

Az SZTE Kutatóegyetemi Kiválósági Központ tudásbázisának
kiszélesítése és hosszú távú szakmai fenntarthatóságának megalapozása
a kiváló tudományos utánpótlás biztosításával”



Eötvös Loránd Kollégium

Eötvös Esték

2011. 10. 18.

Nanotechnológia alkalmazásai

Dr. Kukovecz Ákos



„There's plenty of room at the bottom”

- 1959, Caltech, Richard P. Feynman, „a nanotechnológia programbeszéde”
Feynman díj #1: 1/64 inch (~ 400 mikron) méretű, működő villanymotor készítéséért.
Feynman díj #2: egy oldalnyi írásért, ami olyan technológiával készül, ami lehetővé tenné egy teljes enciklopédia felírását egy gombostűfejre. (25000-szeres kicsinyítés)



„There's plenty of room at the bottom”

- 1959, Caltech, Richard P. Feynman, „a nanotechnológia programbeszéde”

Feynman díj #1: 1/64 inch
(~ 400 mikron) méretű, működő
villanymotor készítéséért.

Feynman díj #2: egy oldalnyi írásért, ami olyan
technológiával készül, ami lehetővé tenné egy
teljes enciklopédia felírását egy gombostűfejre.
(25000-szeres kicsinyítés)



1960, William McLellan
250 mikrogram, 2000 rpm

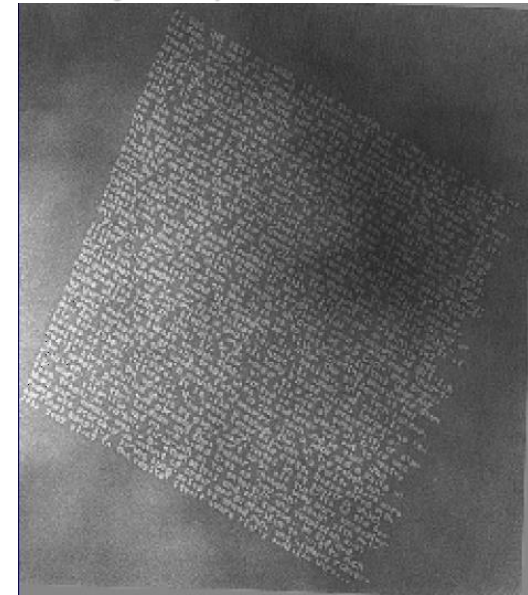


„There's plenty of room at the bottom”

- 1959, Caltech, Richard P. Feynman, „a nanotechnológia programbeszéde”

Feynman díj #1: 1/64 inch
(~ 400 mikron) méretű, működő
villanymotor készítéséért.

Feynman díj #2: egy oldalnyi írásért, ami olyan
technológiával készül, ami lehetővé tenné egy
teljes enciklopédia felírását egy gombostűfejre.
(25000-szeres kicsinyítés)



1985, Tom Newman, E-beam litográfia
50 nm betűkkel Dickens: Két város regénye 1.o.

1960, William McLellan
250 mikrogram, 2000 rpm



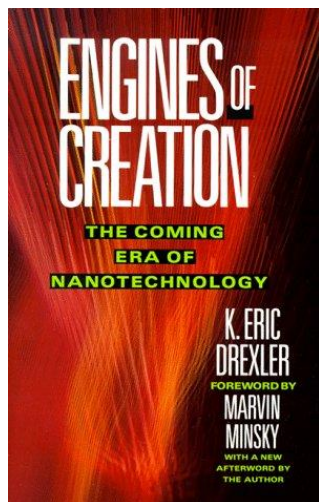


1974 Norio Taniguchi „nanotechnológia” kifejezés használata:

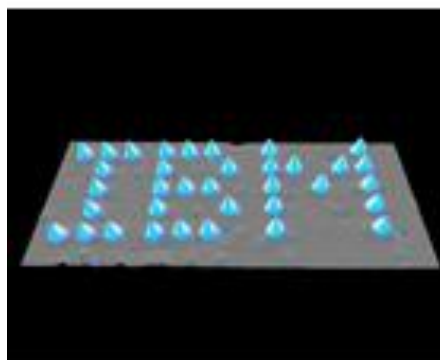
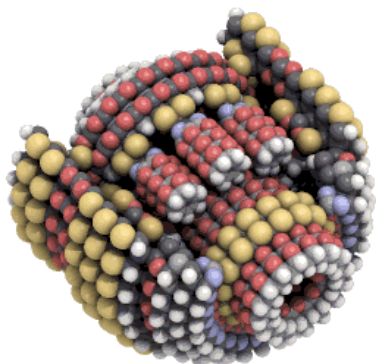
'Nanotechnology' mainly consists of the processing of, separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or by one molecule."



1981 Heinrich Rohrer & Gerd Binnig: Pásztázó alagútmikroszkóp

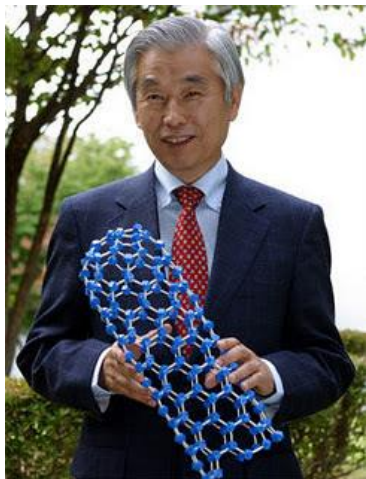


1986 Eric Drexler „Engines of creation” Nanorobotok víziója (2006-ban 2.0 kiadás!)

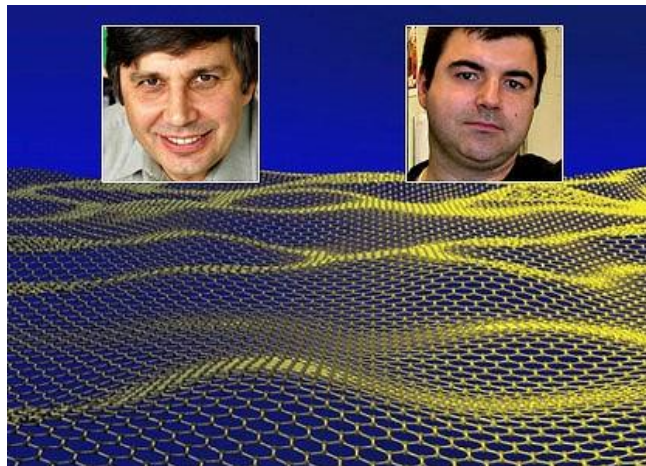


1989 Don Eigler: 35 Xe atom egyedi manipulálása



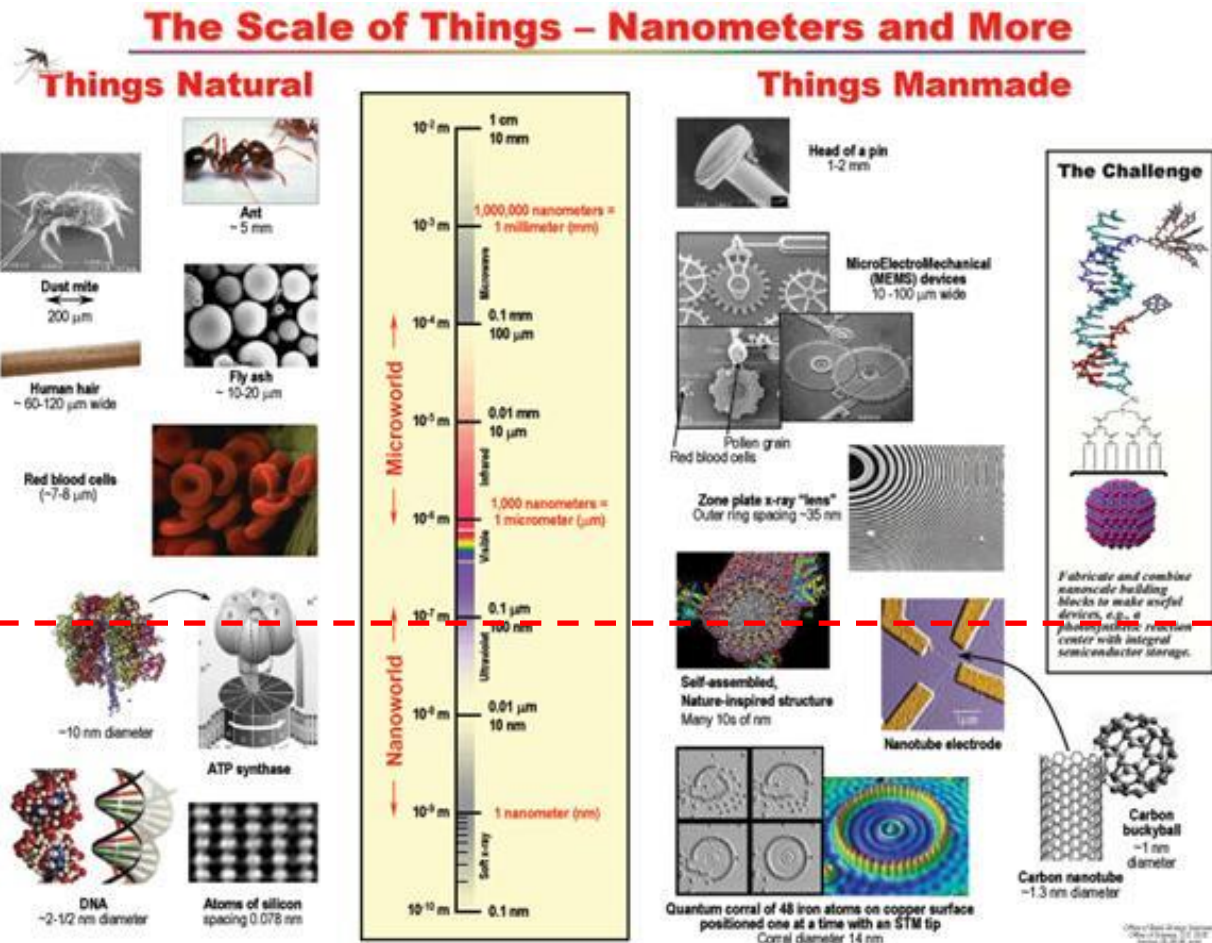


1991 Sumio Iijima:
szén nanocső



2004 A. Geim és K. Novoselov: grafén

Mi a „nano” mérettartomány?



A **nano** görög eredetű szó, jelentése: törpe. A mértékegységek rendszerében a nanométer a milliméter egy milliomod része, vagyis 10^{-9} méter.

Nanométer viszonyítás

HA egy nanorészecske NFL labda méretű lenne....



AKKOR egy vírus akkora lenne, mint egy ember....



....egy vörös vértest akkora, mint egy focipálya....



....egy fánk akkora, mint Új-Zéland....



....egy kiwi pedig akkora, mint a Föld.



Miért különleges a nanométeres mérettartomány?

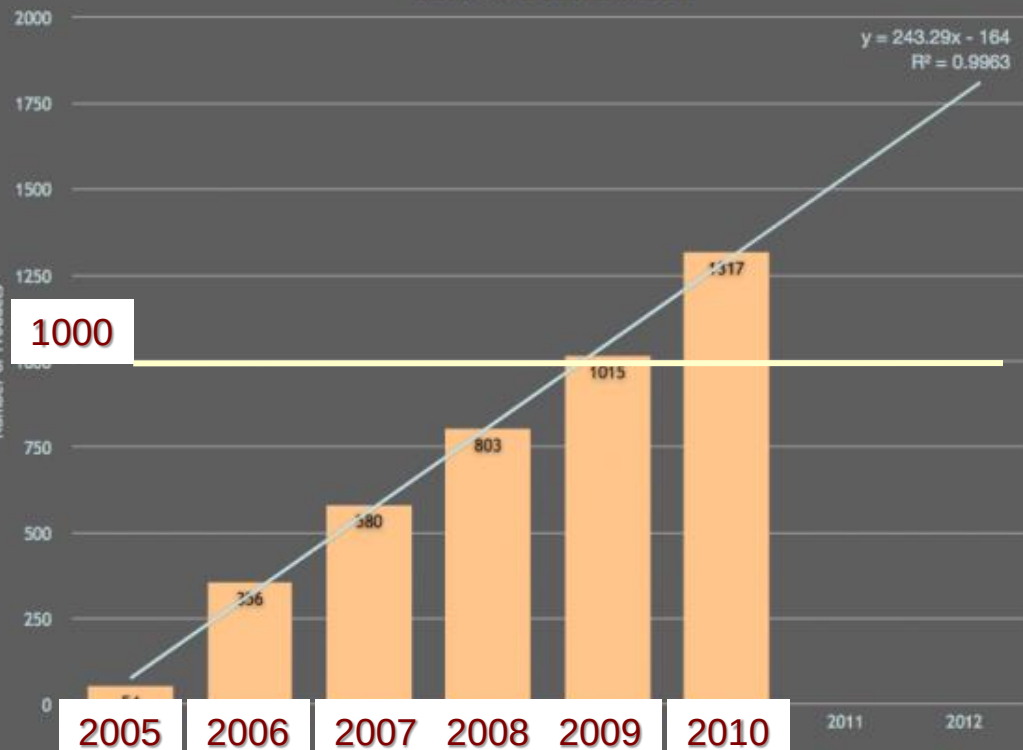
1. Kis méret = homogén kompozitok kevés anyagból
2. Kis méret = jobb behatolókéesség
3. Extrém nagy hossz/átmérő (nanoszálak) illetve terület/átmérő (filmek) arány érhető el
4. Nagyobb felület, több felületi atom, más reakciókéesség
5. Új, a tömbfázisra nem jellemző elektromos tulajdonságok

Mit várhatunk a nanotechnológiától?

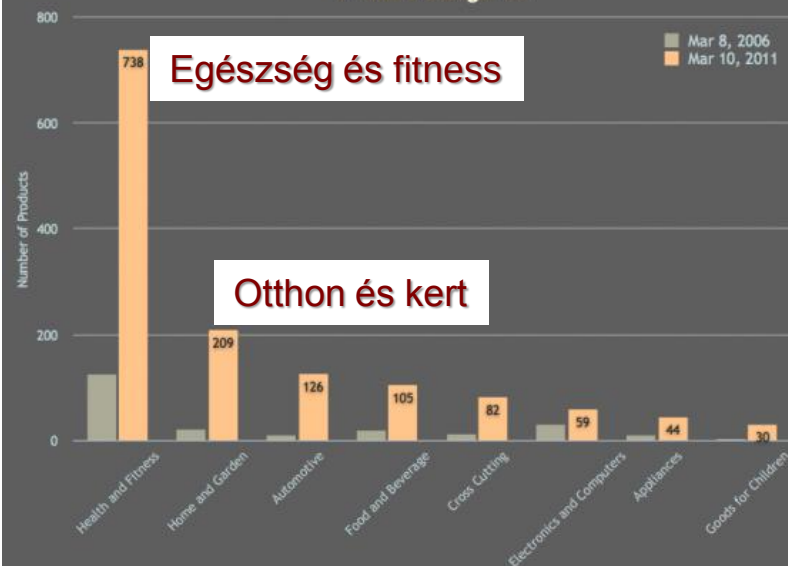
- Kisebb, nyersanyag- és energiatakarékos megoldások, fenntartható fejlődés.
- Technológiai fejlődés, információsűrűség, szenzorok: mennyiségi változások minőségibe mennek át, intelligens rendszerek stb.
- Korábban megoldhatatlan problémák (pl. gyógyászat) kezelése
- Korábban nem létező, új tulajdonságokat mutató anyagok előállítása
- Híd a „hagyományos” gyártástechnológiák és a biotechnológia között.

Nanoanyagokat tartalmazó végfelhasználói termékek

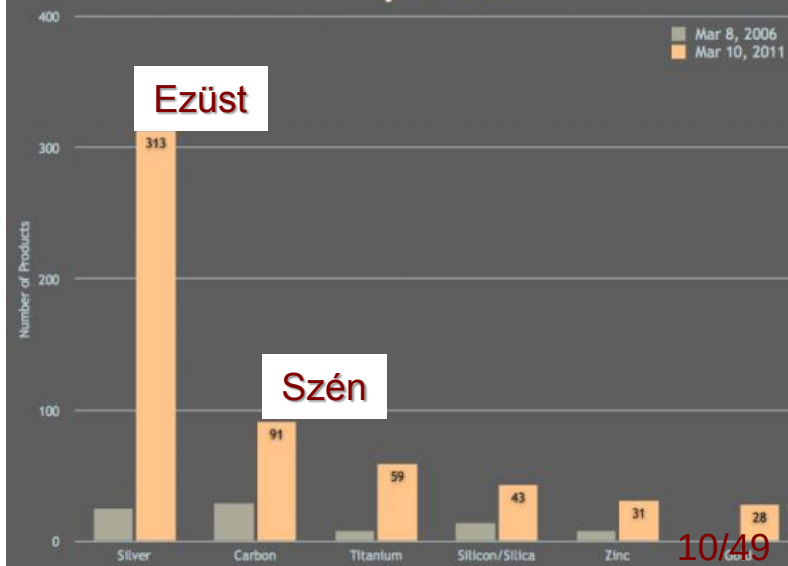
Total Products Listed



Product Categories



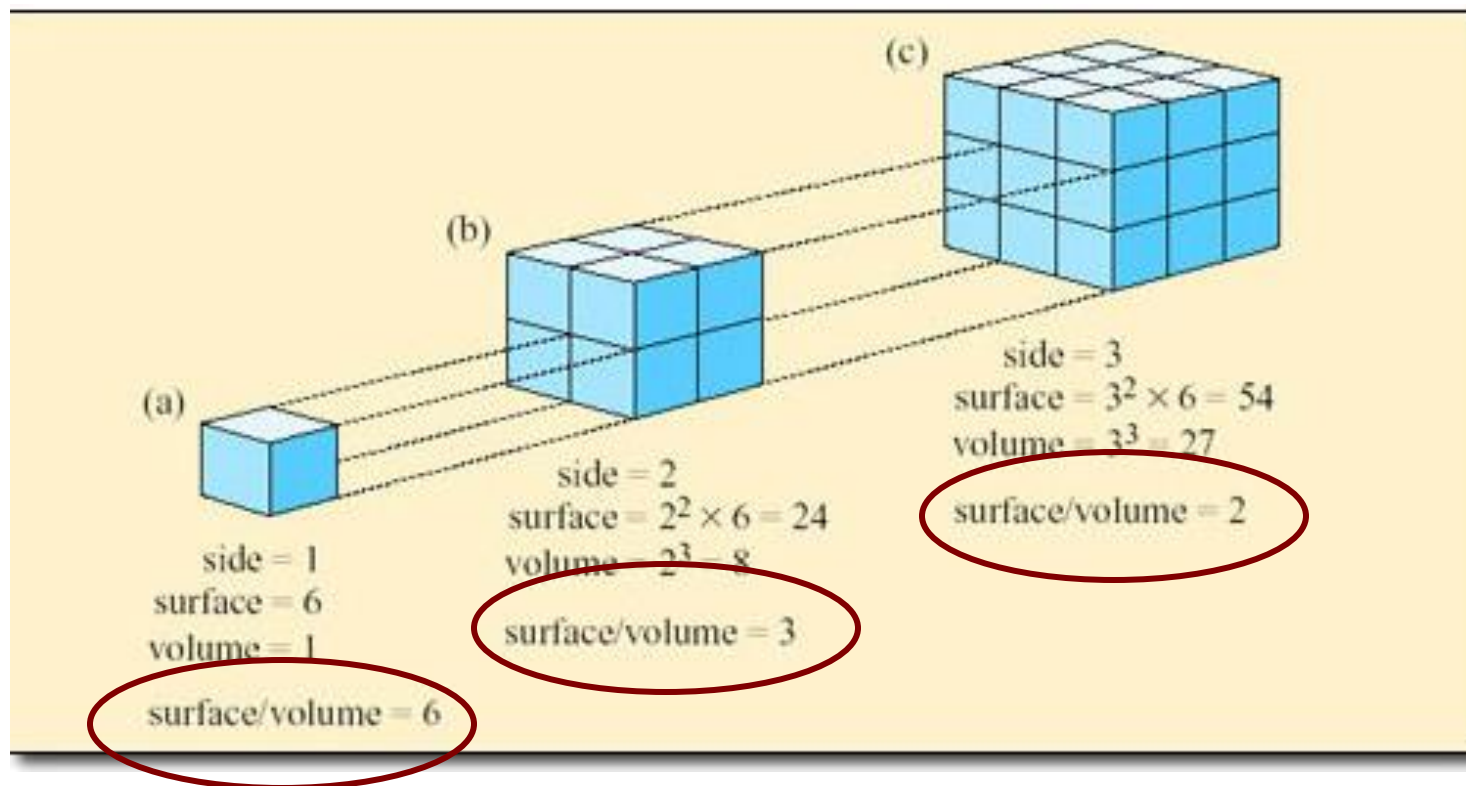
Major Materials



<http://www.nanotechproject.org>



Nanométeres objektumok: sok atom van a felületen



Nanométeres objektumok: sok atom van a felületen

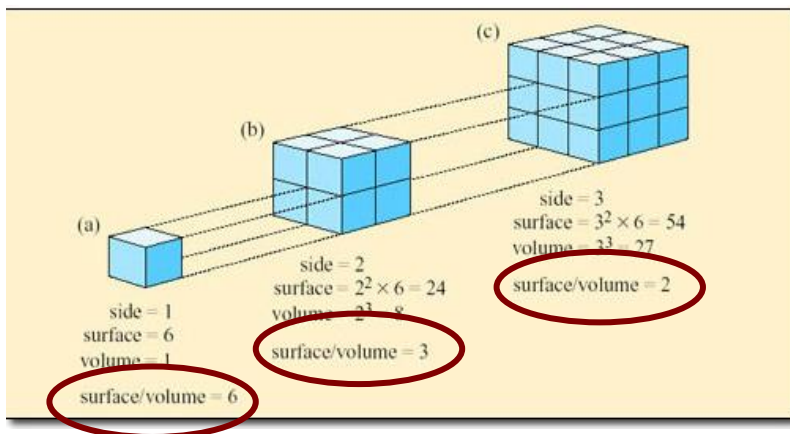


Table 2.1. Number of atoms (structural magic numbers) in rare gas or metallic nanoparticles with face-centered cubic close-packed structure^a

Shell Number	Diameter	Number of FCC Nanoparticle Atoms		
		Total	On Surface	% Surface
1	1 <i>d</i>	1	1	100
2	3 <i>d</i>	13	12	92.3
3	5 <i>d</i>	55	42	76.4
4	7 <i>d</i>	147	92	62.6
5	9 <i>d</i>	309	162	52.4
6	11 <i>d</i>	561	252	44.9
7	13 <i>d</i>	923	362	39.2
8	15 <i>d</i>	1415	492	34.8
9	17 <i>d</i>	2057	642	31.2
10	19 <i>d</i>	2869	812	28.3
11	21 <i>d</i>	3871	1002	25.9
12	23 <i>d</i>	5083	1212	23.8
25	49 <i>d</i>	4.90×10^4	5.76×10^3	11.7
50	99 <i>d</i>	4.04×10^5	2.40×10^4	5.9
75	149 <i>d</i>	1.38×10^6	5.48×10^4	4.0
100	199 <i>d</i>	3.28×10^6	9.80×10^4	3.0

^aThe diameters *d* in nanometers for some representative FCC atoms are Al 0.286, Ar 0.376, Au 0.288, Cu 0.256, Fe 0.248, Kr 0.400, Pb 0.350, and Pd 0.275.

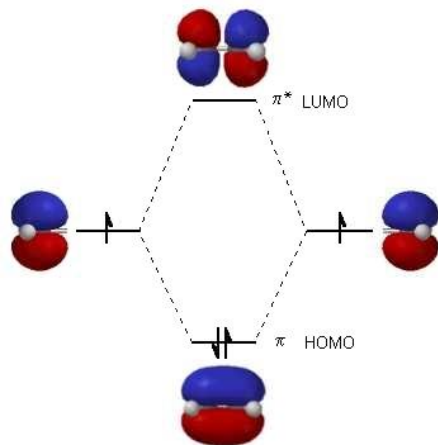
Tekintsünk egy arany részecskét!

Átmérő (nm)	Felületi atomok (%)
57	3
6	26
2	62

Miért különleges a nanoanyagok elektronszerkezete?

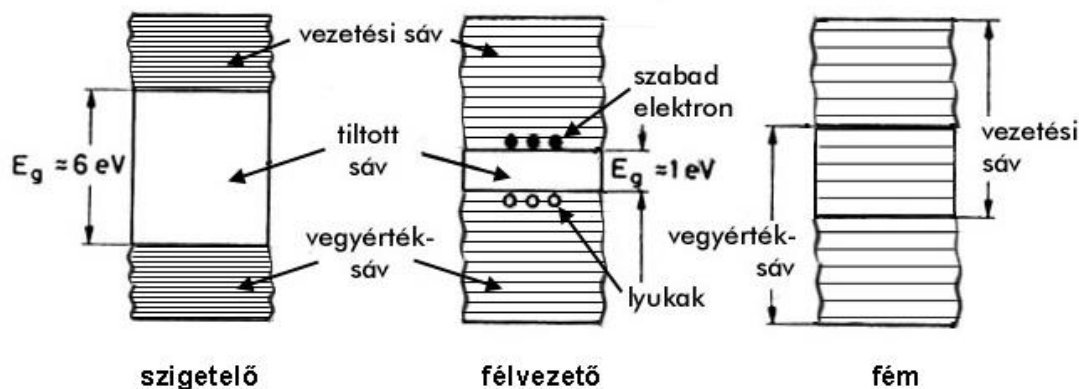
Molekulák:

Nagyon kevés vegyértékelektron
Molekulapályák



Etilén

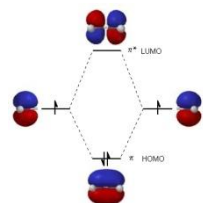
Szilárd tömbi fázisok ~végtelen sok elektron sávszerkezet



Miért különleges a nanoanyagok elektronszerkezete?

Molekulák:

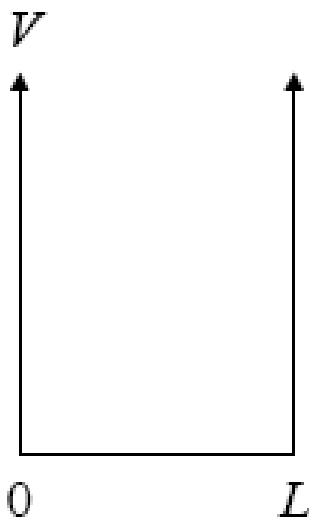
Nagyon kevés vegyértékelektron
Molekulapályák



Etilén

Nanorészecskék:
„részecske a dobozban” elv
DE: a doboz mérete kicsi!

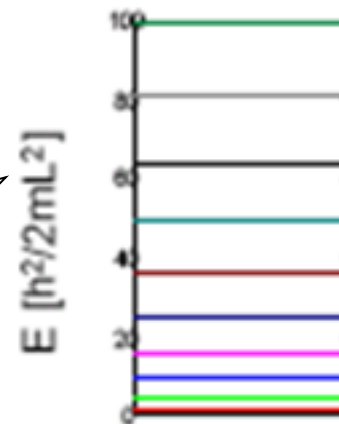
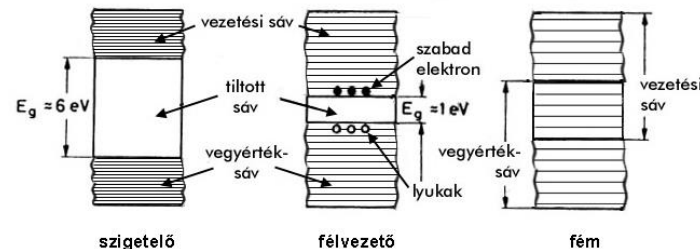
1 dimenziós, „L” hosszú dobozba zárt részecske megengedett energiaállapotai:



$$V = \begin{cases} 0, & 0 < x < L \\ \infty, & x \leq 0; x \geq L \end{cases}$$

A minta „L” mérete meghatározza a lehetséges energiállapotok számát és sűrűségét is. Ez a kvantumeffektusok fő oka a nanoméretű részecskékben.

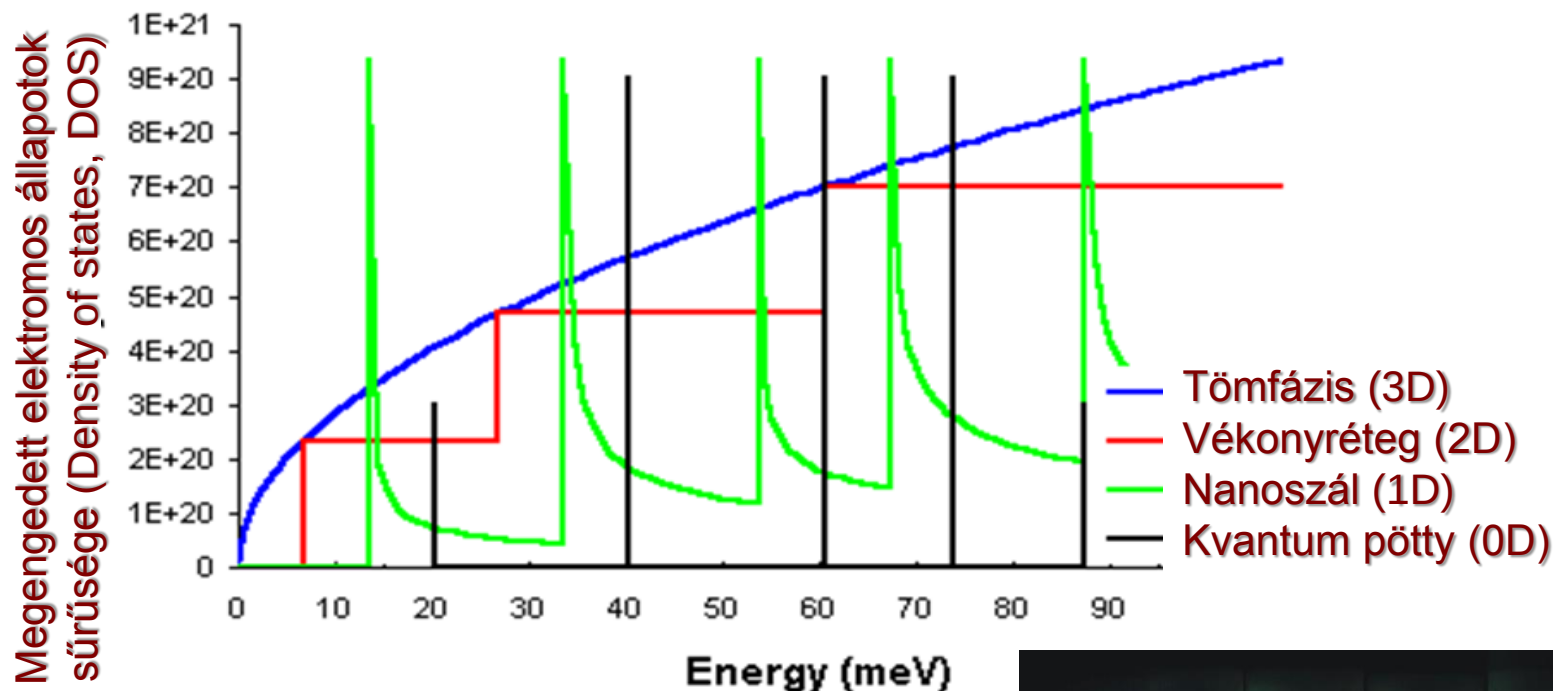
Szilárd tömbi fázisok
~végtelen sok elektron
sávszerkezet



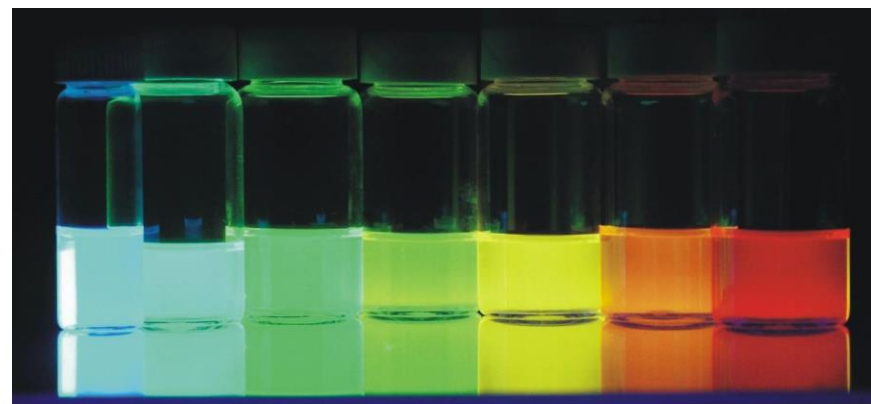
MEGÚJUL



A projekt az Európai Unió támogatásával,
az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

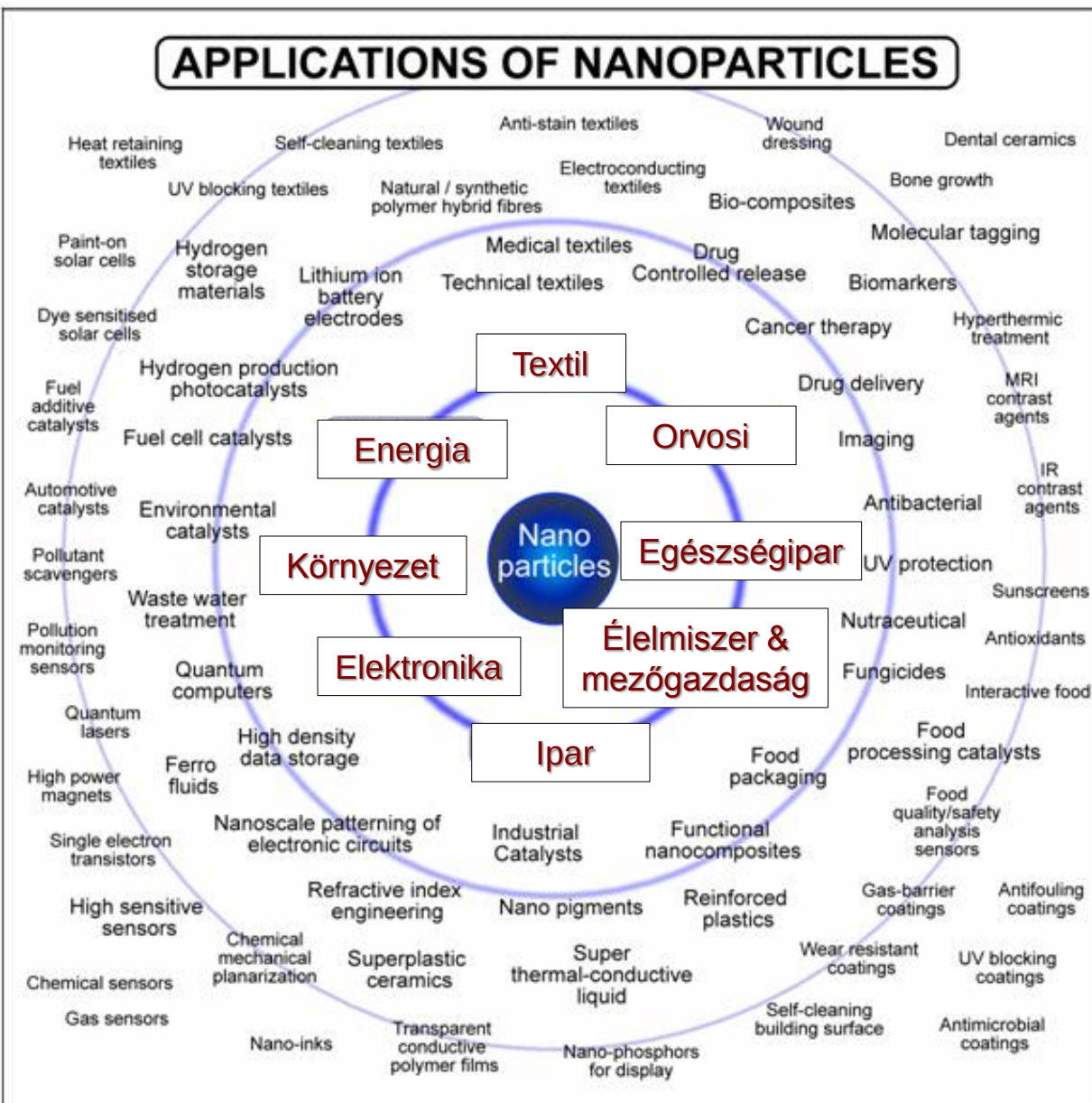


CdSe kvantum pöttyek fluoreszcenciájának színét a pötty mérete határozza meg!



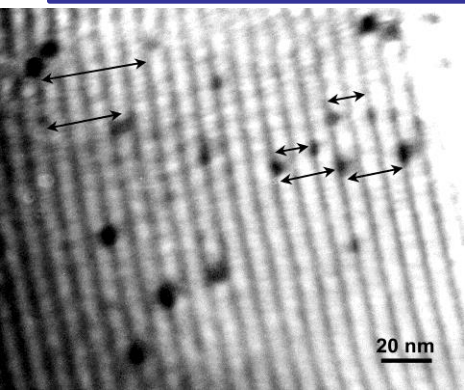
2.3 → 5.5

Size (nanometers)

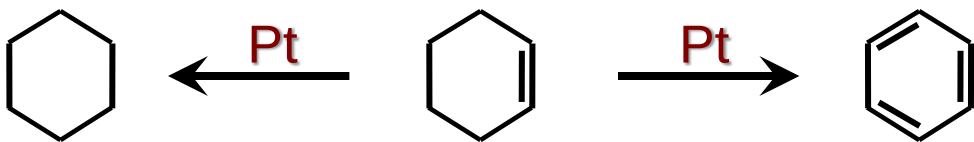


Int. J. of Nanotechnology 2009 Vol. 6,
No.5/6 pp. 567 - 578

Platina nanorészecskék alakjának hatása a Pt/SBA-15 katalizátor működése ciklohexén átalakításában

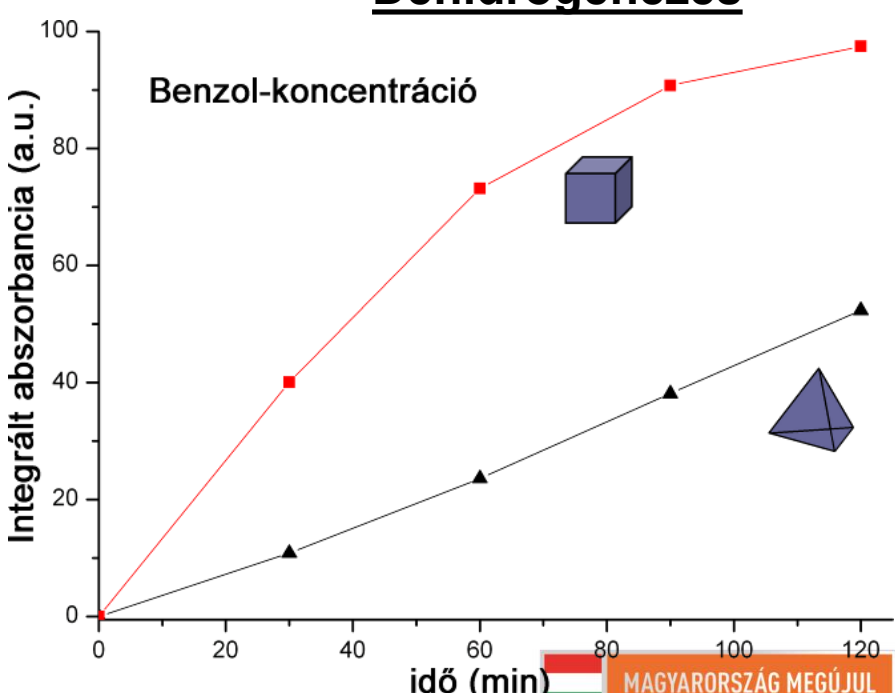
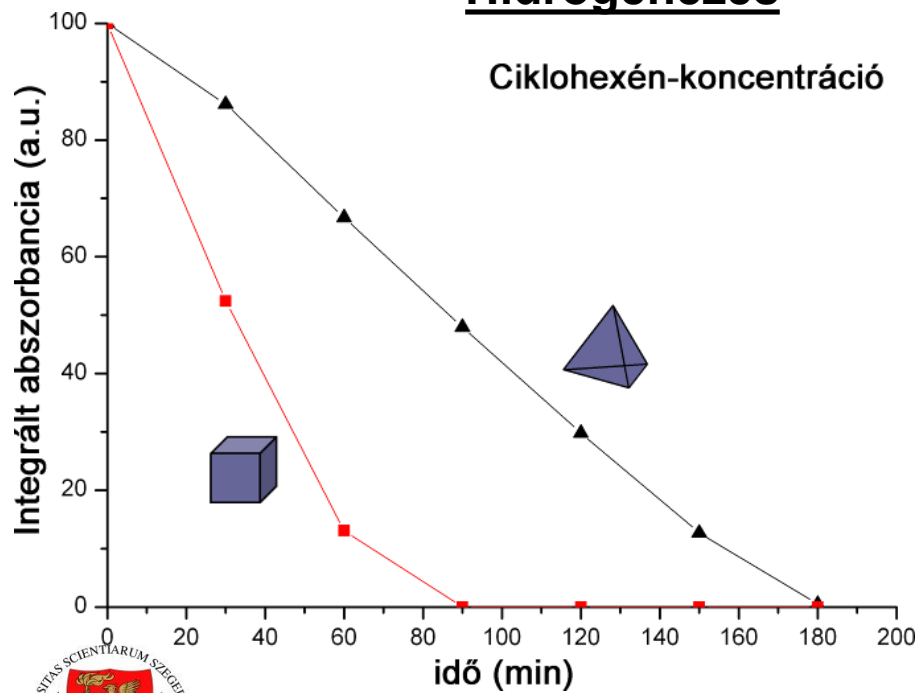


Katalitikus kémiai technológiák: ~1500 milliárd EUR/év



Hidrogénezés

Dehidrogénezés



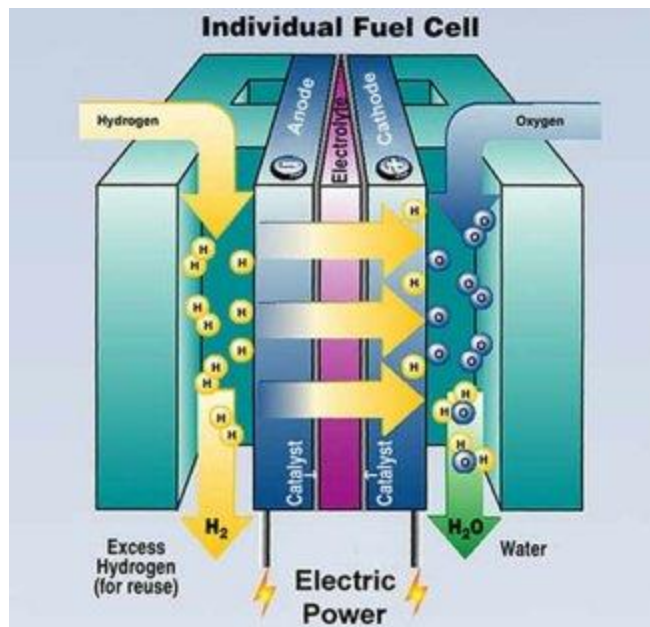
Hidrogénezés @300 K

Dehidrogénezés @473 K

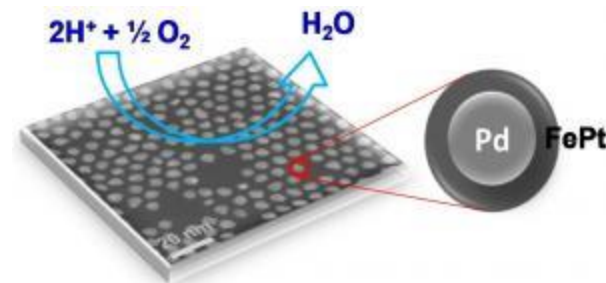


Nanorészecskék alkalmazása : tüzelőanyag cellák

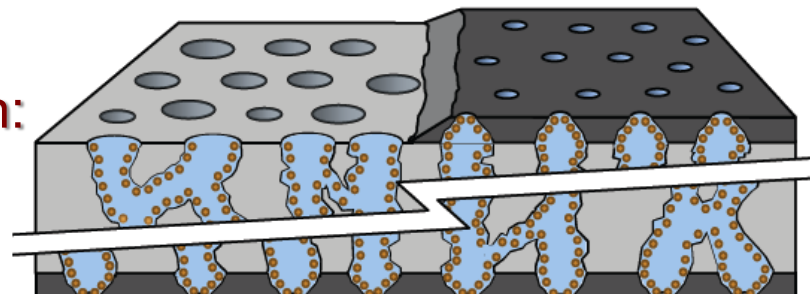
Nanotechnológiai fejlesztések tüzelőanyag cellákban:

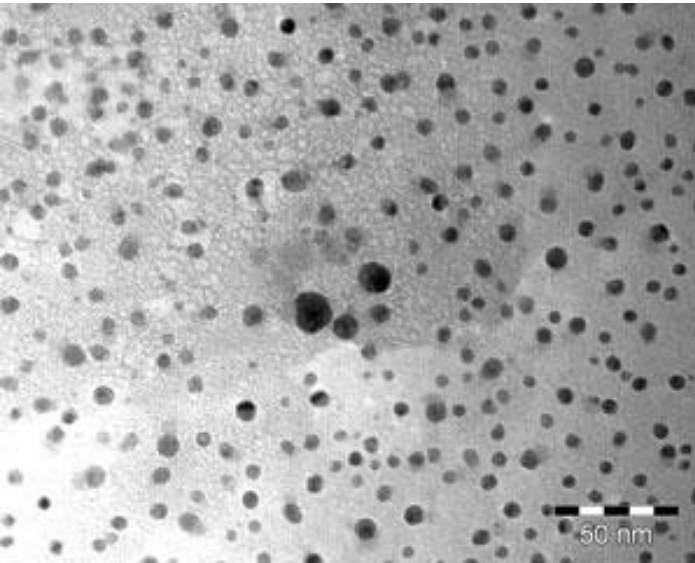


Jobb katalizátor:



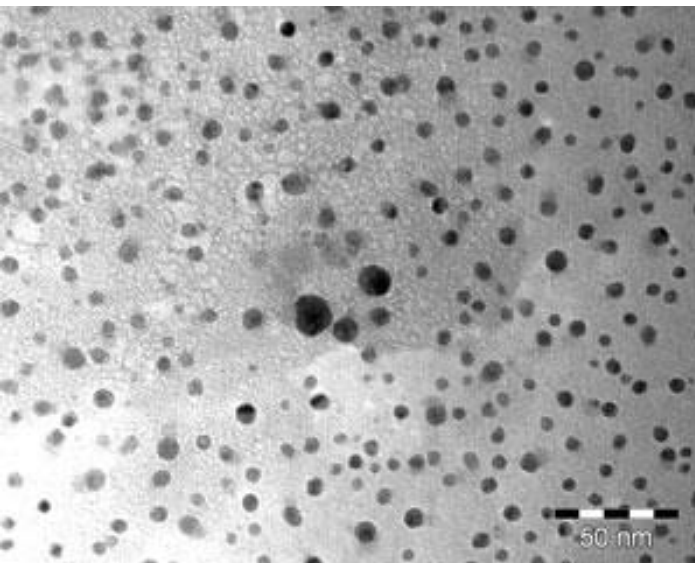
Jobb membrán:

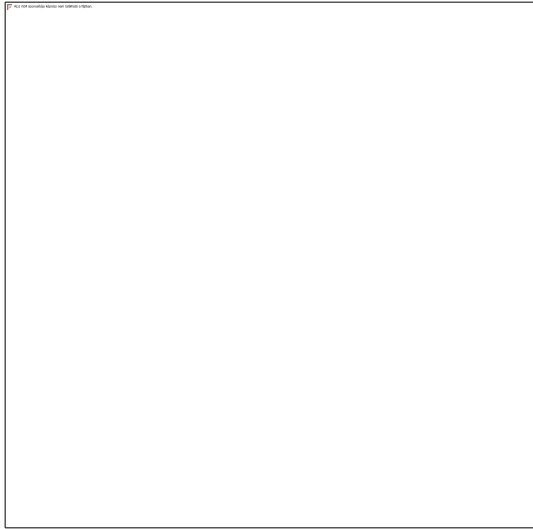




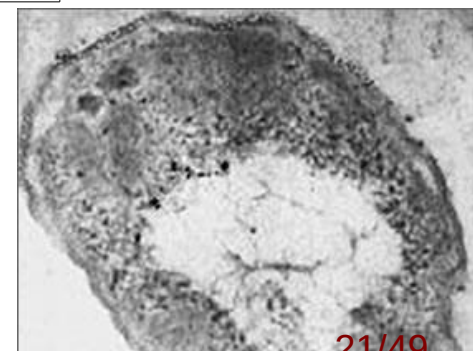
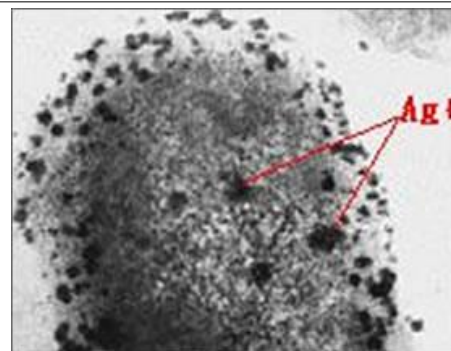
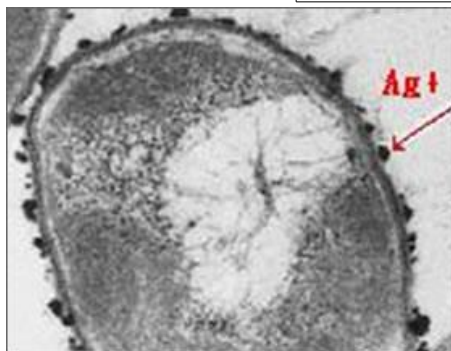
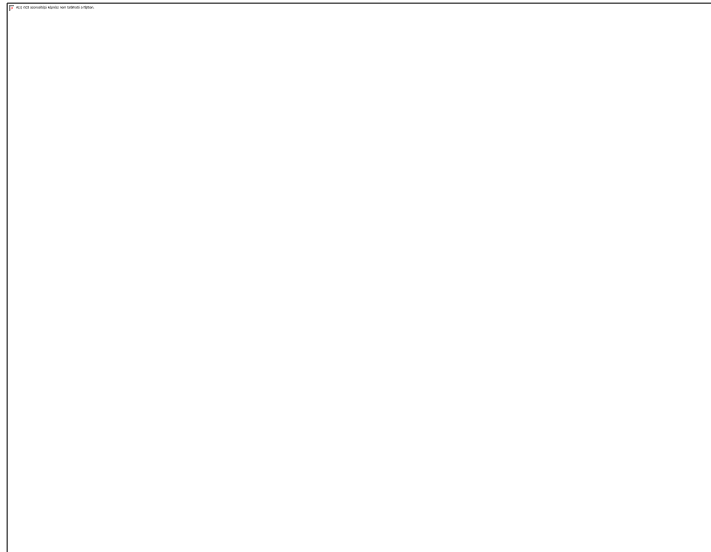
Sertésbőrön 1,2-dinitroklorobenzol (DNCB) alkalmazásával előidézett kontakt dermatitisz kezelése steril NaCl oldattal, ezüst-nitrát oldattal és Ag nanorészecskékkel

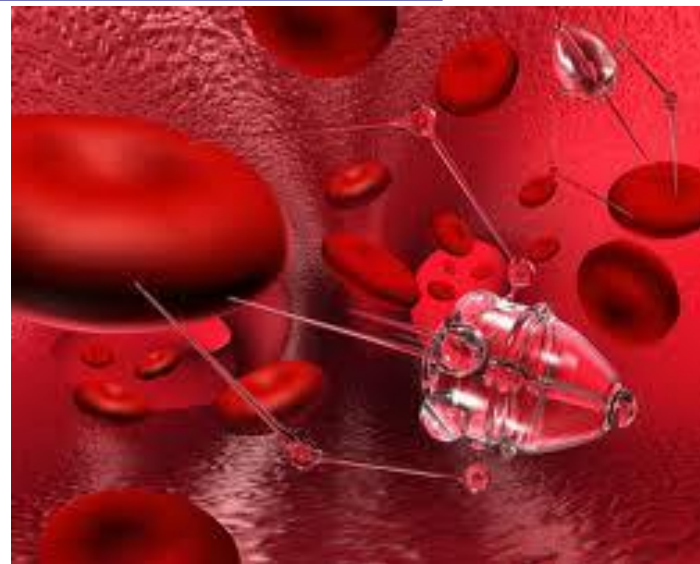
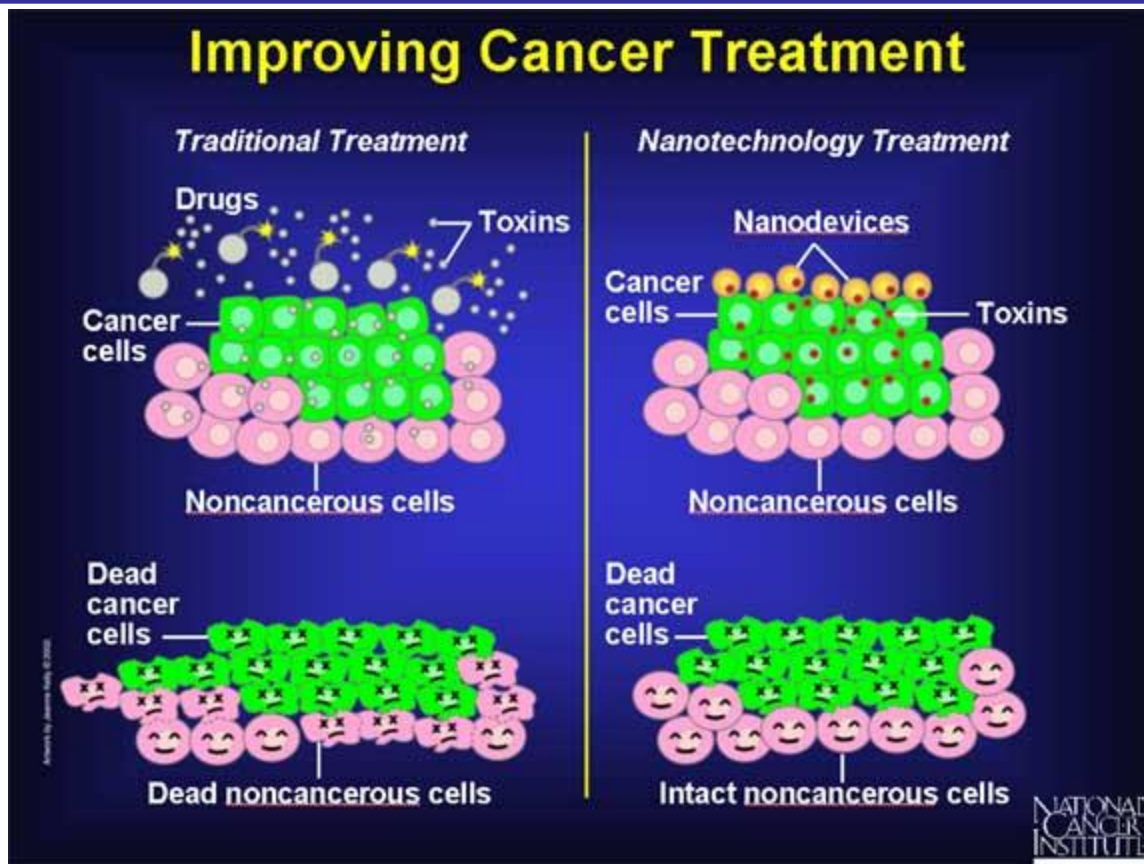
(Patricia L. Nadworny, JianFei Wang, Edward E. Tredget, Robert E. Burrell. Anti-inflammatory activity of nanocrystalline silver in a porcine contact dermatitis model. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine* **2008**. vol. 4. 241–251.)





P. Aeruginosa sejtekről készített elektronmikroszkópos felvételek. A fényes pontok a baktérium sejtmembránjára adszorbeálódott ezüst nanorészecskék. Ag^+ ionok a sejtfalet károsítják, bejutnak, majd odabent létfontosságú enzimeket (pl. NADH dehidrogenáz) gátolnak.





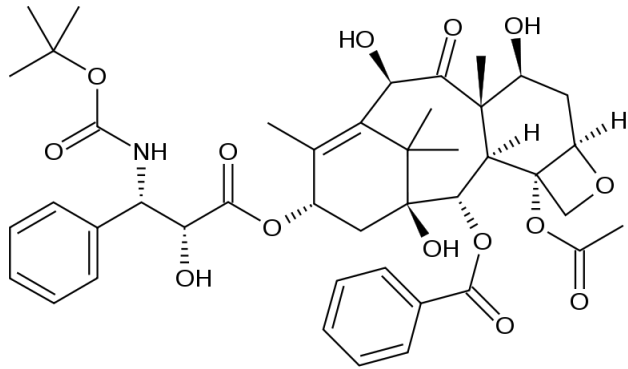
Kemoterápiánál csak a hatóanyag 1 %-a éri el a rákos sejteket!!!!

A hatóanyagot olyan nanoszerkezetben adjuk be, ami tartalmaz tumorfelismerő egységet is.

Passzív felismerés: tumorsejtek körül érfal szerkezet sérül, nanorészecskék csoportosulnak

Aktív felismerés pl. antigén-antitest kölcsönhatás, folsav csapdázás stb.

Humán prosztatarák kezelése nanorészecskékkel (NR)



Docetaxel
sejtsztódást gátló hatóanyag

Docetacel+NR
(irányított)
100 % túlélés ☺

Docetacel+NR
(nem irányított)
57 % túlélés

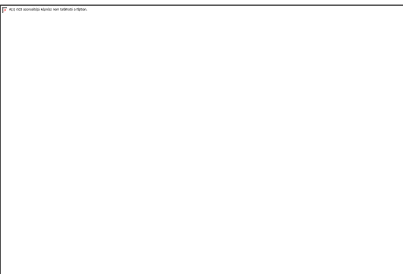
Csak Docetacel:
14 % túlélés

Kezeletlen ☹

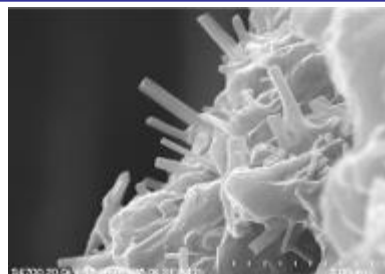


1D nanostruktúrák néhány lehetséges alkalmazása

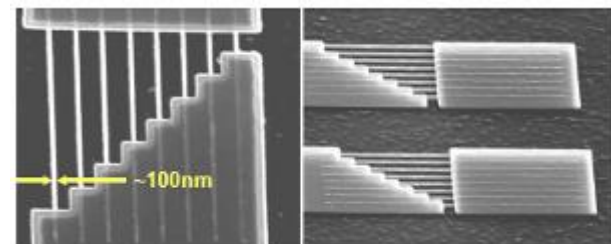
Molekuláris elektronika



Téremisszió

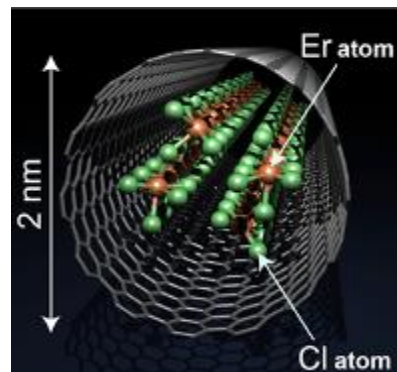
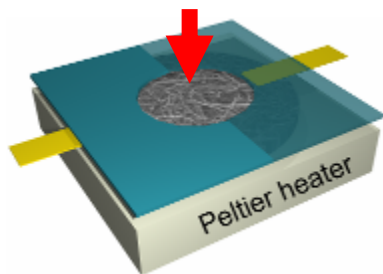


Polimer erősítő anyag

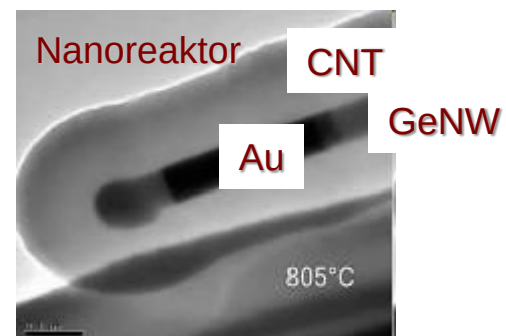


MEMS

Érzékelő



Szintézis templát



Nanoreaktor

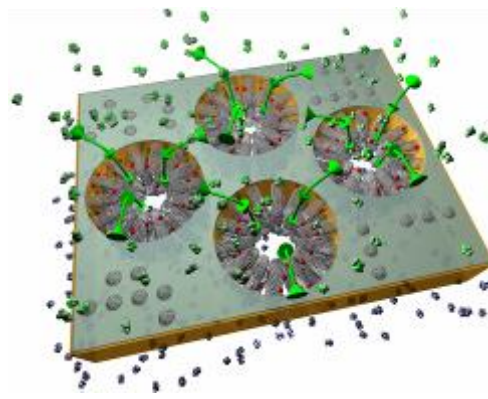
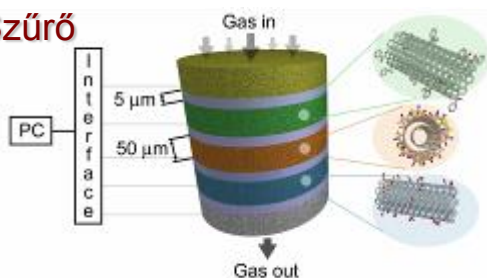
CNT

Au

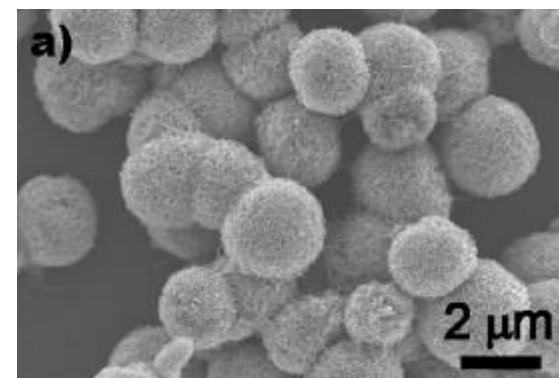
GeNW

805°C

Szűrő



Katalizátor hordozó



Li⁺ tároló

(CuO+CNT gömbök)



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

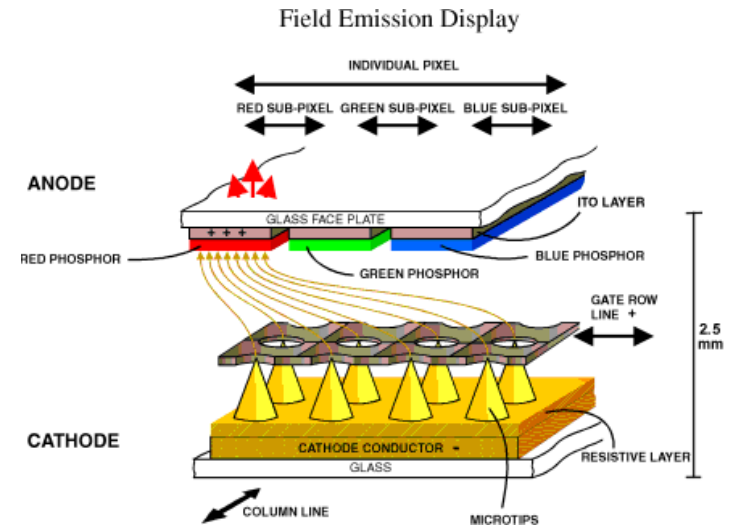
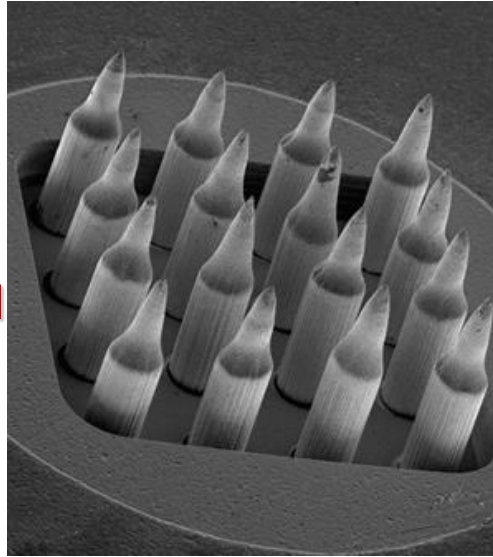
1D nanorészecskék alkalmazásai: hegyes dolgok...

Téremissziós katód

- Képernyők
- Elektronforrások
- Gázérzékelők

Minél hegyesebb, annál jobb – de működés közben tompul....

Szén nanocső az igazi!



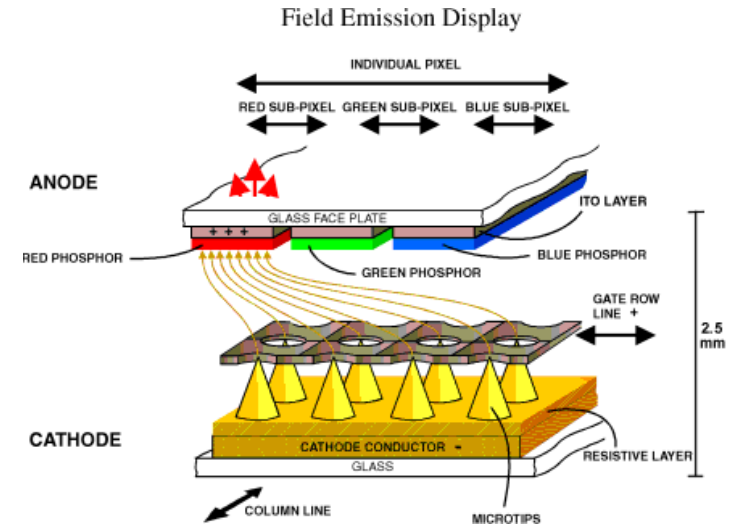
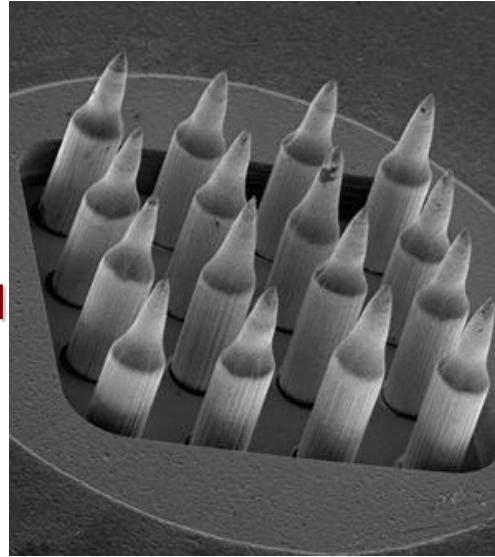
1D nanorészecskék alkalmazásai: hegyes dolgok...

Téremissziós katód

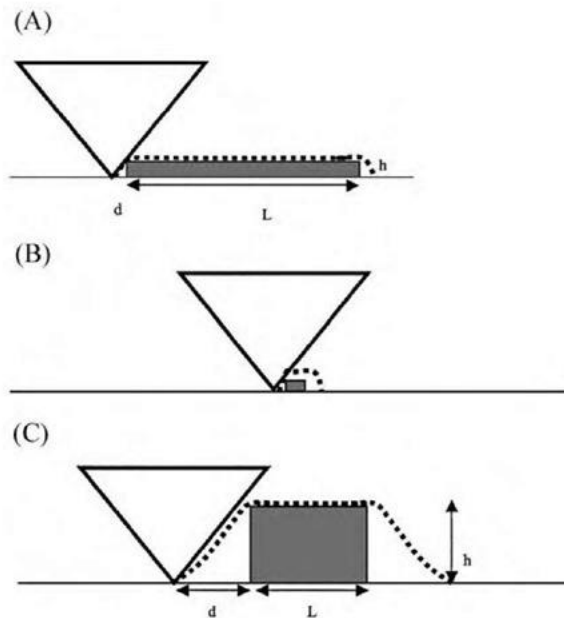
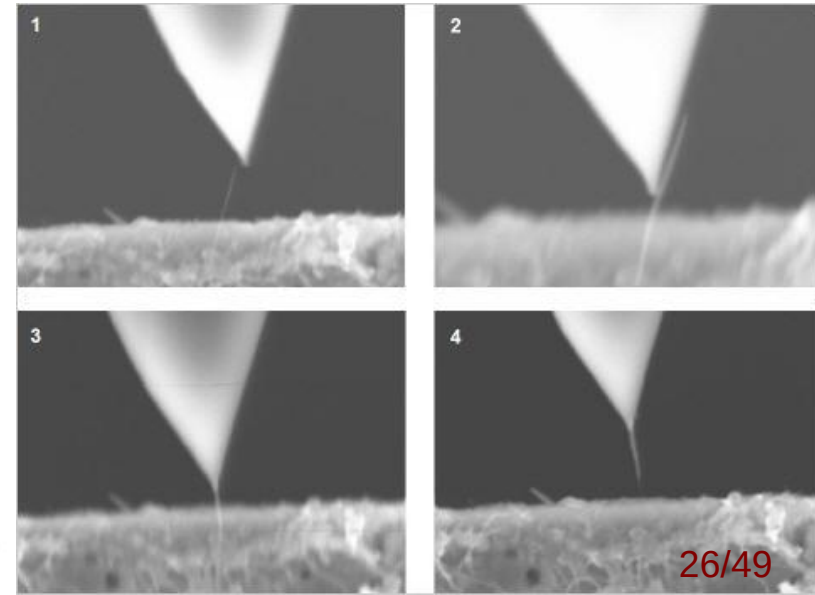
- Képernyők
- Elektronforrások
- Gázérzékelők

Minél hegyesebb, annál jobb – de működés közben tompul....

Szén nanocső az igazi!



Szén nanocső: ma a legjobb hegy



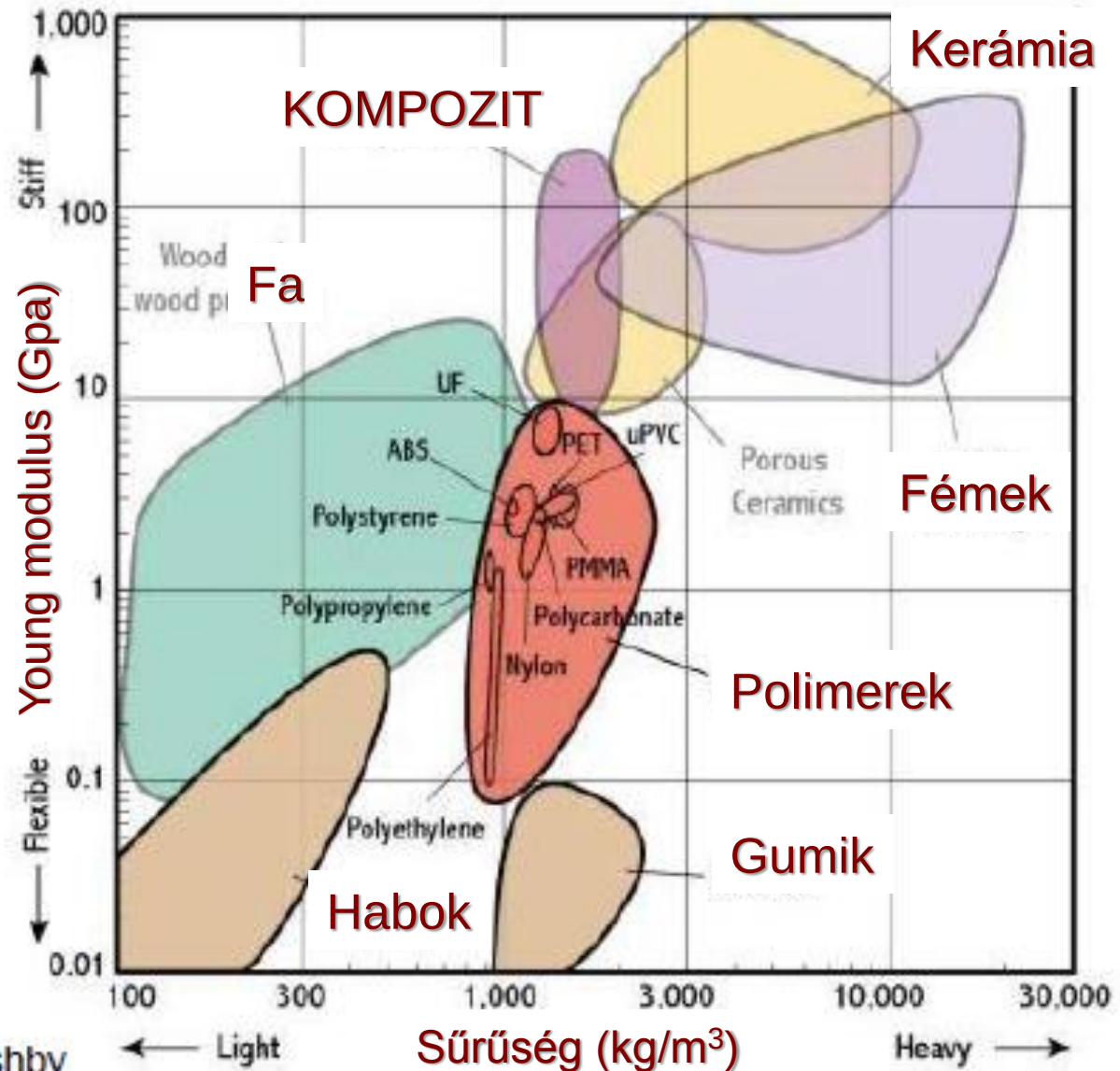


Kompozit anyagok:

Minőségileg új tulajdonságok az alkotók egyedi sajátságaihoz képest!



Vasbeton gerenda
Húzófeszültséget az acél elemek
átveszik, így nagyobb a
szakítószilárdság



Forrás: Ashby



Szén nanocsővel erősített váz
2005, Tour de France, ARKEMA

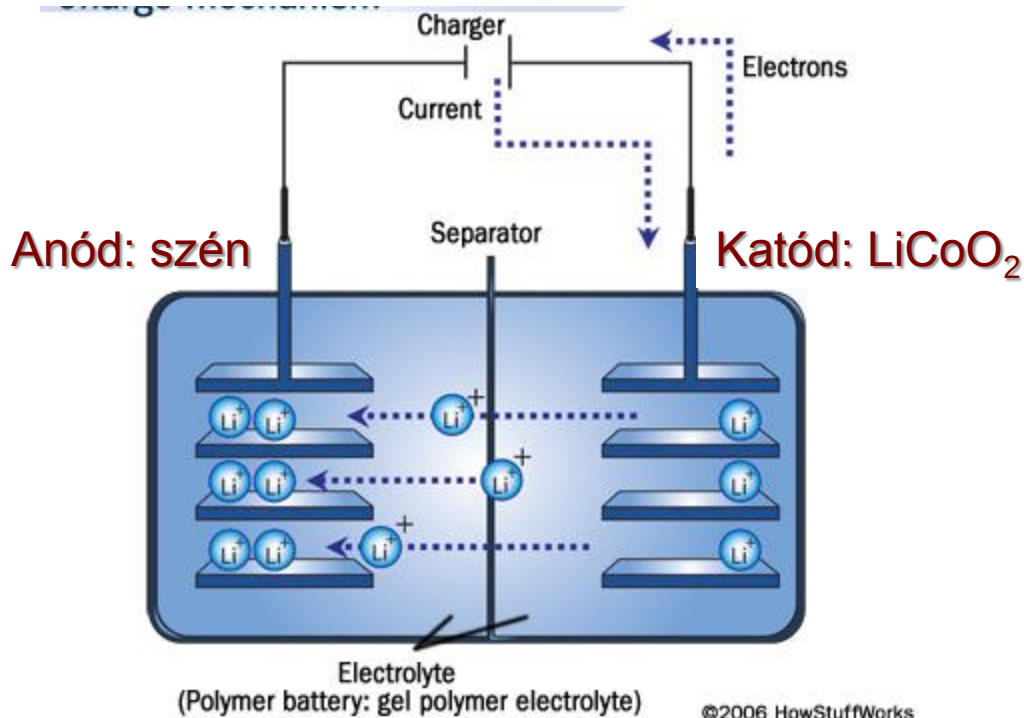


Szélerőmű lapátjai: extrém igénybevétel

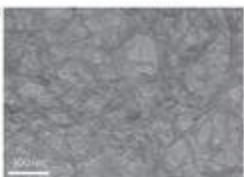
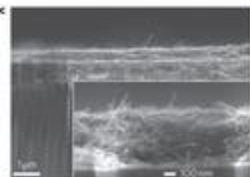
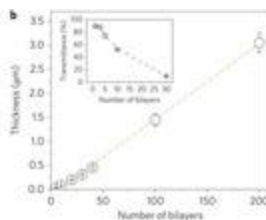
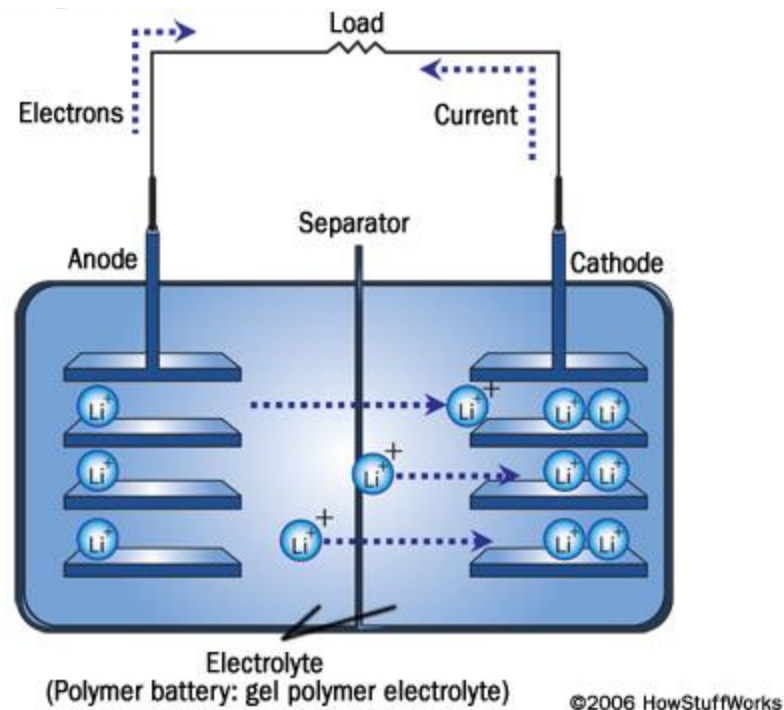


Piranha: 2010 ősz, Unmanned Surface Vehicle
AROVEX™: Szén nanocső erősítés az epoxigyanta
és a szénszál szövet között.
Könnyebb, erősebb, több terhet tud vinni.

Li-ion akkumulátor: töltés



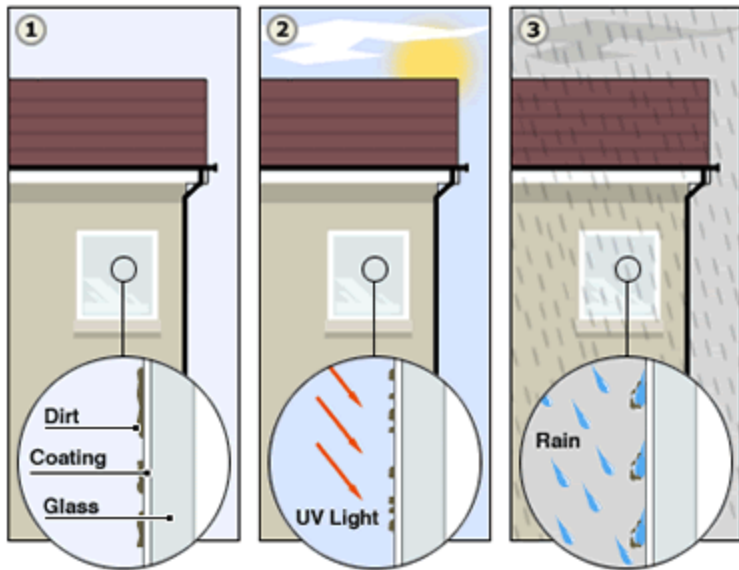
Li-ion akkumulátor: használat



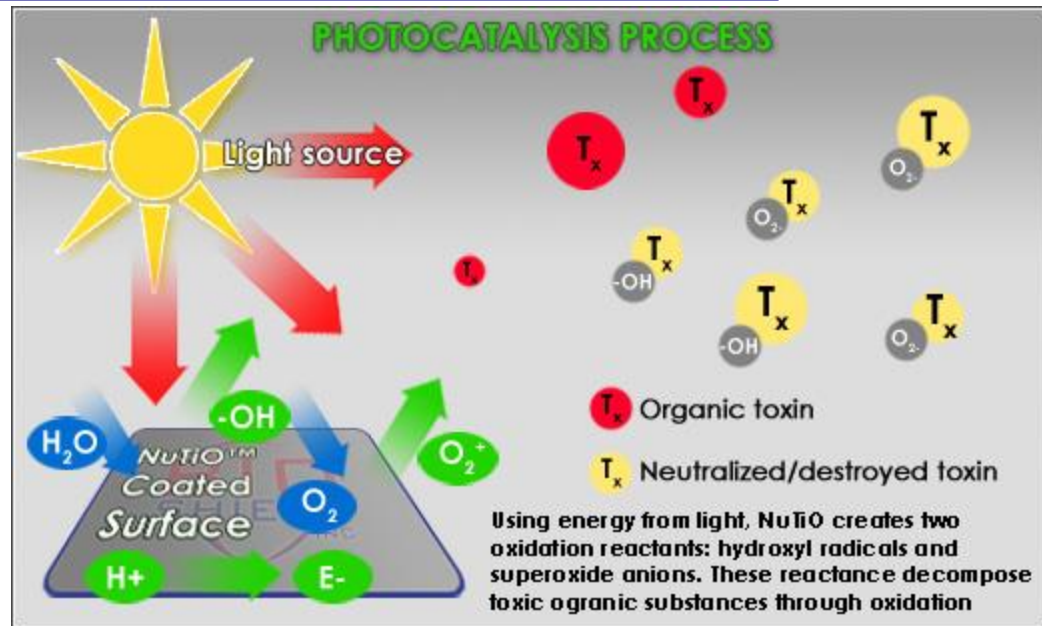
- Szén nanocső=nagy felület = több ion = nagyobb kapacitás
 - Nanostrukturált szerkezet = rövidebb Li⁺ diffúzió = nagyobb teljesítmény
 - Grafén: még hatékonyabb!
- 2011 január, Vor-Charge grafén kompozit anód anyag

Nature Nanotechnology 5, 531–537 (2010)

Nanostruktúrák felületeken: fotokatalízis



Pilkington öntisztuló aktív üveg



Nano TiO₂ bevonat levegőt is tisztítja



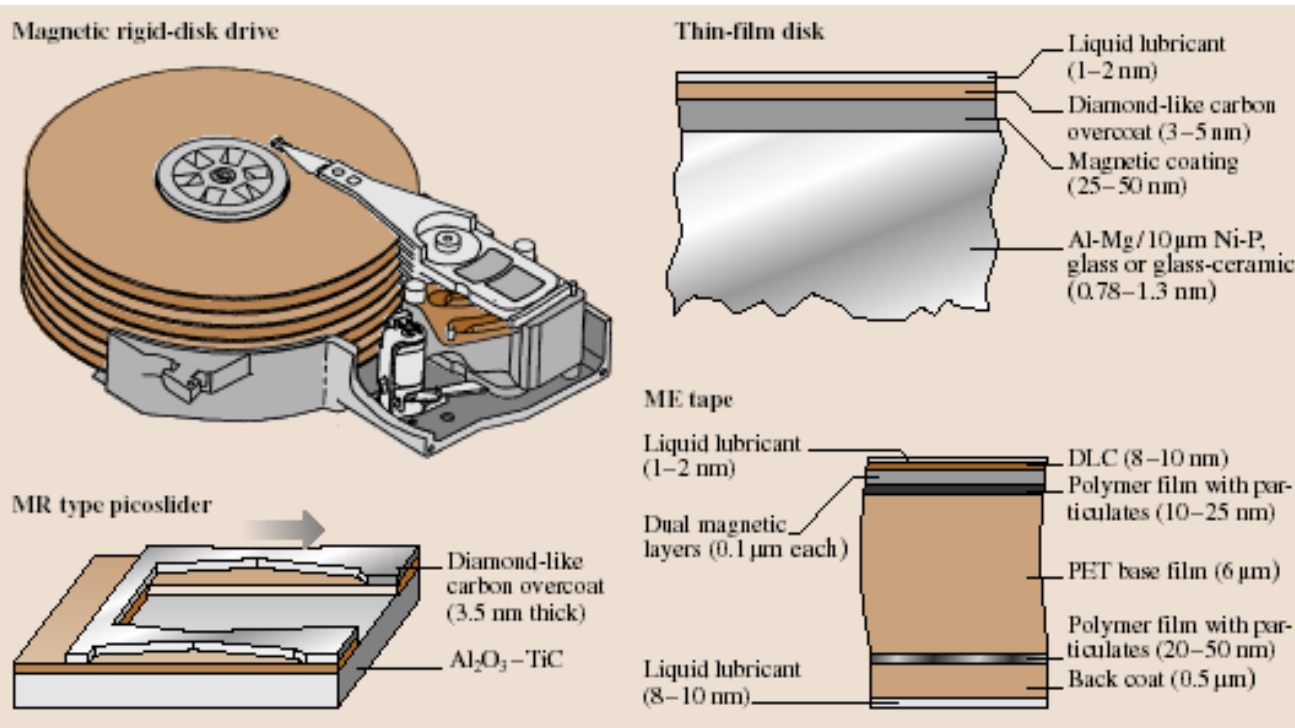
Nanostruktúrák felületeken: kemény bevonatok

DLC = Diamond Like Carbon

- Szuperkemény
- Kopásálló
- Alacsony súrlódású

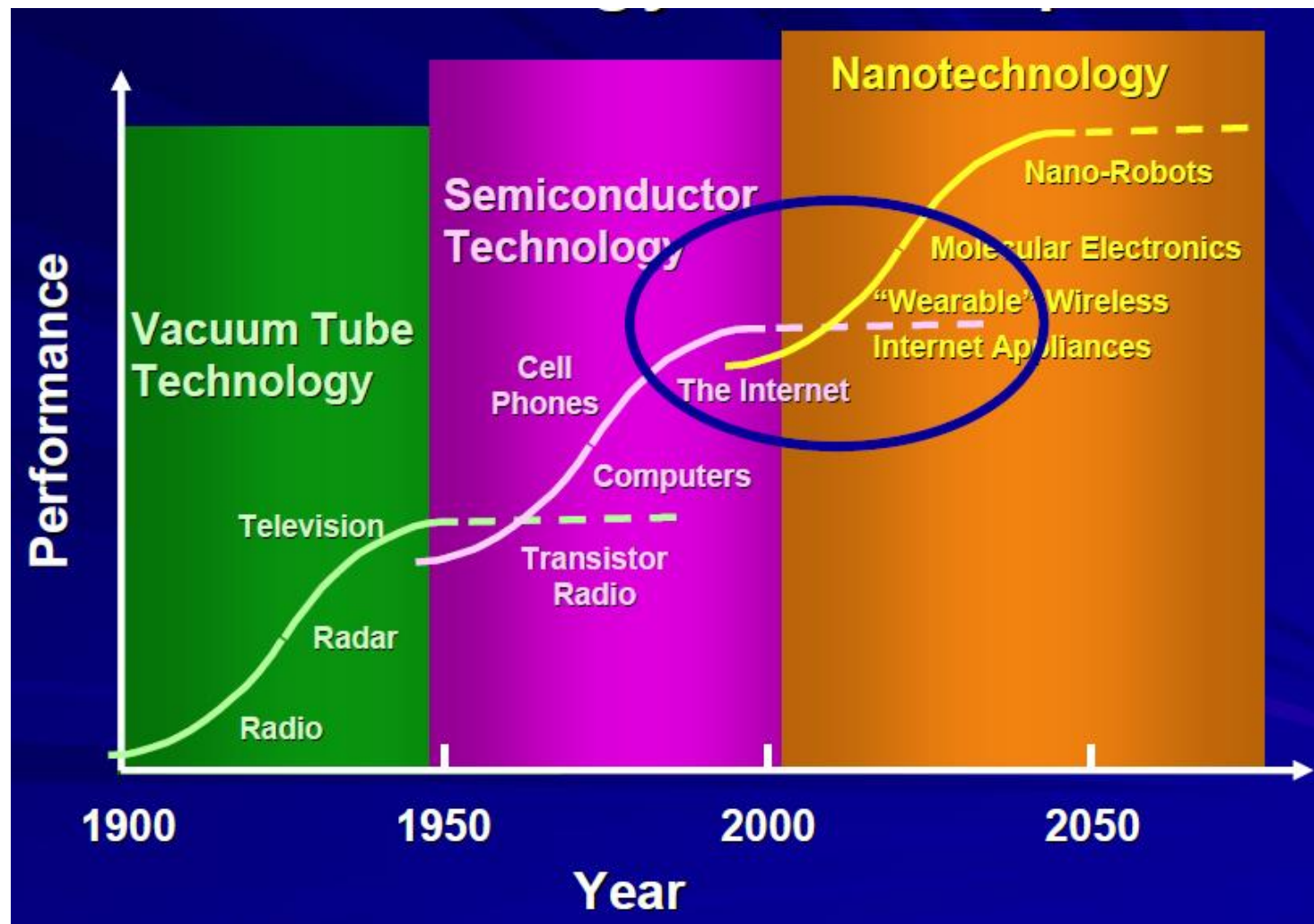
Igazi gyémánt: drága és csak durva felületet lehet belőle csinálni ($>1 \mu\text{m}$ grain)

- DLC: metastabil amorf fázis, mikro- és nanokristályos darabkák
- DLC előny: bevonat felveszi a bevont forma alakját



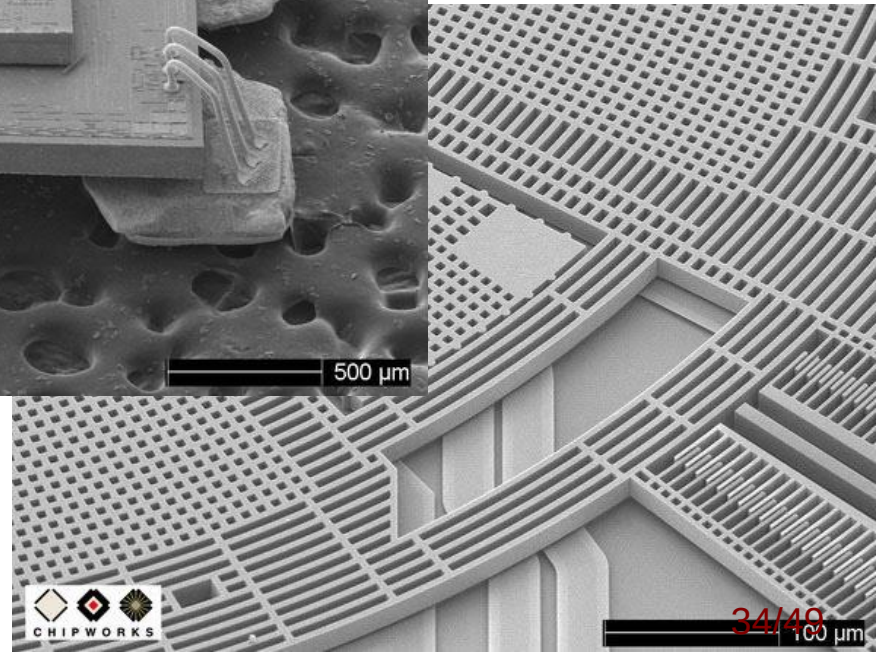
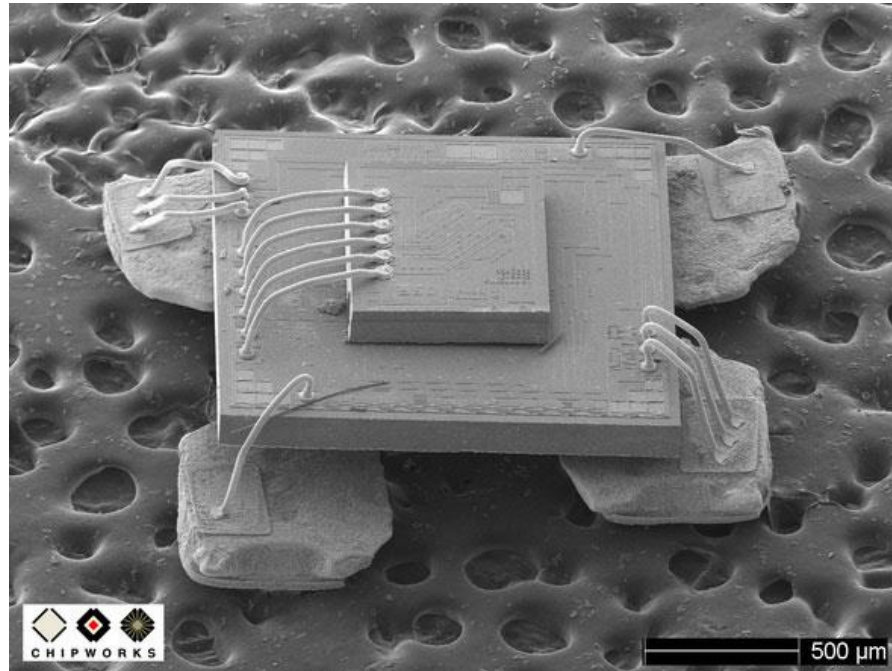
- Szerszámok
- Napszemüvegek
- Pénztári
vonalkódolvasók

2D nanoszerkezetek alkalmazásai: mikroelektronika

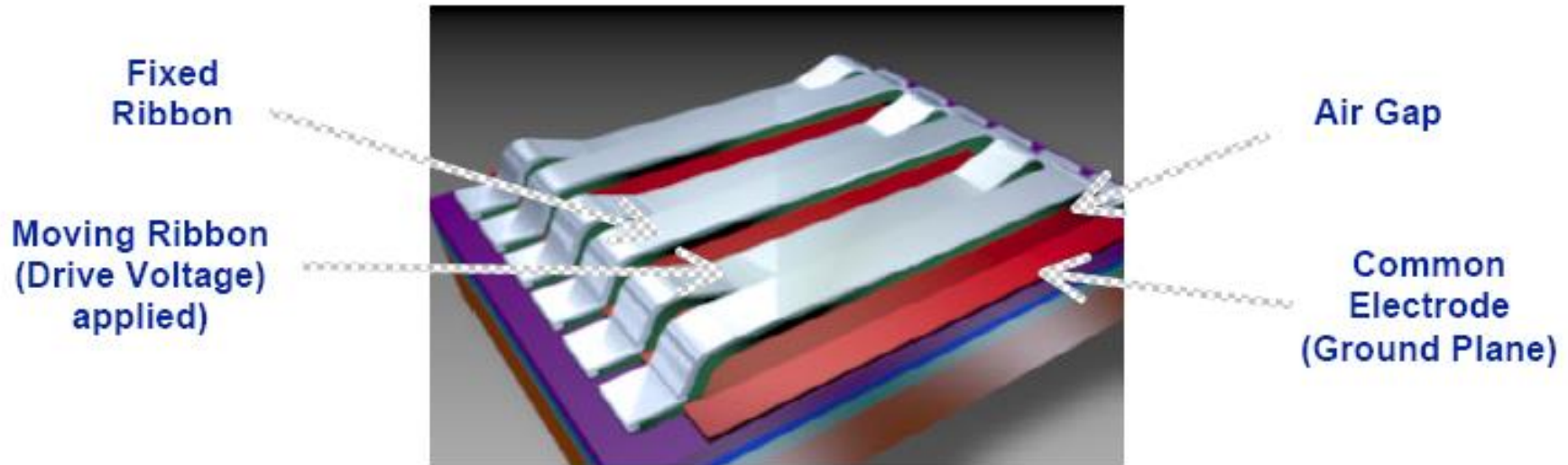


3D miniatürizálás: a nanotartomány felső határa

- MEMS = MicroElectroMechanical Systems
- Nanotechnológia eszköztárával (litográfia, mikroszkópia, számítások) létrehozott mikroméretű készülékek
- Nem kuriózumok, hanem a mindennapi élet részei már



iPad2 giroszkóp chip



- A tükörszalagok válaszideje ~ 200 ns, így 10 Gigapixel/s információ továbbítható. Videofrekvencián 38 Megapixel!
- Nem bináris az elmozdulás, így szürkeárnyalatok szabályozhatók.

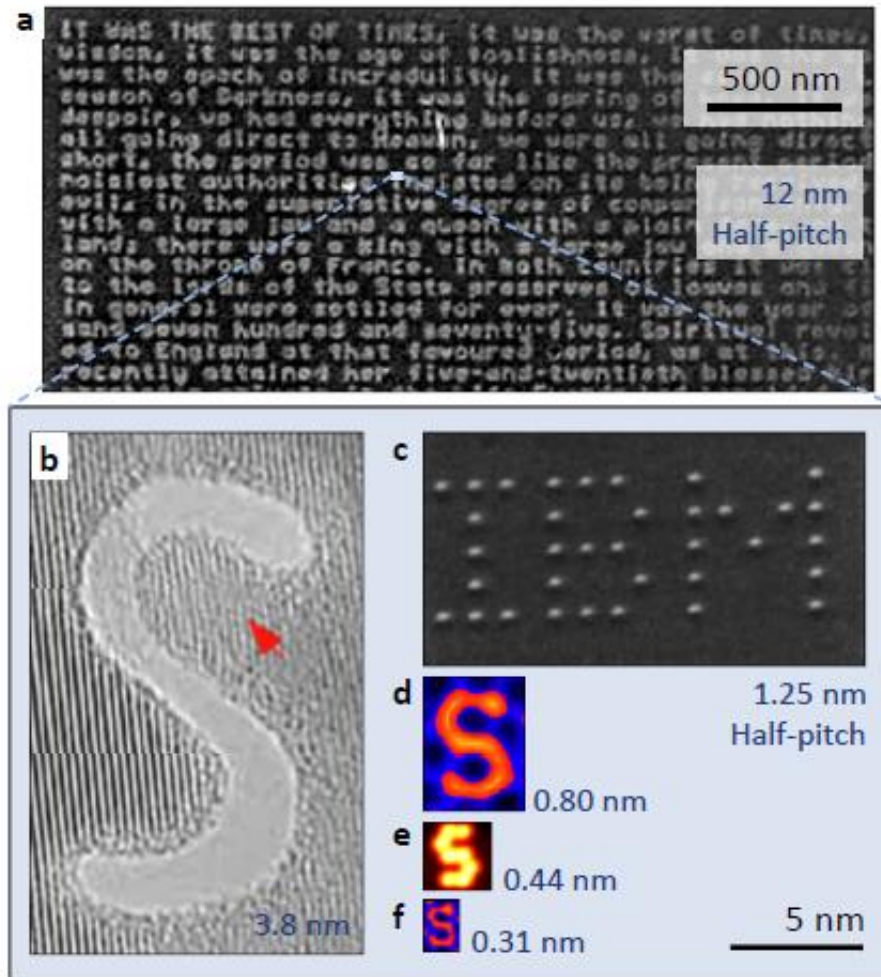


Minőségi vetítők
(repülőszimulátor,
planetárium stb.)



nyomdaipar

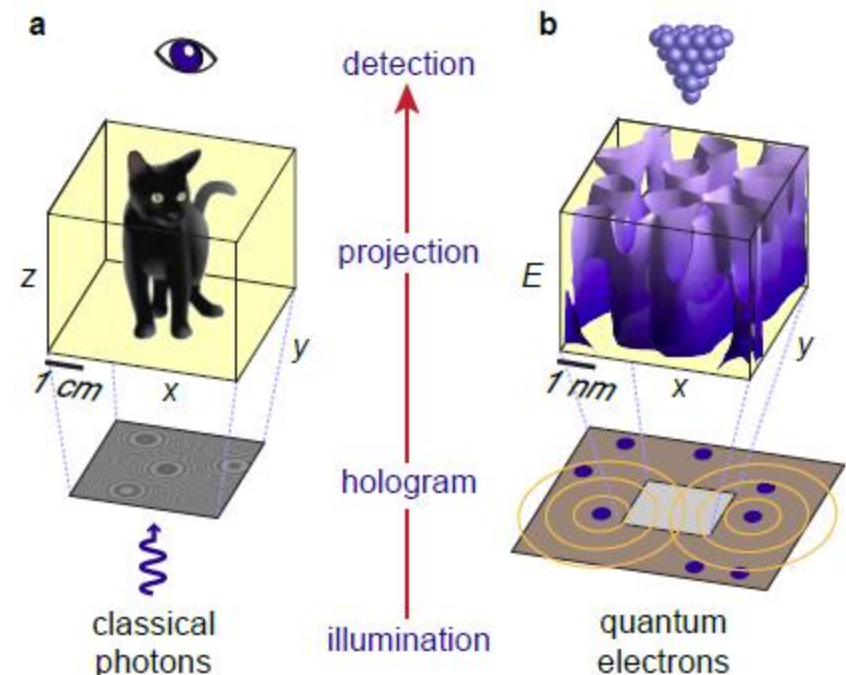
Még sokkal több hely van odalent, mint hittük....!



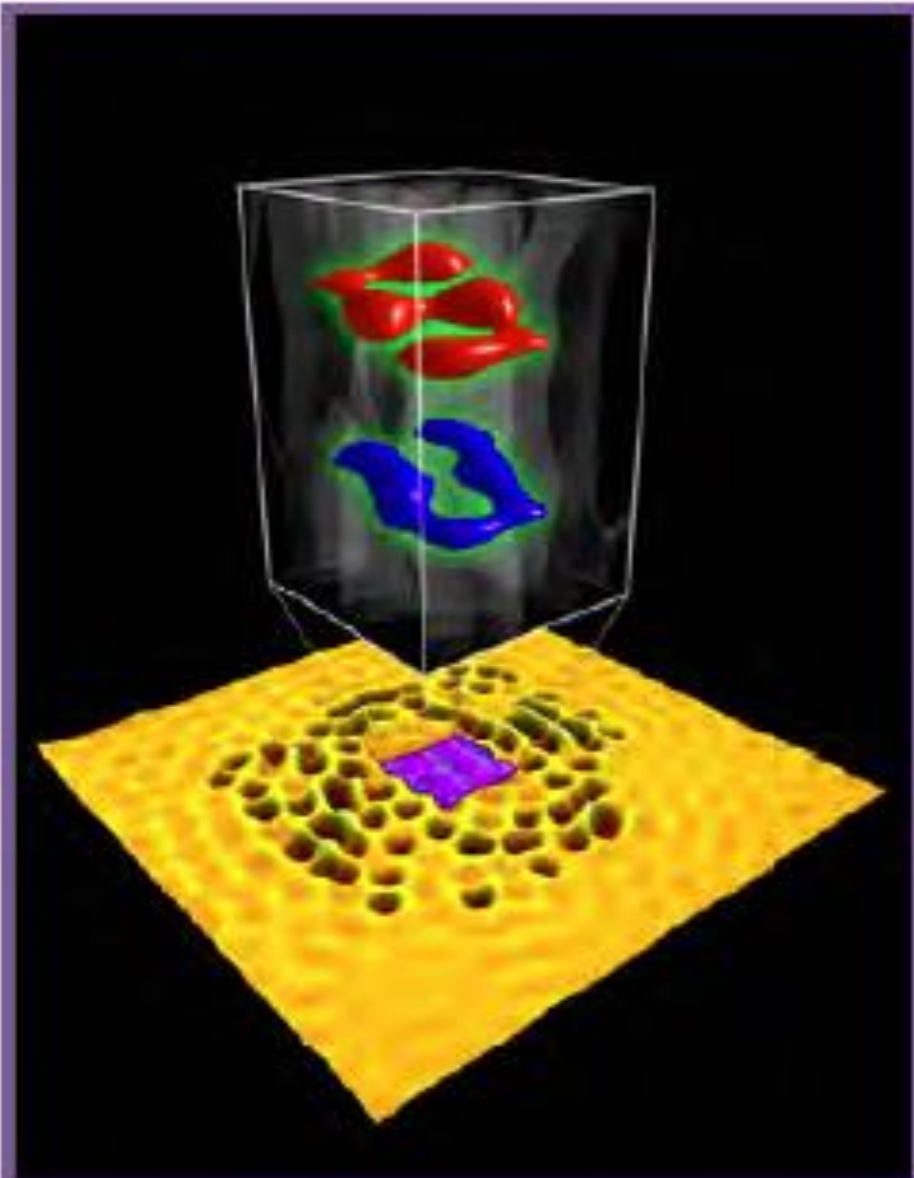
Supplementary Figure 1 | Milestones in writing technologies. **a**, Electron-beam lithography on Si_3N_4 that won the Feynman prize (adapted from ref. 31). **b**, Hole drilled through a Si nanowire using a high-energy electron beam (adapted from ref. 7). **c**, Individually positioned Xe atoms (adapted from ref. 1). This work: **d**, Baseline quantum electron holography (DOS at $E \approx E_F$). **e**, Maximally packed individually positioned metal atoms. **f**, Subatomic quantum electron holography (DOS at $E = E_F + 2 \text{ eV}$). All items in the blue box share the same scale (black legend) and are arranged in order of decreasing feature half-pitch (blue legend). The bottom blue box is roughly the size of the dot in a letter *i* in the top text.

2009, Stanford Egyetem:
Kvantum elektron holográfia
CO molekulák elhelyezése réz felületen
35 bit/elektron van eltárolva itt,
a bitek mérete szubatomi.

Nature Nanotechnology **4**, 167-172 (March 2009).
Átléptük a határt, már nem 1 bit/atom az információ sűrítésének korlátja!

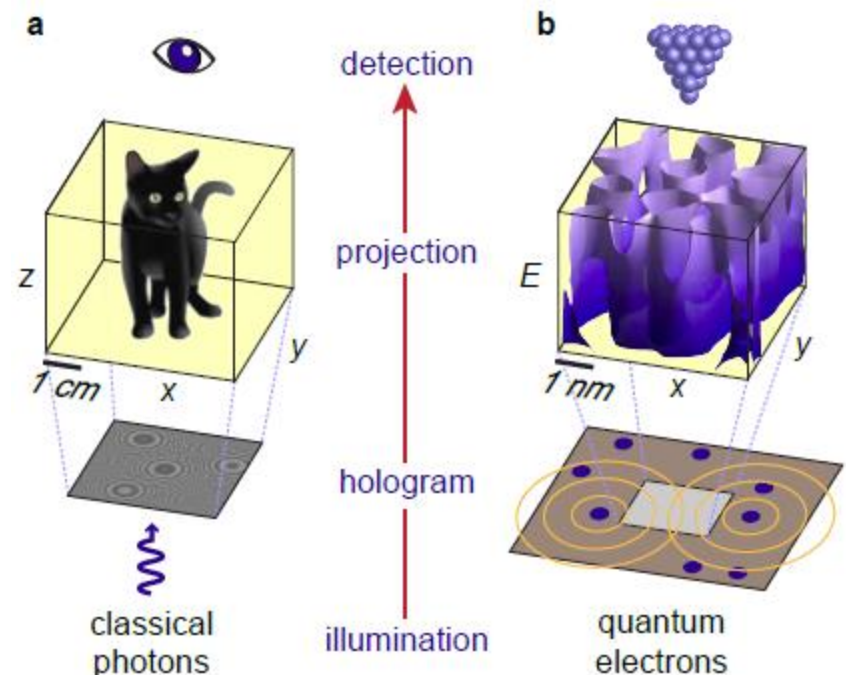


Még sokkal több hely van odalent, mint hittük....!



2009, Stanford Egyetem:
Kvantum elektron holográfia
CO molekulák elhelyezése réz felületen
35 bit/elektron van eltárolva itt,
a bitek mérete szubatomi.

Nature Nanotechnology 4, 167-172 (March 2009).
Átléptük a határt, már nem 1 bit/atom az információ sűrítésének korlátja!



Köszönöm a figyelmet!



További érdekességek:

- Nanorészecskék a történelemben
- Molekuláris elektronika
- Bionanotechnológia
- Mikrofluidika
- Fotonika