

# A Nanotechnológia csodái

***Biró László Péter***

**Műszaki Fizikai és Anyagtudományi  
Kutatóintézet, Budapest**

**Magyar Tudományos Akadémia**

**<http://www.nanotechnology.hu/magyarul.html>**



# Nanotechnológia ....mindenütt

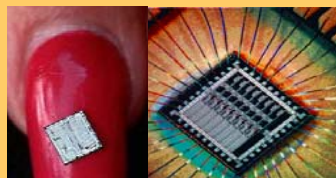


**„A tudomány, a technológia [...] nem old meg minden problémát. De a tudomány és technológia nélkül semmiféle problémát nem lehet megoldani.”**

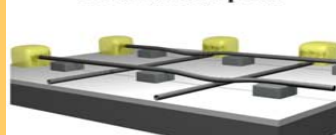
**Teller Ede**

# Nanotechnológia ....mindenütt

MÚLT



Nanotube Computer



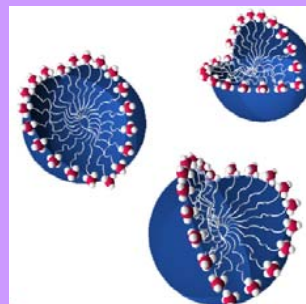
JELEN / KÖZELJÖVŐ

Nanocsip



Kéziszámítógép, óratelefon

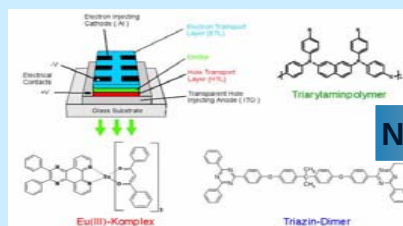
Nanotechnológia



Nanokapszula



Gyógyszer tapasz



Nanorétegek



Hajlékony képernyő

problémát nem lehet megoldani."

Teller Ede

# A NAGYOK: „A XX század Budapesten készült”

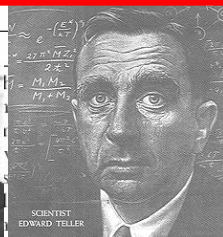
NATURE | VOL 409 | 4 JANUARY 2001 | www.nature.com

**millennium essay**

## Genius loci

The twentieth century was made in Budapest.

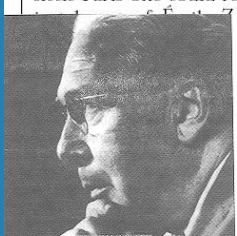
Vaclav Smil



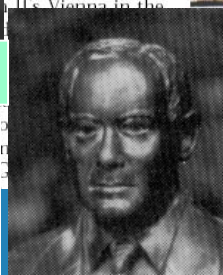
**Teller E.**



**Kármán T.**



**Szilárd L.**



**Neumann J.**



**Wigner J.**



| Név                  | Szakterület | A díjazás éve |
|----------------------|-------------|---------------|
| Lénárd Fülöp         | F           | 1905          |
| Bárány Róbert        | O           | 1914          |
| Zsigmondy Richárd    | K           | 1925          |
| Szent-Györgyi Albert | O           | 1937          |
| Hevesy György        | K           | 1943          |
| Békésy György        | O           | 1961          |
| Wigner Jenő          | F           | 1963          |
| Gábor Dénes          | F           | 1971          |
| Polanyi, John C.     | K           | 1986          |
| Oláh György          | K           | 1994          |
| Harsányi János       | G           | 1994          |

O = élettani ill. orvosi, F = fizikai, K = kémiai, G = közgazdasági díj

# Kavli díj (2008-ban először)

## 1.000.000 USD

„Úgy vélem, hogy különösen fontos azokat a területeket támogatni, melyek a legnagyobb lehetőségeket ígérik és a legalapvetőbb kérdésekre keresnek választ. A Kavli Intézetek kutatásokat végeznek a világegyetem asztronómiai méretű tartományán, az atomok és molekulák infinitezimális méretű világában, és minden dolgok legösszetettebbje, az emberi agy működésének megismerése terén. **Azért választottam ezt a három területet, mert azt hiszem, ezek nyújtják a legnagyobb lehetőséget a leglényegesebb tudományos áttörésekre, és ezek fogják a legnagyobb mértékben szolgálni az emberiséget.**”

Fred Kavli  
(2005)

**Bocsánat! Hol találom a  
Nano Laboratóriumot?**

**Rajta áll, uram!**

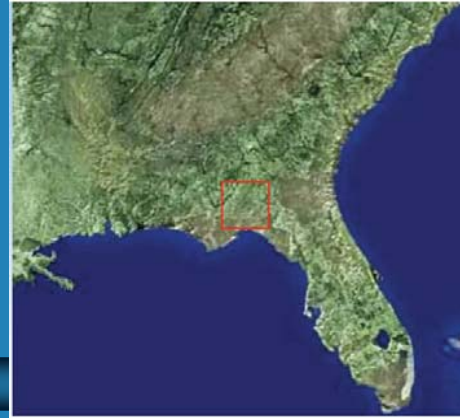
© Original Artist

Reproduction rights obtainable from  
[www.CartoonStock.com](http://www.CartoonStock.com)

search ID: cg00188

GODDARD

# Méretetek 1.



1000 kilometers



100 kilometers



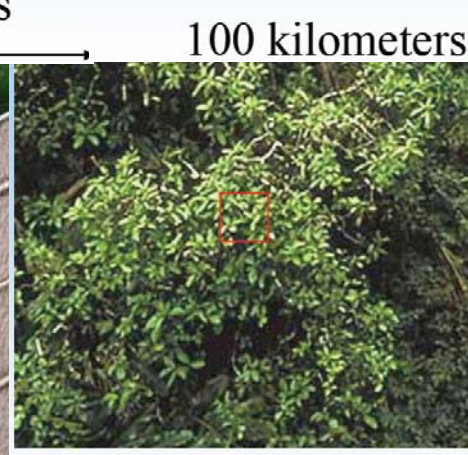
10 kilometers



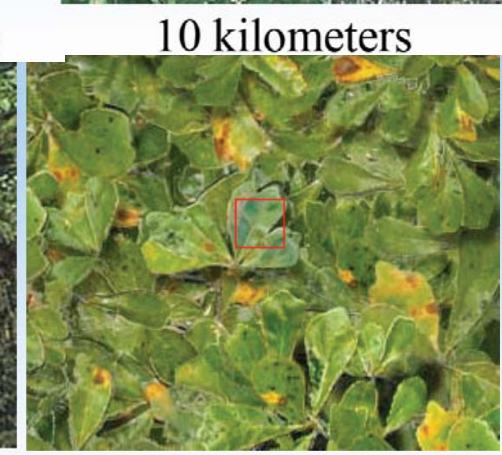
1 kilometer



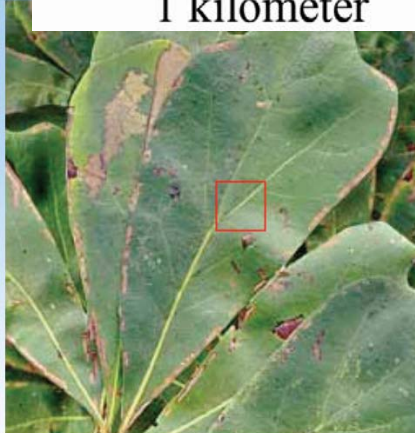
100 meters



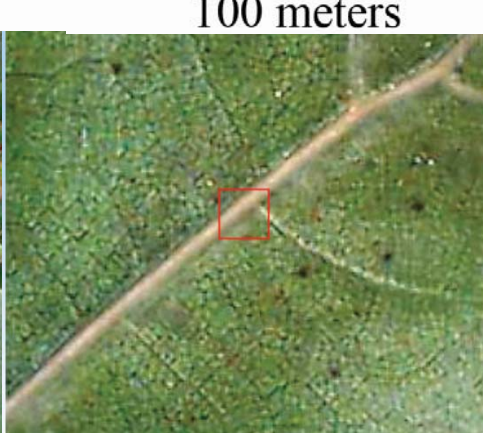
10 meters



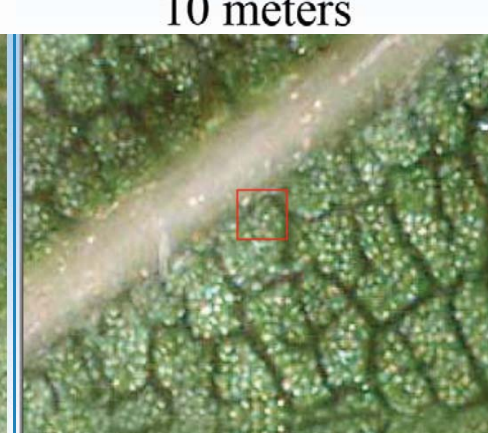
1 meter



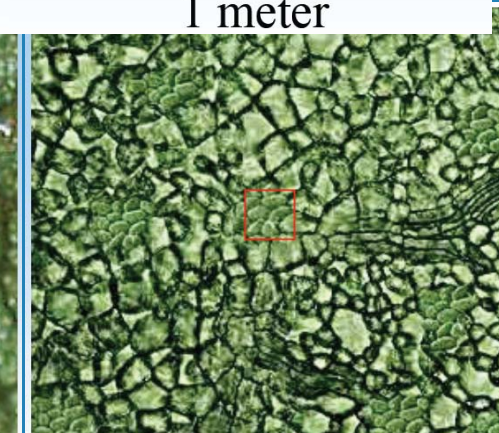
100 millimeters



10 millimeters



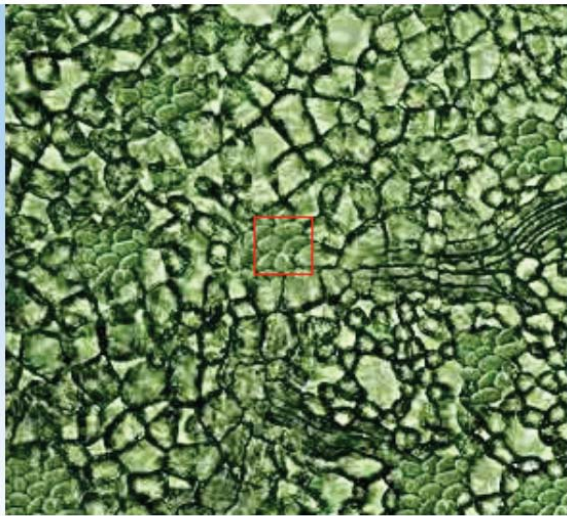
1 millimeter



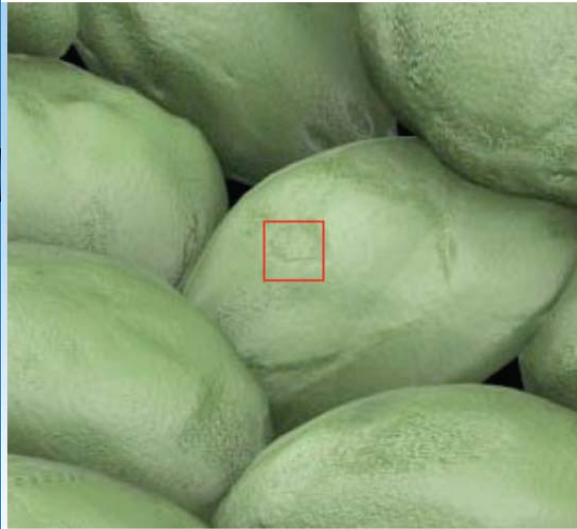
100 microns

# Méretetek 2.

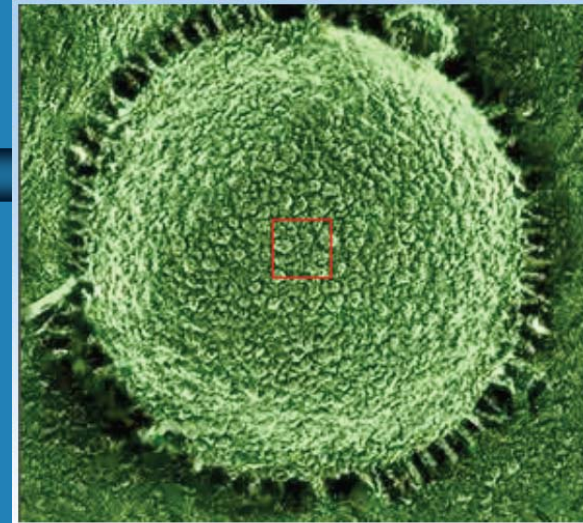
Forrás: <http://www.nanoed.org/seminar/docs/MarkRatner-Day1.pdf>



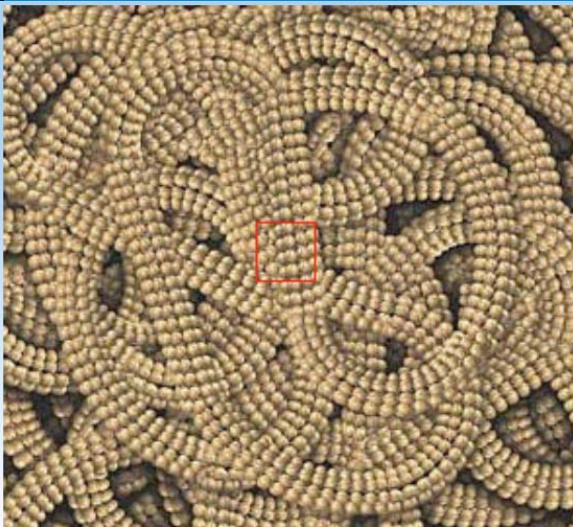
100 microns



10 microns



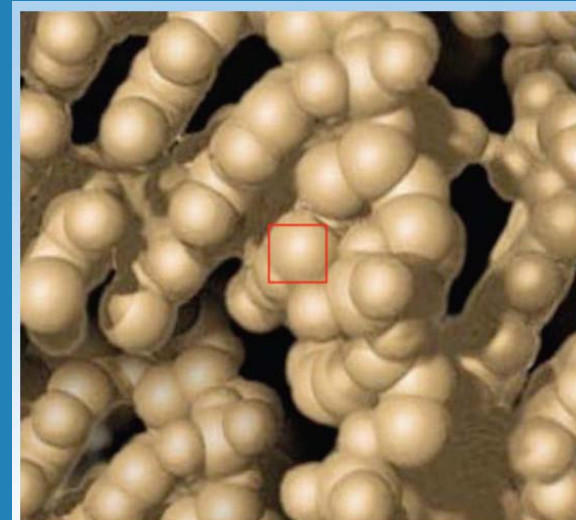
1 micron



100 nanometers



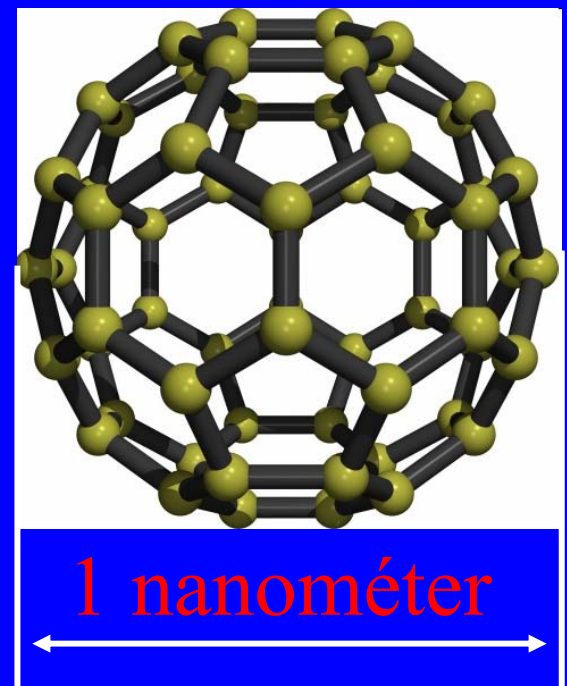
10 nanometers



1 nanometer



$\approx$



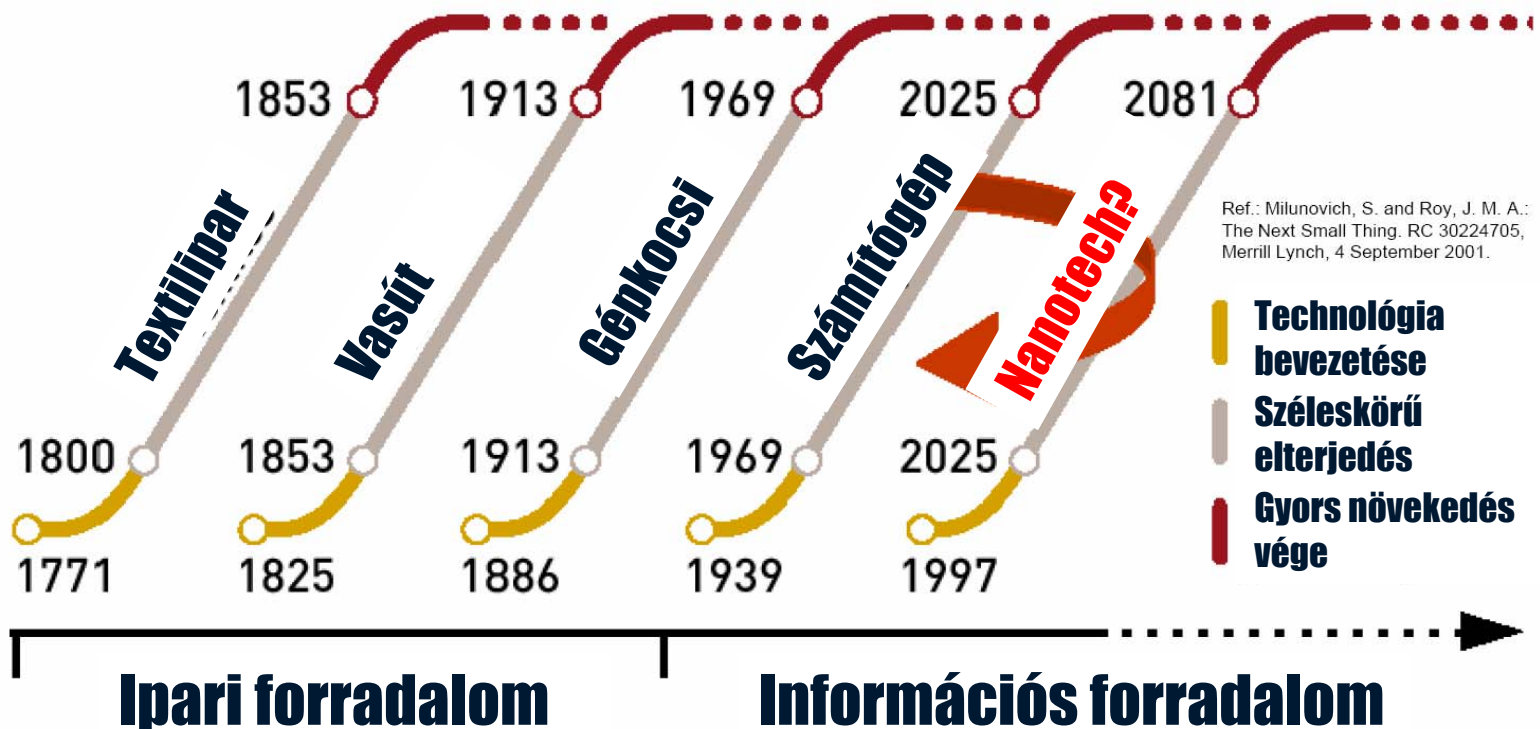
# Történelmi ciklusok a gazdaságban

SIEMENS

CORPORATE TECHNOLOGY

## Forradalmi erők

A tudományban és technológiában az alapvető felfedezések kétszer következnek be egy századon belül és hatalmas gazdagság felhalmozásához vezetnek.



Ref.: Milunovich, S. and Roy, J. M. A.:  
The Next Small Thing. RC 30224705,  
Merrill Lynch, 4 September 2001.

Nanotechnologie: Volkswirtschaftliche Bedeutung

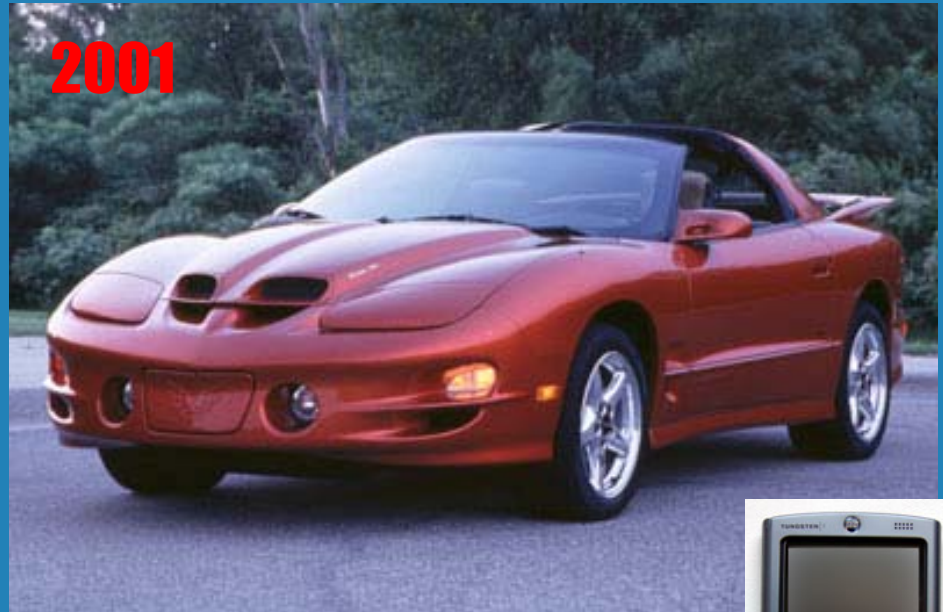
© Siemens AG, CT, Manfred Weick, Montag, 1. März 2004  
Grundlagen und State of the Art der Nanotechnologie.ppt

# Gépkocsi & Számítógép

**Az első autó is inkább hintó volt ....**



**1886**



**2001**



**1946**

**ENIAC, 20000 elektroncső ...**



**2002**

# 2010, Kavli Díj nyertesei:

## Nanotechnológia



**Donald M. Eigler**

IBM Almaden  
Research Center,  
San Jose, US

**„atomi biliárd”**

“for their  
development of  
unprecedented  
methods to control  
matter on the  
nanoscale”

**“mert olyan új  
módszereket  
fejlesztettek ki,  
amelyekkel  
korábban  
elképzелhetetlen  
pontossággal lehet  
manipulálni az  
anyagot nano-  
méretekben”**



**Nadrian C. Seeman**

New York  
University, US

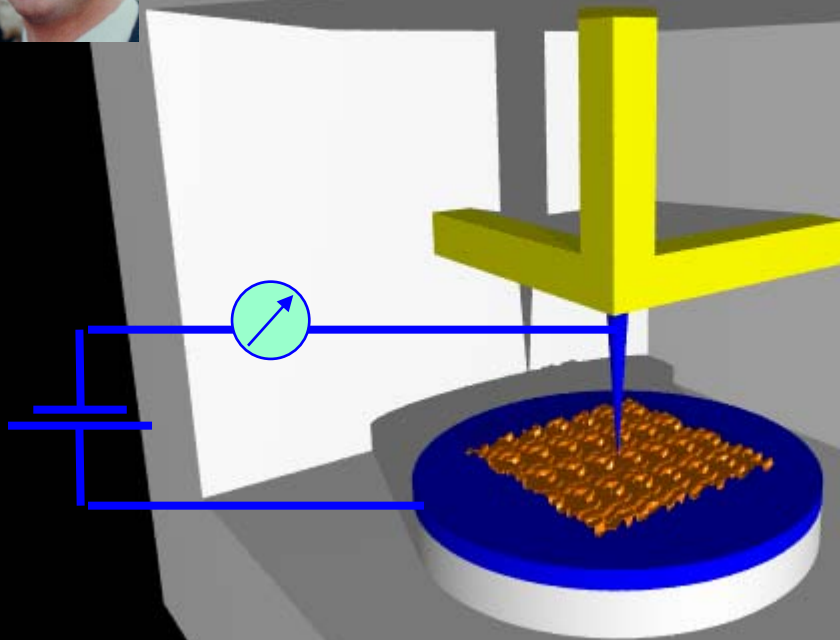
**„DNS ácsolás”**

# Pásztázó alagútmikroszkóp (STM) “célzőkészülék” és “dákó” egyben

Nobel Díj, 1986



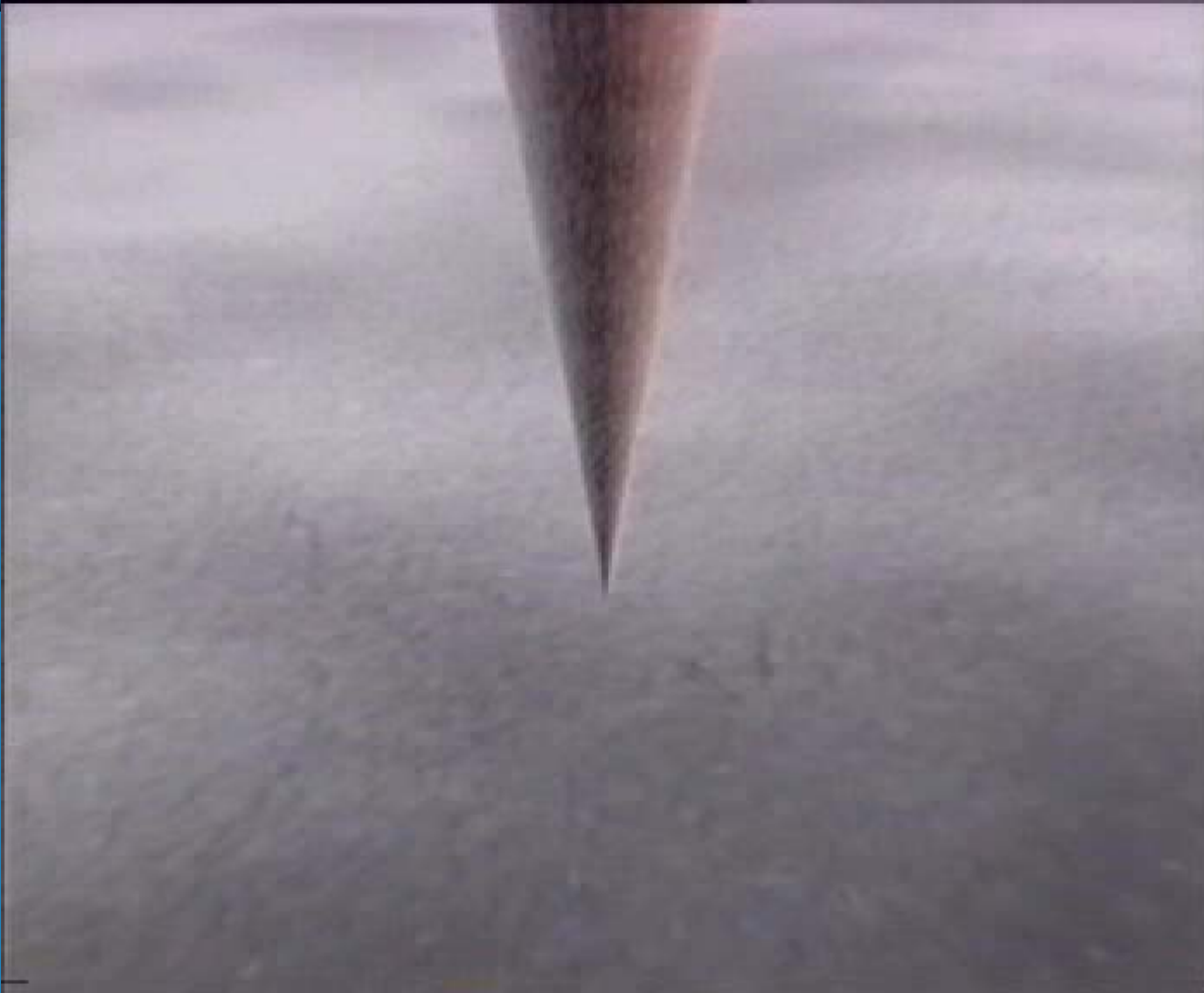
G. Binnig, H. Rohrer, 1981



“Letapogatott kép”



# Pásztázó alagútmikroszkóp (STM) “célzókészülék” és “dákó” egyben



**1981**

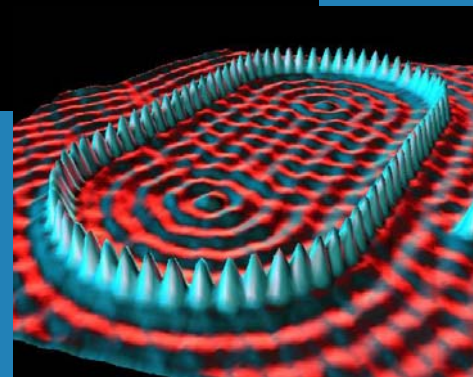
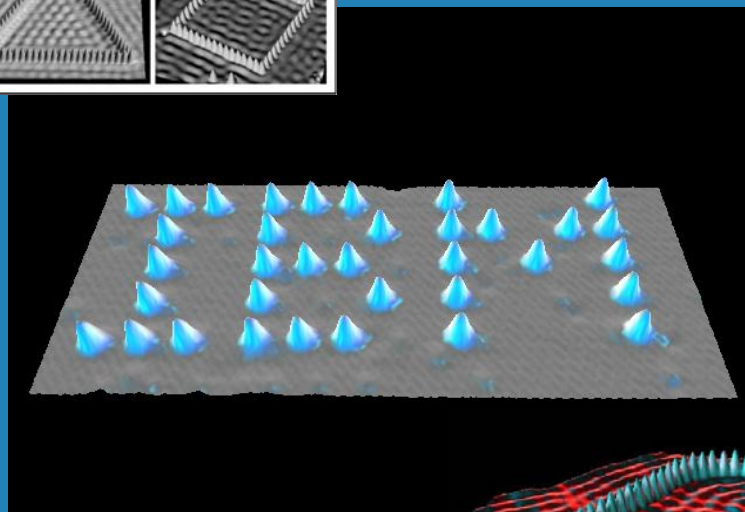
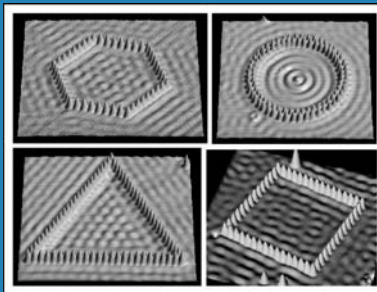
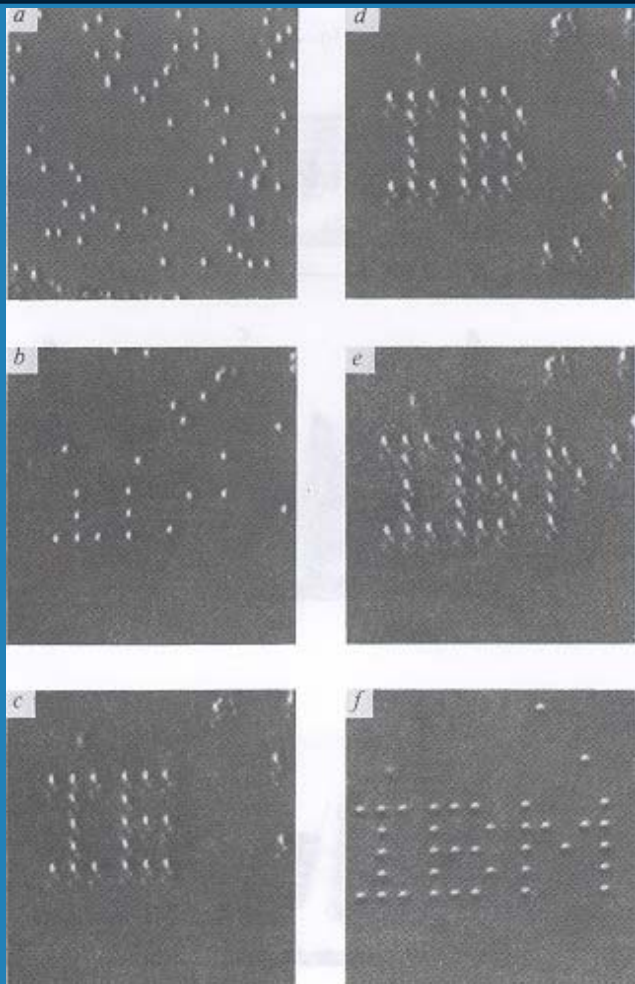
**Nobel Díj**

**1986,**

**Binnig &  
Rohrer**

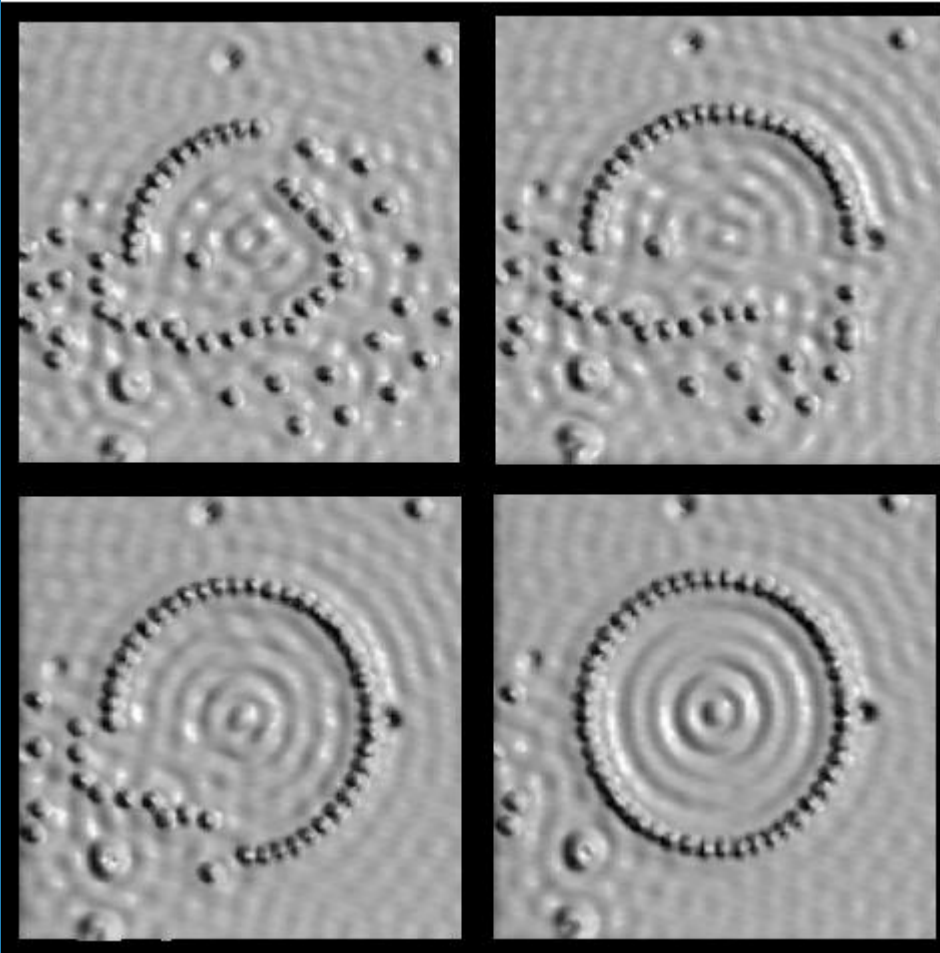
# Biliárd az atomokkal .... Az STM tű a „dákó”.

D. M. Eigler & E.K. Schweizer, Nature, 344 (1990), 524.

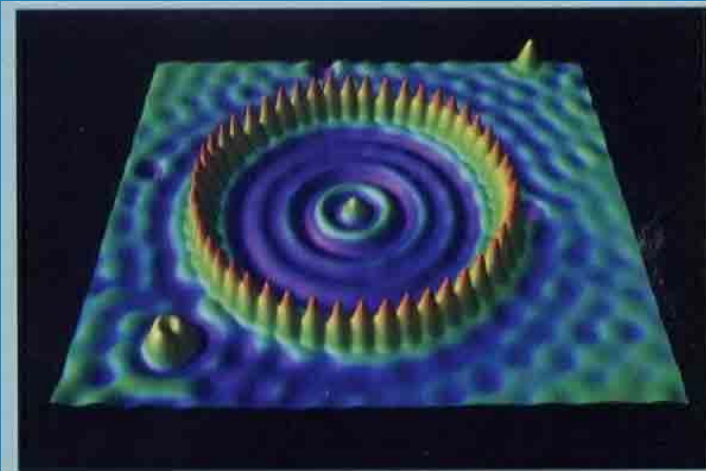


# Kvantum karám (D. Eigler et al.)

( ez már majdnem „művészi teljesítmény” ...)



**Az állóhullám-szerkezet,  
csak a karám teljes  
bezárása után alakul ki.**



# Rá tudjuk-e venni az atomokat, hogy úgy álljanak össze, ahogy azt mi szeretnénk?

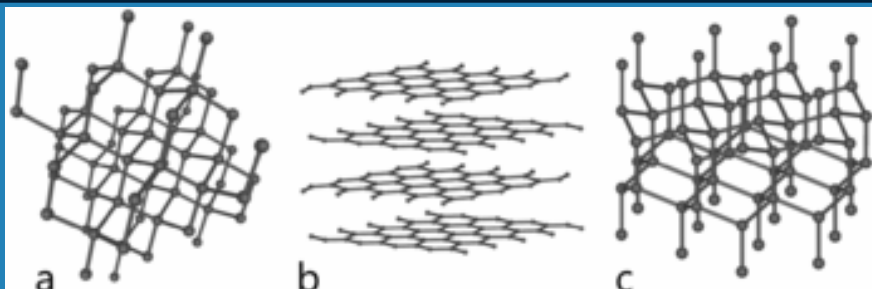
- ⌚ Láttuk, hogy Eigler és munkatársai képesek voltak az atomokat előre meghatározott módon elrendezni => **Lehetséges!**
- ⌚ Azonban ez inkább művészet, mint gyártás!
- ⌚ Lehetséges-e az atomok elrendeződését sok milliárdszor befolyásolni?
- ⌚ Az atomokat a legkönnyebben más **atomokkal, vagy molekulákkal lehet „terelgetni”**. („Szerszám” és „munkadarab” összemérhető kell legyen.)
- ⌚ Természeti törvények alapján => **Kémia!**

# Minkettő fúrógép .... Csak a **MÉRET** más!

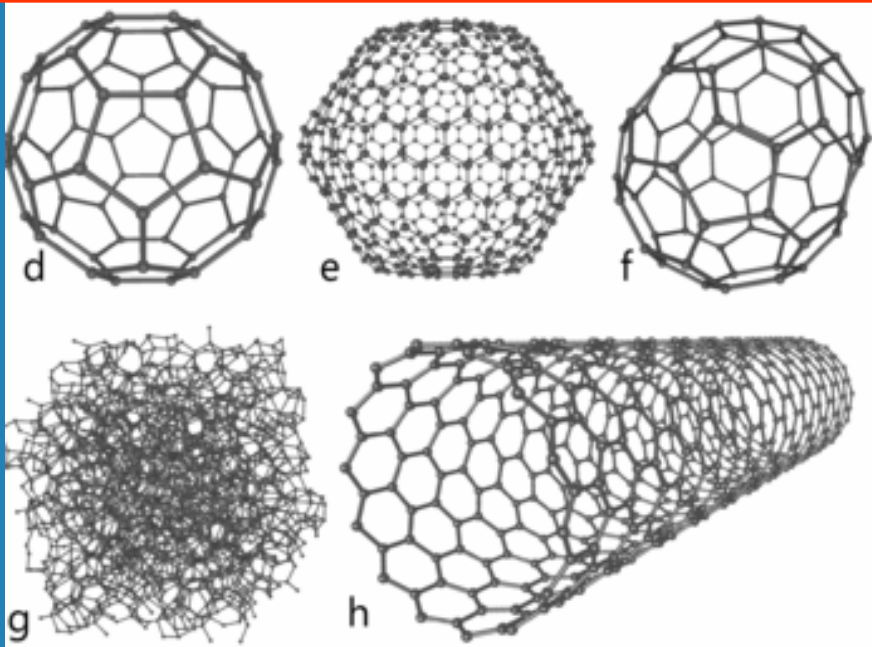


# Tömegesen előállítottak: **szén nanoszerkezetek**

(1985-től, Kroto & Smalley, Nobel Díj, 1996)



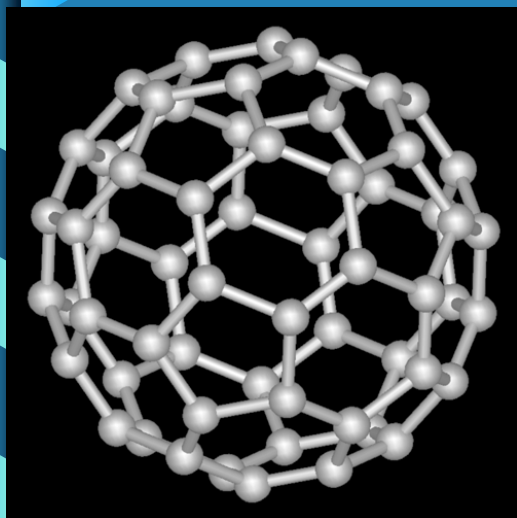
**Szén  
allotrópok**



**Nano-szenek**

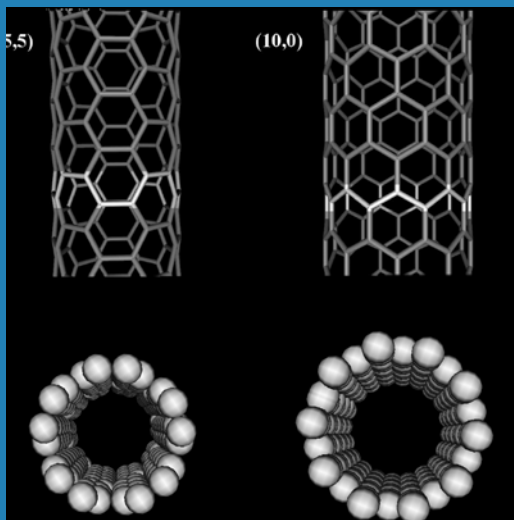
# Szén alapú nanoszerkezetek „története”

Fullerén  
0D



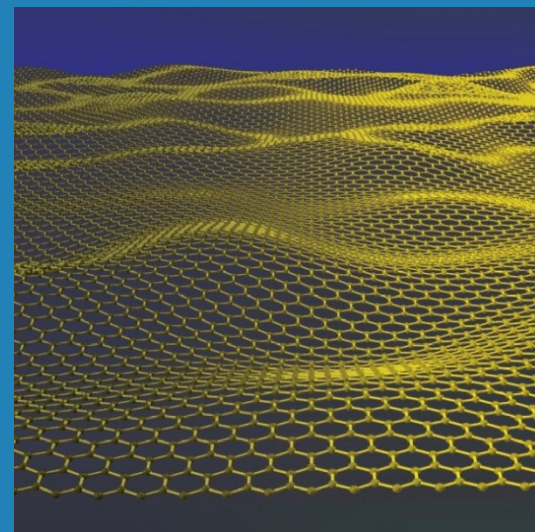
**1985**  
Kroto & Smalley  
**Nobel Díj 1996**

Nanocső  
1D



**1991**  
S lijima  
**Kavli Díj 2008**

Grafén  
2D



**2004**  
A Geim & K. Novoselov  
**Nobel Díj 2010**

Graphene



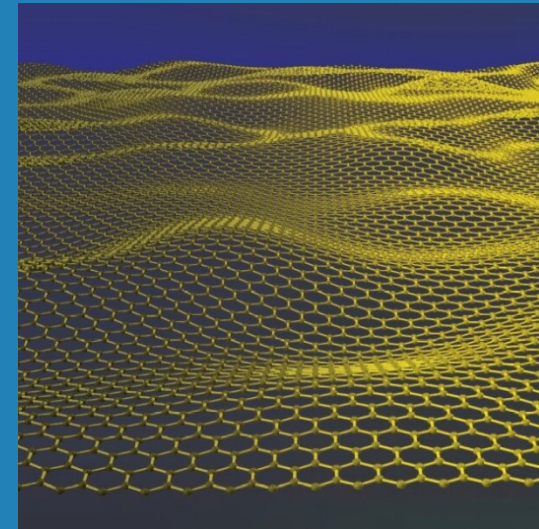
Arkezetek



**Andre Geim   Kostya Novoselov**

*"for groundbreaking experiments regarding  
the two-dimensional material graphene"*

**Grafén  
2D**



# Egy kis „történelem” ...



Elektroncső 1920



Első  
tranzisztor  
1947



Első tranzisztor  
kereskedelemben  
1950



Integrált áramkör  
1990



Bútordarab



Hordozható



„Okos” és  
zsebben hordható

# Egy kis „történelem” ...

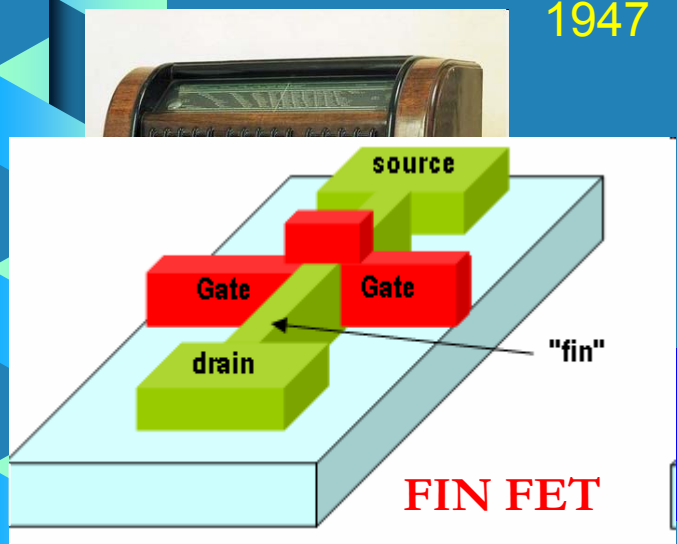
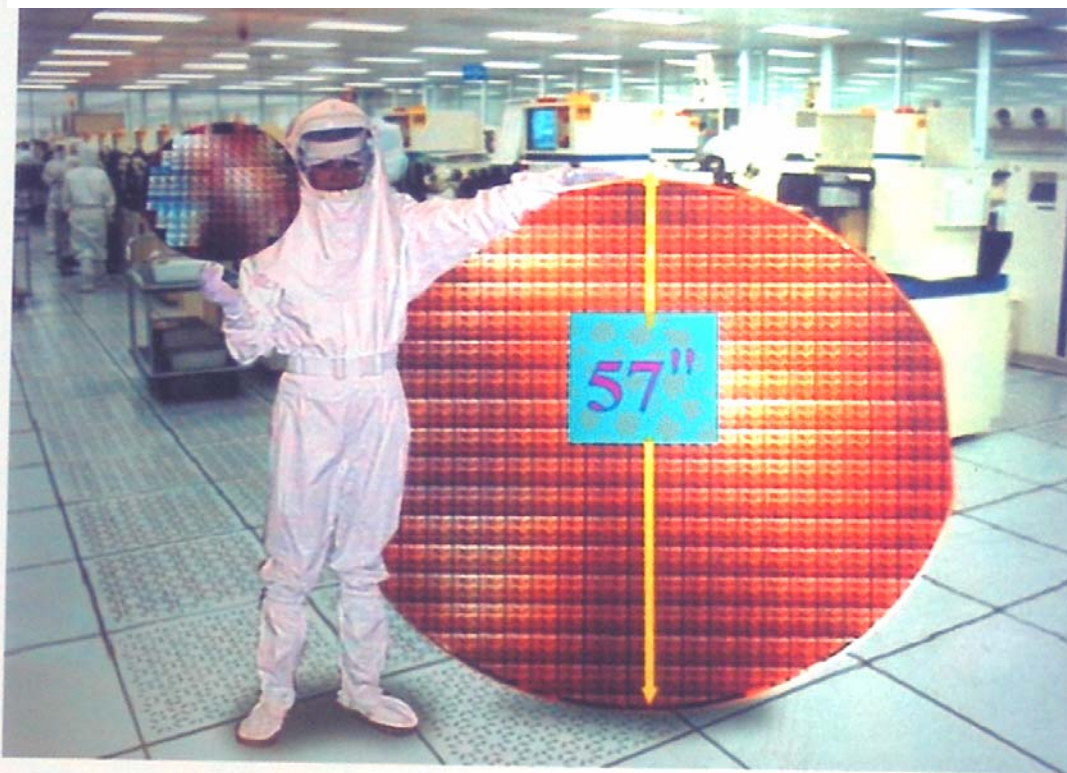


Elektroncső 1920



Első tranzisztor  
1947

**A MOORE TÖRVÉNY NEM ÖRÖKÉRVÉNYŰ!**

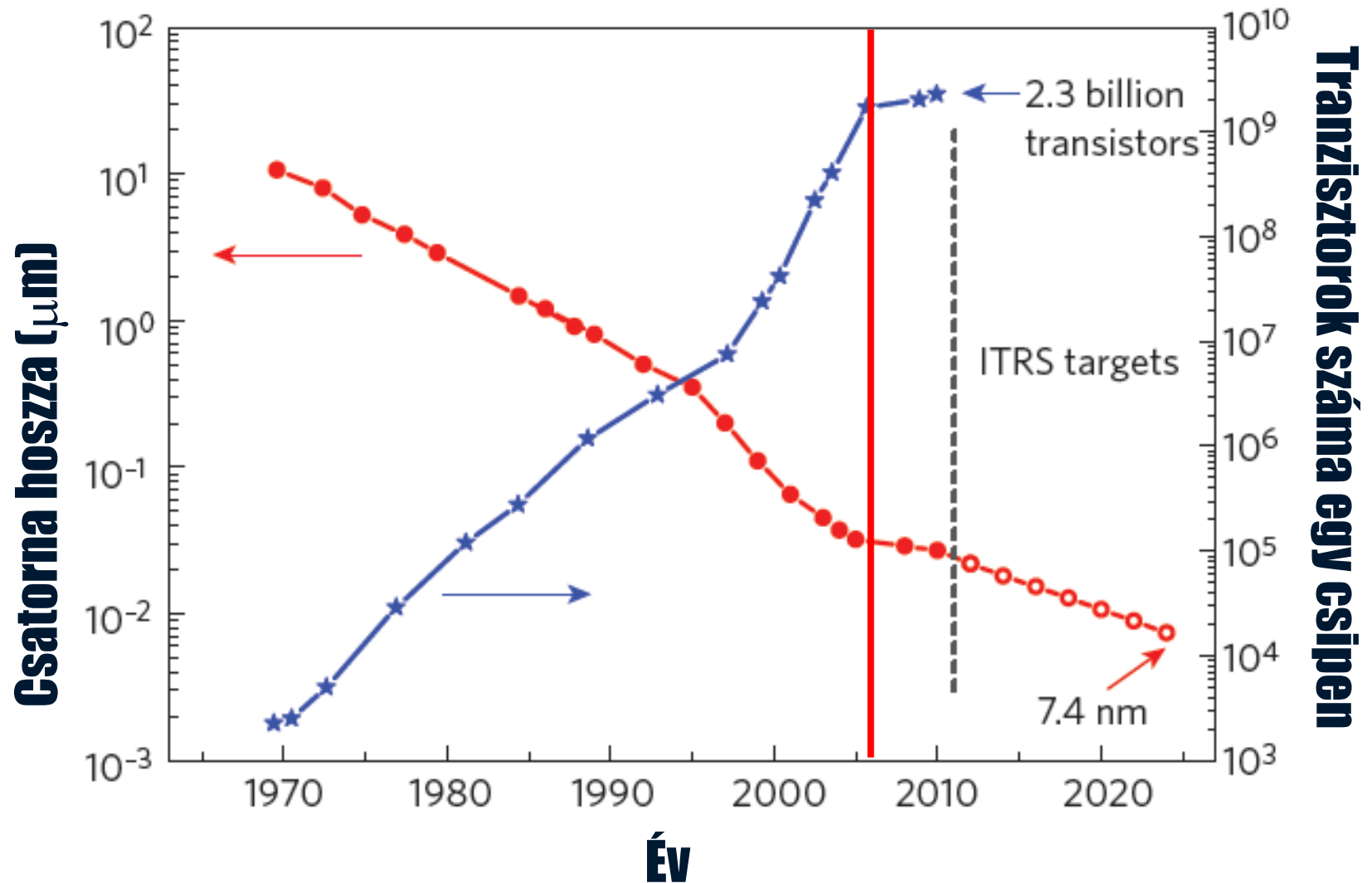


Intel European Research & Innovation  
Conference, 2010 October 11 - 14

# TRENDEK A DIGITÁLIS ELEKTRONIKÁBAN

F. Schwierz, Nat. Nanotech. Published online: 30 May 2010

doi: 10.1038/nnano.2010.89



# MRS BULLETIN

35th  
ANNIVERSARY

April 2010, Volume 35, No. 4



Also in this Issue:  
New Nanofabrication  
Strategies: Inspired  
by Biomineralization

Serving the International  
Materials Research Community

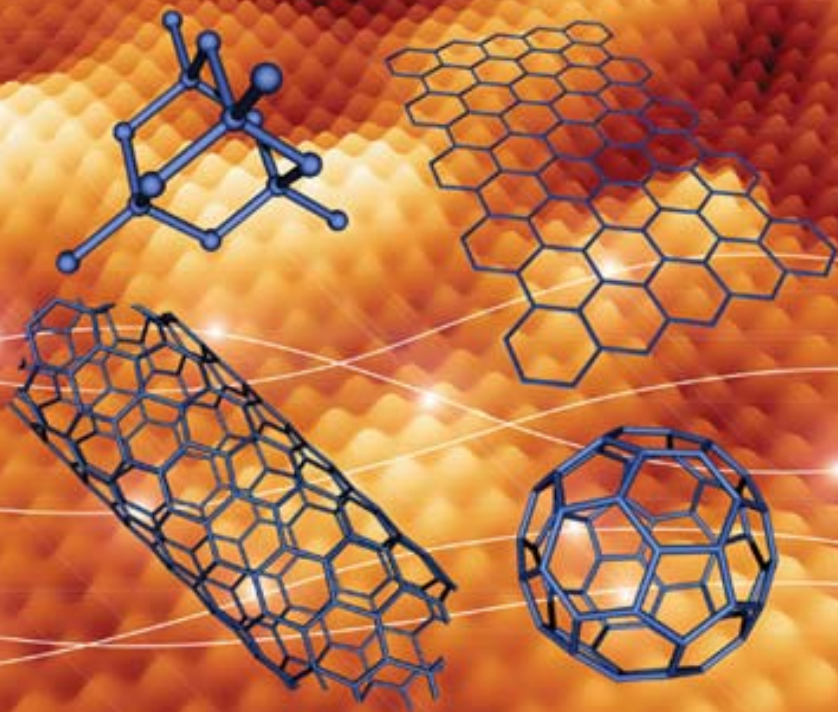
A Publication of the Materials Research Society



## Beyond Silicon: Carbon-Based Nanotechnology

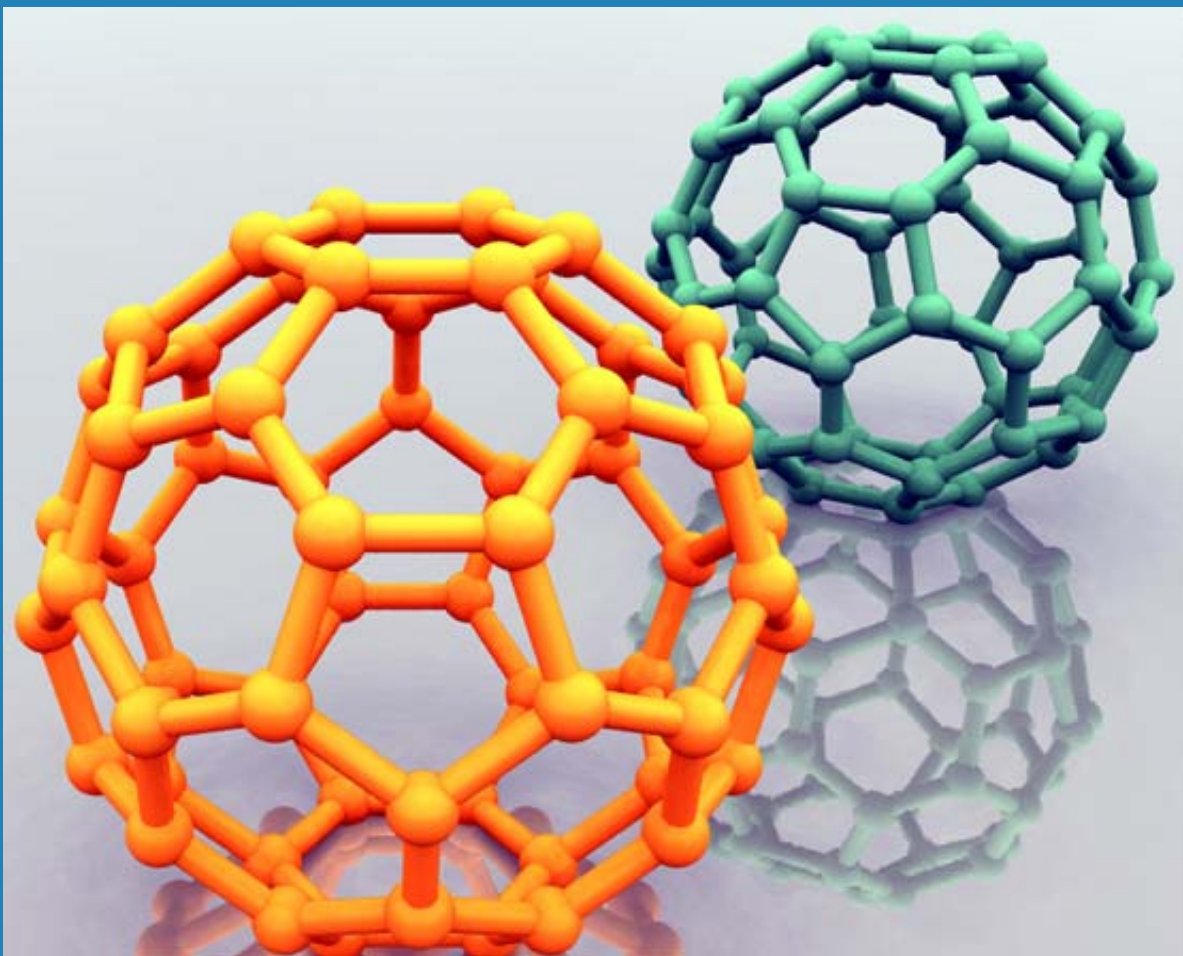
# Egy lehetséges megoldás

2010 Április

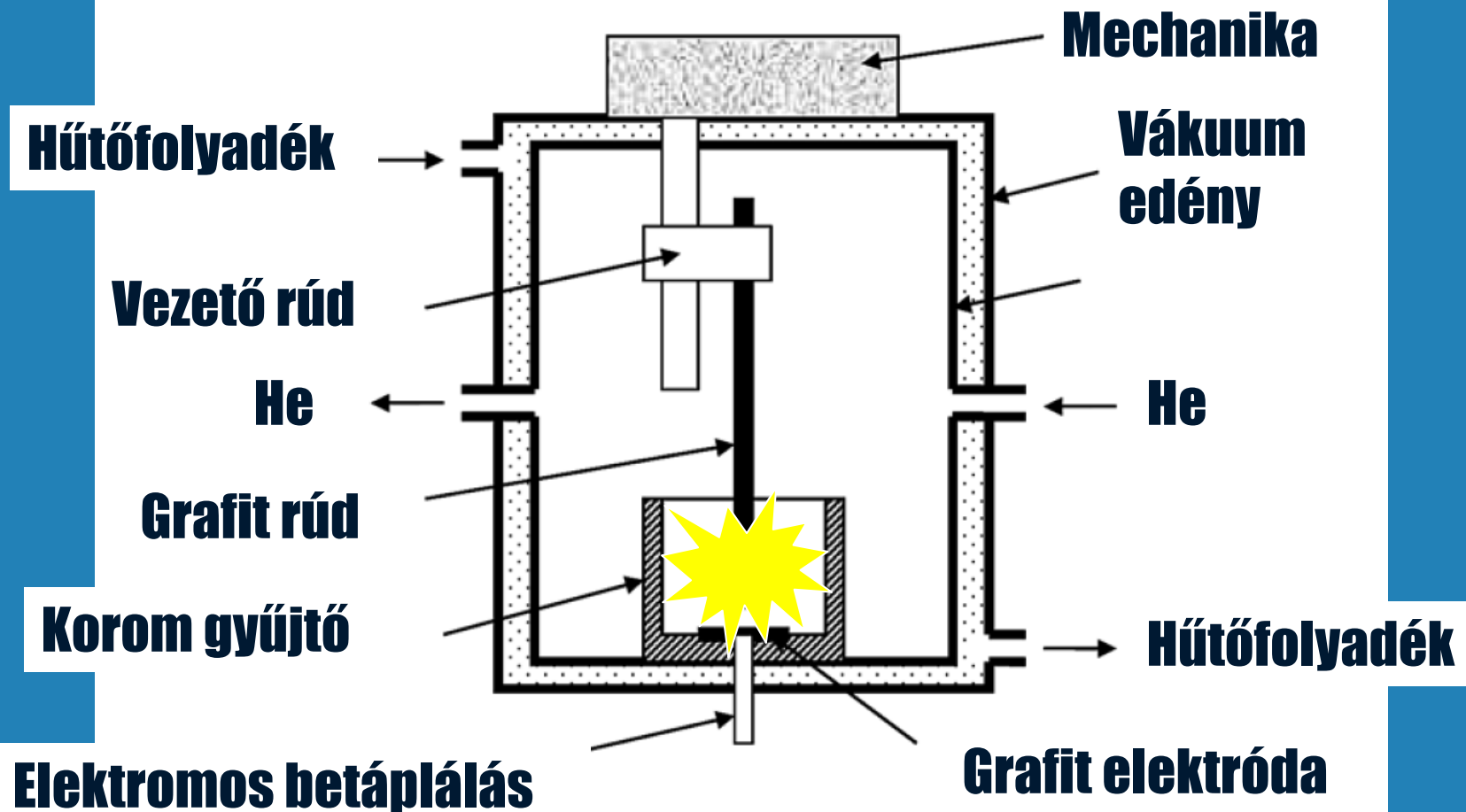


**Fullerén: C<sub>60</sub> (1985)**

**Kroto & Smalley, Nobel Díj, 1996**



# Fullerén: Kratschmer folyamat

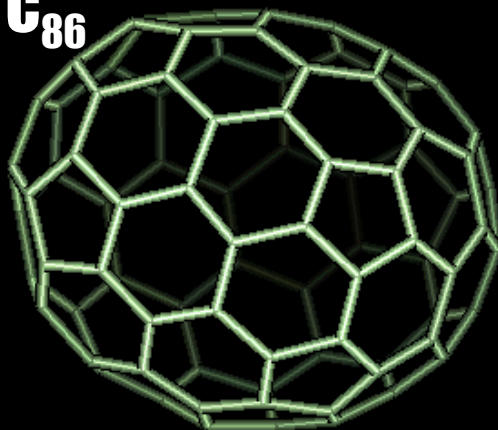


# A sorozat csak elkezdődött a $C_{60}$ -nal

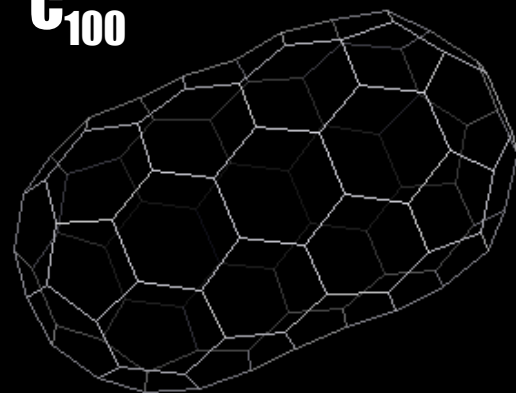
$C_{80}$



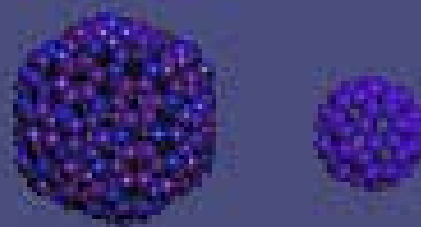
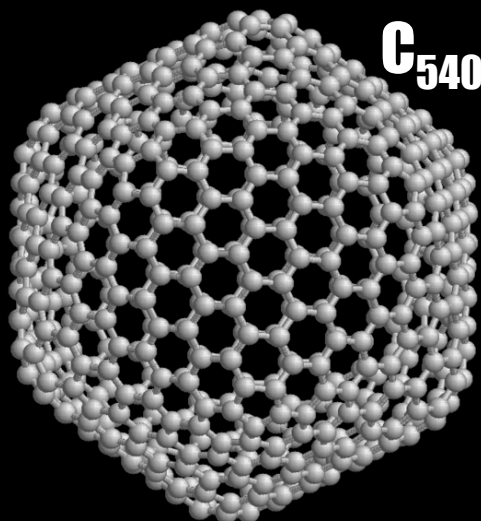
$C_{86}$



$C_{100}$



$C_{540}$



Forrás: D.  
Tomanek

$C_{240} - C_{60}$

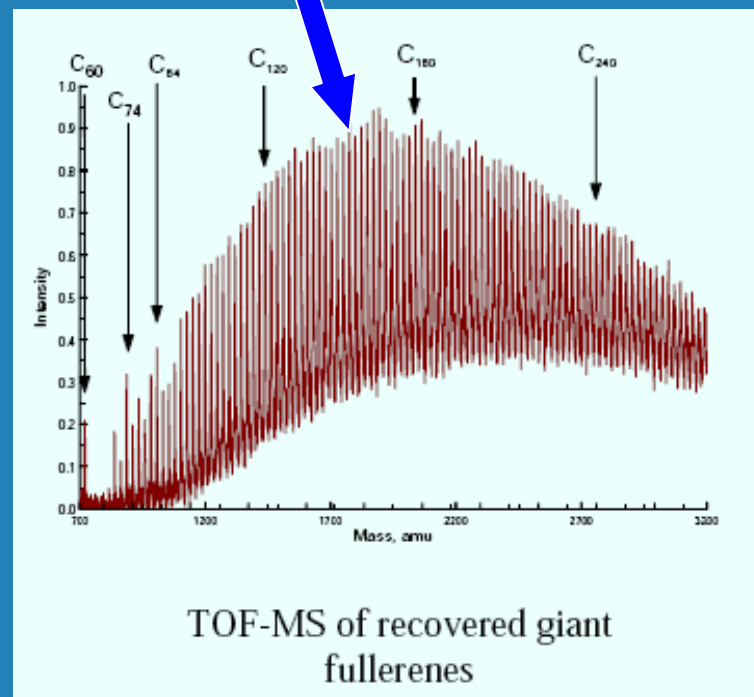
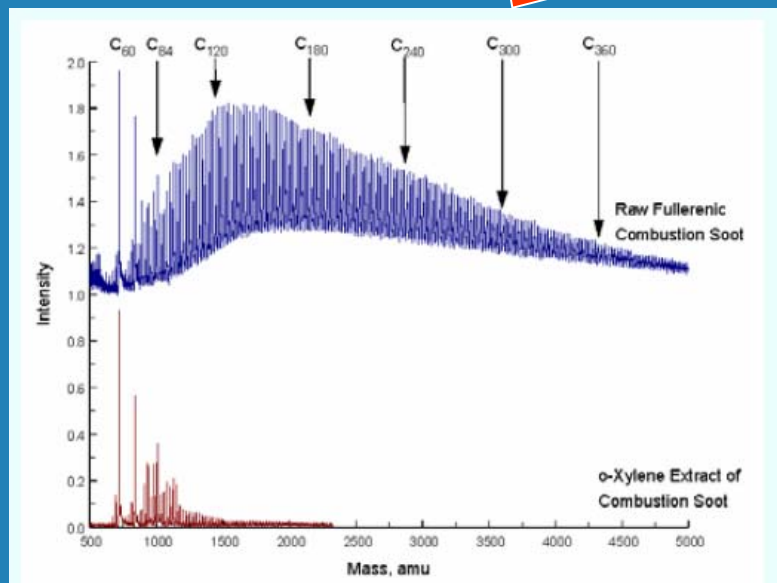
Utközés

E: 10 eV

# Mára: ipari előállítás (láng szintézis)

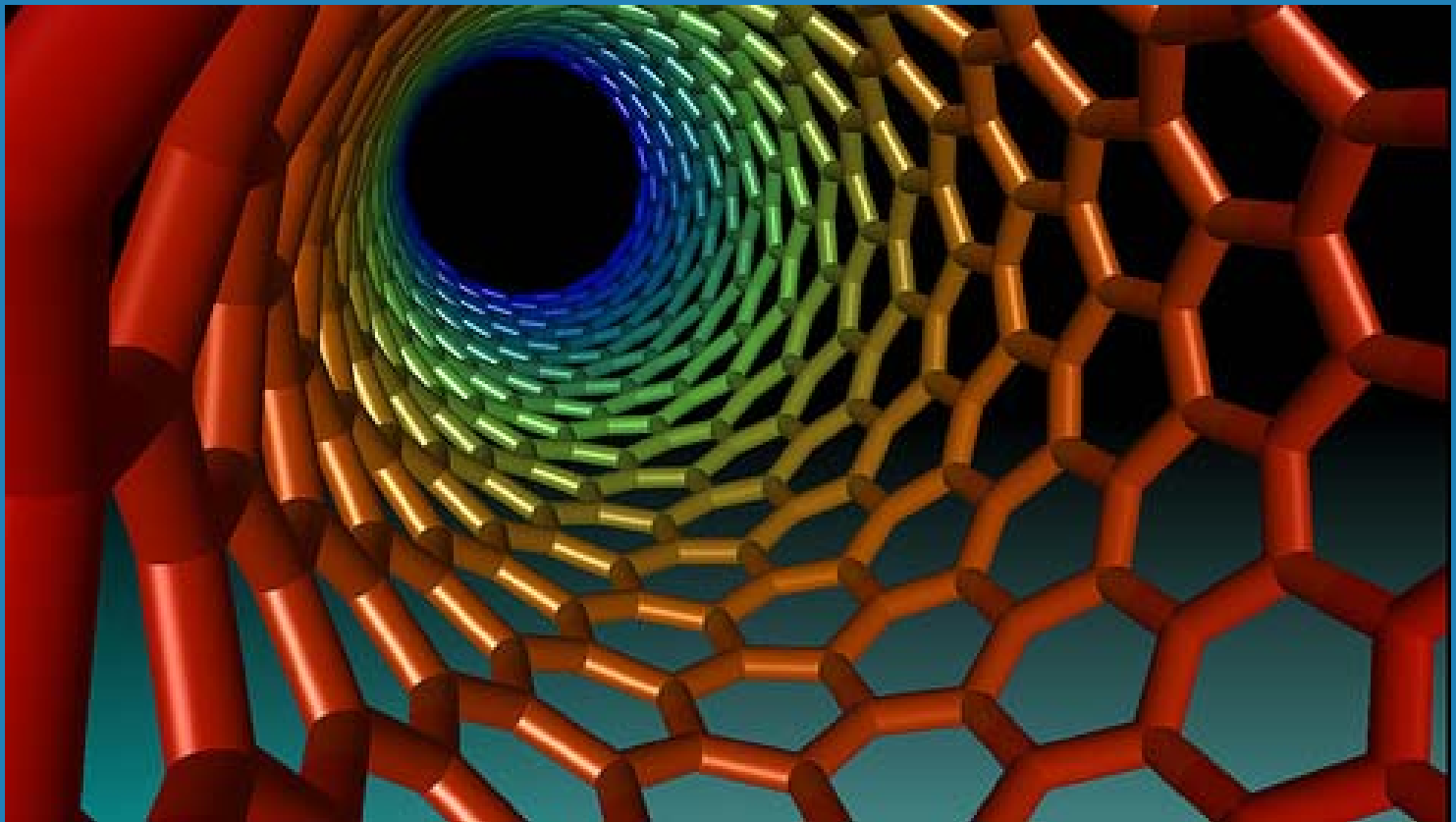


Research flame

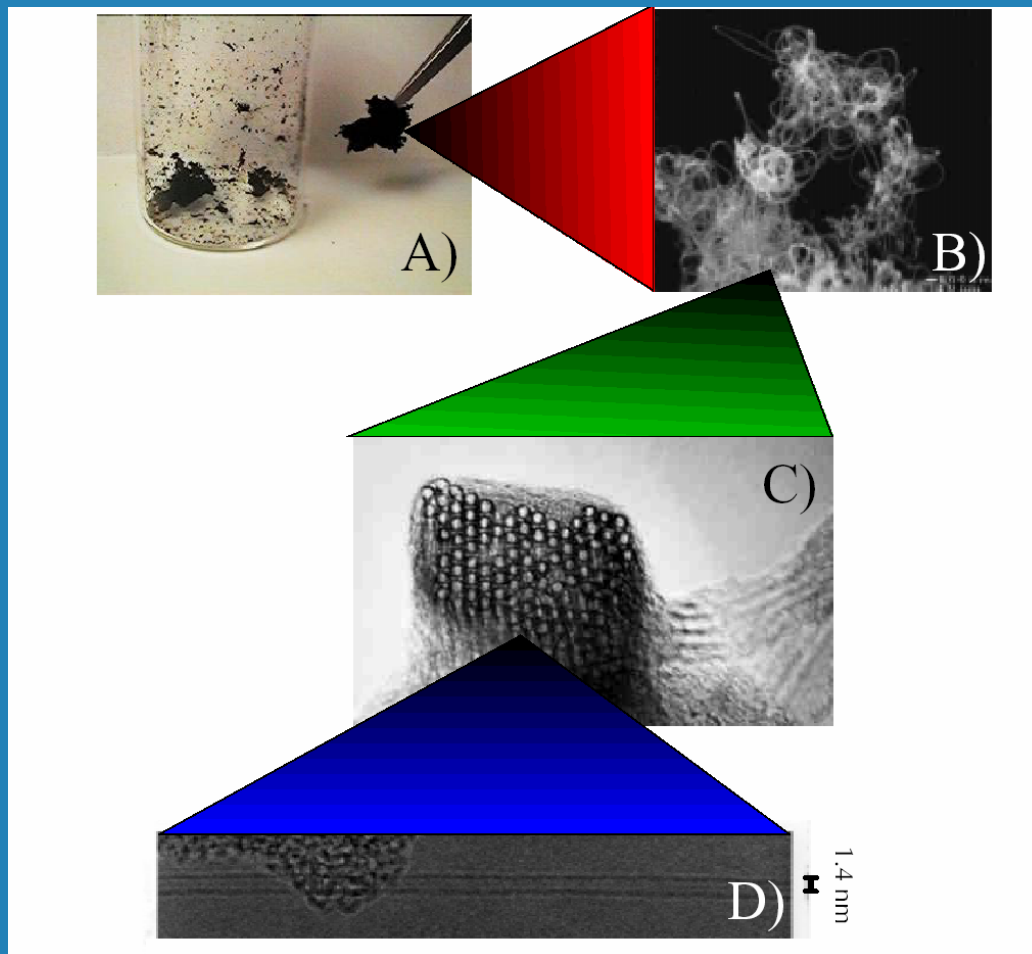


# Egyfalú szén nanocső belülről

## 1994

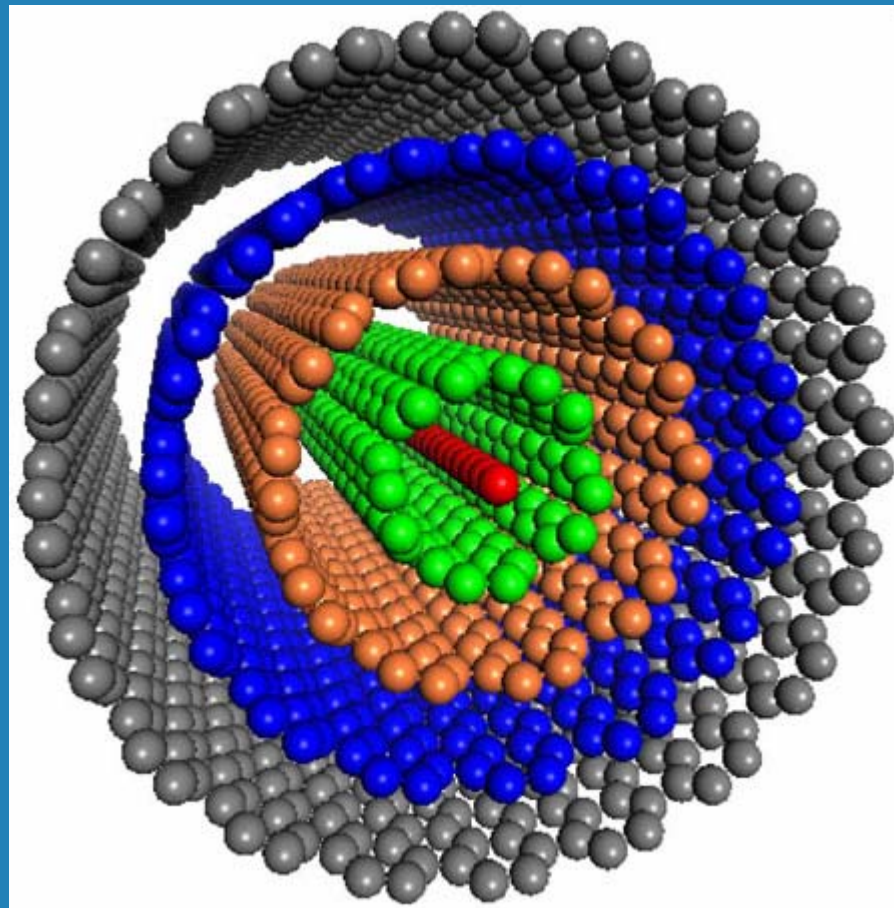


# Egyfalú nanocsövek (SWCNT)

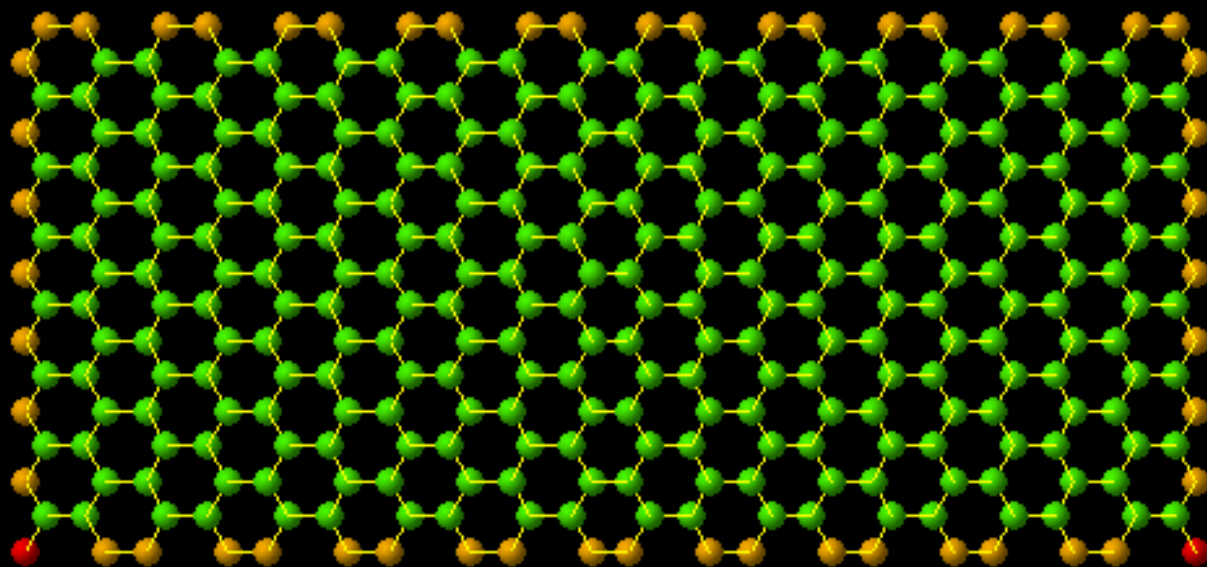


# Többfalú szén nanocső (1991)

## S. Iijima, Kavli Díj, 2008



# Elvileg ....

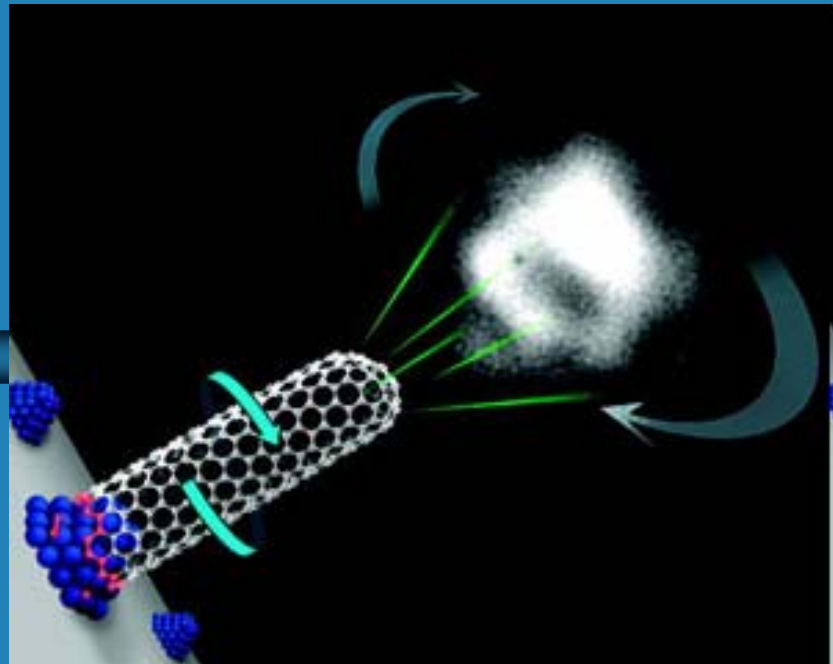


Forrás: <http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/~maruyama/agallery/agallery.html>

# Gyakorlatilag



**Lézeres abláció**



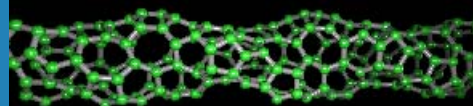
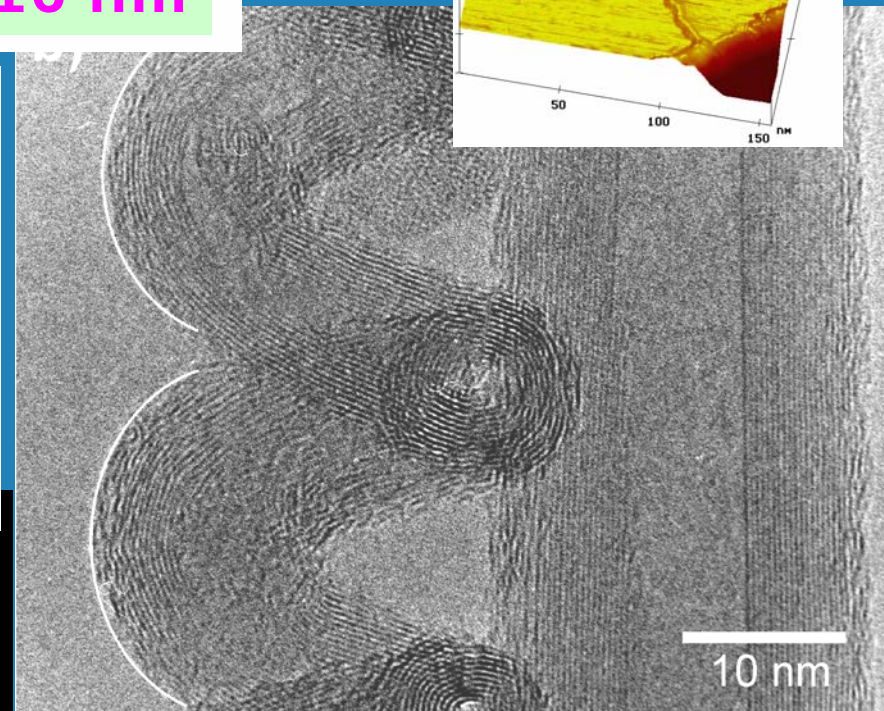
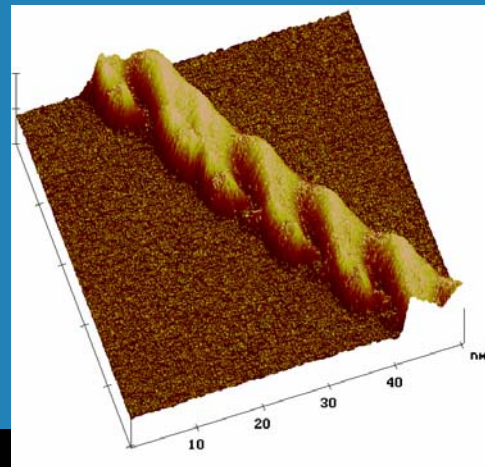
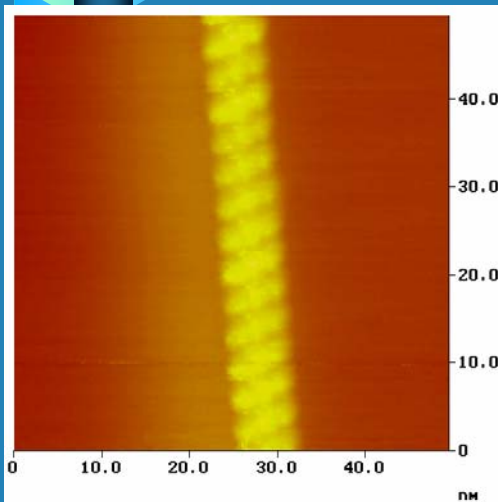
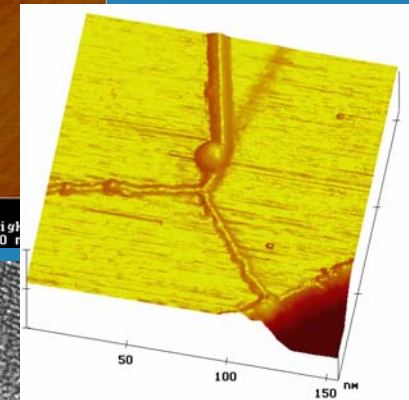
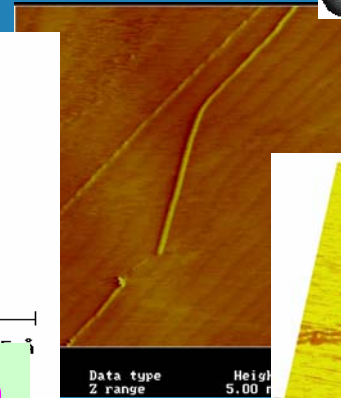
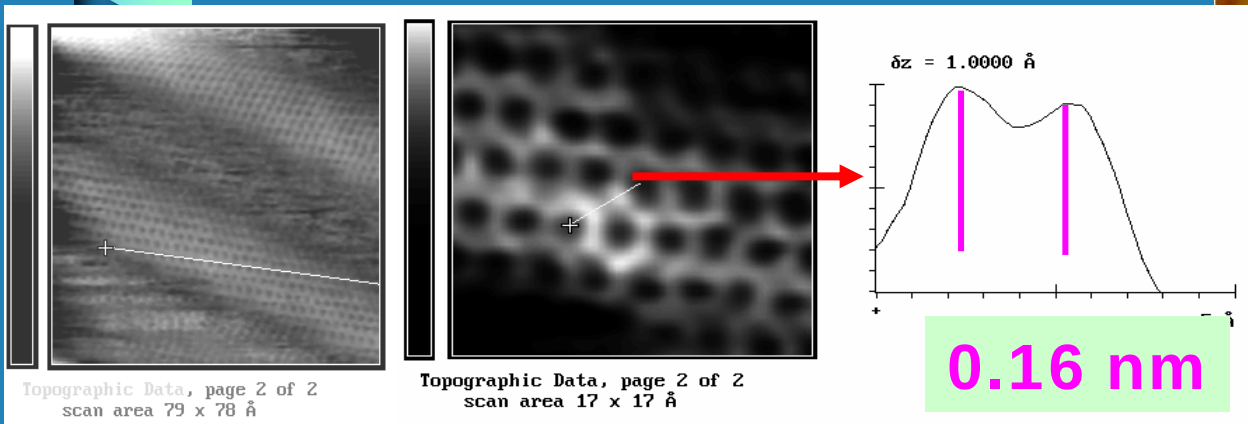
**Katalitikus kémiai  
leválasztás**

**-Átmeneti fém katalizátr**

**- Acetilén (előbb  $C_2H_2$ ,  
később szinte bármi, ami szén-t is  
tartalmaz ...)**

**ÉS még SOK más módszerr ...**

# Szerkezeti hibák & szén nanoarchitektúrák



# Űrlift?

Szakítószilárdság: 200 – 500 MPa



Forrás: <http://www.spaceelevatorblog.com/?p=936>

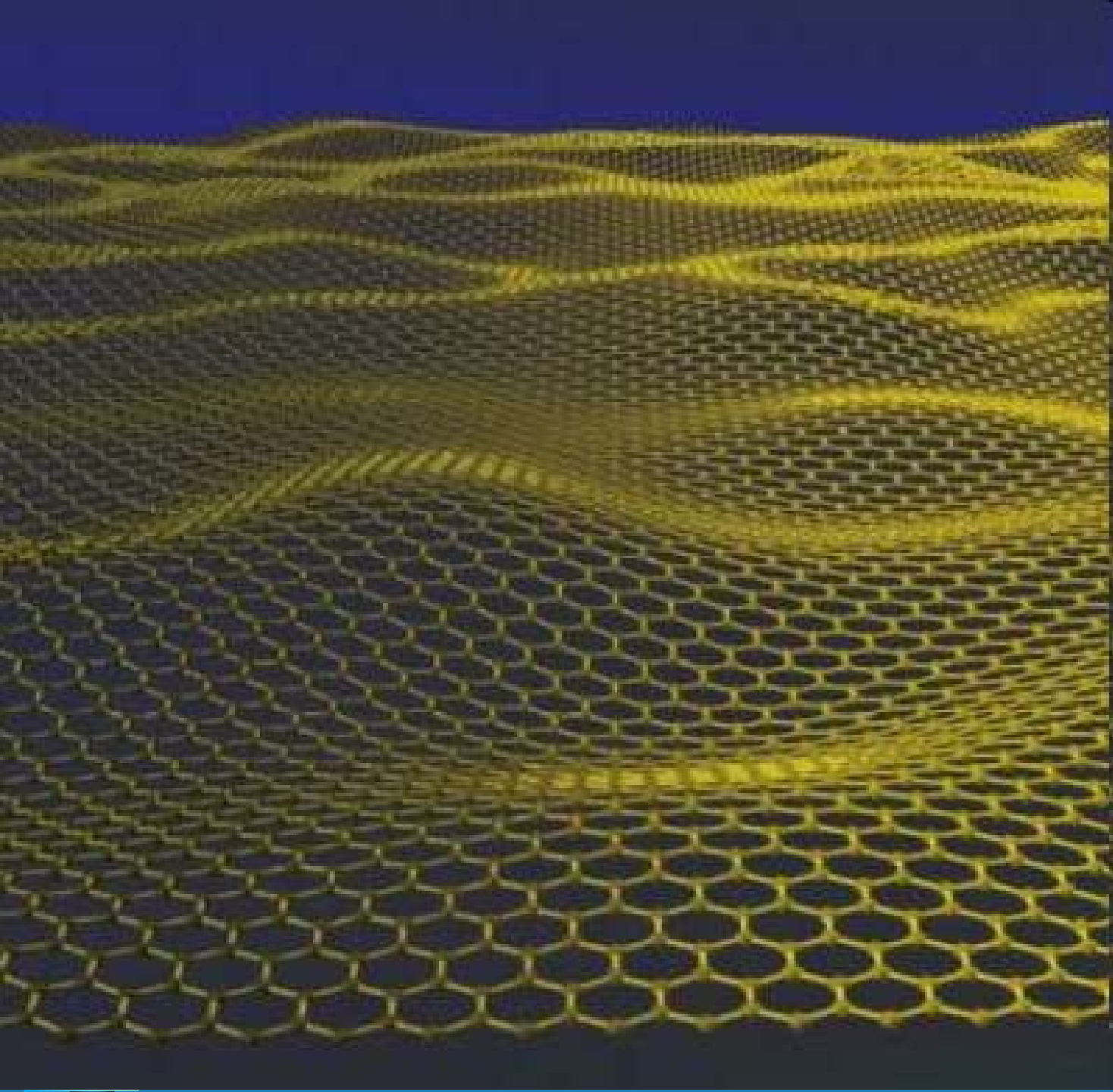
# Űrlift?

Szakítószilárd



Forrás: <http://www>



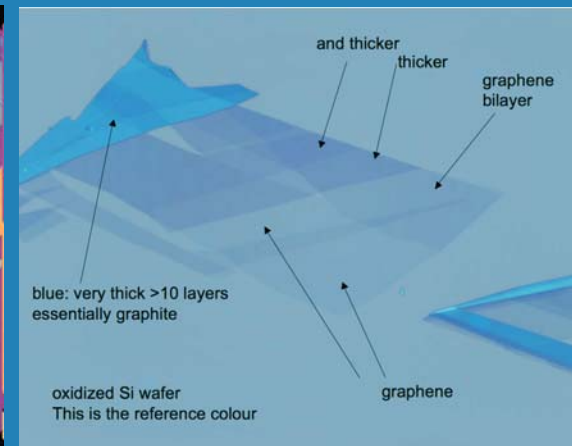
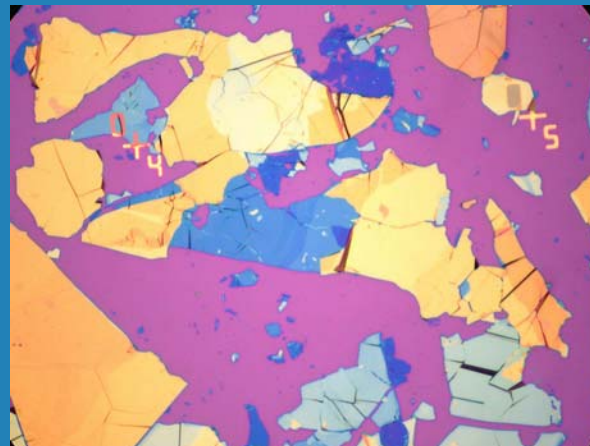
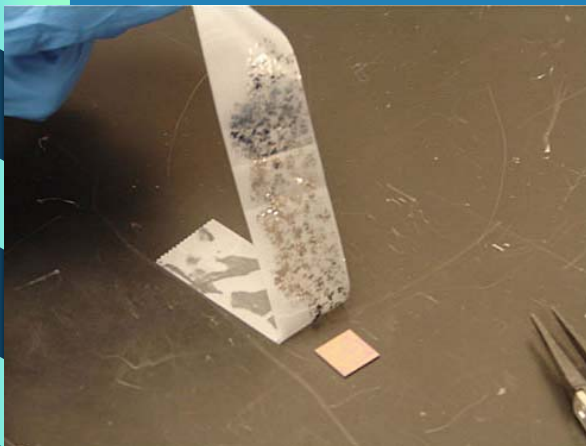
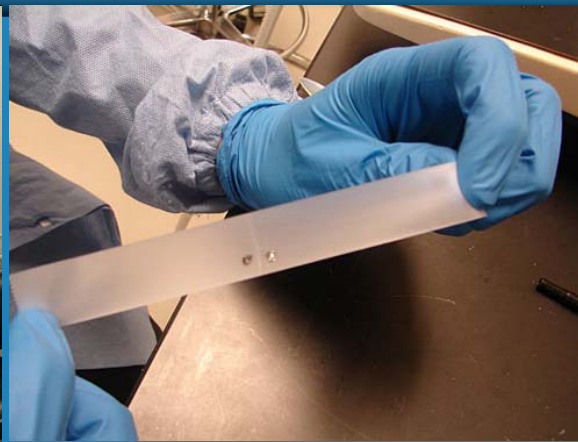


# **Grafén (2004)**

**Novoselov  
& Geim**

**Fizikai  
Nobel Díj  
2010**

# Ragasztószalag & Nobel Díj!

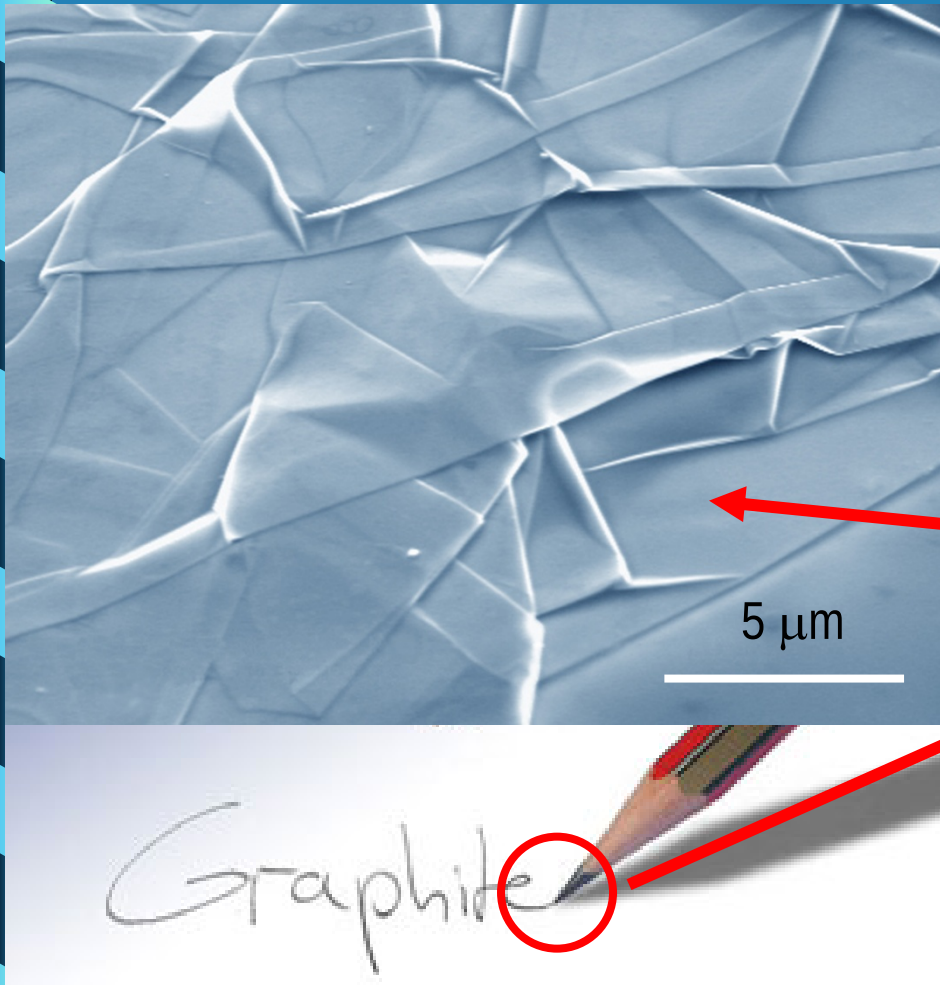


$\text{SiO}_2/\text{Si}$

Si

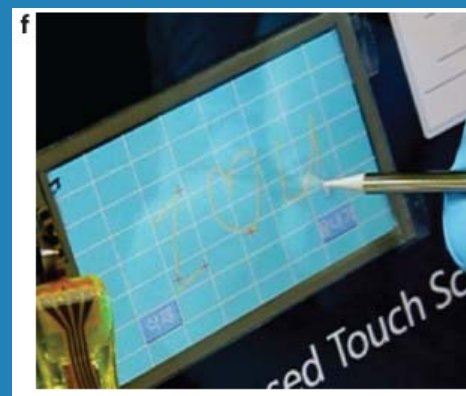
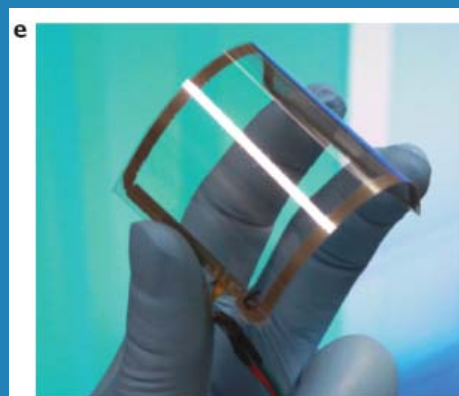
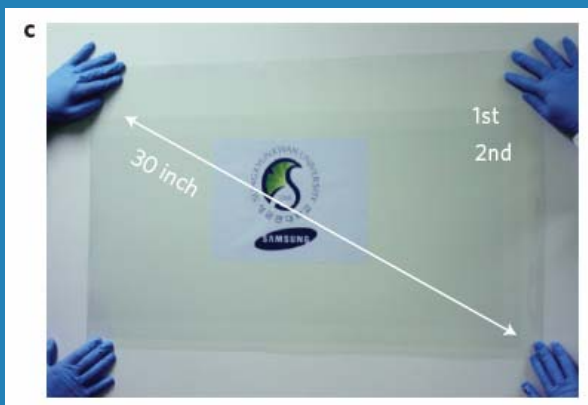
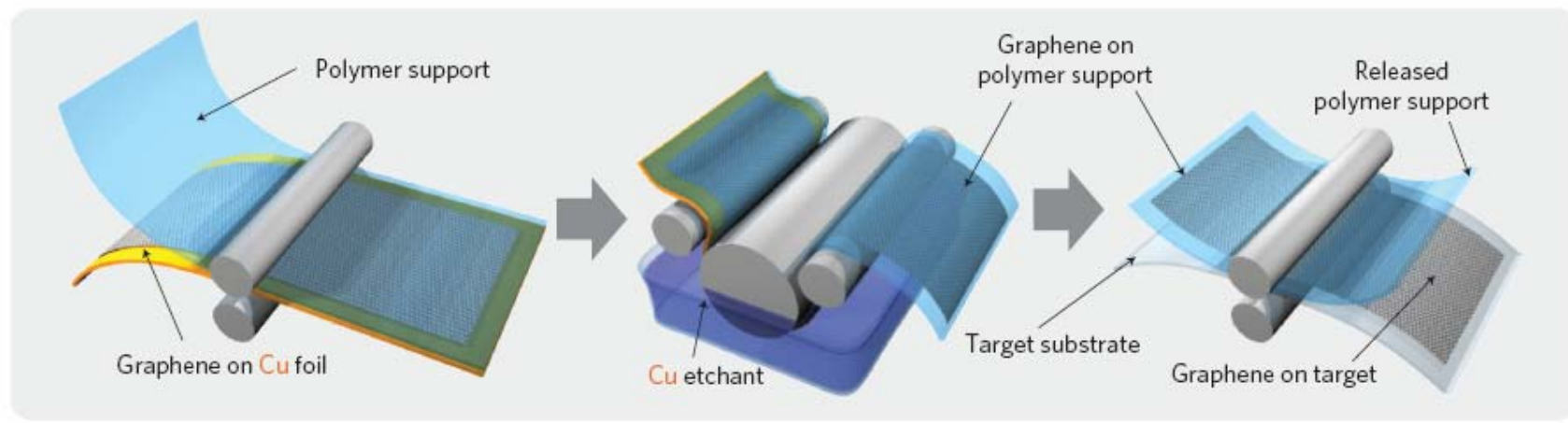
90 nm  $\text{SiO}_2$

# Önök már mind állítottak elő grafént!



# Kémiai leválasztás: Cu lemezre

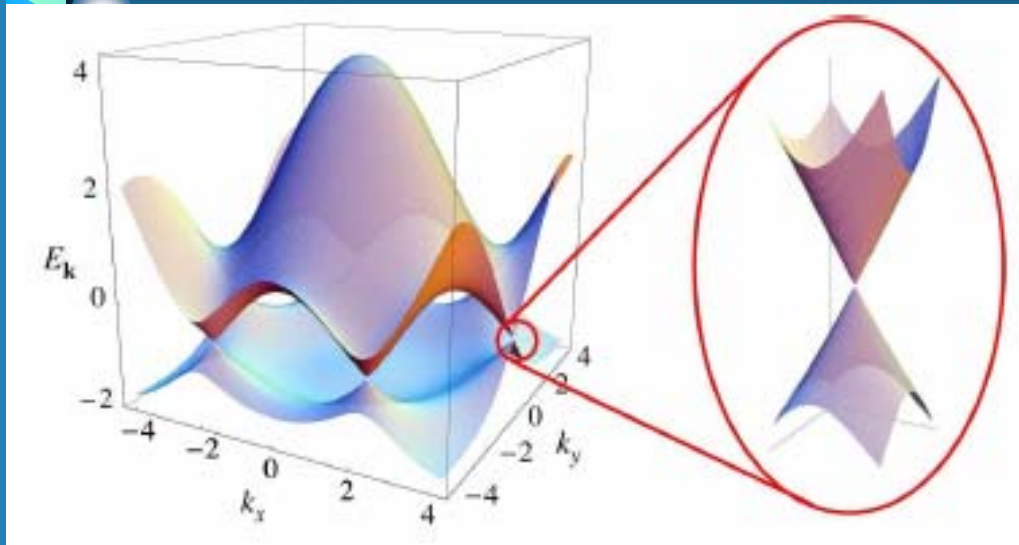
S. Bae et al., Nature Nanotechnology 5 (2010) 574



# A grafén elektronszerkezete

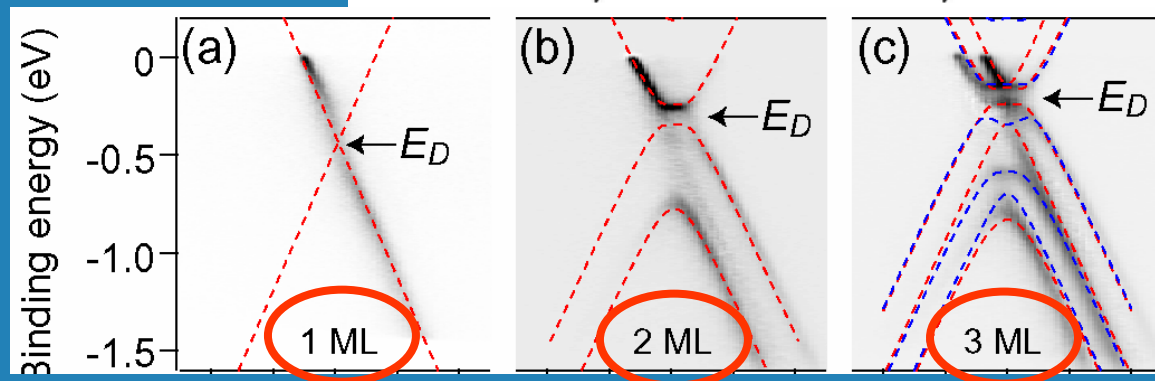
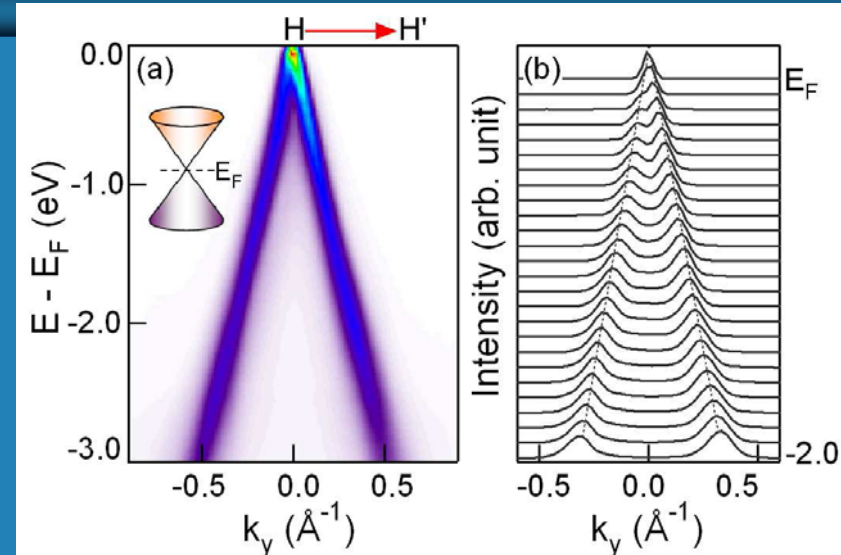
## A rétegszám meghatározó fontosságú!

### ARPES



- Kísérletileg igazolt lineáris diszperziós reláció, az elektronok „tömeg nélküli” viselkedése  $v_F = c/300$

S.Y. Zhou, et al. *Nature Phys.* 2006, 2, 595



T. Ohta et al., *Phys. Rev. Lett.* 98 (2007) 206802.

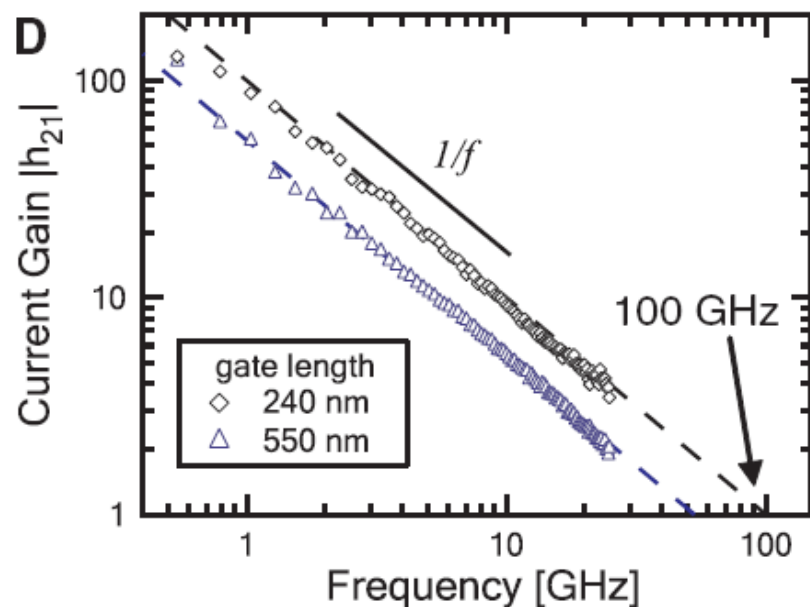
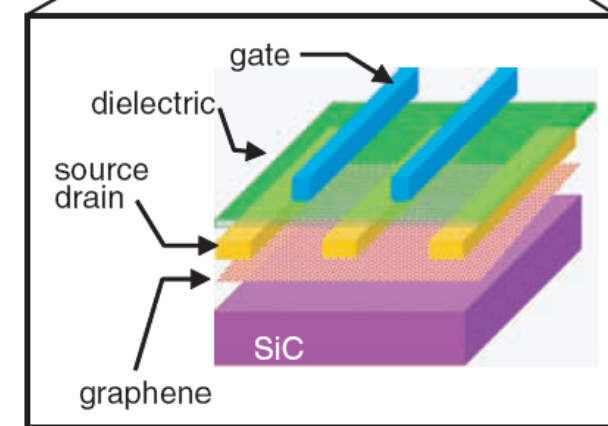
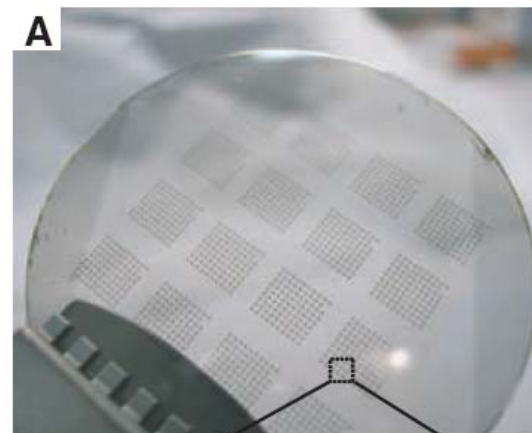
# Megvalósított alkalmazás

## 100-GHz Transistors from Wafer-Scale Epitaxial Graphene

Y.-M. Lin,\* C. Dimitrakopoulos, K. A. Jenkins, D. B. Farmer, H.-Y. Chiu, A. Grill, Ph. Avouris\*

662

5 FEBRUARY 2010 VOL 327 SCIENCE

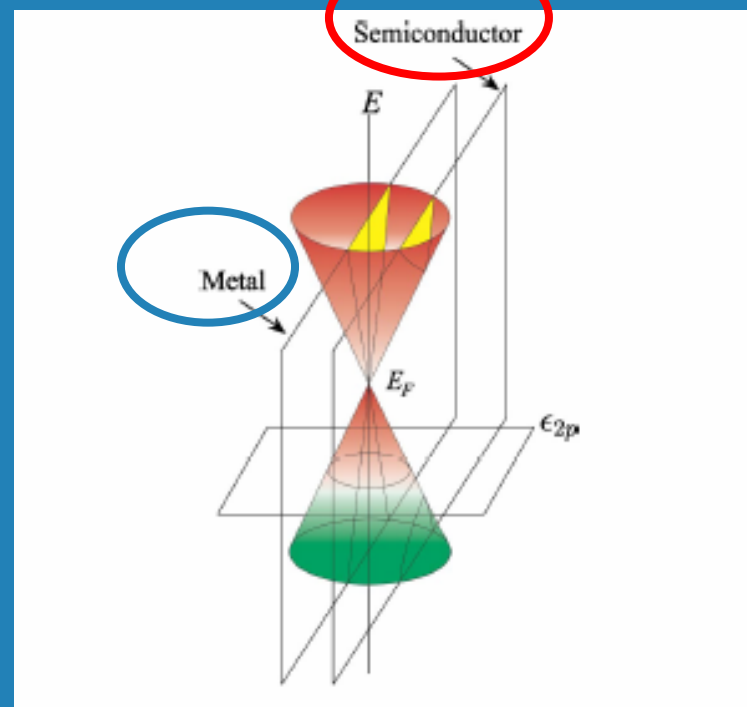
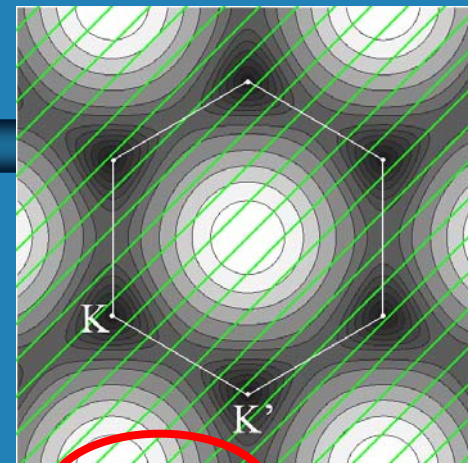
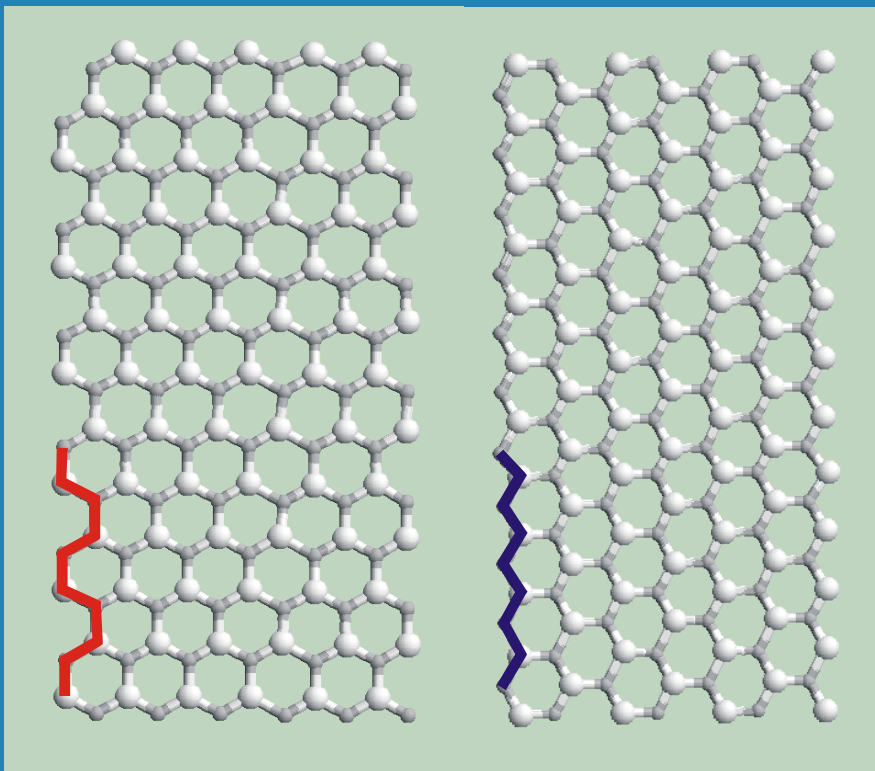


**NINCS** „kikapcsolt állapot” => **NINCS digitális** alkalmazás

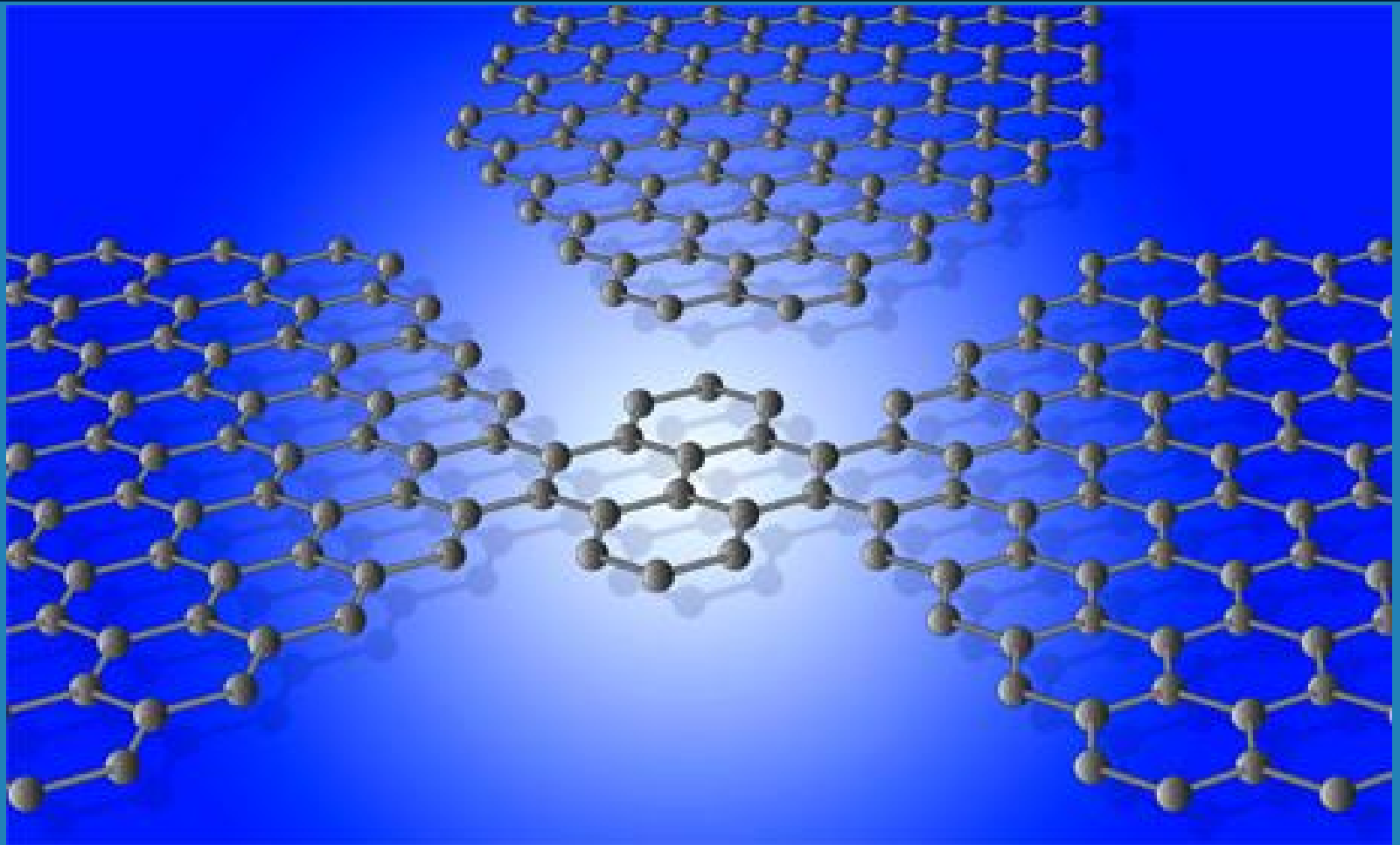
# Grafén nanoszalagok (GNR) – „Elektronszerkezeti átalakítása”

Karosszék

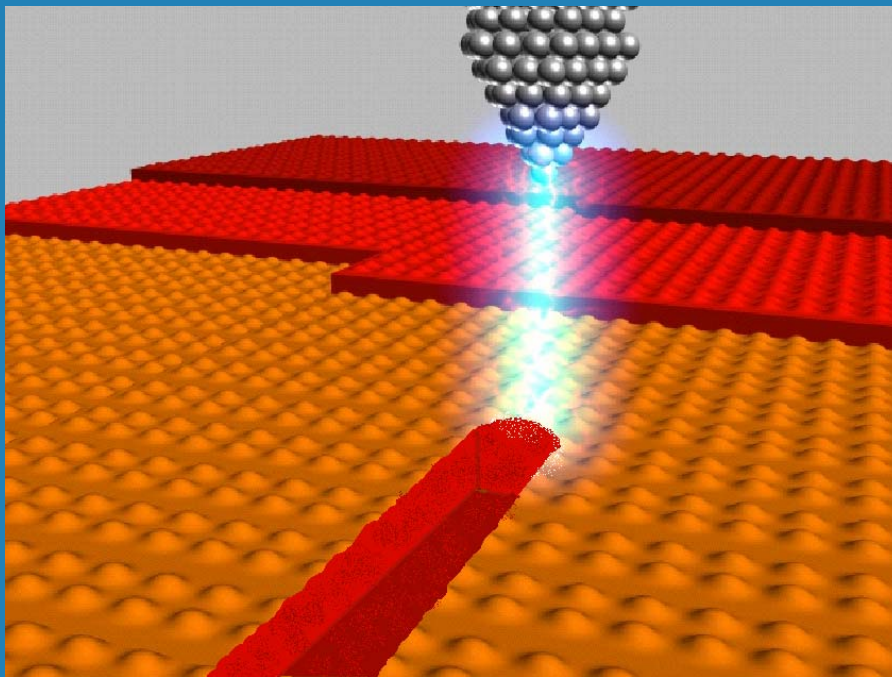
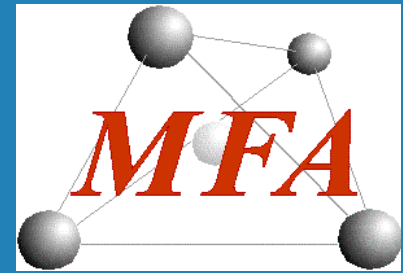
Cikk-cakk



# Grafénből nanoelektronika (egyetlen atom vastag grafit lemez)



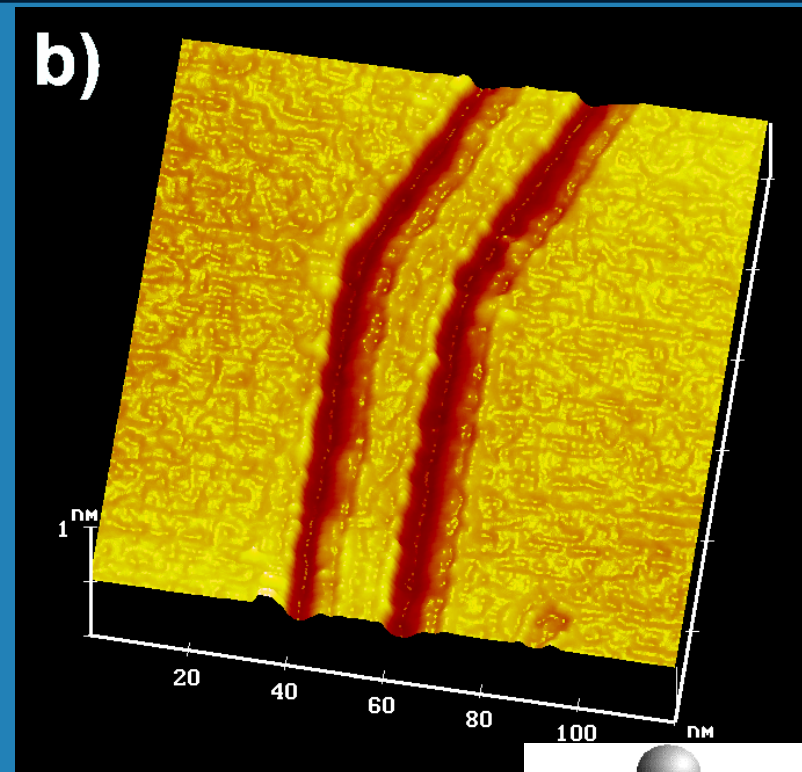
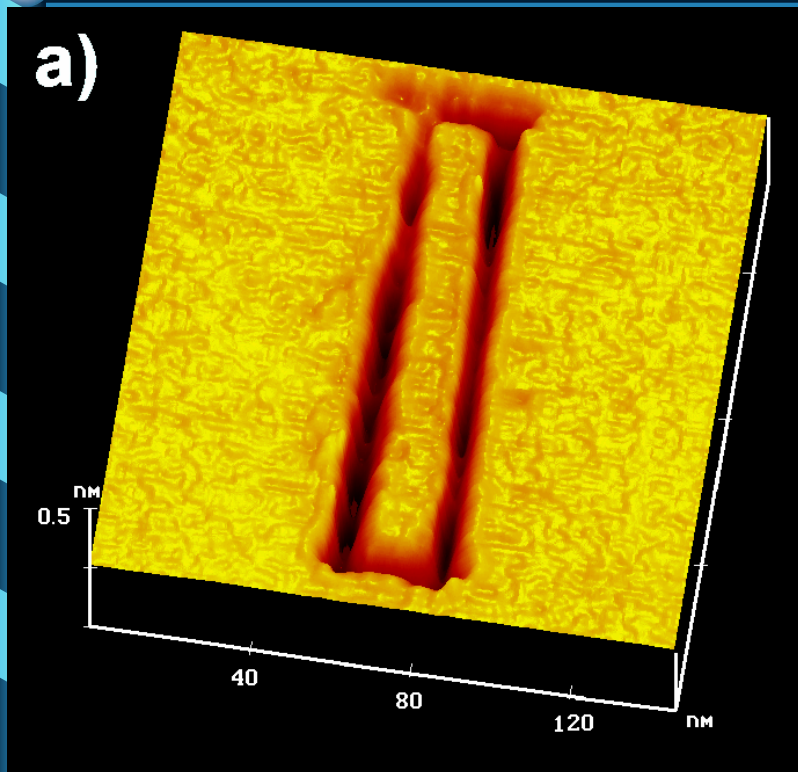
# Atomi pontosságú megmunkálás szükséges!



**Minden lépésnél ugyanaz az  
eszköz és ugyanaz a tű!**

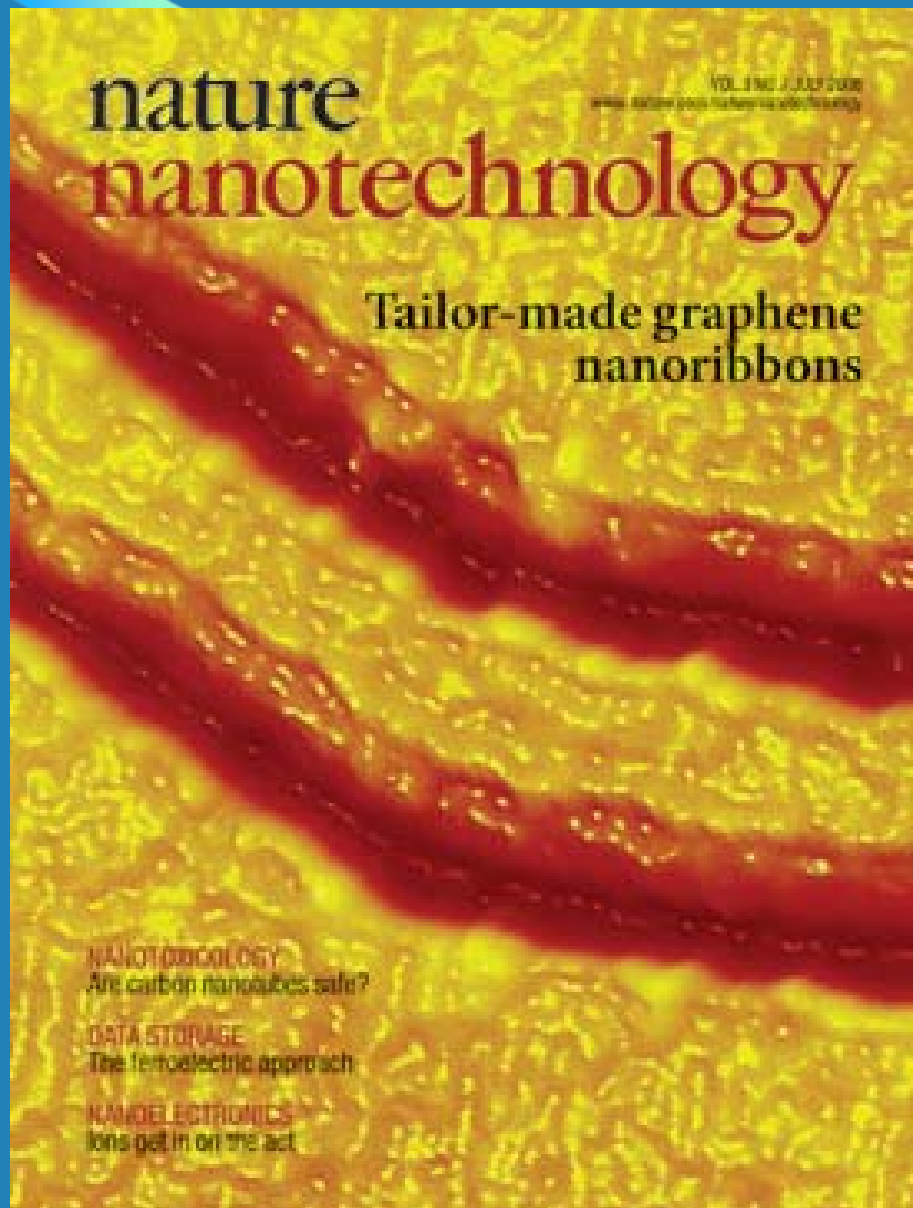
- atomi felbontású kép
- megfelelő kristálytani irányok kiválasztása
- **vágás**
- nanoszalag atomi leképezése
- nanoszalag elektronszerkeztének vizsgálata

# Nanoszalag & „Nanokönyvek”

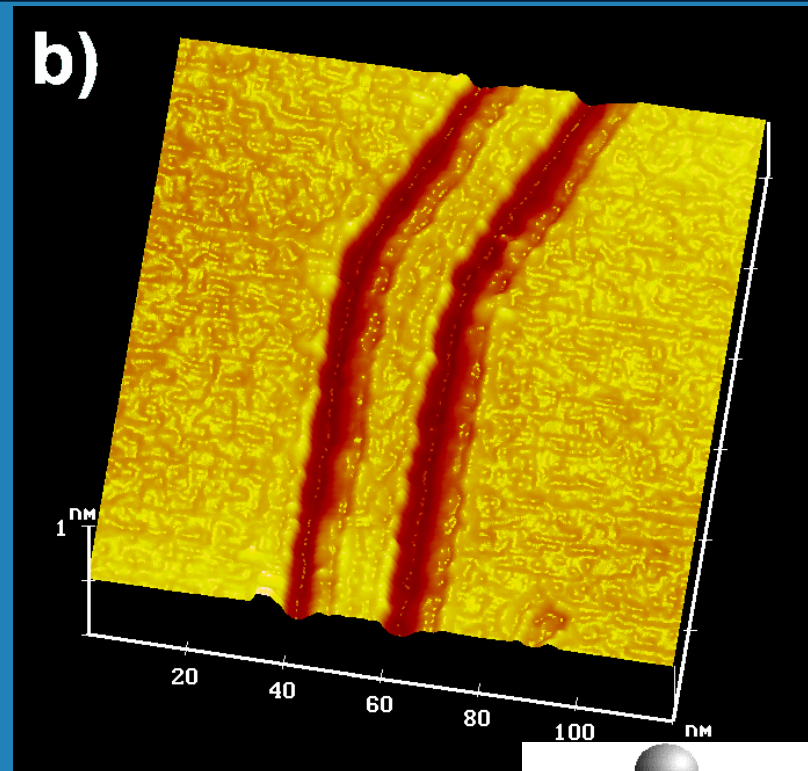


*L. Tapasztó et al. Nature Nanotechnology, 4, 937 (2008)*



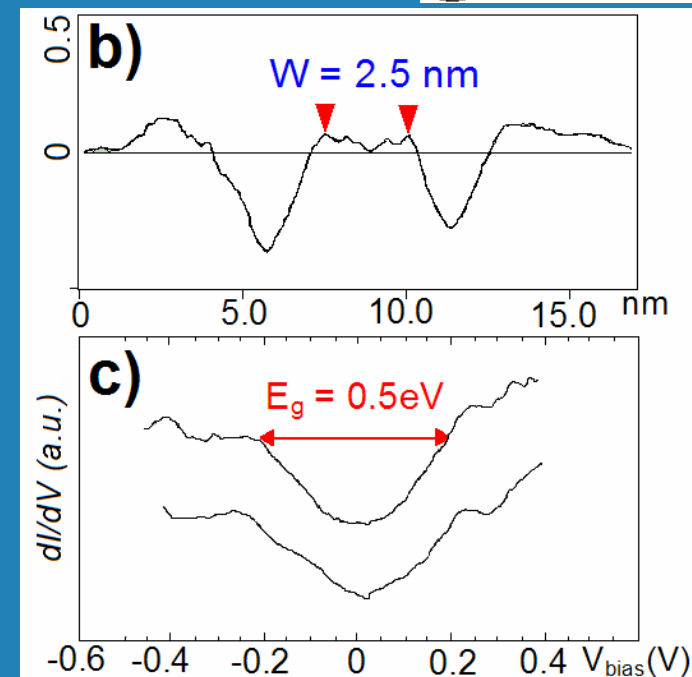
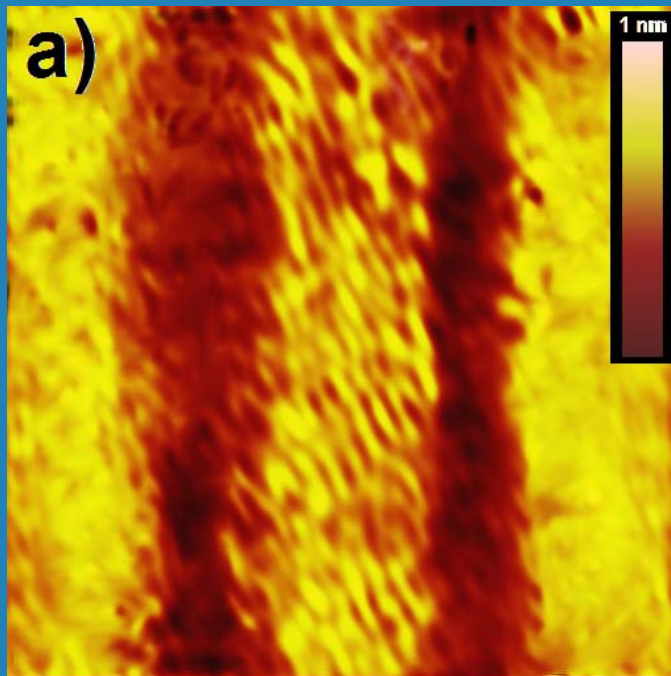


# Nanoszalag & „Nanokönyök”



*L. Tapasztó et al. Nature Nanotechnology, 4, 937 (2008)*

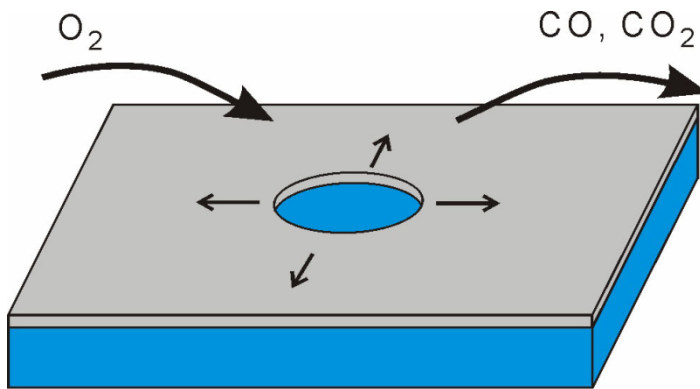
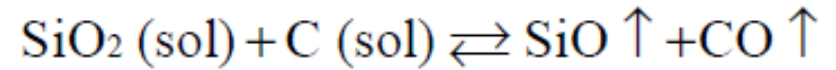
# (Még mindig!) A legkeskenyebb A-grafén nanoszalag



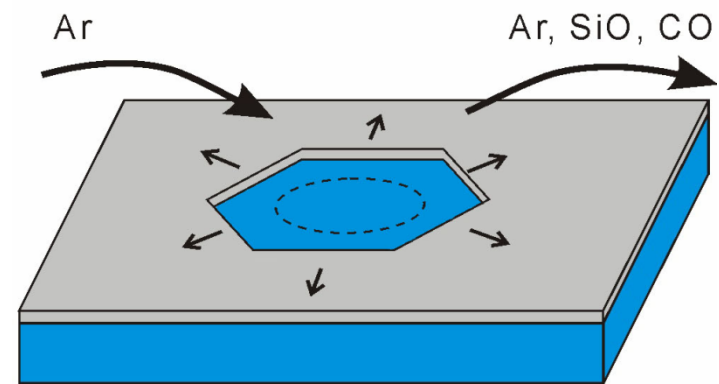
*L. Tapasztó et al. Nature Nanotechnology, 4, 937 (2008)*

**Szobahőmérsékleten működő, digitális nanoelektronika!**

# Grafén kontrollált oxidációja (CTE)

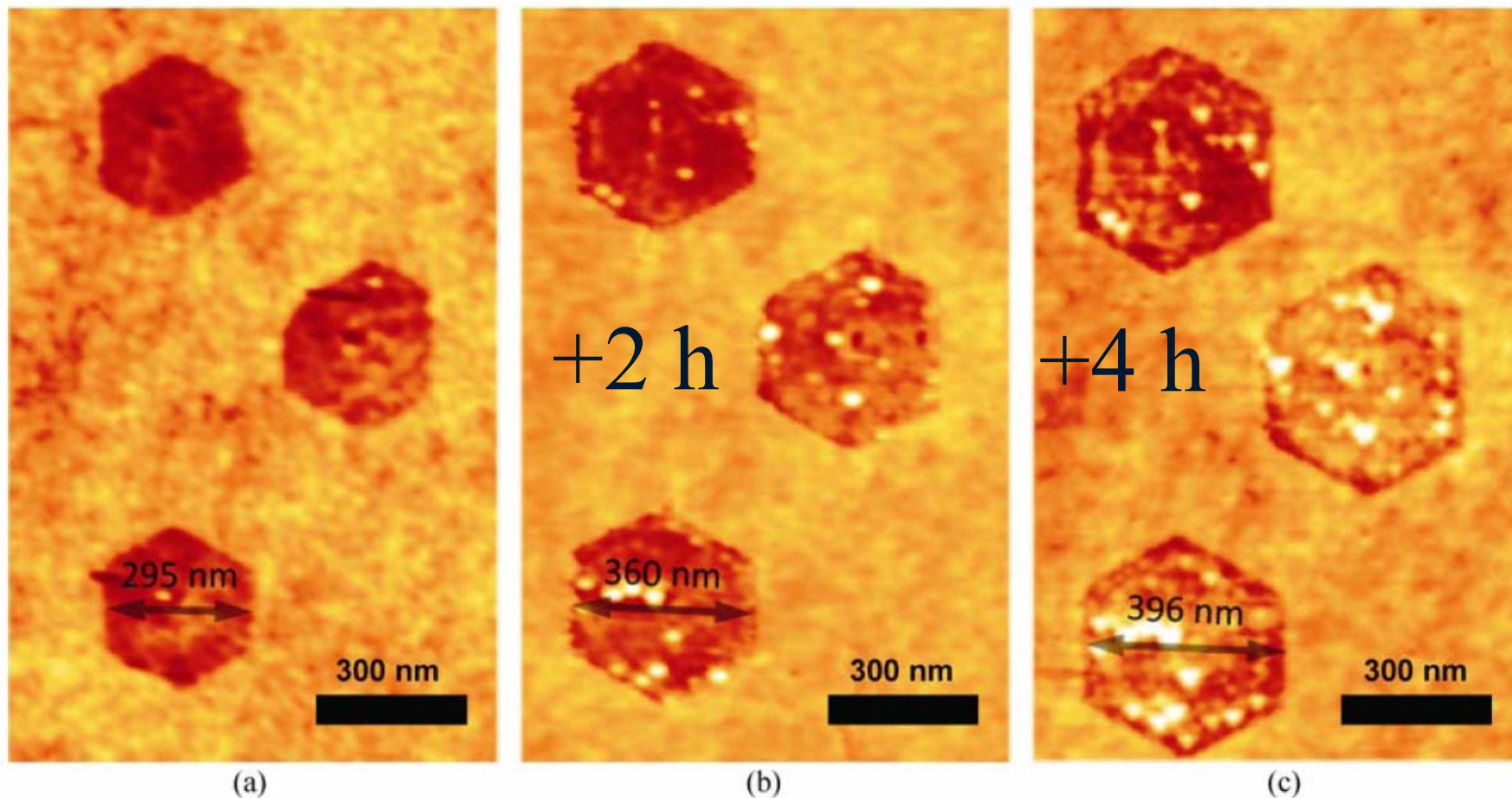


Oxidation  $\text{O}_2/\text{N}_2$  at  $500^\circ\text{C}$

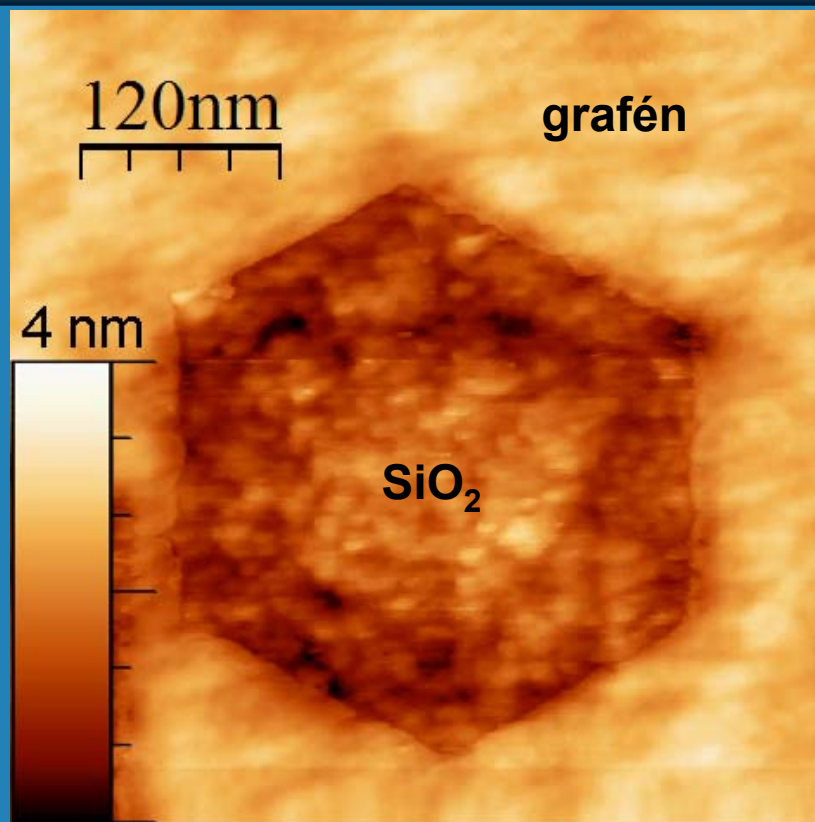


Annealing in Ar at  $700^\circ\text{C}$

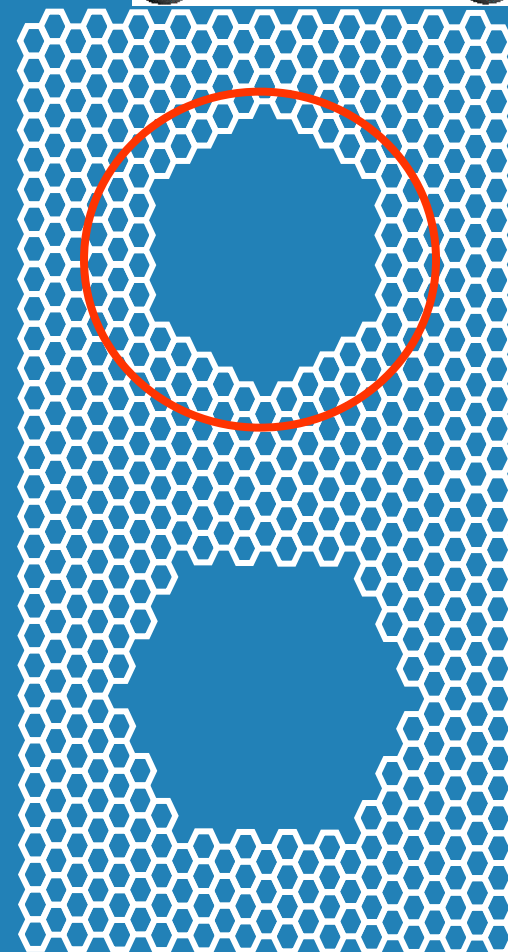
# Grafén kontrollált oxidációja (CTE)



# Új módszer: atomi pontosságú élek (kontrollált oxidáció)

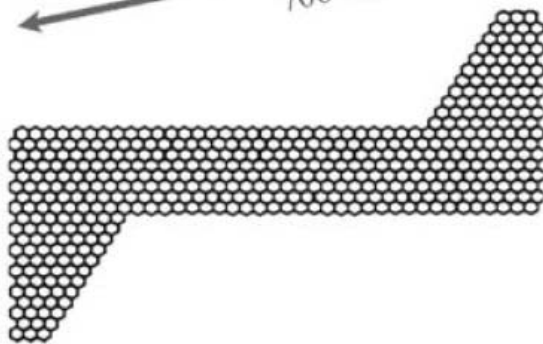
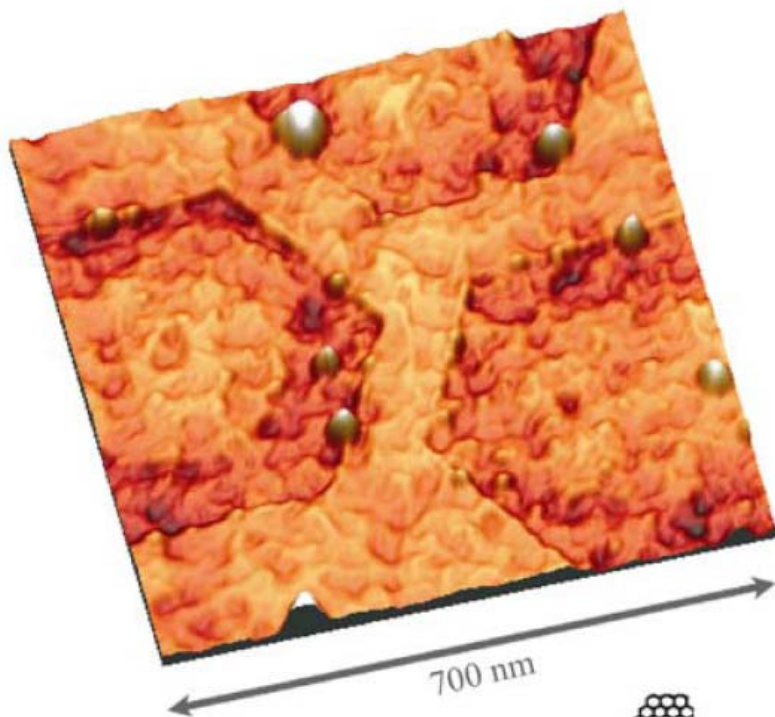


Grafén szigetelőn (SiO<sub>2</sub>)



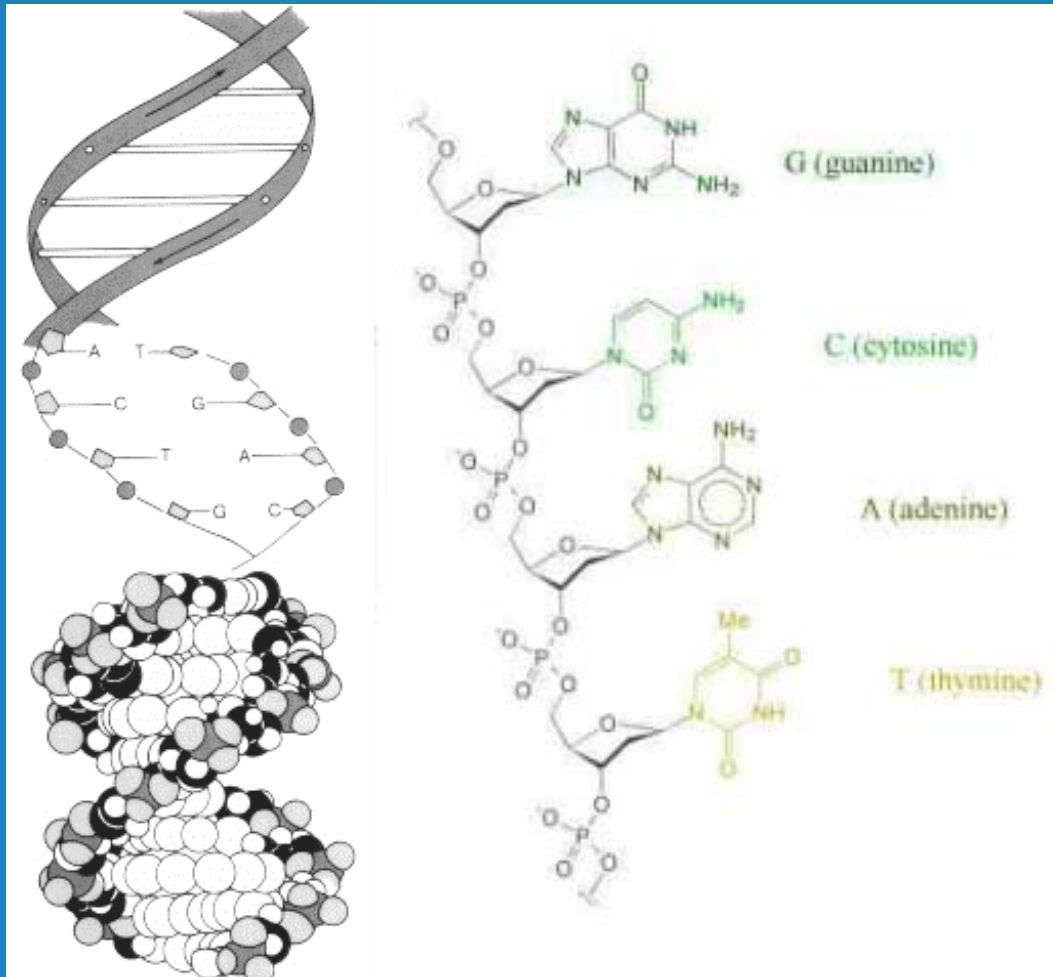
P. Nemes-Incze et al., Nano Res. 3 (2010) 110.

# Az első Y-elágazás grafénből



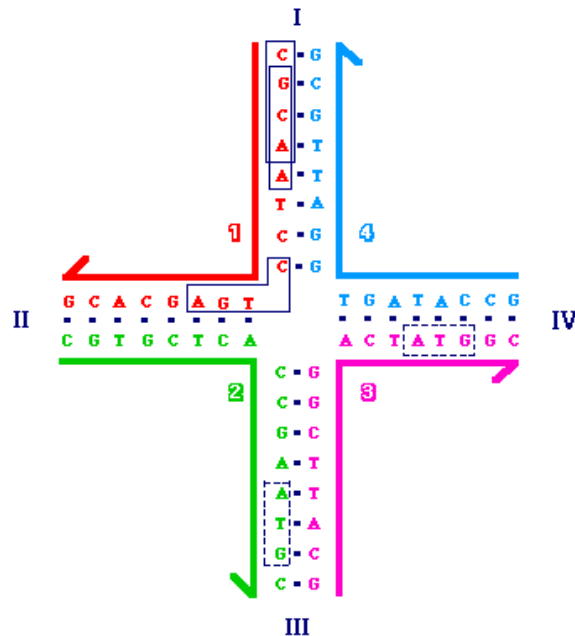
P. Nemes-Incze et al.,  
Nano Res. 3 (2010) 110.

# A DNS mint „építőanyag” [ a genetikai információ hordozásán túl, a DNS alkalmas szabályos, térbeli szerkezetek építésére is]



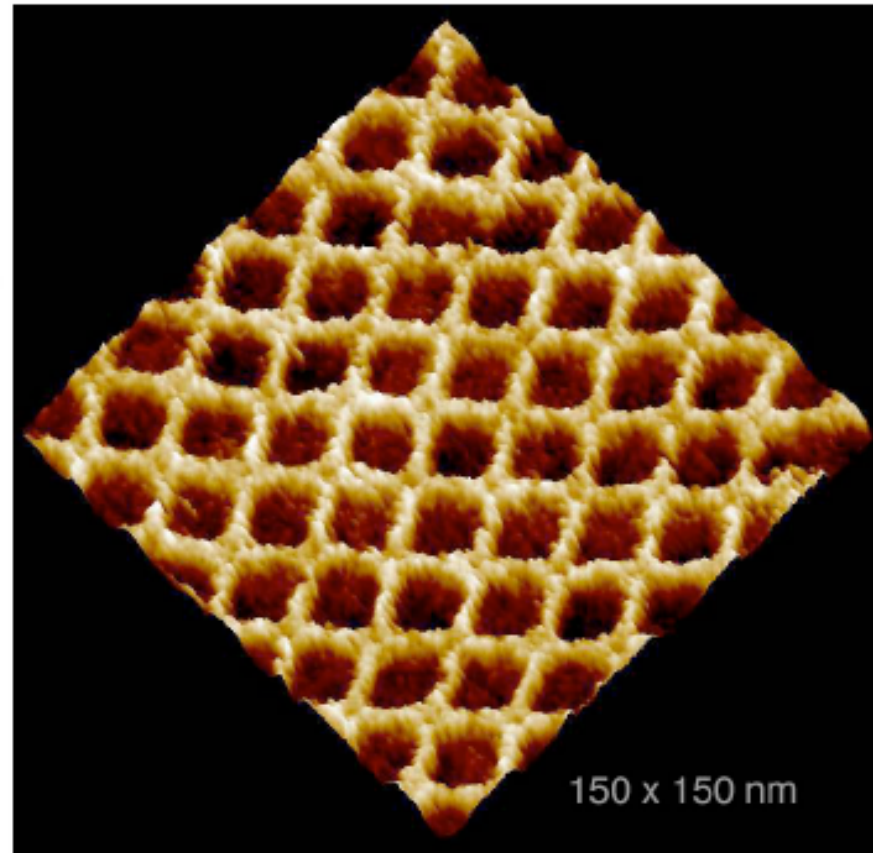
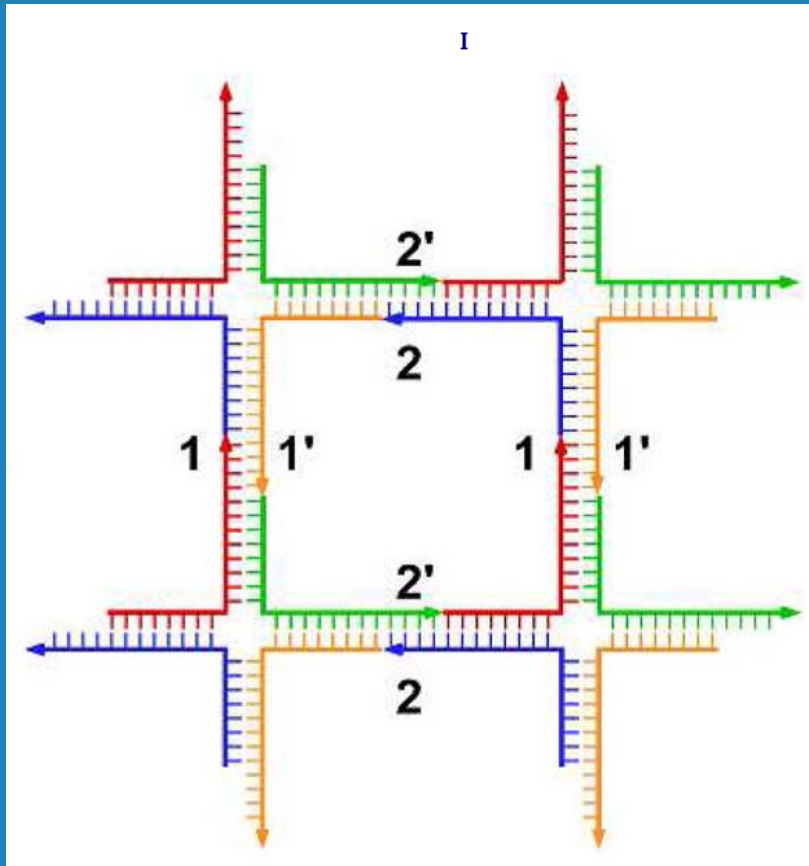
A DNS kettős spirálja két egymásba kapcsolódó cukor-foszfát láncból áll; szerkezetét a négy bázis: **adenin, timin, citozin, guanin** egymáshoz illeszkedése határozza meg.

# DNS „ácsolás” : Nadrian C. Seeman, Kavli Díj 2010 (J. Chen & N. C. Seeman, Nature 350 (1991), 631



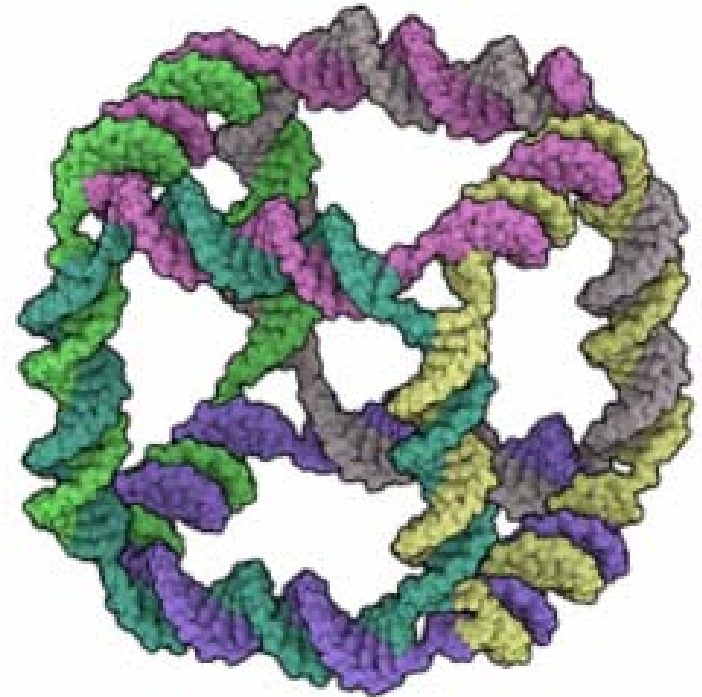
A két foszfát-cukor láncot összekapcsoló hidrogén hidak megbonthatók. A láncok újrakapcsolódását a nukleotidok sorrendje határozza meg, de .... létrehozhatók szokatlan szerkezetek is, amikor nem ugyanaz a két lánc kapcsolódik össze, mint a szétválás előtt

# DNS „ácsolás” : Nadrian C. Seeman, Kavli Díj 2010 (J. Chen & N. C. Seeman, Nature 350 (1991), 631



$G \Leftrightarrow C$ ;

# DNS „ácsolás” : Nadrian C. Seeman, Kavli Díj 2010 (J. Chen & N. C. Seeman, Nature 350 (1991), 631

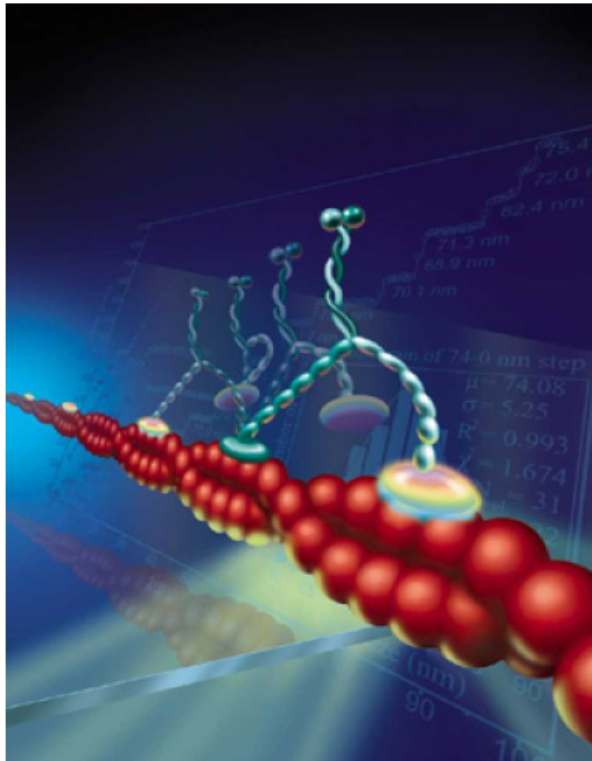


G  $\Leftrightarrow$  C;

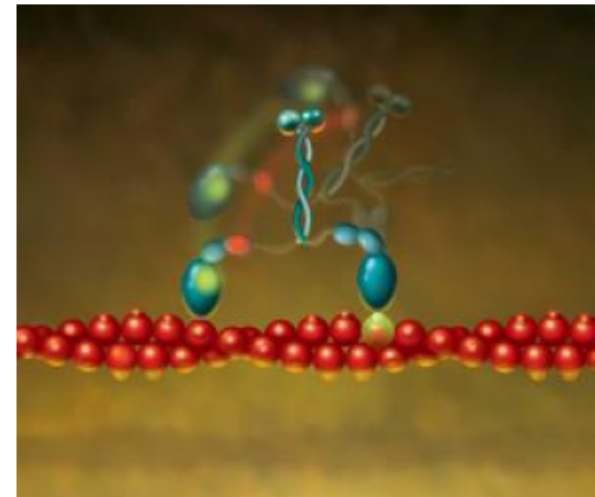
**Forrás:**

**Kun Lidia Genetikai, Sejt és Immunbiológiai Intézet**

## Szállítás molekuláris motrokkal



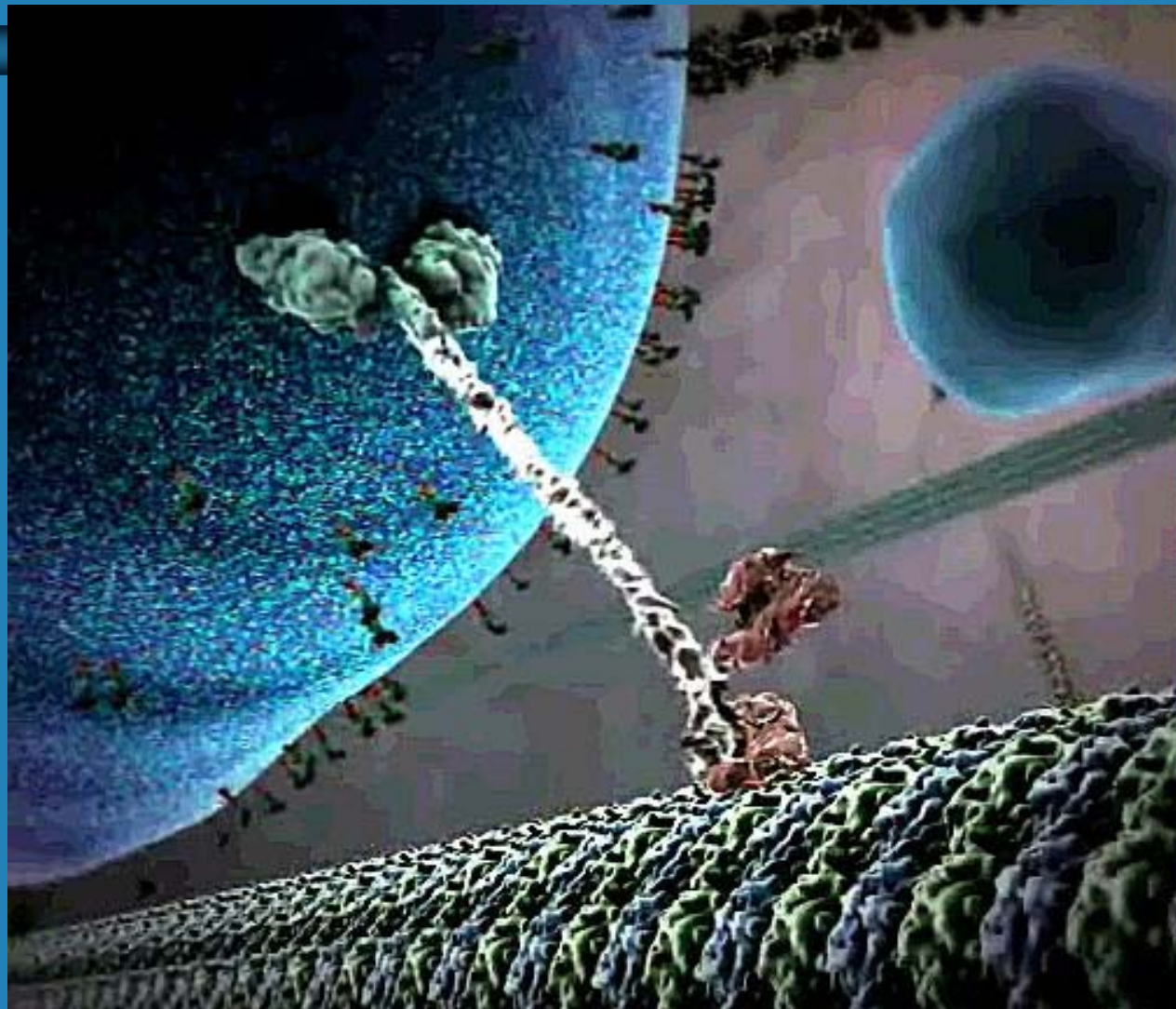
**Miozin-V „lépeget”** Az egyik „lábát” fluoreszcensen jelölték, és ezt a jelet követték 1 db. mikrofilamentumhoz kapcsoltn.  
(Yildiz et al.)



**Miozin-VI „cigány kereket vet”**  
A miozin fejet és nyakat különböző színű flueoreszcens jelzéssel ellátva vált kimutathatóvá a molekula konformáció változása.  
(Selvin et al.)

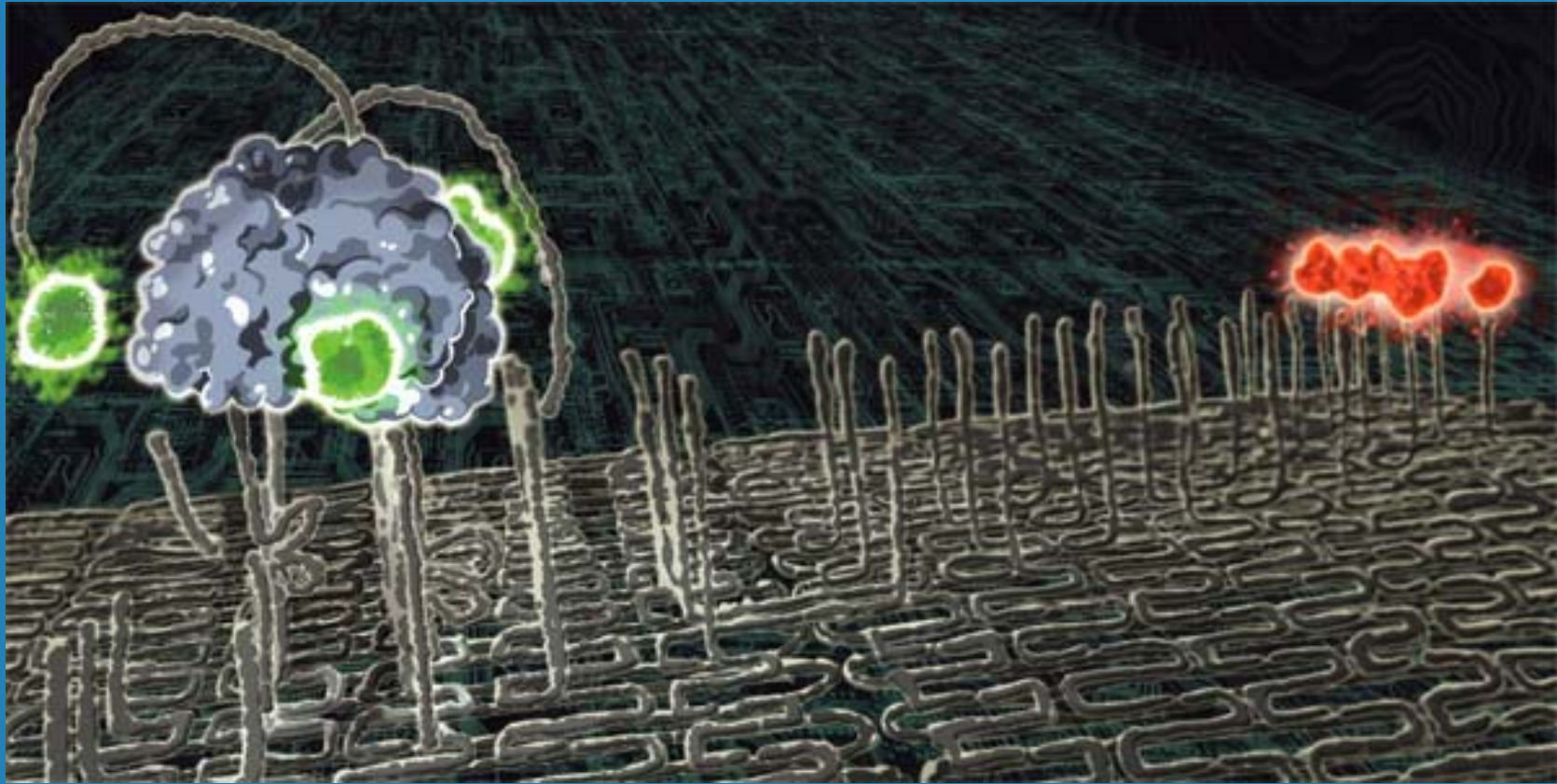
# **„Fénykép a Szállítóról” (kinezin)**

**<http://multimedia.mcb.harvard.edu/>**



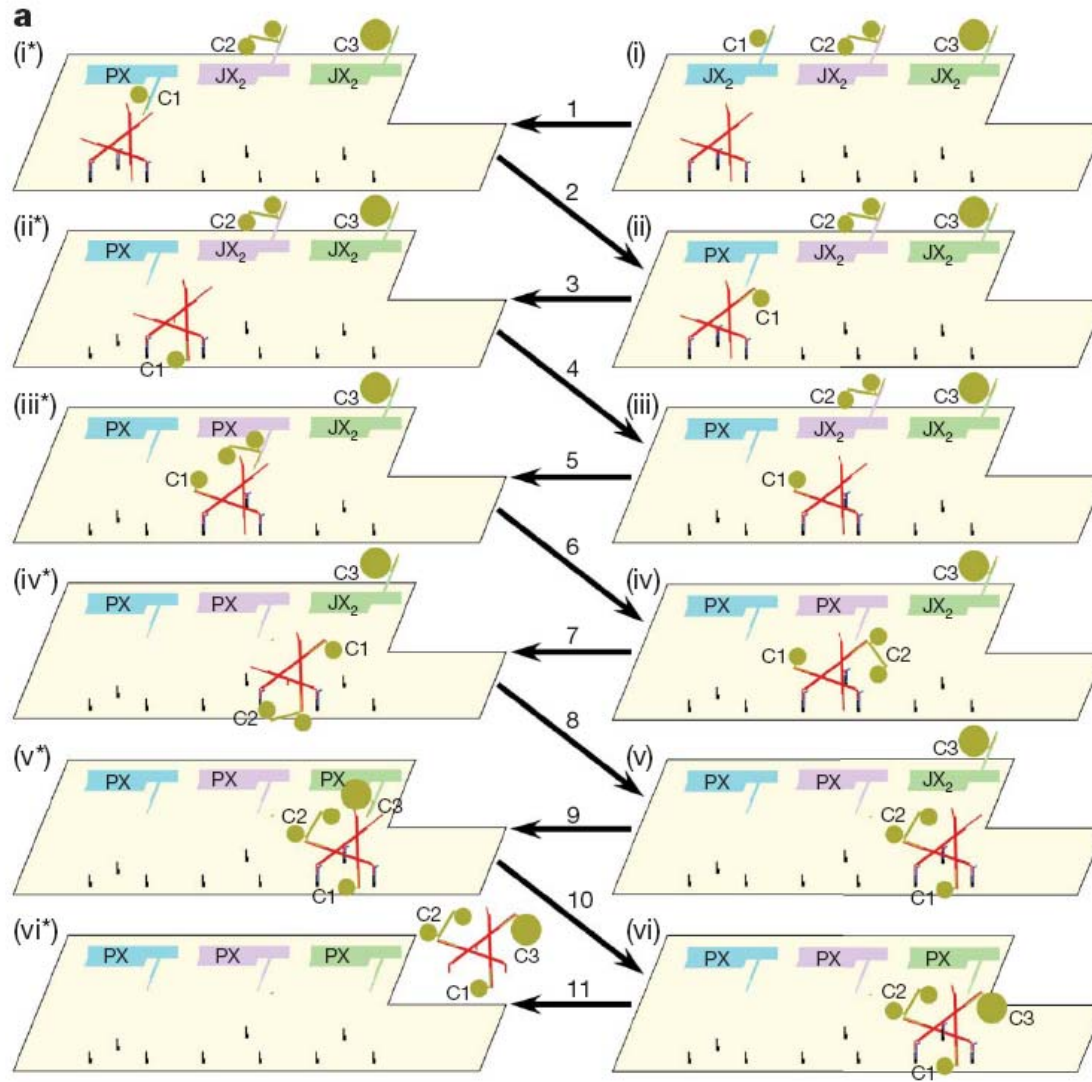
# DNS robot (valóságos!)

H. Gu, J. Chao, S-J. Xiao, N. C. Seeman, Nature 465 (2010), 202



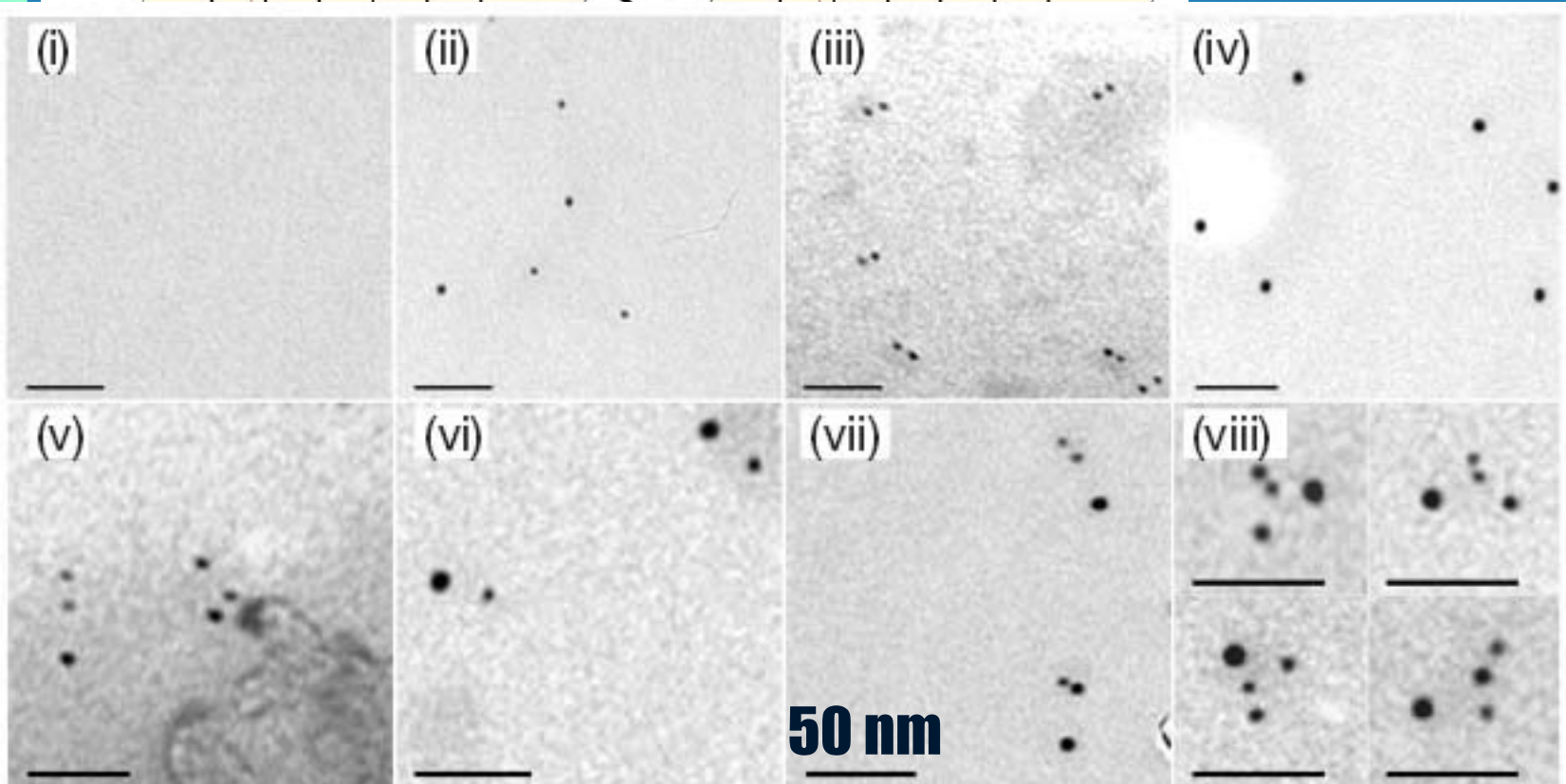
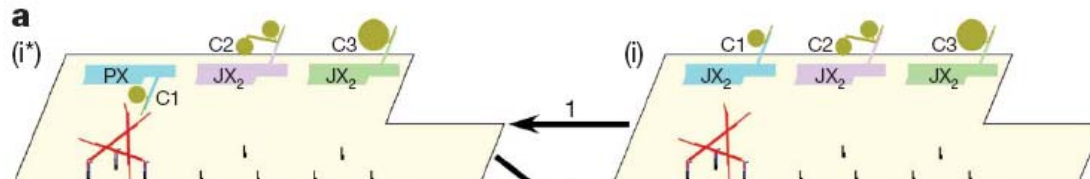
# DNS robot (valóságos!)

H. Gu, J. Chao, S-J. Xiao, N. C. Seeman, Nature 465 (2010), 202



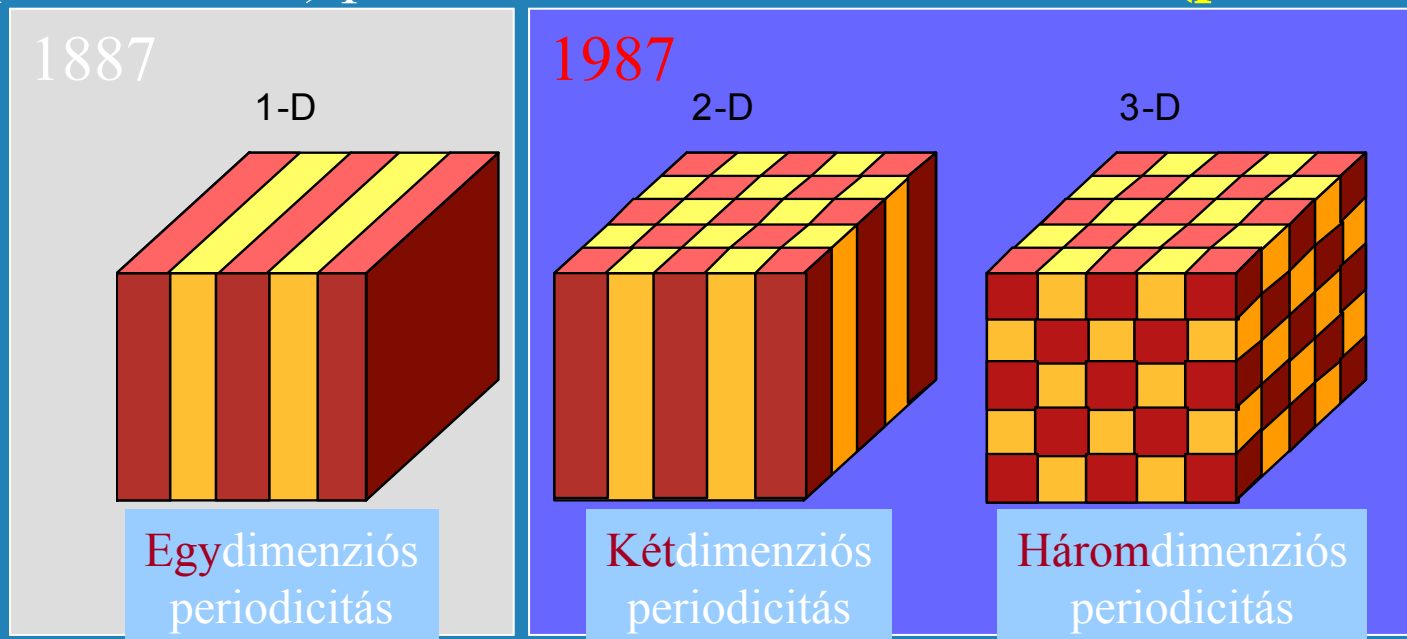
# DNS robot (valóságos!)

H. Gu, J. Chao, S-J. Xiao, N. C. Seeman, Nature 465 (2010), 202



# Fotonikus kristály (100 nanométeres tartomány)

Olyan anyagok, amelyekben az optikai tulajdonságok (törésmutató) periódikusan változnak a térben ( $p = 100 \text{ nm}$ )



Fotonikus tiltott sáv: “optikai szigetelő”

# Mit tud a fotonikus kristály? (Szelektív fényvisszaverés)

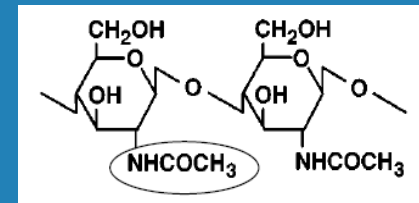


**Szerkezeti szín**, nem pigment (festék),  
hanem fotonikus kristály okozza

Morpho rhetenor (Hím)    Morpho rhetenor (Nöstény)  
Dél-Amerikai lepke

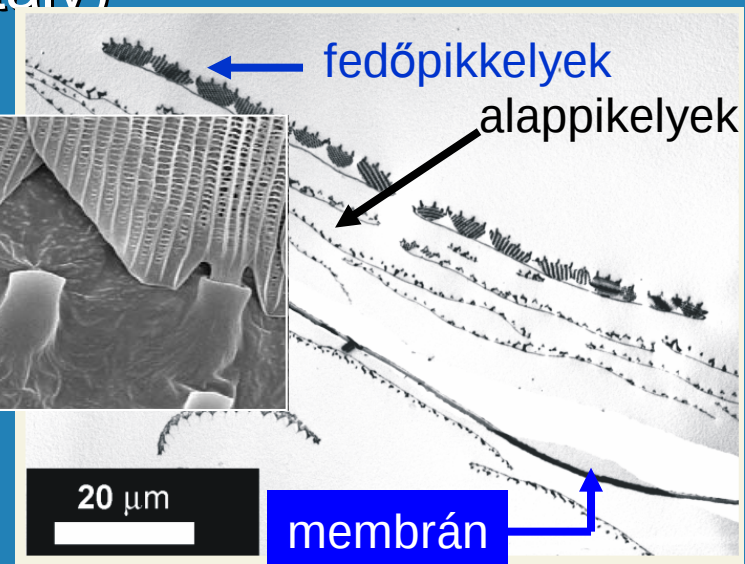
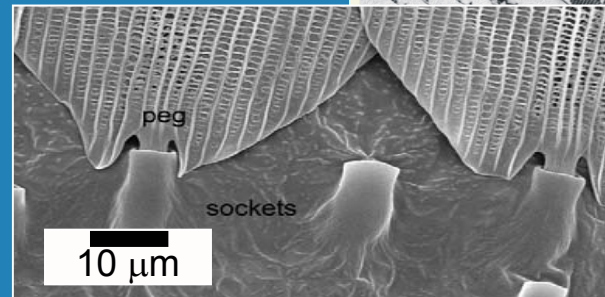
# Röviden a lepkék szárnyáról

- ❑ Latinul: Lepidoptera = pikkelyes szárnyúak
- ❑ Szárny membrán és pikkelyek fő alkotóeleme a kitin (poliszacharid)
- ❑ Kitin: áttetsző anyag,  $n = 1.56$  (pl. szitakötő szárnya), szint nyerhet pigmentáció, illetve **nanoarchitektúrák** következtében (fotonikus kristály)



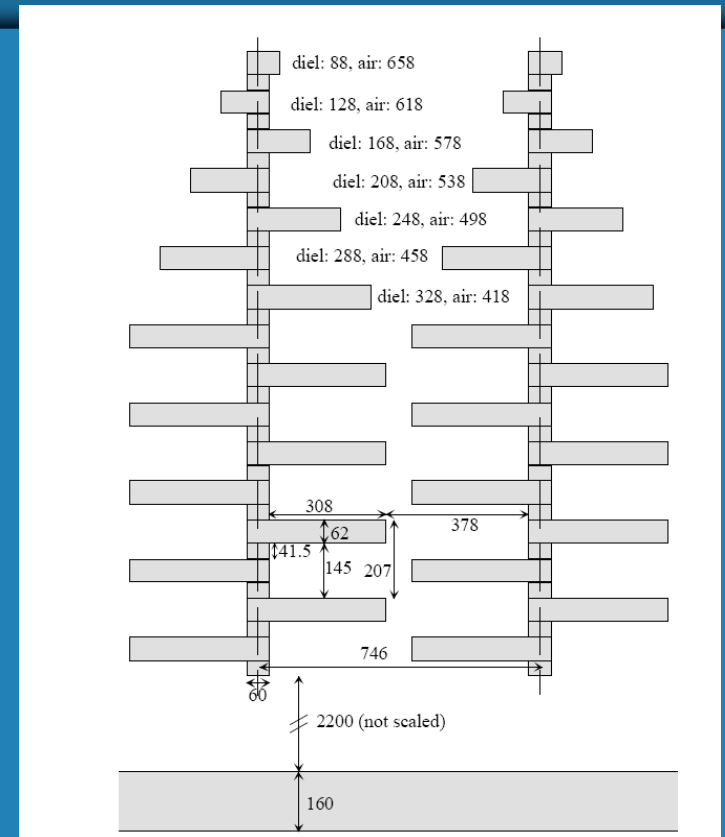
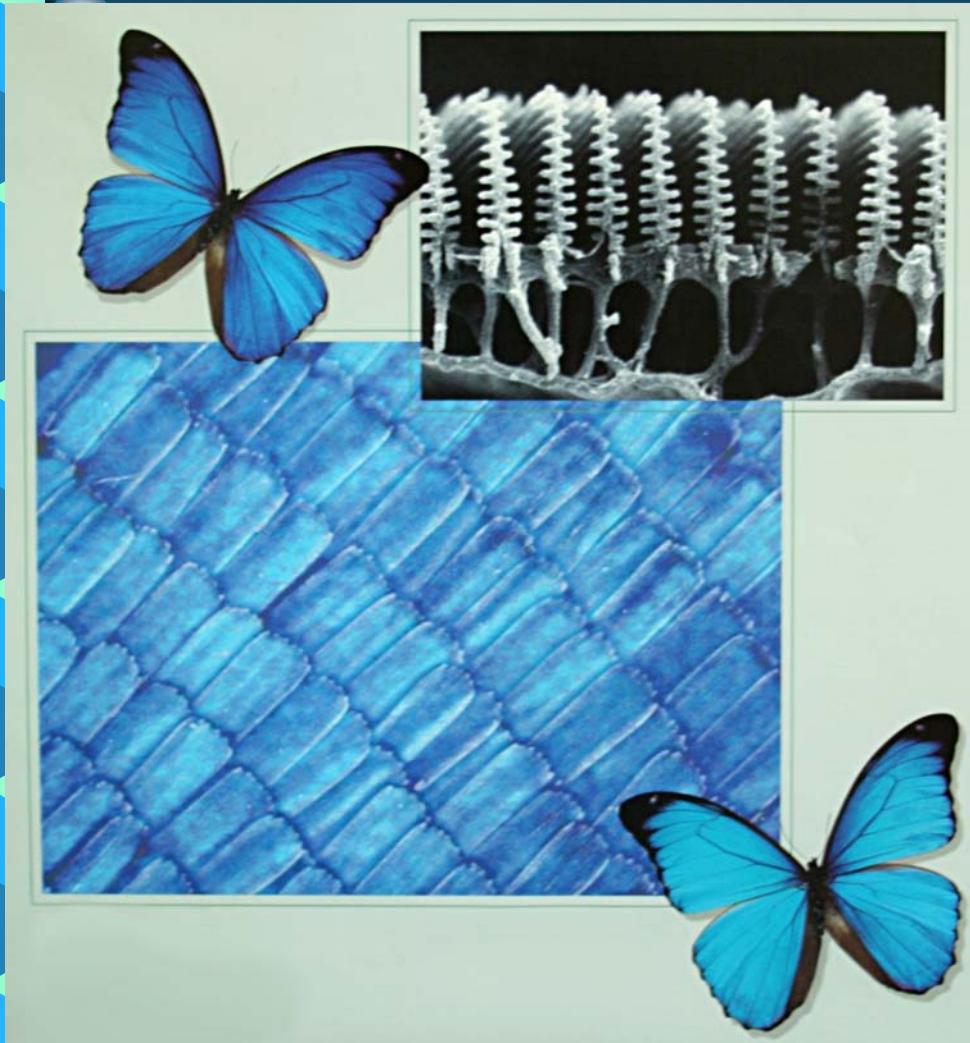
- ❑ Szárnyak funkciói:

- **Repülés**
- **„Napkollektor”**
- **Kommunikáció**
- **Rejtőzködés**



# A szerkezet

## Fizikai modell szerkezet

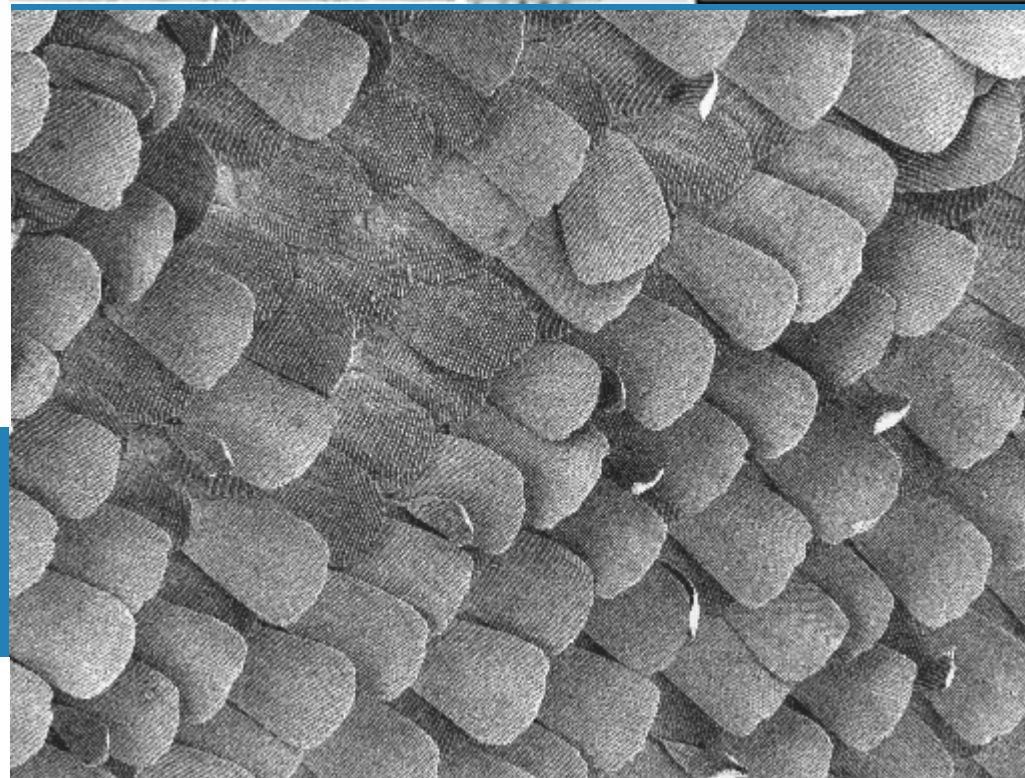
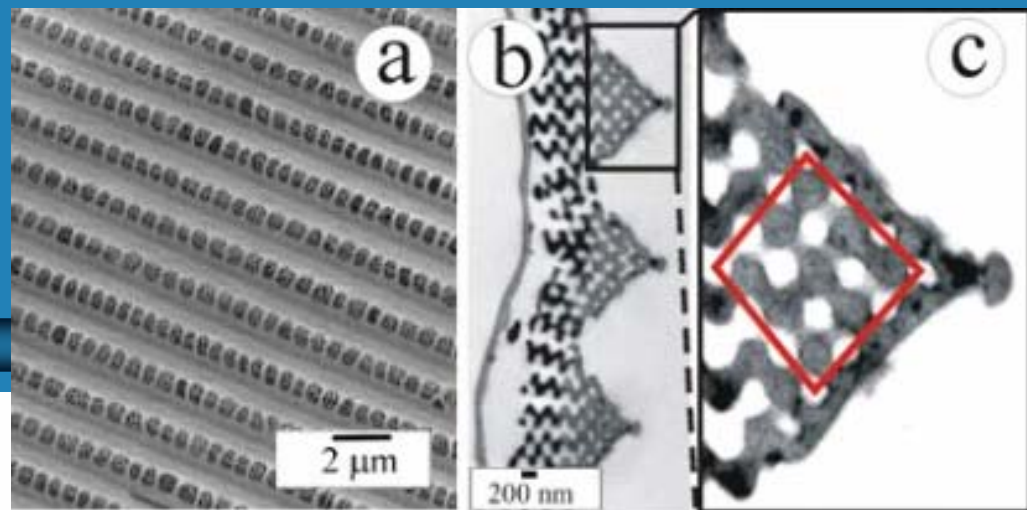


B. Gralak et al., Opt. Express 9  
(2001) 567

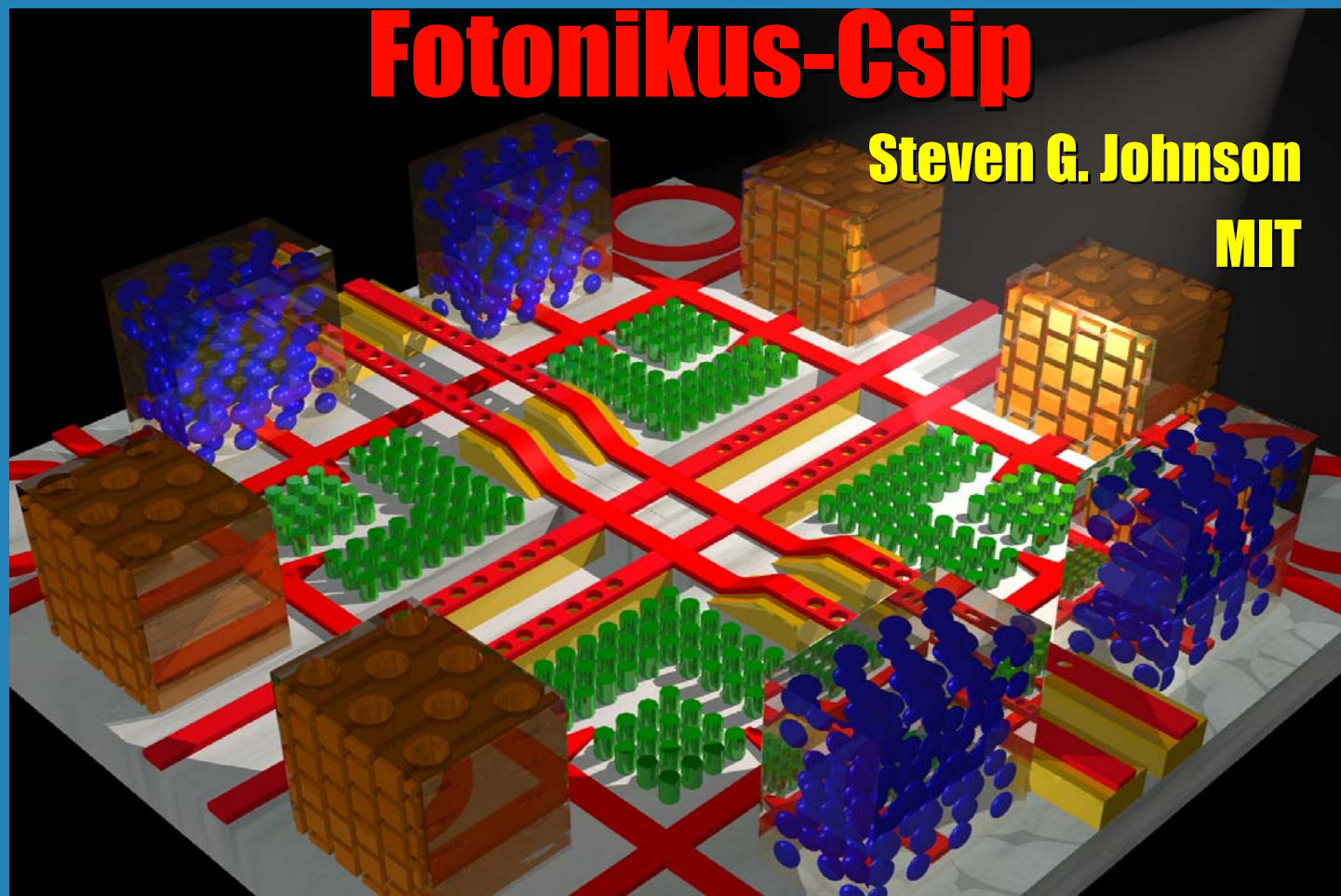
# Pikkelyes szárnyak



**K. Kertész et al, Phys.  
Rev. E 74 (2006)  
021922-1**



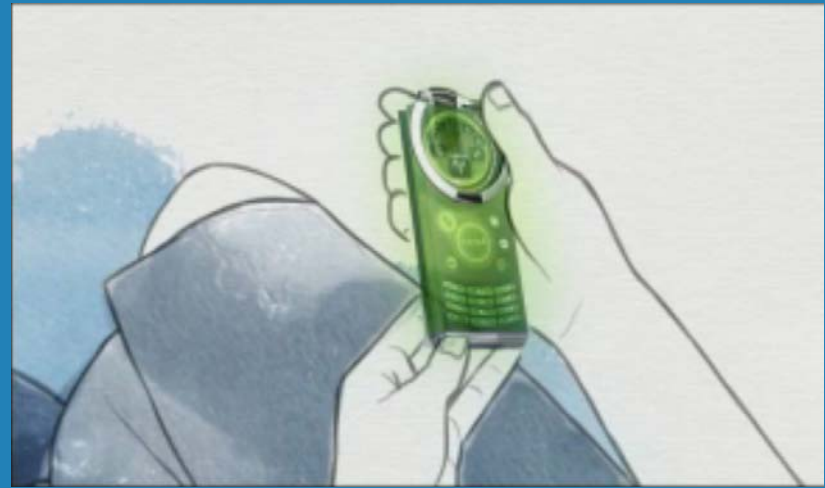
# Fotonikus kristályok a holnapunkban



# Nanotechnológia és divat



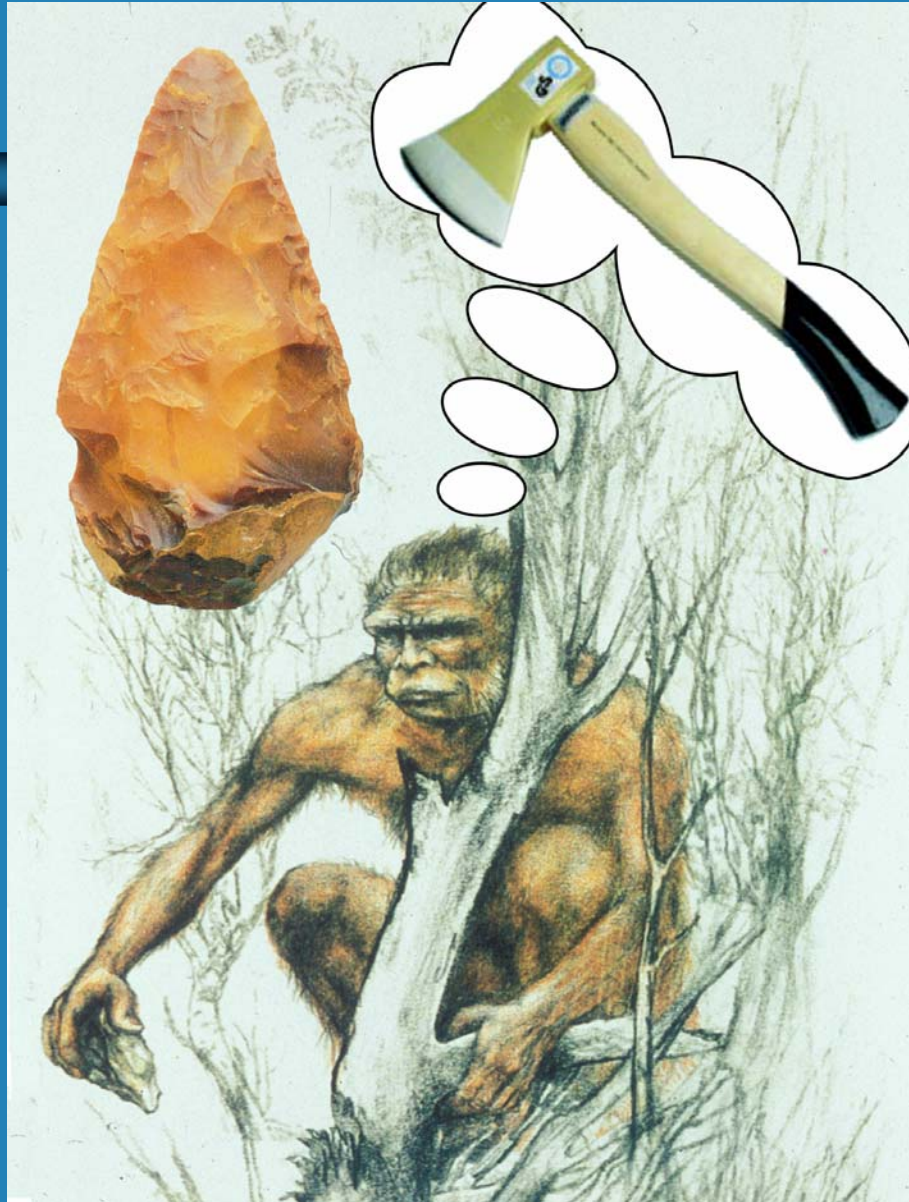
# Csak egy példa a Nokiától: Mindezek együtt : „Morph”



# Összefoglalás

- ❖ A technológiaváltás **elkezdődött**
- ❖ Sokkal **átfogóbb, és mélyrehatóbb**, mint bármelyik korábbi
- ❖ A jelenlegi szakaszt az **„alkatrészek”** (nanocső, fotonikus kristály, DNS szerkezetek, stb.) és **szoftverek** kialakítása jellemzi
- ❖ Már **eladható!** (kozmetikum, gyógyszerek, sporteszközök, nanotextil, stb.)

# Hol is állunk most a nanotechnológiával?



**Mi lesz belőle? Azokon áll, akiket ÖNÖK indítanak el a tudományos pályán!**



**Angyal vagy Szörnyeteg ?**

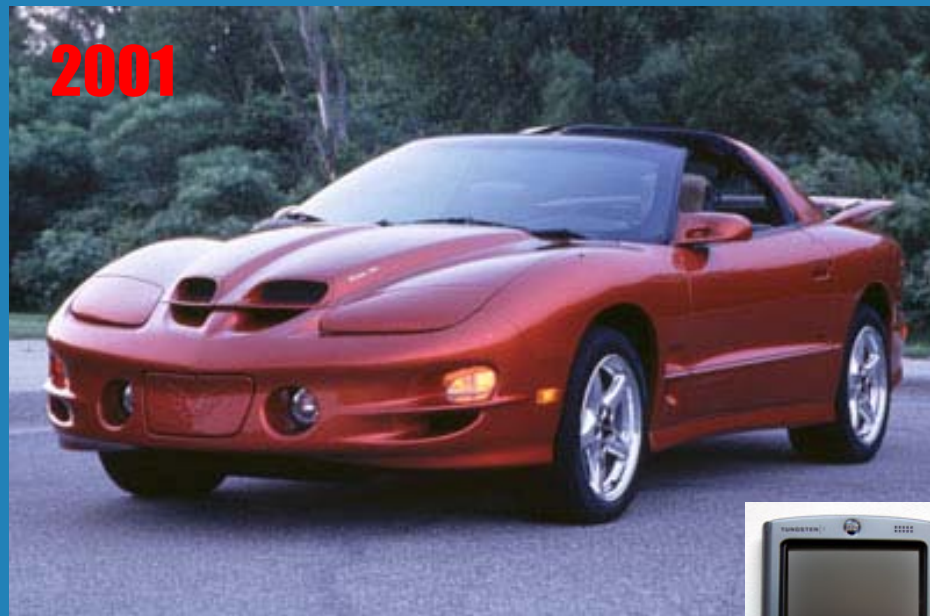
... nemcsak a tudósok számítanak, **politikusok és üzletemberek** hozzák meg a legfontosabb döntéseket.

**Emlékezzünk arra, ami már megtörtént! Az út messzire vezet.**

**Az első autó is inkább hintó volt ....**



**1886**

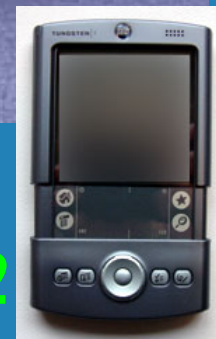


**2001**



**1946**

**ENIAC, 20000 elektroncső ...**



**2002**

# Köszönet a munkatársaimnak

MTA-MFA, Budapest

Dr. Horváth Zs. E., Dr. Tapasztó L., Nemes-Incze  
P., Dobrik G., Dr. Kertész K. Dr. Márk G. I., Dr.  
Vértesy Zofia

Magyar Természettudományi Múzeum

Dr. Bálint Zsolt



# Köszönöm a támogatást

❖ ***OTKA-NKTH K 067793***

**Nanoszerkezetkből felépülő nanoarchitektúrák  
kutatása**

**Önöknek pedig a figyelmet!**

**<http://www.nanotechnology.hu/magyarul.html>**