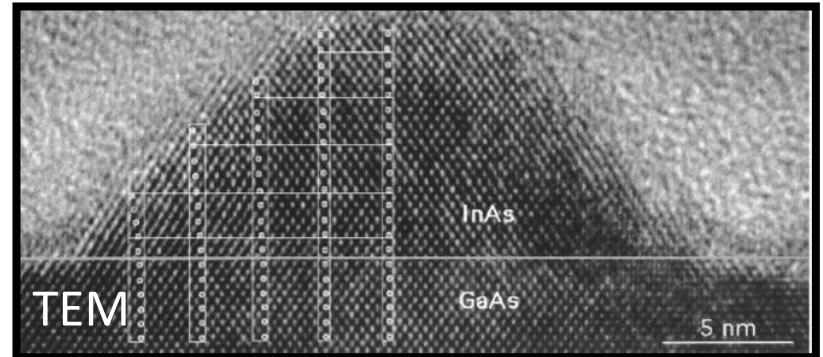
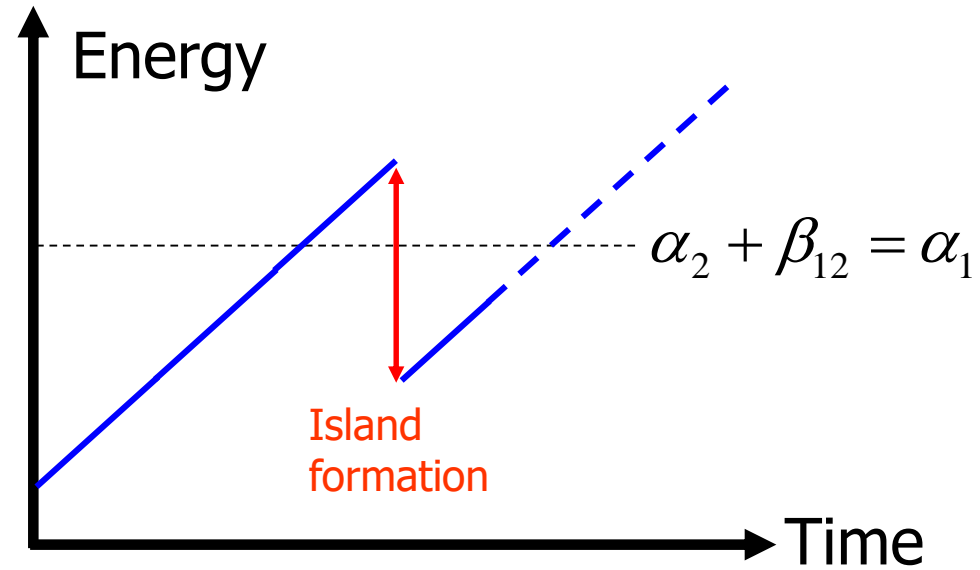
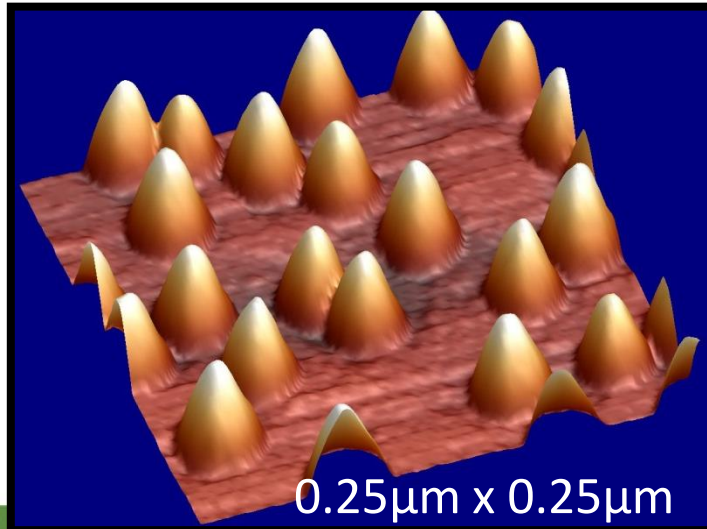


# Potencjał harmoniczny

EPITAXIAL  
LAYER  
(e.g. InAs)



SUBSTRATE  
(GaAs)



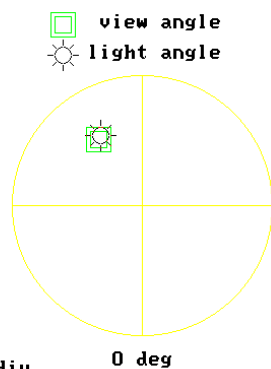
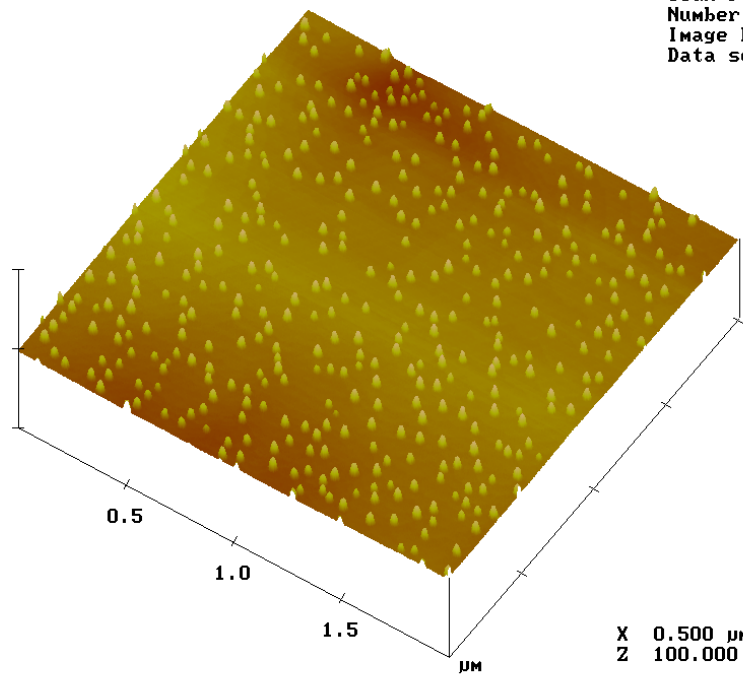
- Defect-free semiconductor “clusters” on a 2D quantum well wetting layer



# Potencjał harmoniczny 2D

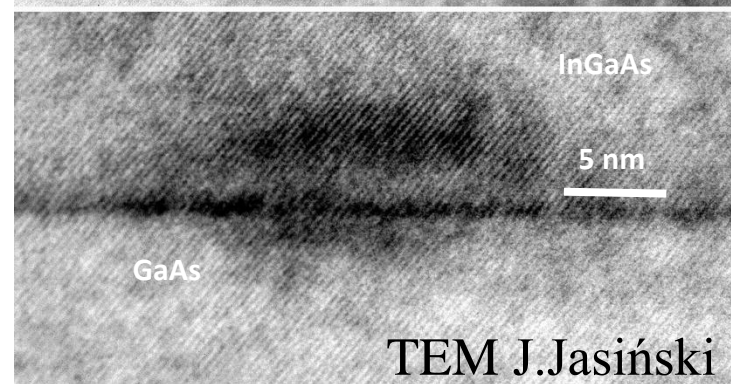
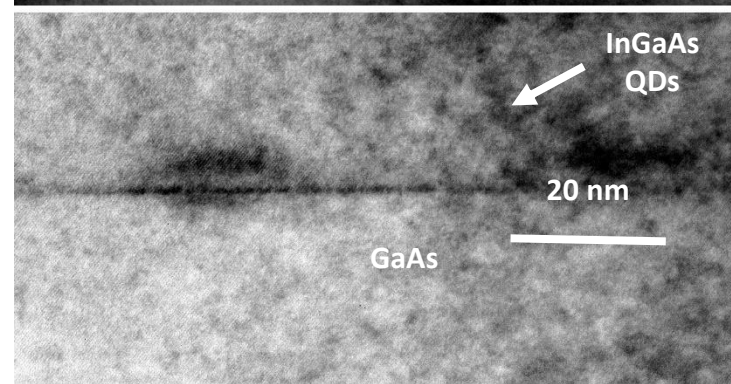
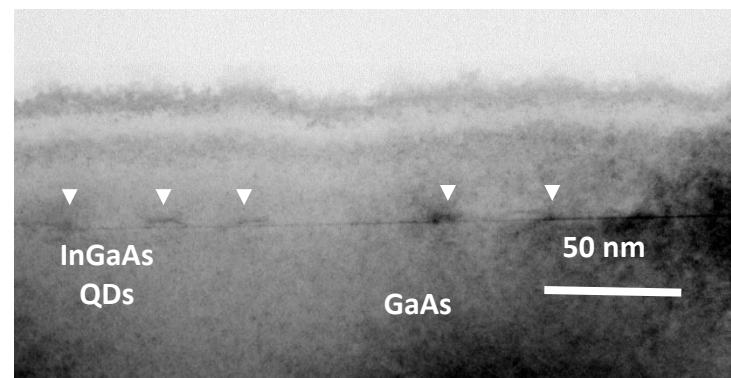


Digital Instruments NanoScope  
Scan size 2.000  $\mu\text{m}$   
Scan rate 1.969 Hz  
Number of samples 512  
Image Data Height  
Data scale 100.0 nm



X 0.500  $\mu\text{m}/\text{div}$   
Z 100.000 nm/div

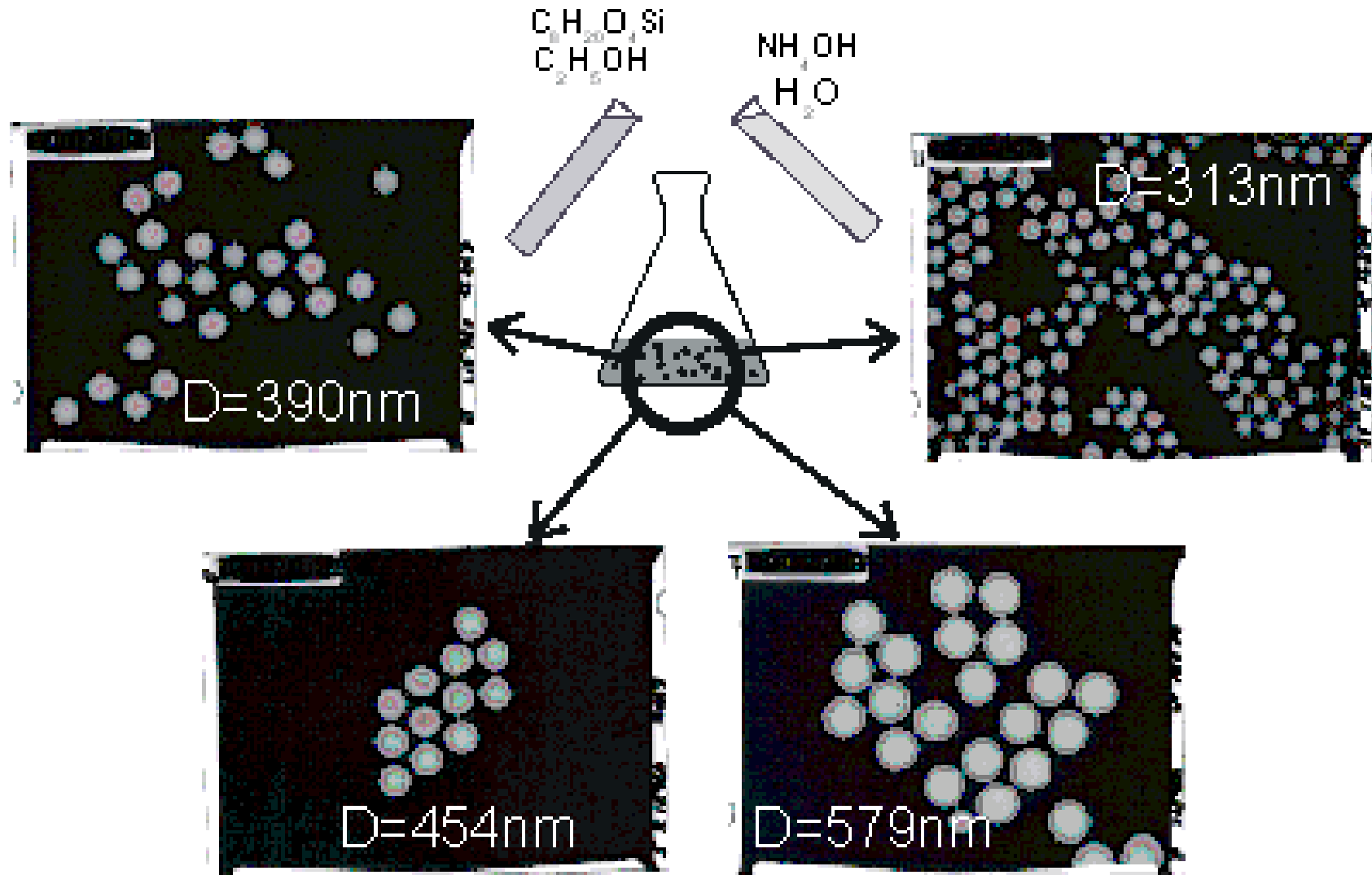
v0137.013



TEM J.Jasiński



# Synteza kropek kwantowych



# Synteza kropek kwantowych





techniki medyczne >>> fizyka kwantowa

## ZMYŚLNE

Wykrywanie guzów nowotworowych i przerzutów, dostarczanie leków prosto do celu, terapia komórkami macierzystymi, możliwość wnikliwego spojrzenia na embriogenezę... – to niektóre z wielu pomysłów na zastosowanie nanocząstek w medycynie.

► JULITA ROSOWSKA, IACEK SZCZYTKO

## KROPKI

**K**IEDY W LATACH 80. grupie naukowców z Texas Instruments udało po raz pierwszy wytworzyć metodami litograficznymi kropki kwantowe, zaczęła się nowa era – inżynierii w świat szerwyniarowy. Stopniowo nabywaniu umiejętności precyzyjnej manipulacji materią w nanokali towarzyszyło pytanie, jak można wykorzystać niezwykle właściwości fizykochemiczne nowo odkrytych nanoobjektów. Wśród naukowców, często wkraczające w świat fantastyki, wiązały się głównie z elektroniką, technologiami informatycznymi czy optyką. Nanokryształki półprzewodnikowych nie kojarzono z biologią lub medycyną. Dziś wiadomo, że te nadzwyczaj małe, ale jednocześnie niezwykle trwałe obiekty, stwarzają zupełnie nowe możliwości walki z chorobami.

Wielu przełomowych odkryć dokonano dzięki szczęśliwemu zbiegowi okoliczności. Podobnie było w przypadku kwantowych kropek. Pomysł na ich zastosowanie w medycynie zrodził się nagle. Dr Louis Brus i jego współpracownicy z Bell Laboratories, prowadząc na początku lat 80. doświadczenia z półprzewodnikowymi nanokryształami, dokonali zadziwiającego odkrycia – nanokrystały, chociaż wykonane z tego samego materiału, świeciły różnymi kolorami!

Celemu zamieszaniu winny był ich rozmiar. Okazało się, że im mniejsza kropka, tym krótsza długość fali emitowanego przez nią światła (a więc inny kolor jej fluorescencji). W ten sposób kropki demonstrowały swoją kwantową naturę – zasada niezamocności Heisenberga przewidywała bowiem, że im lepiej zlokalizujemy elektron, tym bardziej nieoznaczony musi mieć on pod, a więc tym większą ma energię kinetyczną (i emituje foton o większej energii).

Inni badacze, początkowo również związani z Bell Laboratories – Moungi Bawendi i Paul Alivisatos – znaleźli sposób, by uczynić kropki kwantowe rozpuszczalnymi w wodzie i pokryły je nieorganiczną powłoką. Wystarczyło jes-

zcze oświetlić nanokrystały ultrafioletem i kropki zaświeciły w świetle widzialnym. Oto skrócona historia powstania niezwykle małych nanocząstek, które, mimo że wykonane z tego samego półprzewodzącego materiału i wzbudzone tylko jednym źródłem światła, emitują całą paletę barw.

### Ultraczułe znaczniki

Głównym składnikiem żywych komórek jest woda. Pojedyncze komórki oglądane w mikroskopie optycznym są w zasadzie przezroczyste. Od lat stosuje się więc różnorodne barwniki fluorescencyjne (tzw. znaczniki albo markery), które umożliwiają nam wgląd do wnętrza żywych bądź utrwalonych komórek. Jaki jest idealny marker?

W przypadku analizy jednokolorowych powinien być przede wszystkim biokompatybilny (czyli zgodny biologicznie z obserwowanymi tkankami), nietoksyczny dla próbki, wystarczająco jasny i trwały, a więc nie ulegający szybkiemu rozkładowi. Sprawa komplikuje się w przypadku analizy wielokolorowych. Tu, oprócz wspomnianych cech, pożądanym jest właśnie widmo emisji, które znacznie ułatwia dopasowanie różnych długości fal emitowanego światła do konkretnych znaczników. Dla obniżenia kosztów byłoby też wygodnym i prostym jego wykonania najlepiej byłoby wzbudzać wszystkie fluorofory jednym źródłem światła.

Stosowanie konwencjonalnych znaczników, takich jak organiczne barwniki czy naturalnie fluorescujące białka, może być pod wieloma względami problematyczne i często bardzo ogranicza sposób przeprowadzenia eksperymentu. Przede wszystkim, tradycyjne barwniki szybko ulegają rozkładowi i tym samym uniemożliwiają obserwację długich procesów zachodzących w komórkach bądź też w przestrzeniach międzykomórkowych – np. śledzenie kolejnych generacji komórek podczas embriogenezy, czyli rozwoju zarodkowego. Barwniki mogą też zmieniać intensywność emisji pod

### TAJEMNICE OBIEKTÓW 0-WYMIAROWYCH

Co właściwie kryje się pod pojęciem kropka kwantowa (quantum dot)? W metalach i półprzewodnikach pewne elektrony tzw. elektrony pasma przewodniczą, mogą swobodnie poruszać się w całej objętości kryształu. Kropki kwantowe są kryształami tak małymi, że zmuszają elektrony do pozostania w określonym miejscu przestrzeni. Często z tego powodu są nazywane sztucznymi atomami, podobnie jak w prawdziwym atomie, o właściwościach kropki decyduje mechanika kwantowa i energia elektronu są skwantowane na różnych powłokach (w kropkach nazywanych stanami

kwantowych). A kontrolując tylko rozmiar kropki, można precyzyjnie zmieniać jej właściwości! Kropka kwantowa wielkości np. 5 nm może być oglądana jedynie przez silny mikroskop elektronowy lub sił atomowych. Gdyby taką kropkę polizować na płacie futbolowej, a piłkę umieścić na Kąkole, to stosunek rozmiaru kropki do piłki byłby taki jak rozmiar piłki do wielkości Kąkole! Zdumiewająca jest jednak to, że ten mikroskopijny obiekt potrafi bardzo efektywnie świecić. Półprzewodnikowe kropki kwantowe należą

do tzw. fluoroforów, co oznacza, że są zdolne do emisji światła po wzbudzeniu. Nanokrystały półprzewodnikowe pochłaniają fotony światła o energii koniecznej do przeniesienia elektronu ze stanu podstawowego na jeden z wyższych, dostępnych stanów energetycznych. Gdy elektron wraca na niższy poziom, wzbudzona kropka kwantowa emituje światło. Więcej na temat kropek kwantowych można dowiedzieć się z artykułu prof. Mariana Grynburga „Najjaśniejsze kropki” („WiZ” 6/2011).

Wymiary powłok	Materiał	Barwa światła	Barwa światła
3	Kryształ półprzewodnikowy	Elektron może poruszać się swobodnie w całym objętości kryształu	
2	Stabilne kwantowe	Ruch elektronu jest ograniczony do płaszczyzny	
1	Drugi kwantowy	Elektron może poruszać się jedynie po jednej linii	
0	Kropka kwantowa	Elektron jest całkowicie zlokalizowany	



# Quantum Dots TV



LED TV, featuring reinvented Quantum Dot technology (Samsung)

# Nanotechnologia

# Nanotechnologia

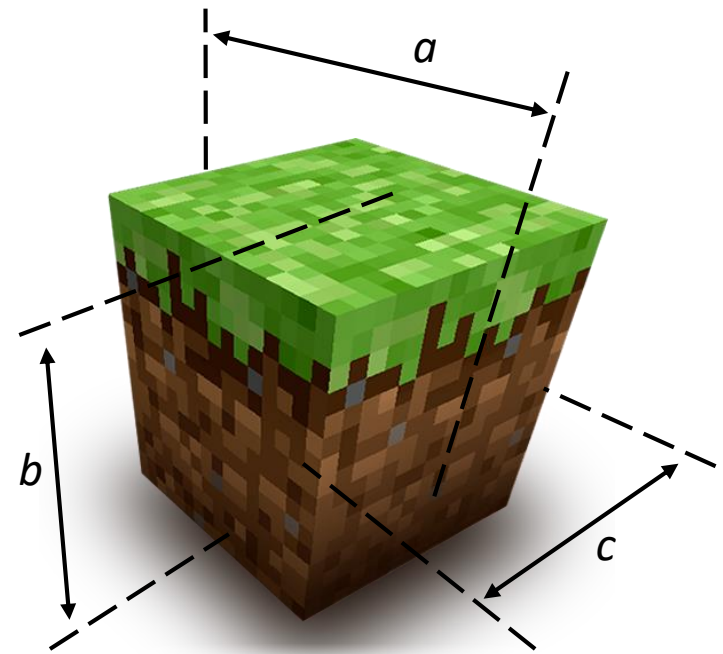


↑  
 $10^{-9}$   
0,000 000 001

Nauka

Inżynieria

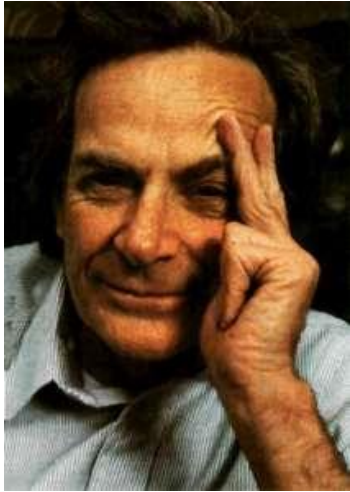
Technologia



$a, b, c < 100 \text{ nm}$



# Nanotechnologia



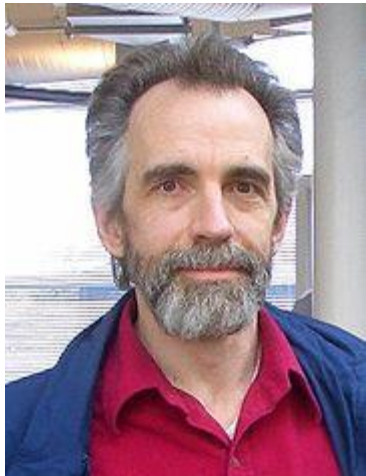
**Richard P. Feynman, 1959**

***There's Plenty of Room at the Bottom***

Annual meeting of the American Physical Society at the California Institute of Technology (Caltech)

**Norio Taniguchi** of Tokyo science University first defined nanotechnology in 1974

"***Nano-technology*** mainly consists of the processing of separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or one molecule."



**Kim Eric Drexler, 1986**

***Engines of Creation*** (Grey goo)

***Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation***



lo

STANISŁAW  
LE M  
LOKALTERMIN



ROMAN

ANU REEVES



12.12.08  
IS  
THE DAY THE  
EARTH



WIZJA Stanisław  
Lem  
LOKALNA



泰平ヨンの現場検証  
スタニスワフ・レム / 深見 舞訳

WIZJA LOKALNA



# Nanotechnologia na co dzień

**Motoryzacja** (Hummer H2 sport utility truck)



**Budownictwo**  
Samoczyszczący się beton



**Elektronika**  
Wyświetlacze OLED

iPod Nano



**Ubrania** (Nano-Tex)



**AGD**  
Samoczyszcząca się lodówka Samsung  
Nano SilverSeal



**Kosmetyki**



**Sport**





# Pokrycia NANO

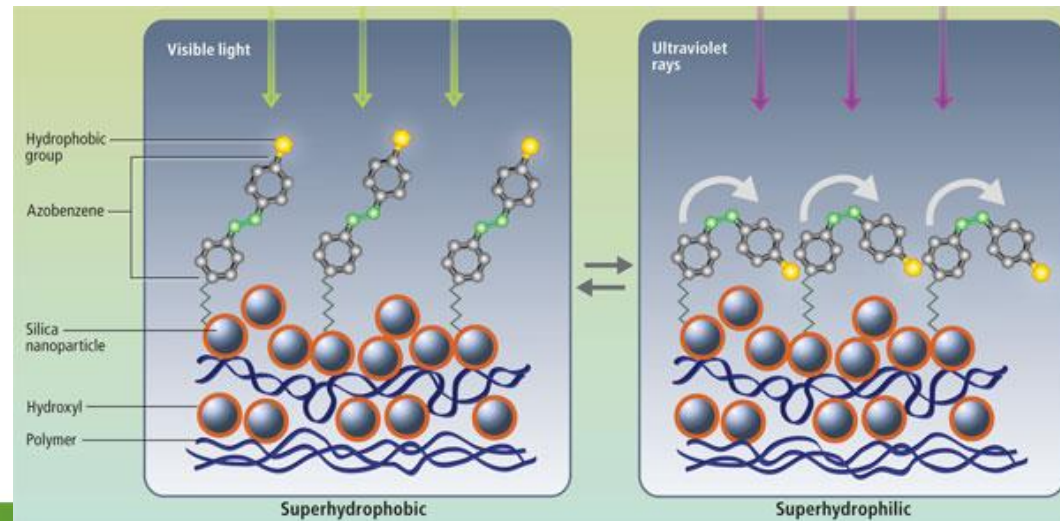
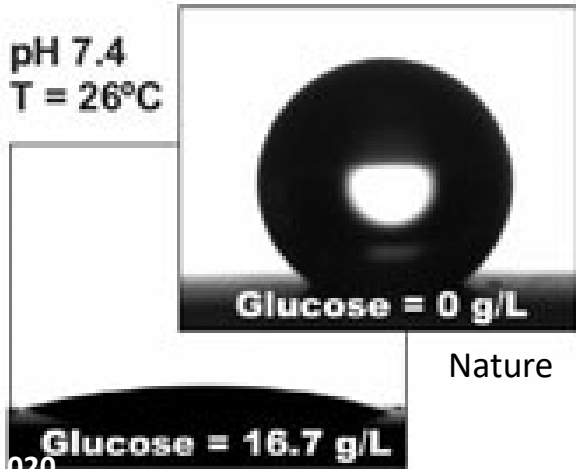


na co dzień

Żuk pustynny z Namib



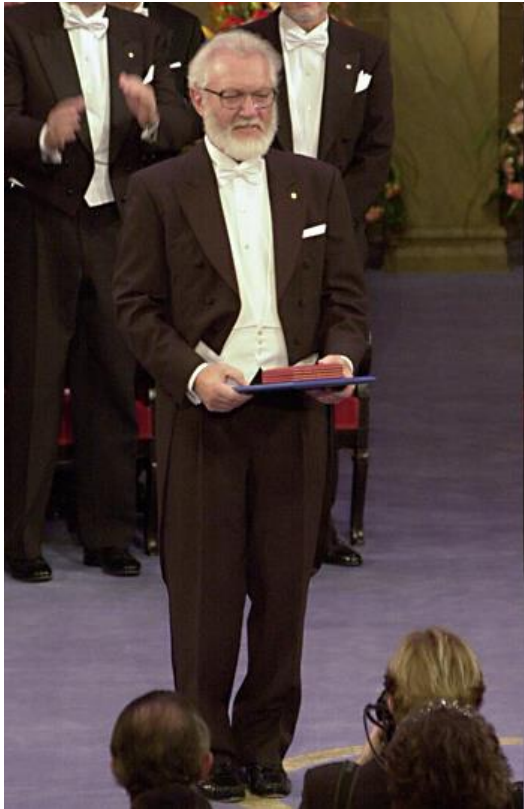
Liść lotosu, photo: Y-T Cheng



# Nanotechnologia na co dzień



The Nobel Prize in Physics 2000



“The principal applications of any sufficiently new and innovative technology always have been - and will continue to be - applications created by that technology.”

*Herbert Krömer*

“Główne zastosowanie każdej nowej i innowacyjnej technologii zawsze było – i nadal będzie – zastosowaniem stworzonym przez tę technologię”

[http://en.wikipedia.org/wiki/Herbert\\_Kroemer](http://en.wikipedia.org/wiki/Herbert_Kroemer)



# Nanotechnology na co dzień

The \$585 suits that went on sale today (October 8, 2009) are treated with Titanium Dioxide, a chemical compound commonly used in cosmetics and toothpaste. According to company spokes-person Junko Hirohata,  $TiO_2$  has photocatalytic properties, meaning that it when exposed to light it breaks down organic materials.



© AP

## Antiviral Business Suits Fight H1N1 Swine Flu With Science & Style

汚れをはじく  
クリーン&エコ  
clean and eco  
スーツ

いいもの  
欲しいもの  
つぎつぎと。

”業界初”  
汚れ・花粉に強い

水も油もコロコロ  
弾きます

驚きの除水・除油効果

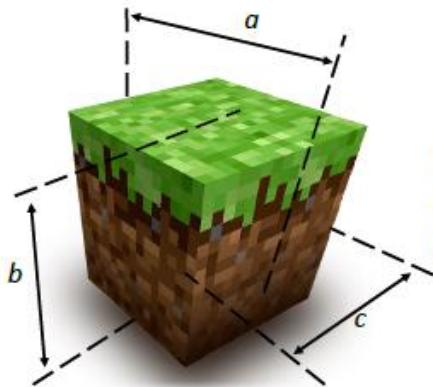
http://www.haruyama.co.jp/



# Nanotechnologia

$$\text{nano} = 10^{-9} = \frac{1}{1\,000\,000\,000}$$

Chodzi o kontrolę materii w bardzo małej skali, jednej miliardowej części metra. Wytwarzanie i badania obiektów o tak małych rozmiarach wymagają wiedzy zarówno z fizyki jak i z chemii.



$a, b, c < 100 \text{ nm}$

Nanocząstki są mniejsze niż 100 nm



Bakteriofag  
200 nm

$10^{-4} \text{ m}$  Średnica ludzkiego włosa 100 000 nm

$10^{-5} \text{ m}$



Średnica krwinki czerwonej 6000 nm

$10^{-6} \text{ m}$



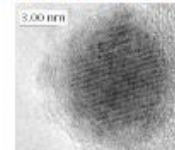
Dł. fali światła widzialnego 400-700 nm

$10^{-7} \text{ m}$

Tranzystor w procesorze 25 nm

$10^{-8} \text{ m}$

Nanocząstki 5 nm

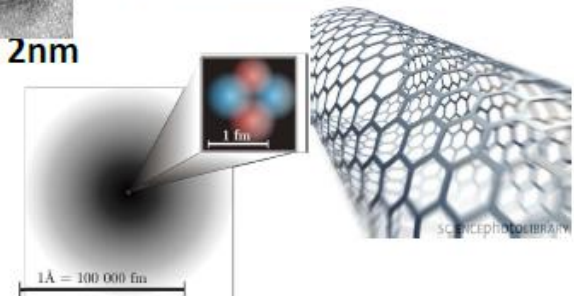


$10^{-9} \text{ m}$

Średnica DNA, nanorurek 2nm

$10^{-10} \text{ m}$

Promień atomu 0.1 nm



Jacek Szczytko, Wydział Fizyki UW  
AMI IMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY  
POWER AND SYRED/SCIENCE PHOTO LIBRARY  
DR JEREMY BURGESS/SCIENCE PHOTO LIBRARY.  
PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY

# Dlaczego XXI w?



*Parowóz dziejów*



**mili**

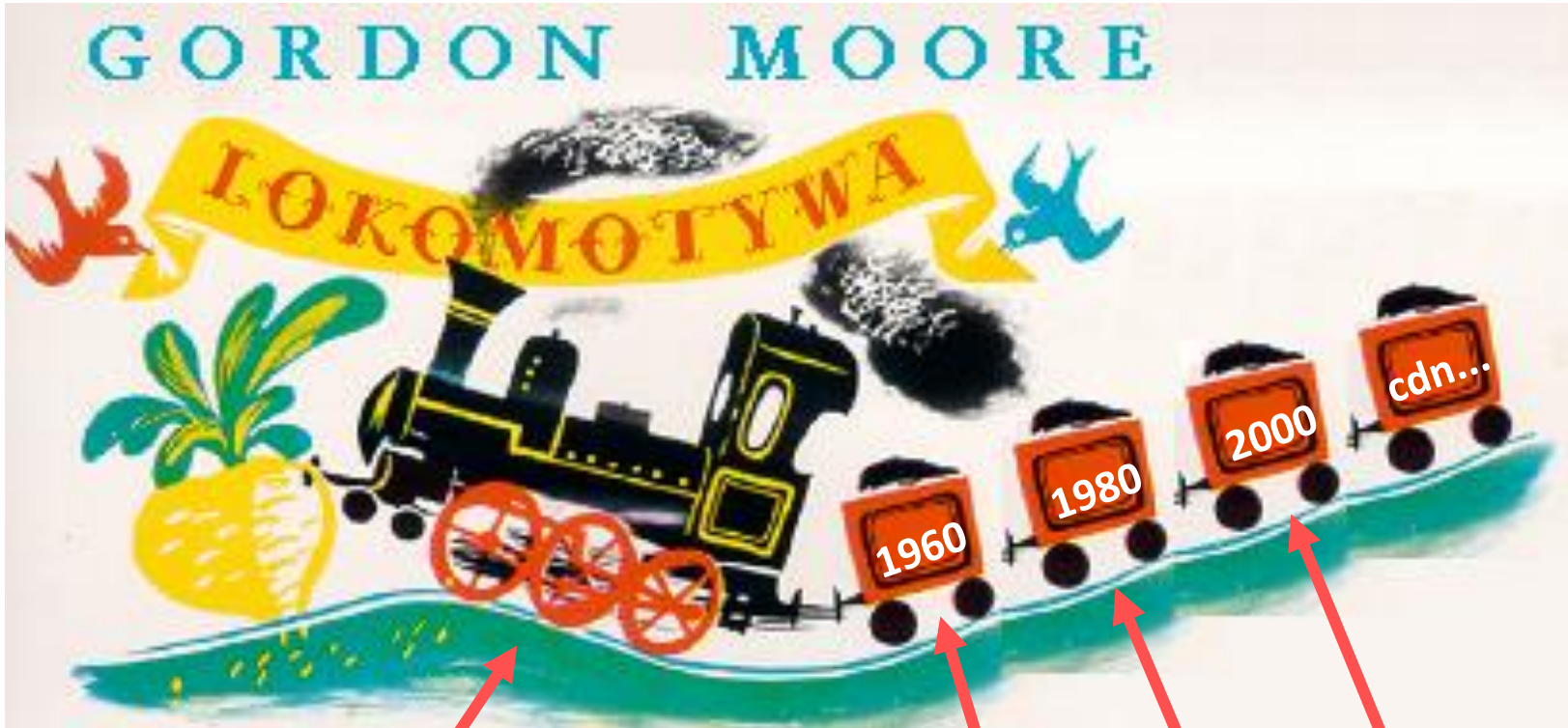


**mikro**

**nano**



# Dlaczego XXI w?



*Parowóz dziejów*

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

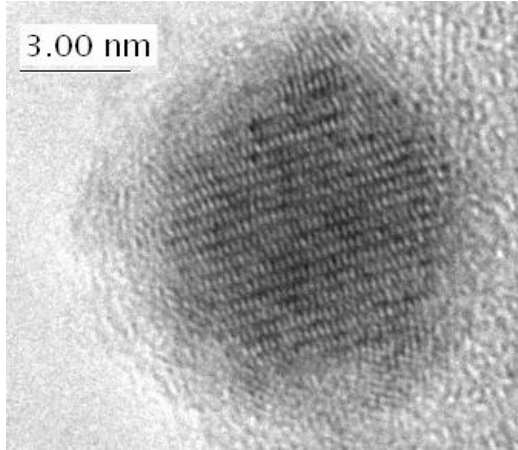
mili

mikro

nano

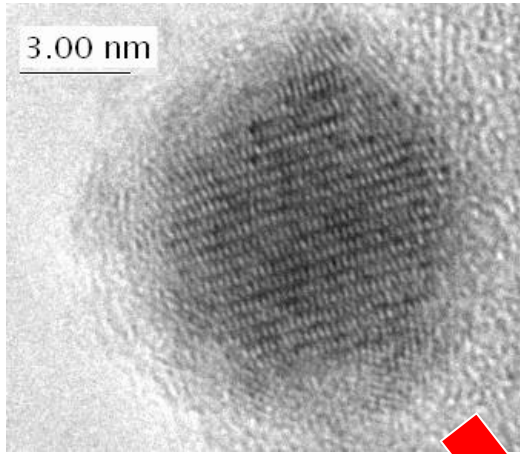


# Nanotechnologia



5 nm

# Nanotechnologia

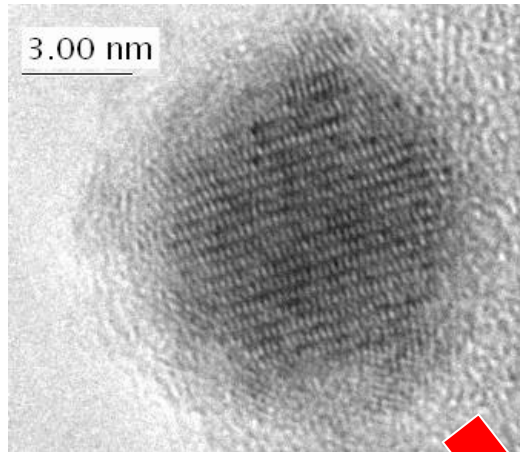


5 nm

22 cm

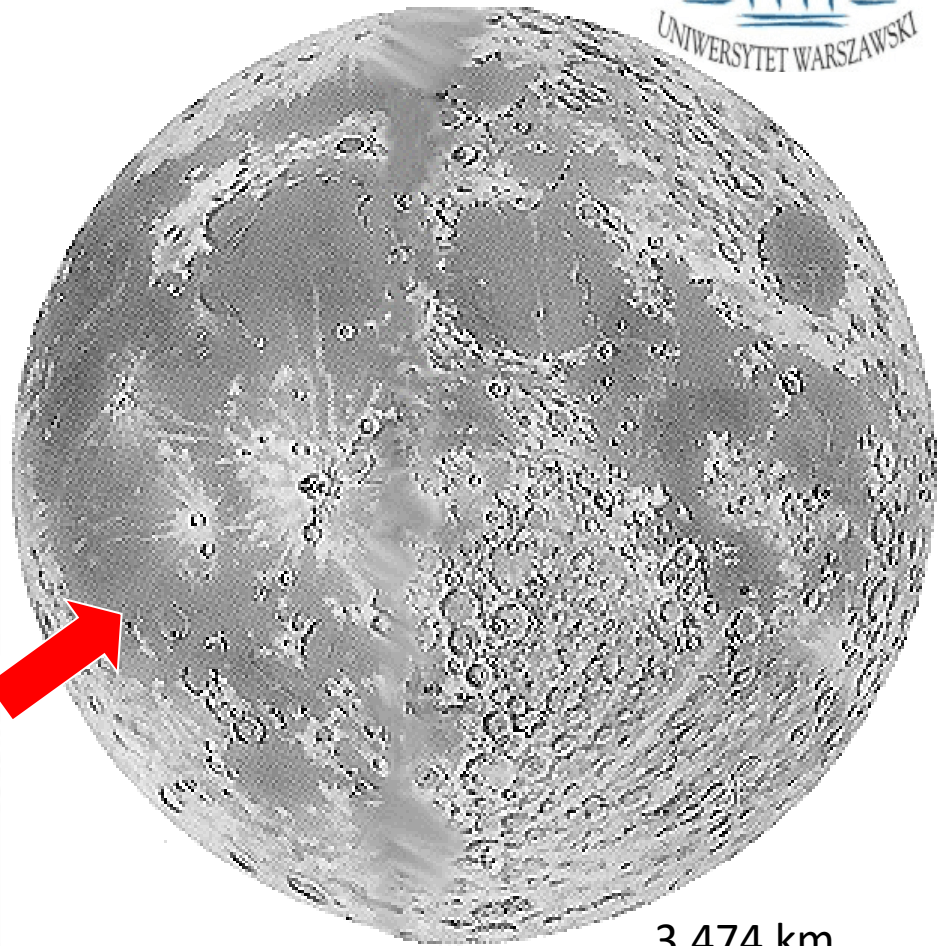


# Nanotechnologia



5 nm

22 cm





# Nanotechnologia

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Period																			
1	1 H																		2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo	

* Lanthanoids	* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
** Actinoids	** 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No

<http://www.webelements.com/>

# Efekty kwantowe



Bottom-up ↑





# Nano+bio



# Synteza kropek kwantowych



# Chemia!

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

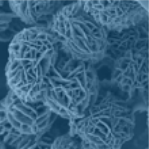
Pracownia Elektrochemii - Mozilla Firefox

Plik Edycja Widok Przejść Zakładki Narzędzia Pomoc

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

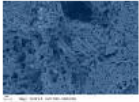
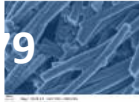
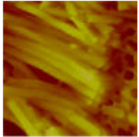
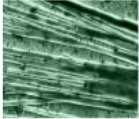
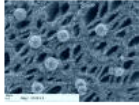
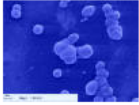
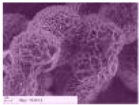
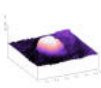
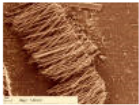
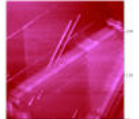
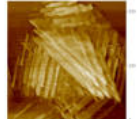
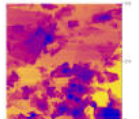
Rozpocznij przygodę... Aktualności Słownik Ang. Słownik Fra. DWA Langue française le... GW: Wiadomości INTERIA.PL - Fakty Murator FORUM Tabela NBP

## Pracownia Elektrochemii



- Strona główna
- Aktualności
- Pracownicy
- Tematyka
- Aparatura
- Studenci
- Współpraca
- Nanogaleria

### Nanogaleria

	Nanorurki z polindolu otrzymane w membranie poliwęglanowej.		Nanorurki z polindolu otrzymane w membranie poliwęglanowej.		Nanorurki z polianiliny widziane mikroskopem AFM.
	Mikrodruty z poliofenu.		Nanoklastery palladu w matrycy z poli(1,8-diaminonaftalenu).		Nanostruktury palladowe.
	Róże pustyni z poli(1,8-diaminonaftalenu).		Mikrowyseпка z polianiliny osadzona w defekcie monowarstwy.		Nanodruty z palladu otrzymane metodą templatową.
	Nanoięły ze srebra na powierzchni grafitu.		Skupisko nanoięł ze srebra na powierzchni grafitu.		Nanopłatki ze srebra osadzone na HOPG.

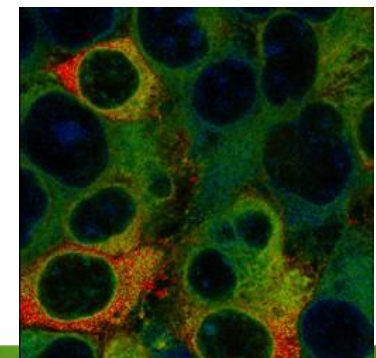
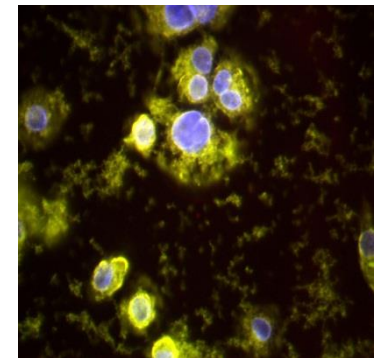
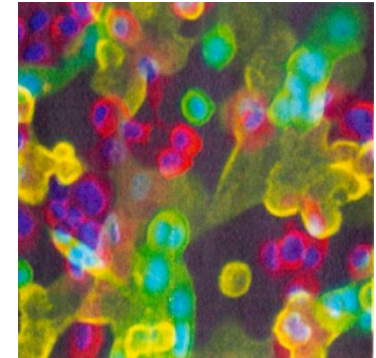
Zakończono



# Sferyczne kropki kwantowe

<http://www.medicine.tcd.ie/molecular-medicine/gallery/pictures/scientific-pictures.php>

The screenshot shows a Firefox browser window displaying the website [www.medicine.tcd.ie/molecular-medicine/gallery/pictures/scientific-pictures.php](http://www.medicine.tcd.ie/molecular-medicine/gallery/pictures/scientific-pictures.php). The page header includes the Trinity College Dublin logo and navigation links: TCD Home, Faculties & Schools, Courses, Research, Services, Contact, and A-Z. The main heading is "Molecular Medicine" with the subtitle "Department of Clinical Medicine". Below this is a search bar and a "You are here:" breadcrumb. A left sidebar contains a navigation menu with items: Home, History, Undergraduate, Postgraduate, Student (Local), Our Research, Facilities, People, Publications, Gallery, News & Events, Contact Us, and Sitemap. The main content area is titled "Scientific Pictures" and displays a grid of 24 thumbnail images of various fluorescently labeled cells and tissues.



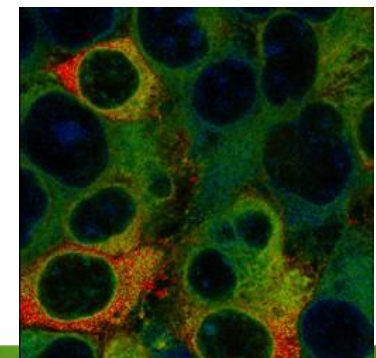
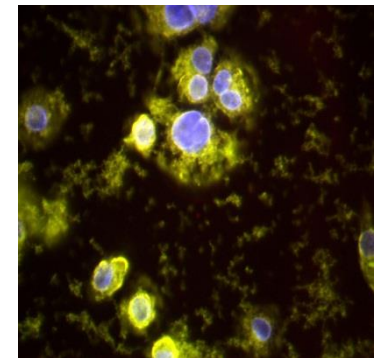
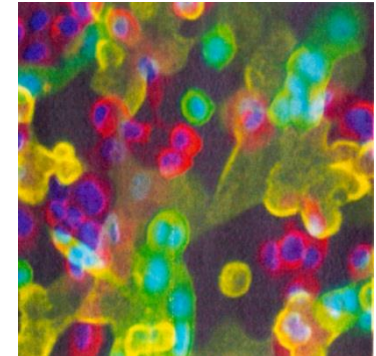
<http://www.evidenttech.com/>



# Sferyczne kropki kwantowe

<http://www.microscopyu.com/articles/fluorescence/index.html>

The screenshot shows the Nikon MicroscopyU website interface. The browser is Firefox, and the address bar shows the URL. The page features the Nikon logo and the text 'MICROSCOPYU THE SOURCE FOR MICROSCOPY EDUCATION'. A navigation menu includes links for HOME, TUTORIALS, GALLERIES, MICROSCOPY BASICS, SMALL WORLD, MUSEUM, DOWNLOADS, and CONTACT. The main content area is titled 'Home > Fluorescence Microscopy' and features a large image of cells with the heading 'Concepts in Fluorescence Microscopy'. Below this is a text block explaining the importance of fluorescence microscopy in cellular and molecular biology. A 'Review Articles' section lists various topics such as 'Introduction to Fluorescence Microscopy', 'Basics of FRET Microscopy', 'Fluorescence in situ Hybridization', 'Introduction to Fluorescent Proteins', 'Stereomicroscopy Fluorescence Illumination', 'Optical System and Detector Requirements', 'Total Internal Reflection Fluorescence', 'Multiphoton Microscopy', 'Nikon Fluorescence Filter Sets', 'Fluorescent Protein Imaging Parameters', 'Confocal Microscopy', and 'Laser Safety Basics'. On the right side, there is a search bar, a 'Small World Competition' section with links to contests and rules, an 'Interactive Flash Tutorial' with a graph, and a 'Microscope Safety' section.

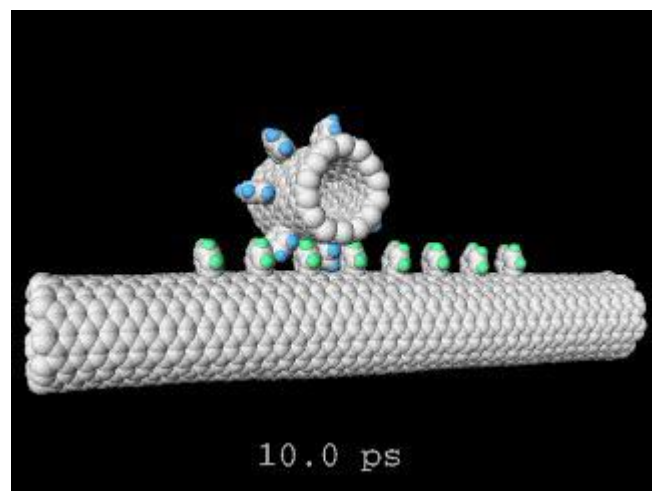
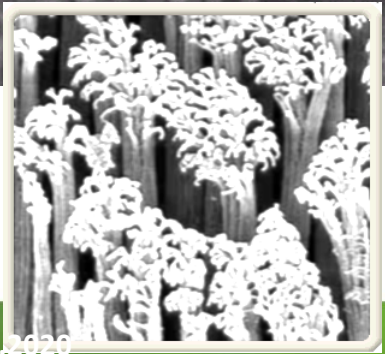
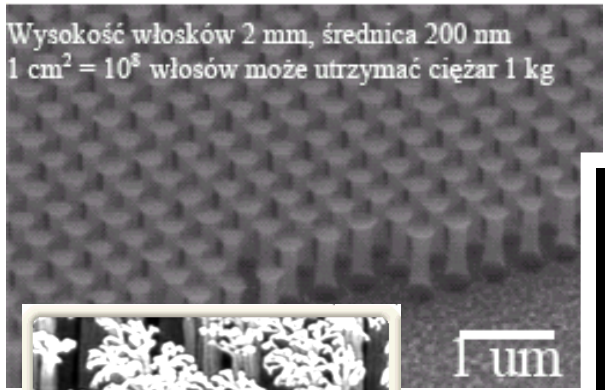
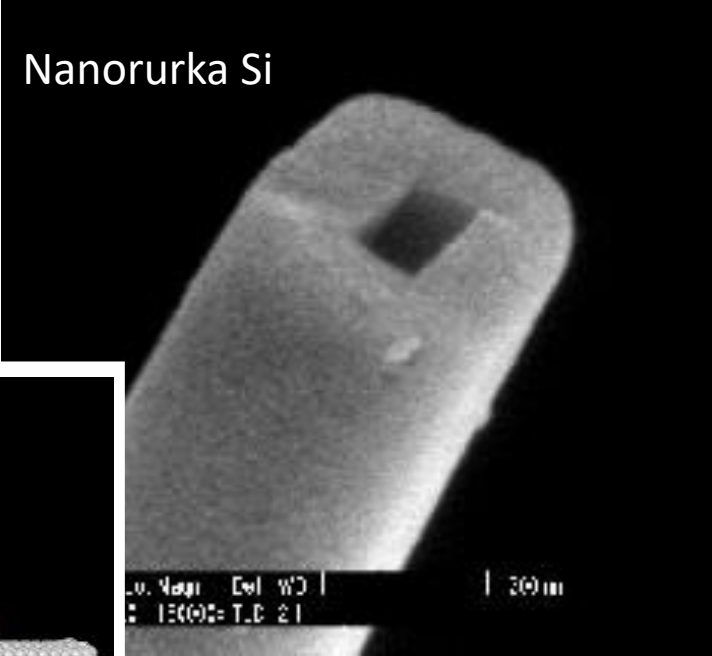
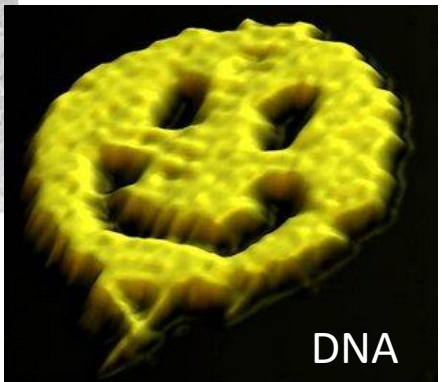
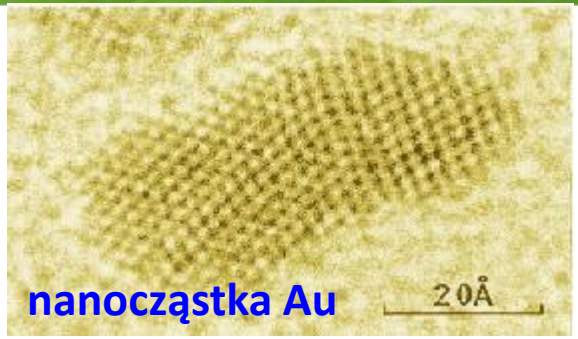
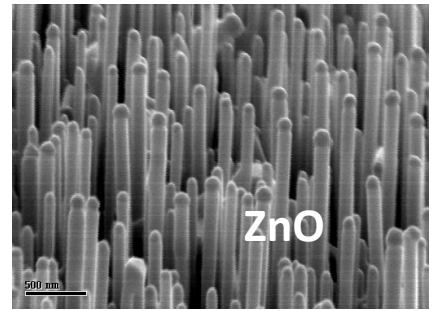
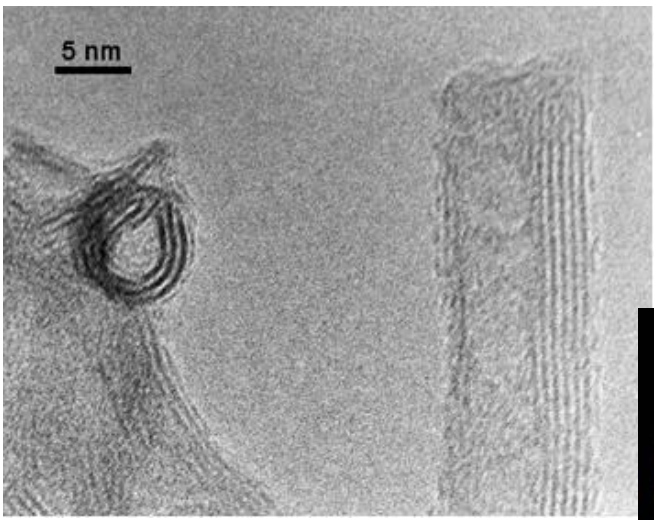


<http://www.evidenttech.com/>



# Nanorurki, nanowąsy i kropki

TiO2 nanotube materials



[www.ee.leeds.ac.uk/nanomsc/modules1.php](http://www.ee.leeds.ac.uk/nanomsc/modules1.php)

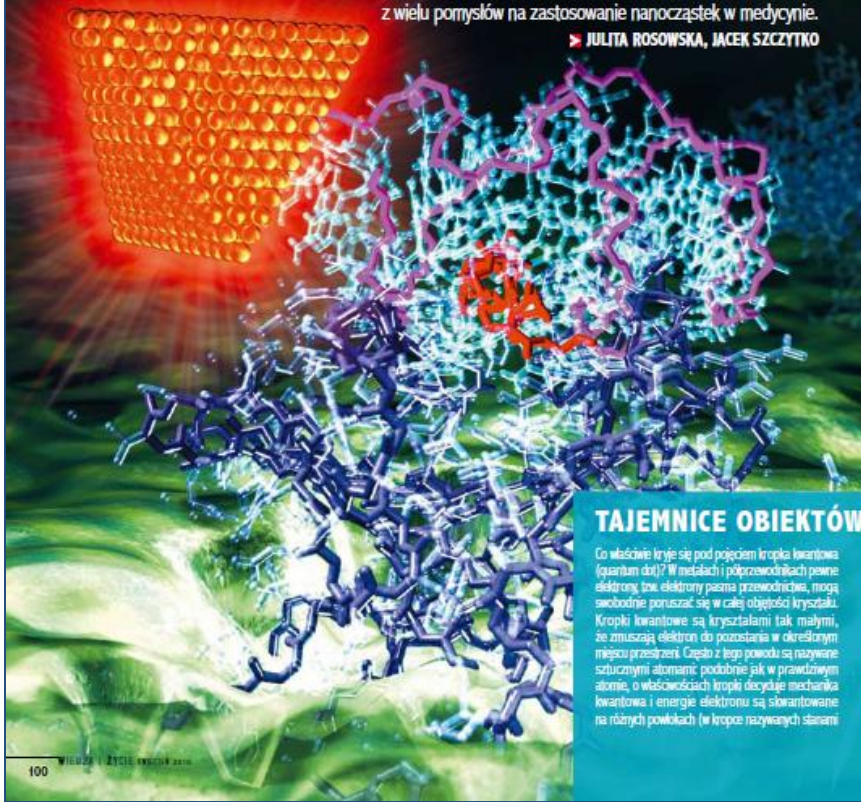


techniki medyczne >> fizyka kwantowa

## ZMYŚLNE

Wykrywanie guzów nowotworowych i przerzutów, dostarczanie leków prosto do celu, terapia komórkami macierzystymi, możliwość wnikliwego spojrzenia na embriogenezę... – to niektóre z wielu pomysłów na zastosowanie nanocząstek w medycynie.

► JULITA ROSOWSKA, IACEK SZCZYTKO



### TAJEMNICE OBIEKTÓW 0-WYMIAROWYCH

Co właściwie kryje się pod pojęciem kropka kwantowa (quantum dot)? W metalach i półprzewodnikach pewne elektrony tzw. elektrony pasma przewodniczą, mogą swobodnie poruszać się w całej objętości kryształu. Kropki kwantowe są kryształami tak małymi, że zmuszają elektrony do pozostania w określonym miejscu przestrzeni. Często z tego powodu są nazywane sztucznymi atomami, podobnie jak w prawdziwym atomie, o właściwościach kropki decyduje mechanika kwantowa i energia elektronu są skwantowane na różnych powłokach (w kropkach nazywanych stanami

kwantowych). A kontrolując tylko rozmiar kropki, można precyzyjnie zmieniać jej właściwości! Kropka kwantowa wielkości np. 5 nm może być oglądana jedynie przez silny mikroskop elektronowy lub sił atomowych. Gdyby taką kropkę polizować na piłe futbolowej, a piłkę umieścić na Księżycu, to stosunek rozmiaru kropki do piłki byłby taki jak rozmiar piły do wielkości Księżyc! Zdumiewająca jest jednak to, że ten mikroskopijny obiekt potrafi bardzo efektywnie świecić. Półprzewodnikowe kropki kwantowe należą

do tzw. fluoroforów, co oznacza, że są zdolne do emisji światła po wzbudzeniu. Nanokryształy półprzewodnikowe pochłaniają fotony światła o energii koniecznej do przeniesienia elektronu ze stanu podstawowego na jeden z wyższych, dostępnych stanów energetycznych. Gdy elektron wraca na niższy poziom, wzbudzona kropka kwantowa emituje światło. Więcej na temat kropek kwantowych można dowiedzieć się z artykułu prof. Mariana Grynberga „Najjaśniejsze kropki” („WiZ” 6/2011).

Wymiary przewidywane	Materiał	Barwa światła	Barwa światła
3	Kryształ półprzewodnikowy	Elektron może poruszać się swobodnie w całym wymiarze przestrzeni	Barwa zależy od rozmiaru
2	Stabilne kwantowe	Ruch elektronu jest ograniczony do płaszczyzny	Barwa zależy od rozmiaru
1	Drut kwantowy	Elektron może poruszać się jedynie w jednym kierunku	Barwa zależy od rozmiaru
0	Kropka kwantowa	Elektron jest całkowicie zlokalizowany	Barwa zależy od rozmiaru

## KROPKI

**K**IEDY W LATACH 80. grupie naukowców z Texas Instruments udało po raz pierwszy wytworzyć metodami litograficznymi kropki kwantowe, zaczęła się nowa era – ingerencji w świat zerowymiarowy. Stopniowo nabywaniu umiejętności precyzyjnej manipulacji materią w nanoskali towarzyszyło pytanie, jak można wykorzystać niezwykle właściwości fizykochemiczne nowo odkrytych nanoobjektów. Więcej naukowców, często wkraczające w świat fantastyki, wiązały się głównie z elektroniką, technologiami informatycznymi czy optyką. Nanokryształy półprzewodnikowych nie kojarzono z biologią lub medycyną. Dziś wiadomo, że te nadzwyczaj małe, ale jednocześnie niezwykle trwałe obiekty, stwarzają zupełnie nowe możliwości walki z chorobami.

Wielu przełomowych odkryć dokonano dzięki szczęśliwemu zbiegowi okoliczności. Podobnie było w przypadku kwantowych kropek. Pomysł na ich zastosowanie w medycynie zrodził się nagle. Dr Louis Brus i jego współpracownicy z Bell Laboratories, prowadząc na początku lat 80. doświadczenia z półprzewodnikowymi nanokryształami, dokonali zadziwiającego odkrycia – nanokryształy, chociaż wykonane z tego samego materiału, świeciły różnymi kolorami!

Celemu zamieszaniu winny był ich rozmiar. Okazało się, że im mniejsza kropka, tym krótsza długość fali emitowanego przez nią światła (a więc inny kolor jej fluorescencji). W ten sposób kropki demonstrowały swoją kwantową naturę – zasada niezamocności Heisenberga przewidywała bowiem, że im lepiej zlokalizujemy elektron, tym bardziej nieoznaczony musi mieć on pęd, a więc tym większą ma energię kinetyczną (i emituje foton o większej energii).

Inni badacze, początkowo również związani z Bell Laboratories – Moungi Bawendi i Paul Alivisatos – znaleźli sposób, by uczynić kropki kwantowe rozpuszczalnymi w wodzie i pokryły je nieorganiczną powłoką. Wystarczyło jesz-

cze oświetlić nanokryształy ultrafioletem i kropki zaświeciły w świetle widzialnym. Oto skrócona historia powstania niezwykle ciekawych nanoobjektów, które, mimo że wykonane z tego samego półprzewodzącego materiału i wzbudzone tylko jednym źródłem światła, emitują całą paletę barw.

### Ultraczułe znaczniki

Głównym składnikiem żywych komórek jest woda. Pojedyncze komórki oglądane w mikroskopie optycznym są w zasadzie przezroczyste. Od lat stosuje się więc różnorodne barwniki fluorescencyjne (tzw. znaczniki albo markery), które umożliwiają nam wgląd do wnętrza żywych bądź utrwalonych komórek. Jaki jest idealny marker?

W przypadku analizy jednokolorowych powinien być przede wszystkim biokompatybilny (czyli zgodny biologicznie z obserwowanymi tkankami), nietoksyczny dla próbki, wystarczająco jasny i trwały, a więc nie ulegający szybkiemu rozkładowi. Sprawa komplikuje się w przypadku analizy wielokolorowych. Tu, oprócz wspomnianych cech, pożądanym jest właśnie widmo emisji, które znacznie ułatwia dopasowanie różnych długości fal emitowanego światła do konkretnych znaczników. Dla obniżenia kosztów byłoby też wygodnym i prostym jego wykonania najlepiej byłoby wzbudzać wszystkie fluorofory jednym źródłem światła.

Stosowanie konwencjonalnych znaczników, takich jak organiczne barwniki czy naturalnie fluorescujące białka, może być pod wieloma względami problematyczne i często bardzo ogranicza sposób przeprowadzenia eksperymentu. Przede wszystkim, tradycyjne barwniki szybko ulegają rozkładowi i tym samym uniemożliwiają obserwację długich procesów zachodzących w komórkach bądź też w przestrzeniach międzykomórkowych – np. śledzenie kolejnych generacji komórek podczas embriogenezy, czyli rozwoju zarodkowego. Barwniki mogą też zmieniać intensywność emisji pod

# Nanomedycyna





# Nanomedycyna

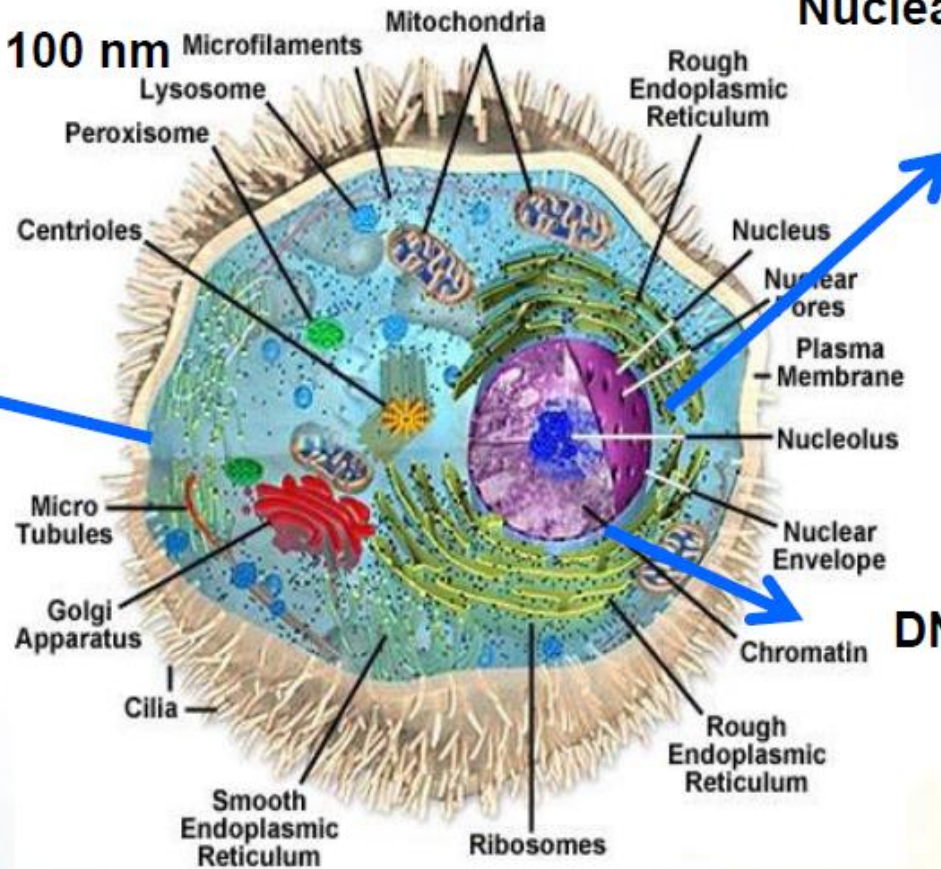
Cell membrane:

endocytosis up to ~ 100 nm

Lipid membrane:

5.5 nm across

Nuclear membrane: <40 nm

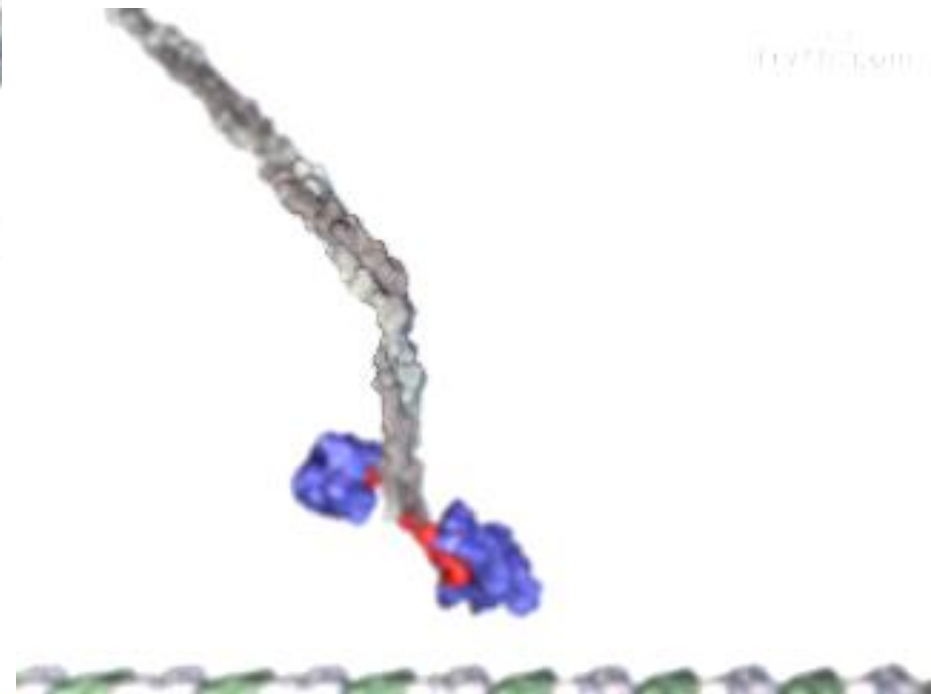
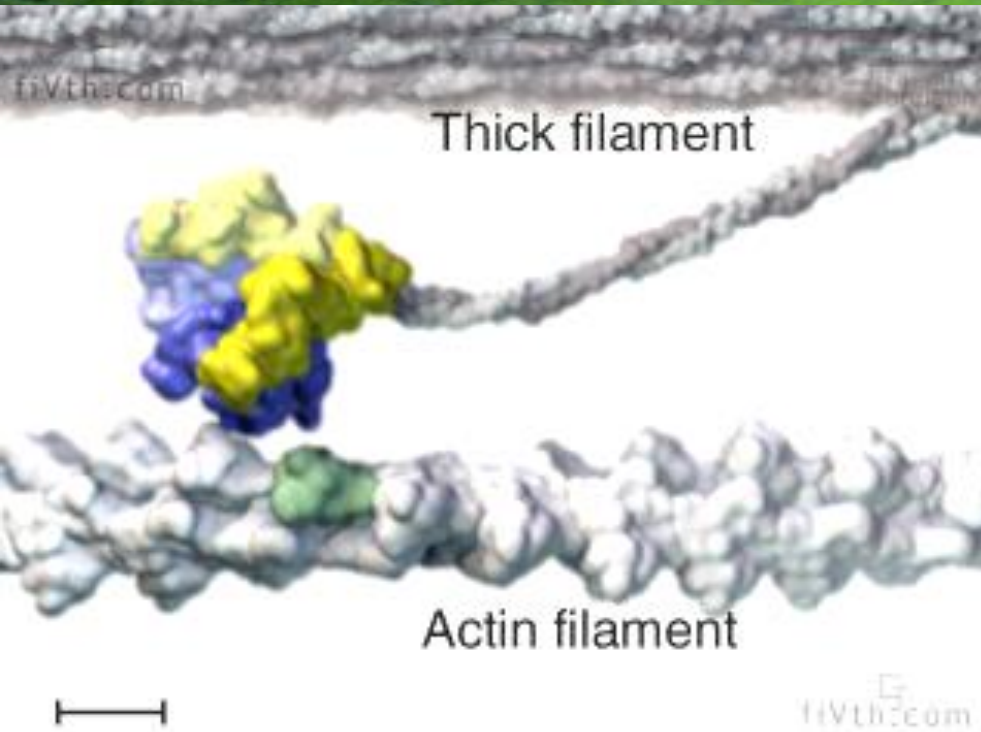


DNA-histone complex:

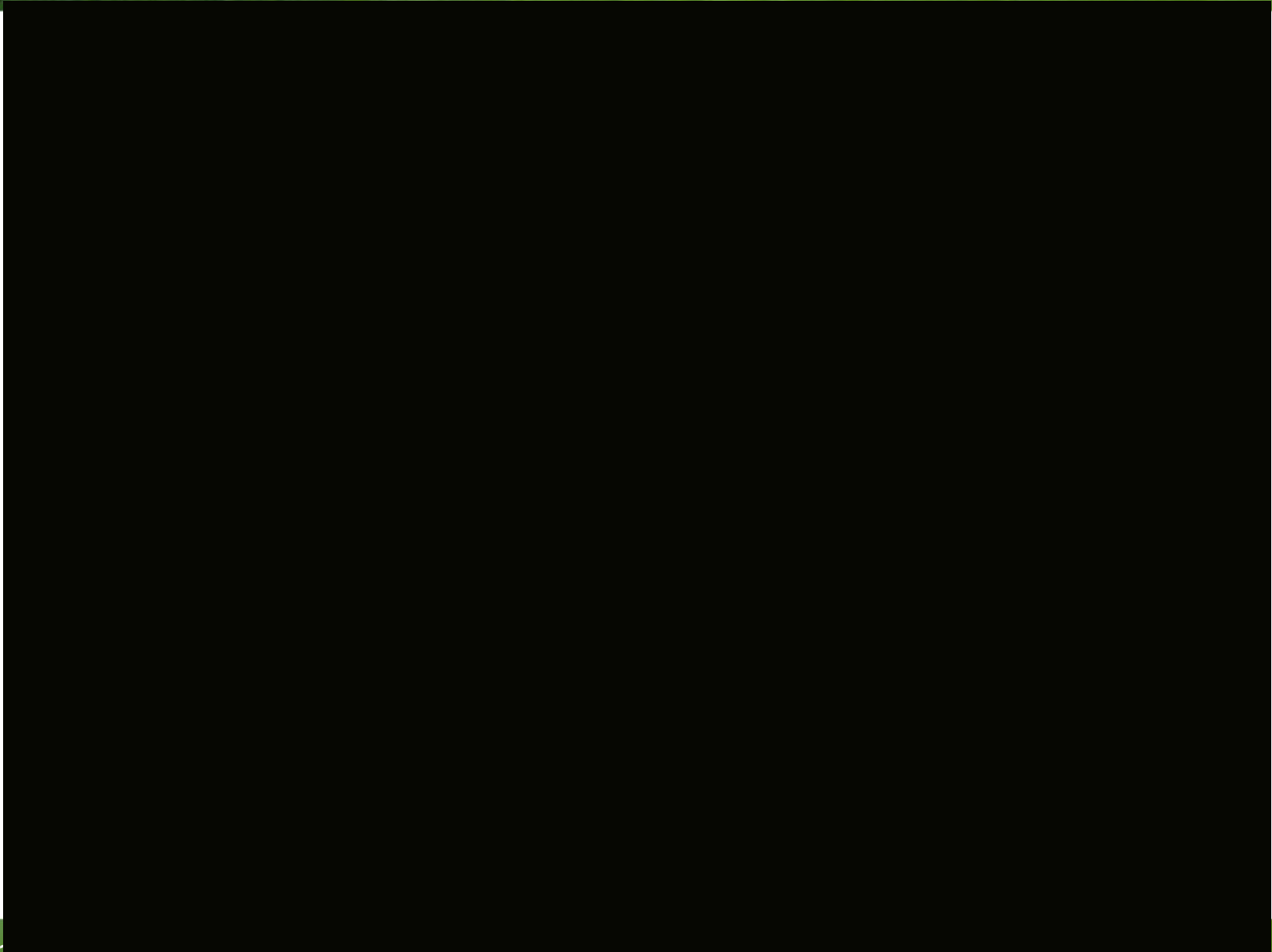
6.7- 8.5 nm



# Nanomedycyna



# Nanomedycyna

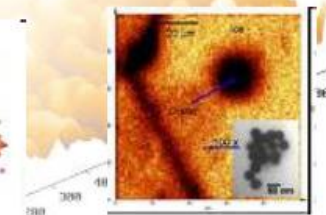
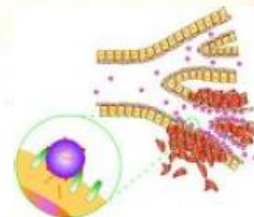
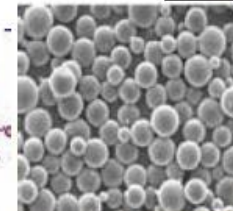
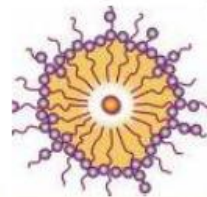
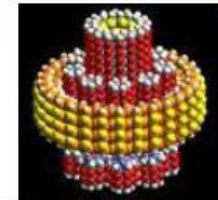


# Nanomedycyna

**Nanomedicine** may be defined as the **monitoring, repair, construction and control of human biological systems at the molecular level**, using engineered nanodevices and nanostructures.

- a **new field** created by the convergence of recent advances in **Nanotechnology** with **Biology** and **Medicine**.
- Nanomedicine offers the prospect of powerful new tools for the treatment of human diseases and the augmentation of human biological systems.

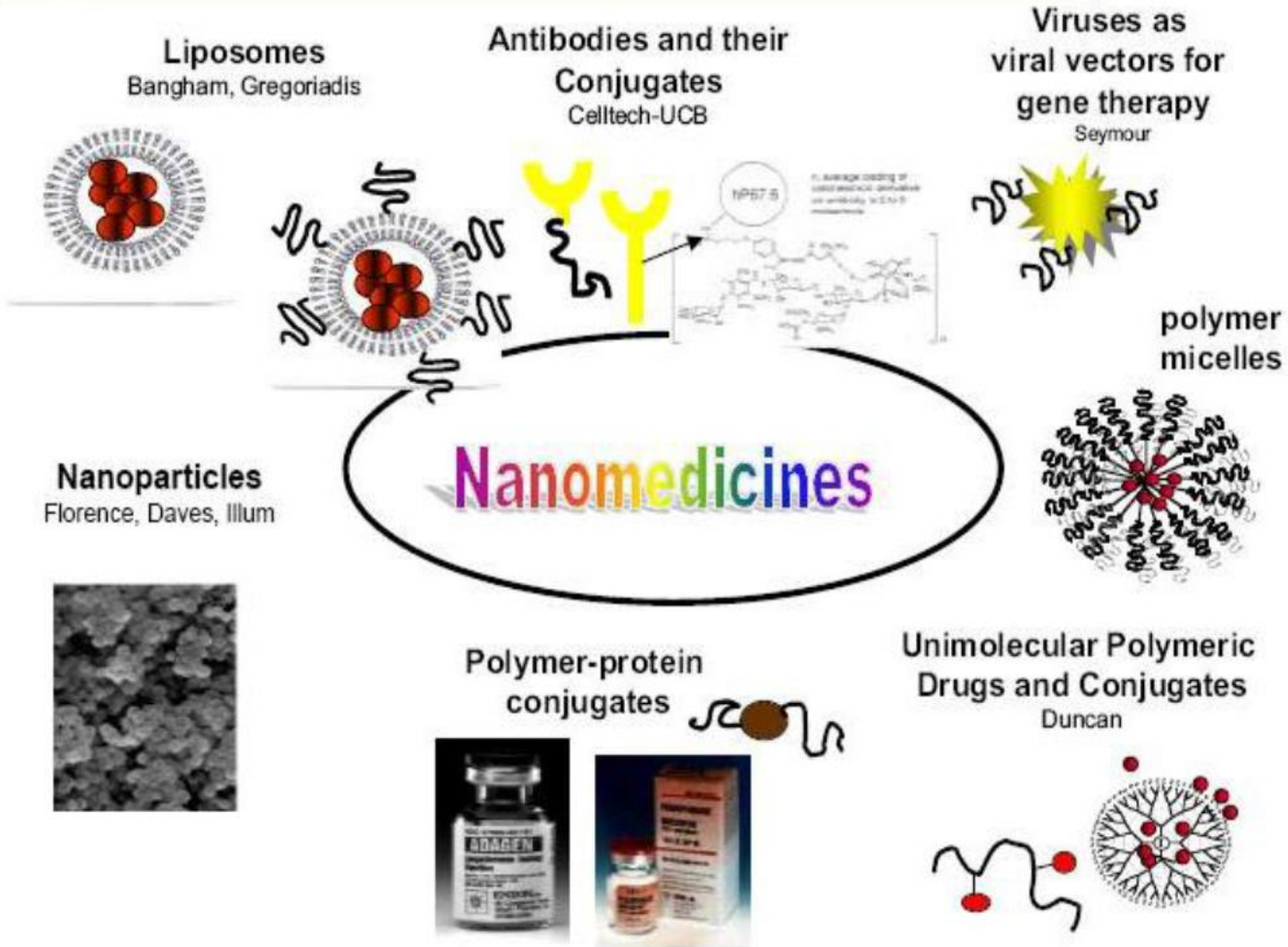
- **Liposomes**
- **Polymer NPs (Nanospheres, Nanocapsules)**
- **Solid Lipid NPs, Nanocrystals**
- **Dendrimers**
- **Fullerenes**
- **Inorganic NPs (Gold & Magnetic) and Quantum Dots**





# Nanomedycyna

Many "Nanomedicines" are already in routine clinical use



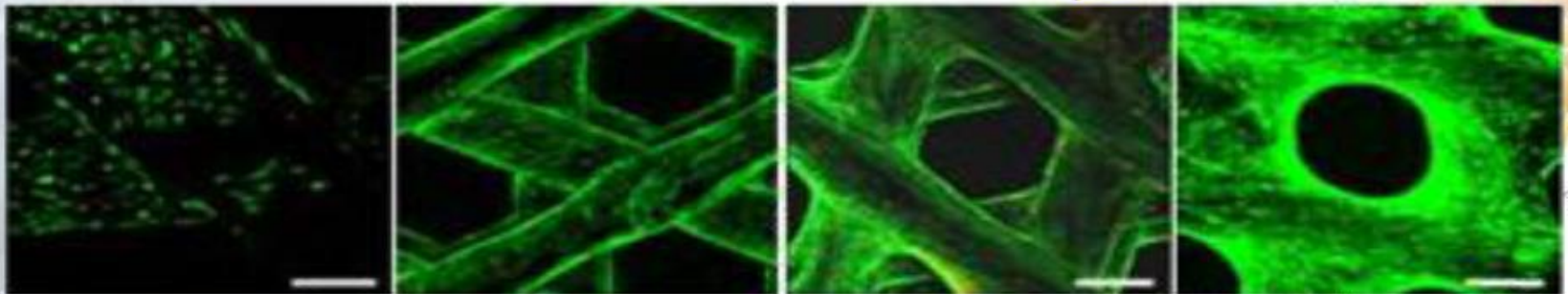
# Nanomedycyna

**Regenerative Medicine** is an emerging Interdisciplinary field of Research & Clinical applications focused on:

- Repair,
  - Replacement,
  - Regeneration of Cells, Tissues, or Organs,
- to restore congenital defects, disease, and trauma.

It uses a combination of Technological Approaches (**Genetic engineering, Stem Cells, Soluble Molecules, Tissue engineering, etc**) beyond traditional Transplantation & Replacement therapies.

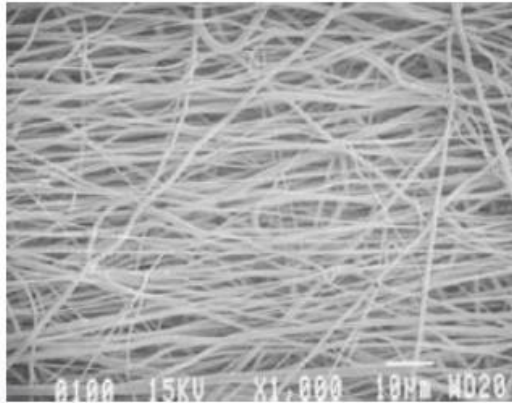
**Example: Evolution in time of Cell Colonization**



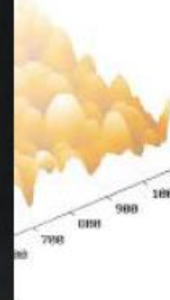
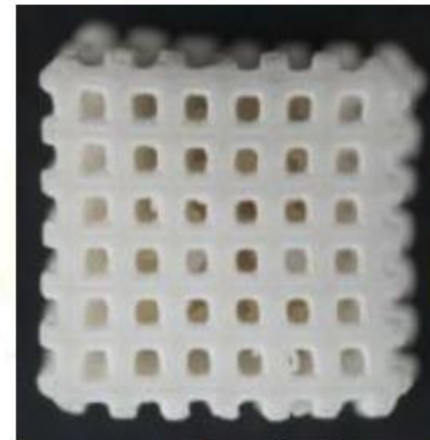
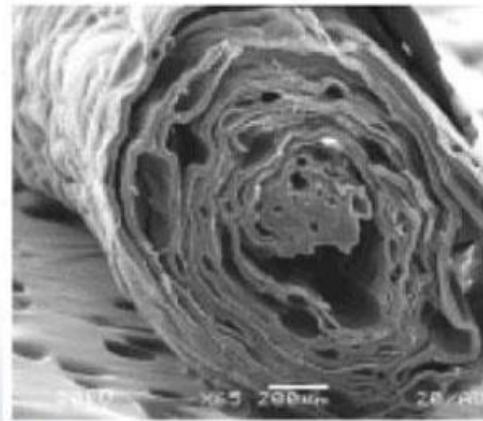
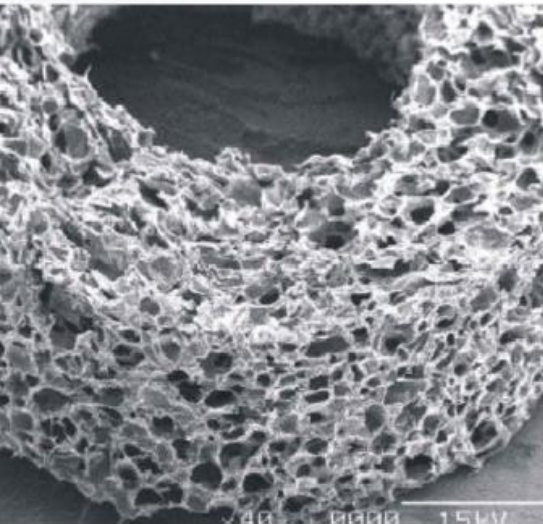


# Nanomedycyna

## Scaffolds.....



- Various textures and materials
- Encourage cells to grow
- Allow nutrients to permeate
- Won't harm the patient



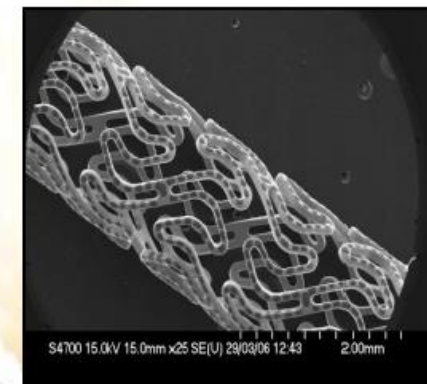
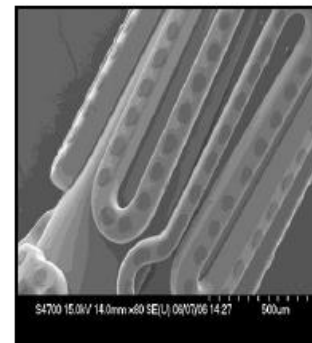
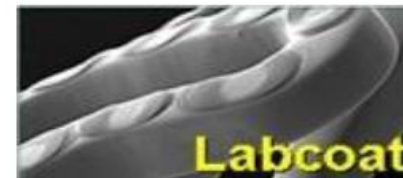
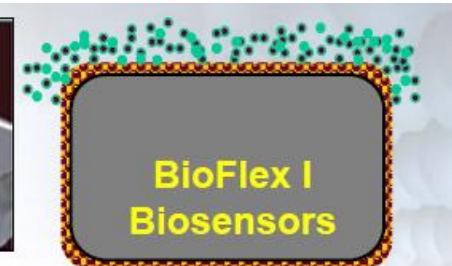
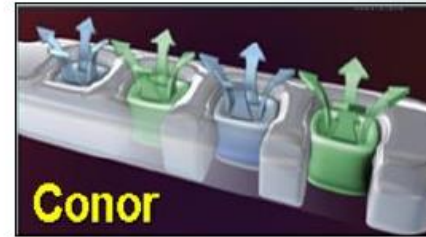


# Nanomedycyna

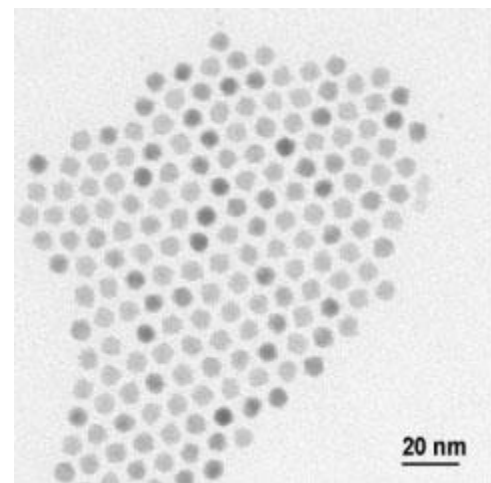
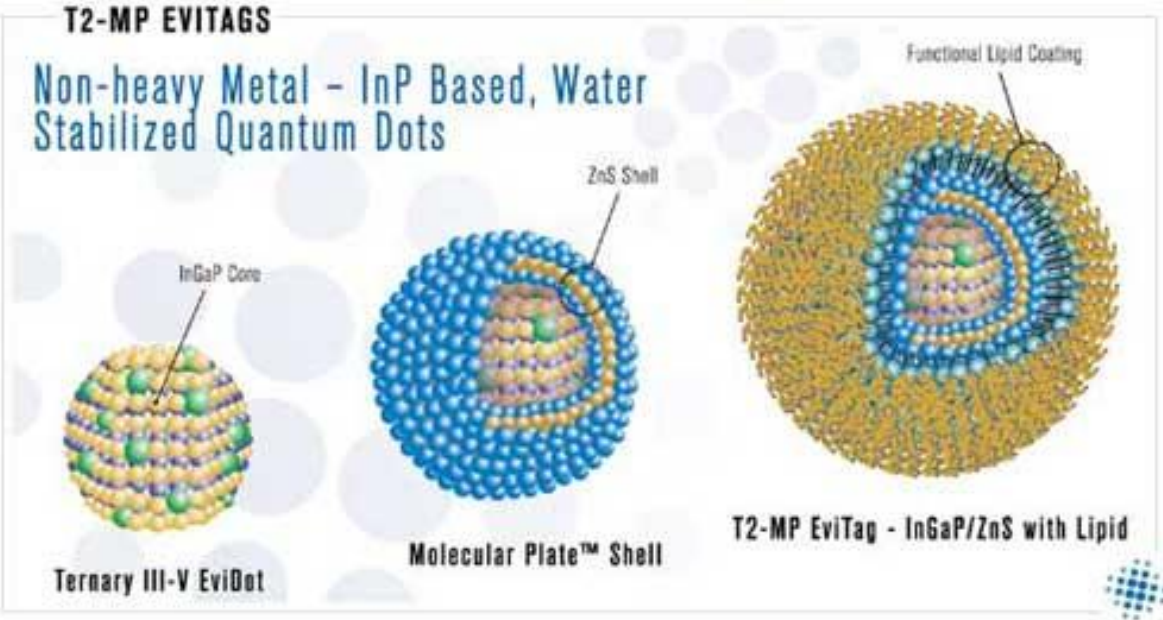
- Bioabsorbable polymers
- Controlled polymer application
- Non polymer release (porous surface)

## Directional Drug Delivery...

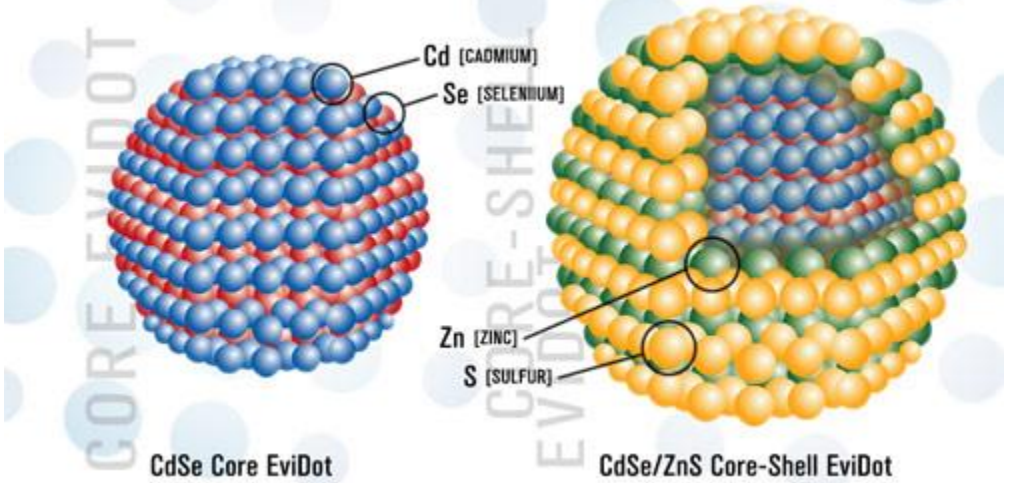
- Selective coating on the outside surface of the stent
- Reduced drug/polymer Luminal surface BMS
- Drug only where needed



# Kropki kwantowe + bio



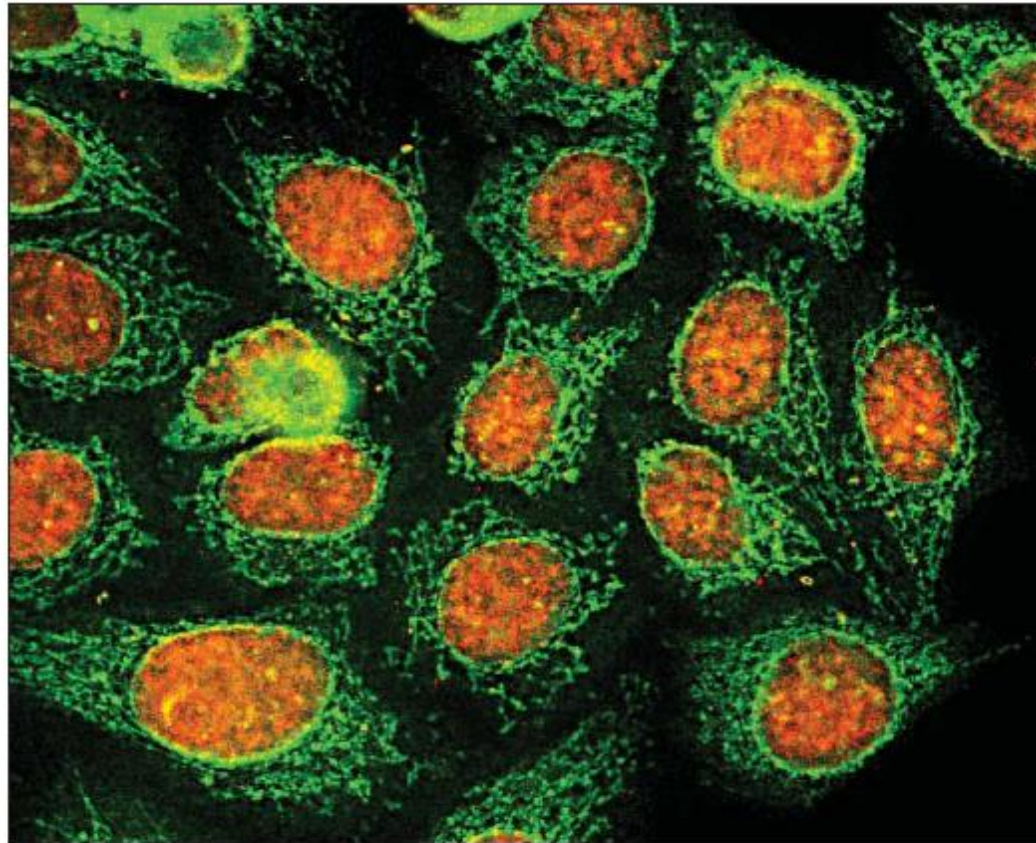
A PbSe Quantum Dot as seen through a transmission electron microscope (TEM).



<http://www.evidenttech.com/>



# Kropki kwantowe + bio

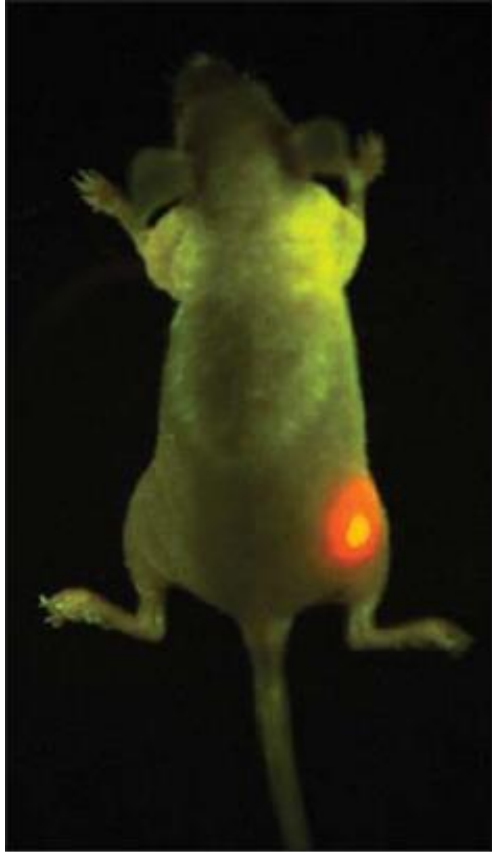


Double duty. Green quantum dots cling to mitochondria in the cytoplasm; orange ones label proteins in the same cells' nuclei.

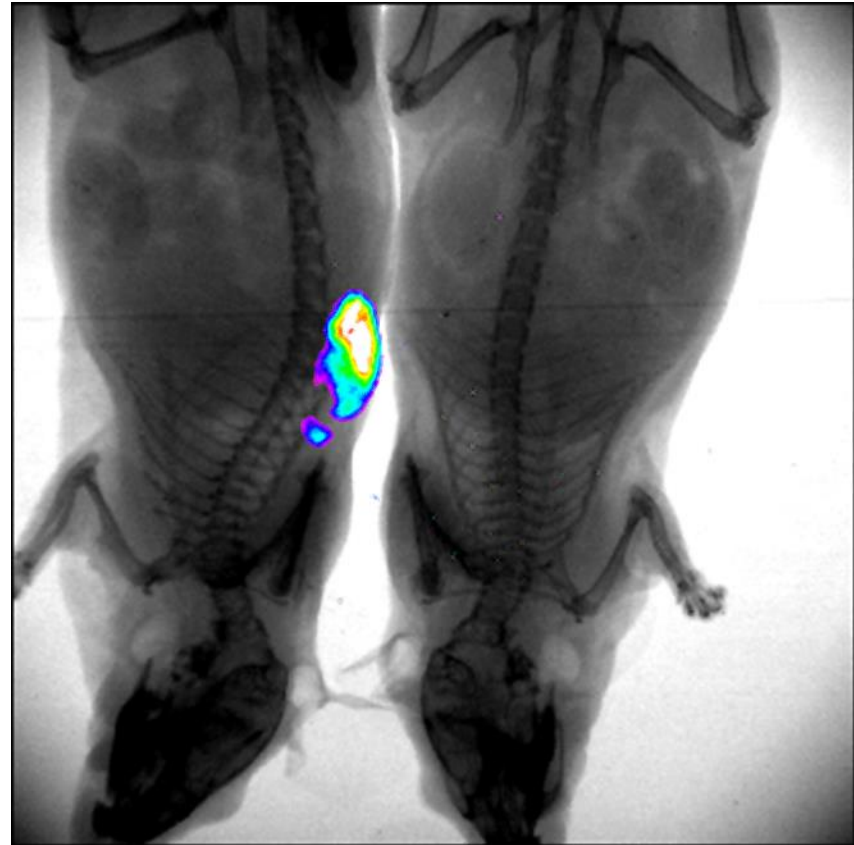
*Science*, Vol 300, Issue 5616, 80-81 , 4 April 2003



# Kropki kwantowe + bio

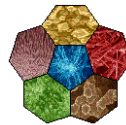
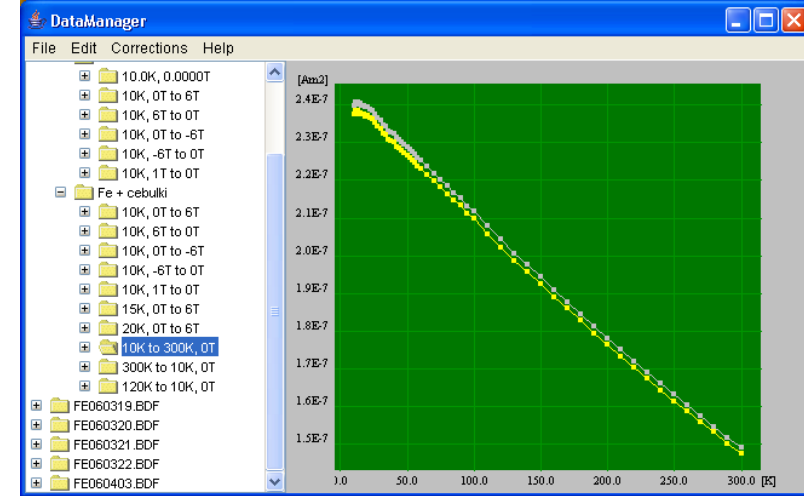
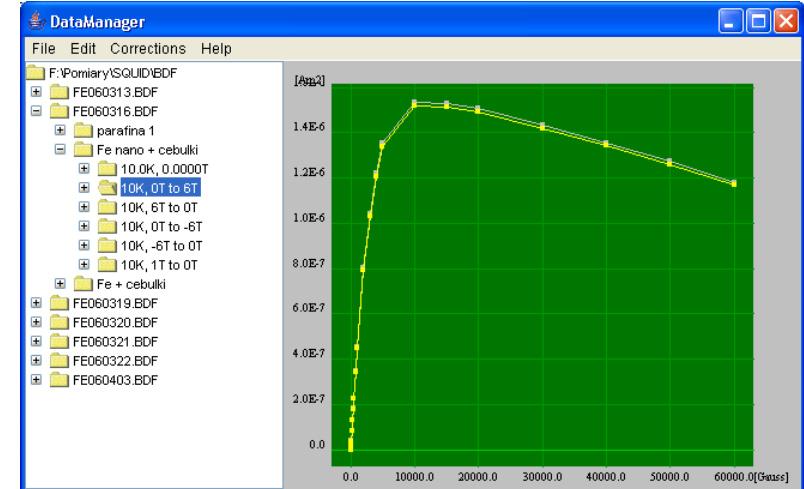
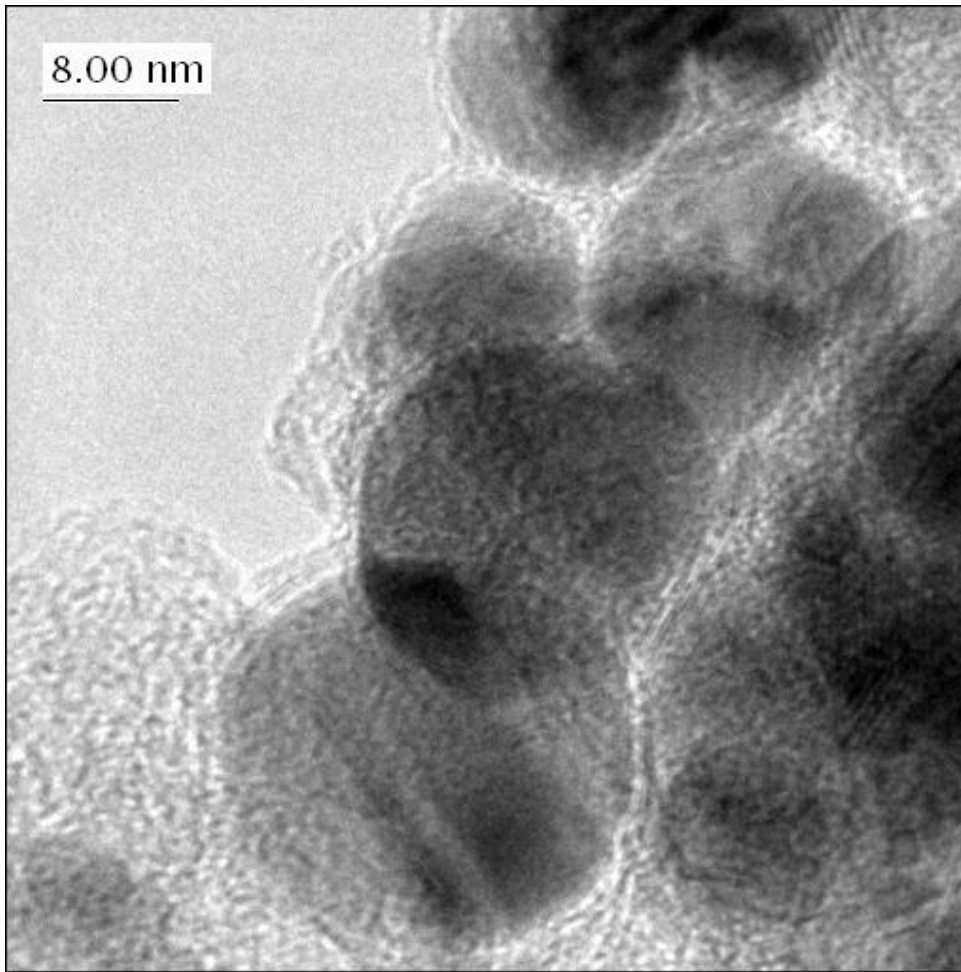


**Bull's-eye.** Red quantum dots injected into a live mouse mark the location of a tumor.



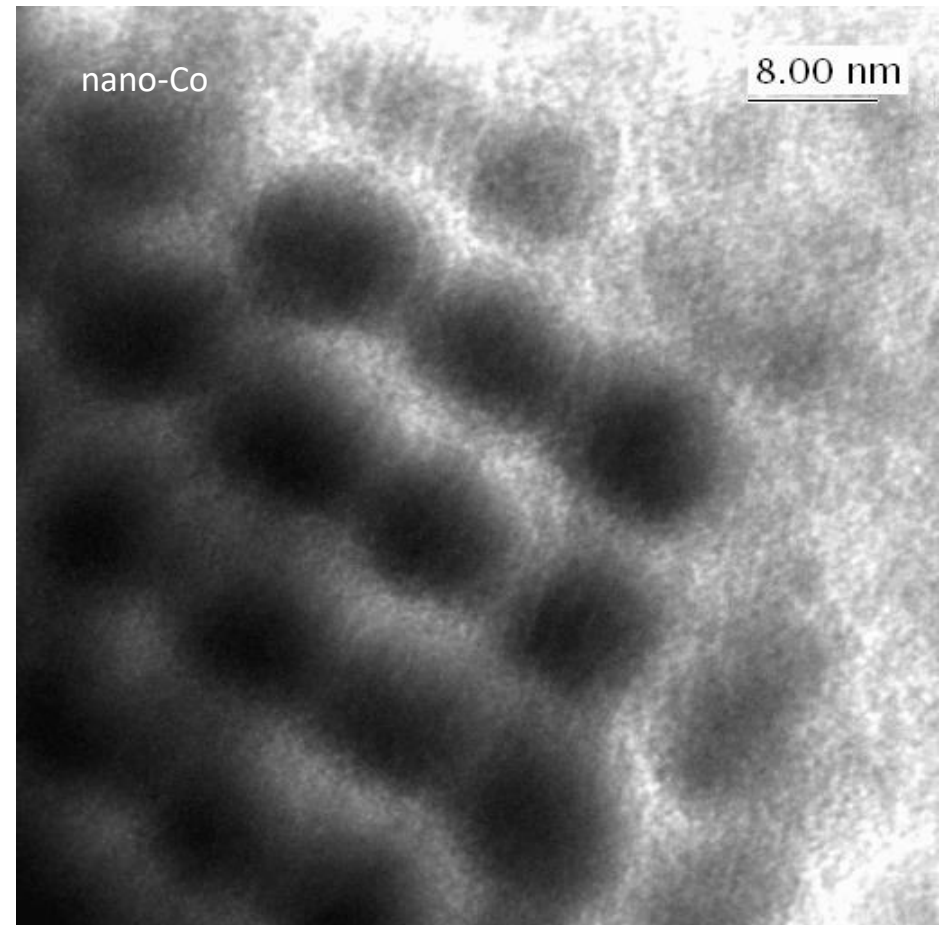
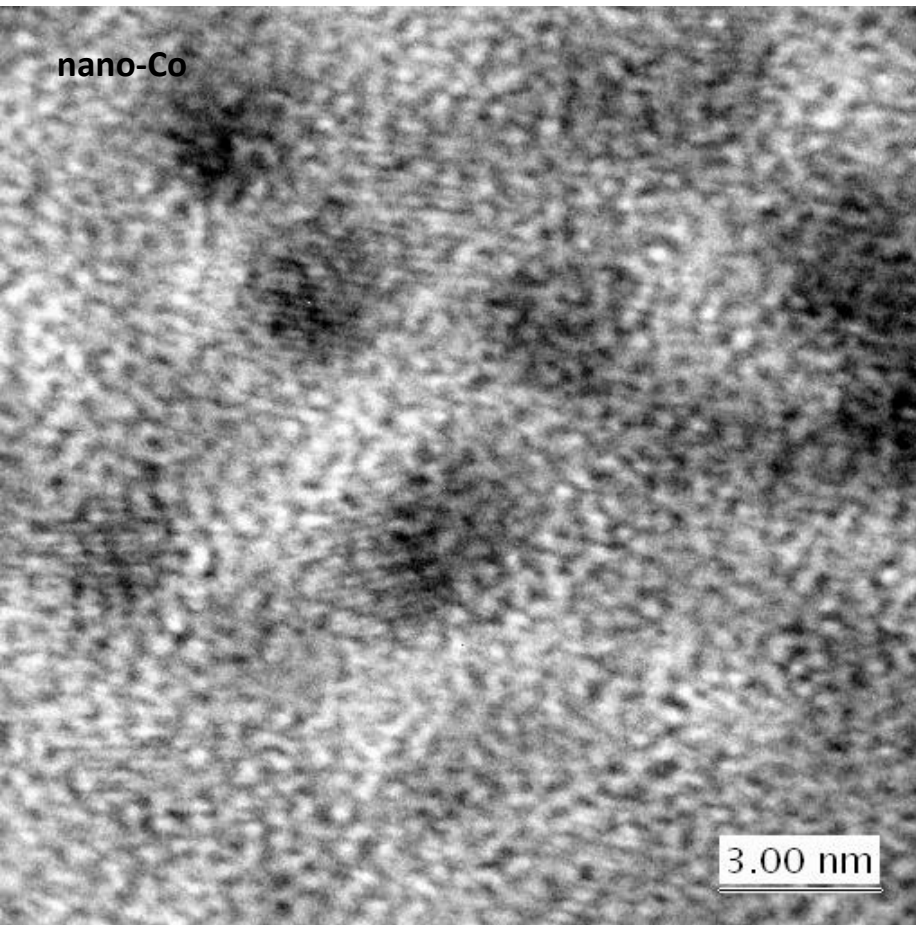
*Science*, Vol 300, Issue 5616, 80-81 , 4 April 2003

# Magnetyczne kropki kwantowe





# Magnetyczne kropki kwantowe





# Magnetyczne kropki kwantowe



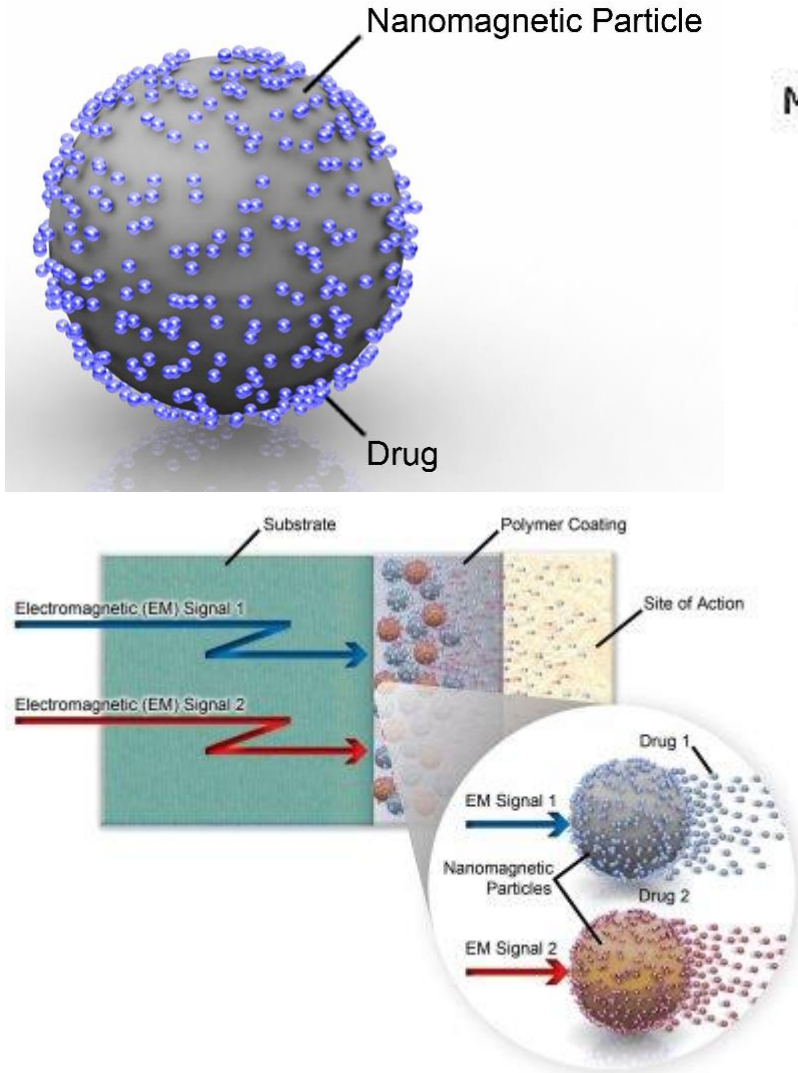
# Magnetyczne kropki kwantowe



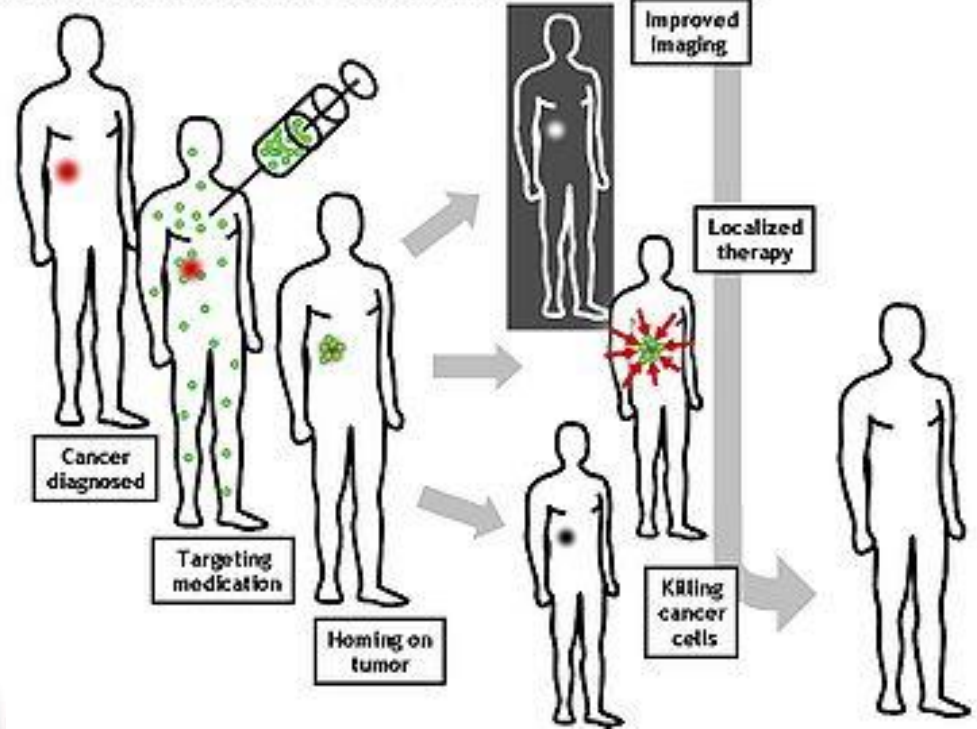
Akademia Górniczo Hutnicza



# Magnetyczne kropki kwantowe

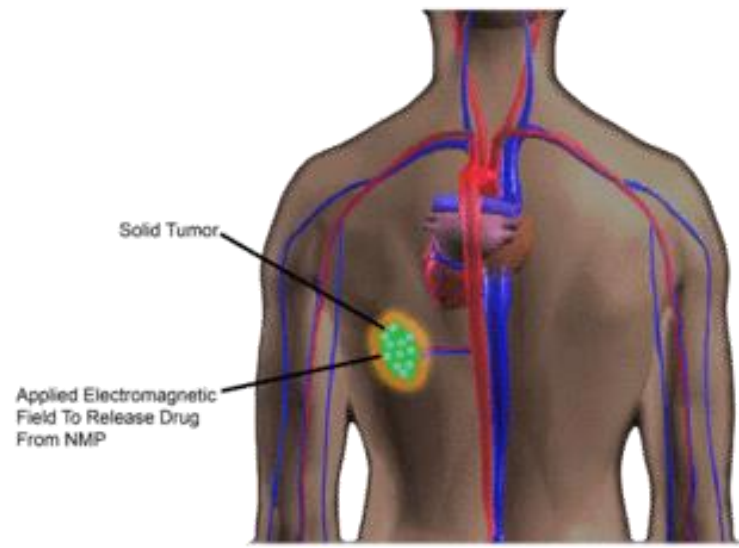
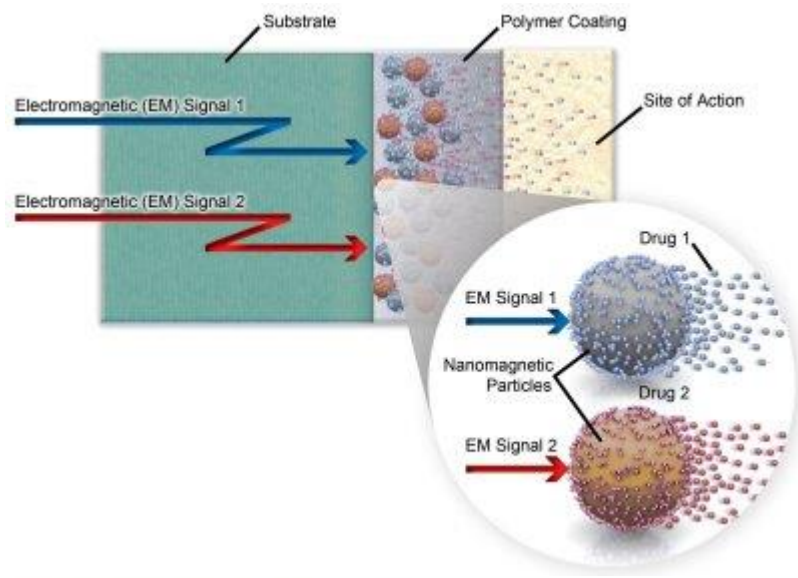
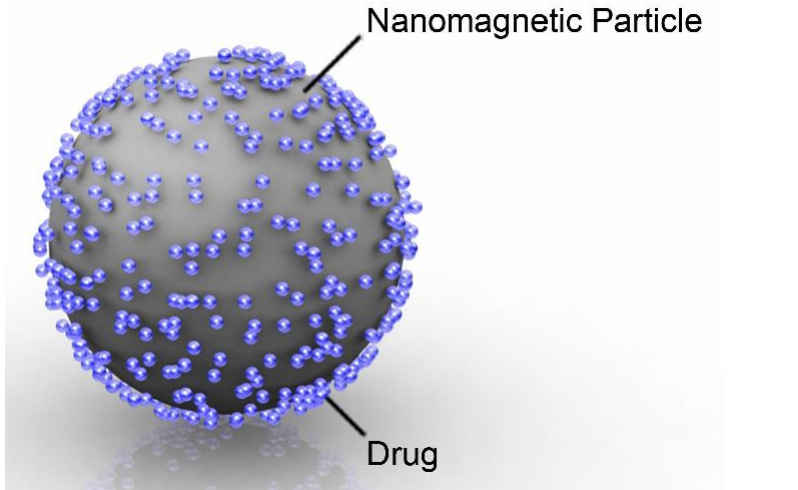


## Molecular imaging & therapy

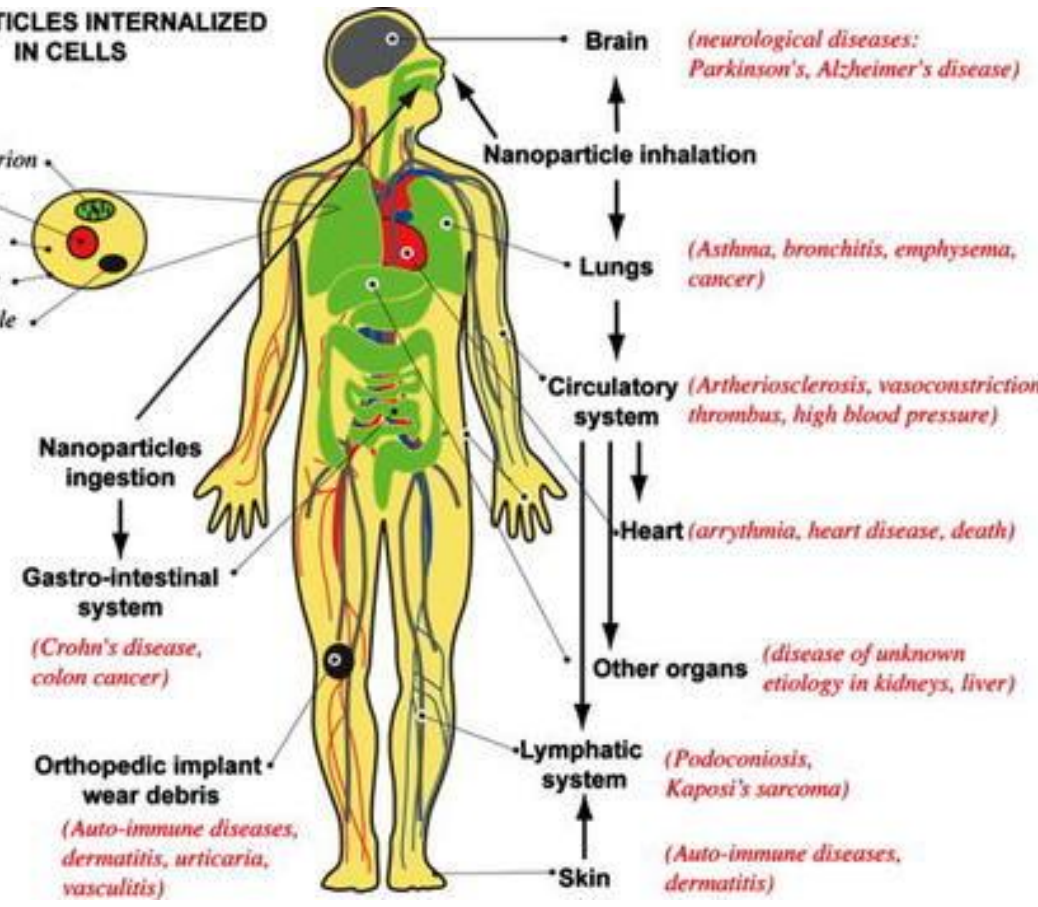
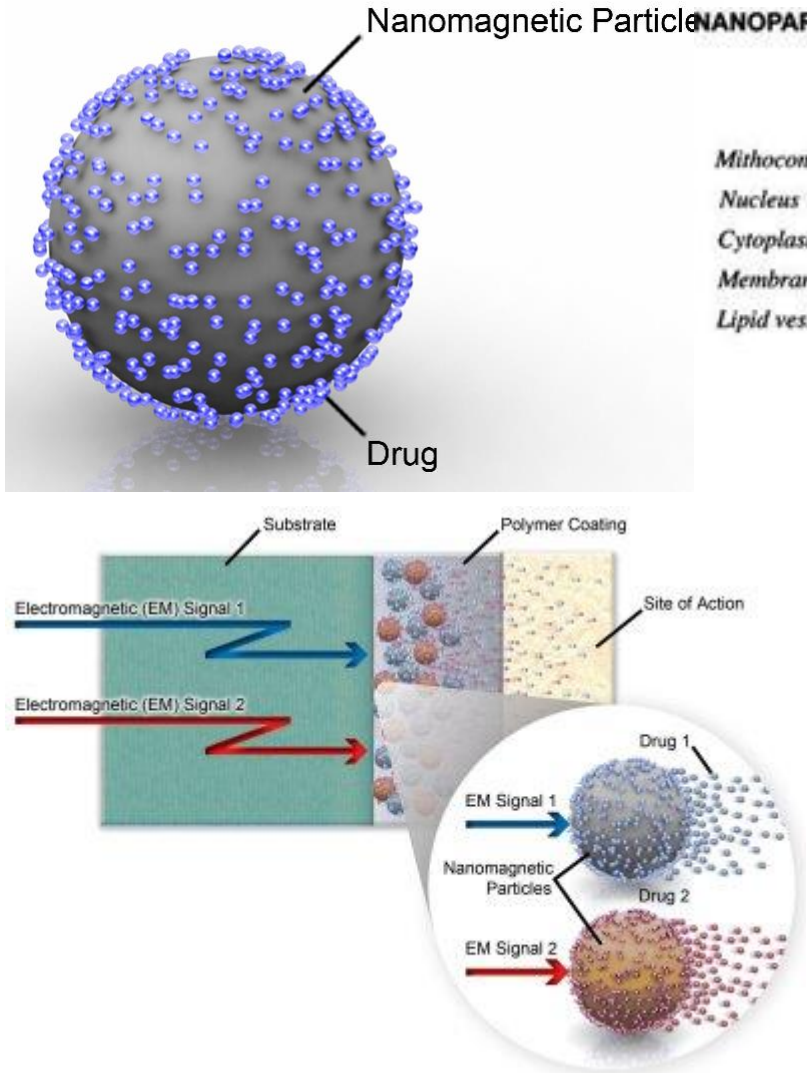




# Magnetyczne kropki kwantowe



# Magnetyczne kropki kwantowe





# Zagrozenia



Paul Karason

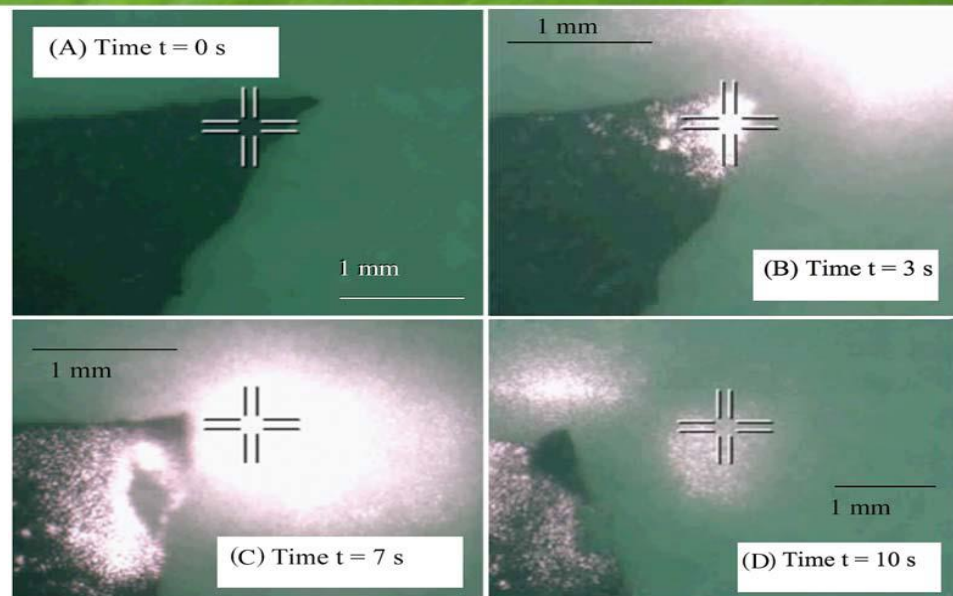
**Argyria**



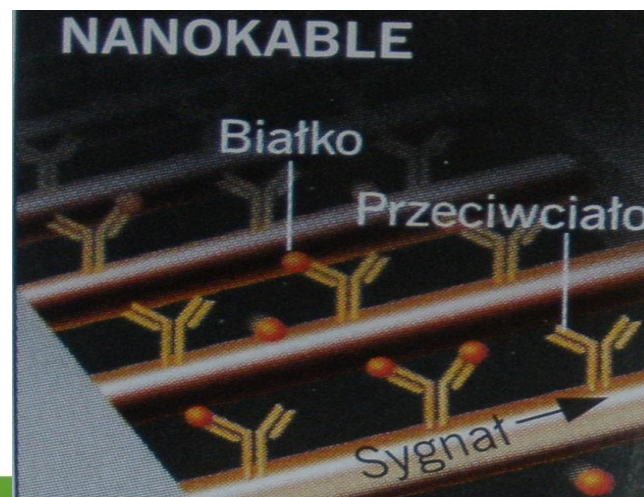
# Nowe urządzenia



Glukometr z nanorurek , University of Illinois  
<http://www.sciencedaily.com/releases/2004/12/041214081957.htm>

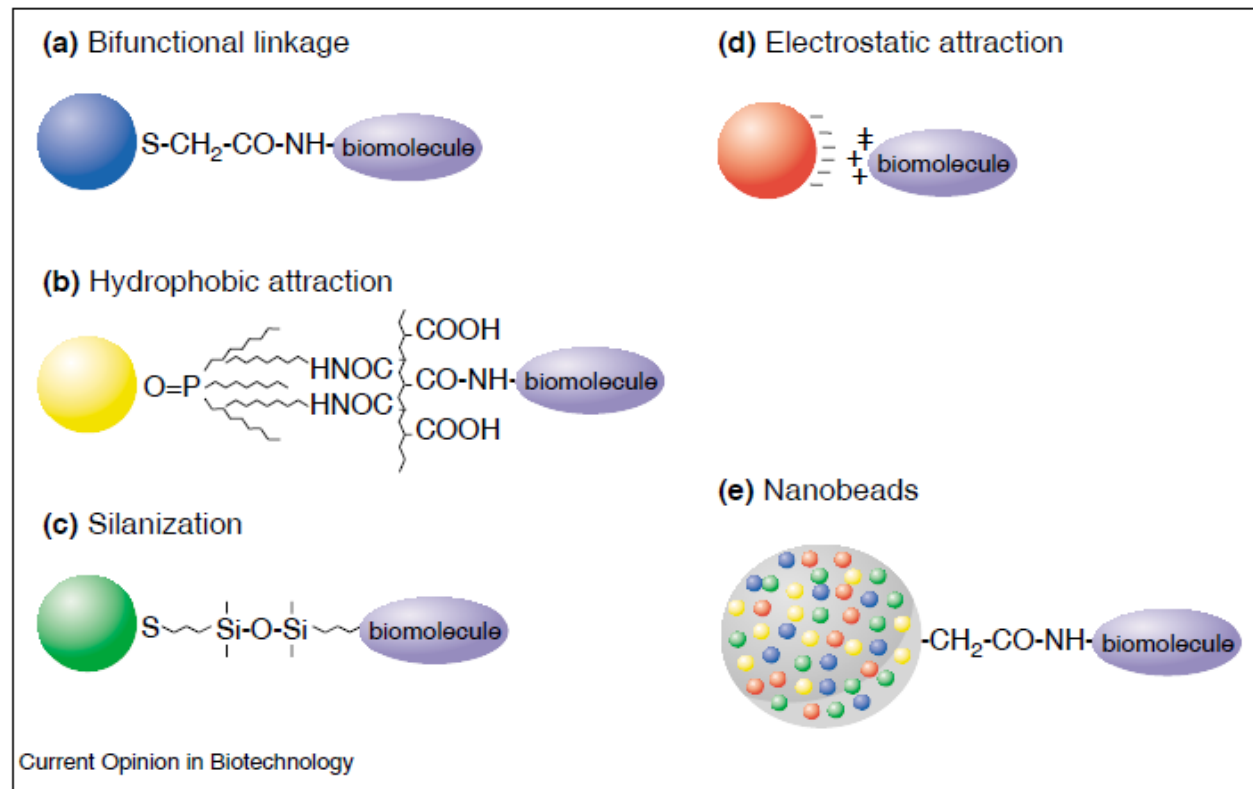


Seria eksplozji nanorurek użytych do likwidacji komórek nowotworowych



# Sferyczne kropki kwantowe

Schematic illustration of bioconjugation methods. (a) Use of a bifunctional ligand such as mercaptoacetic acid for linking QDs to biomolecules [8\*\*]. (b) TOPO-capped QDs bound to a modified acrylic acid polymer by hydrophobic forces. (c) QD solubilization and bioconjugation using a mercaptosilane compound [7\*\*]. (d) Positively charged biomolecules are linked to negatively charged QDs by electrostatic attraction [9]. (e) Incorporation of QDs in microbeads and nanobeads [20\*\*].

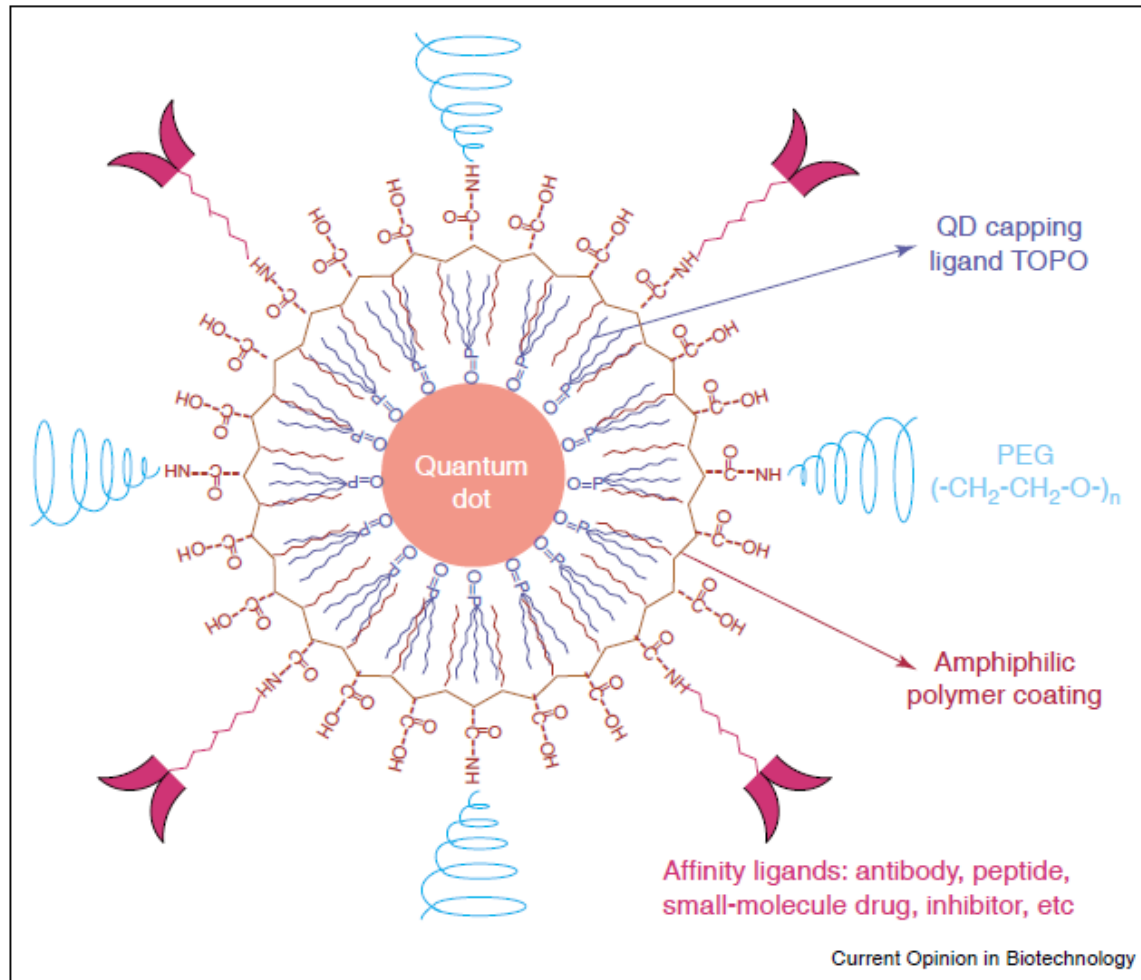


## Luminescent quantum dots for multiplexed biological detection and imaging

W. Chan et al. Current Opinion in Biotechnology 2002, 13:40–46

# Sferyczne kropki kwantowe

*In vivo molecular and cellular imaging with quantum dots* Xiaohu Gao *Current Opinion in Biotechnology* 2005, 16:63–72

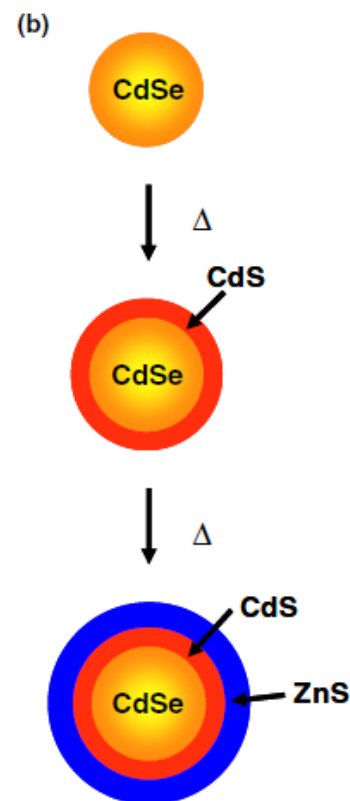
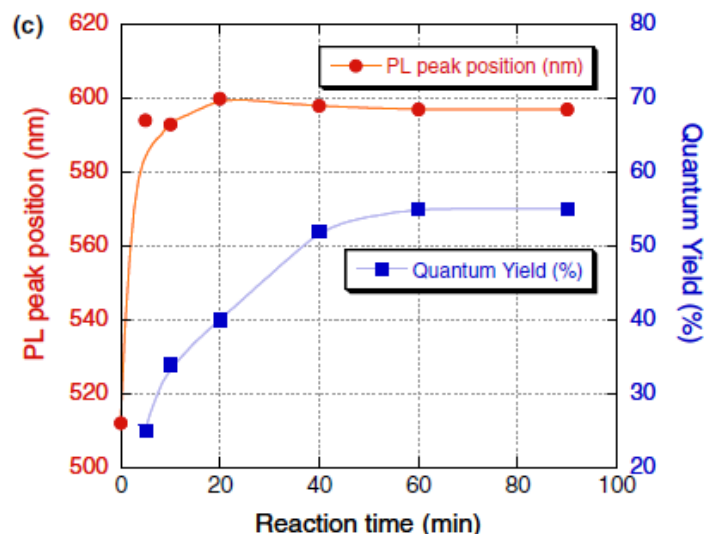
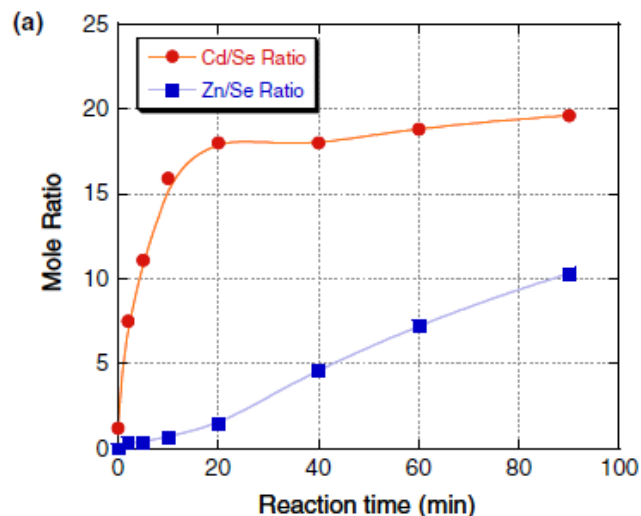


The structure of a multifunctional QD probe. Schematic illustration showing the capping ligand TOPO, an encapsulating copolymer layer, tumor-targeting ligands (such as peptides, antibodies or small-molecule inhibitors), and polyethylene glycol (PEG).



# Sferyczne kropki kwantowe

Synthesis of multi-shell nanocrystals by a single step coating process, Nanotechnology 2006



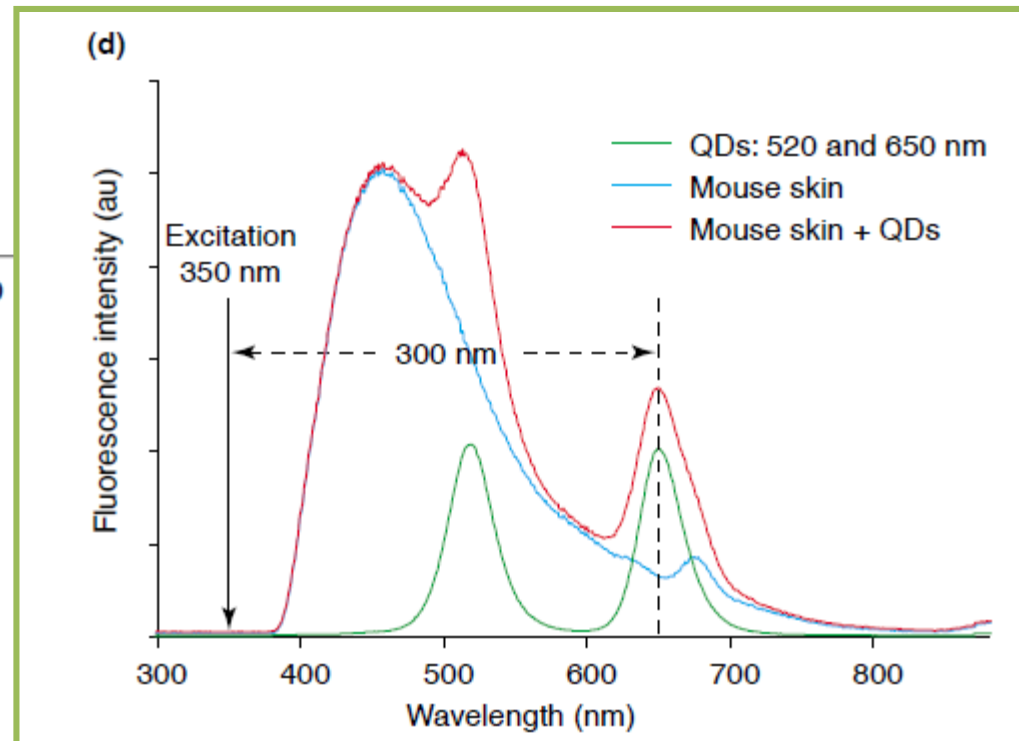
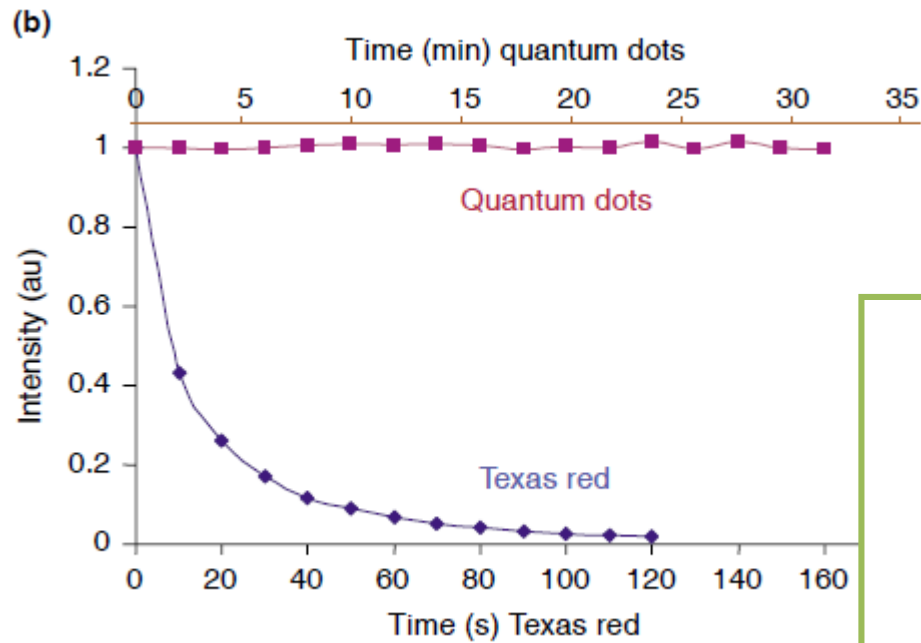
Quantum Yield =  
wydajność kwantowa

**Wydajność kwantową** fluorescencji definiuje się jako stosunek liczby wyemitowanych fotonów do liczby fotonów promieniowania wzbudzającego, pochłoniętych przez substancję w tym samym czasie i tej samej objętości.

Figure 1. (a) Elemental ratios of Cd to Se and Zn to Se (measured by ICP), (b) a conceptual drawing of the CdSe core  $\rightarrow$  CdSe/CdS core/shell  $\rightarrow$  CdSe/CdS/ZnS core/multi-shell structure, and (c) PL peak positions, and QYs of CdSe/CdS/ZnS nanocrystals taken at different time intervals during the reaction.

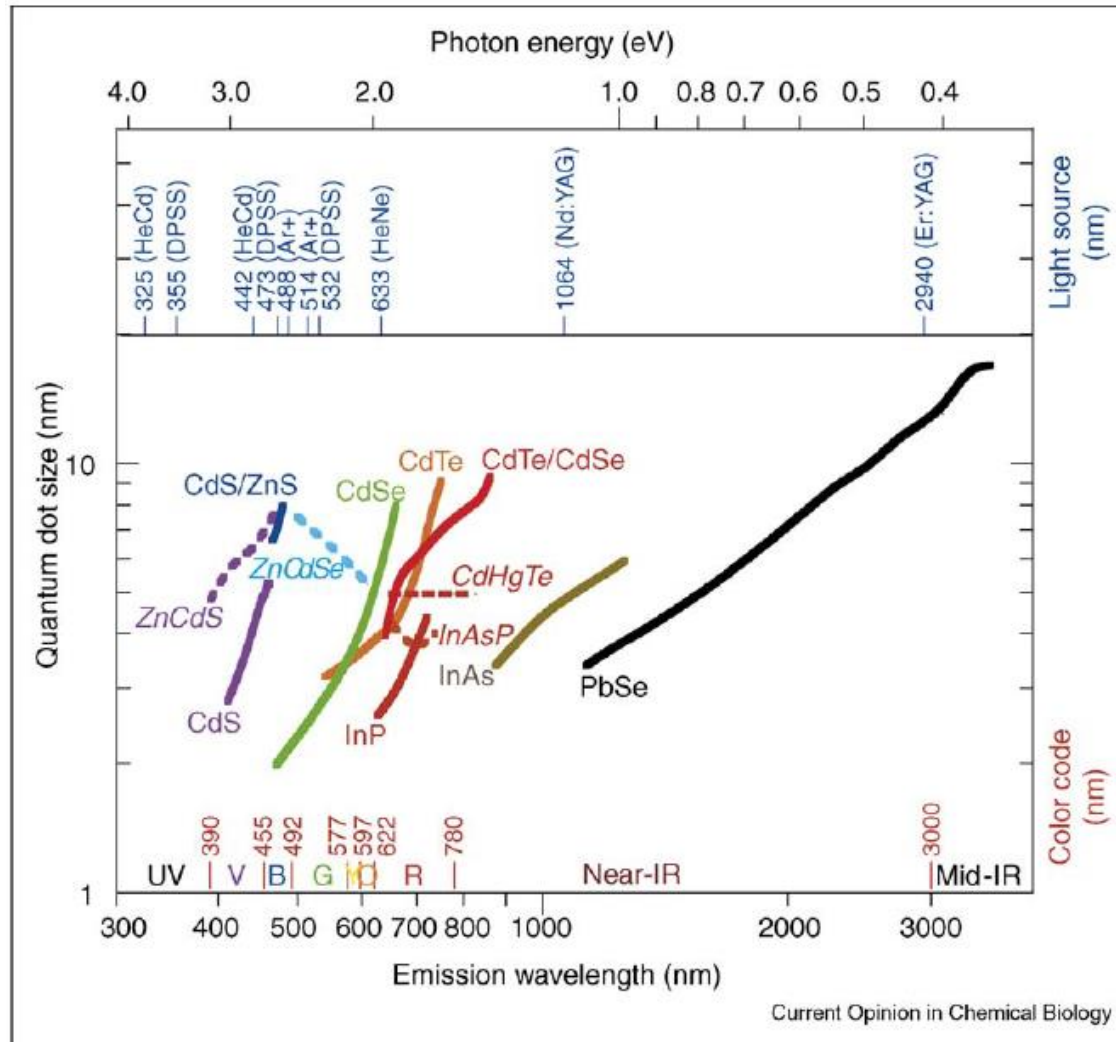
# Sferyczne kropki kwantowe

*In vivo* molecular and cellular imaging with quantum dots Xiaohu Gao Current Opinion in Biotechnology 2005, 16:63–72



# Sferyczne kropki kwantowe

Current Opinion in Chemical Biology 2006, 10:423–429 *Nanoscale controlled self-assembled monolayers and quantum dots*

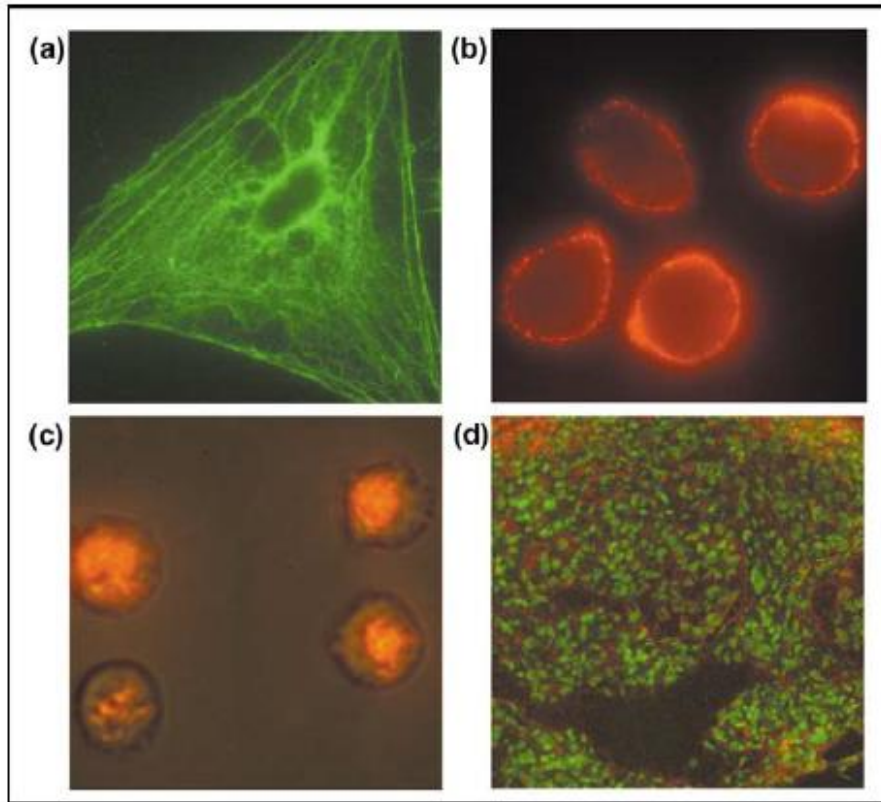


Current Opinion in Chemical Biology



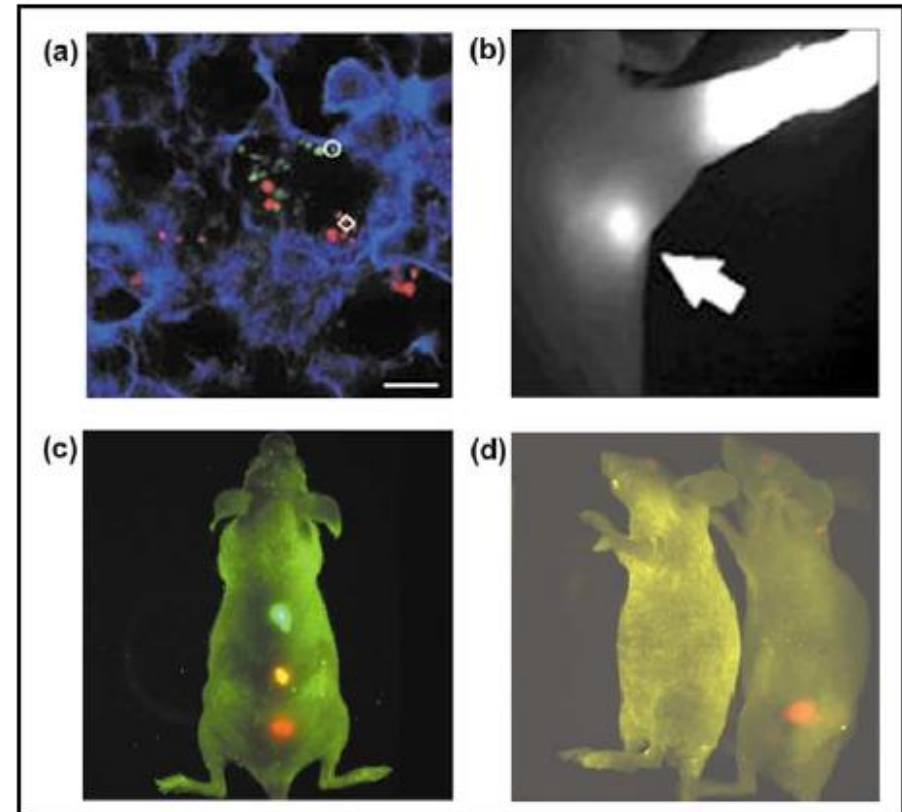
# Sferyczne kropki kwantowe

Figure 4



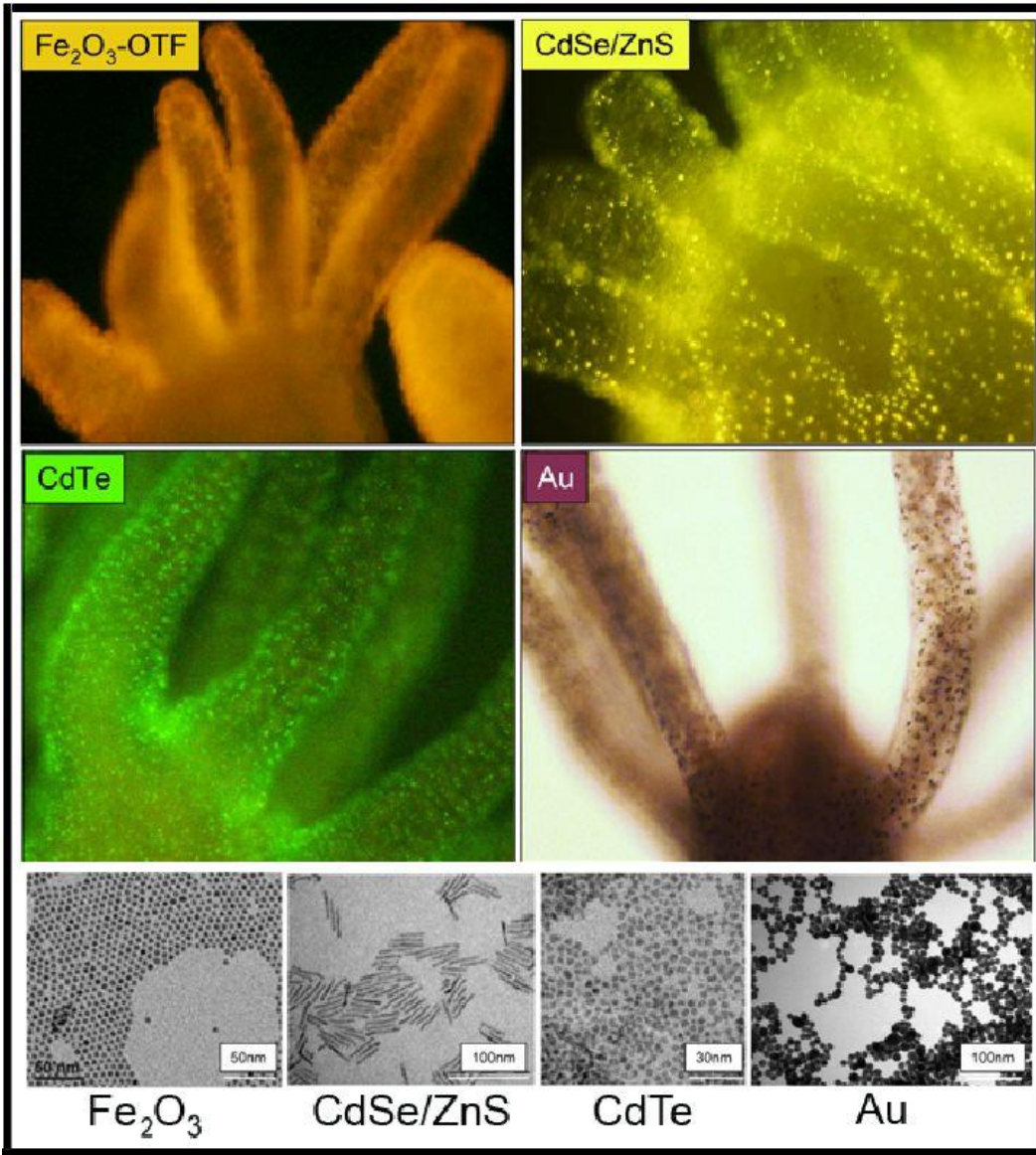
Fluorescence micrographs of QD-stained cells and tissues. **(a)** Actin staining (green QDs) on fixed 3T3 fibroblast cells. **(b)** Live MDA-MB-231 breast tumor cells labeled with a red QD-antibody conjugate targeting the urokinase plasminogen receptor. **(c)** Intracellular labeling of live mammalian cells using QD-Tat peptide conjugates [25\*\*]. **(d)** Frozen tissue specimens stained with QDs (targeting the CXCR4 receptor, red) and a nuclear dye (green).

Figure 5



*In vivo* targeting and imaging with QDs. **(a)** *Ex vivo* tissue examination of QD-labeled cancer cells trapped in a mouse lung [44\*]. **(b)** Near-infrared fluorescence of water-soluble type II QDs taken up by sentinel lymph nodes [49\*\*]. **(c)** *In vivo* simultaneous imaging of multicolor QD-encoded microbeads injected into a live mouse [25\*\*]. **(d)** Molecular targeting and *in vivo* imaging of a prostate tumor in mouse using a QD-antibody conjugate (red) [25\*\*].

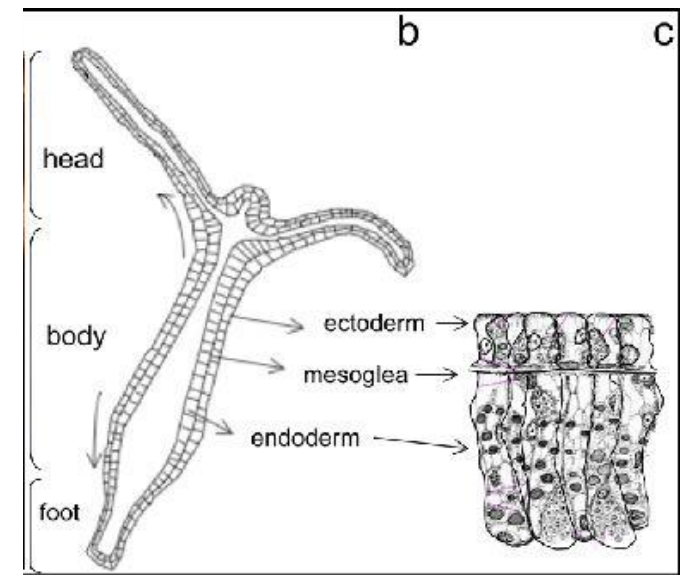
# Sferyczne kropki kwantowe



## An Ancient Model Organism to Test In Vivo Novel Functional Nanocrystals

By Claudia Tortiglione

"Biomedical Engineering - From Theory to Applications", Edited by Reza Fazel-Rezai,



**Figure 1.**  
Anatomical structure of *Hydra vulgaris*

**Figure 18.**  
Labelling Hydra with nanocrystals

<http://www.intechopen.com/books/biomedical-engineering-from-theory-to-applications/an-ancient-model-organism-to-test-in-vivo-novel-functional-nanocrystals>



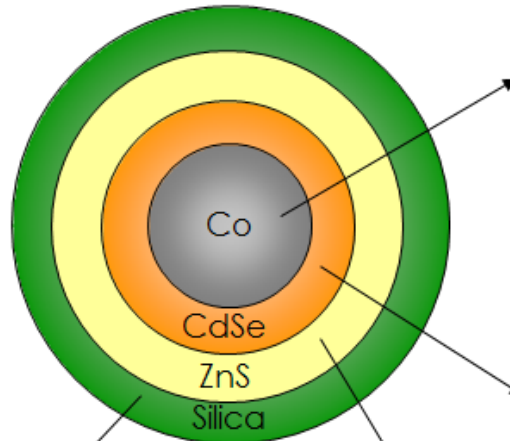
# Sferyczne kropki kwantowe

Magnetic  
Quantum  
Dot

What  
is  
MQD ?

Justin Galloway

Composite with A Novel Structure for **Active Sensing in Living cells**



① **Cobalt core : active manipulation**

- ◆ diameter : ~10 nm
- ◆ superparamagnetic NPs
- manipulated or positioned by an external field without aggregation in the absence of an external field

② **CdSe shell : imaging with fluorescence**

- ◆ thickness : 3-5 nm
- ◆ visible fluorescence (~450–700 nm)
- ◆ ability to tune the band gap
- by controlling the thickness, able to tune the emission wavelength, i.e., emission color

③ **ZnS shell : electrical passivation**

- ◆ thickness : 1-2 nm
- ◆ having wider band gap (3.83 eV) than CdSe (1.91 eV)
- ◆ enhancement of QY
- CdSe (5-10%) ⇒ CdSe/ZnS (~50%)

④ **Silica shell : bio-compatibility & functionalization with specific targeting group**

- ◆ thickness : ~10 nm
- ◆ bio-compatible, & non-toxic to live cell functions
- ◆ stable in aqueous environment
- ◆ ability to functionalize its surface with specific targeting group



# Nano i bio (gekon)



# Nano i bio (gekon)

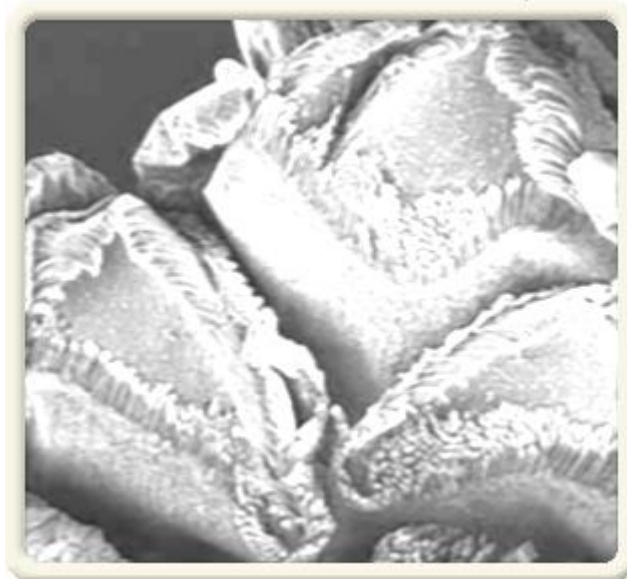
50x



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

# Nano i bio (gekon)

100x

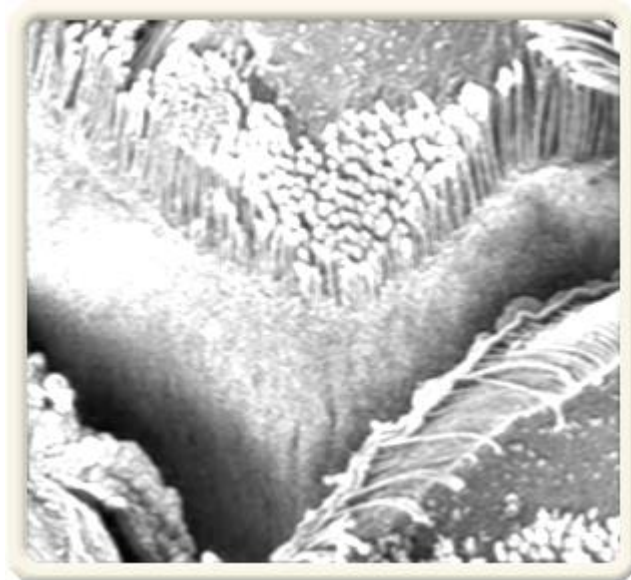


<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/electronmicroscopy/magnify1/index.html>



# Nano i bio (gekon)

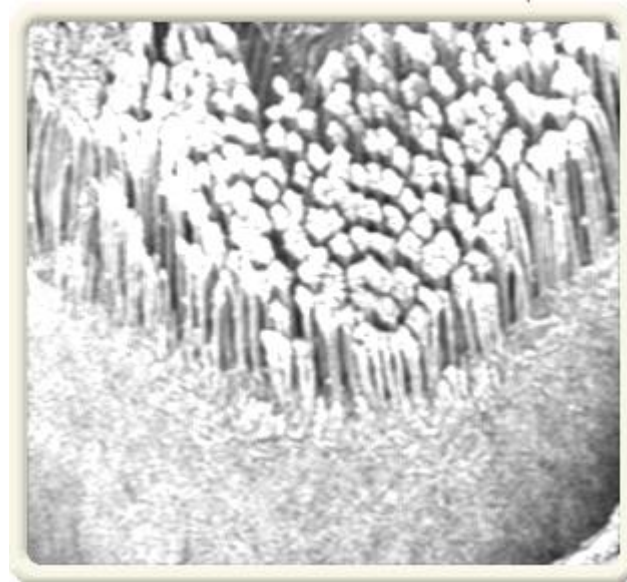
200x



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

# Nano i bio (gekon)

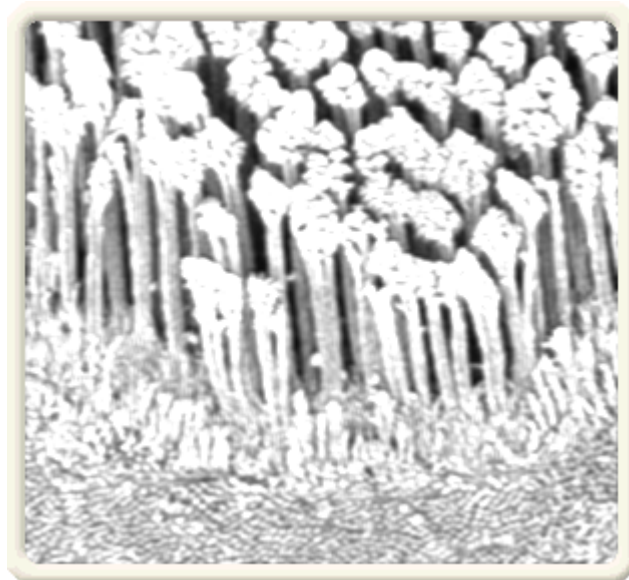
400x



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

# Nano i bio (gekon)

800x

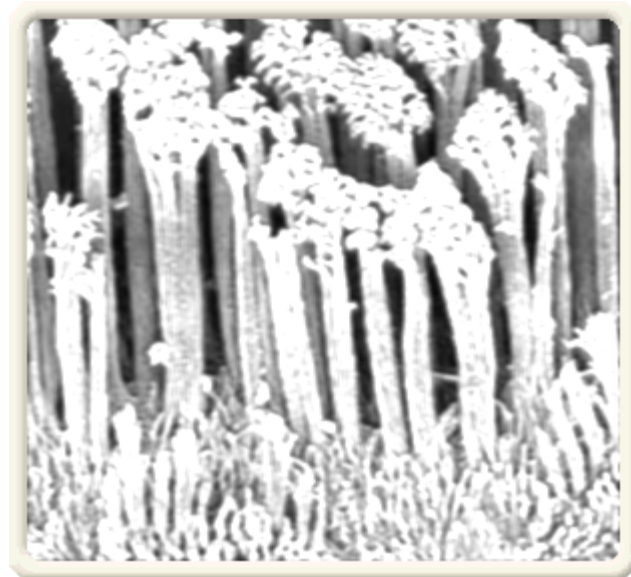


<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/electronmicroscopy/magnify1/index.html>



# Nano i bio (gekon)

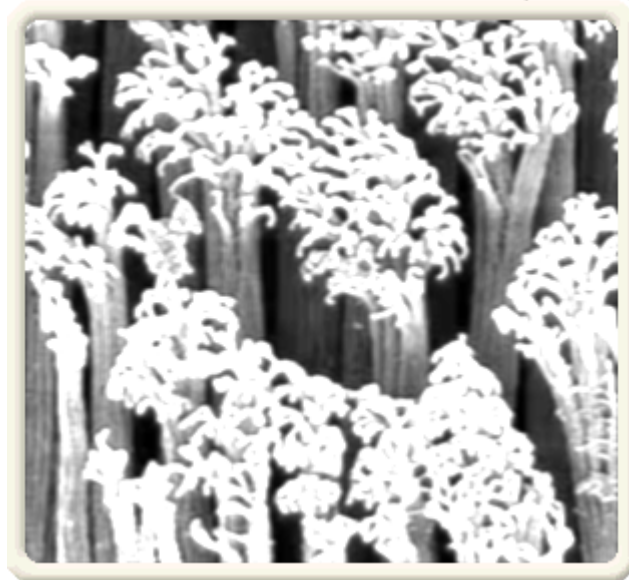
1500x



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

# Nano i bio (gekon)

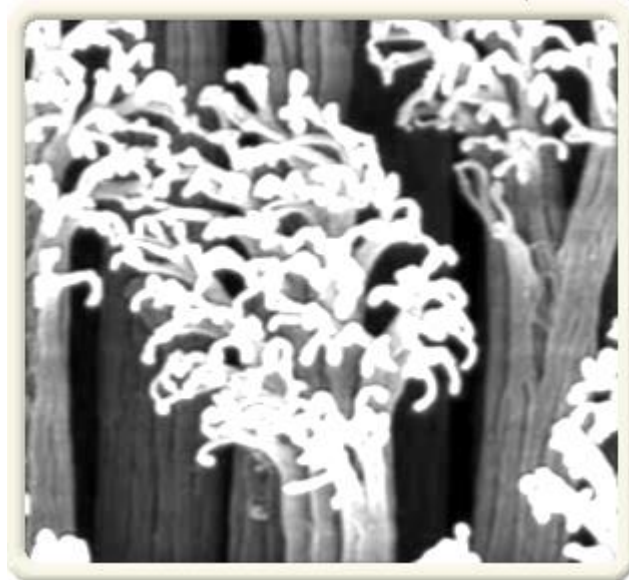
3000x



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

# Nano i bio (gekon)

6000x

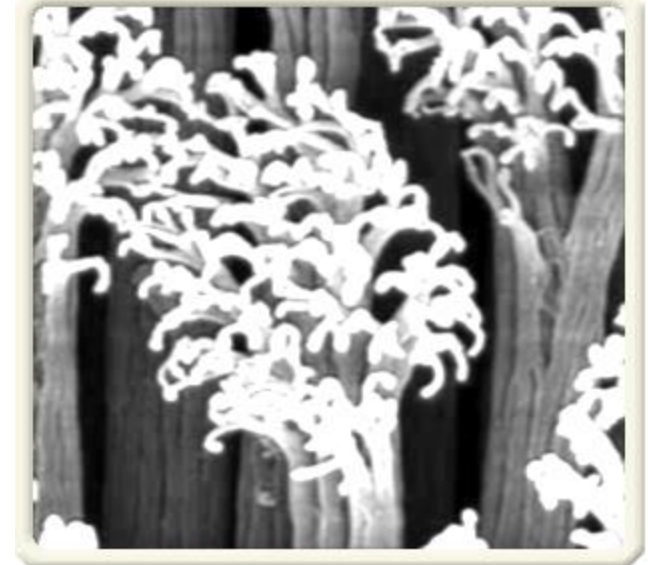
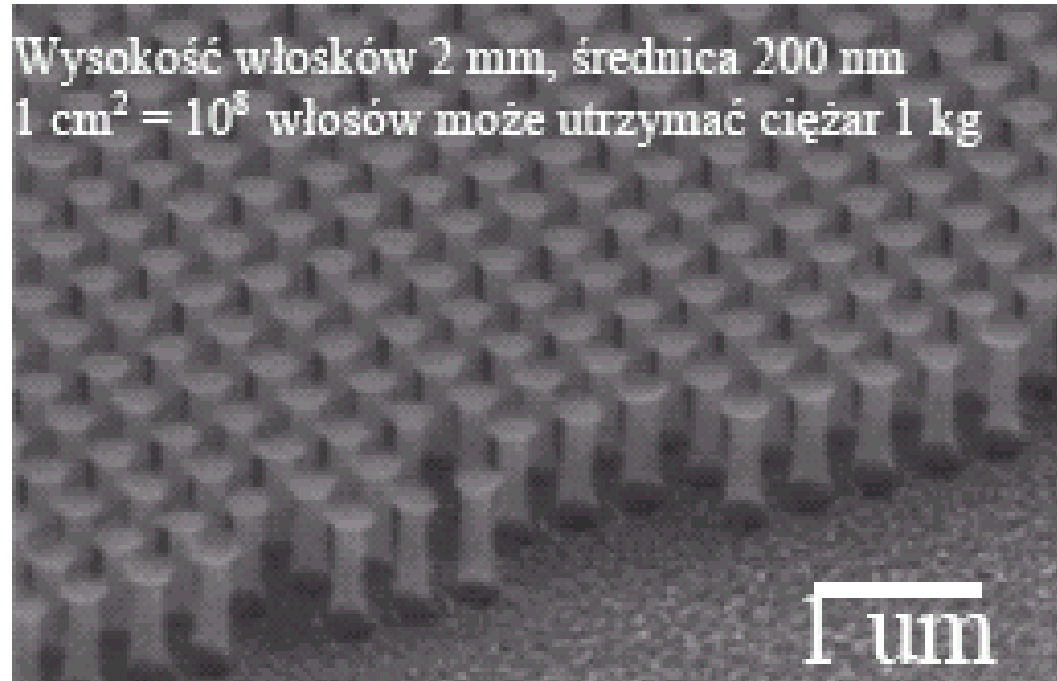


<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/electronmicroscopy/magnify1/index.html>



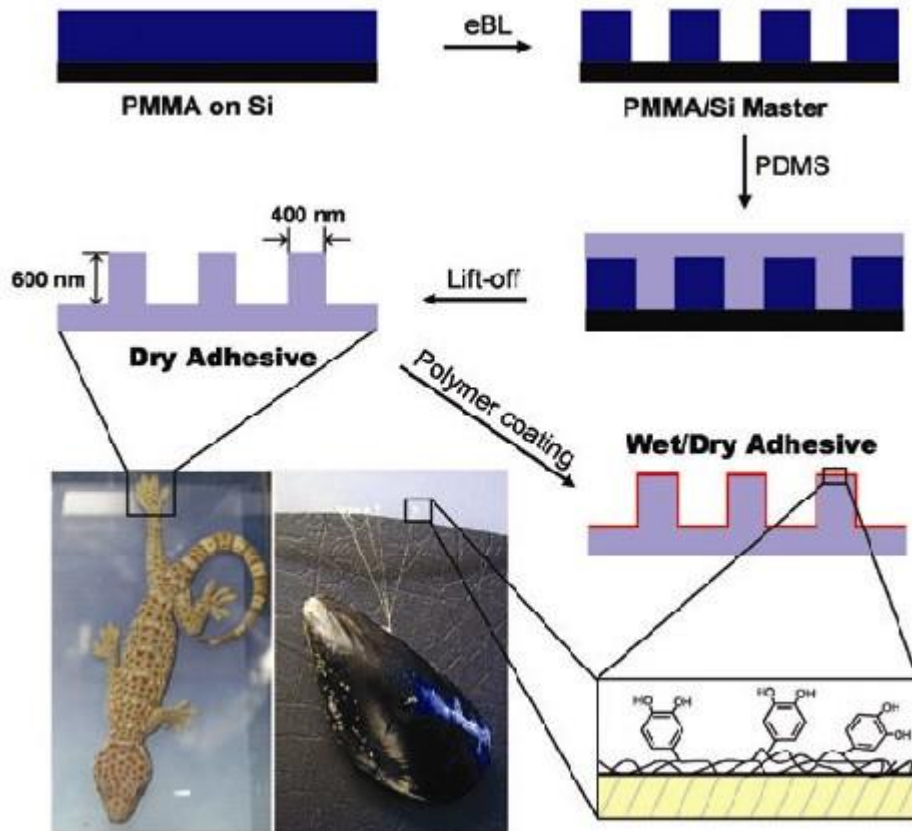
# Nano i bio (gekon)

6000x



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

# Nano i bio (gekon)



Nature 448, 338-341 (19 July 2007)



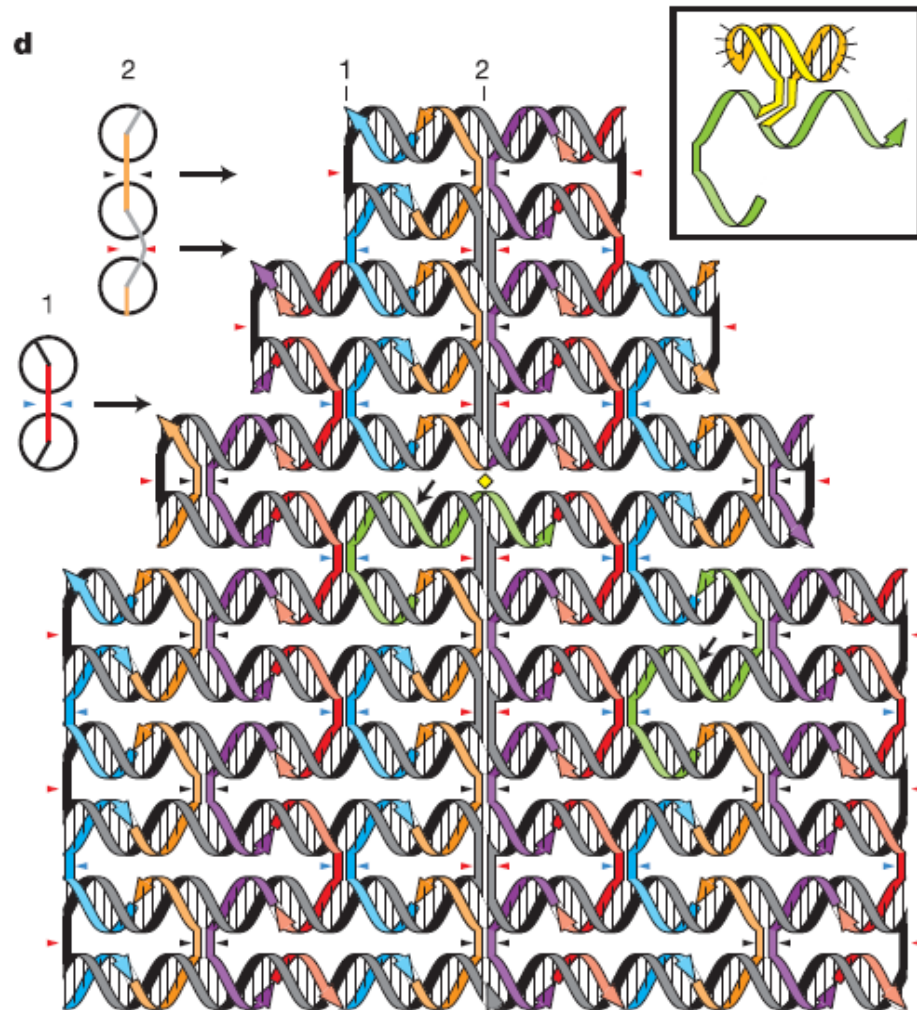
# Nano i bio (gekon)



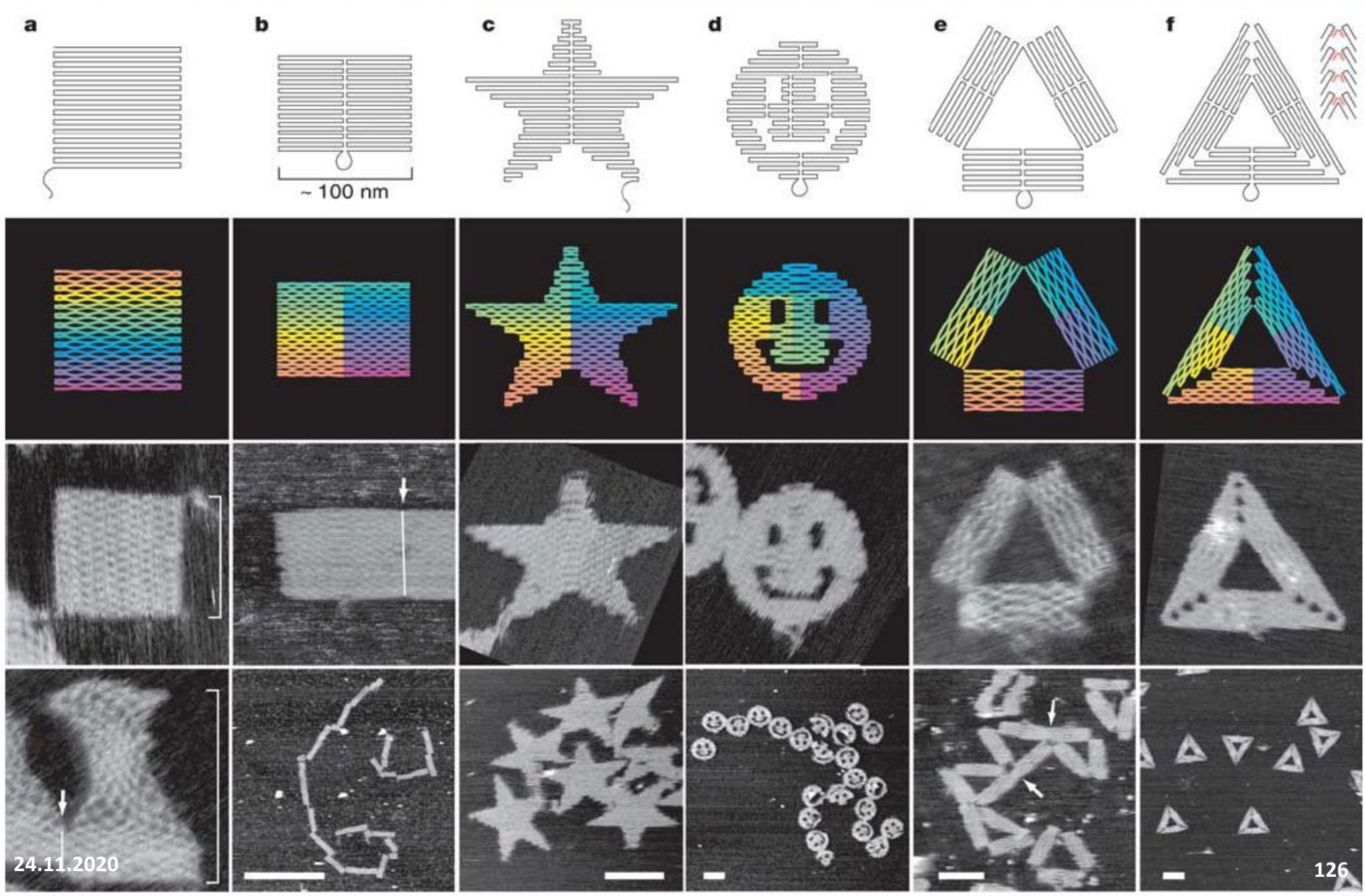


## Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns

Paul W. K. Rothemund<sup>1</sup>

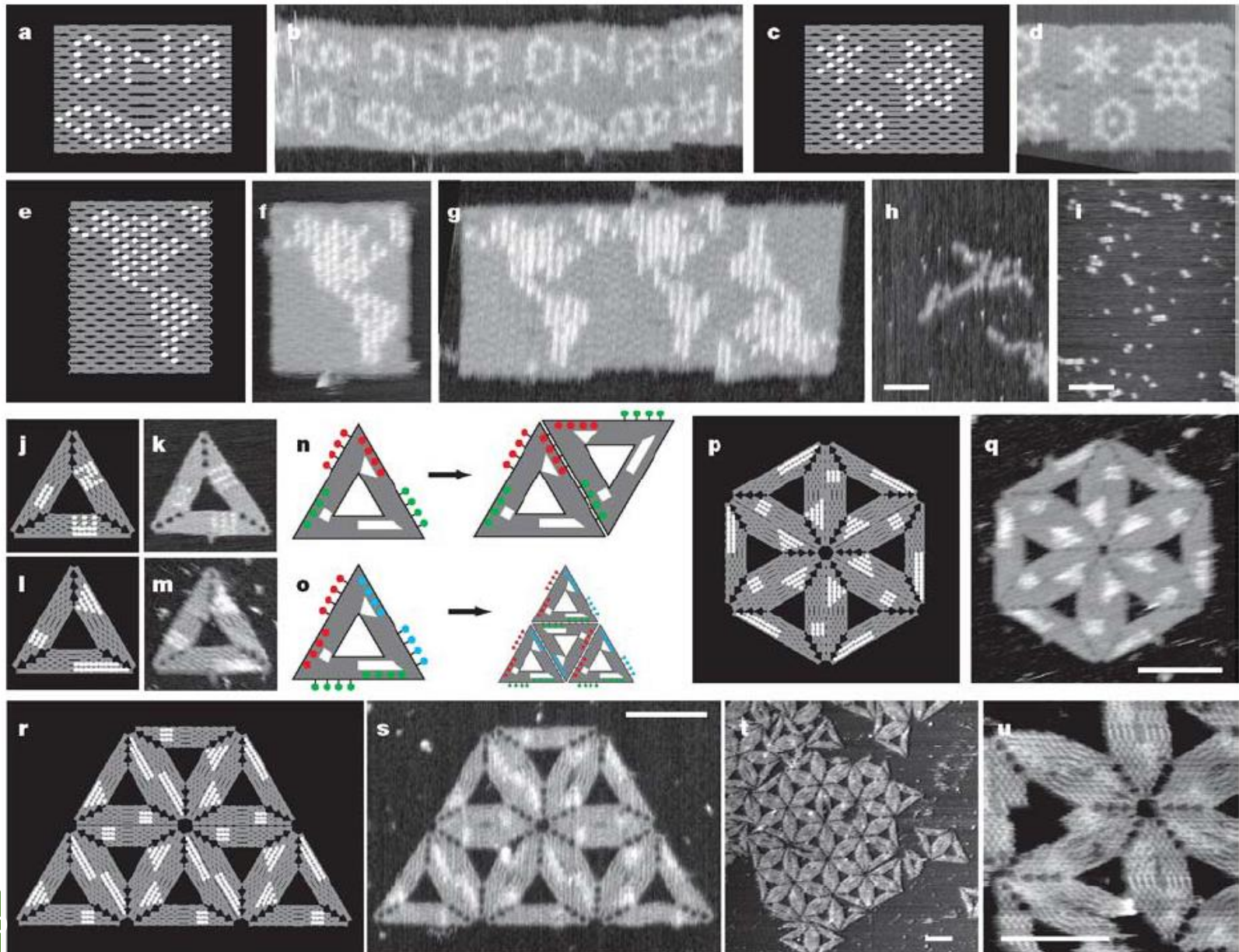


# Nano i bio (DNA)





# Nano i bio (DNA)

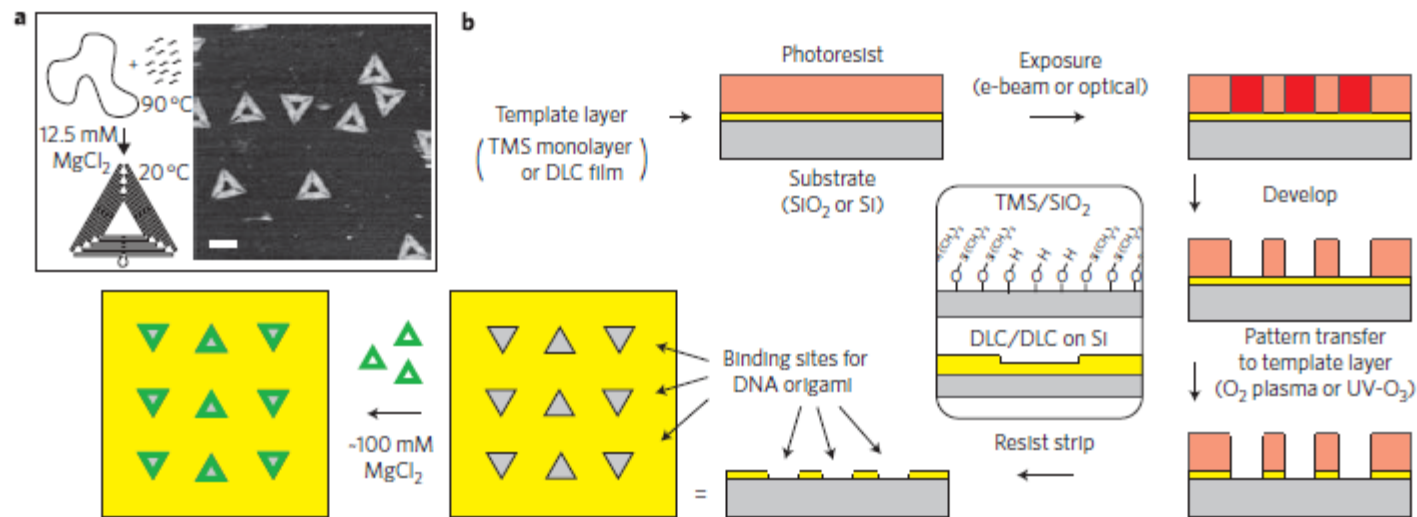




## Placement and orientation of individual DNA shapes on lithographically patterned surfaces

Ryan J. Kershner<sup>1†</sup>, Luisa D. Bozano<sup>1</sup>, Christine M. Micheel<sup>1†</sup>, Albert M. Hung<sup>1†</sup>, Ann R. Fornof<sup>1†</sup>, Jennifer N. Cha<sup>1†</sup>, Charles T. Rettner<sup>1</sup>, Marco Bersani<sup>1†</sup>, Jane Frommer<sup>1</sup>, Paul W. K. Rothemund<sup>2\*</sup> and Gregory M. Wallraff<sup>1\*</sup>

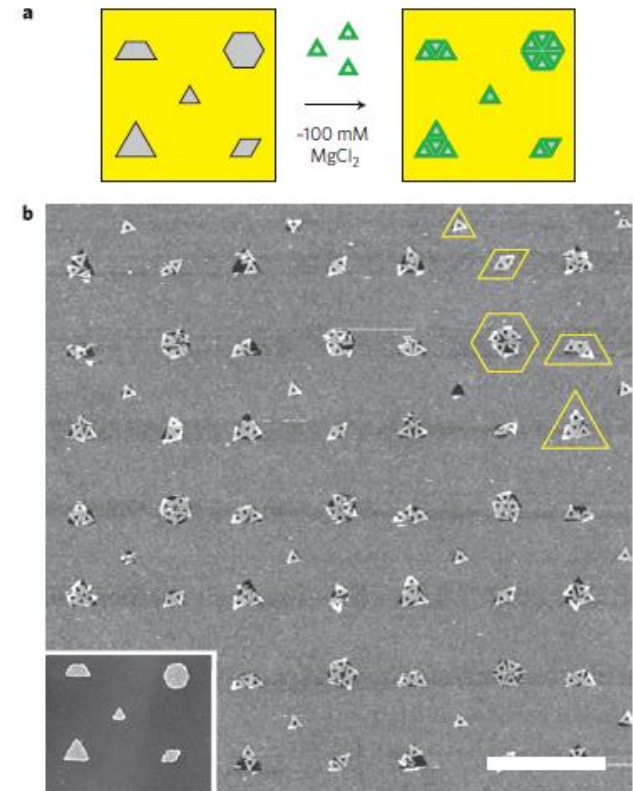
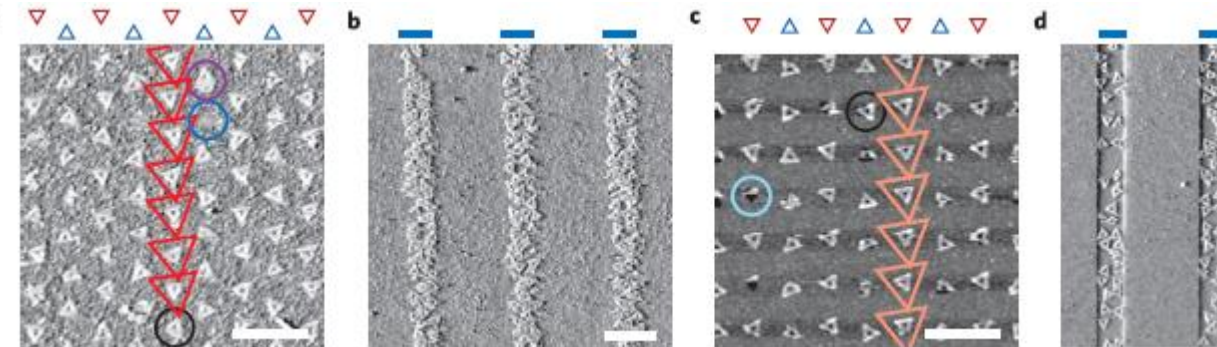
<sup>1</sup>IBM Almaden Research Center, San Jose, California 95120, USA,



**Figure 1 | The problem of random DNA nanostructure deposition and a lithographic scheme for addressing it. a**, Synthetic scheme for DNA origami triangles (left) and atomic force microscopy height image (right) showing random deposition on mica. The triangles' edges are ~127 nm; scale bar, 100 nm. **b**, Fabrication of DNA origami binding sites. The inset highlights differentiation of the background and features (background/features) for the trimethylsilyl (TMS) monolayer and diamond-like carbon (DLC) films. Silanol groups occur in oxidized areas of the TMS monolayers. Features etched into the ~10-nm DLC template layer are 0.5-1.5 nm deep. No silicon is exposed; such surfaces have DLC features on a DLC background, and so we refer to them as 'DLC/DLC'.

## Placement and orientation of individual DNA shapes on lithographically patterned surfaces

Ryan J. Kershner<sup>1†</sup>, Luisa D. Bozano<sup>1</sup>, Christine M. Micheel<sup>1†</sup>, Albert M. Hung<sup>1†</sup>, Ann R. Fornof<sup>1†</sup>, Jennifer N. Cha<sup>1†</sup>, Charles T. Rettner<sup>1</sup>, Marco Bersani<sup>1†</sup>, Jane Frommer<sup>1</sup>, Paul W. K. Rothmund<sup>2\*</sup> and Gregory M. Wallraff<sup>1\*</sup>



**Figure 4 | Placement of triangles onto a variety of shapes.**

**a**, Scheme showing how one, two, three, four or six DNA triangles are expected to bind sites with the shape of a unit triangle, rhombus, trapezoid, double-sized triangle and hexagon. **b**, AFM of results on DLC/DLC; unit triangle is  $\sim 120$  nm. Yellow outlines highlight examples with well-oriented triangles. Inset: Scanning electron micrograph of Au/Cr islands on Si created by liftoff using a similar electron-beam pattern. These liftoff-generated patterns are used to calibrate the electron-beam dose (i) to optimize the sharpness of shapes and (ii) to ensure complete resist removal (if incomplete, islands do not adhere). Scale bar,  $1 \mu\text{m}$ .

<sup>1</sup>IBM Almaden Research Center, San Jose, California 95120, USA, <sup>2</sup>Department of Bioengineering, Computer Science, and Computation & Neural Systems, California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, USA; <sup>†</sup>Present address: University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706, USA (R.J.K.); The National Academies, Washington DC 20001, USA (C.M.M.); Department of Nanoengineering, University of California, San Diego, California 92093, USA (A.M.H., J.N.C.); Center for Nanoscience, Ludwig-Maximilians Universität, 80799 Munich, Germany (A.R.F.); Dipartimento di Fisica, Università di Padova, I-35131 Padova, Italy (M.B.). \*e-mail: pwkr@dna.caltech.edu; gmwall@almaden.ibm.com



# Nano i bio (DNA)

Join IEEE | IEEE.org | IEEE Xplore Digital Library | IEEE Standards | IEEE Spectrum | More Sites

IEEE  
SPECTRUM

Follow on: [f](#) [t](#) [in](#) [+](#) [a](#)

Engineering Topics ▾

Special Reports ▾

Blogs ▾

Multimedia ▾

The Magazine ▾

Professional Resources ▾

Search ▾

Nanoclast | Semiconductors | Nanotechnology

2 Feb 2018 | 19:00 GMT

## Novel Lithography Technique Combines Speed With Accuracy

A combination of top-down and bottom-up techniques could extend capabilities of both lithography and DNA origami

By **Dexter Johnson**

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

APPLIED SCIENCES AND ENGINEERING

## Plasmonic nanostructures through DNA-assisted lithography

Boxuan Shen,<sup>1,2\*</sup> Veikko Linko,<sup>2,3\*</sup> Kosti Tapio,<sup>1</sup> Siim Pikker,<sup>1</sup> Tibebe Lemma,<sup>1†</sup>  
Ashwin Gopinath,<sup>4</sup> Kurt V. Gothelf,<sup>5,6</sup> Mauri A. Kostiainen,<sup>2,3‡</sup> J. Jussi Toppari<sup>1‡</sup>

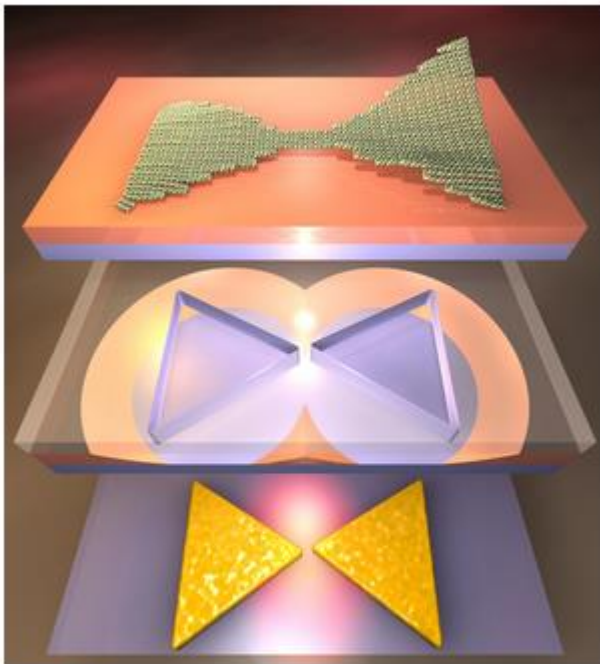


Illustration: M. Kostiainen and V. Linko

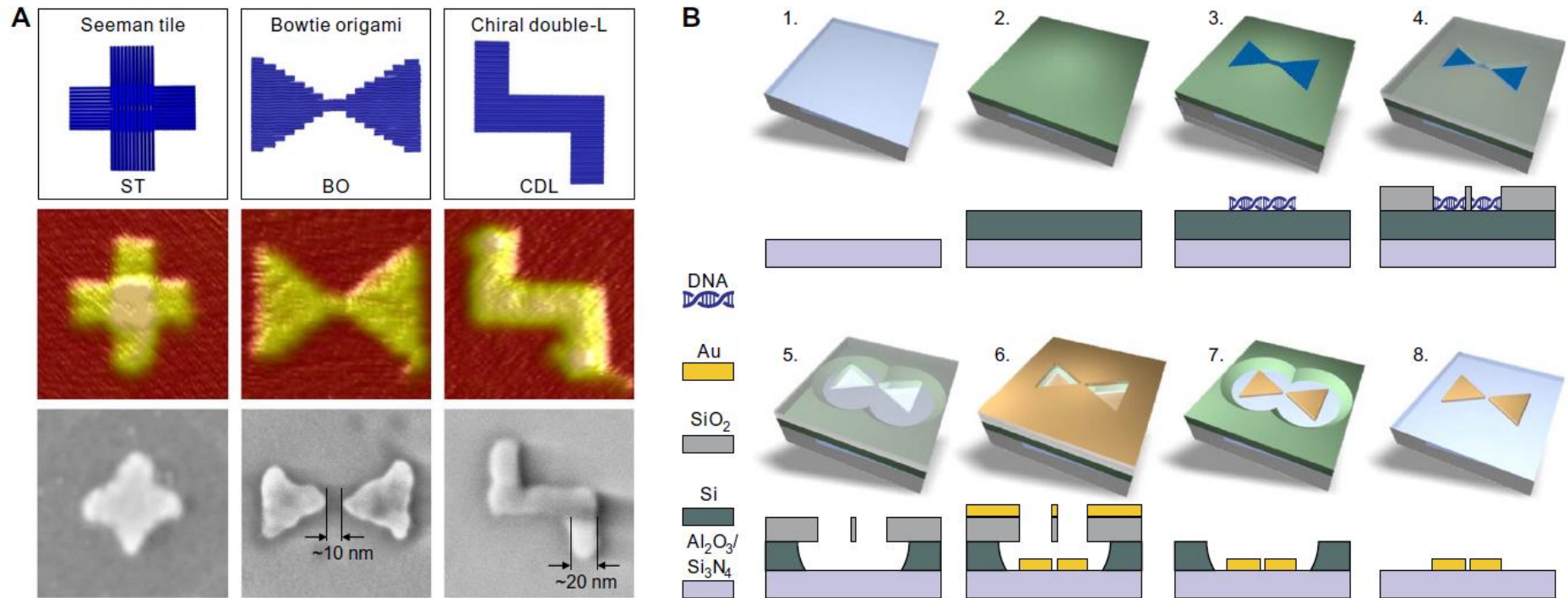
This graphic shows how DNA origami shapes are transformed into metallic nanostructures in a new process.

<https://spectrum.ieee.org/nanoclast/semiconductors/nanotechnology/novel-lithography-technique-combines-speed-with-accuracy>



# Nano i bio (DNA)

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

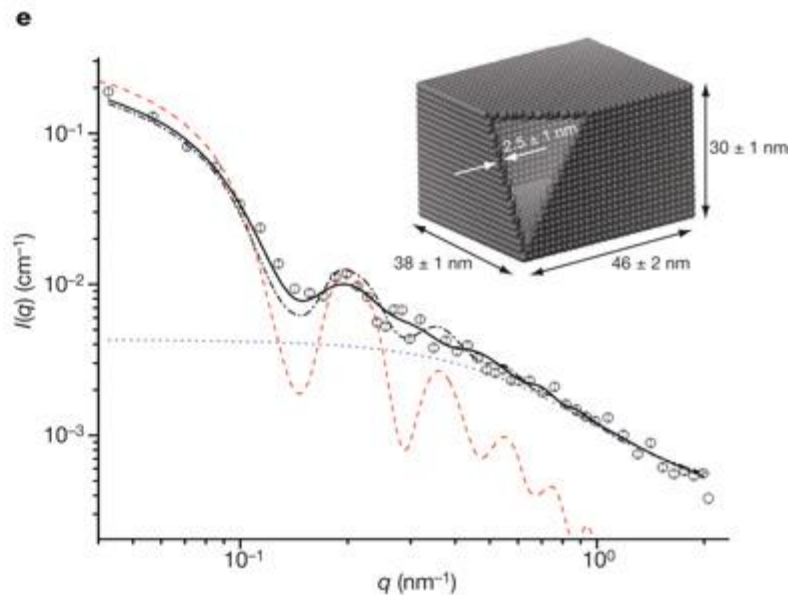
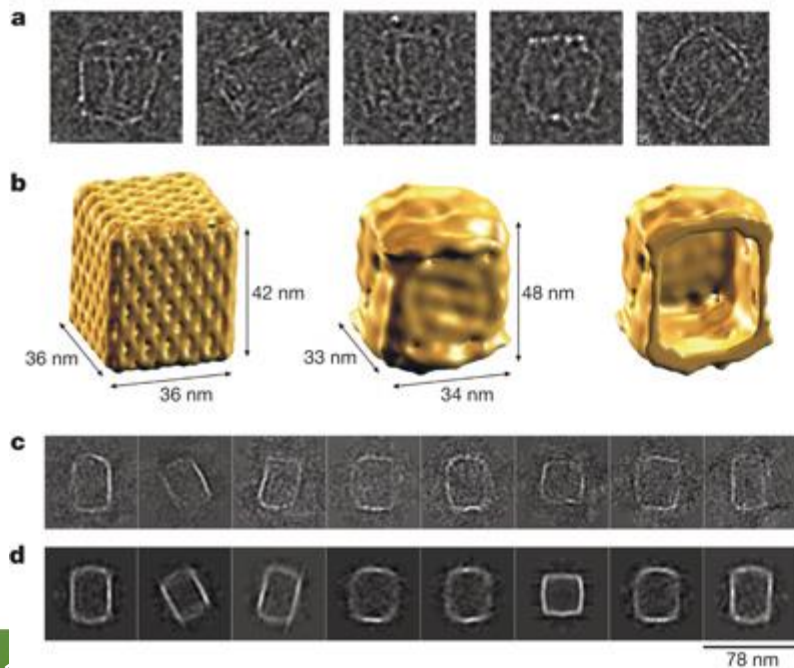


**Fig. 1. DNA origami designs, a step-by-step fabrication procedure of the DALI method.** (A) Top: Designed DNA origami shapes (from left to right): ST, BO, and CDL. Middle: AFM images of the folded structures on a mica substrate. Bottom: Scanning electron microscopy (SEM) images of gold nanostructures created by the fabrication method described in detail in (B). The AFM and SEM images are 150 nm × 150 nm in size. (B) Steps of the fabrication procedure. Step 1: A transparent sapphire (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/silicon nitride (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) chip is freshly cleaned by acetone and isopropanol. Step 2: An amorphous silicon layer is grown on top of the substrate by PECVD. Step 3: The substrate is treated by oxygen plasma, after which the DNA origami nanostructures (BO shown here as an example) are drop-casted on the chip. Step 4: The silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) layer is selectively grown on the bare silicon by CVD, leaving DNA origami-shaped silhouettes in the layer. Step 5: Using the grown SiO<sub>2</sub> layer as a mask, the silicon underneath is etched away by RIE. Step 6: The metal is deposited onto the chip using PVD in ultrahigh vacuum. Step 7: The SiO<sub>2</sub> layer is removed in a liftoff process using hydrogen fluoride-based wet etching. Step 8: The remaining silicon is removed by RIE, thus leaving the DNA origami-shaped metal nanostructure on the substrate.

## Letter

*Nature* **459**, 73-76 (7 May 2009) | doi:10.1038/nature07971; Received 9 November 2008; Accepted 6 March 2009

### Self-assembly of a nanoscale DNA box with a controllable lid

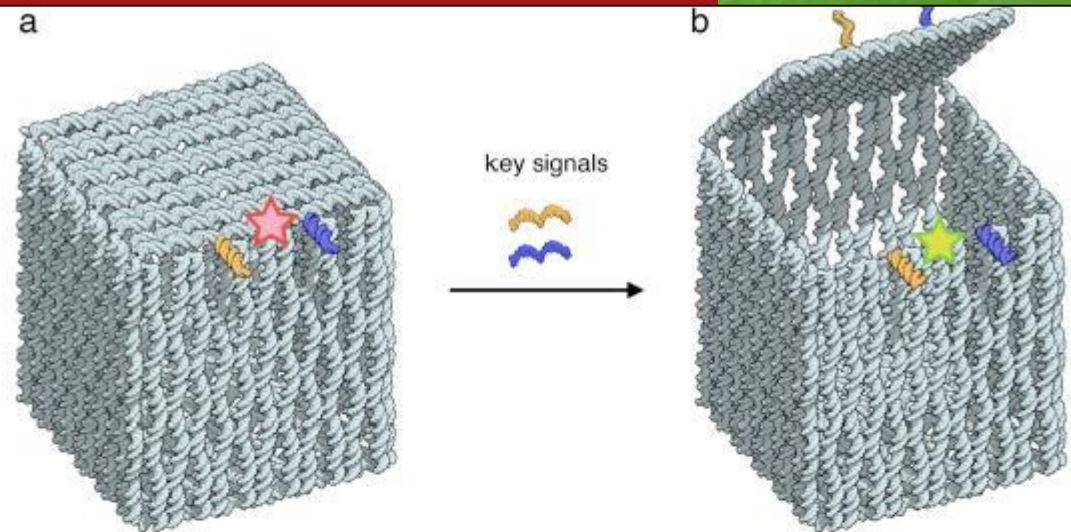
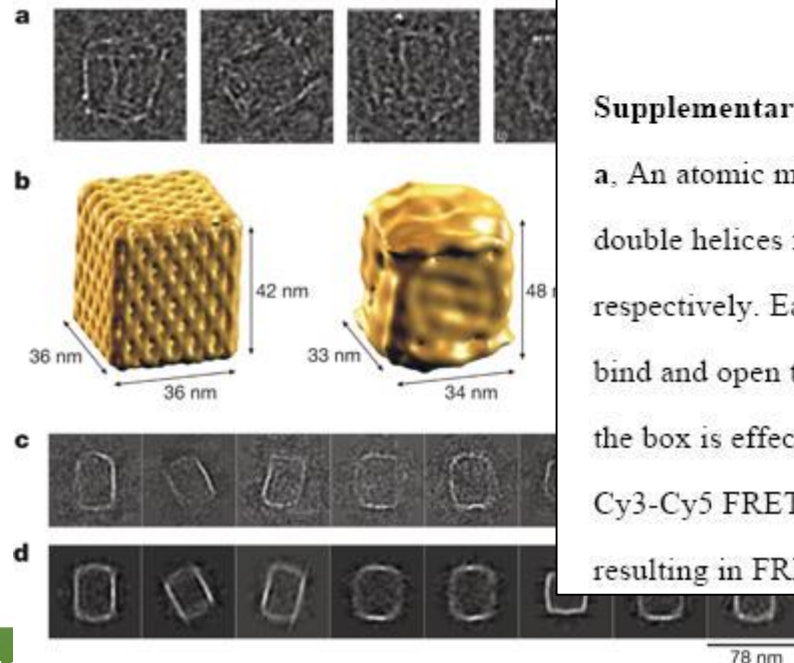




## Letter

Nature **459**, 73-76 (7 May 2009) | doi:10.1038/nature08111  
March 2009

### Self-assembly of a nanoscale DNA box with a controllable lid



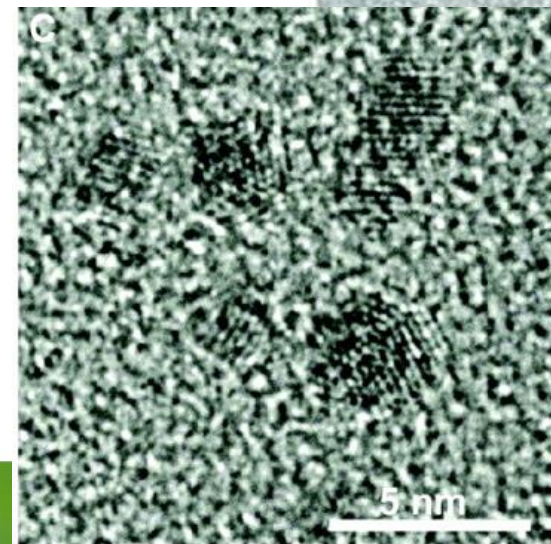
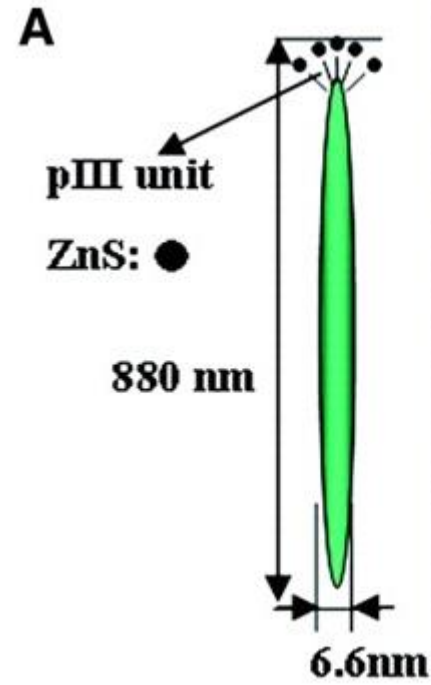
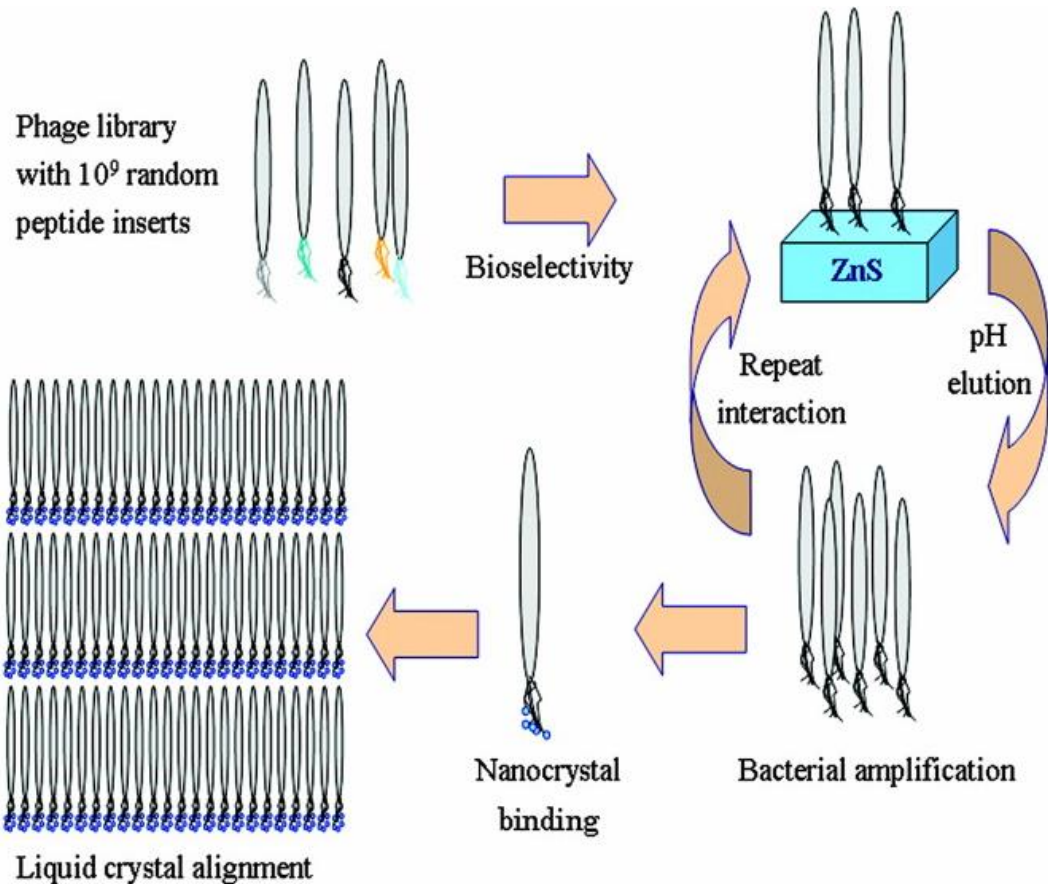
**Supplementary Figure 1. Mechanism for signal-induced opening of the DNA box.**

a. An atomic model of the DNA box held closed by “locks” (orange and blue) that are double helices formed by two short strands protruding from the lid and the main box, respectively. Each “lock” has a small sticky-end where a “key” sequence signal can bind and open the “lock” by strand displacement. If both “locks” are opened the lid of the box is effectively opened (b). The reporter system for detecting the lid opening is a Cy3-Cy5 FRET system. In the closed state the two fluorophores are in close proximity resulting in FRET emission from Cy5 (red star) when Cy3 is excited. In the open state



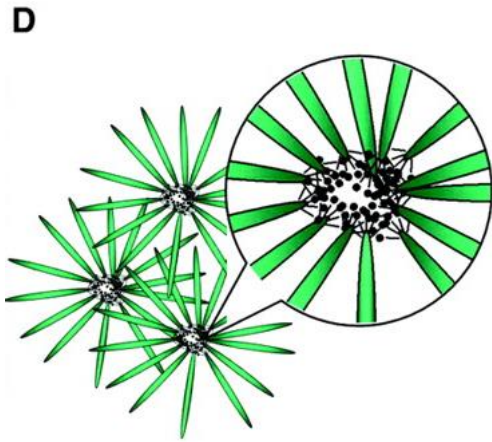
## Ordering of Quantum Dots Using Genetically Engineered Viruses

Seung-Wuk Lee, Chuanbin Mao, Christine E. Flynn, Angela M. Belcher\*†  
3 MAY 2002 VOL 296 SCIENCE 892

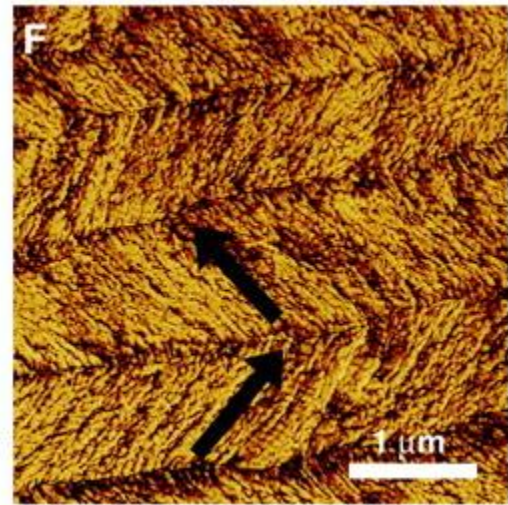
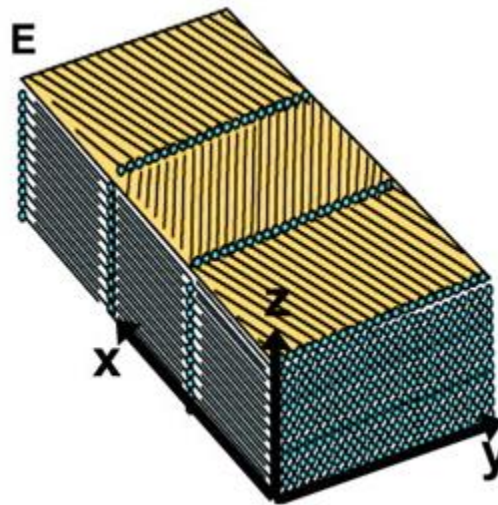
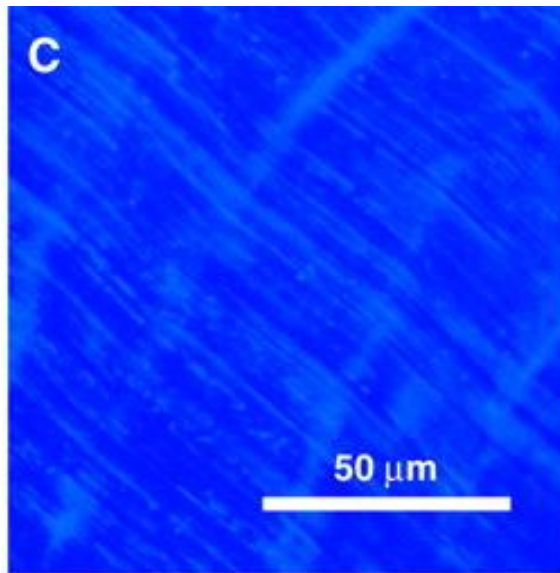
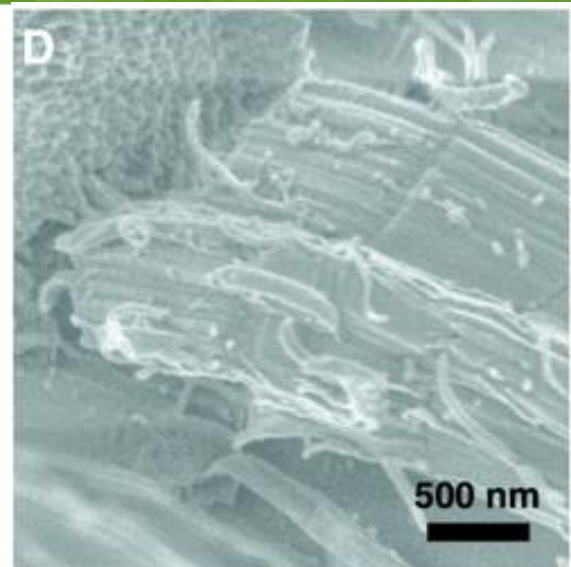
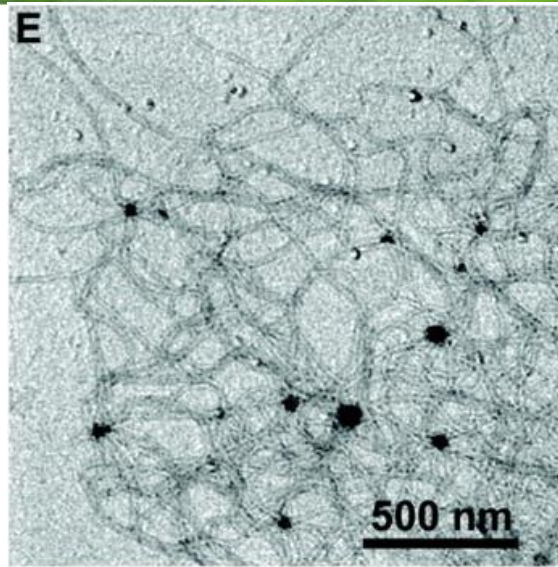




# Nano i bio



M13 bacteriophage

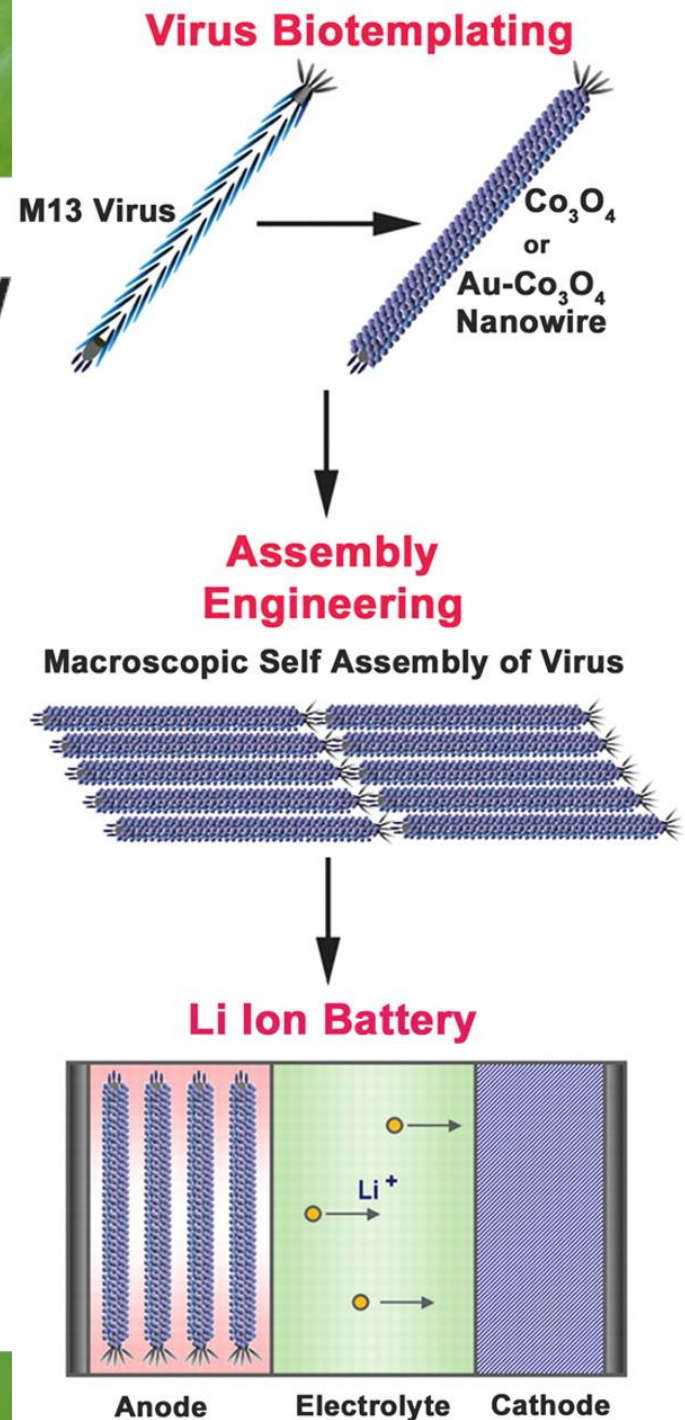
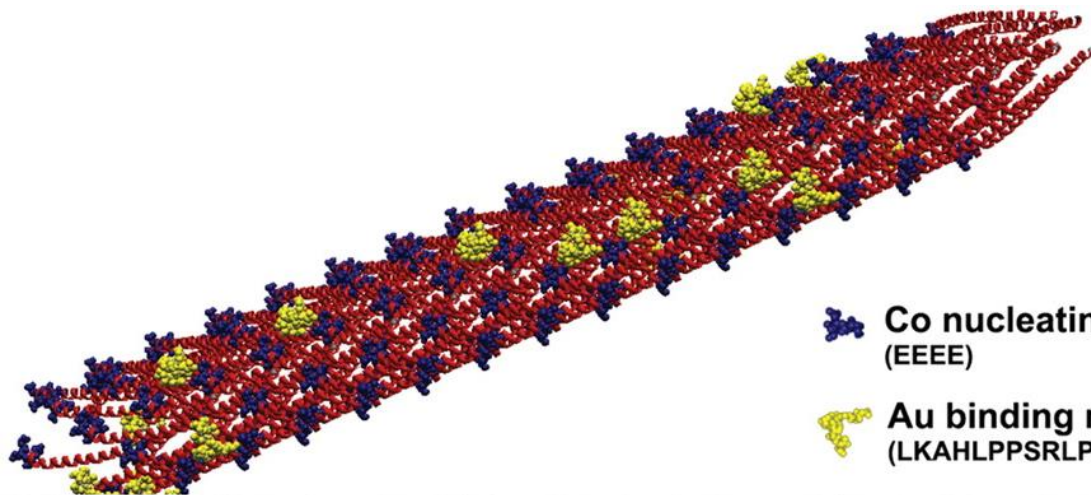


3 MAY 2002 VOL 296 SCIENCE 892



## Virus-Enabled Synthesis and Assembly of Nanowires for Lithium Ion Battery Electrodes

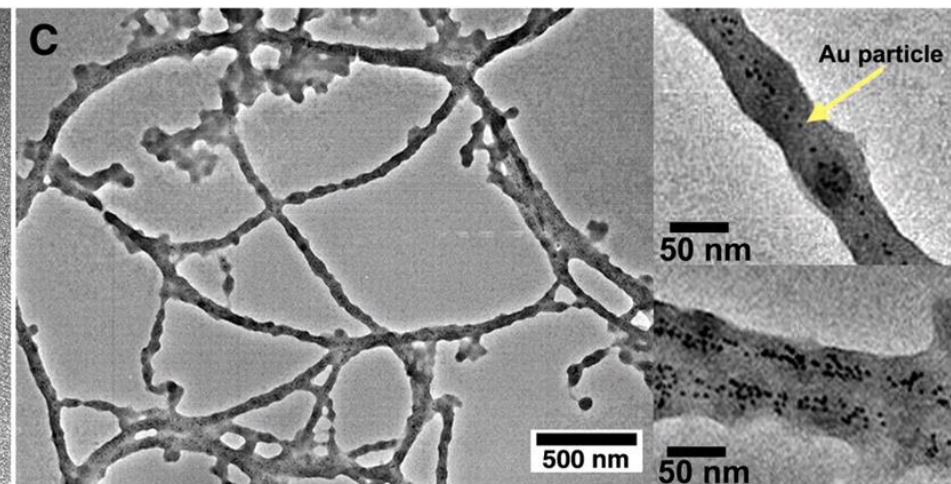
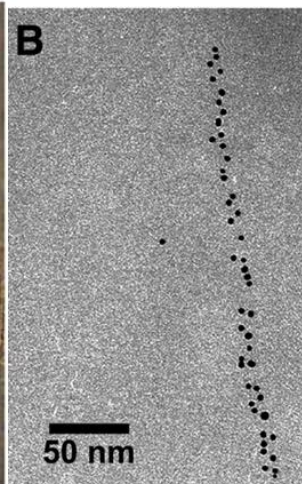
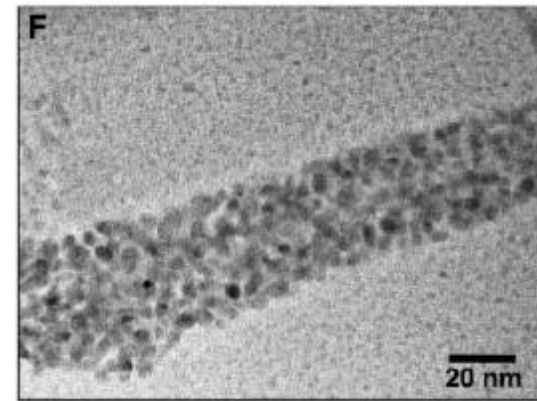
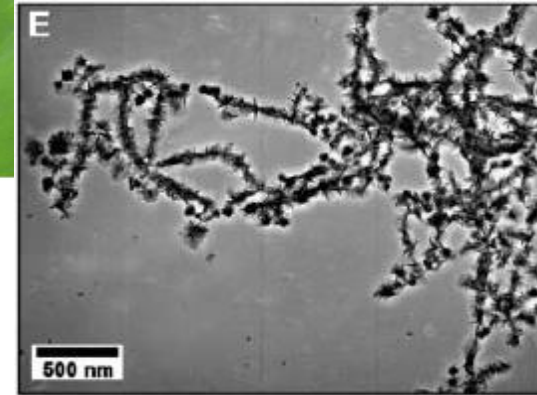
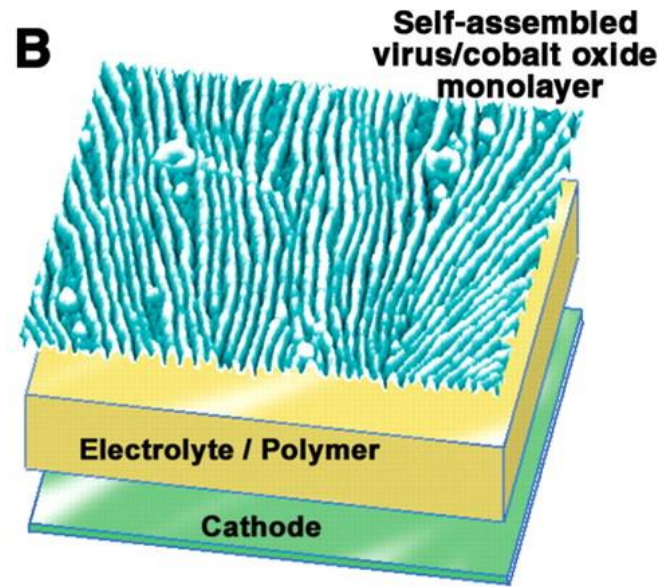
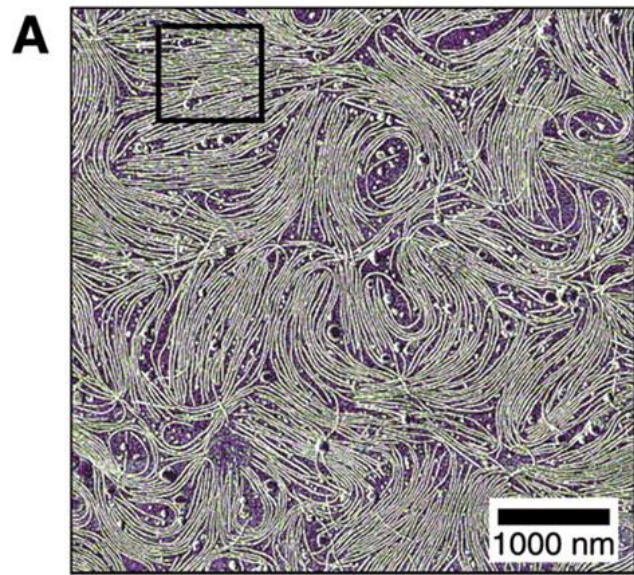
Ki Tae Nam,<sup>1,4</sup> Dong-Wan Kim,<sup>1\*</sup> Pil J. Yoo,<sup>2,4</sup> Chung-Yi Chiang,<sup>1,5</sup> Nonglak Meethong,<sup>1</sup> Paula T. Hammond,<sup>2,4</sup> Yet-Ming Chiang,<sup>1</sup> Angela M. Belcher<sup>1,3,4,5†</sup>





# Nano i bio

SCIENCE VOL 312 12 MAY 2006 885

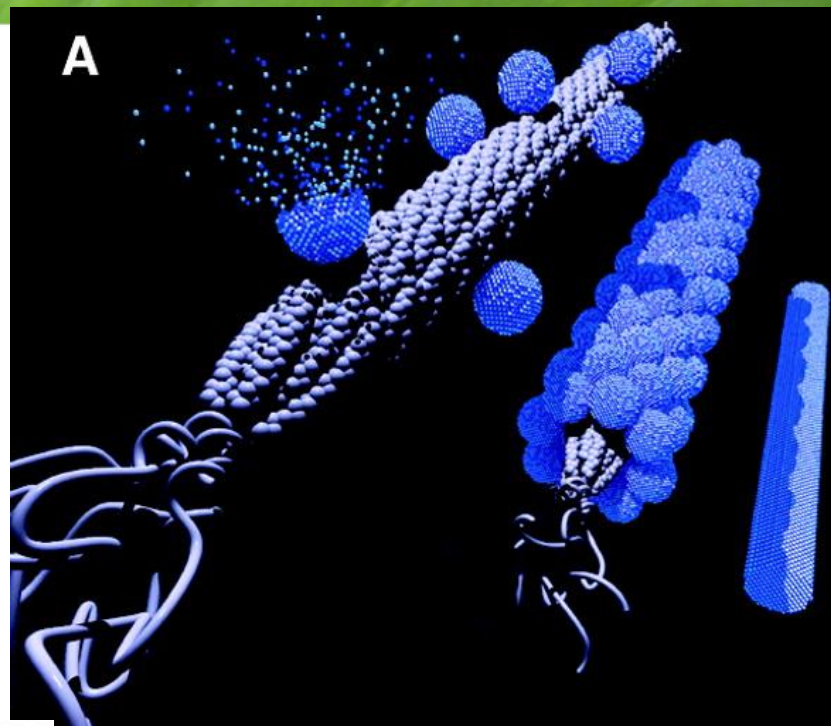




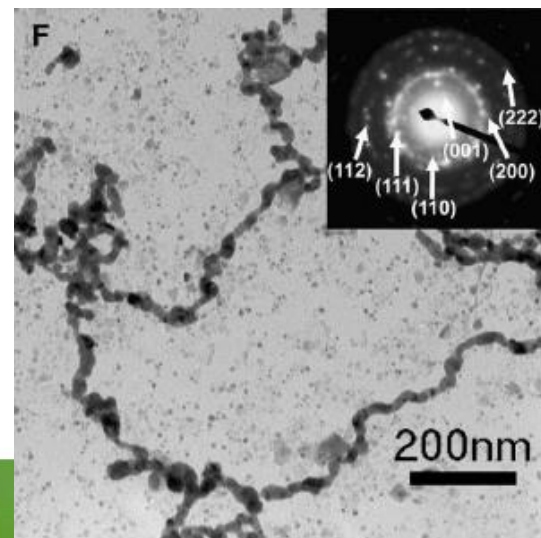
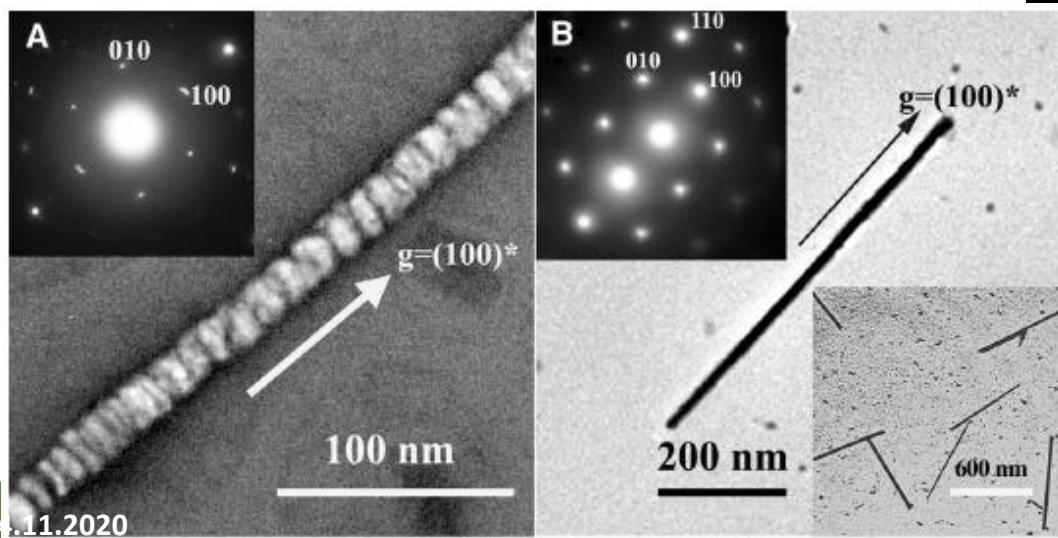
SCIENCE VOL 303 9 JANUARY 2004 213

## Virus-Based Toolkit for the Directed Synthesis of Magnetic and Semiconducting Nanowires

Chuanbin Mao,<sup>1\*</sup> Daniel J. Solis,<sup>4\*</sup> Brian D. Reiss,<sup>5</sup>  
Stephen T. Kottmann,<sup>4</sup> Rozamond Y. Sweeney,<sup>2</sup> Andrew Hayhurst,<sup>2</sup>  
George Georgiou,<sup>2,3</sup> Brent Iverson,<sup>1,2</sup> Angela M. Belcher<sup>5†</sup>



ZnS



CoPt

## Magnetic Glyco-nanoparticles: A Unique Tool for Rapid Pathogen Detection, Decontamination, and Strain Differentiation

Kheireddine El-Boubbou,<sup>†</sup> Cyndee Gruden,<sup>‡</sup> and Xuefei Huang<sup>\*†</sup>  
J. AM. CHEM. SOC. 2007, 129, 13392–13393

Published on Web 10/12/2007

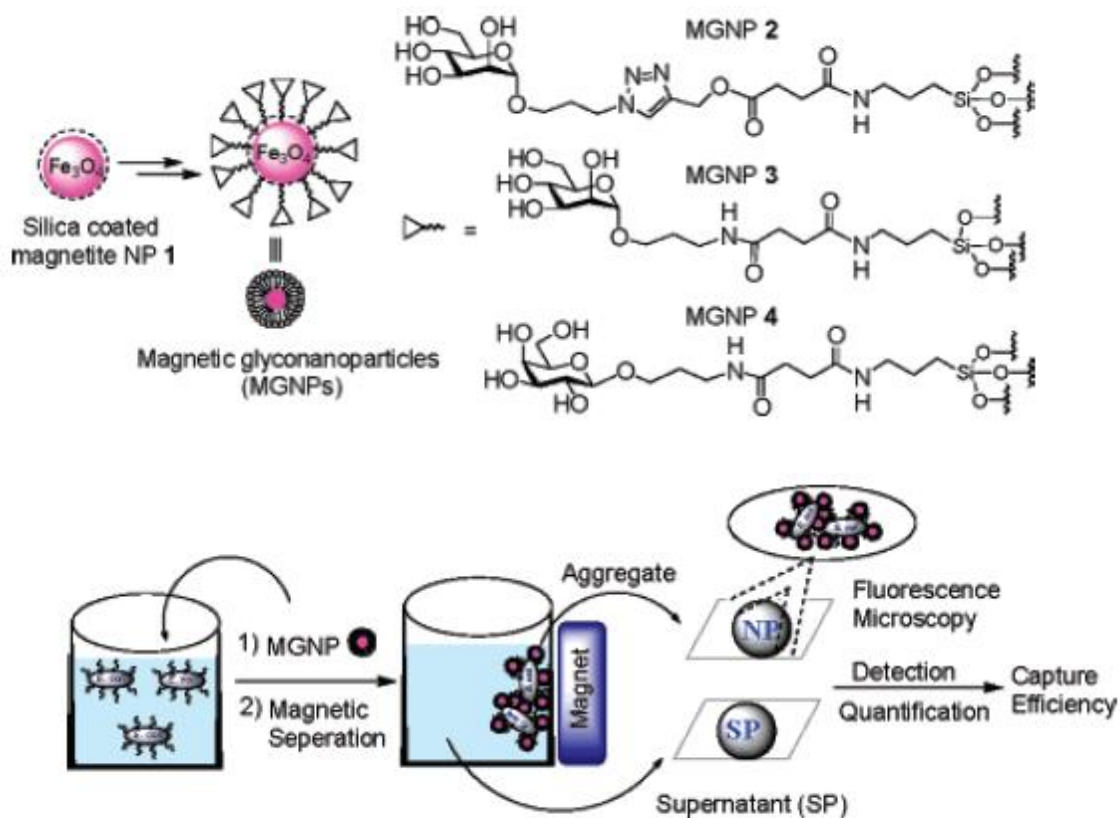
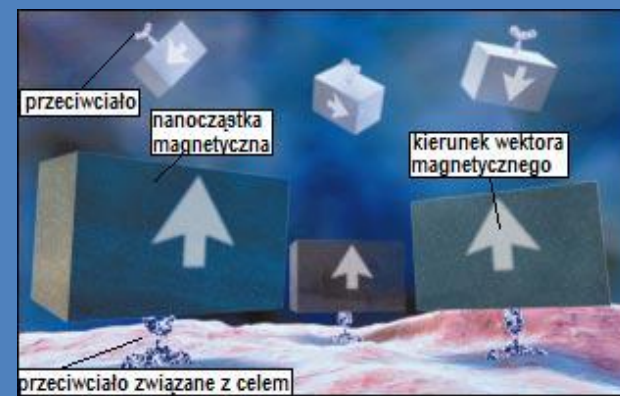


Figure 1. Schematic demonstration of pathogen detection by MGNPs.

Alivisatos A., "Małe może więcej".  
*Świat nauki* 11, s. 57-63(2001).

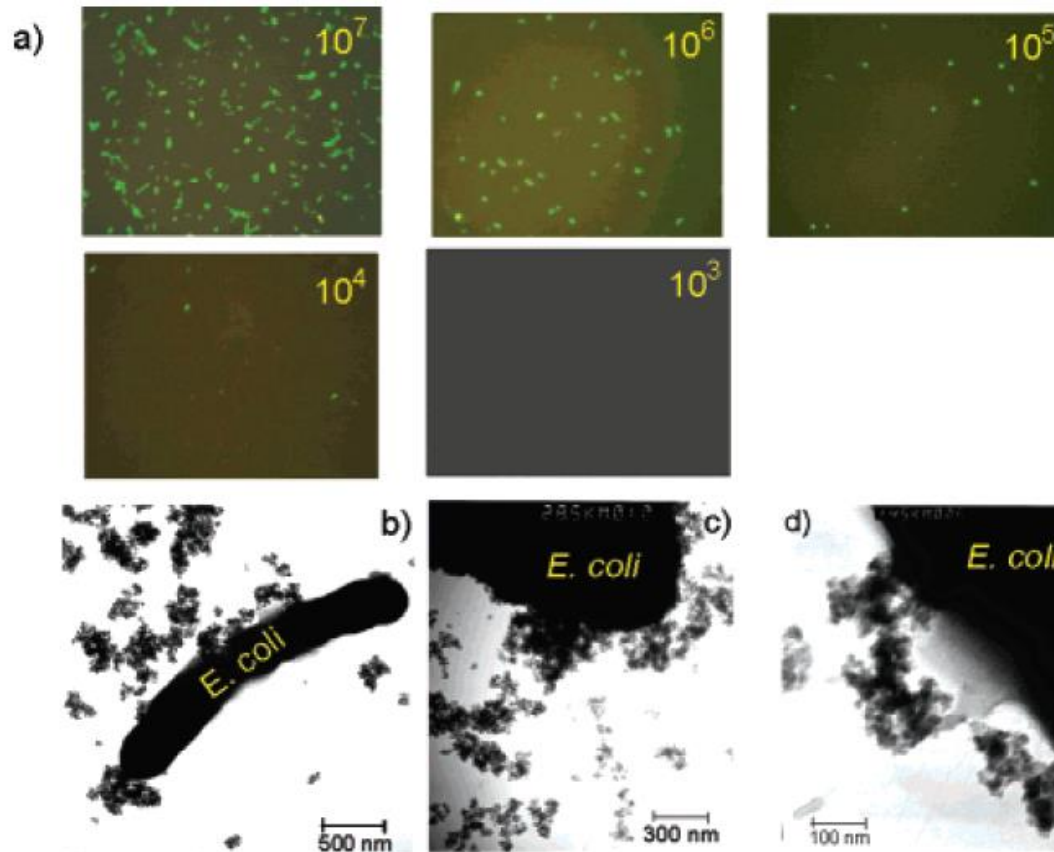




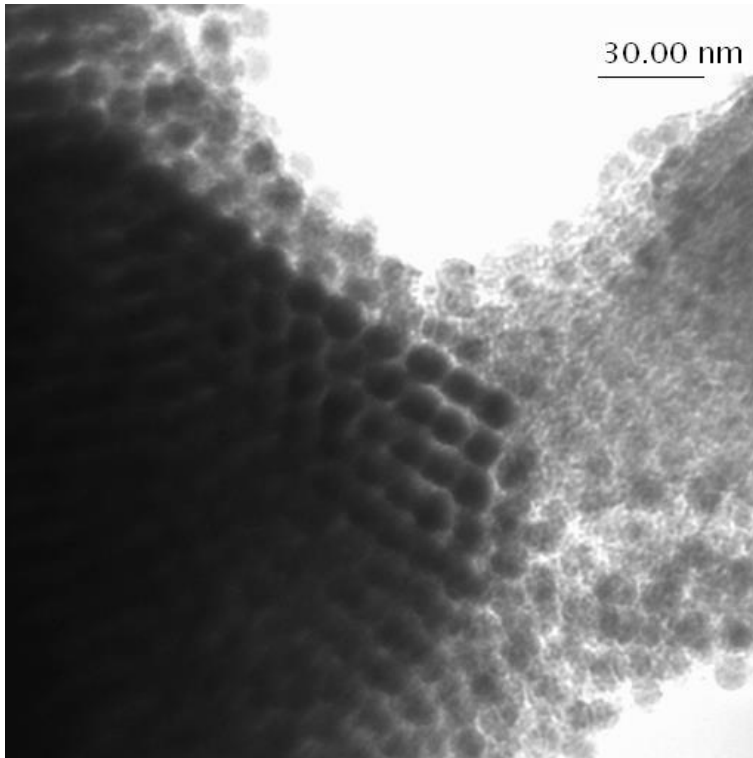
## Magnetic Glyco-nanoparticles: A Unique Tool for Rapid Pathogen Detection, Decontamination, and Strain Differentiation

Kheireddine El-Boubbou,<sup>†</sup> Cyndee Gruden,<sup>‡</sup> and Xuefei Huang<sup>\*,†</sup>

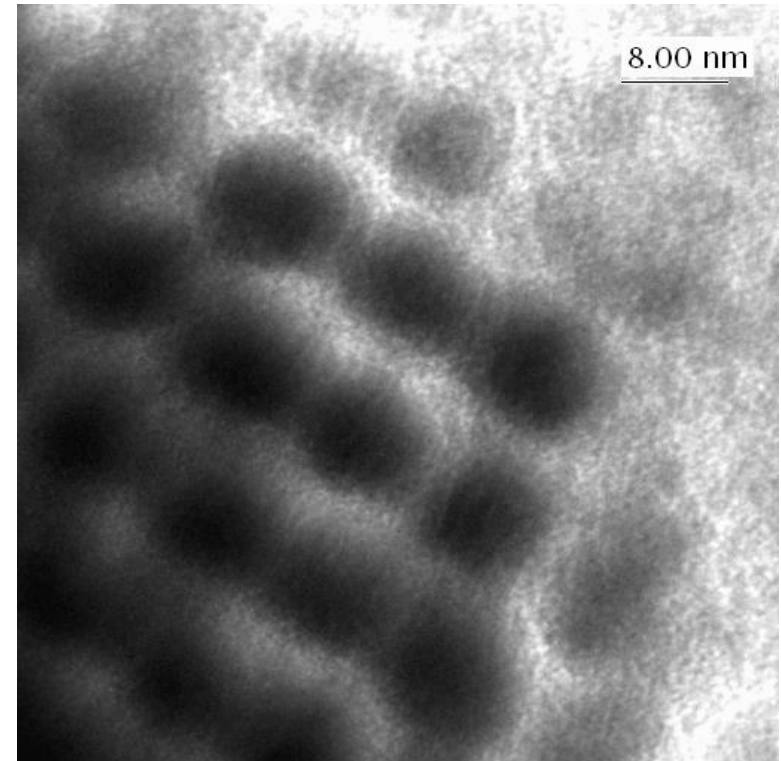
Published on Web 10/12/2007



**Figure 2.** (a) Representative fluorescence microscopic images of captured *E. coli*. The concentration (cells/mL) of bacteria incubated with MGNP 3 is indicated on each image (see Supporting Information for experimental details). (b–d) TEM images of MGNP 3/*E. coli* complexes.



Nano-Co



Nano-Co

Synteza: Paweł Majewski, TEM: Jolanta Borysiuk



Bacillus megatherium + nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$



## DNA w nanotechnologii

Uczonym udało się wykorzystać DNA do stworzenia kryształów złota. Dzięki temu osiągnięciu powstaną zupełnie nowe materiały

### JAK POWSTAŁ KRYSTAŁ Z DNA?

- 1 Do kulek złota (oznaczonych X i Y) o średnicy 10 nanometrów przyłączono nici syntetycznego DNA różnej długości
- 2 Nici DNA na cząsteczkach X i Y uzupełniają się. Kiedy spotkają się w odpowiednich warunkach łączą się i powstaje podwójna helisa DNA znana ze wszystkich żywych organizmów
- 3 Po zanurzeniu w wodzie w odpowiednich warunkach cząsteczki X i Y zaczęły się łączyć
- 4 Łącząc się za pomocą DNA nanocząsteczki utworzyły kryształ złota. Powstała w ten sposób struktura składała się w 5 proc. z nanocząsteczek i w 5 proc. z DNA. Pozostałe 90 proc. wypełniała woda, którą można zastąpić innymi materiałami

**ZASTOSOWANIE**

Po połączeniu kryształu z innymi materiałami powstaną kompozyty o różnych ciekawych właściwościach. Będzie je można wykorzystać do stworzenia nowych materiałów

- Nowy materiał może posłużyć do budowy supersiłnych soczewek i mikroskopów
- Zastosowanie nowego materiału w laserach może zwiększyć ich potencjał
- Z nowej substancji powstaną wydajniejsze baterie słoneczne

Chad Mirkin z Northwestern University Brookhaven National Laboratory (BNL)

[http://www.dziennik.pl/nauka/article116681/Naukowcy\\_stworzyli\\_materie\\_nieznaną\\_dotąd\\_na\\_ziemi.html](http://www.dziennik.pl/nauka/article116681/Naukowcy_stworzyli_materie_nieznaną_dotąd_na_ziemi.html)

# Nowe urządzenia

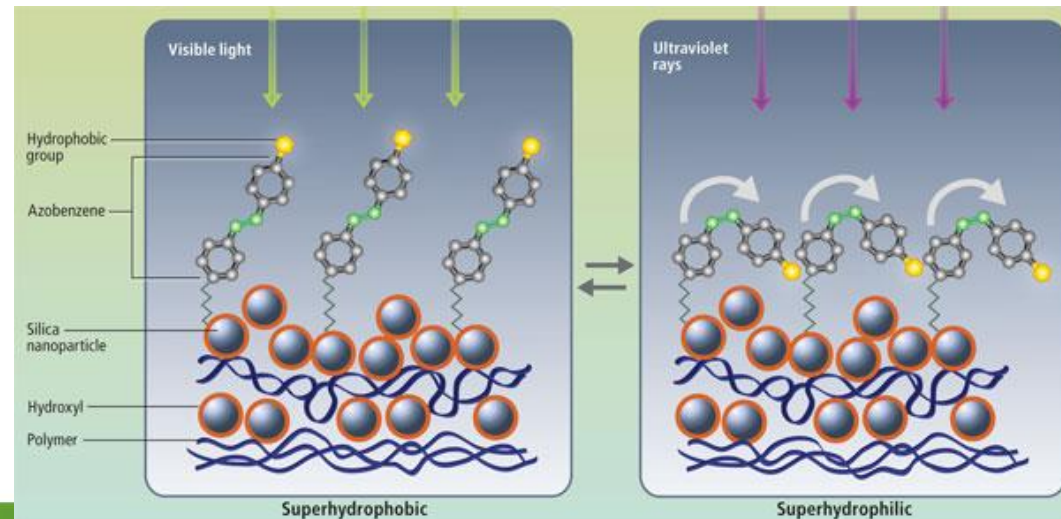
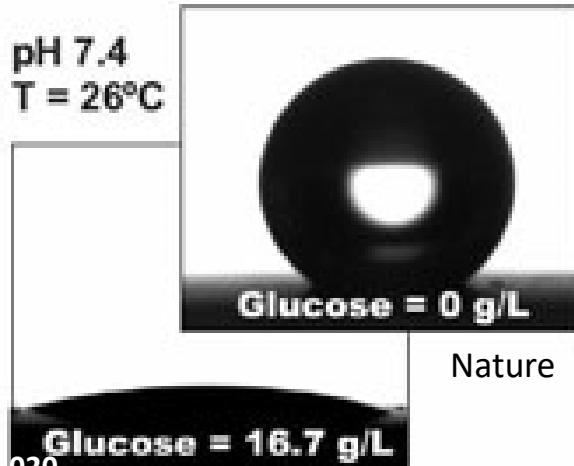
# Pokrycia NANO



Żuk pustynny z Namib



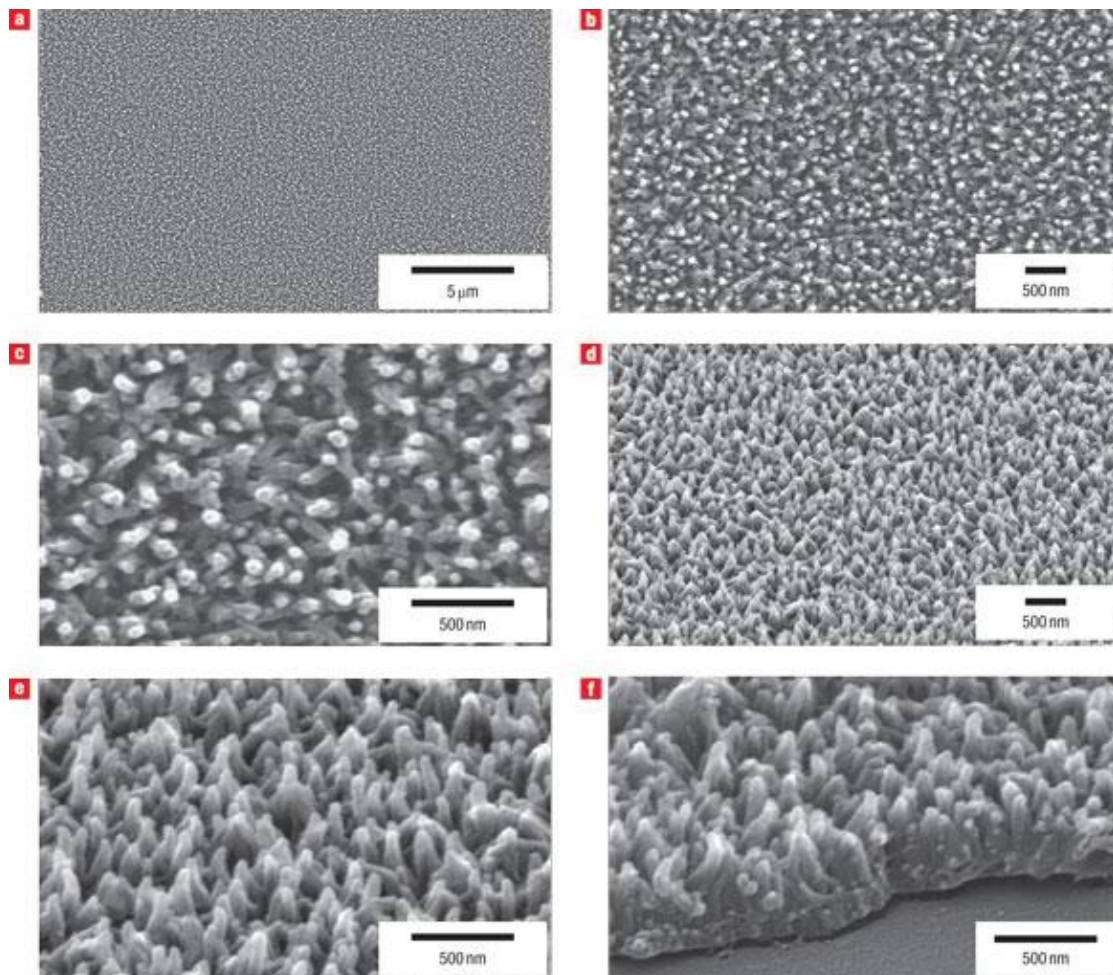
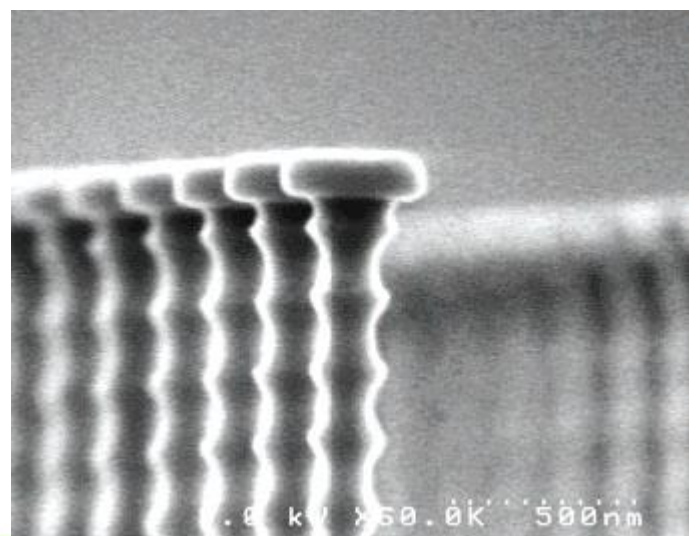
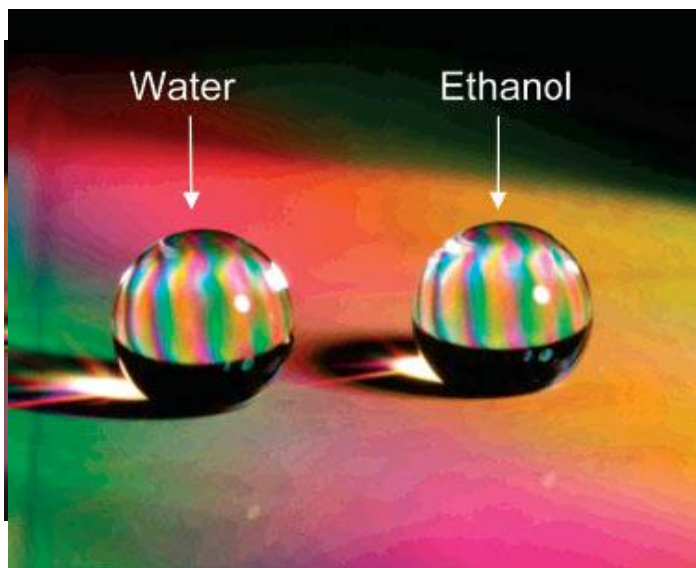
Liść lotosu, photo: Y-T Cheng





# Pokrycia NANO

<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=3032.php>



Nan-Rong Chiou, Chunmeng Lu, Jingjiao Guan, L. James Lee & Arthur J. Epstein  
Nature Nanotechnology 2, 354 - 357 (2007) Published online: 27 May 2007

# Nano-barcode

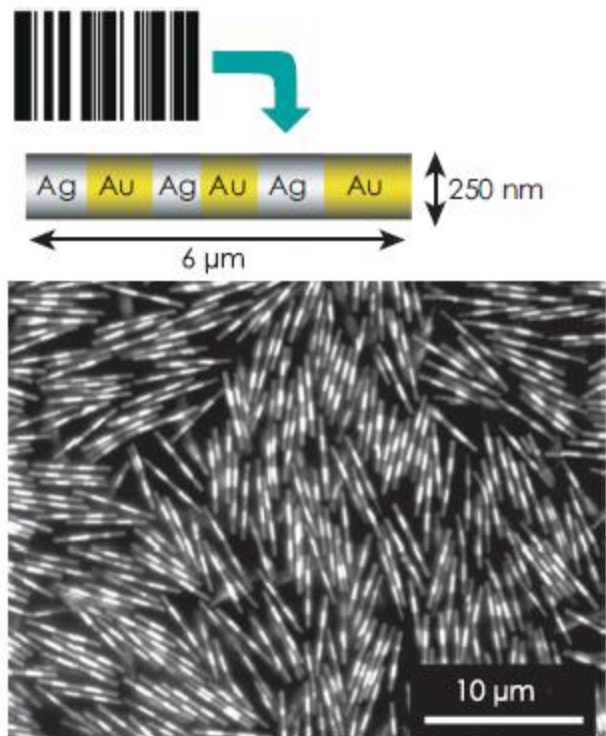


Figure 1. Optical microscope image of Nanobarcode<sup>SM</sup> particles.

prot  
sim

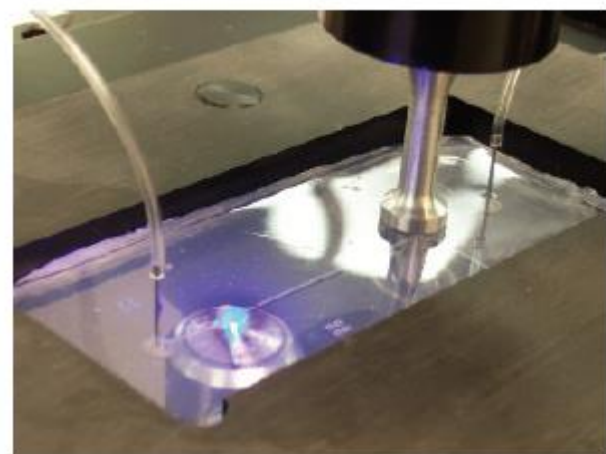
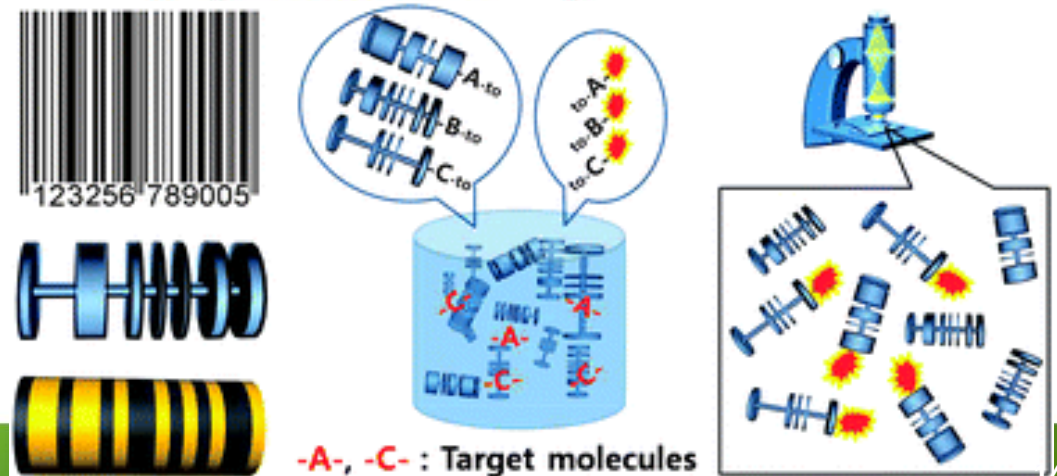
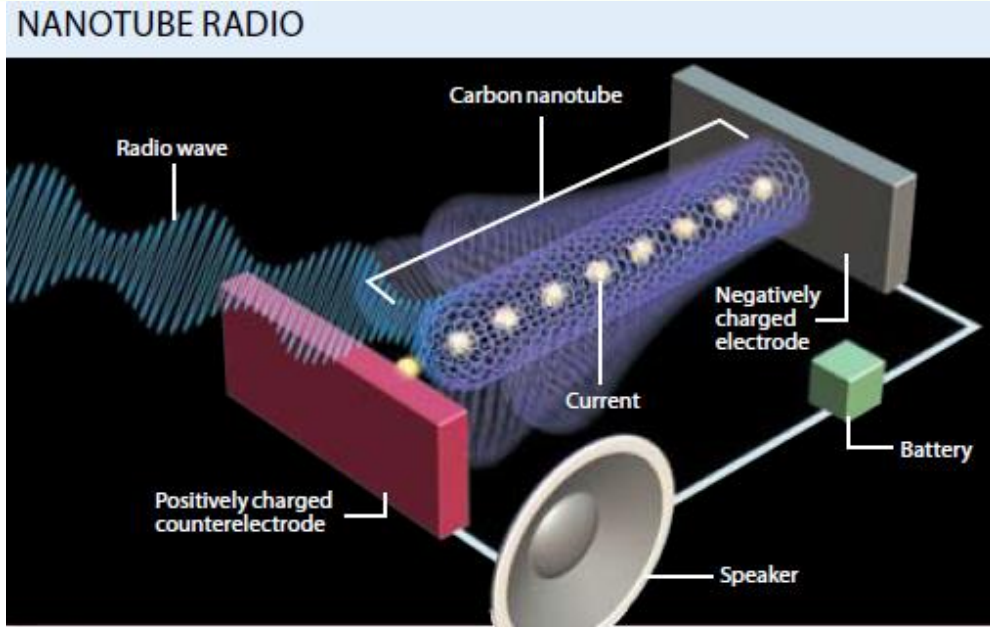
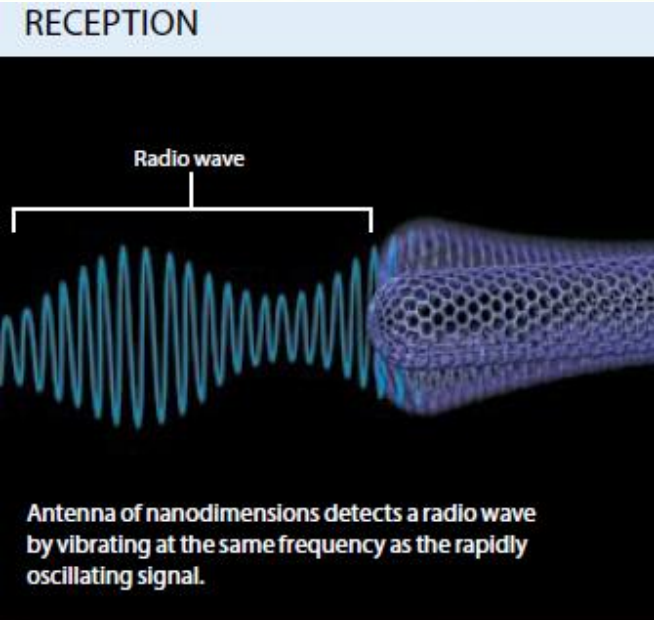


Figure 3. Microfluidic card in use. The card interfaces with the microscope, automated fluidics, an ultrasonic transducer for mixing, and a capture electromagnet with focusing cone (located beneath the card).





# Nowe urządzenia



Scientific American, Nanoradio



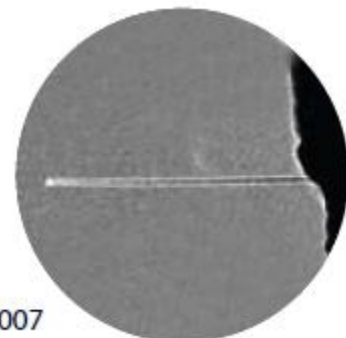
1931



1954



2003

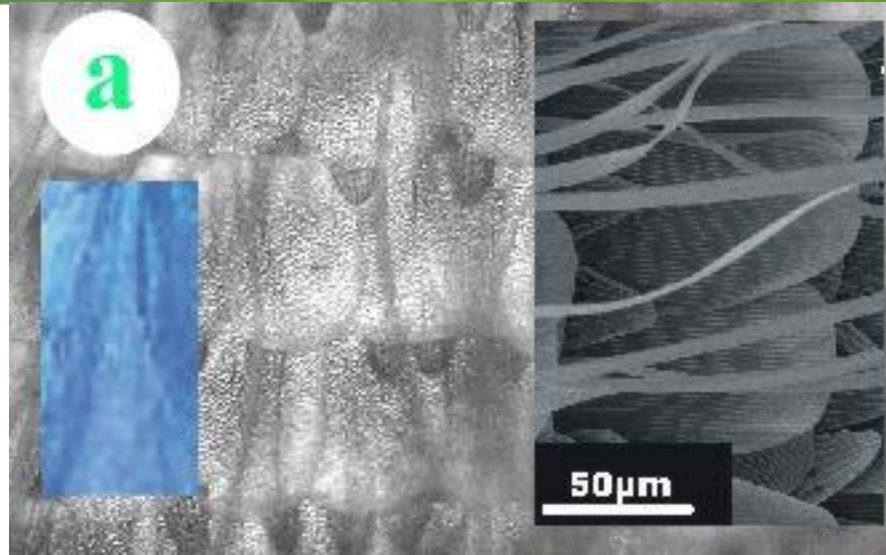


2007

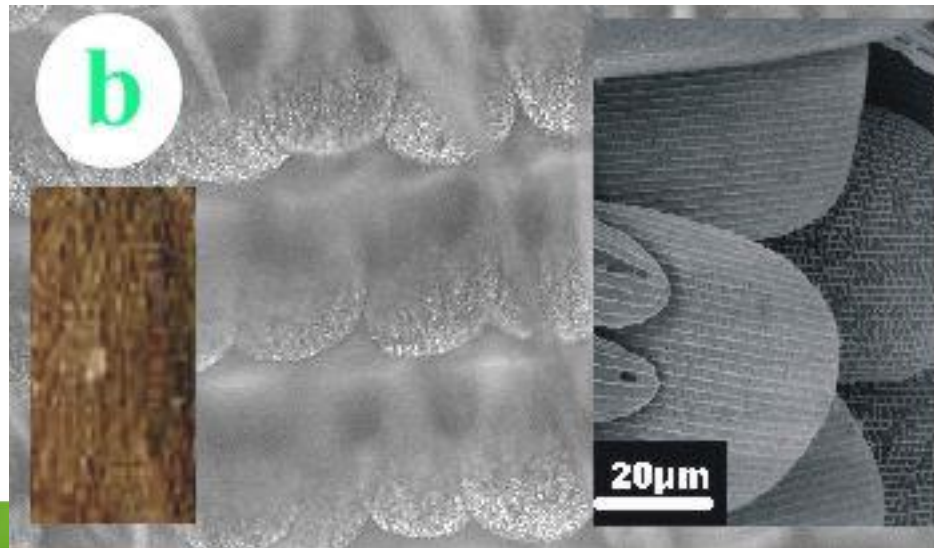


# Fotonika

# Biologiczne kryształy fotoniczne

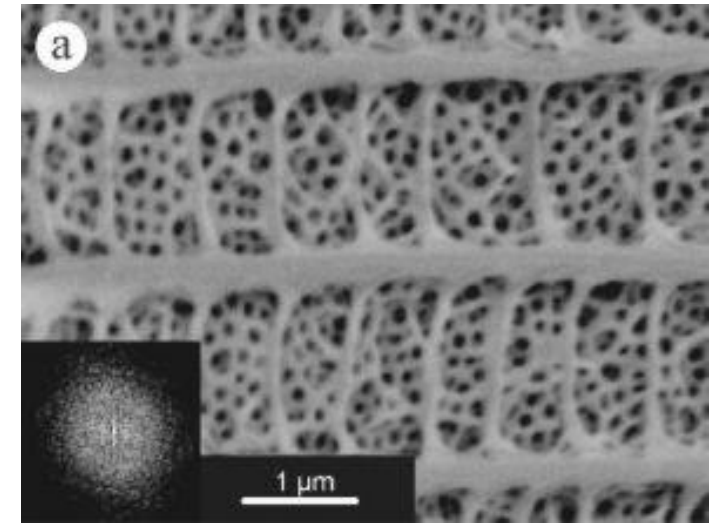


[http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/online/2002\\_butterfly/](http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/online/2002_butterfly/)

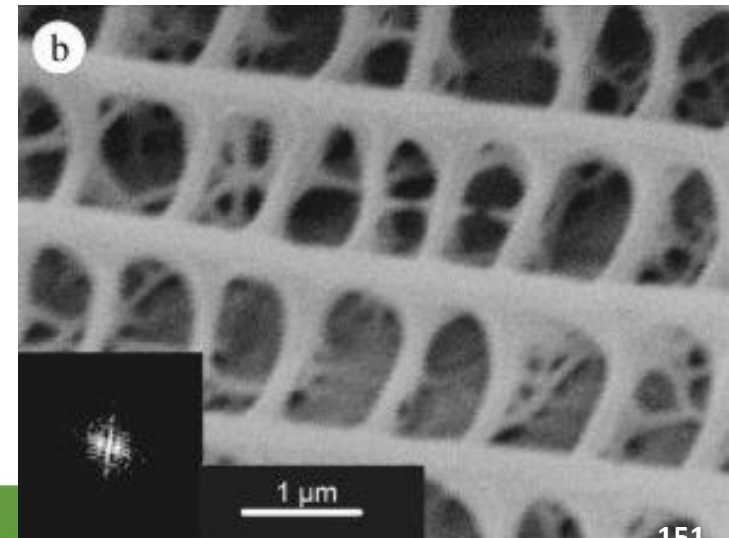




# Biologiczne kryształy fotoniczne



[http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/online/2002\\_butterfly/](http://www.mfa.kfki.hu/int/nano/online/2002_butterfly/)





# Magnetyczne kryształy fotoniczne

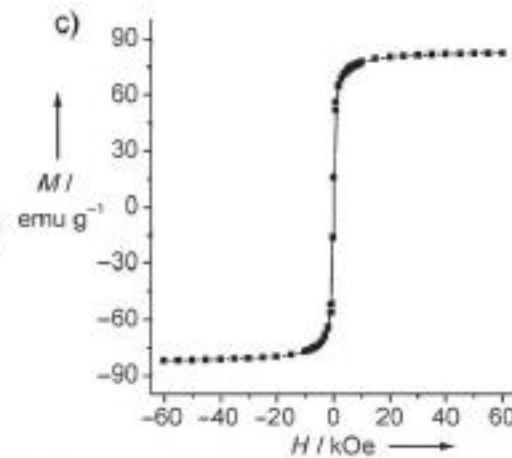
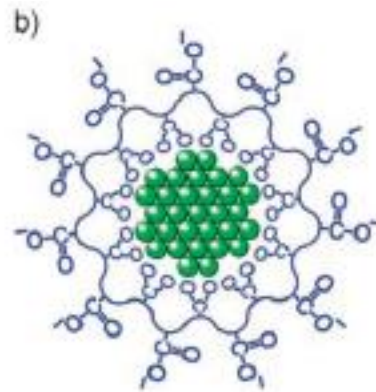
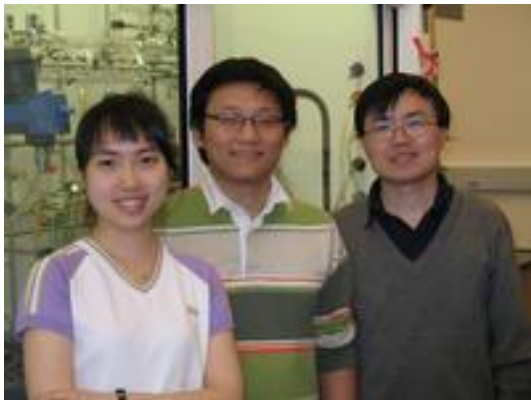
VIP Photonic Crystals

DOI: 10.1002/anie.200701992

## Highly Tunable Superparamagnetic Colloidal Photonic Crystals\*\*

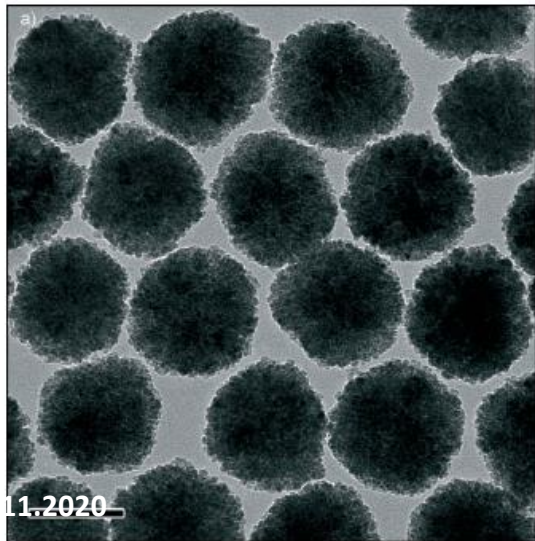
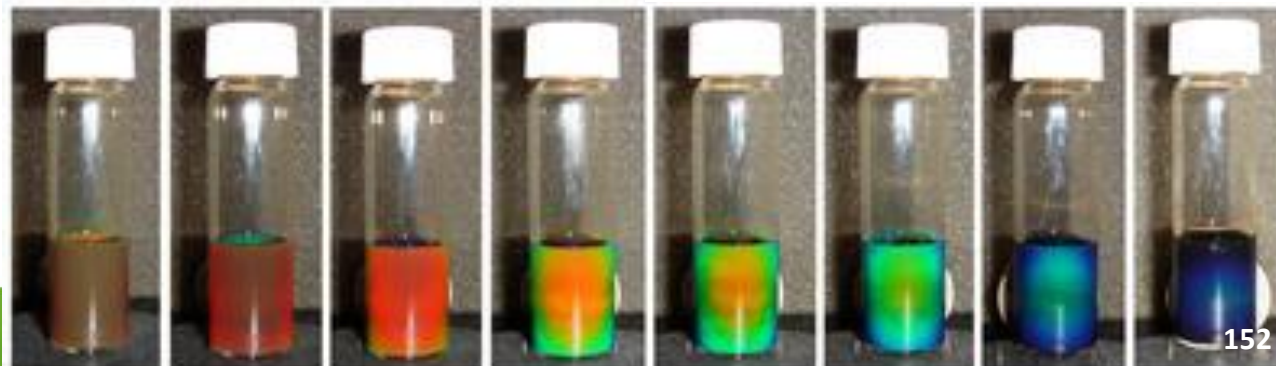
Jianping Ge, Yongxing Hu, and Yadong Yin\*

Angewandte  
Chemie



$\text{Fe}_3\text{O}_4$  120 nm

UC RIVERSIDE UNIVERSITY OF CALIFORNIA Newsroom



# Magnetyczne kryształy fotoniczne

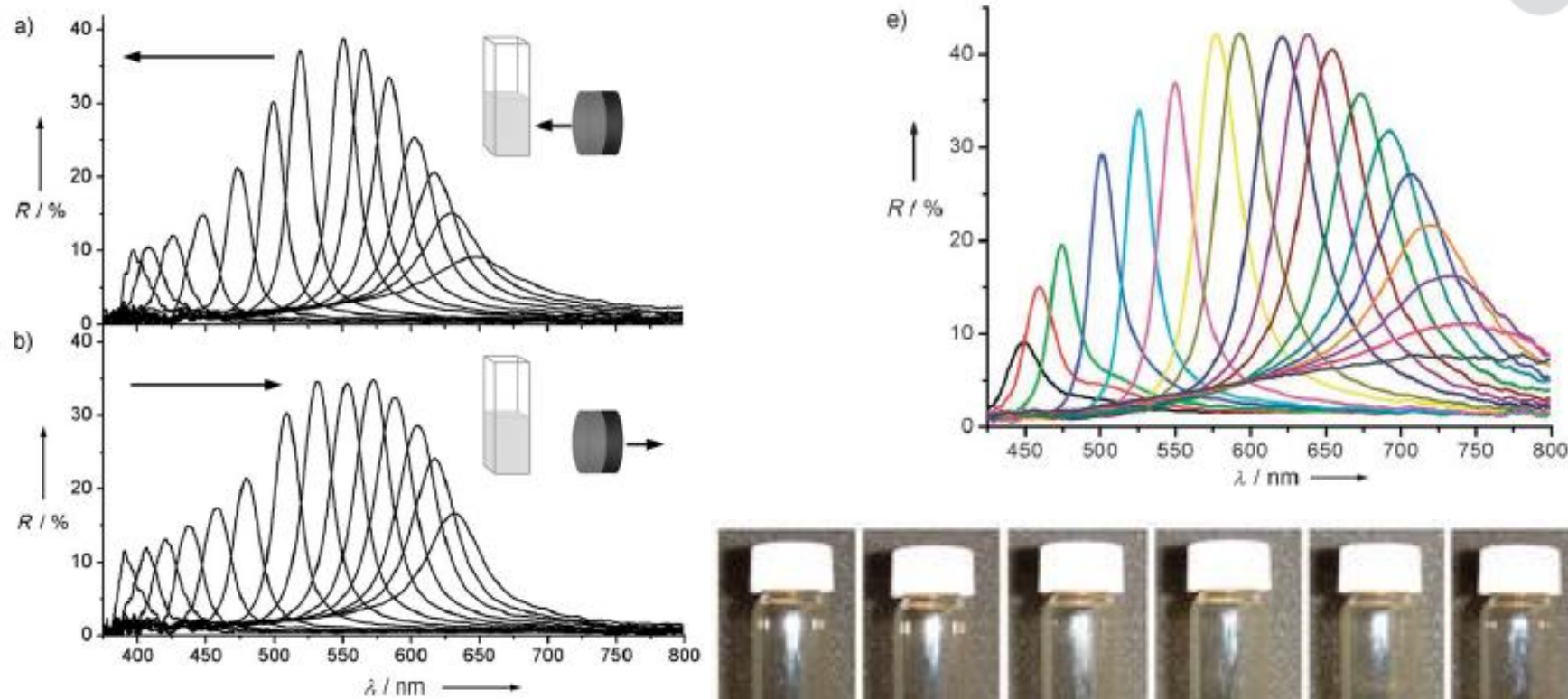
VIP Photonic Crystals

DOI: 10.1002/anie.200701992

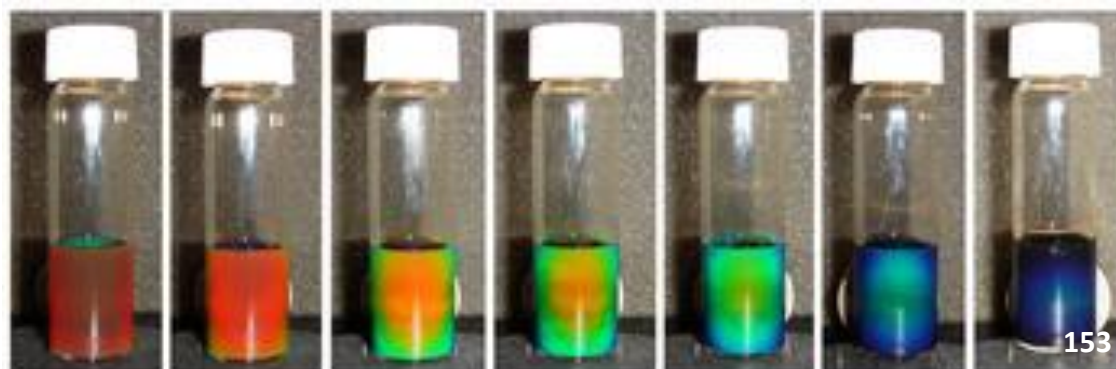
## Highly Tunable Superparamagnetic Colloidal Photonic Crystals\*\*

Jianping Ge, Yongxing Hu, and Yadong Yin\*

angewandte  
Chemie



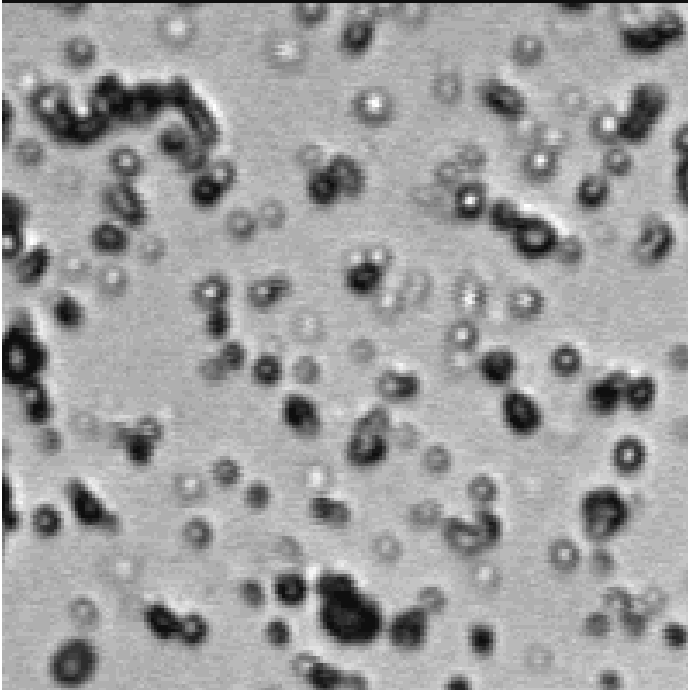
**Figure 3.** Reversible optical responses of 93-nm  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  colloidal photonic crystals to varying external magnetic field. Diffraction peaks blue-shift (a) as the magnet-sample distance decreases from 3.1 to 1.8 cm, and red shift (b) as the distance increases from 1.8 to 3.1 cm in step sizes of 0.1 cm in both cases.



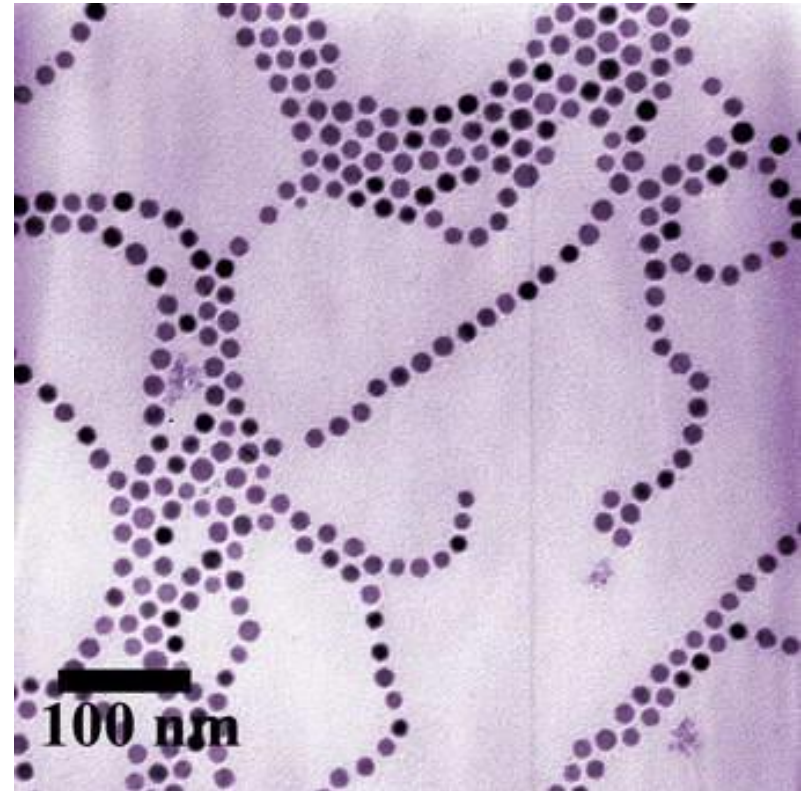


# Magnetyczne kryształy fotoniczne

## Zawiesina nanomagnesów w polu magnetycznym



Piotr Habdas



**Chains of 1 million magnetic nanoparticles have been assembled and disassembled in a solution of suspended particles in a controlled way, scientists at the National Institute of Standards and Technology (NIST) report.**

<http://www.physics.emory.edu/~weeks/lab/pics.html>



# Co dalej?

- Nanotechnologia – kontrola materii w nanoskali – jest szansą dla nauk biologicznych i medycznych w badaniach, diagnostyce i terapii.
- Badania nad nanotechnologią i jej zastosowaniami prowadzą do problemów etycznych (ale jakie badania nie prowadzą?)
- Istnieją technologie niebezpieczne i akceptowalne społecznie (np. samochody) i bezpieczne i nieakceptowalne społecznie (np. energetyka jądrowa, GMO)
- Nowe technologie wymagają społecznej akceptacji – powinni o nią zabiegać sami naukowcy
- Dbanie o bezpieczeństwo nowych technologii jest w interesie społeczeństwa i samych naukowców

## Demonstracja uliczna w Grenoble przeciwko otwarciu MINATEC (1 lipca 2006)

LE 1er JUIN 2006  
TOUTES ET TOUS  
A GRENOBLE  
CONTRE L'INAUGURATION DE  
MINATEC !



Jacek Majewski

„nanotechnologia = nekrologia  
– przeciw nanoproszkom i nanorobotom”

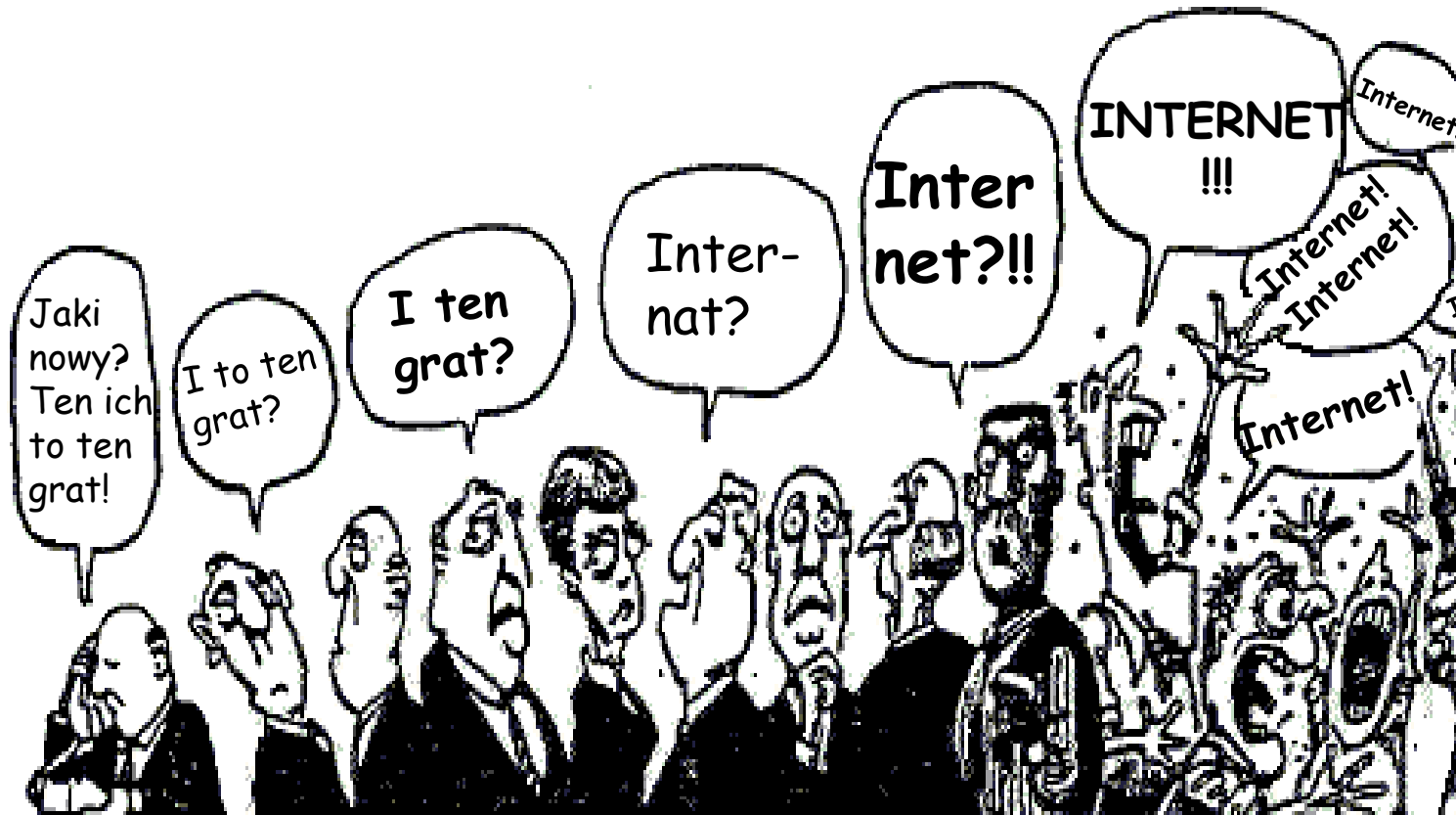
# Podsumowanie



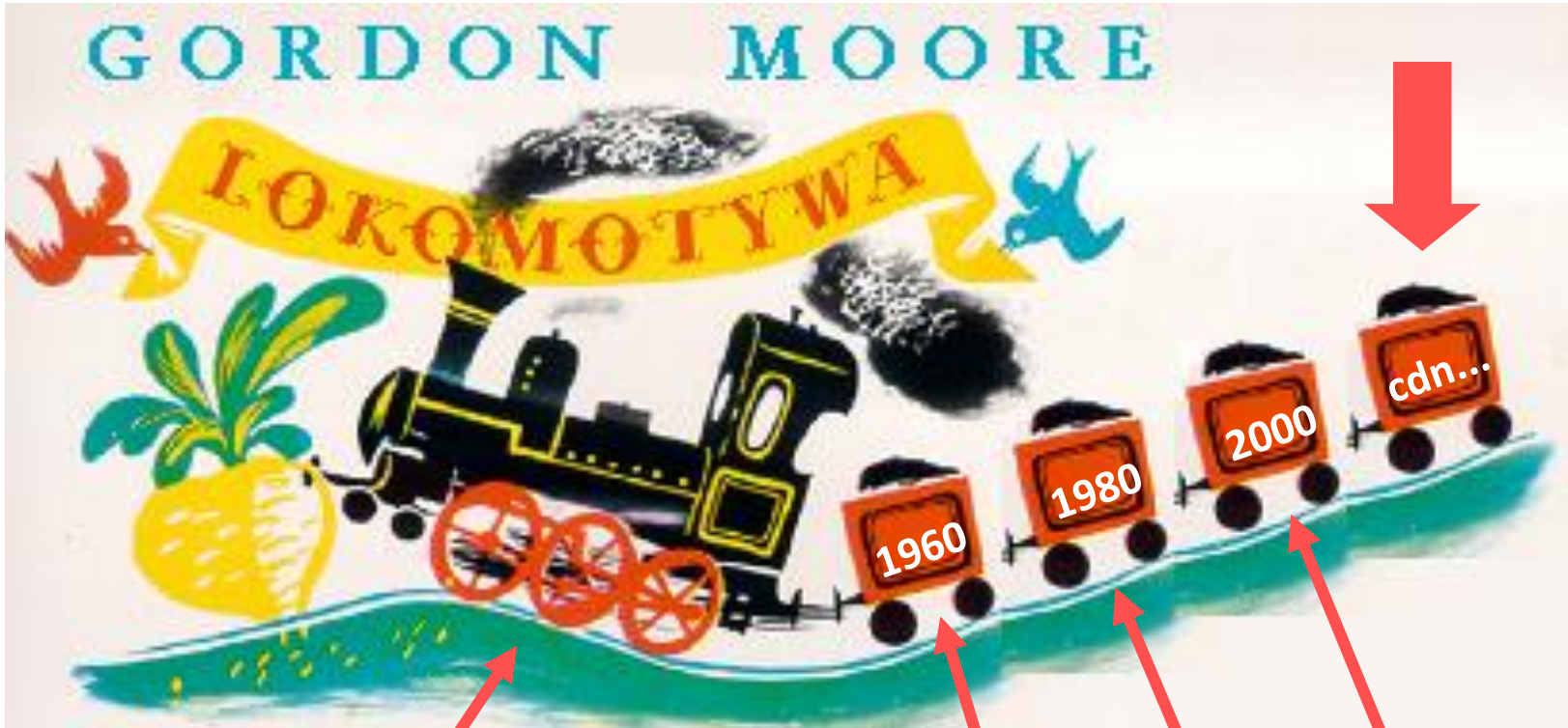
4/06 2007-346 © INKINCT Cartoons [www.inkinct.com.au](http://www.inkinct.com.au)



# Podsumowanie



# Co dalej?



*Parowóz dziejów*

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

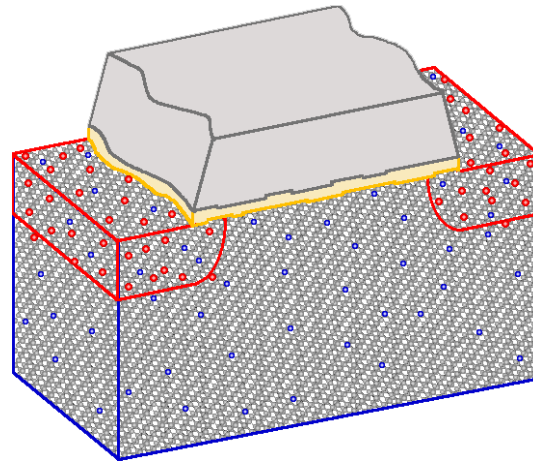
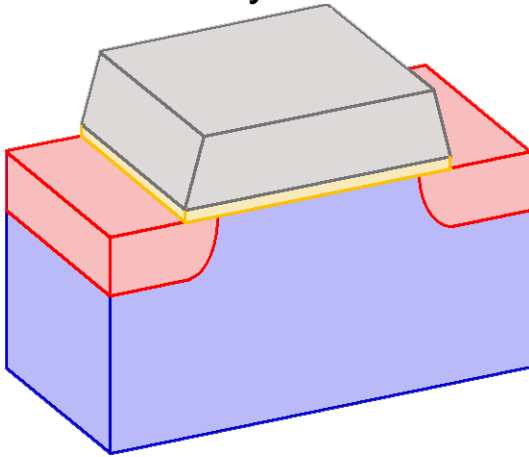
mili

mikro

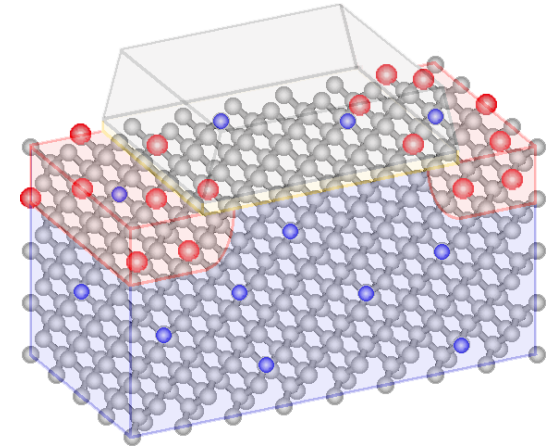
nano

# Granice miniaturyzacji?

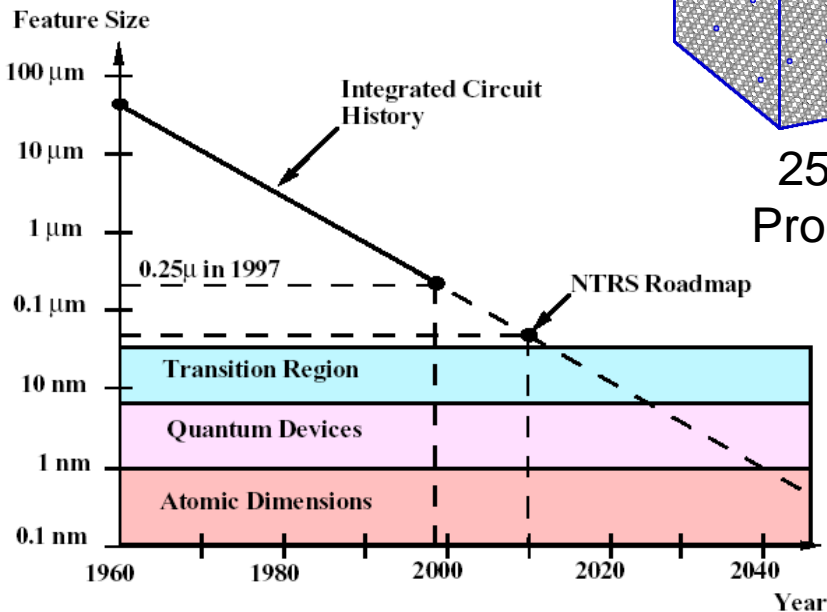
Myślimy, że tranzystor jest zbudowany tak.



25 nm MOSFET  
Produkcja od 2008



4,2 nm MOSFET  
Produkcja ???



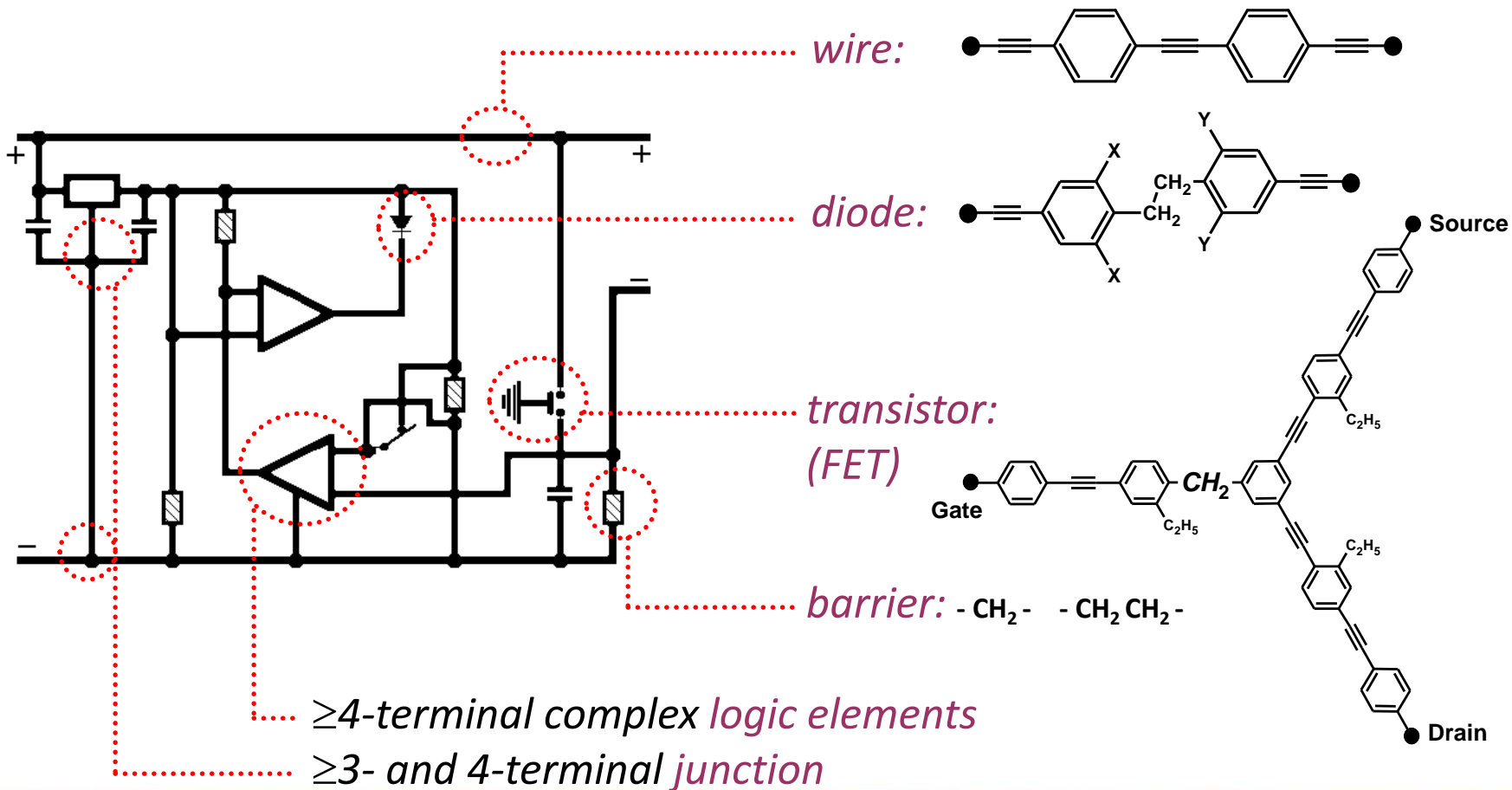


# State-of-the-Art: Electronic Circuits

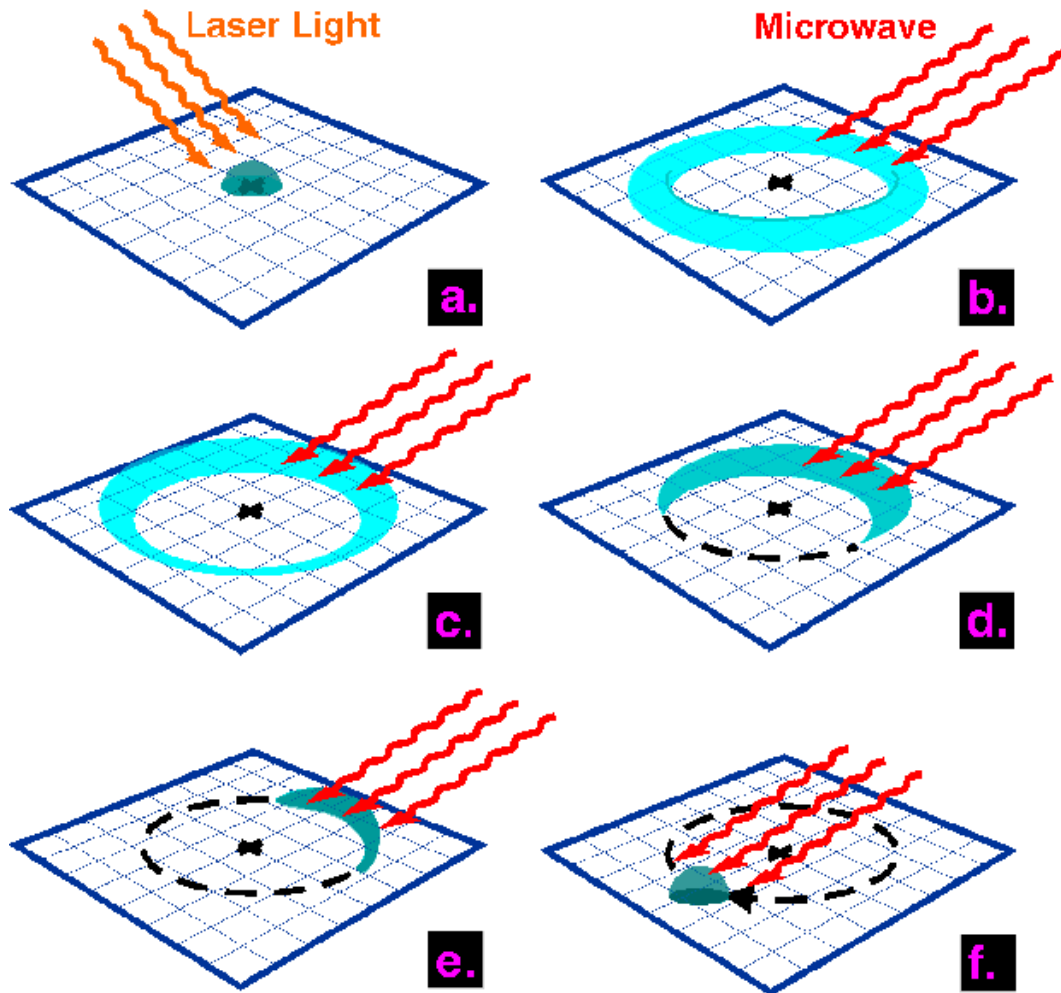
Kees Hummelen - University of Groningen

From macroscopic  
copper ( $\sim 1 \mu\text{m}$ )

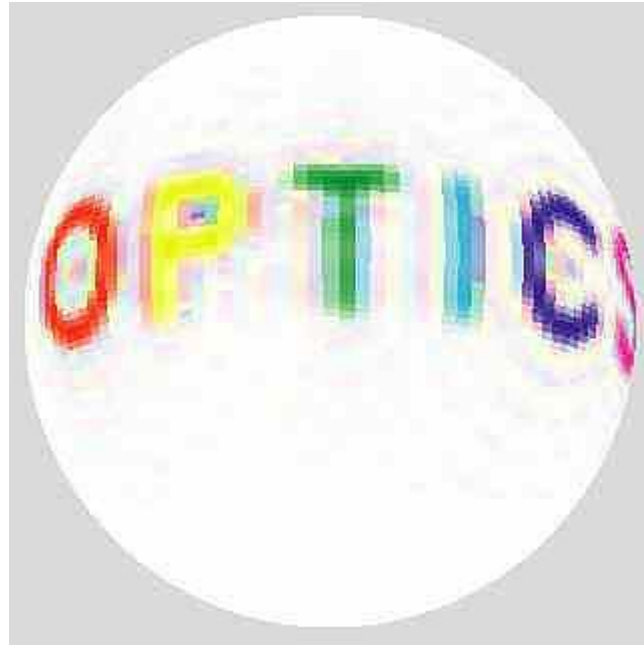
to nanoscale electronics  
organic molecules ( $\sim 0.3\text{-}3 \text{ nm}$ )



# Ile bitów na atom?



*Illustration showing how to transform an electron from its usual state in an atom (a), in which it exists in a cloud of possible positions surrounding the positively charged nucleus (indicated by a plus sign), to a "Trojan state" (f), in which the electron orbits the nucleus like a planet around the sun. The name comes from Trojan asteroids, the asteroids which orbit the sun in the same orbit as Jupiter but in a place either ahead or behind the planet. To create a Trojan electron, researchers would first use laser light to put the electron into a "circular Rydberg state" in which the electron exists in a thin donut of possible positions (b). Then, a microwave beam would subsequently change the shape of the donut (c-e), shrinking the range of possible positions for the electron and ultimately causing the electron to shrink into a small droplet (or alternatively, a shortened sausage) of possible positions. This droplet then orbits the nucleus like a planet around the sun. Although not yet achieved experimentally, researchers believe that current technology could be applied to create Trojan electrons. The figure is not to scale--the circular Rydberg and Trojan states are actually hundreds of thousands of times farther away from the nucleus. In addition, the figure essentially shows just the top half of the probability cloud for the Trojan electron.*



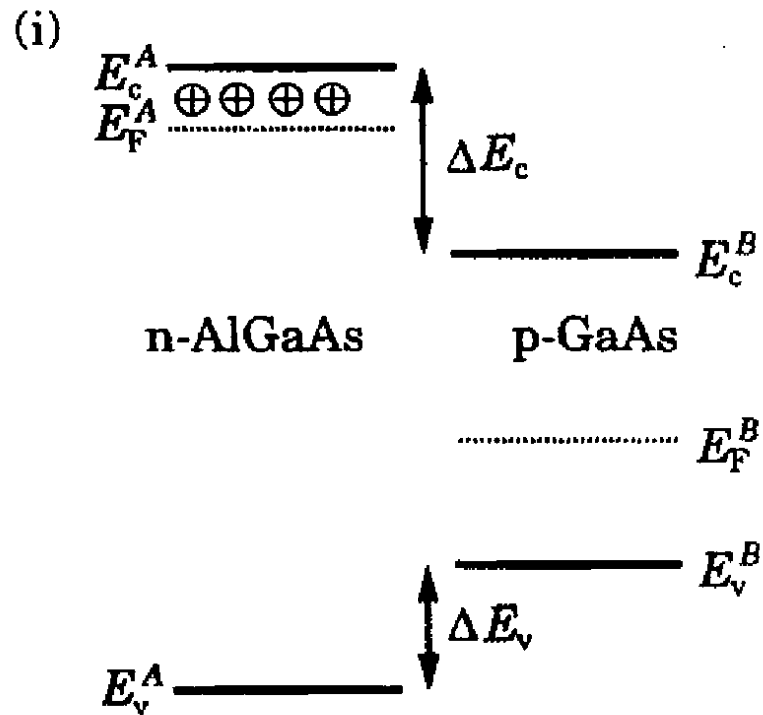
In recent computer simulations, researchers formed the word "optics" by calculating the electron cloud for a specially prepared  $n=50$  state. In the image above, the intensity of the letters represents the relative probability for finding the electron at that place, and the color denotes the phase (relative point in the cycle) of the electron wave associated with that point in the cloud. (Image courtesy Carlos Stroud, University of Rochester, and Michael Noel.) **This research is described by Carlos Stroud and Michael Noel in the April 1999 issue of [Optics and Photonics News](#).**



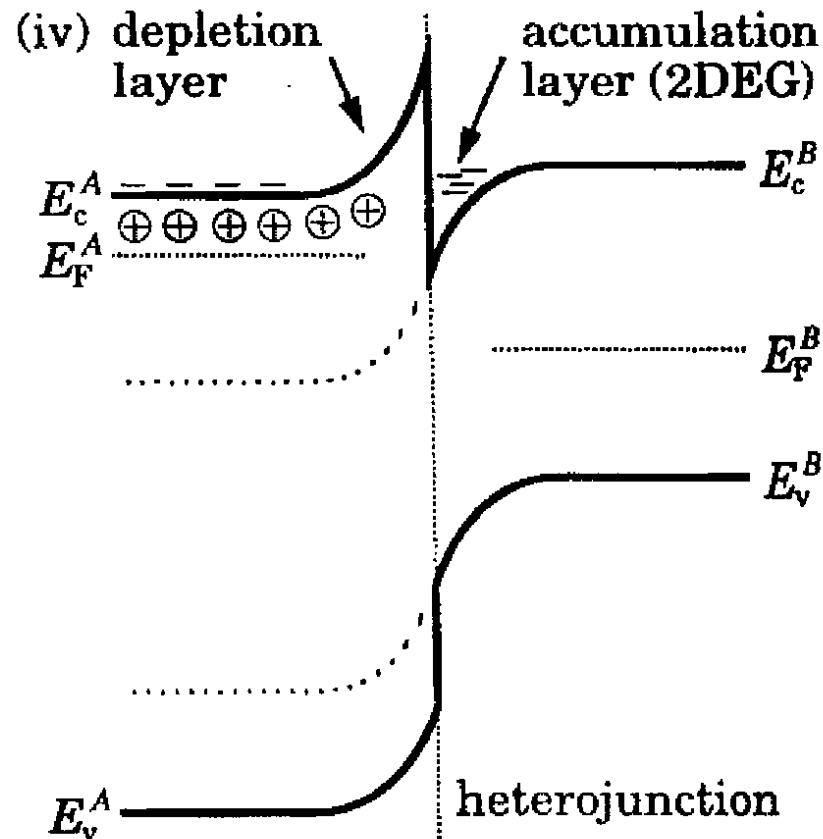
# nano-bio



# Konstrukcja diagramów pasmowych



# Konstrukcja diagramów pasmowych



Przesuwamy tymczasowe linie  $\bar{E}_c^A$  w  $E_c^A$  i  $\bar{E}_v^A$  w  $E_v^A$ , a następnie łączymy ze sobą w miejscu heterozłącza. Pojawiające się nieciągłości dopełniają szkic heterozłącza.