

HAVANCSÁK KÁROLY, ELTE TTK Fizikai Intézet

A NĀNOVILÁG

FUDOMÁNYA ÉS TECHNOLÓGIÁJA

MIRŐL LESZ SZÓ

- Mi a manó az a nano?
- Fontos-e a méret?
- Miért akarunk egyre kisebb eszközöket gyártani?
- Mikor kezdődött a nanotechnológia?
- Mi teszi szükségessé a nanovilág vizsgálatát?
- Mi teszi lehetővé a nanovilág vizsgálatát?
- Mit tudnak a nanoanyagok?
- Mit tudunk mi a nanoanyagokról?
- Használunk-e már nanotermékeket?
- A 21. század technológiája a nanotechnológia?
- Veszélyesek-e a nanotermékek?
- Megváltoztatja-e a nanovilág a makrovilágot?

Utazás Lilliputba

Mi a manó az a NANO?

A **nano** előtag a görög $\nuανος = törpe$ szóból származik.

nano (*n*) - SI előtag (prefixum): 10^{-9}

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

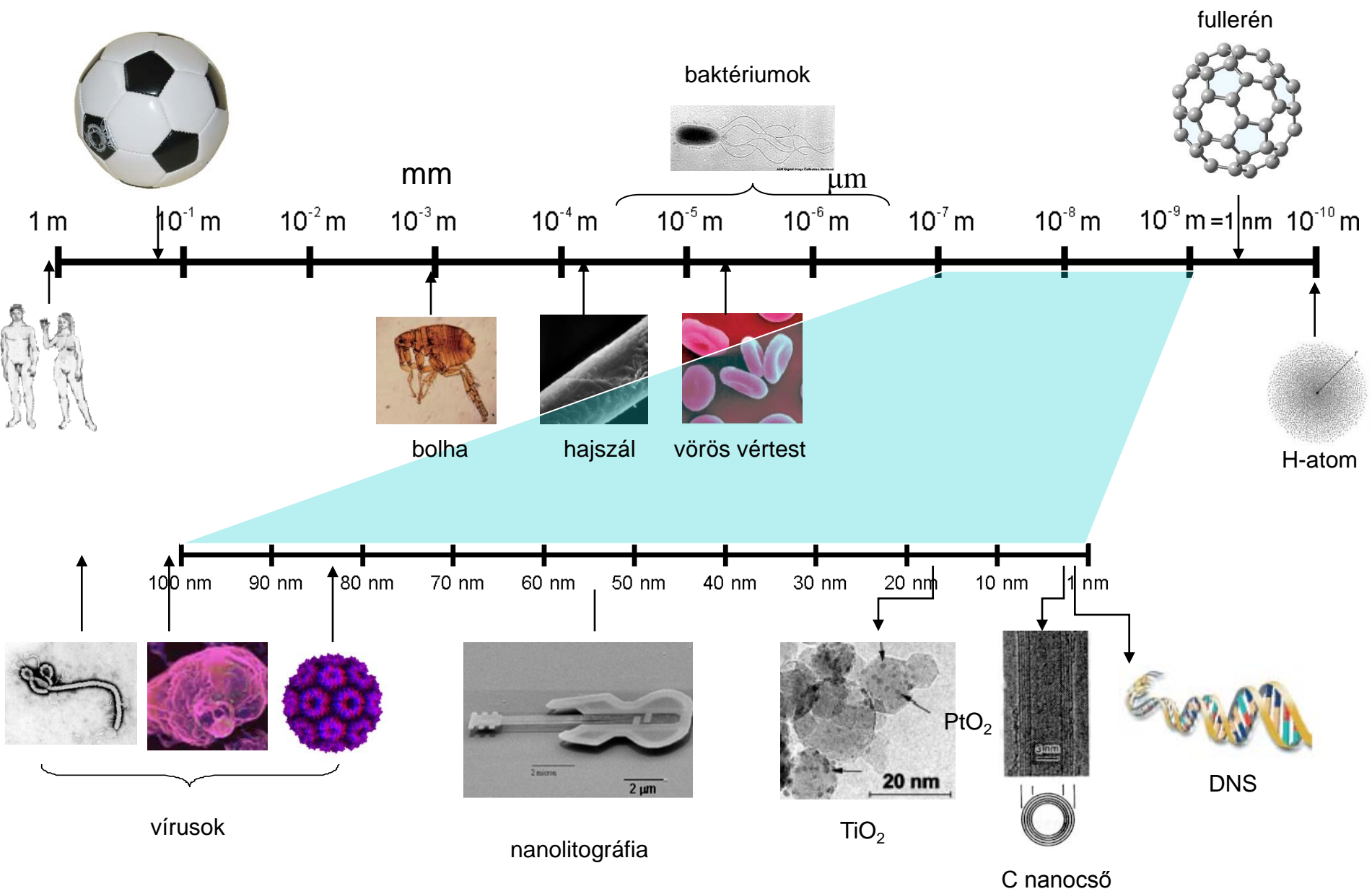
$$1 \text{ nm} = 0,000000001 \text{ m}$$

ami körülbelül **5 nagyságrenddel kisebb**, mint az emberi szem felbontóképessége és

egy nagyságrenddel nagyobb, mint a hidrogénatom átmérője.



MÉRETTARTOMÁNYOK

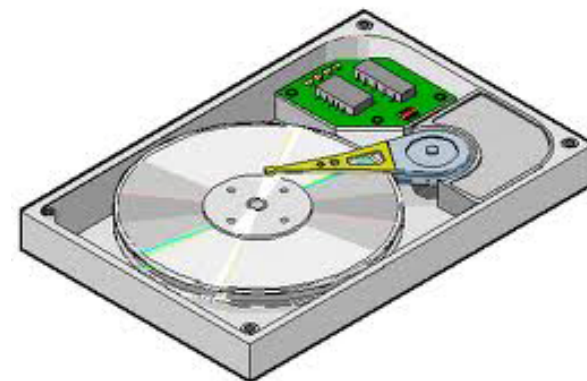
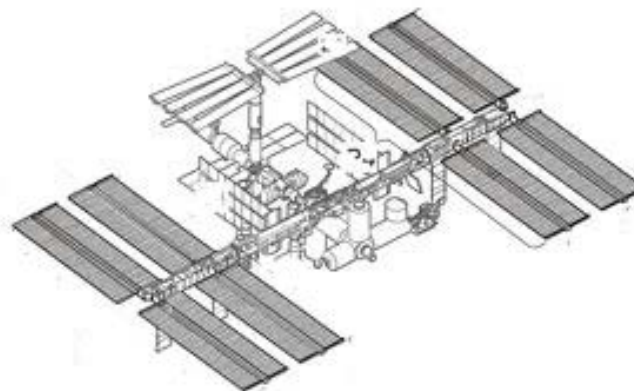


Nanotudomány:

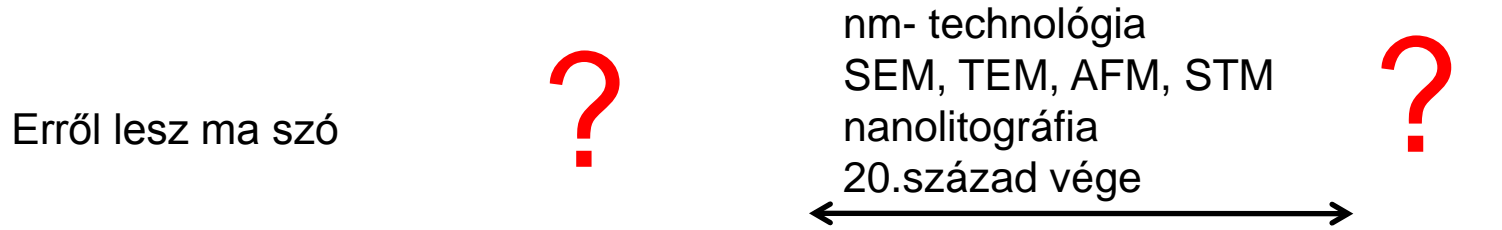
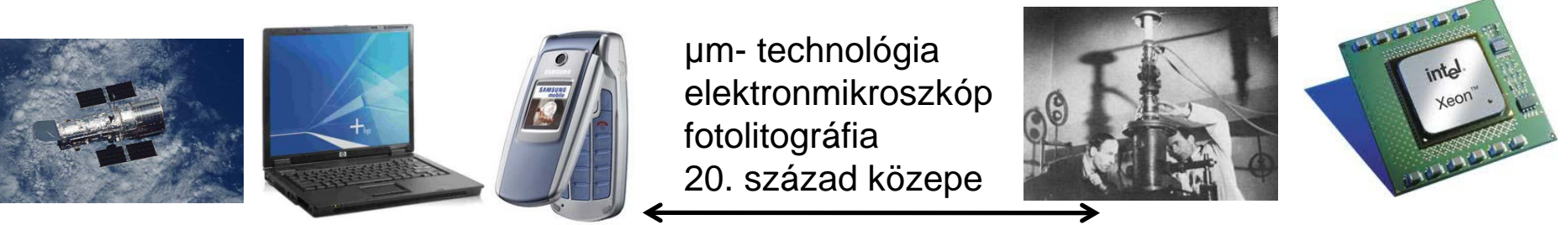
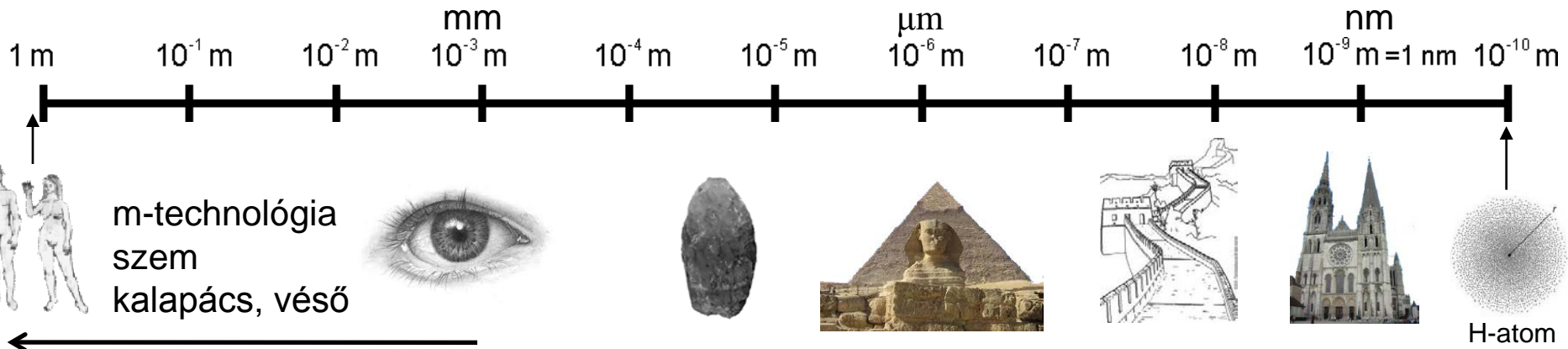
A nano mérettartományban lévő anyag tanulmányozása és manipulálása.

Nanotechnológia:

nanoskálájú struktúrák, szerkezetek tervezése, építése és alkalmazása
eszközészítés céljaira.



TECHNOLÓGIÁK



A NANOTUDOMÁNY KEZDETEI

1959-ben előadás az American Physical Society

„Alul még rengeteg hely van”



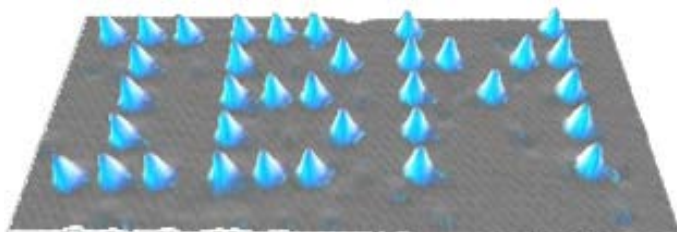
R. Feynmann (1918-1988)

A legutóbbi évtizedekben vált lehetővé a nanovilág 100 nm alatti mérettartományba tartozó jelenségek megfigyelése **elektron mikroszkópia** (*TEM*, *SEM*), **alagút mikroszkóp** (*STM*), **atomi-erőmikroszkóp** (*AFM*), **ionsugaras megmunkálás** (*FIB*).

STM (1982), *AFM* (1986) Binnig és Rohrer
Nobel-díj 1986-ban. Felbontás $\sim 0,1\text{ nm}$.



Binnig és Rohrer

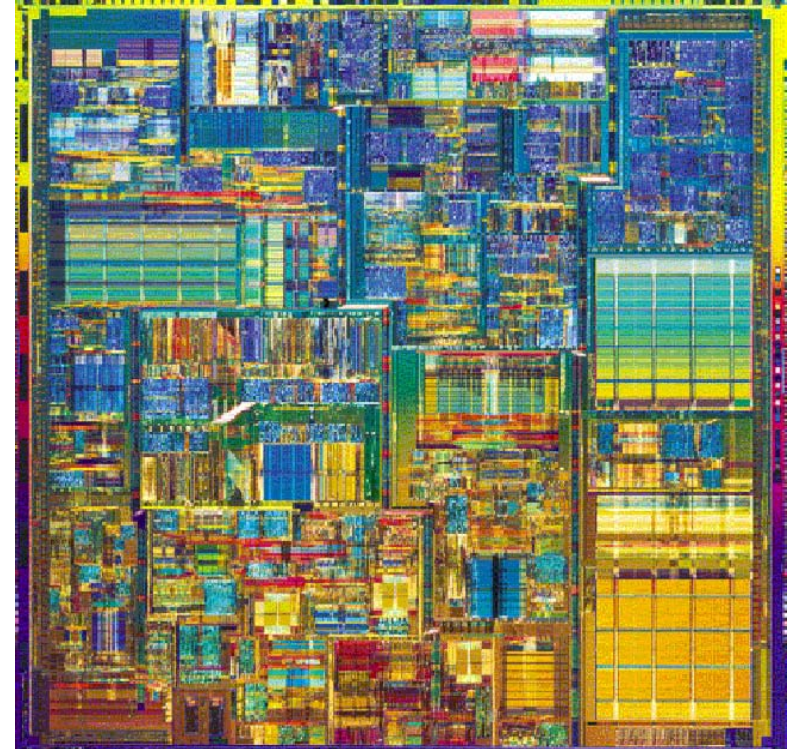


35 Xenon atom Nickel (*110*) felületen, IBM Zürich Research Laboratory 1990.

A MIKROTECHNOLÓGIA DIADALA



Az első germánium tranzisztor 1947-ben.
Bardeen, Brattain, Shockley 1956 Nobel-díj



Intel Pentium IV. 2000-ben.
42 millió tranzisztor

A világon ma minden megtermelt rizsszemre ~100 tranzisztor jut!

A FOTOLITOGRÁFIA MÉRETCSÖKKENÉSE

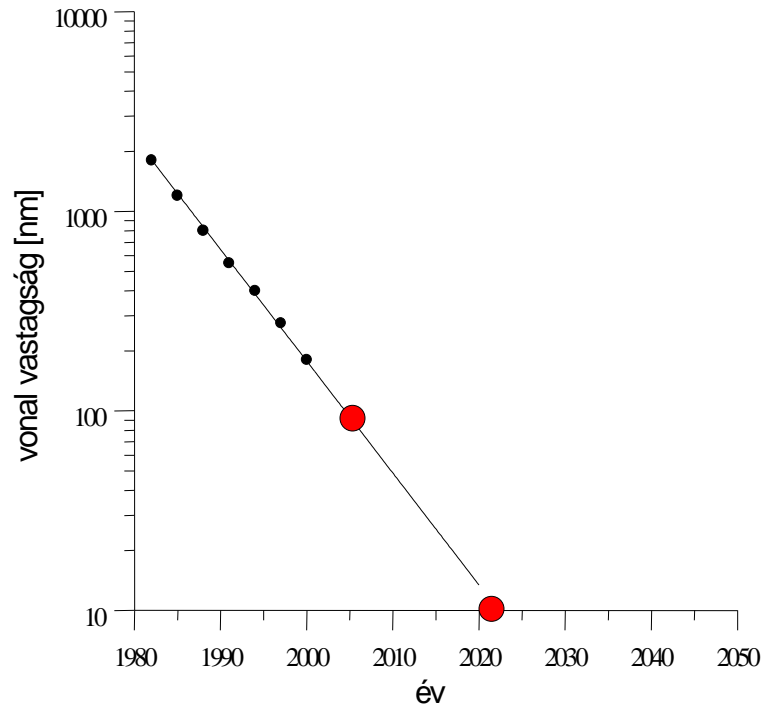
Moore-törvény, évtizedeken át érvényes tendencia.

2005. a vonalvastagság elérte a *100 nm*-t,

Ez a nanotechnológia mérettartománya.

2020. és 2025. között a *10 nm*-es határt is elérjük

Itt a fotolitográfia már nem működik és a kvantumfizika szabályai érvényesek.

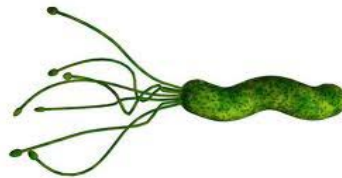


AZ ELLENSÉG MÉRETCSÖKKENÉSE

Van más kényszerítő erő is.

Ma már **nem a mammutokkal** kell megküzdeni.

Nem is a baktériumokkal.



Az élővilág részéről az aktuális legnagyobb kihívások:
vírusok, génhibák (AIDS, Ebola, rák stb.)
és a csábító **génmanipuláció** lehetősége.

Ez a nanoméreték világa!



Ez a két terület, a **számítástechnika** és a **humán gyógyászat**, hatalmas húzóerőt jelent, és kikényszeríti a nanotudomány ill. a nanotechnológia fejlődését.

AZ EMBERISÉG ELŐTT ÁLLÓ EGYÉB KIHÍVÁSOK

Vannak más kihívások is, amelyek megoldását az új technológiáktól várjuk.

Energia probléma: kimerülő energiahordozó készletek,

A várakozás az, hogy

csökkenő méretek csökkenő energia- és anyagigény,

új energiatermelő eljárások,

új energiatároló megoldások stb.

Környezetszennyezés: az alulról felfelé építkezés **környezetkímélő**

Miniatürizálás: erős igény a mennél kisebb szerkezetek létrehozása.

Nagy megbízhatóságú és olcsó **detektorok** (pl. a légszák működtető gyorsulásmérő, *in vivo* detektorok).

Űrtechnika (könnyű, kicsi és megbízható eszközök).

Háztartásokban a **megfigyelő és ellenőrző** eszközök.

Felderítő és haditechnika, miniatűr, nehezen felderíthető és kivédhető eszközök.

A NANORÉSZECSKÉK KÜLÖNÖS TULAJDONSÁGAI

A **nanovilág különbözik** az eddigiektől.

Melyek a nanotartományba tartozó részecskék **különös tulajdonságai**?

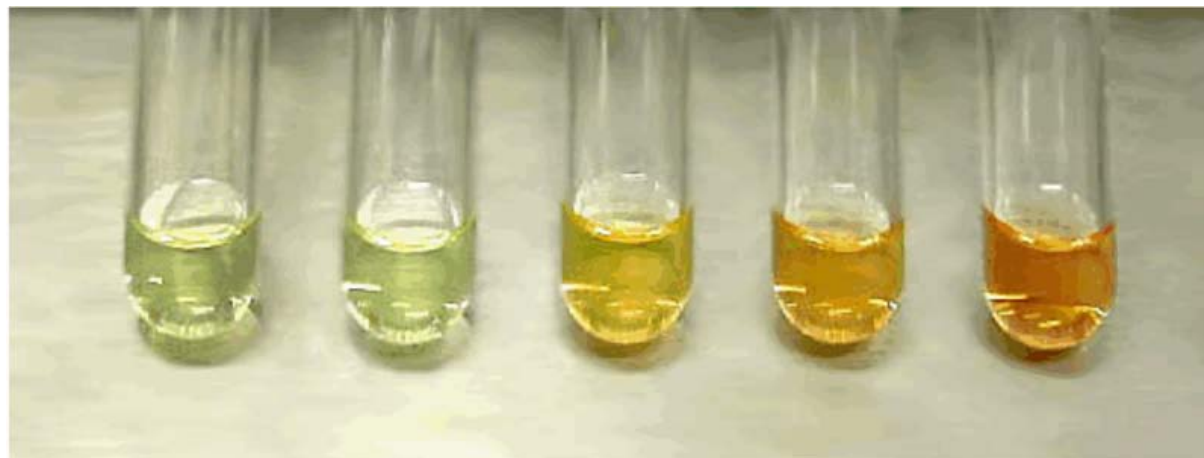
1. A nanorészecskék **felület/térfogat aránya** sokkal nagyobb, mint a makrovilág részecskéinek esetében.
Következmény: megnövekedő kémiai reakcióképesség.
2. A hétköznapi méretű anyagban megszokott **fizikai tulajdonságok** lényegesen **megváltoznak**. A tulajdonságok **méretfüggőek** lesznek.
Ez már a **kvantumfizika** világa.
3. A nanotudomány: interdiszciplináris tudomány.

A nanotartomány részecskéi tehát, bár összetevő atomjaik azonosak, a makrorészecskékhez képest egészen **új tulajdonságokkal rendelkeznek.**

Kvantum-részecskék fluoreszcenciája

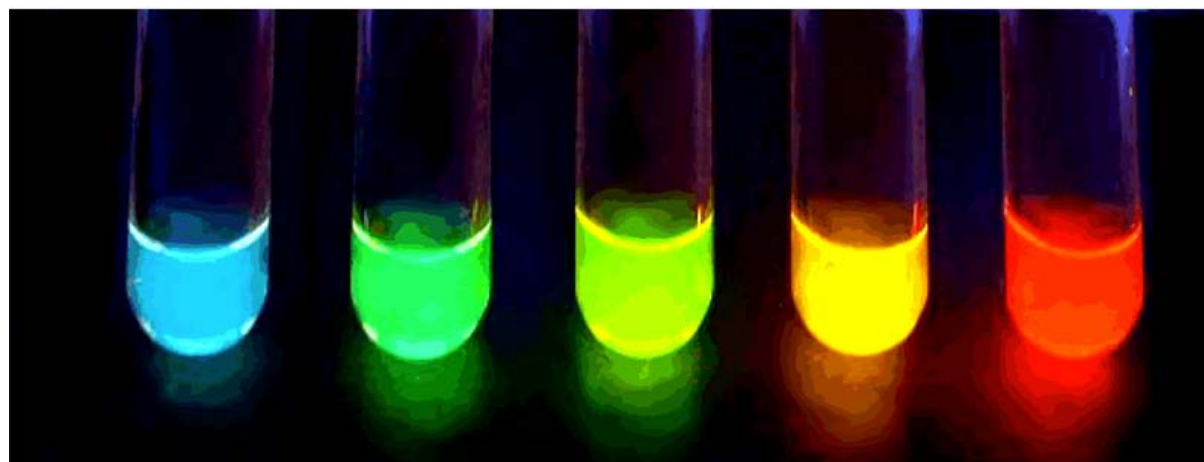
CdSe nanorészecskék

szórt fény



UV megvilágítás (365 nm)

UV megvilágítást követően
fluoreszcencia



2 nm

2,8 nm

3,8 nm

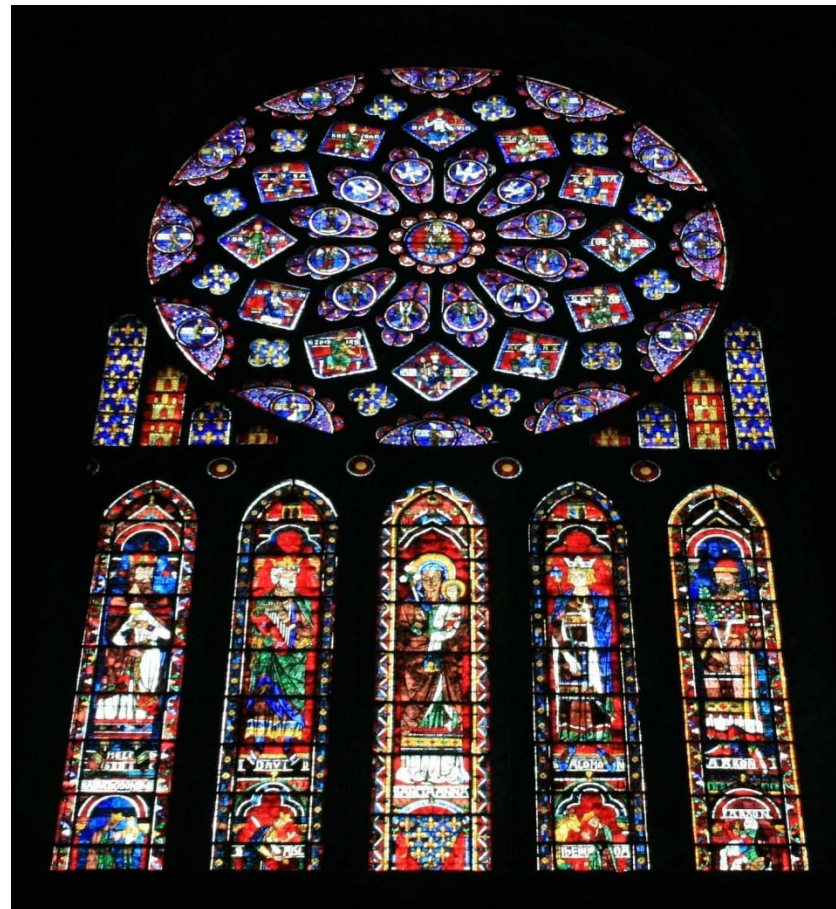
4,5 nm

7,9 nm

A fém nanorészecskék abszorpciós tulajdonságait már korábban is kihasználták:



Lycurgus-serleg i.sz. 4 század
római üveggészítő mesterek munkája
50 – 100 nm Ag-Au részecskék



A Chartres Chatedral (Franciaország)
egyik ablaka. 12. század.



A NANOTECHNOLÓGIÁK TUDATOS FEJLESZTÉSE

A 20. század utolsó évtizedében a **nanotechnológia tudatos fejlesztése**.

Sokan gondolják azt, hogy miként a **20. század** második felét a **mikrotechnológia** határozta meg, és hozott az emberiség életében meghatározó változásokat (űrtechnika, számítástechnika, mobil telefónia, internet stb.),

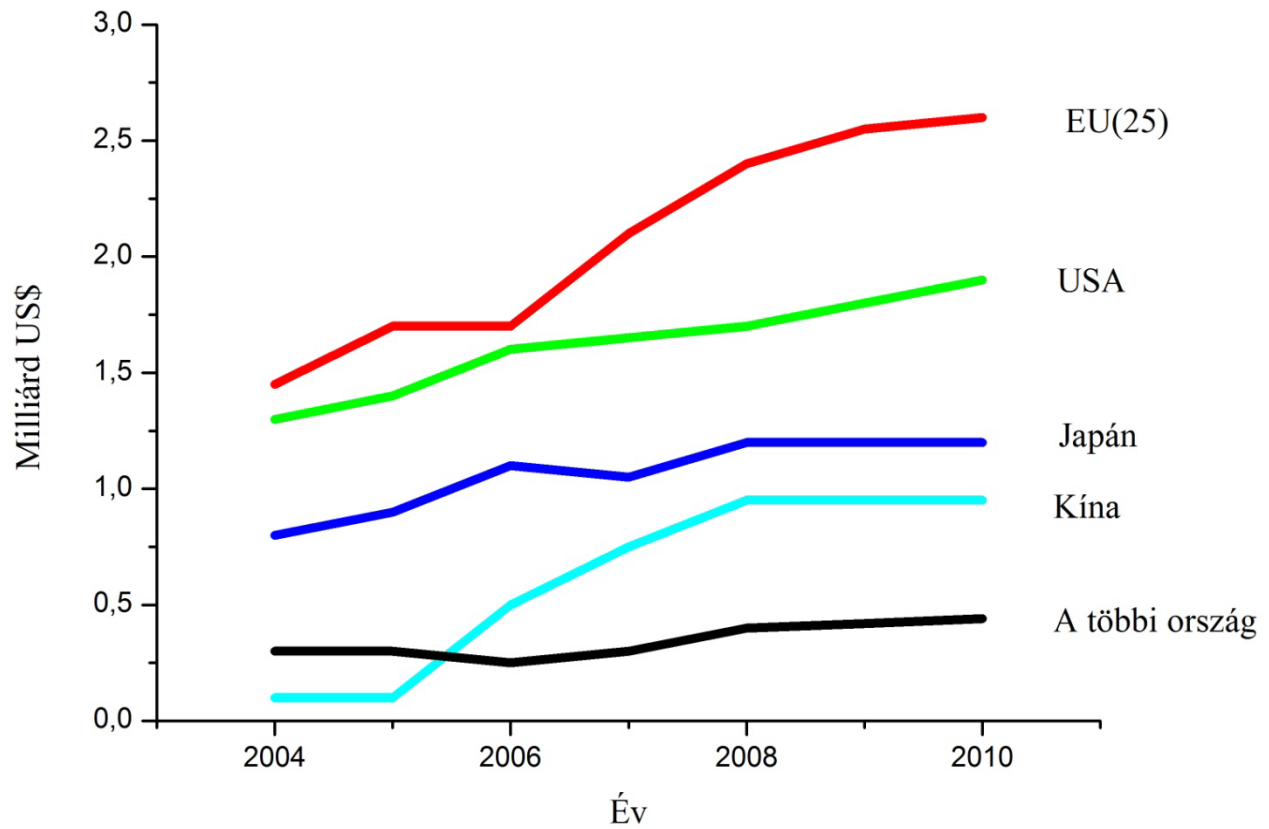
ugyanígy a **nanotechnológia a 21. század első felére jellemző**, és az emberiség életét döntően befolyásoló technológia lesz.



A NANOTECHNOLÓGIÁK TUDATOS FEJLESZTÉSE

A fejlett országok politikai körei is felismerték a nanotechnológiákban rejlő lehetőséget.

Tudatosodott, hogy **az élvonalban maradás feltétele** a nanotechnológiák művelése.

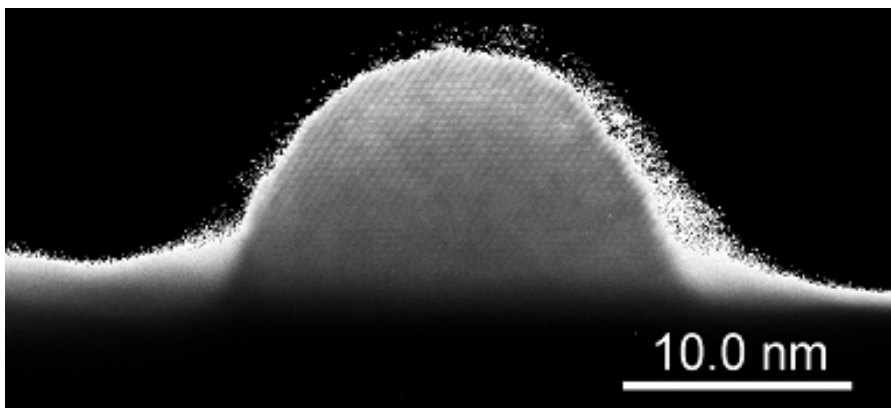


A nanokutatás és fejlesztés állami támogatása

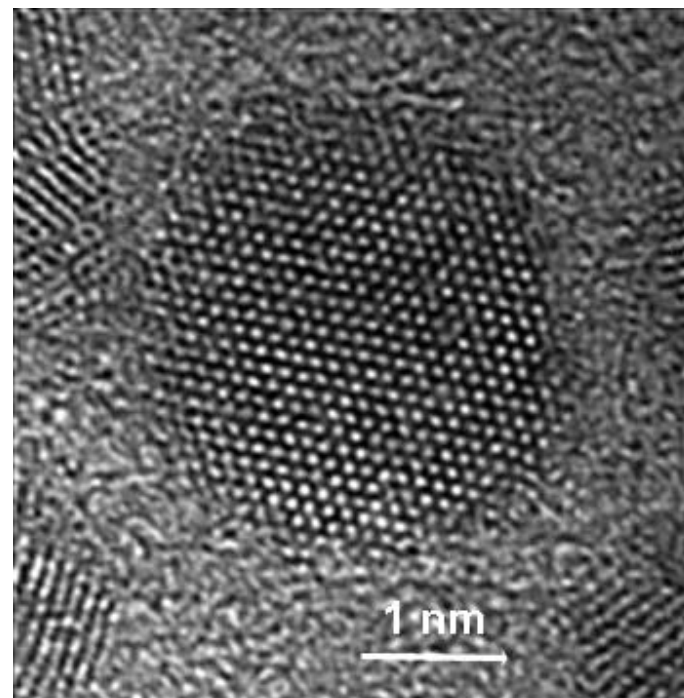
NANOMETROLÓGIA – TRANZMISSZIÓS ELEKTRONMIKROSKÓP



Transzmissziós elektronmikroszkóp
(max. felbontás: 0,1 – 0,2 nm)



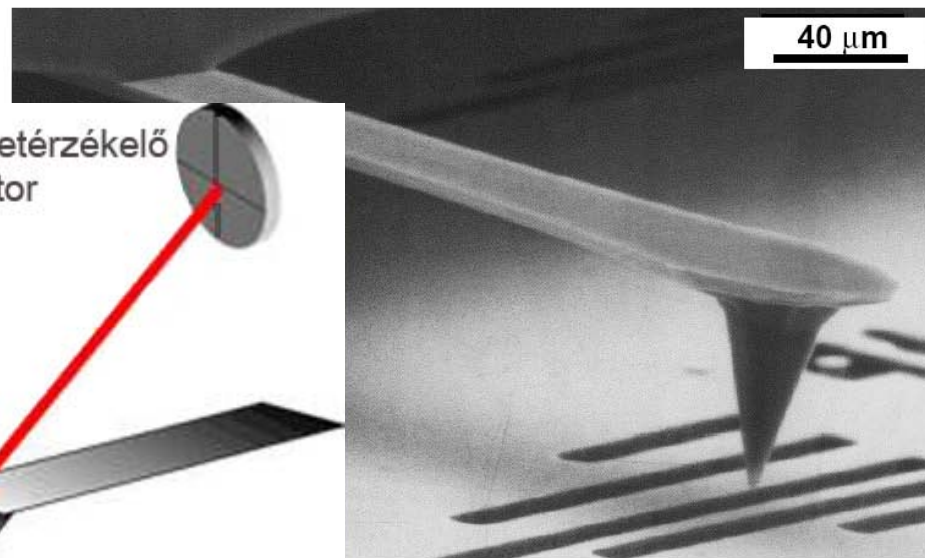
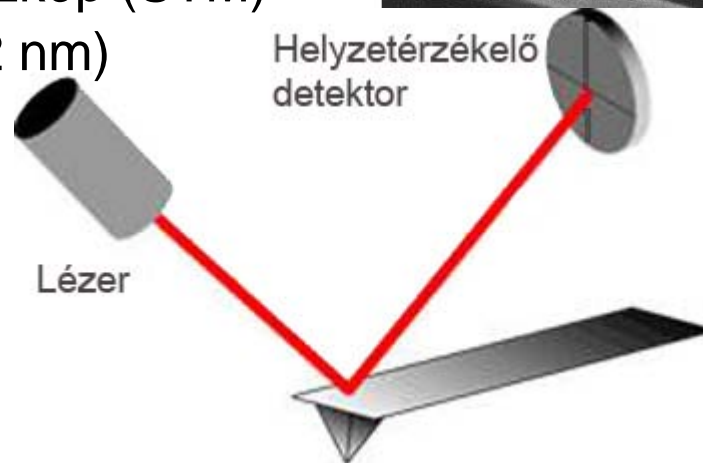
InAs nanorészcseke



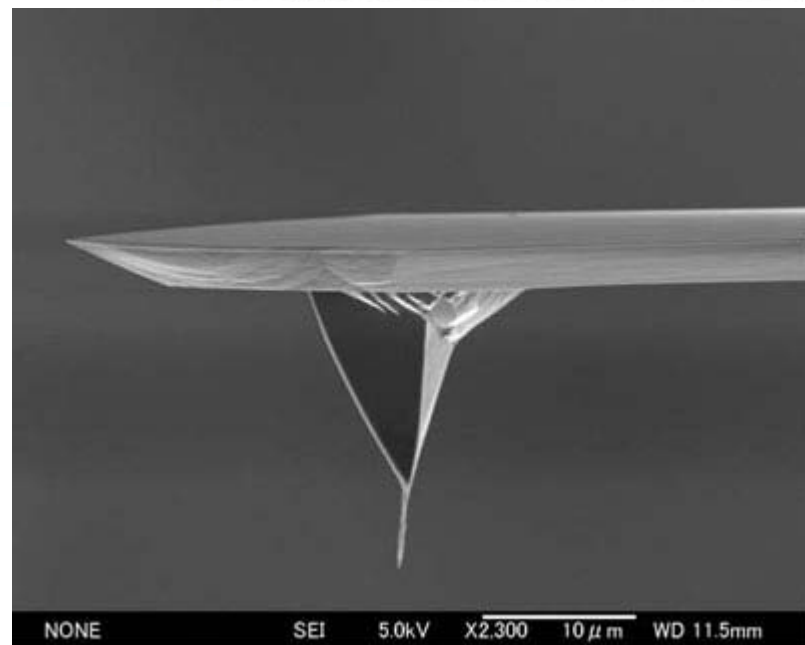
CdSe nanorészcsekék

NANOMETROLÓGIA – PÁSZTÁZÓSZONDÁS MIKROSKÓPIA

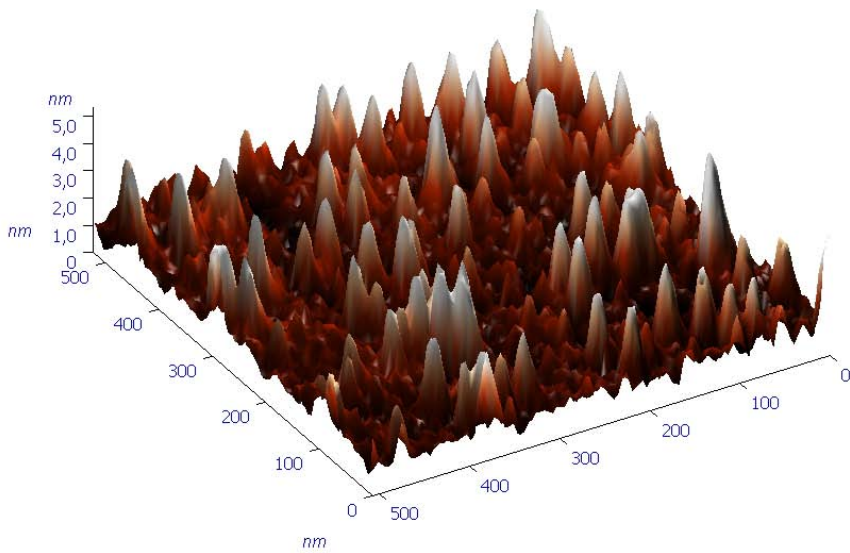
Atomi erőmikroszkóp (AFM)
Pásztázó alagútmikroszkóp (STM)
(max. felbontás 0,1-0,2 nm)



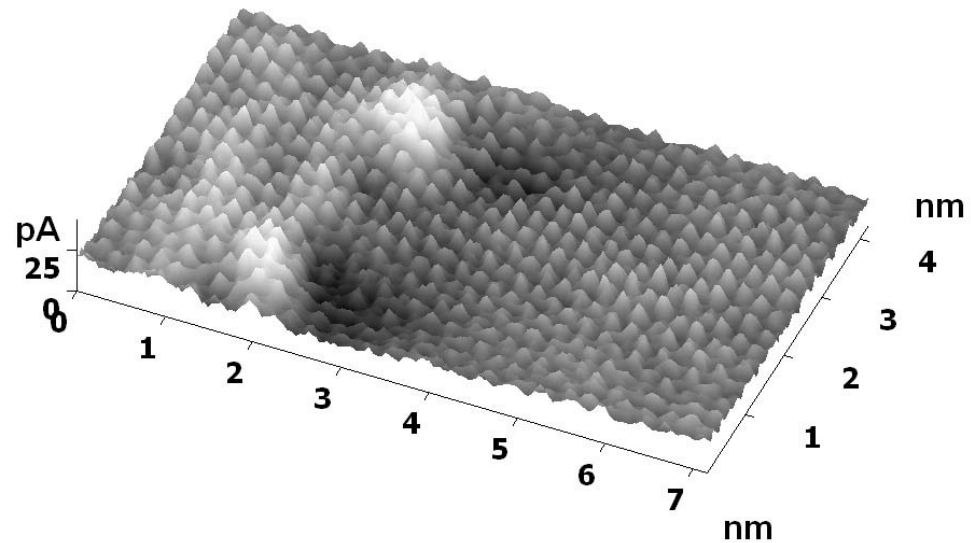
Nanocső végű AFM tű



NANOMETROLÓGIA – PÁSZTÁZÓSZONDÁS MIKROSKÓPIA



AFM kép: Bi ionnal besugárzott Al_2O_3 (zafír)



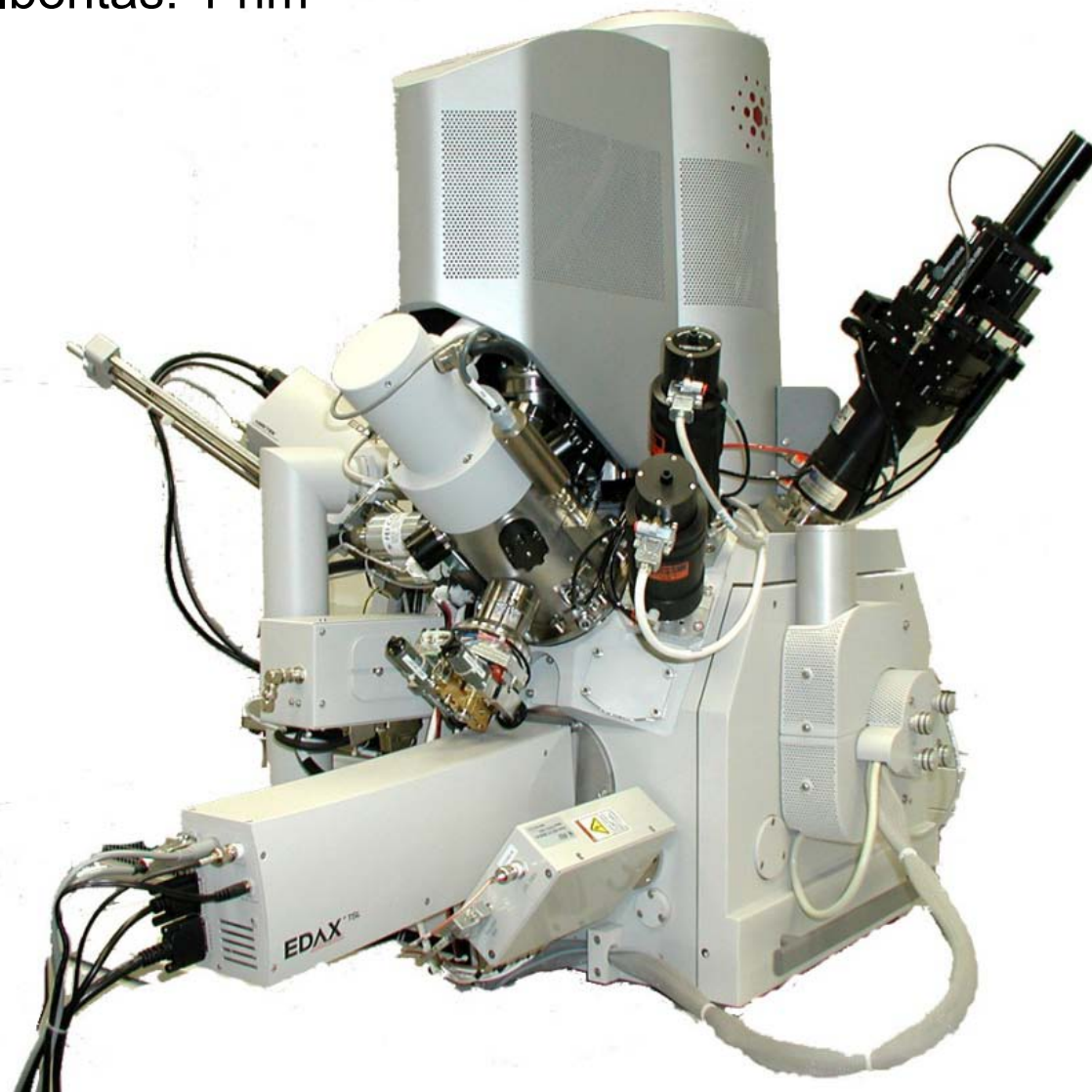
STM kép: Xe ionokkal besugárzott grafit felülete

PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓP

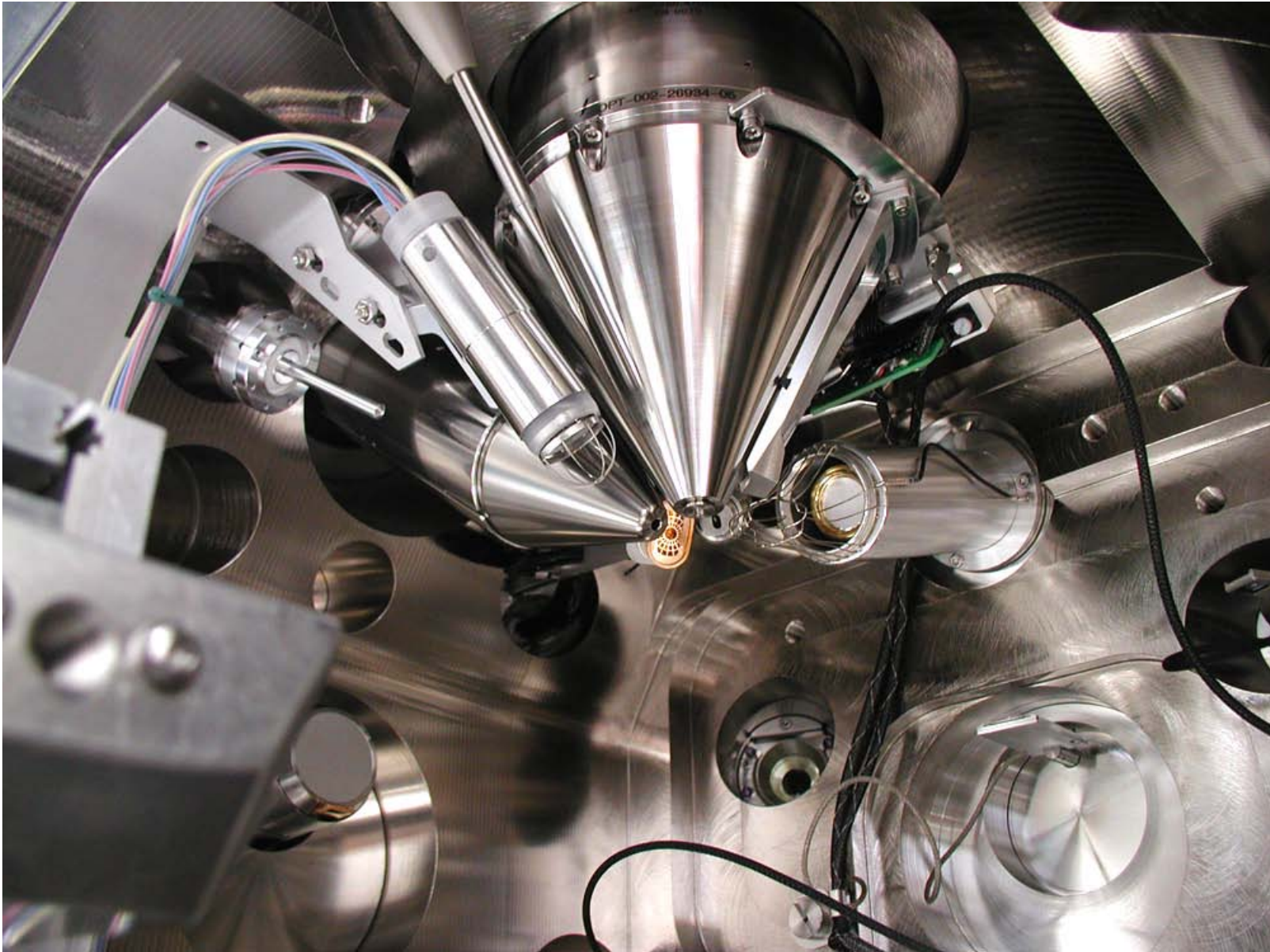


PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMİKROSKÓP

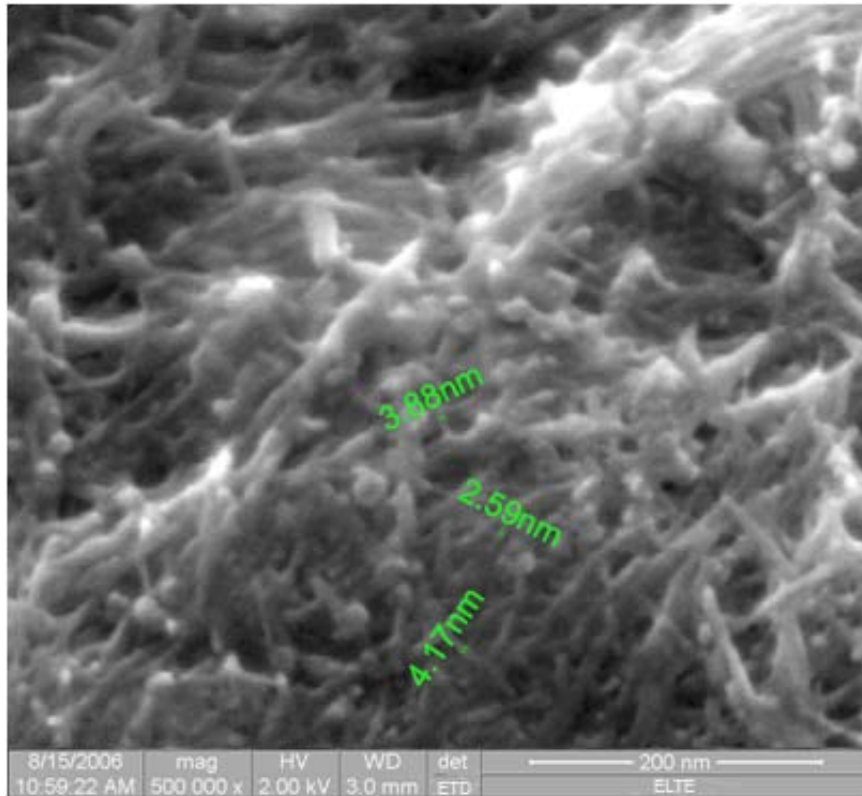
Jellemző felbontás: 1 nm



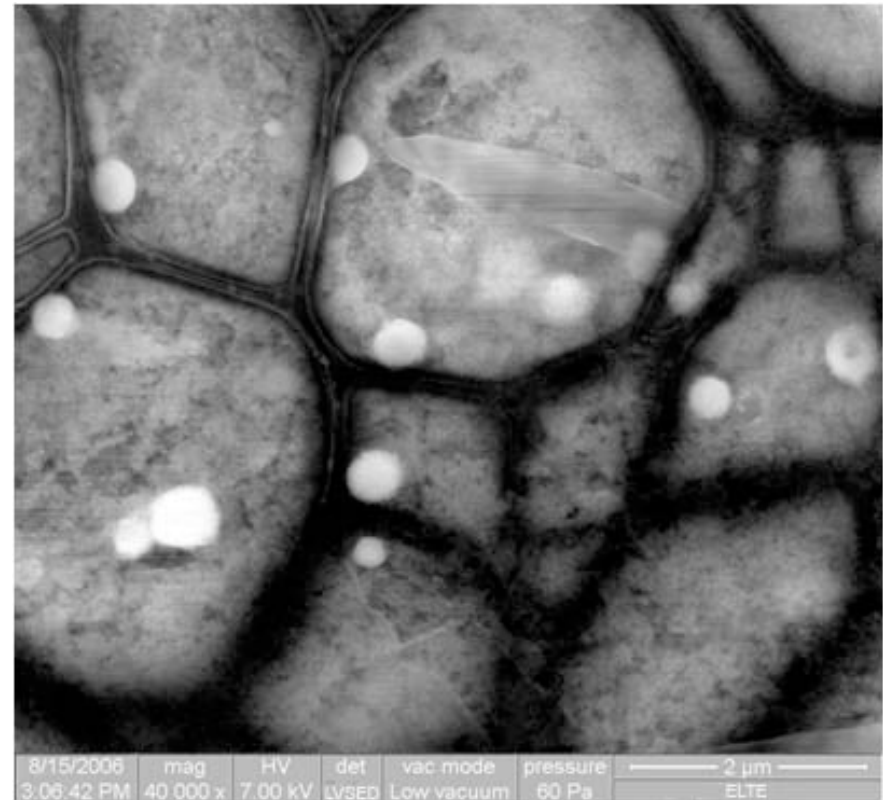
PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMİKROSKÓP BELÜLRŐL



Pásztázó ELEKTRONMIKROSKÓPIA

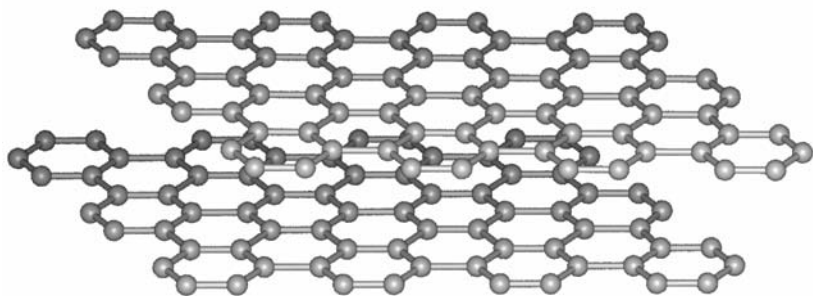


szén nanocsövek szövvénye

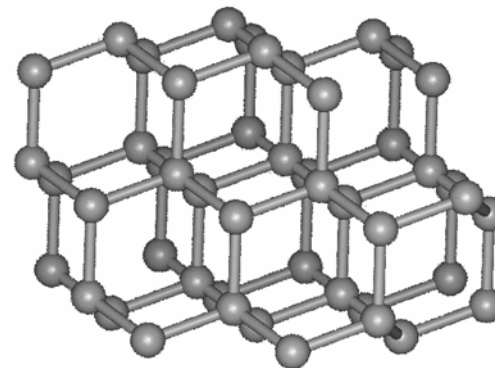


liposzóma gömböcskék

A SZÉN MÓDOSULATAI



Grafit



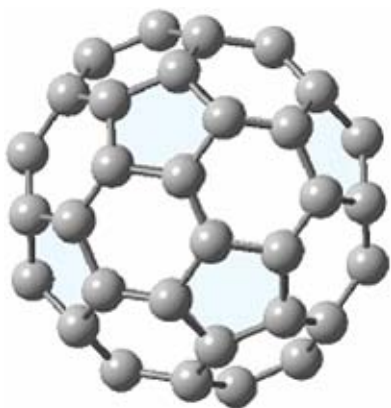
Gyémánt





NANOANYAGOK

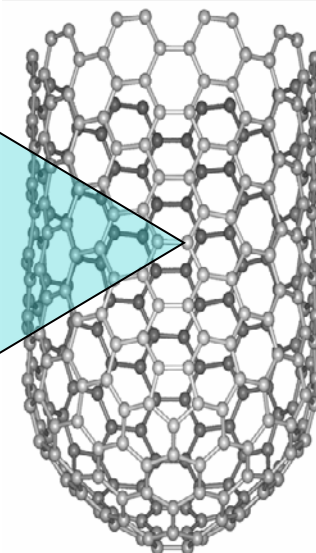
0,71 nm



Rendkívüli mechanikai, termikus és elektromos tulajdonságok:

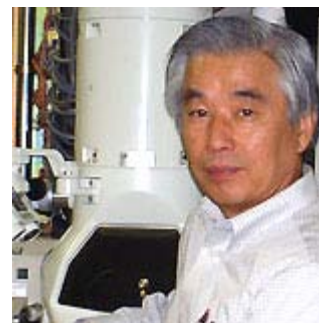
Szakítószilárdság: **20-szorosa** a legerősebb acélnak,
Hővezetőképesség: **10-szerese** az ezüstnek,
Nagy hajlítás után nem törik, hanem **regenerálódik**.

1,4 nm

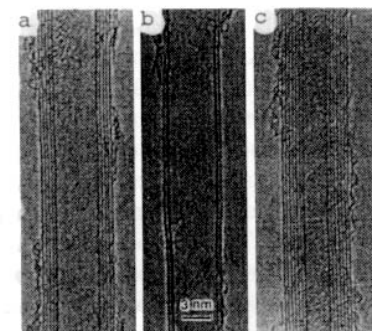


Fullerén C60, Ikozaéder alakú, 32 lap határolja, ebből 20 hatszög, 12 ötszög.

H. W. Kroto, UK; R. E. Smalley és R. Curl (USA)
1985-ben a Nature-ben publikálta
1996-ban kémiai Nobel-díjat kaptak.

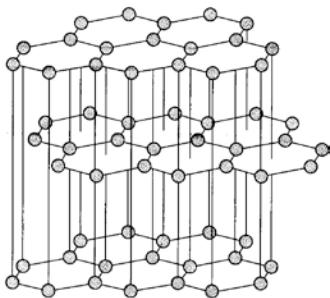


Szén nanocső



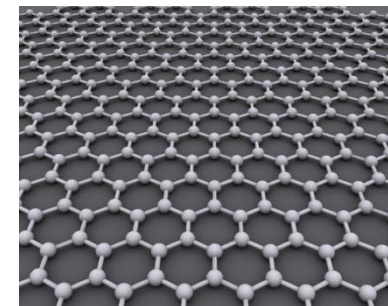
Iijima 1991-ben publikálta a Nature-ben

GRAFIT – GRAFÉN

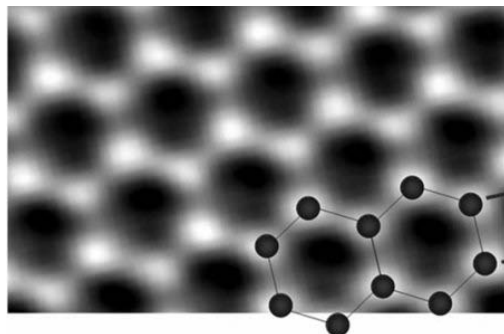


grafit

- Gyengén kölcsönható síkból áll.
- A síkokon belül hatszöges elrendezés.
- *c*-síkbán a grafit vezetőként viselkedik.
- A síkokat gyenge *van der Waals*-erők kötik össze.
- A síkok egymáshoz képest eltolva.
- A síkok „vastagsága” $\sim 0,3 \text{ nm}$. Egy-egy sík *1D* nanostruktúrának tekinthető.



grafén sík



grafén TEM kép

0.14nm

Ha egy síkot leválasztunk, akkor annak különleges tulajdonságai lesznek.



- Elektromos vezetőképessége jobb mint az ezüsté
- Kétdimenziós vezetési tulajdonságok
- A grafén réteg a fehér fényre átlátszatlan, és az átlászóság elektronos térrel változtatható.
- Hővezetőképessége kb. 10-szerese mint az ezüsté
- Szakító szilárdsága ~ 200 szorosa az acélénak

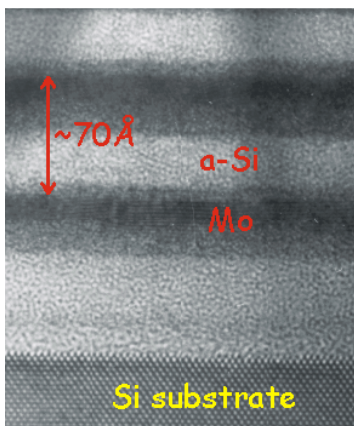
Andre Geim és Konstantin Novoselov
fizika Nobel-díj 2010

Potenciális felhasználási lehetőségek:

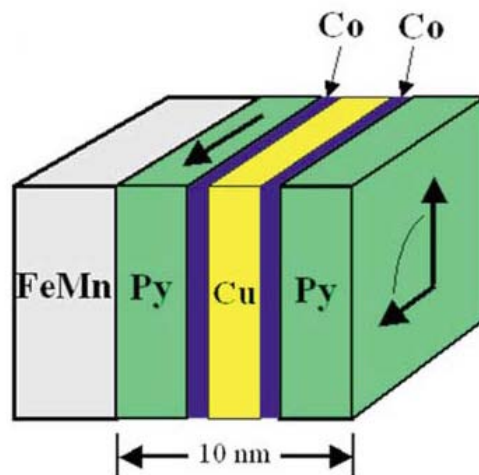
- Gáz szenzor (egymolekula detektor)
- Grafén nanoszál a kivágástól függően vezető vagy félvezető és spinpolarizált tulajdonságúak. Új típusú számítógépekben használhatók.
- Grafén FET tranzisztor (2010, IBM 100 GHz grafén tranzisztor)
- Átlátszó elektromos hozzávezetés (kijelzők, detektorok),
- Grafén LED (nem tartalmaz fémet)
- Grafén napelem (jó fotoelektromos tulajdonság, vékony, olcsó)
- NEMS építőelem, kihasználva a mechanikai tulajdonságokat, gázszenzor, nyomás – szenzor, rezonátor stb.)

Óriás MÁGNESES ELLENÁLLÁS (GMR)

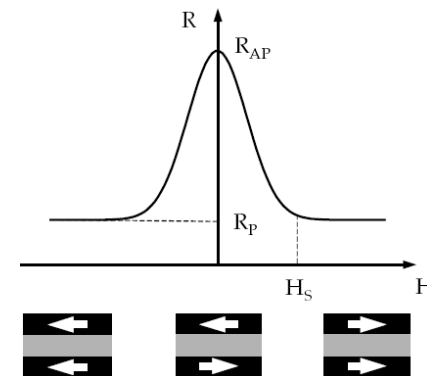
Multirétegek



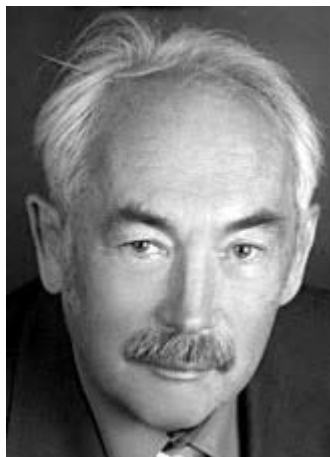
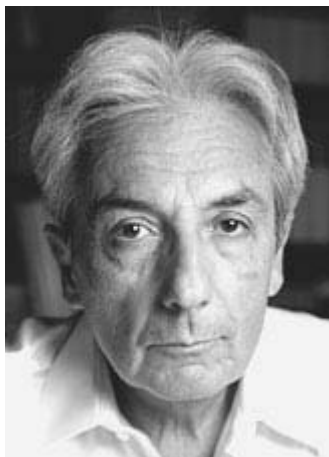
multiréteg 5-10 nm
rétegvastagság



óriás mágneses ellenállás



ellentétes mágnesezettség
esetén nagy ellenállás



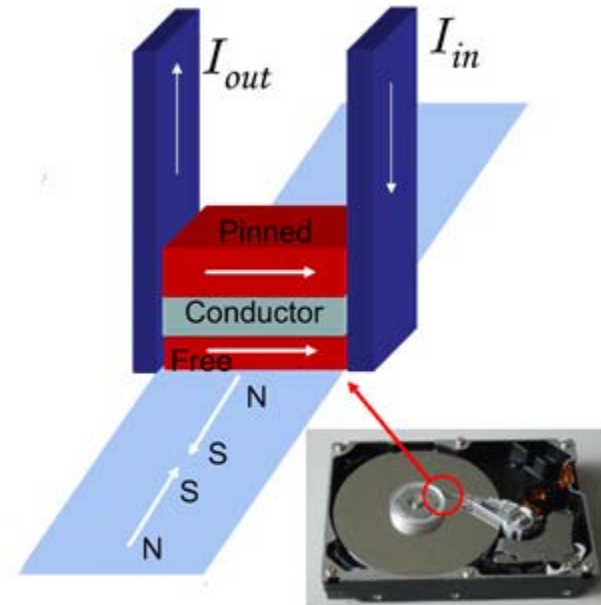
A felfedezésért Albert Fert (francia) és Peter Grünberg (német) kutatók megosztott fizikai Nobel-díjat kaptak 2007-ben.

MEREVLEMEZ OLVASÓFEJ

Merevlemez olvasófej. Nanotermék.



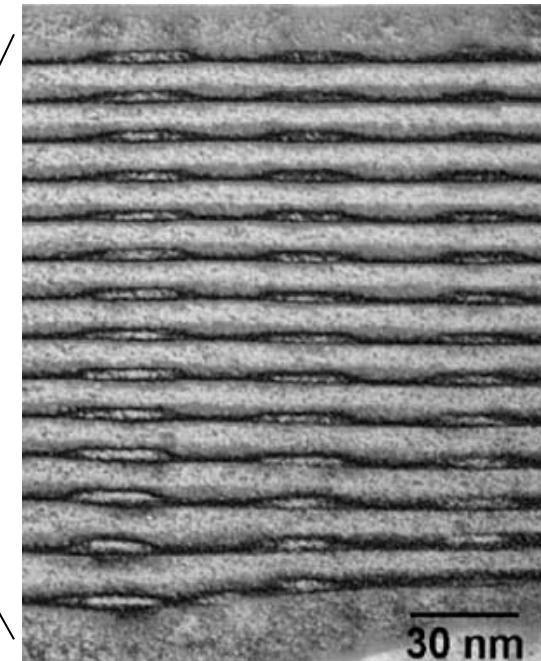
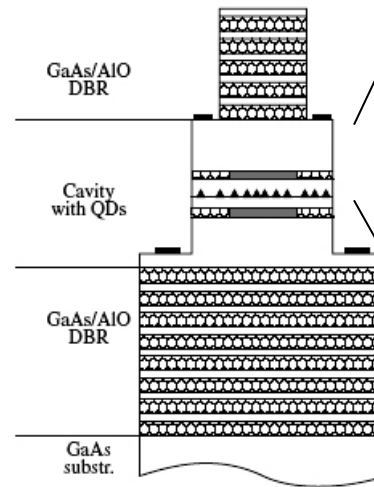
Merevlemez egység kibontva



A merevlemez működési elve

QD LÉZERDIÓDÁK

Az aktív réteg 3D elrendezésben kvantumpöttyöket tartalmaz.



Előnyös tulajdonságok:

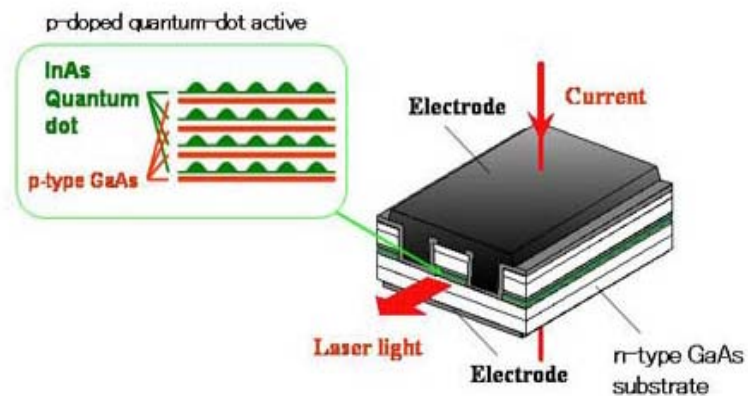
1. Hangolhatóság részecskemérettel
2. Alacsony **fogyasztás**, kis **méret**
3. Keskeny **vonalszélesség**

Keresztmetszeti TEM kép
InAs nanopöttyök (5 nm)
GaAs rétegek (10 nm) között

QD LÉZERDIÓDÁK

QD lézer alkalmazás:

1. Telekommunikációs célok ($1,3 \mu m$)
2. Számítástechnika,
3. Célzó-, mutató, megvilágító eszközök,



FÉNYEMISSZIÓS DIÓDA (LED)



1879. T. Edison

Élettartam: ~ 1 000 óra

Hatékonyság: 90-95 % hőtermelés
15 lumen/watt



S. Nakamura, Millennium-díj, 2006.

Élettartam: 100 000-1 000 000 óra

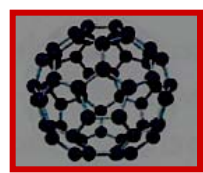
Hatékonyság: 1-2 % hőtermelés
150 lumen/watt

Fehér LED. Nagy hatásfokú fénykibocsátás
kétszínű QD borítással (kék LED, zöld és piros QD)

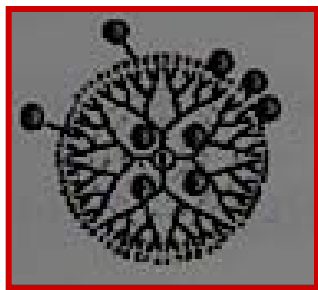


NANOMEDICINA - GYÓGYSZER CÉLBAJUTTATÁS

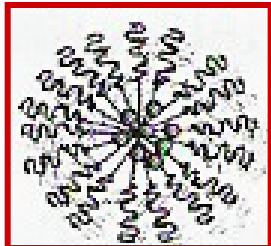
Gyógyszerszállító és irányító nanorészecskék



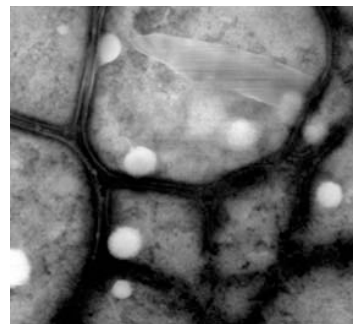
fullerének



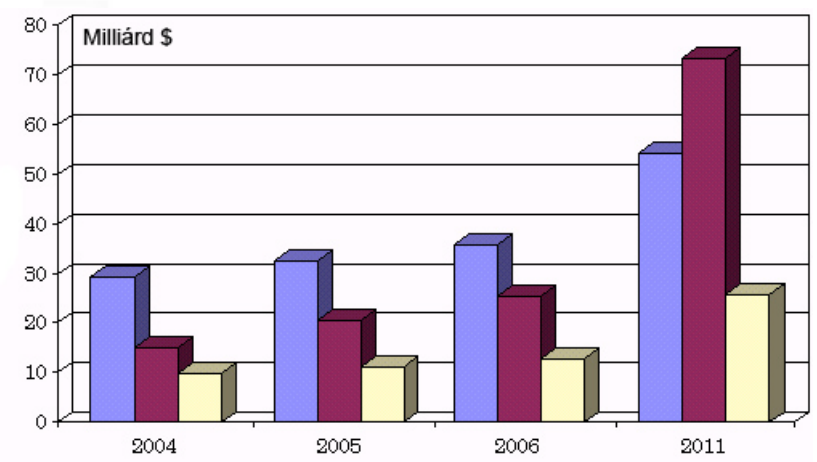
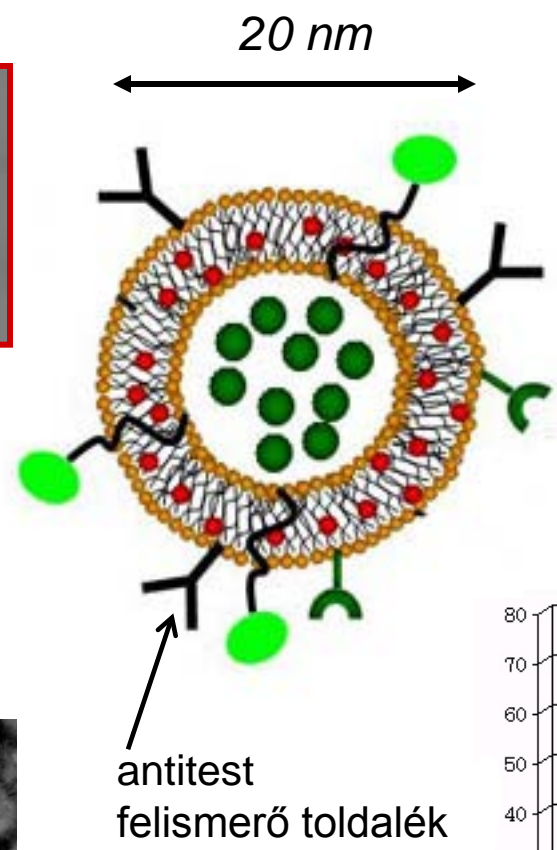
dendrimérek



Micella



liposzoma

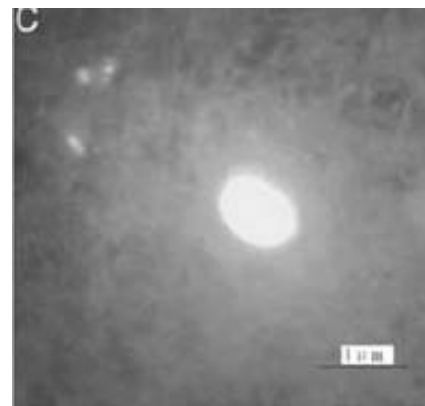
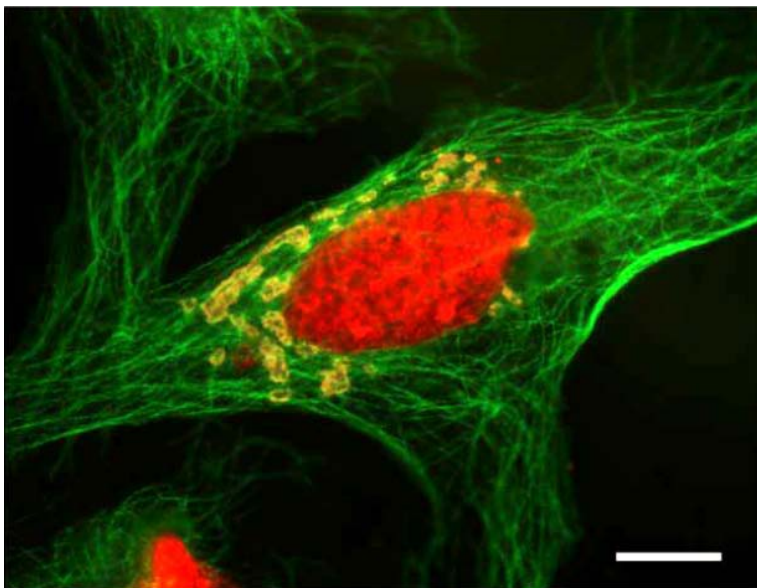
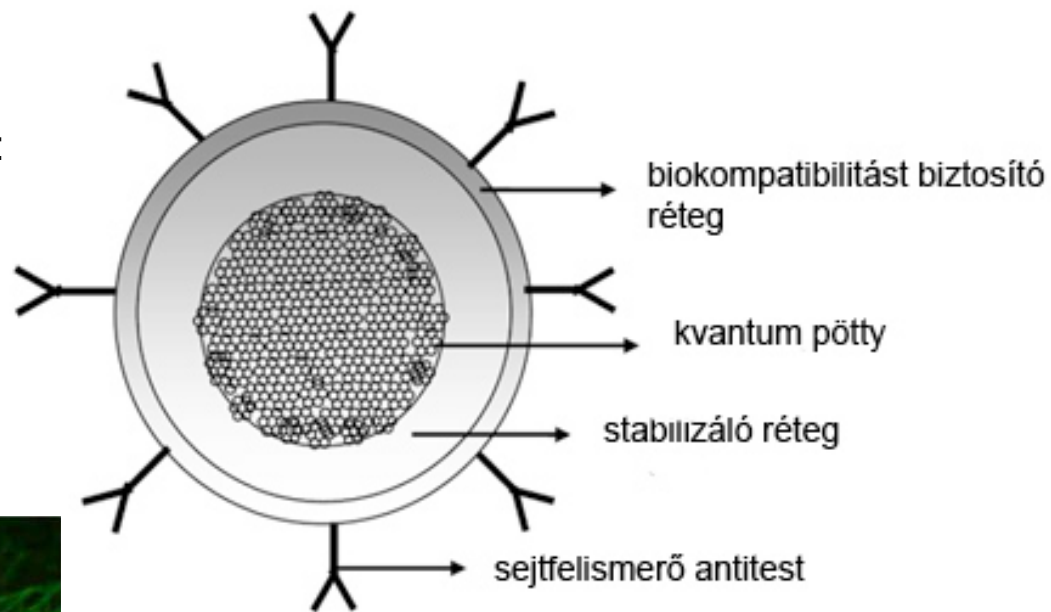


A gyógyszergyártó cégek nano-transzport bevételek alakulása a világon

Sejtkomponensek festése

Előnyök a szerves festékekkel szemben:

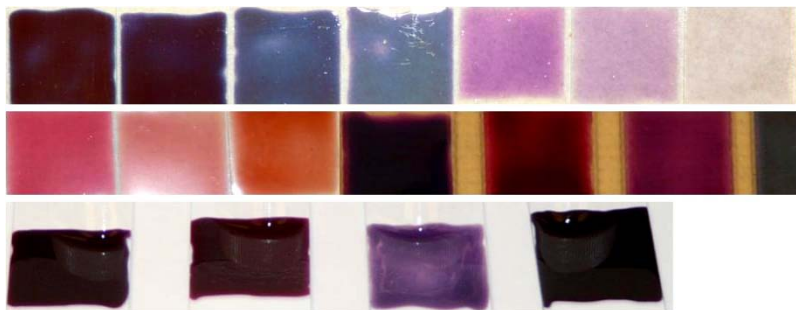
1. A mérettel beállítható hullámhossz (infravörös, látható).
2. Nagy fotostabilitás.
3. Nagyobb intenzitás.



Sejtkomponensek festése különböző méretű QD-vel
A gerjesztés ugyanazzal a forrással.

Fluorencencia mikroszkópban baktérium

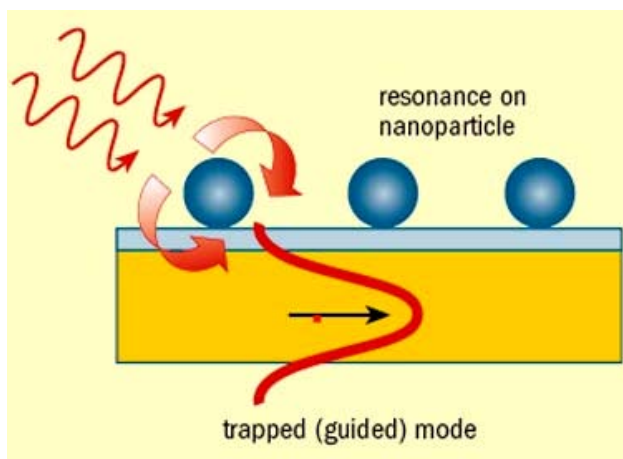
FÉM NANORÉSZECSKÉK, ALKALMAZÁSOK



Au nanorészecskék borítások színezésére



Ag nanorészecskék steril kórházi eszközök felületi borítására



Au nanorészecskék fotocella vékonyrétegek abszorpciójának fokozására (plazmonrezonancia)



Számos baktérium mágneses nanorészecskéket (Fe_2O_3) használ tájékozódásra a földmágneses térben



EGYÉB NANO-TERMÉKEK

Kozmetikai termékek (TiO_2 , ZnO stb.)

Festékek (Ag, Au, fémporok)

Felületi borítás nanorészecskékkel (fluoreszcencia, optikai tulajdonságok stb)

Humán gyógyászat (gyógyszer hordozó, kontraszt anyag, szinezés stb.)

Optikai termékek (lézerek, multirétegek, bevonatok)

Elektronikai termékek (multirétegek, szén nanocső detektorok, tranzisztorok)

Üzemanyag adalék anyagok

Nano-katalizátor anyagok

Kompozit anyagok (kerámia fém-nanorészecske, polimer-fém v. szén kompozit)

Minden technológiának vannak kockázatai

Az élővilágot eddig is érték nanorészecskék (sivatagi por, erdőtüzek, vulkáni tevékenység, diesel motorok, égető erőművek, repülőgépek, olajos sütés, hegesztés fémgőze stb.)

Az utóbbi 10 évben növekszik a vizsgálatok száma, de kellő statisztika még nincs.

Ami látszik ezekből a vizsgálatokból:

- Vannak májban, más szervekben felhalmozódó részecskék.
- A nanocső tüdőkárosító hatása valószínű (gyulladás, rák mint az azbeszt esetén).
- A kozmetika iparban használt nanorészecskék nem mérgezőek.
- A bőr, ha nem sérült akkor, jelentős gátat képez.
- Vannak nanorészecskék, amelyek a baktériumokat, rákos sejteket pusztítják.
- A nanorészecskék jelentős része természetes úton távozik a szervezetből
- A környezetkárosító hatásokról kevés információ áll rendelkezésre.

Példák a nanotechnológia etikai vonatkozásaira:

- A **versenyképesség, az egészség és biztonság** egyensúlyának megteremtése (munkahelyeken, sportversenyeken stb.).
- A **privát szféra tiszteletbentartása** (nanodetektorok, lehallgatók, információgyűjtés és tárolás),
- A **környezet megóvása** szempontjainak figyelembe vétele.
- **Az ember fogalmának a továbbgondolása**, hiszen a nanotechnológia a számítástechnika, az informácitechnológia és a bitechnológia korlátait odáig tágítja, hogy alkalmassá váljanak az ember szerveinek a pótlására, képességeinek a növelésére.

Az új technológiák kapcsán mindig időszerű a társadalom etikai alapelveinek átgondolása

(emberi méltóság, integritás, autonómia, felelősség pl. a jövő generációja iránt, stb.)



Az ELTÉN FOLYÓ kutatások

Szén nanostruktúrák elméleti és kísérleti vizsgálata (szén nanocsővek, fullerének, grafén)

Nanoszerkezetű fémek, kerámiák, porózus anyagok vizsgálata.

Nanoszerkezetű adalékanyagot tartalmazó kompozit anyagok vizsgálata.

Hidrogén tárolás nano-pórusos anyagokba.

Nano gyógyszer transzport.

Sejtfestés fluoreszcens nanorészecskékkel.

Felületi nanostruktúrák vizsgálata.

Honlapok

A mikrométernél kisebb objektumokkal kapcsolatos kutatások  <http://submicro.elte.hu/>

Anyagtudomány MSc szak  <http://anyagtudomanymsc.elte.hu>

ÖSSZEFOGLALÁS

- Új technológia kibontakozásának lehetünk tanúi
- A 21. század első felét feltehetően ez fogja jellemezni
- Az új technológiát az 1 – 100 nm mérettartomány jellemzi
- A nanoanyagok ugyanolyan atomokból épülnek fel, de új tulajdonságúak
- A nanotudomány interdiszciplináris jellegű
- Számos nanotermék még kifejlesztés alatt
- Számos más nanotermék van már a piacon
- Az új technológia kockázatokat is rejt magában
- Az etikai elvek újragondolása is szükséges
- Az új technológiák mindig felvetnek felelősségi kérdéseket is