

Modernios medžiagų technologijos. Nanodariniai ir jų technologijos

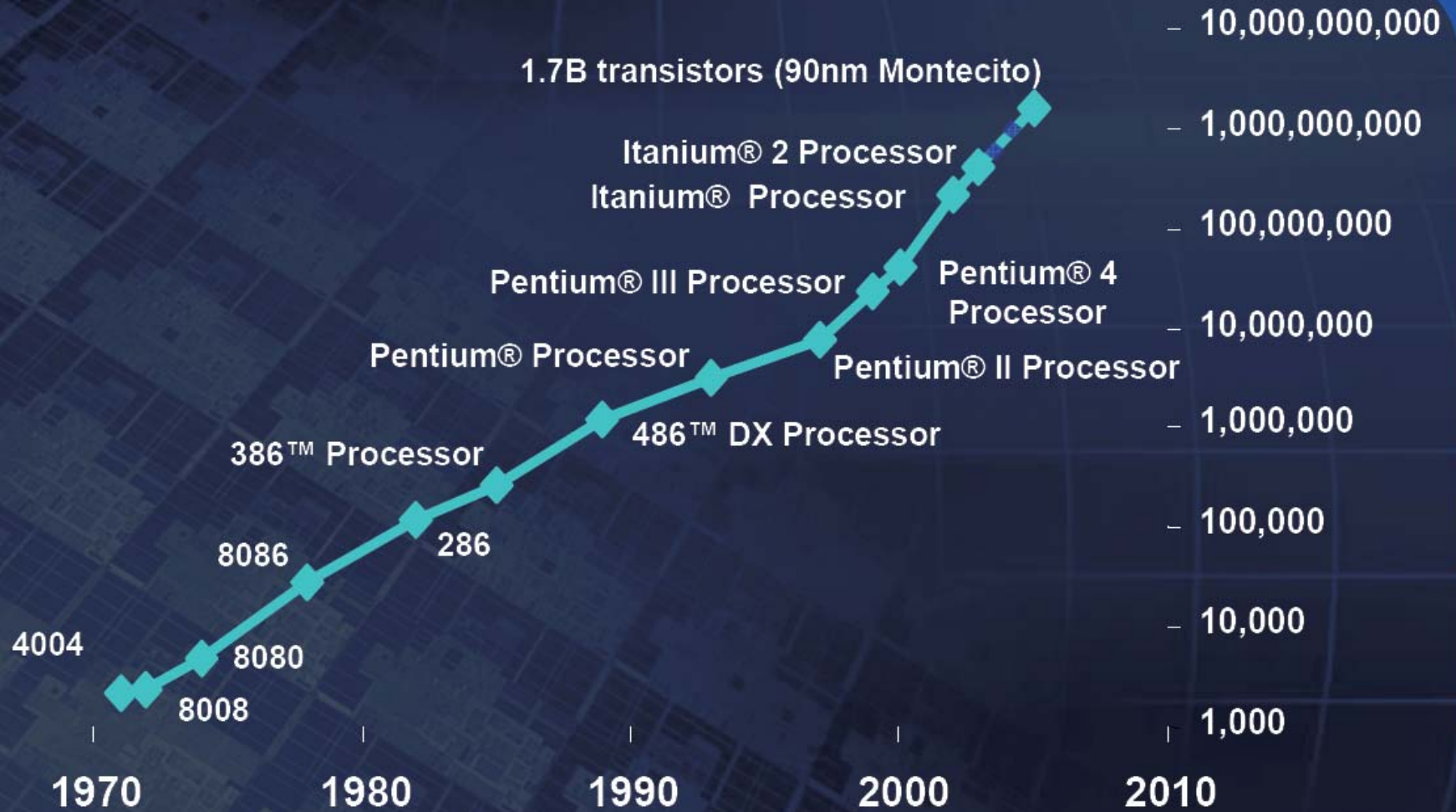
II paskaita

- Nanomatmenų efektas
 - Nanoprietaisai, jų grandynai
- Nanosandarų grandynų suformavimo būdai
- Nano-intarpai
- Nano-struktūros

Elektroninių komponentų technologinė pažanga

- Link nanomatmenų
- Nanodariniai elektronikoje

Moore's Law Continues...



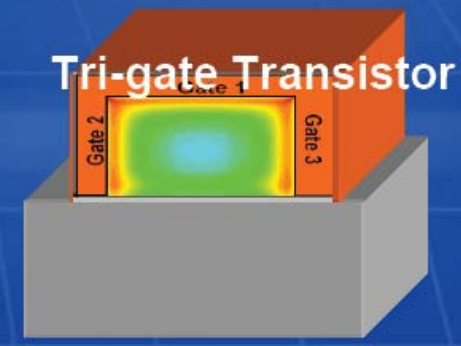
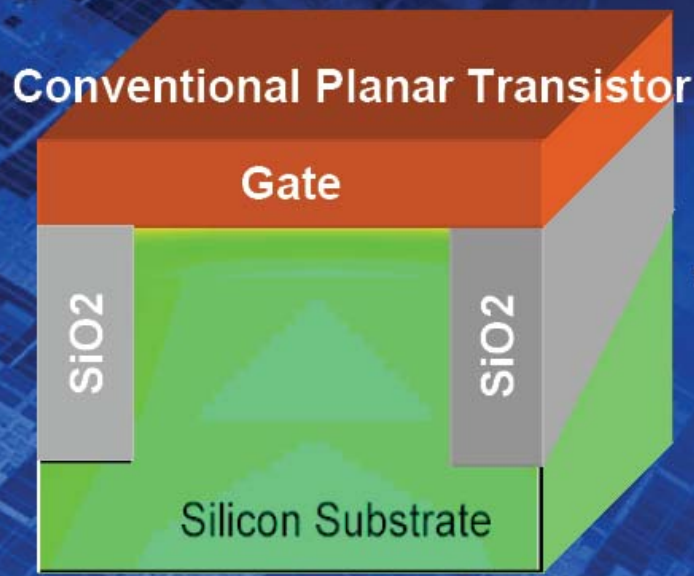
Intel's Logic Technology Evolution Continues

Process Name	<u>Px60</u>	<u>P1262</u>	<u>P1264</u>	<u>P1266</u>	<u>P1268</u>
Lithography	130nm	90nm	65nm	45nm	32nm
Gate Length	70nm	50nm	35nm	25nm	18nm
Wafer (mm)	200/300	300	300	300	300
1 st Production	2001	2003	2005	2007	2009

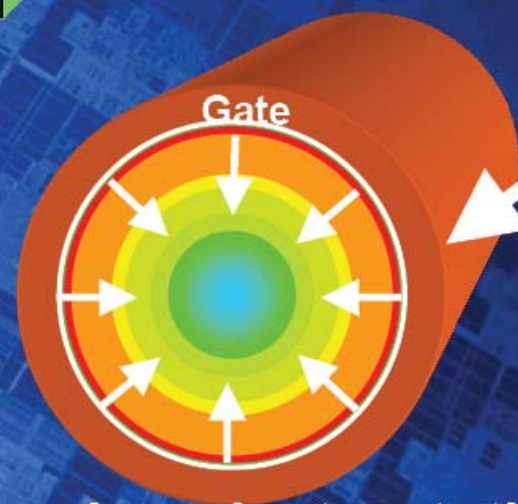
Moore's Law continues!

Intel continues to introduce a new technology generation every 2 years

Nano-Device Structure Evolution



Fully-Surround Gate Transistor

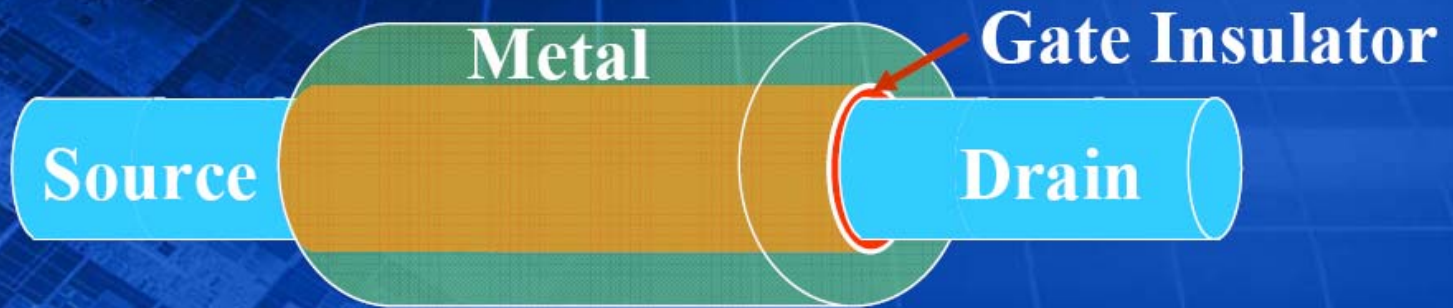


Improved Electrostatics

Best Electrostatics and Scalability

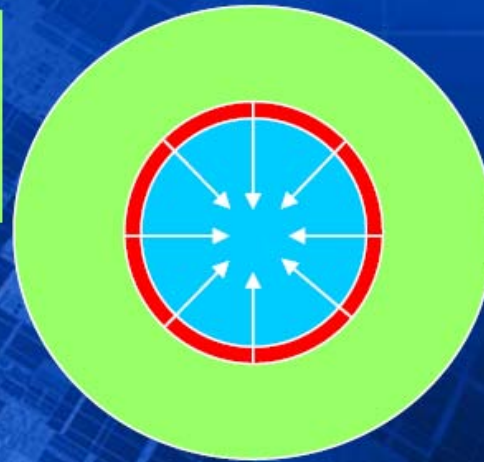
Improving electrostatics optimizes power consumption and performance

The Ideal MOS Transistor



**Fully Surrounding
Metal Electrode**

**Fully Enclosed,
Depleted
Semiconductor**

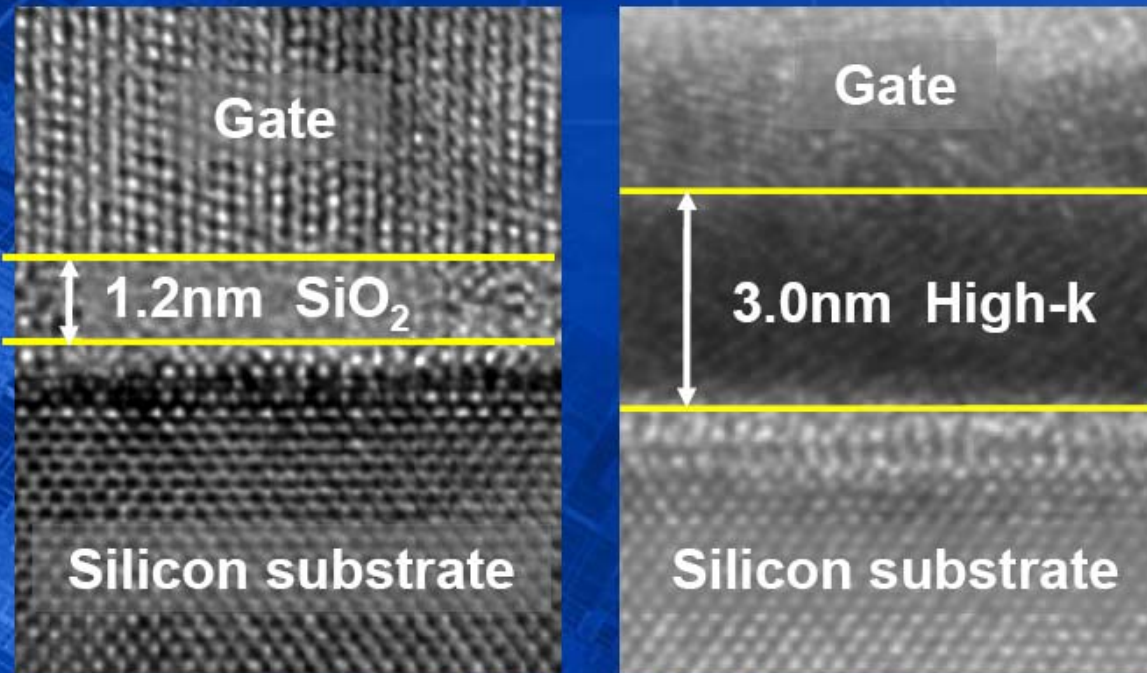


**High-K
Gate Insulator**

**Low Resistance
Source/Drain**

**Band Engineered
Semiconductor**

The Next Step Towards Equivalent Scaling: High-k Dielectric



	<u>90nm process</u>	<u>High-k</u>
Capacitance:	1.0x	1.6x
Leakage:	1.0x	< 0.01x

November 4th, 2003

Continuation of Moore's Law

Intel found a solution for High-k and metal gate

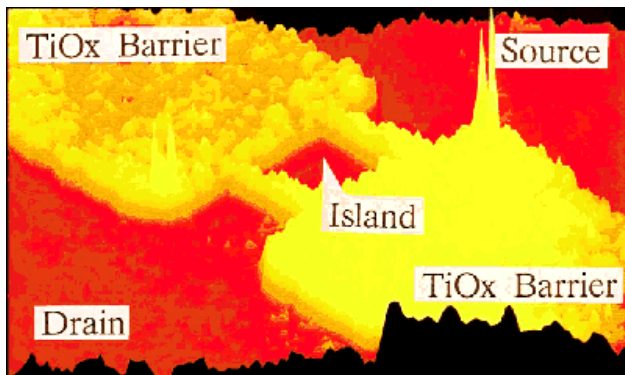
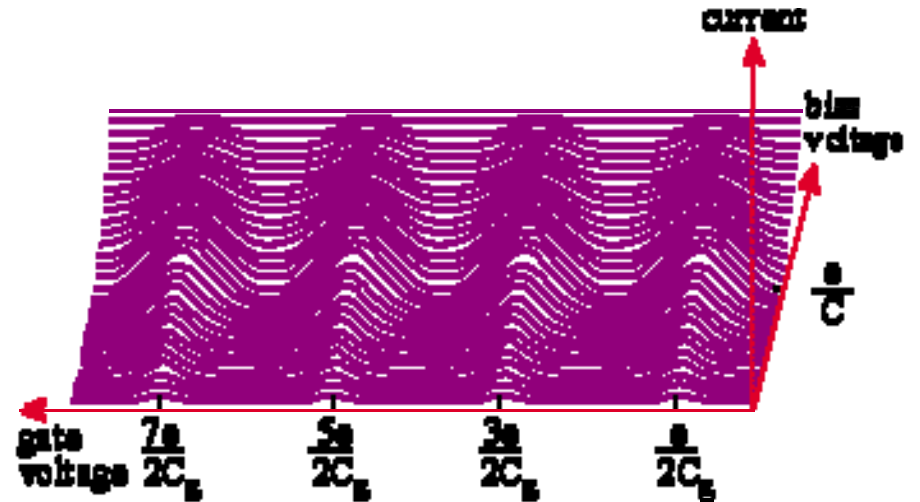
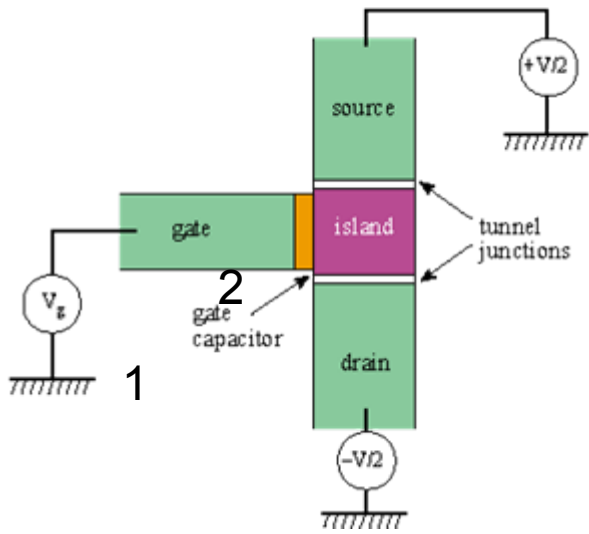
Process Name	P856	P858	Px60	P1262	P1264	P1266	P1268	P1270
1st Production	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011
Process Generation	0.25 μ m	0.18 μ m	0.13 μ m	90 nm	65 nm	45 nm	32 nm	22 nm
Wafer Size (mm)	200	200	200/300	300	300	300	300	300
Inter-connect	Al	Al	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	?
Channel	Si	Si	Si	Strained Si	Strained Si	Strained Si	Strained Si	Strained Si
Gate dielectric	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	High-k	High-k	High-k
Gate electrode	Poly-silicon	Poly-silicon	Poly-silicon	Poly-silicon	Poly-silicon	Metal	Metal	Metal

Potential candidate for introduction

Subject to change

Up to 22nm!

Vieno elektrono tranzistorius

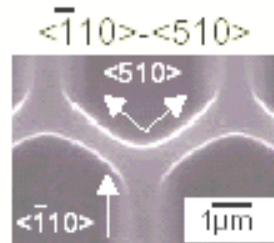
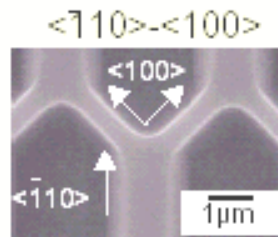


Srovė tekanti per vieno elektrono tranzistorių (kairėje) (iš ištako (2) į santaką (3)) didėjant užtūros (1) įtampai kinta periodiškai (dešinėje).

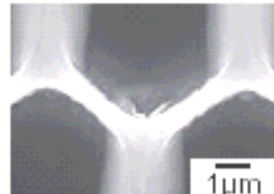
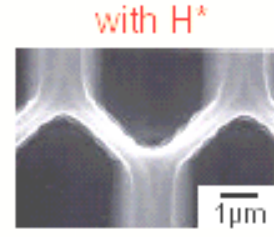
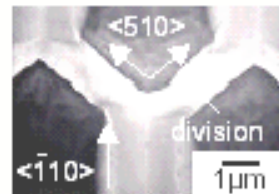
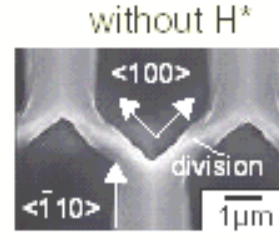
Skirtingo difuzijos greičio panaudojimas

Growth of InGaAs ridge structure

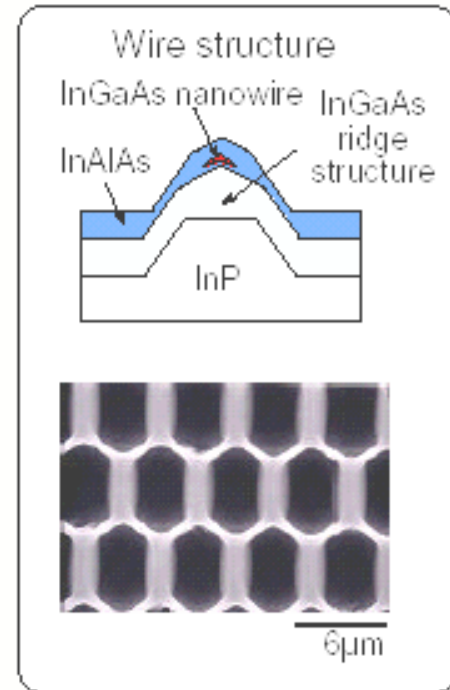
Initial InP Substrate Pattern



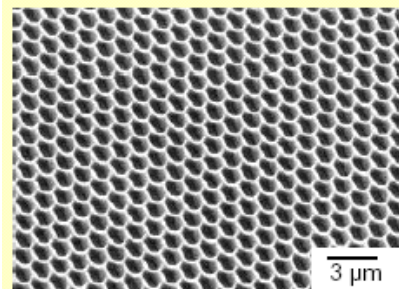
After Growth of InGaAs Ridge Structure



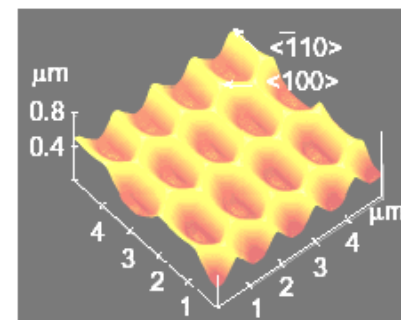
Growth of InGaAs nanowire network



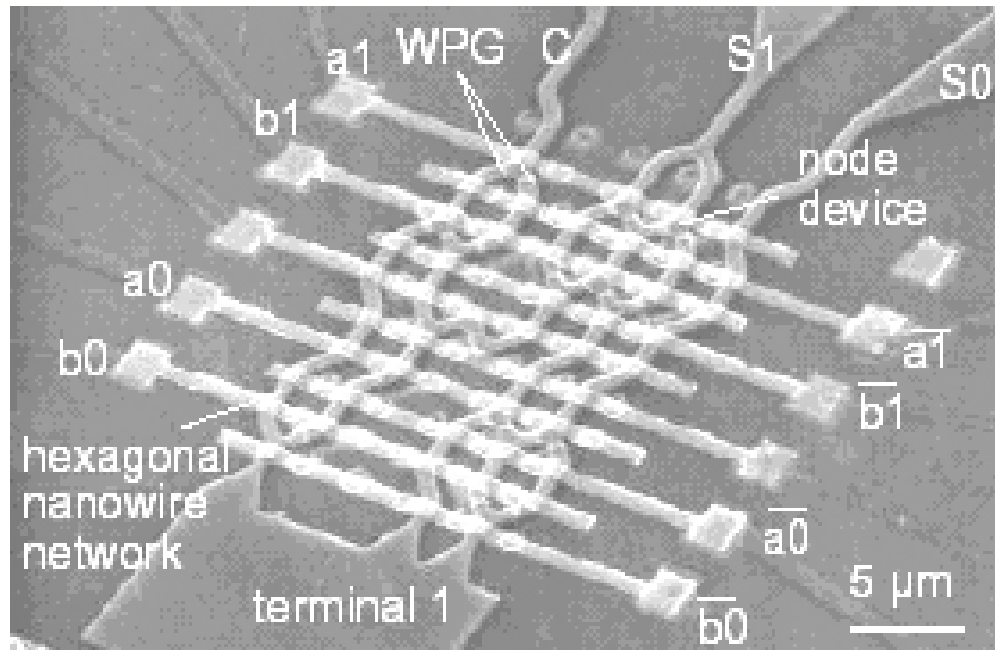
SEM image of hexagonal InGaAs nanowire network



AFM image



Pirmoji nano (vienelektroninis) -loginis grandynas – nanoprocesoriaus pirmtakas



The Nobel Prize in Physics 2000

"for basic work on information and communication technology"

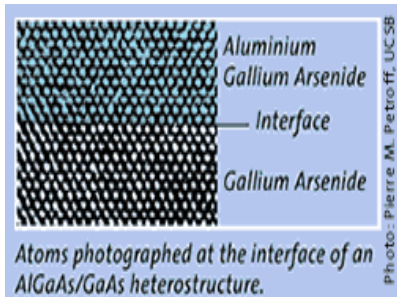
"for his part in the invention of the integrated circuit"



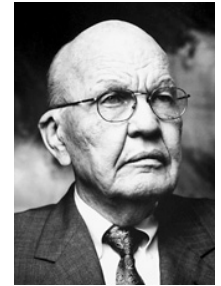
"for developing semiconductor heterostructures used in high-speed- and opto-electronics"



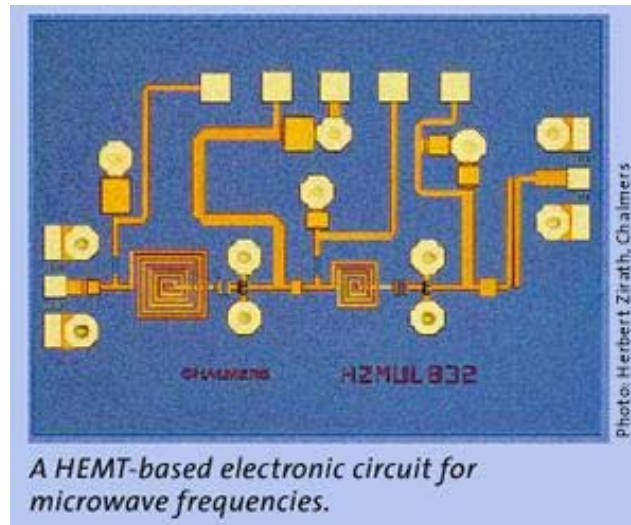
Zhores I. Alferov
 b.1930 Russia A.F. Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia



Herbert Kroemer b.1928 Germany University of California, USA



Jack S. Kilby b.1923 USA Texas Instruments Dallas, TX, USA



A HEMT-based electronic circuit for microwave frequencies.



Kilby's first integrated circuit in germanium.

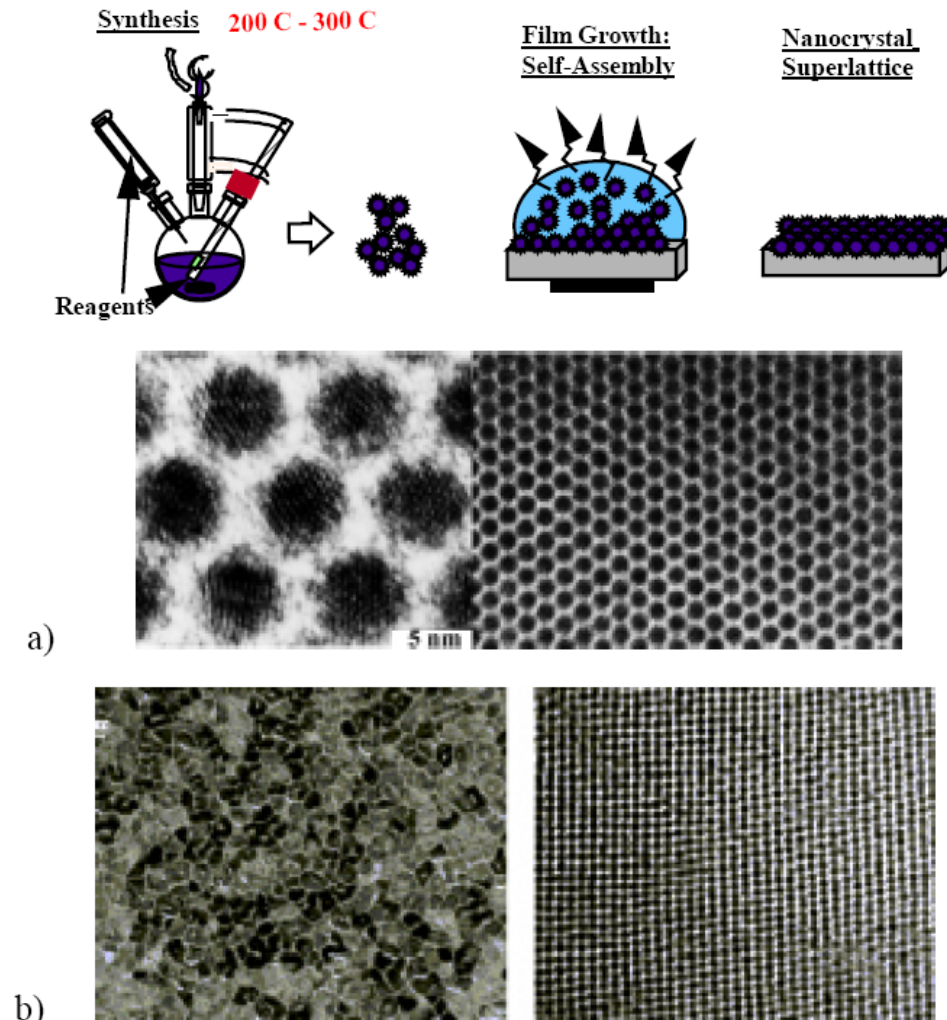


Figure 6.10. (a) Careful control and steering of process conditions can produce technologically useful structures on several length scales. Here chemical synthesis of uniformly sized nanocrystals and subsequent deposition of the particles from liquid solution forms a nanocrystal superlattice. (b) Comparison of current “state-of-the-art” magnetic storage medium with a nanostructured magnetic storage medium. Such nanostructured materials may contribute to cost-performance improvements in hard disk drives in the next few years (Sun et al. 2000).

Žymėjimo būdas: fotolitografija

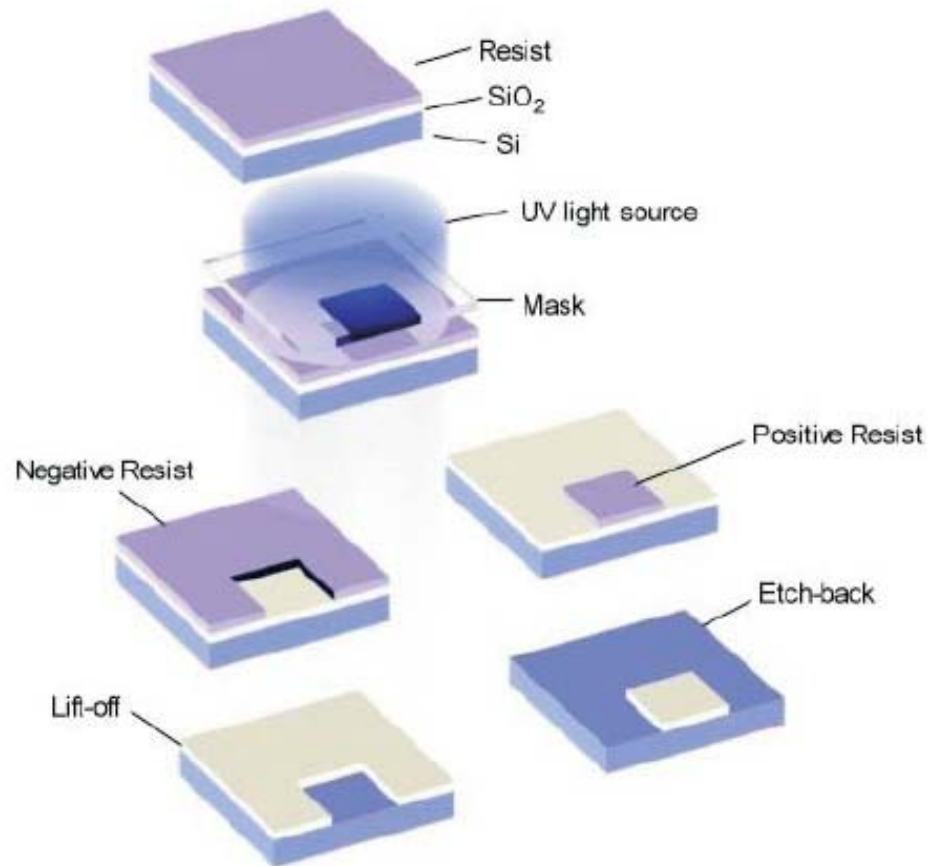
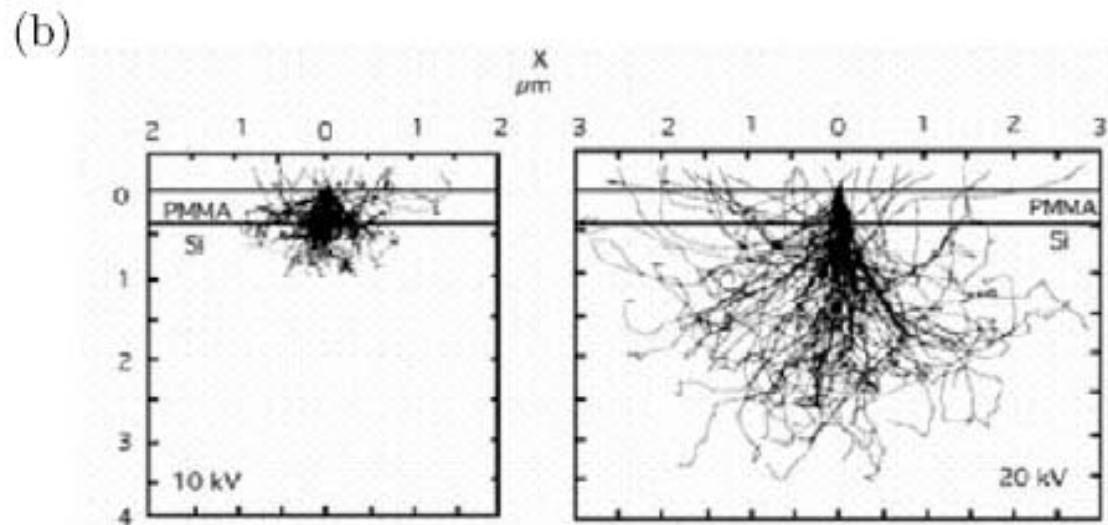
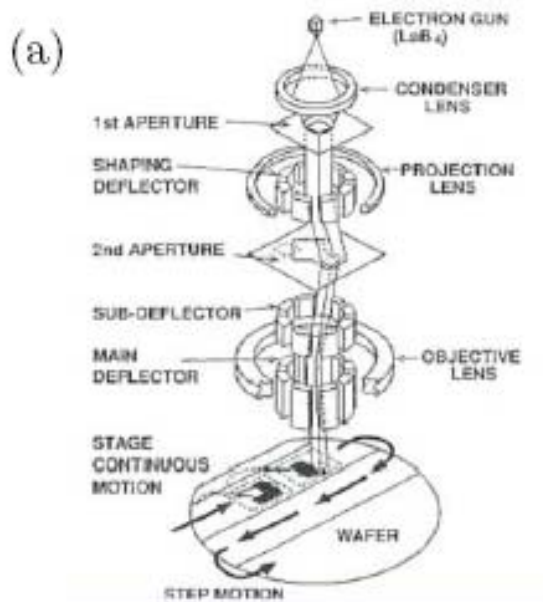


Figure 1.5: The basic principles of photolithography. The left-most figures illustrates the use of a negative resist to do lift-off. The right-most figures illustrates the use of a positive resist as an etch mask. See the text for more details.

Žymėjimo būdas: elektroninė litografija



Dauginimo technologija

1.5. NANOIMPRINT LITHOGRAPHY

9

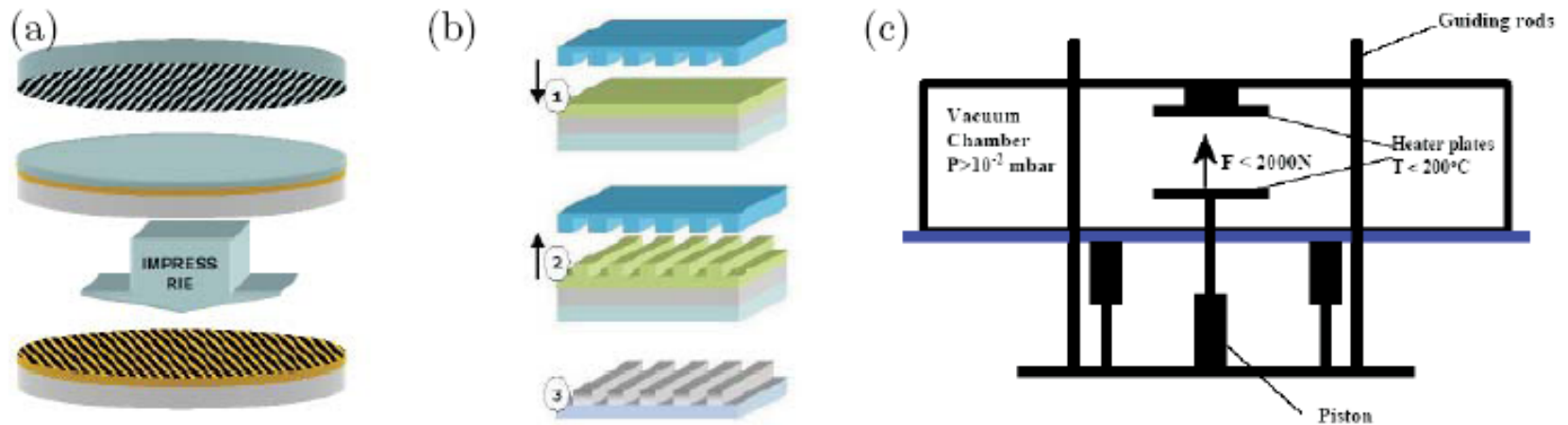
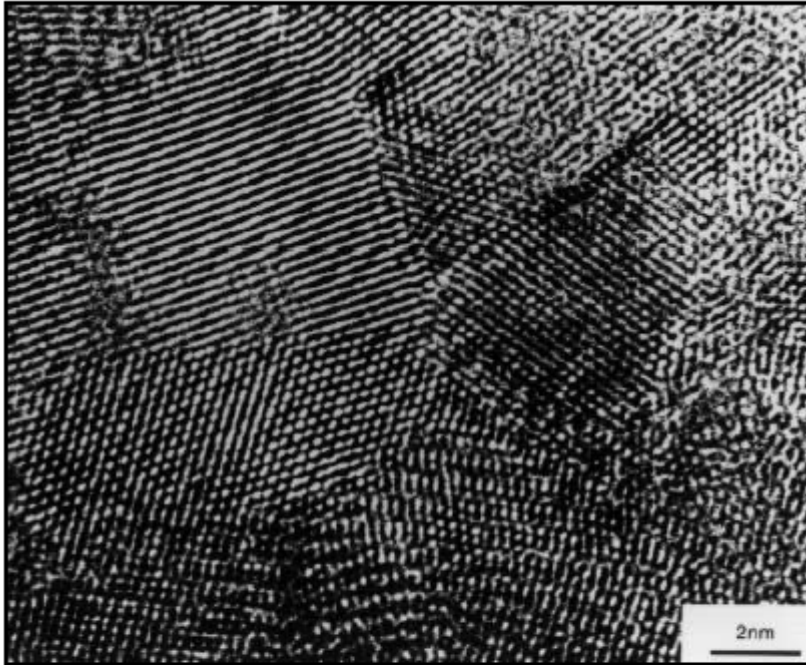
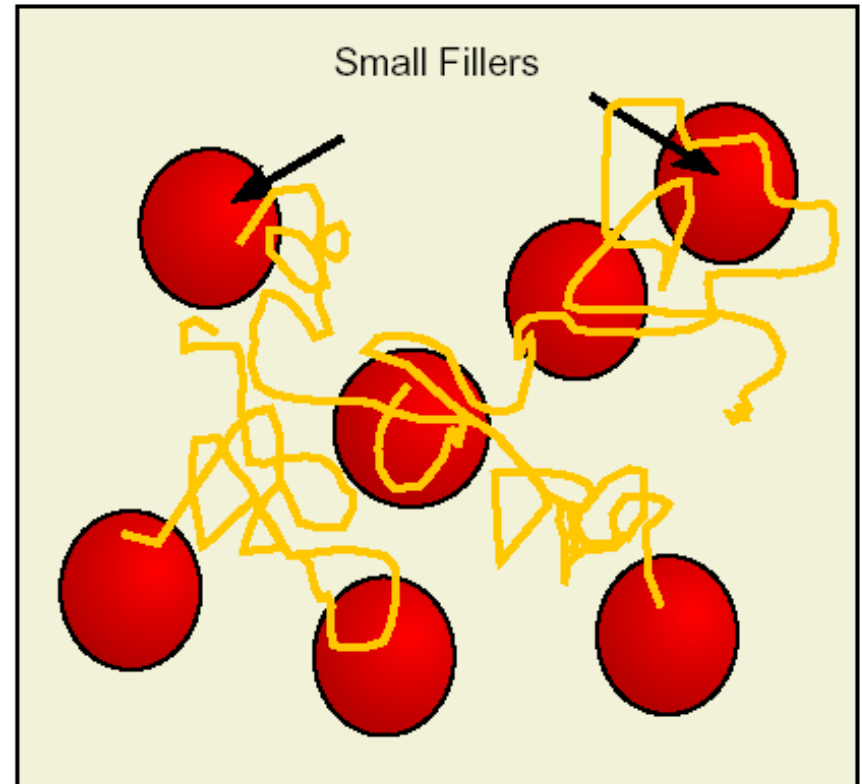


Figure 1.7: (a) The principle of nanoimprint lithography: after having made nanostructures in the surface of the stamp wafer using electron beam lithography, it is pressed into a thin layer of polymer film spun on top of a gold-plated silicon wafer. (b) A sketch of the setup before imprinting, after imprinting, and after etching. (c) A sketch of the pressing machine at MIC to used to perform nanoimprint lithography.

Nano-keramika saviormavimasis



Nanograins. Each region of parallel lines reveals a nanoscale grain of palladium metal. Here, a dozen or so such particles are joined into a nanostructured metal. It has dramatically smaller grains with more internal boundaries than metals made from more conventional grains, and that leads to a stronger metal.



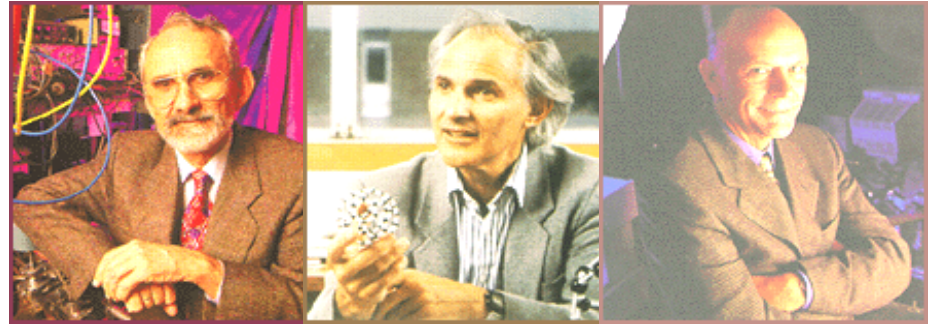
Perpetual Plastics? By adorning the polymer structure of synthetic plastic with ceramic nanoparticles, researchers hope to develop new substances that will last far longer.

Anglinių vamzdelių technologijos

- Anglinių vamzdelių ypatumai
- Darinių savybės

Chemijos naujovė nanotechnologijai

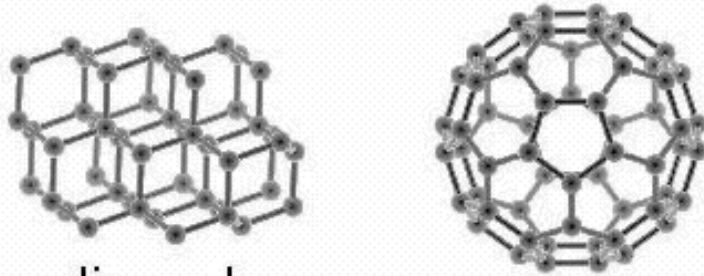
The Nobel Prize in Chemistry 1996
Robert F. Curl, Harold W. Kroto and
Richard E. Smalley
for their discovery of fullerenes.



Robert F. Curl Jr
Rice University,
Houston, USA

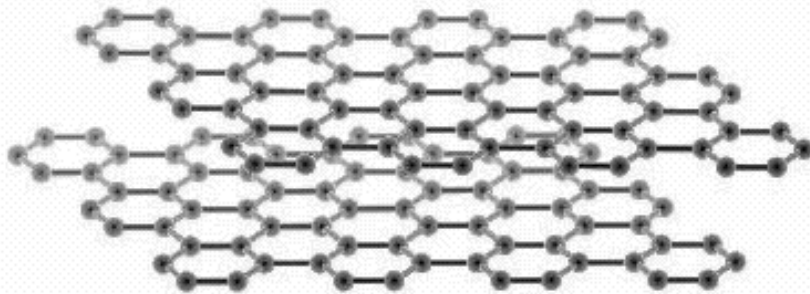
Sir Harold W. Kroto
University of Sussex
Brighton, England

Richard E. Smalley
Rice University,
Houston, USA



diamond

C_{60}
"buckminsterfullerene"

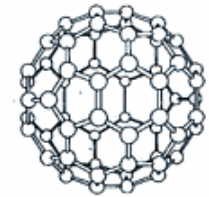


graphite

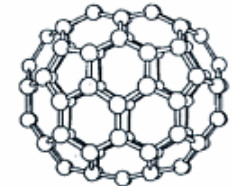


Fullerenes

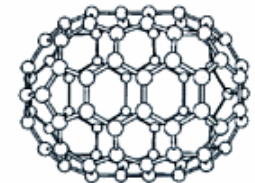
C60



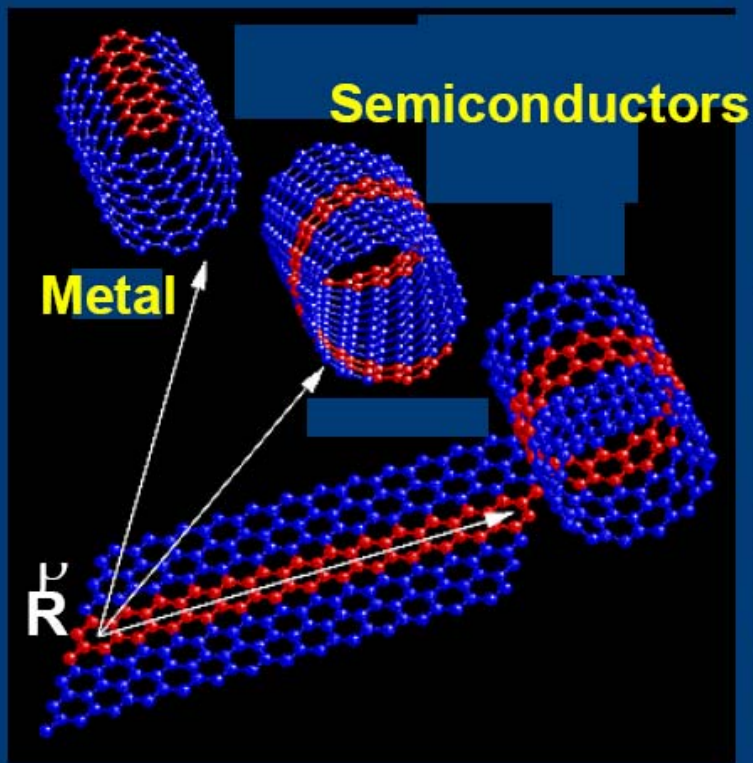
C70



C80 isomer



Carbon Nanotube Tutorial

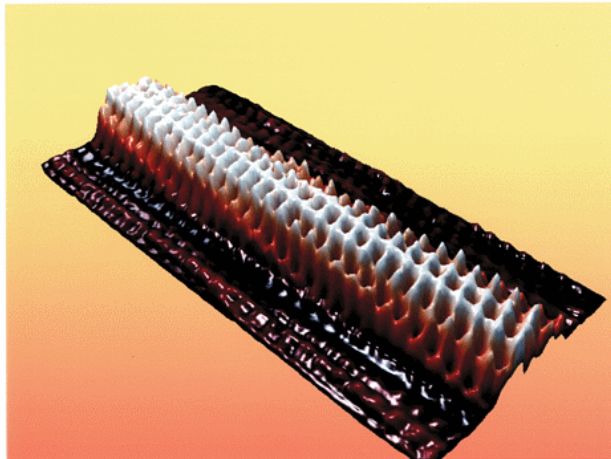
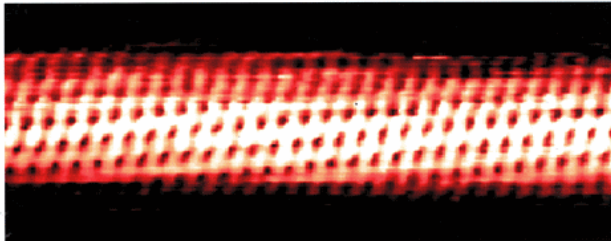
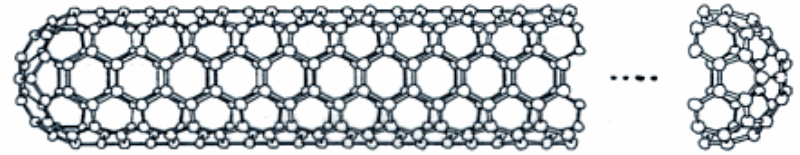


- Rolled-up graphene sheet(s)
- Roll-up vector determines electronic properties of tubes
 - metallic
 - semiconducting
- Dimensions:
1-25nm depending on how they are form.

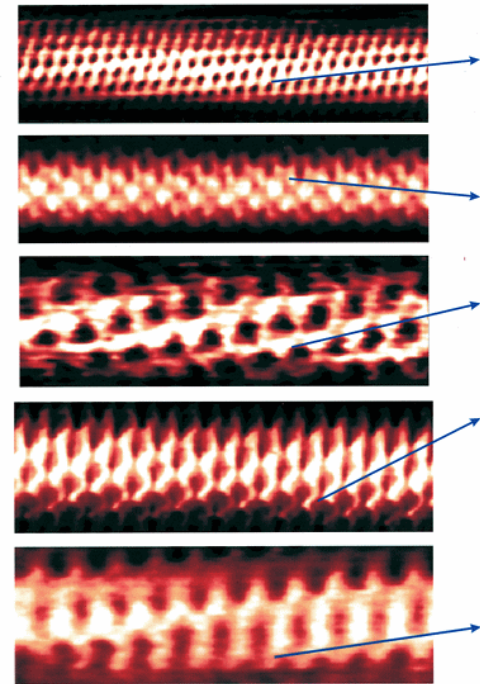
Anglies vamzdeliai

nanotube

Kiek vėliau (1991 m.) buvo sugalvota, kaip galima pagaminti anglies vamzdelius, kuriuose atomai išsidėstę panašiai kaip fullereno sferos paviršiuje.



large variety of chiral angles



Tube axis

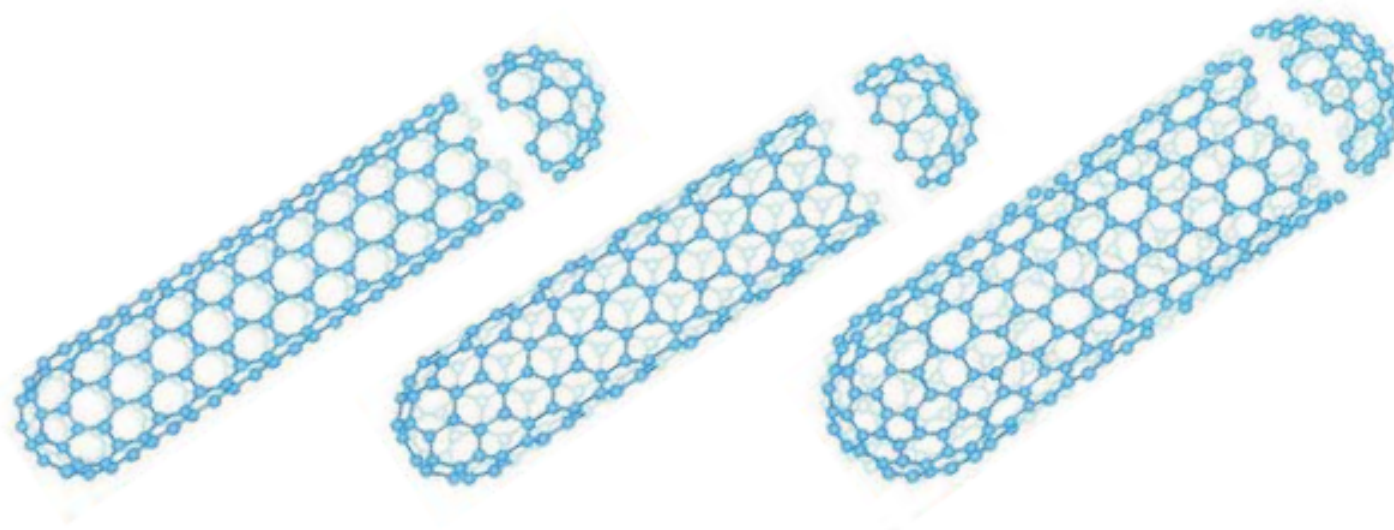
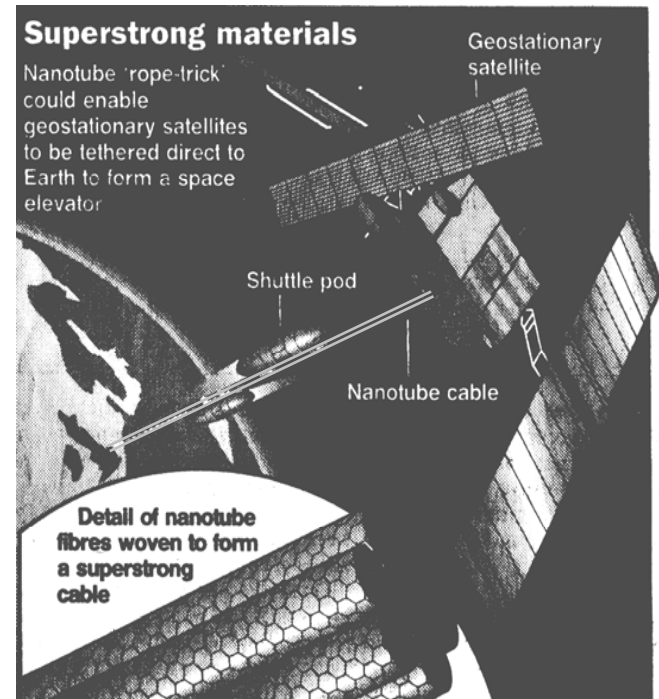
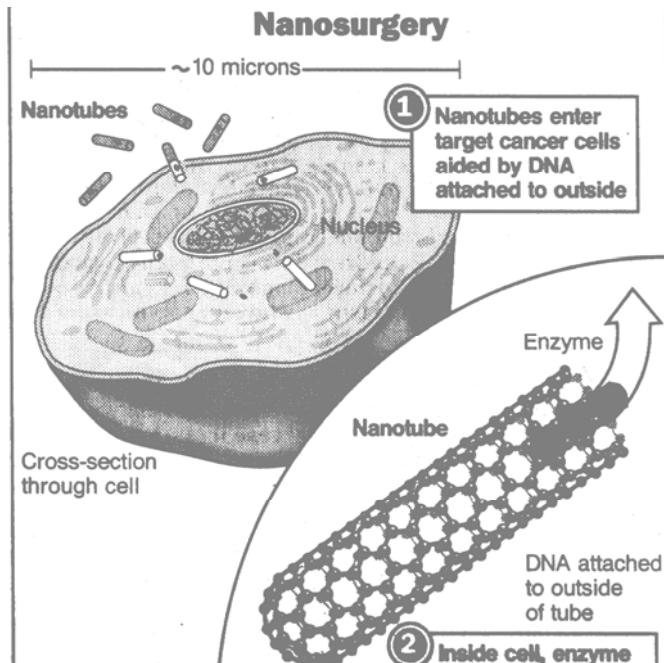


Figure 4.8: The three single-wall carbon nanotubes (5,5), (9,0), and (10,5).

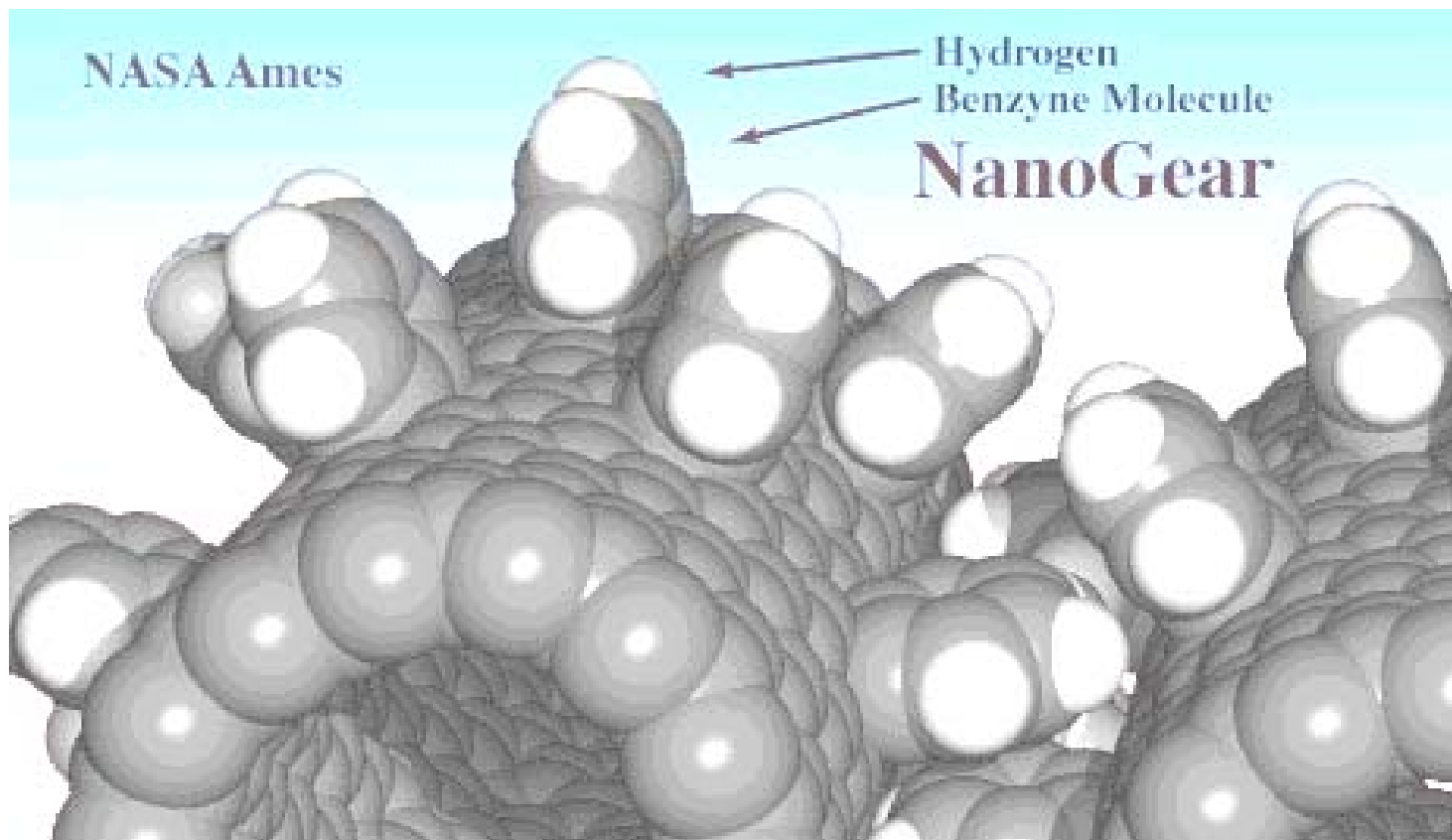
Fulerenai, anglies vamzdeliai

Anglies vamzdeliai yra labai tvirti, todėl gali būti panaudojami mechaninėse sistemose: kurti **superstiprius mechaninius darinius** (JAV kosminė agentūra NASA tyrė perspektyvą sujungti stacionarų palydovą su Žeme. Kitokie lynai nutrūktų savo svorio veikiami, o šis turėtų laikyti).

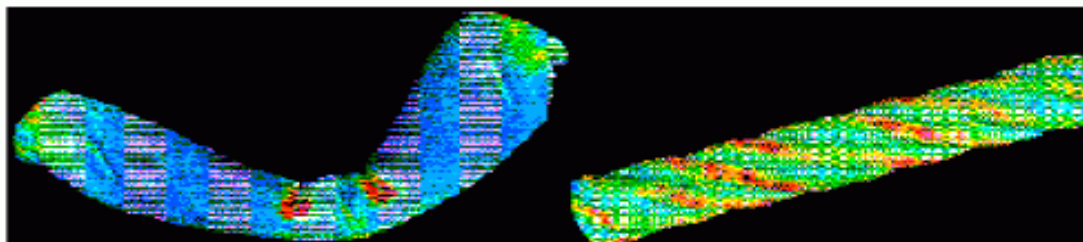


Anglies vamzdelius galima užpildyti kita medžiaga, tuo keičiant vamzdelio bei šios medžiagos savybes, o reikalui esant **šiuose vamzdeliuose galima patalpinti biologiškai aktyvias medžiagas**, t.y., iš jų padaromos kapsulės, į kurias gali būti patalpunami vaistai ar fermentai.

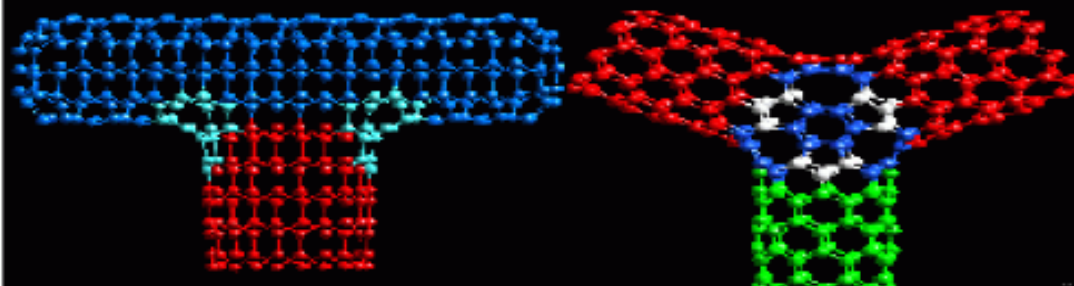
Modernioji medžiagų inžinerija – ateitis elektronikai, mikro-robotikai!?



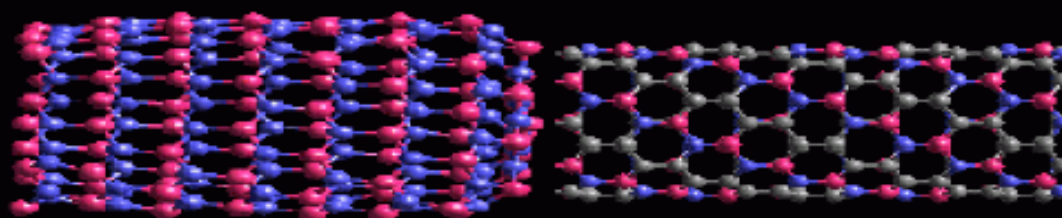
Krumpliaratis robotų konstravimui?



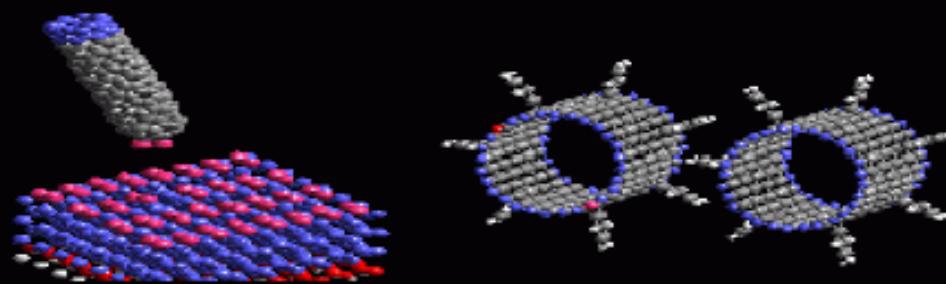
Nanotube – Nanomechanics



Carbon based Nanoelectronics

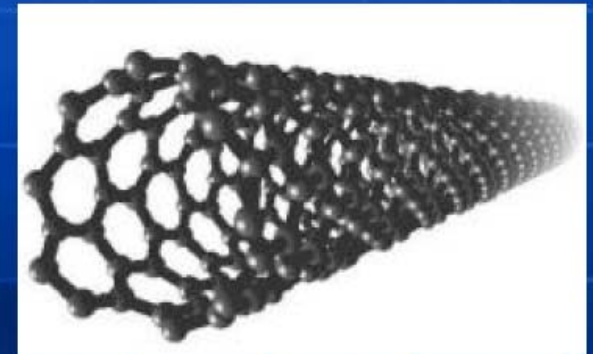
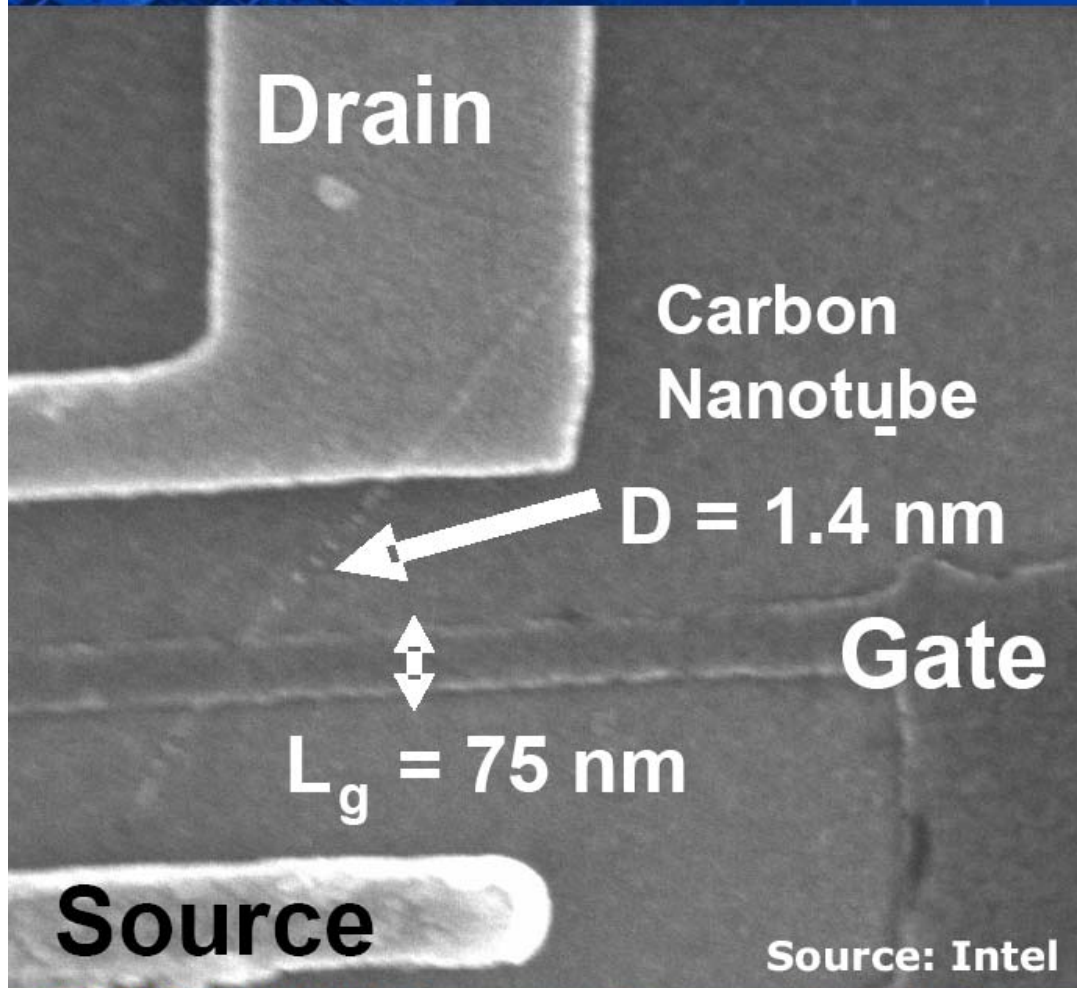


C_xByN_z – Heteroatomic Nanotubes



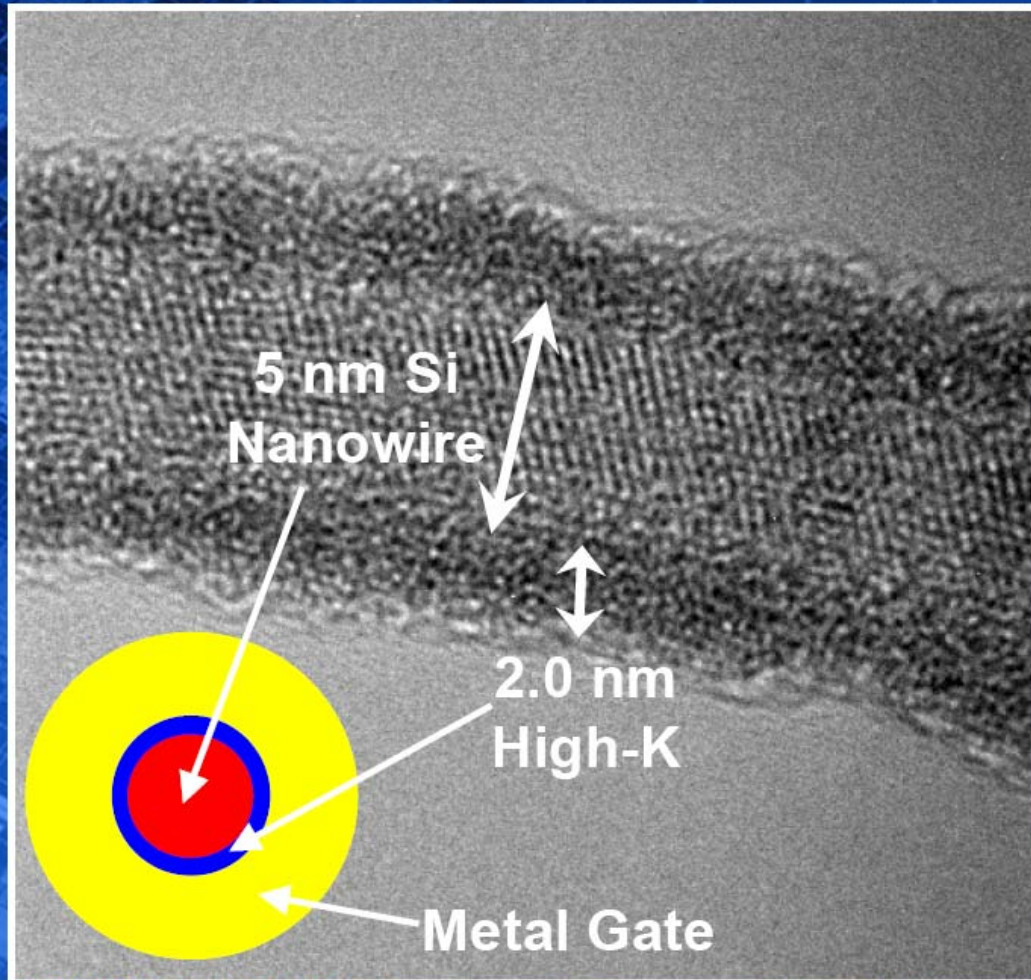
Nano–electromechanical Systems

Carbon Nanotube Transistor



Chemically synthesized semiconducting nanotubes with diameter=2nm form the transistor channel.

Semiconductor Nanowires



Chemically synthesized silicon nanowires with diameters $<20\text{nm}$ (not defined by lithography).



Intel Nanomanufacturing Research

Our Approaches:

■ Nanotube functionalization

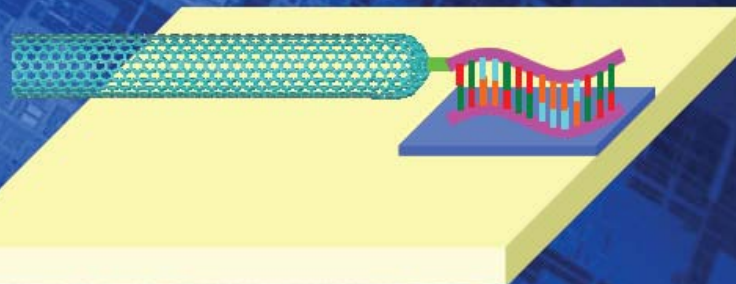
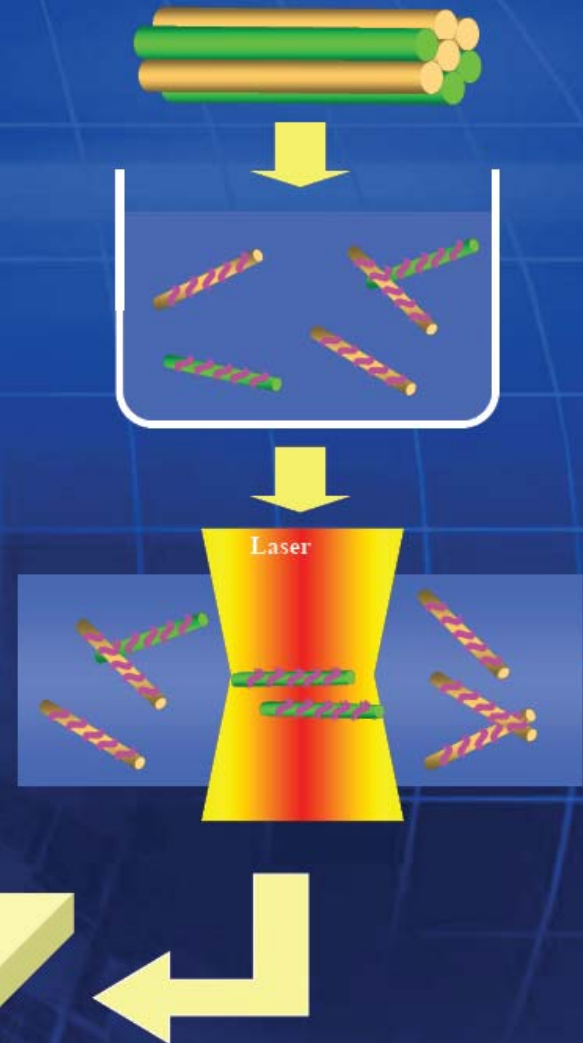
- To isolate individual tubes from mixed bundle

■ Sorting

- Separate nanotube types & sizes

■ Assembly into useful forms

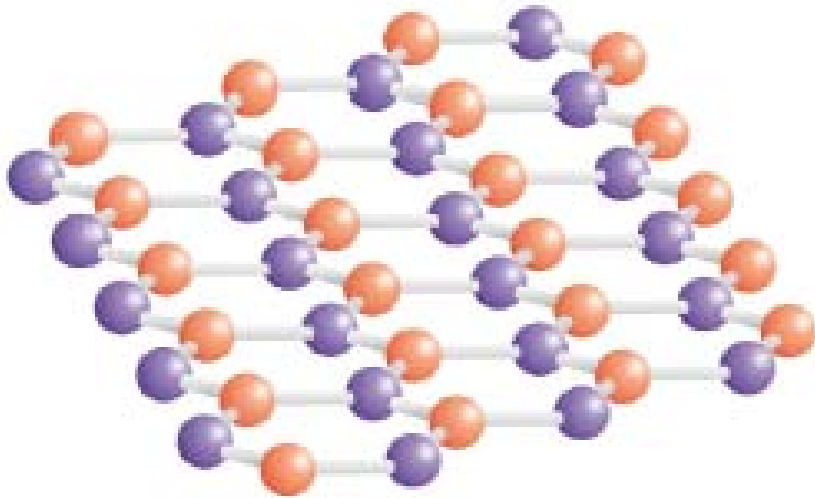
- Directed self assembly



Ką pateiks Grafenas?

Anglis – tri-dimensinė (deimantas, grafitas), vien-dimensinė (anglies vamzdeliai), nul-dimensiniai – fulerenai. Trūko dvidimensinės formos.

Atrastas 2004 m., 2007 pradedamos reklamuoti unikalios savybės



2010 m.



The Nobel Prize in Physics 2007

"for the discovery of Giant Magnetoresistance"

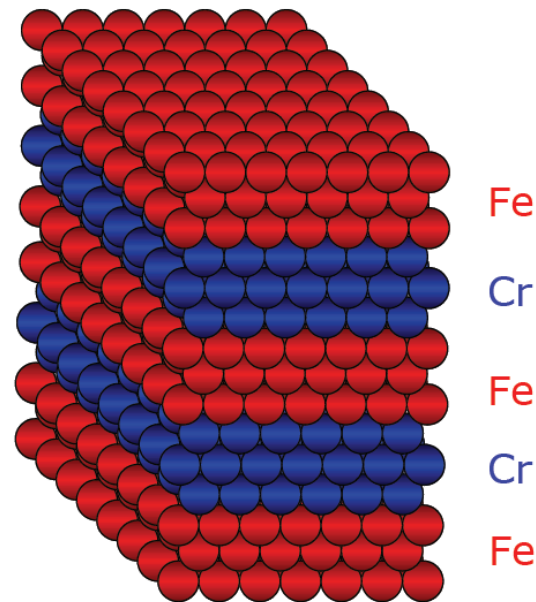


Albert Fert

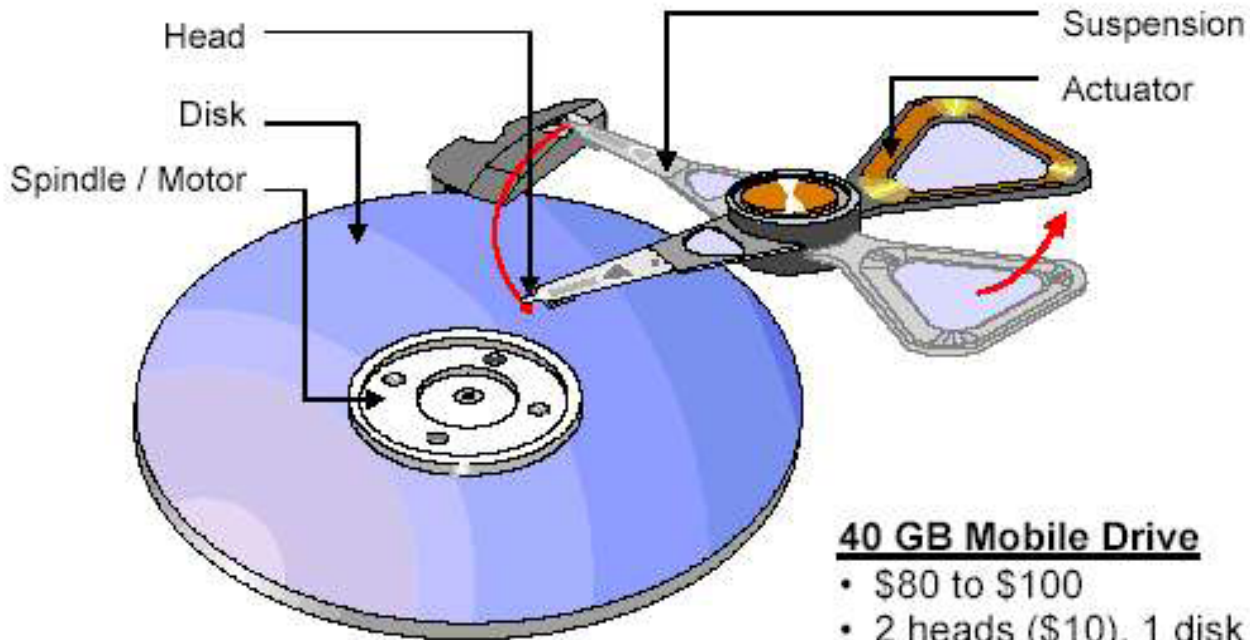


Peter Grünberg

- **Magnetic multilayers**



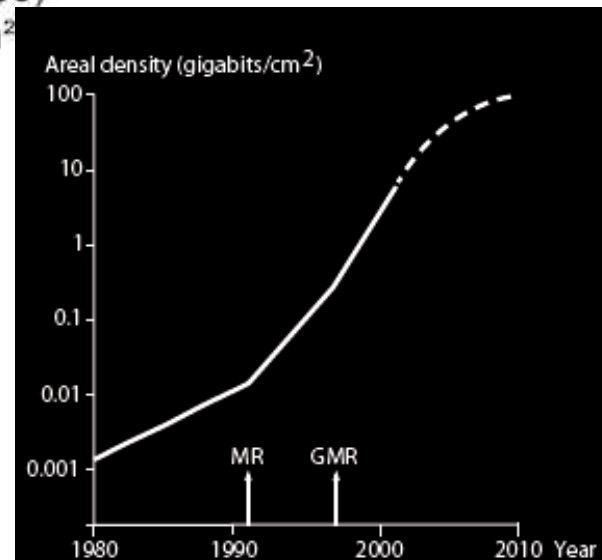
The Magnetic Recording System



40 GB Mobile Drive

- \$80 to \$100
- 2 heads (\$10), 1 disk (\$5)
- 40 Gbit/in² to 80 Gbit/in²

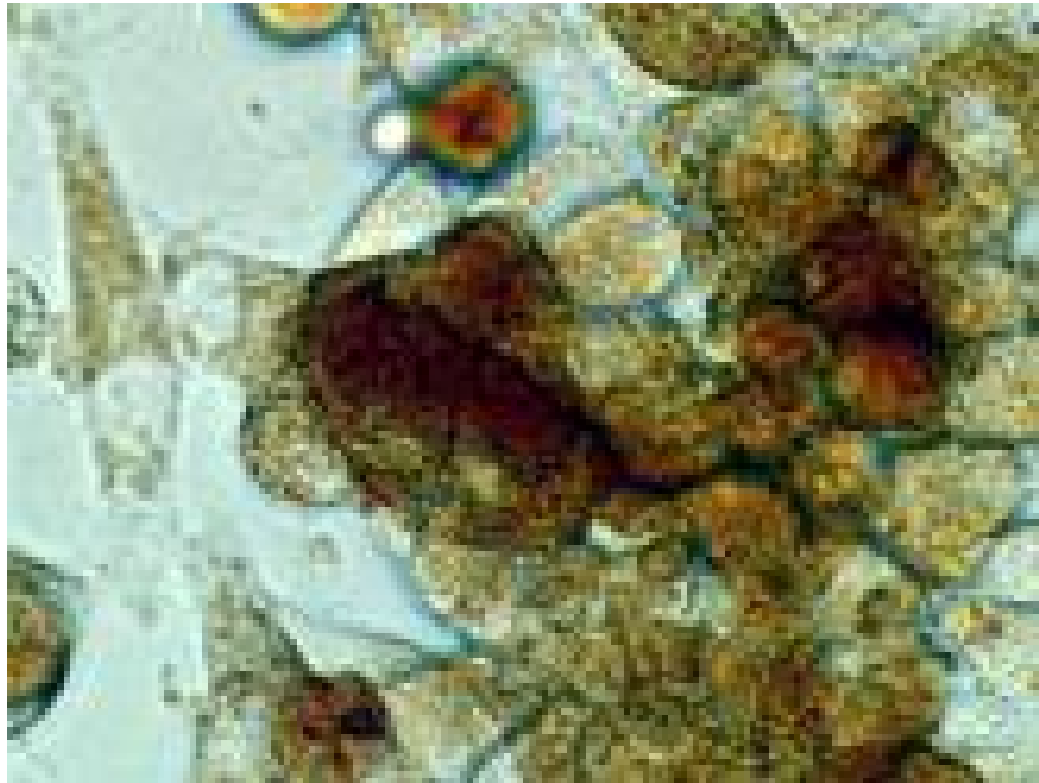
1997 (before GMR) : **1 Gbit/in² ,**
2007 : **GMR heads ~ 300 Gbit/in²**



Kas iš to seka biomedicinai?

- Kai nanoklasteriai panaudojami medicininėje analizėje, jie prikabinami prie DNR atpažįstančio darinio:
 - ir jei šis darinys surado ląstelėje tai prie ko jis gali prikibti, pvz., prie viruso ar vėžio darinio, tada jis lieka ląstelėje ir sužadintas gali būti pastebėtas.
 - Jei nebuvo kur prikibti, tai yra pašalinamas.
- Skirtingiems DNR fragmentams panaudojus skirtingų spalvų nano-priekabas, gaunama paprasta medicininė diagnostika, tam tikslui kuriami specialūs nano-lustai.

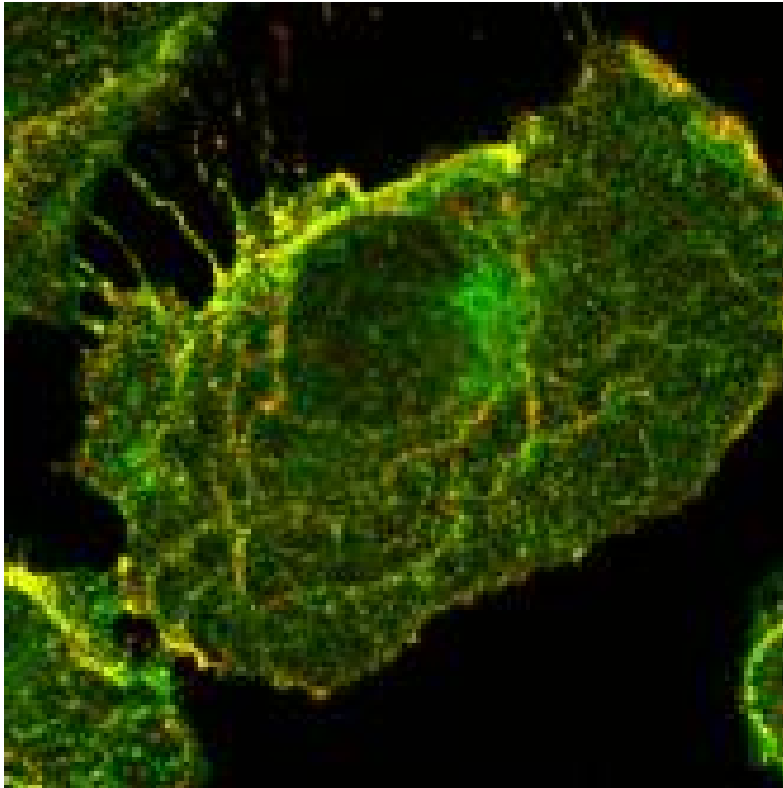
Nano dalelės fizioterapijai



Nanodalelės žmogaus smegenų auglyje

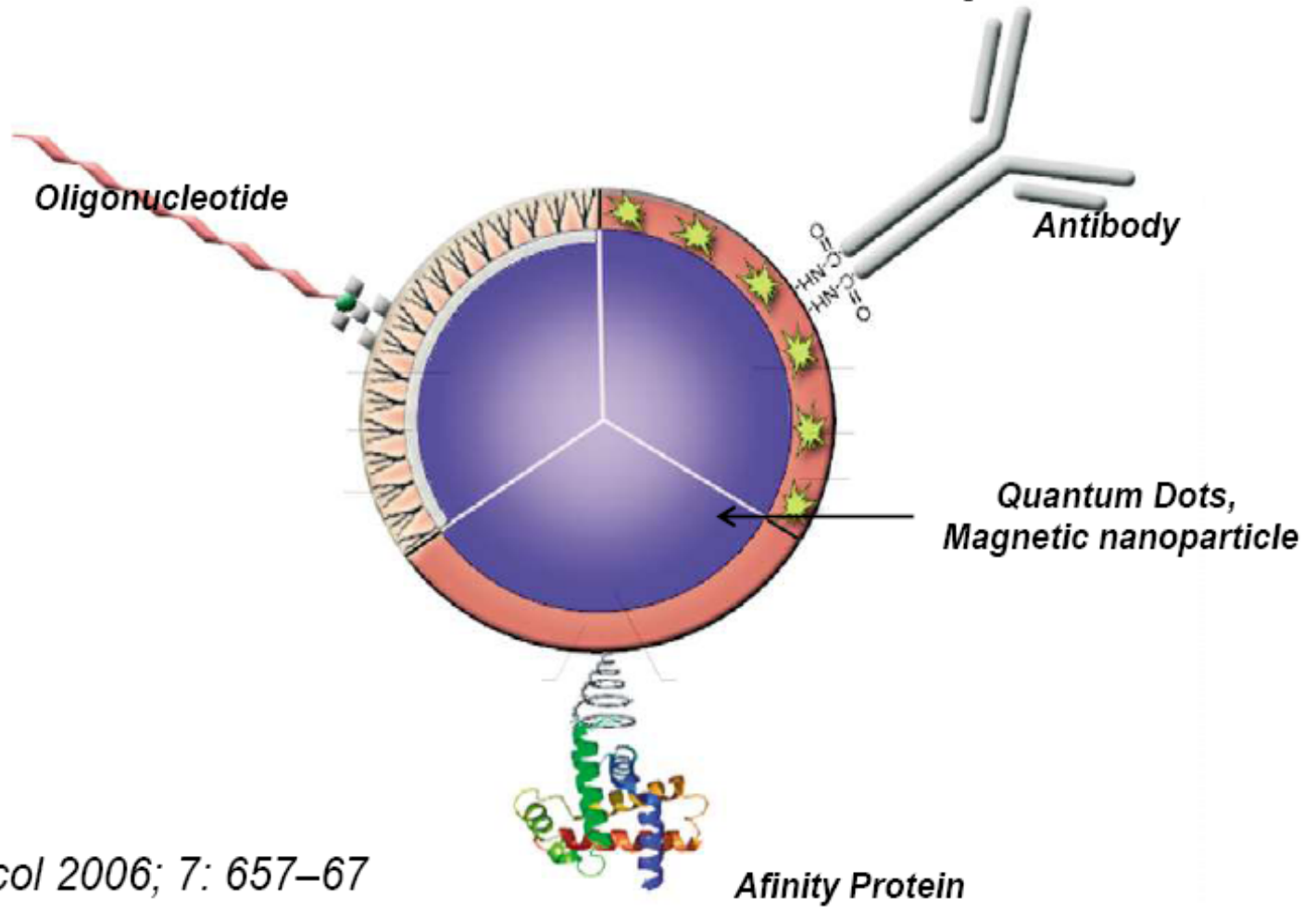
- Geležies oksido nanodalelės ištirpusios vandenyje įvestos į auglio audinį.
- Dėka mažo dydžio jos lengvai patenka į tarpelius tarp ląstelių;
- Dėka magnetinių savybių jos išoriniu lauku yra virpinamos, todėl įkaitina audinį iki $> 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros, kas ardo auglį.

Nanodariniai baltymų atpažinimui



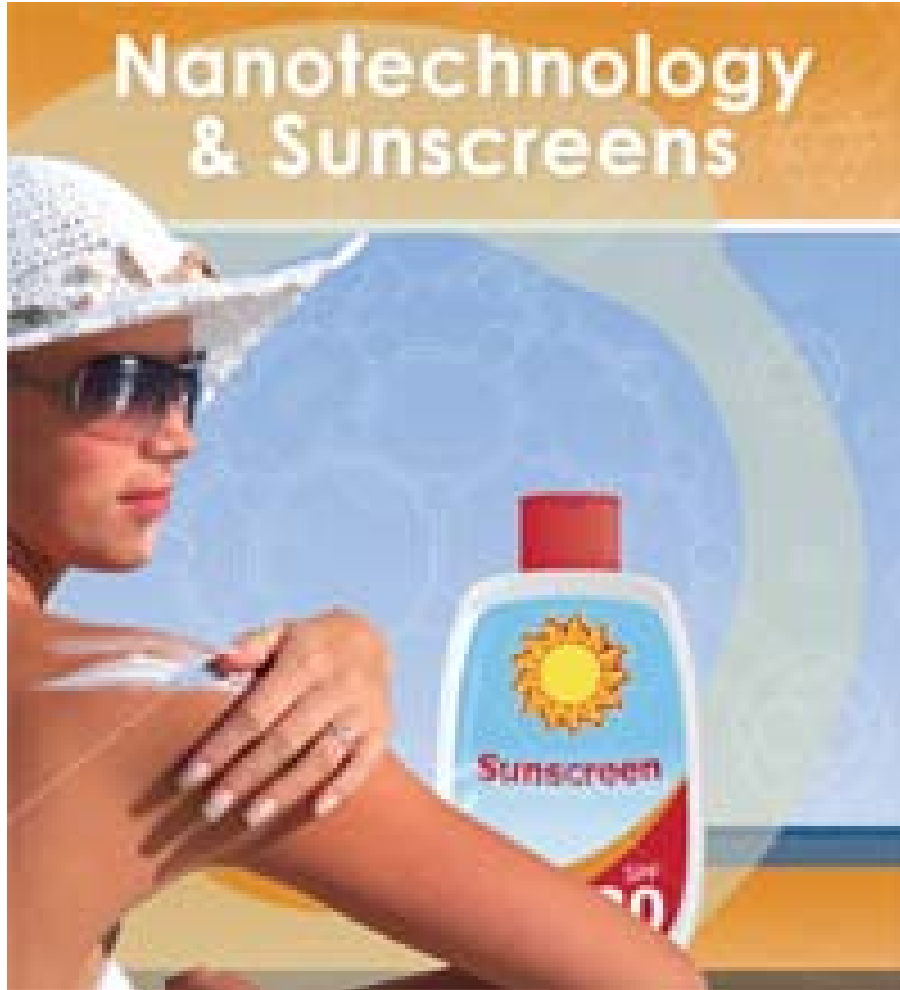
QD (red) in cells
containing the EGF
growth factor
(source: MPI
Göttingen)

Disease Detection - Nanoparticles



Lancet Oncol 2006; 7: 657–67

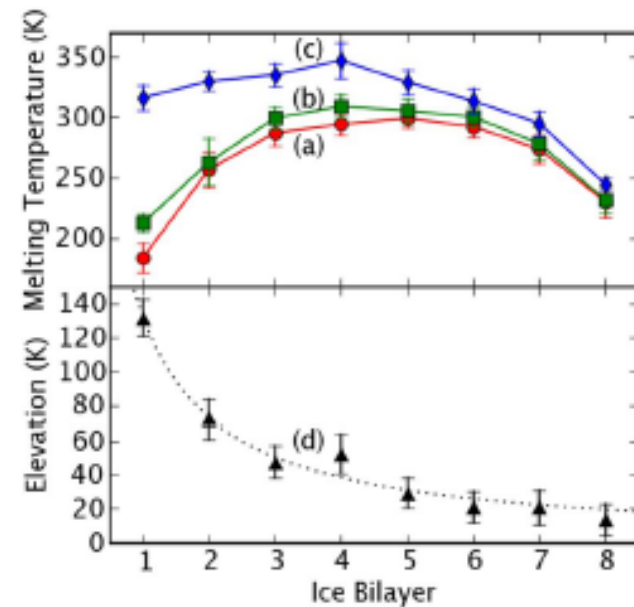
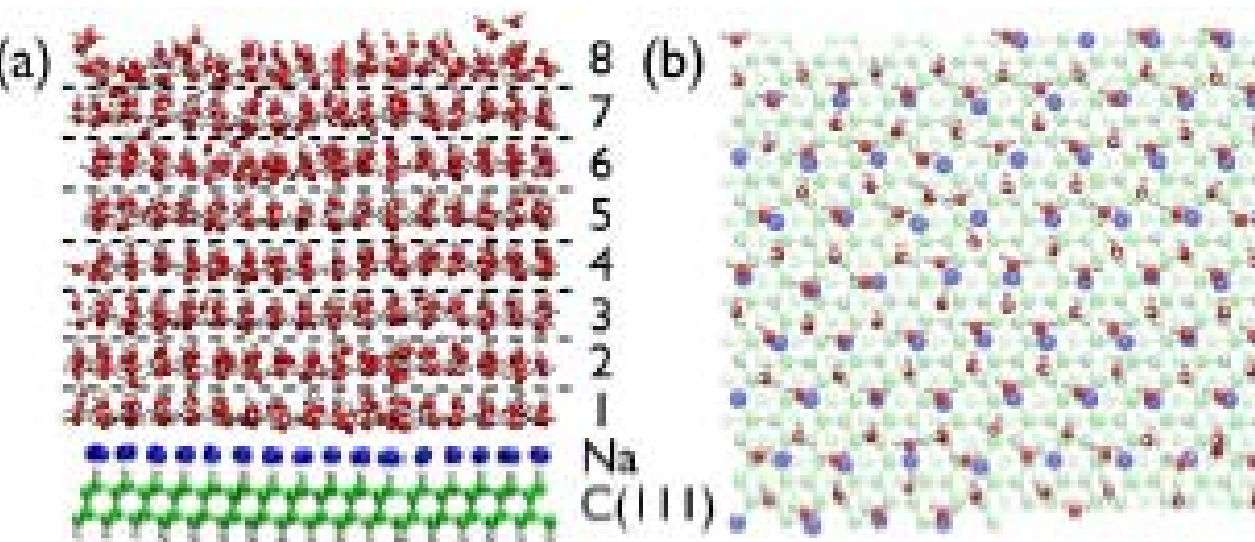
Nanokosmetika



Nanomedžiagos naudojamos jau daugiau negu 116 apsaugos nuo Saulės kremuose, kosmetikos ir asmeninės higienos produktuose, jau esančiuose prekyboje ...

Gręsiantis perversmas
medicinoje:

Nano-ledas (2007) medicinai



Apskaičiuota ledo tirpimo temperatūra ledo dvisluoksniuje sandaroje: a – grynas ledas, b – ledas ant deimanto padengto H atomais, c – ledas ant deimanto (C111) padengto Na atomais. PHYSICAL REVIEW E **76**, 2007; **RAPID COMMUNICATIONS**

Tai reikalinga norint apsugoti žmogaus organus nuo medicininių prietaisų ir implantų poveikio audiniams ir sumažinti baltymų reakciją.

II paskaitos reziume

- Elektronikos elementų mažinimas didina jos efektingumą ir jau pasiekiamas lygis, kada pasireiškia elektronų lokalizacijos efektai, optimizuojamos naujos konfigūracijos (siūliniai lauko tranzistoriai)
- Vieno elektrono tranzistorių technologija pagrįsta nanodarinių saviorganizacija
- Anglies atomų saviorganizacija – fulerenai, anglies vamzdeliai bei “prievartinė” sandara – grafenas - atveria naujas perspektyvas
- Naujovės kyla ir iš kitų medžiagų (nanoledas, magnetiniai dariniai mikrošildymui, apsaugai nuo UV)
- Nanostruktūros – biotechnologijai (markeriai) ir informatikai (magnetinių ir elektrinių savybių sąryšis – gigantiškas magnetovaržinis efektas)