

Nanosandaros ir jų technologijos

“Moderniosios medžiagų technologijos”
dalyko paskaitų ciklas Moderniųjų
technologijų fizikos ir vadybos programos
studentams

I-ma paskaita

Ciklo sudėtinės dalys:

- Nano-dariniai: kodėl jie išskiriami ir kas juose patrauklu;
- Nanodarinių formavimas
- Nanodarinių savybės.

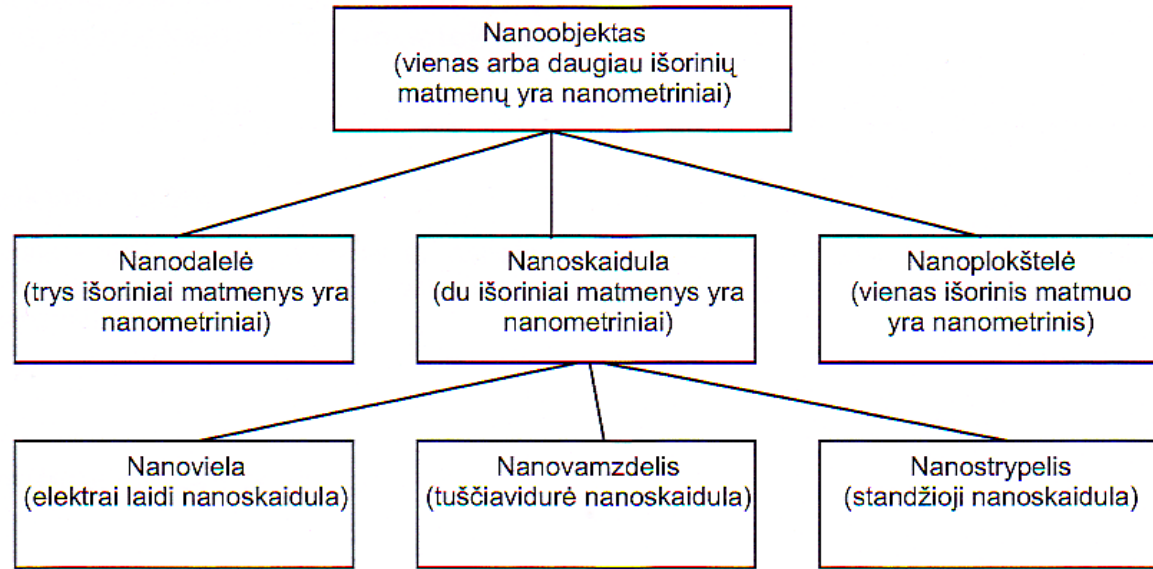
Nanodariniai

Formaliai nano-dariniai, nanomokslas yra ten, kur dalelių-veikėjų bent vienas matmuo yra mažesnis už 100 nanometrų (miliardinių metro, milijoninių milimetro dalių):

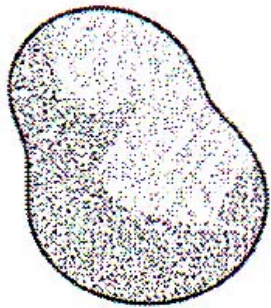
- **Tai formalus, ES standarto apibrėžtas teiginys, labai naudingas, norint pastebėti tuos, kurie stengiasi prisišlieti prie nanotechnologijų plėtrai skirtų lėšų, nors patys dirba su kitokiais objektais.**

ES standartas

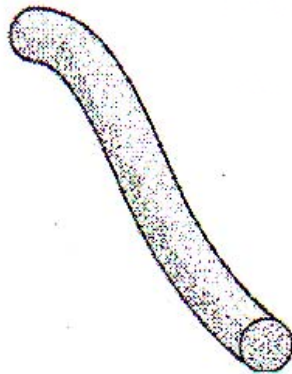
LST CEN ISO/TS 27687:2009
ISO/TS 27687:2008 (E)



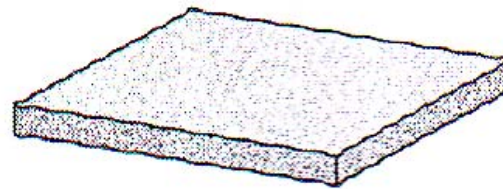
2 paveikslas. Nanoobjektų terminų hierarchijos fragmentas



a) nanodalelė



b) nanoskaidula

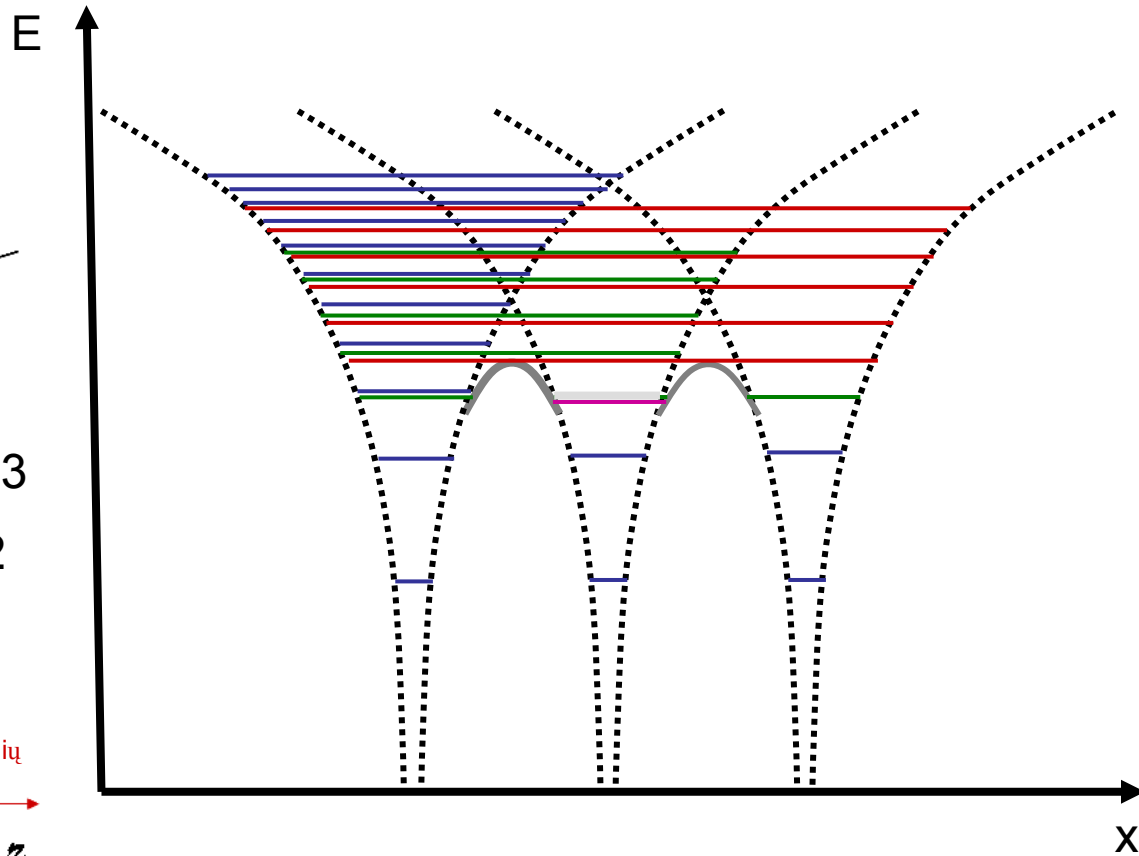
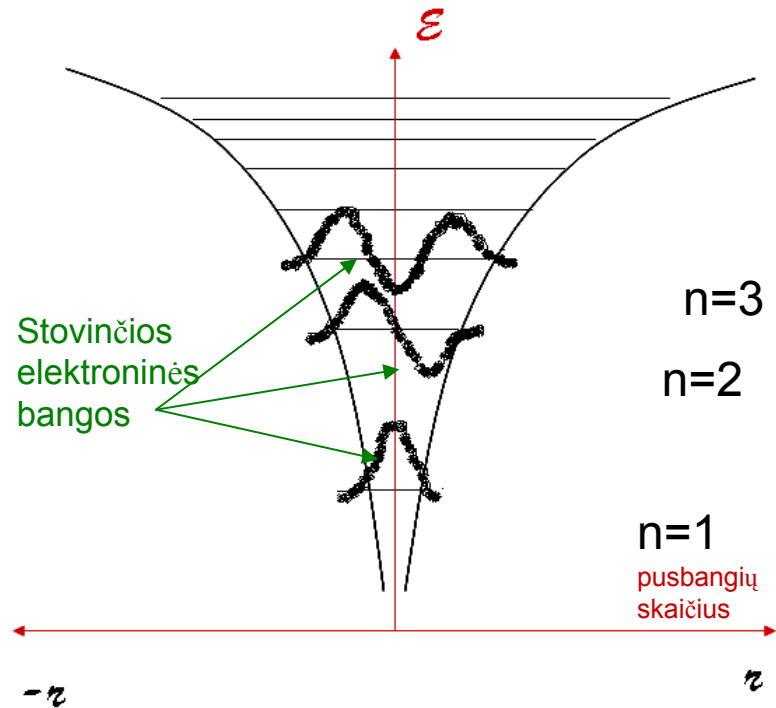


c) nanoplokštelė

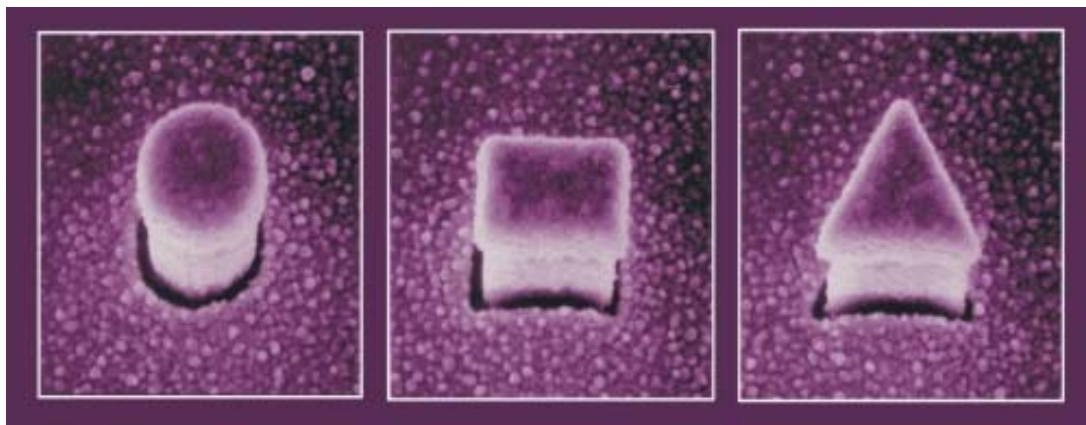
1 paveikslas. Scheminis kai kurių nanoobjektų formos vaizdas

Kuo ypatingi nanodariniai?

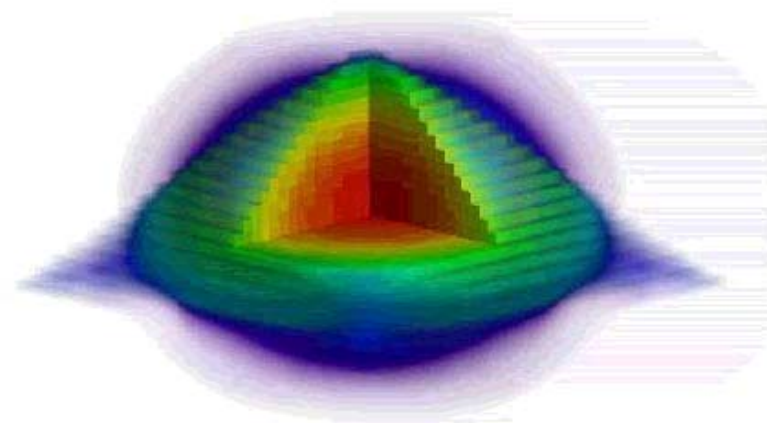
Reikia prisiminti atomo energinę sandarą:



Elektroninė litografija ir mikroskopija: įvairios formos taškai



Elektrono pagrindinės būsenos banginė funkcija piramidės formos kvantinėje duobėje.



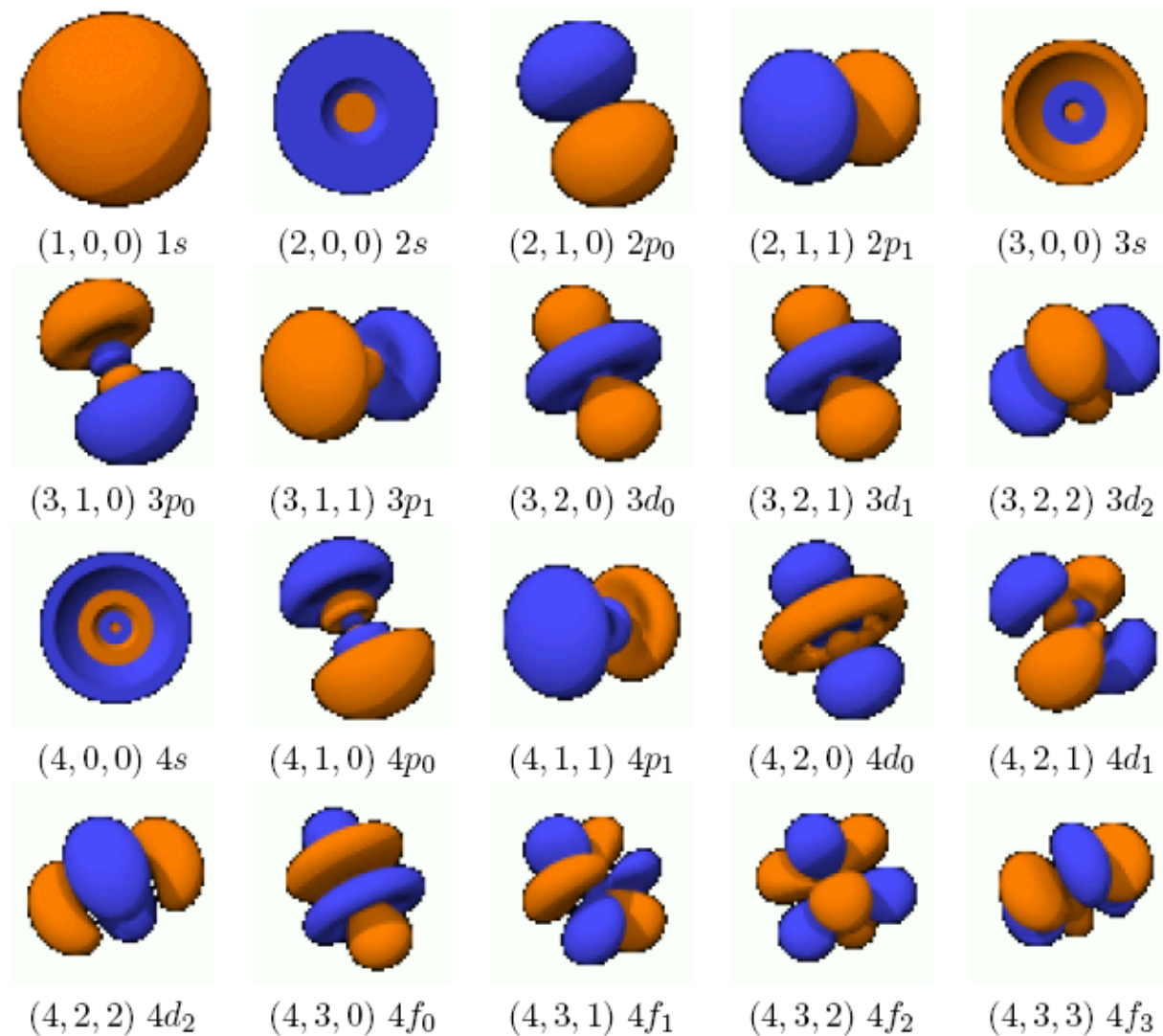


Figure 4.1: The shape of the electron orbitals $\psi_{nlm}(\mathbf{r})$ in a hydrogen-like atom for $n = 1, 2, 3, 4$, while $l = 0, 1, \dots, n - 1$, and $m = 0, 1, \dots, l$. Each orbital is labelled by (n, l, m) and the standard code nX_m , where $X = s, p, d, f$ for $l = 0, 1, 2, 3$, respectively. Change of m to $-m$ does not change the shape of the orbital.

Ką sąlygoja elektronų įspraudimas nanodarinyje?

- Keičiama būsenų energija! Dėl to keičiasi cheminės savybės.
- Keičiasi būsenų energijų skirtumas! Dėl to keičiasi darinio optinės savybės.

Ką sąlygoja elektronų įspraudimas nanodarinyje?

- Įsprausti viena kryptimi elektronai judėdami kitomis kryptimis mažiau sklaidomi, **todėl jie juda greičiau.**
 - Todėl kompiuteris dirbs sparčiau, jei jo tranzistoriai bus su įspraustais į plokštumą elektronais
- Kuo didesniu mastu (keliomis kryptimis) jie įsprausti, **tu mažiau sklaido energiją.**

Elektrinis 2D sluoksnio laidumas magnetiniame lauke

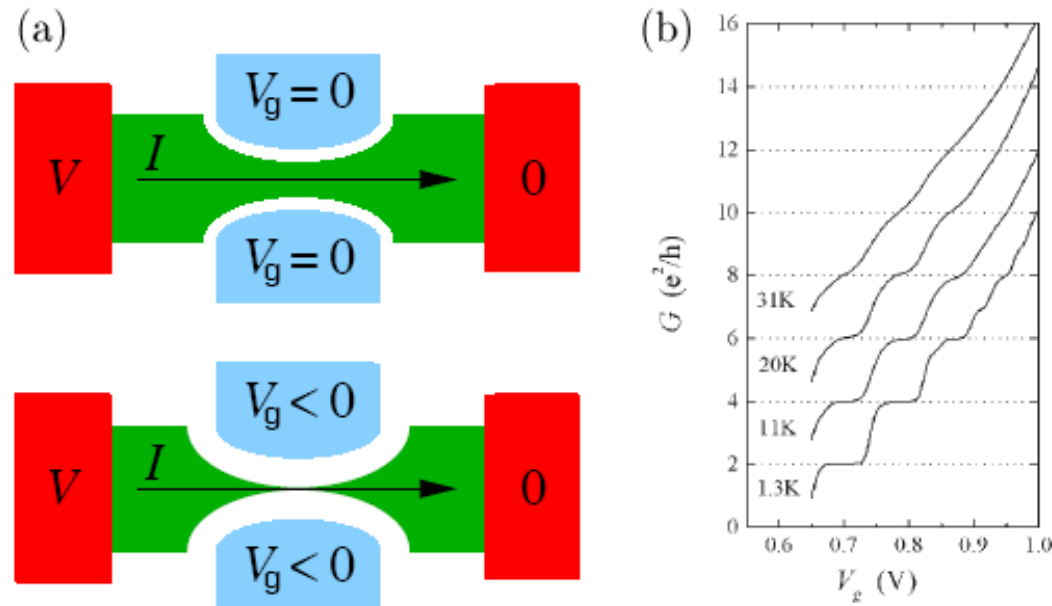
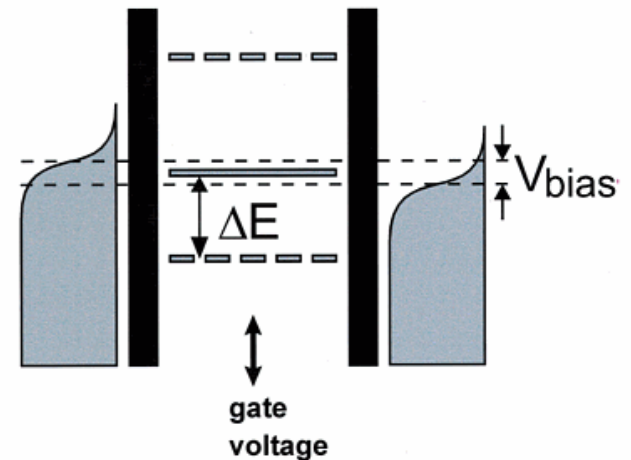


Figure 6.9: (a) The principle in measuring the quantized conductance of a point contact. The channel width is controlled during the experiment by tuning the voltage V_g on the gate electrodes. (b) Measurements of the conductance G versus gate voltage V_g at $T = 1.3, 11, 20,$ and 31 K. The curves are displaced vertically for clarity.

I-ma reziume

- Nanodariniams būdinga diskretiniai lygmenys (ta kryptimi, kuria yra nanomatmuo, susidaro stovinti elektroninė banga)
- O jei tarp “makro”-laidininkų yra nanodariny, arba yra gretimi nanodariniai, tada tarp lokalinių būsenų galimi tuneliniai šuoliai
- O jei vyksta šuoliai, tada diskretinės būsenos virsta siauromis juostomis

Resonant tunneling through discrete electron states

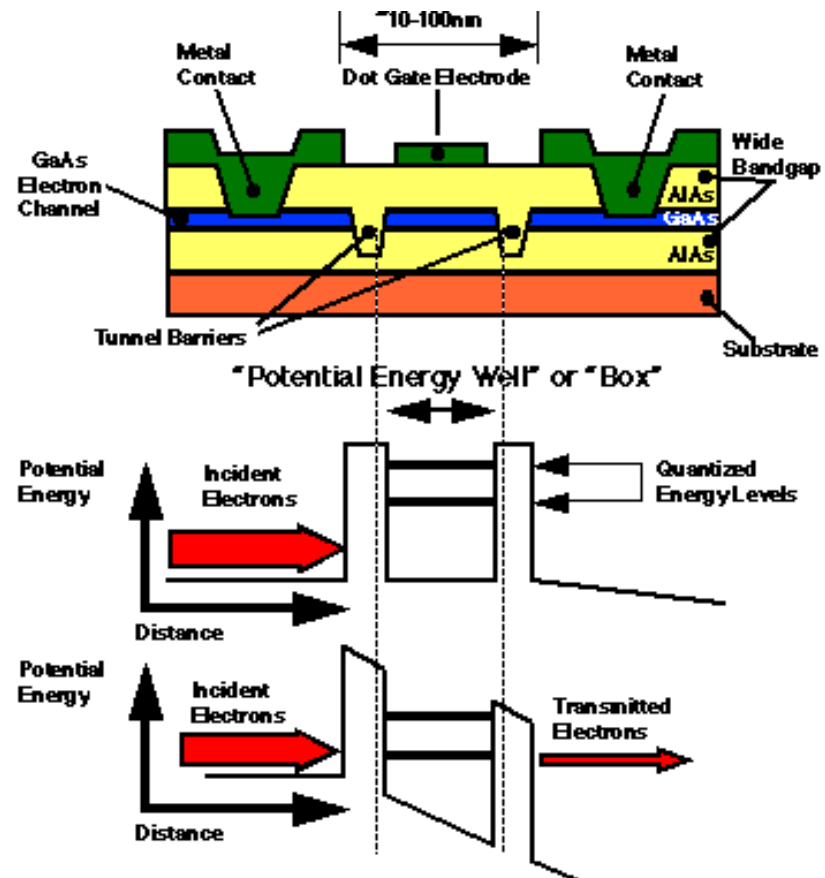


→

- discrete electron state: probe transport through a **single molecular orbital**
- molecular wave functions are **extended** over large distance, i.e., at least from contact to contact (140 nm).
- electrons are not strongly localized

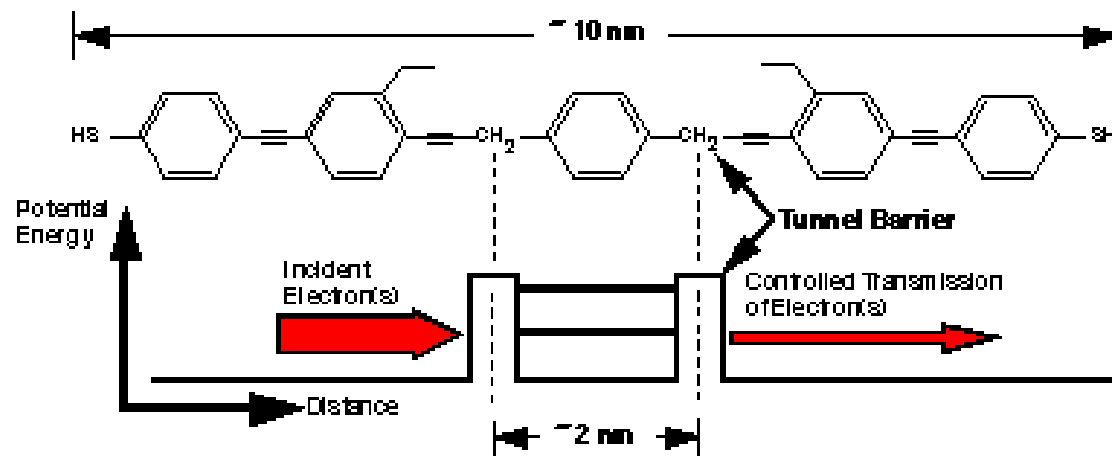
Tuneliavimas

- Schematic of RTD built from III/V compounds—
“low-energy” GaAs sandwiched between
“high-energy” AIAs to make a “quantum well”
- RTD “Off”
Energy of incident electrons in channel does *not* match that of energy level in “well”
- RTD “On”
Energy of incident electrons in channel *does* match that of energy level in “well”



Tuneliavimas organiniame darinyje

- Molecule can act as wire or as resonant tunneling diode
- Methylene groups create “barriers” along a molecular wire to control transmission of electrons through a quantum well



- Advantages:
 - Molecules much smaller and every one is exactly alike
 - Easily can be made in vast numbers (10^{23} at a time)

Juostinės sandaros inžinerija - supergardelė

Taikymai:

terahercinė elektronika (Blocho osciliacijos),

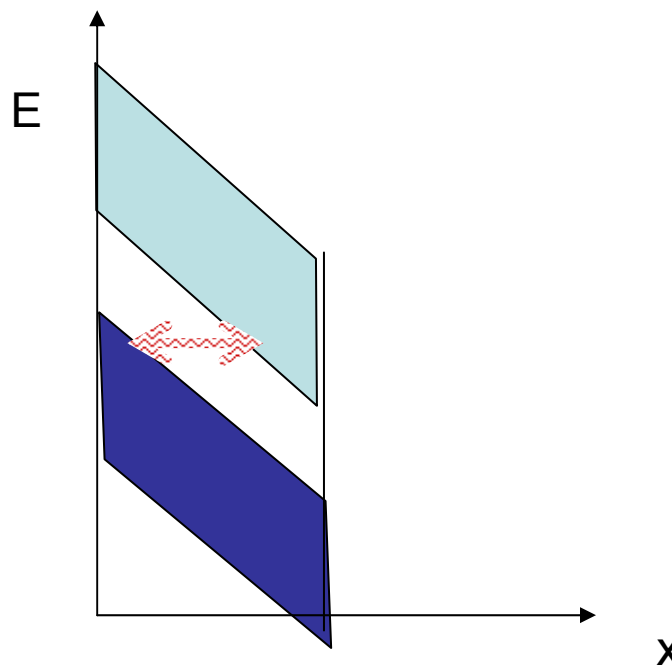
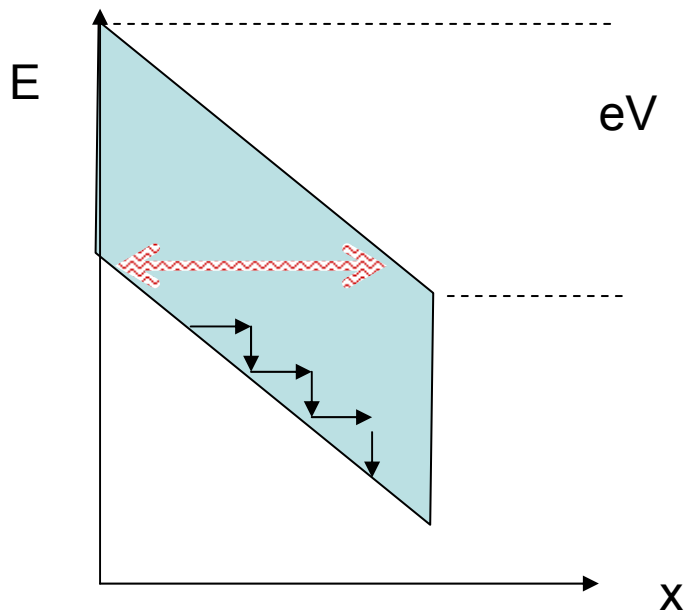
spintronika (gigantiškas magnetovaržinis efektas)

Testas

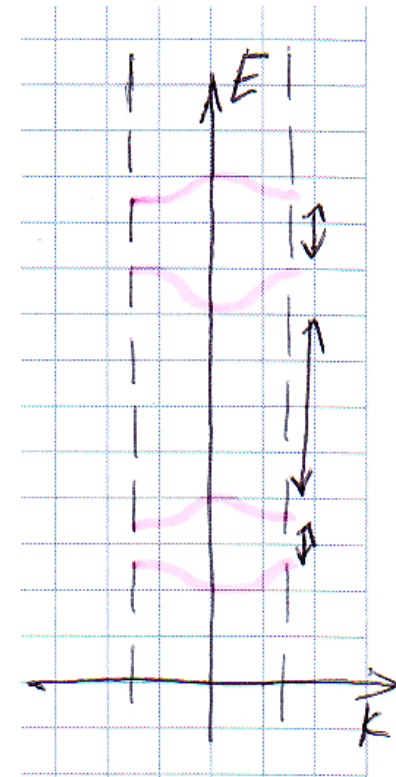
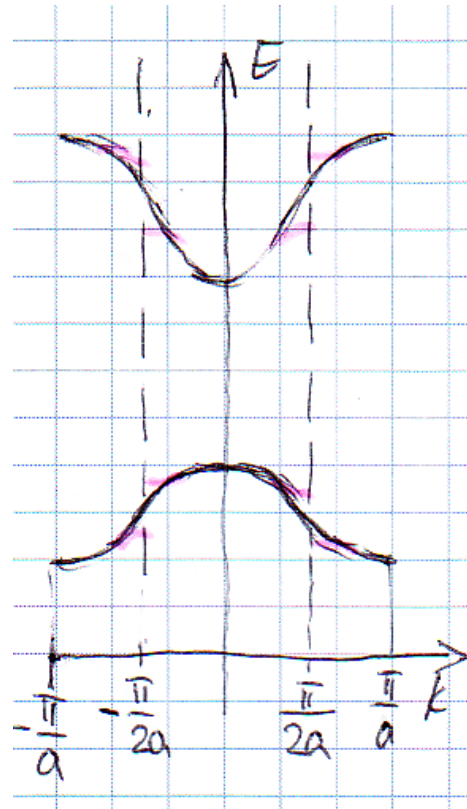
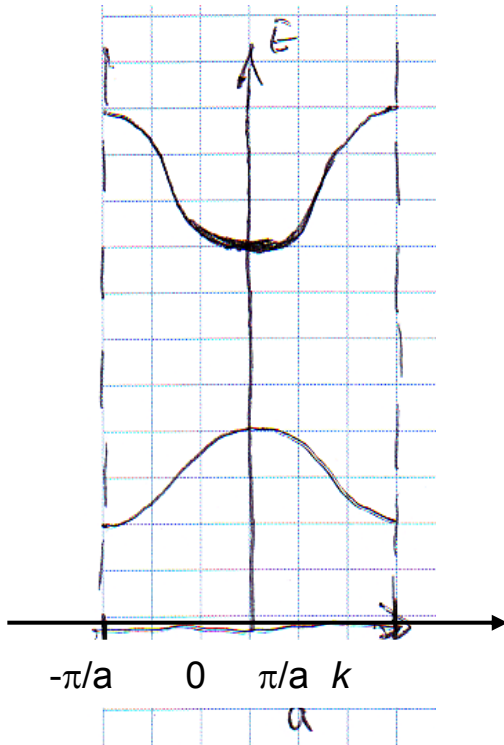
- Koks bus laidininko elektrinis laidumas, jei elektronams egzistuos “idealias” sąlygos (jų niekas – fononai, kiti elektronai, priemaišos - nesklaidys)?

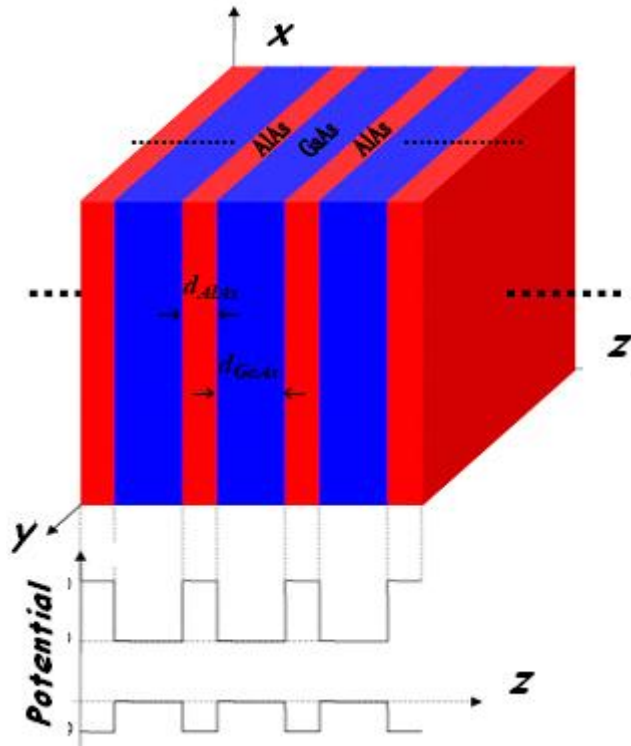
Laisvas (nesklaidomas) elektrons laidume

- Elektronas kristale sudaro stovinčias bangas
- Elektrinis laukas potencinis, todėl būsenos energija jame keičiasi
- To pasėkoje vyksta tuneliavimas tarp būsenų: Blocho osciliacijos, Zinerio efektas



Mini-juostų susidarymas





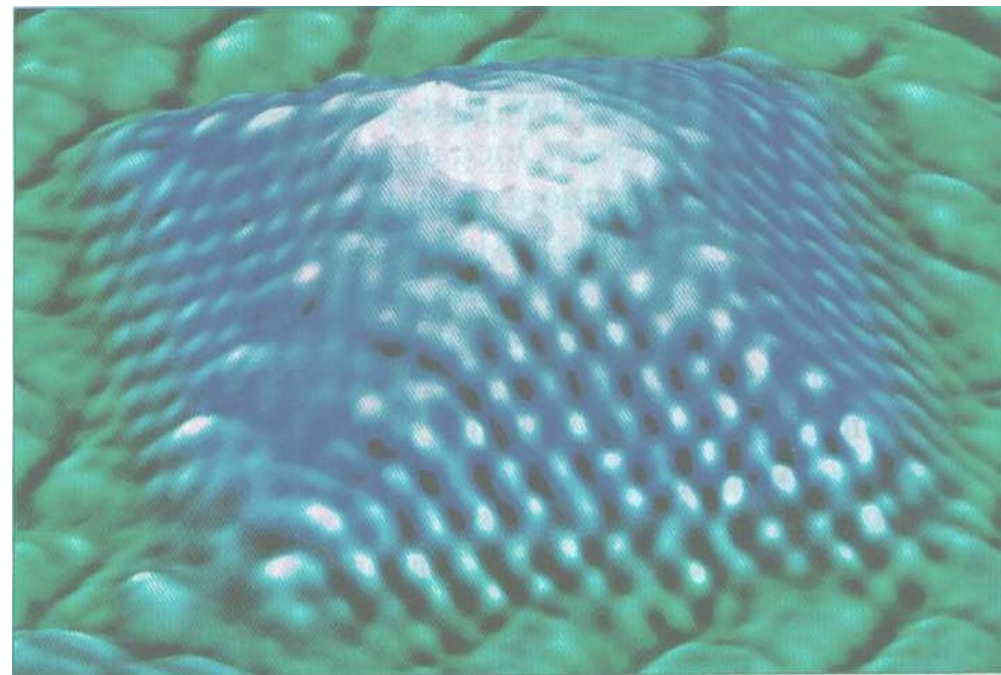
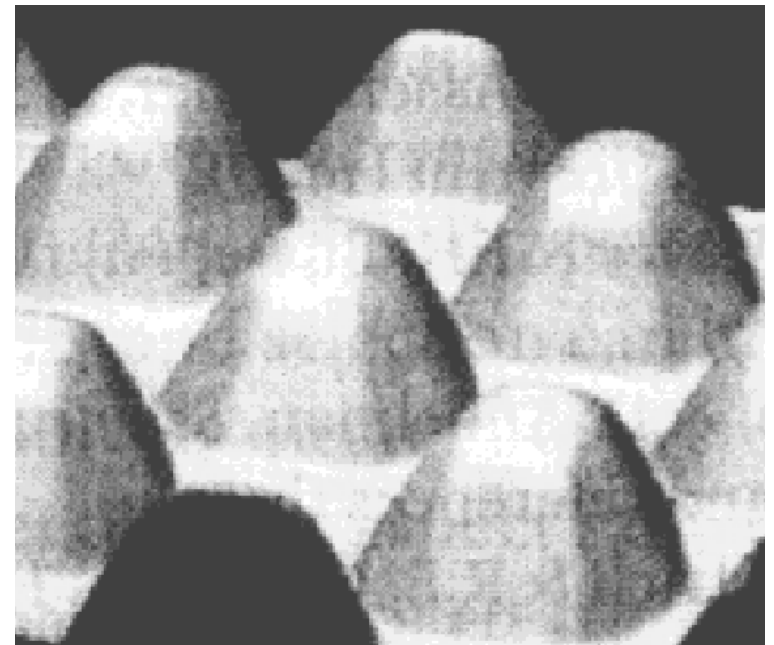
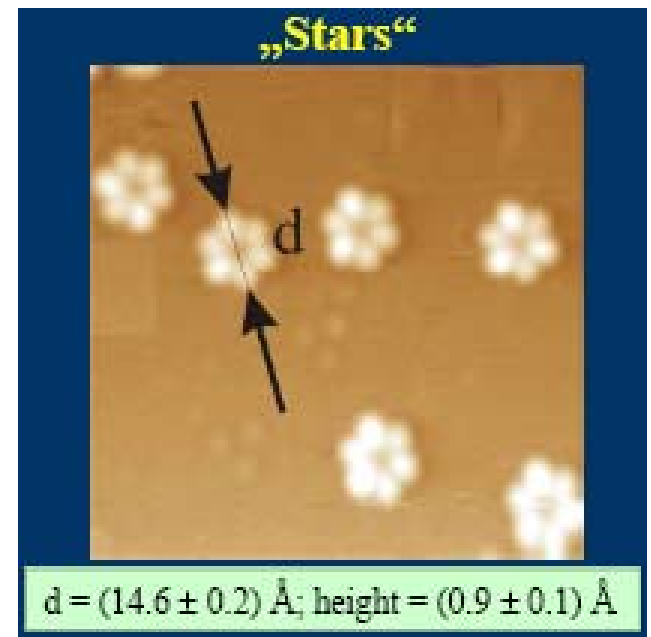
	coupling T_1	voltage drop eFd	scattering $\Gamma = \hbar/\tau$
Miniband conduction 	exact: miniband	acceleration	golden rule
Wannier-Stark hopping 	exact: Wannier Stark states		golden rule
Sequential tunneling 	lowest order	energy mismatch	"exact" spectral function

Kas būdinga nedideliame atomų ansamblyje?

- Atomai išsidėsto taip, kad būtų minimali betvarkė.

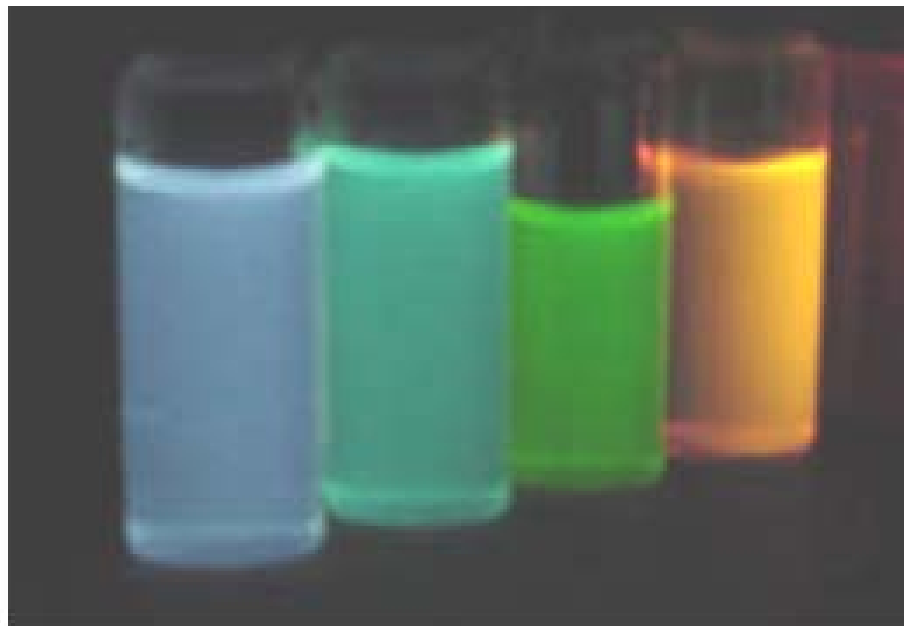
Tai reiškia, kad visi atomų klasteriai (dariniai), jei vienodas jų dydis, yra vienodi !!!

Vienodi klasteriai



A pyramid of germanium atoms that formed spontaneously when germanium was deposited onto a silicon surface. Each round feature in the image is an individual atom. The pyramid is one of a billion others that formed on a sample 0.1 cm^2 . Its base is 10 nm wide

Spalvos priklausomybė nuo klasterio dydžio



Nudažytos CdSe nanodariniiais polistirolio mikrosferos

Švyti skirtingo dydžio CdSe nanoklasteriai (Sužadintas CdSe kristalas švyti labai tamsia raudona spalva)



Sugertis ir liuminescencija = $f(\textit{nano-dydžio})$

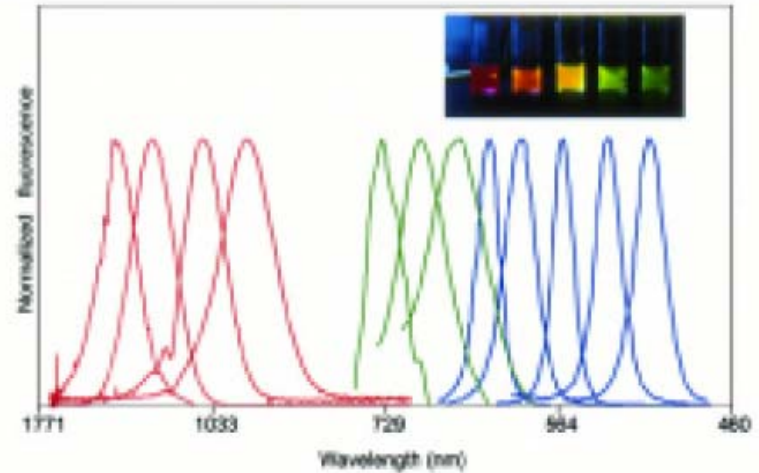
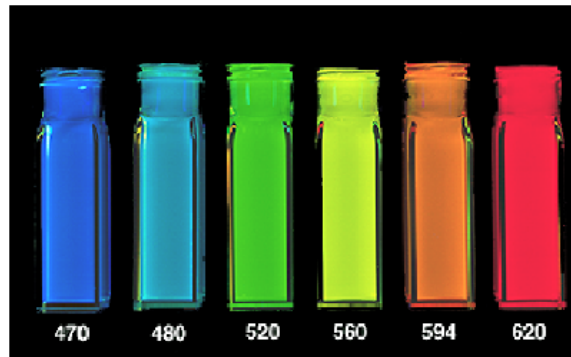
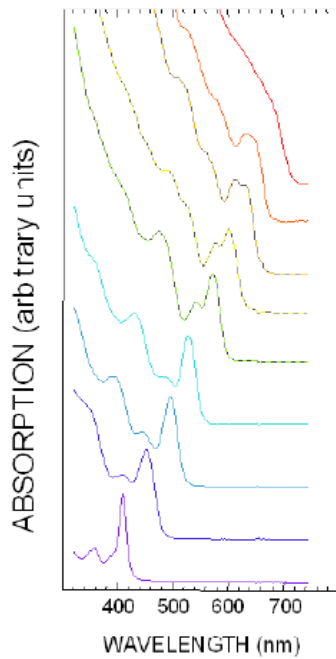


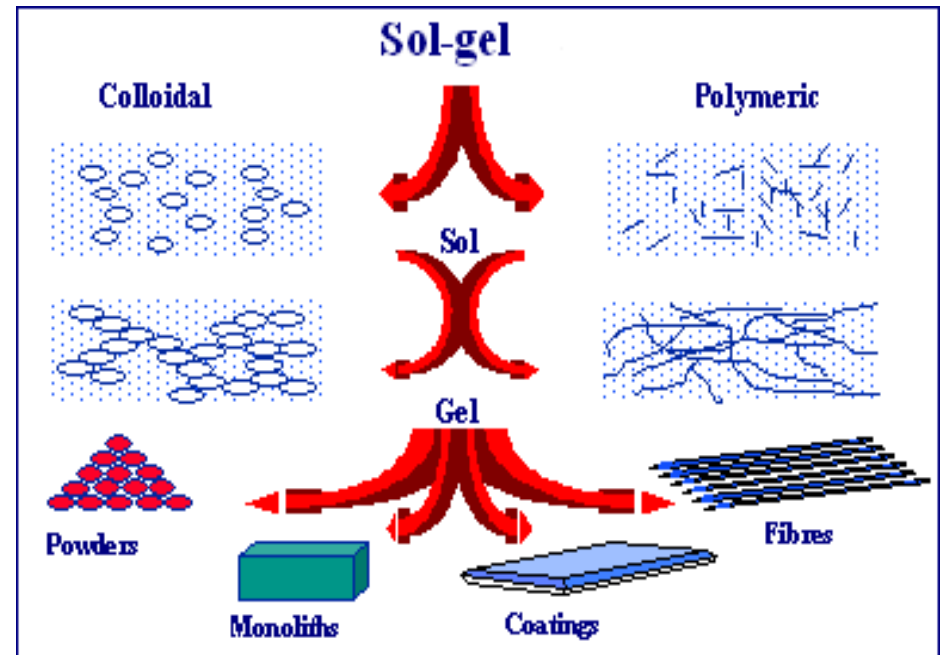
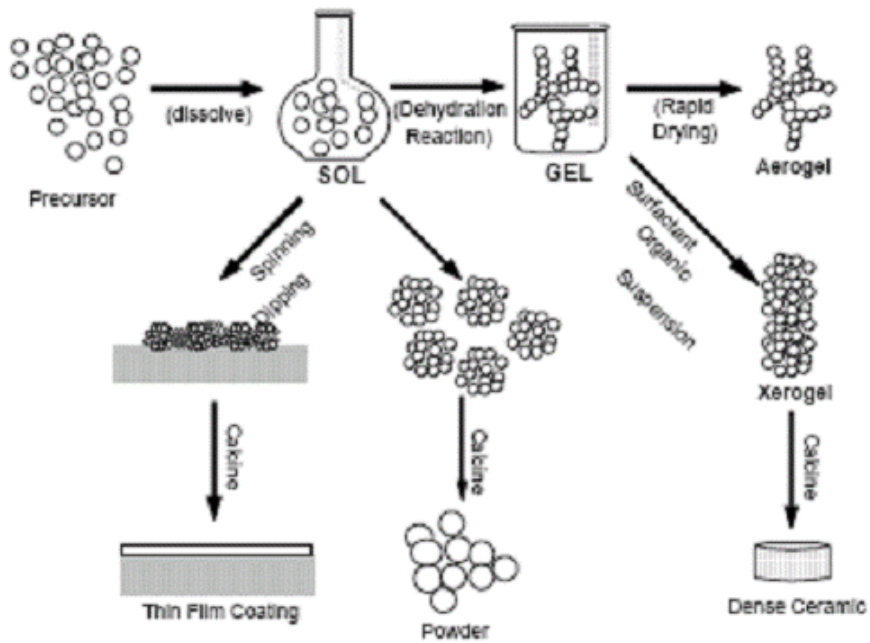
Figure 6.33. Two Representations of Quantum Confinement:

Left - Spectrographic Display (C.B. Murray, MIT), Right - Photograph (F. Frankel, MIT).
 red = InAs (2.8-6.0 nm dia.), green = InP (3.0-4.6 nm), blue = CdSe (2.1-3.6 nm)
 The inset shows a set of different-sized, fluorescing CdSe particles in aqueous solution

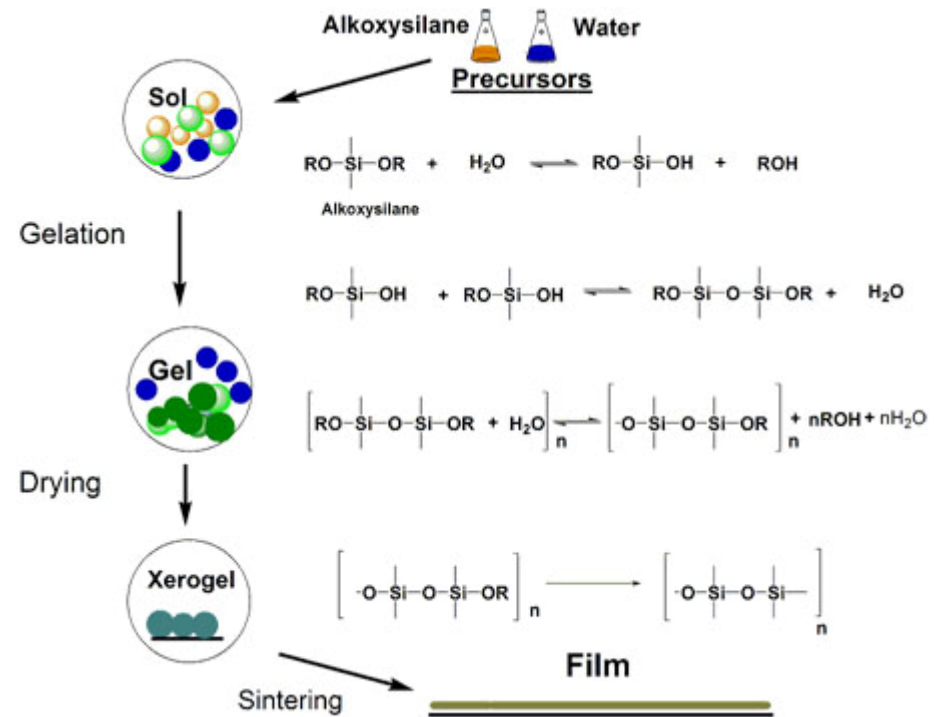
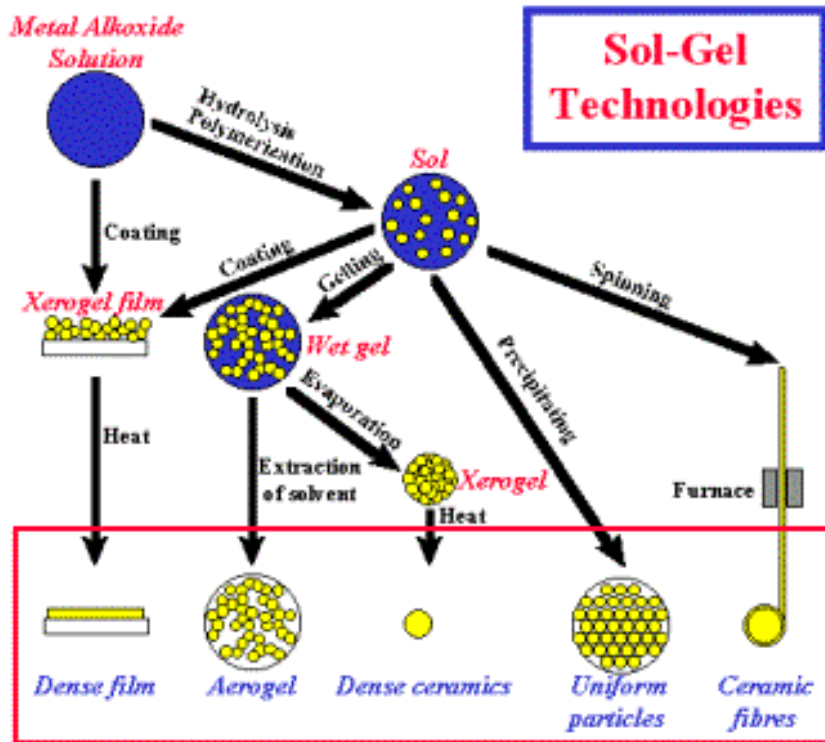
Nanodarinių formavimas

- Nano-sluoksniai
- Nano-ansambliai:
 - Paviršiaus padengimas
 - Keramika
 - Kompozitai
- Nano-intarpai
- Nano-struktūros

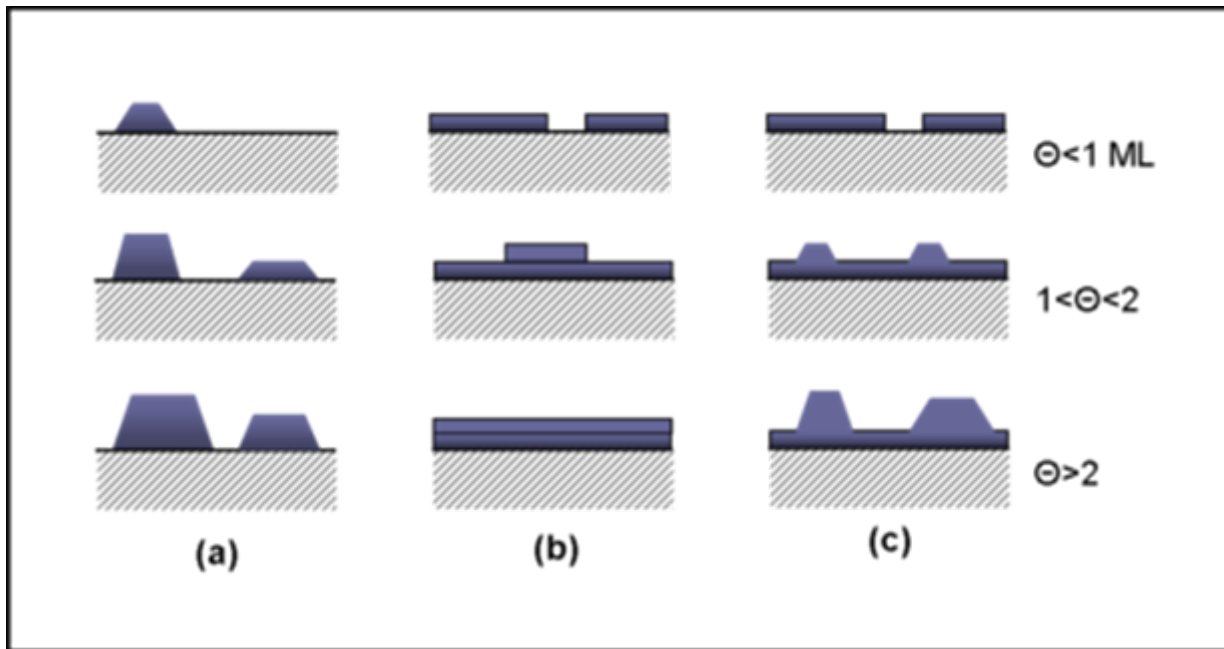
Sol-Gel



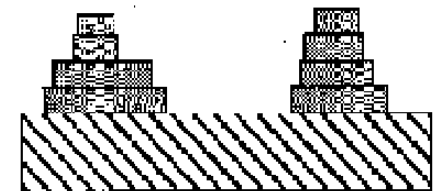
Sol-gel



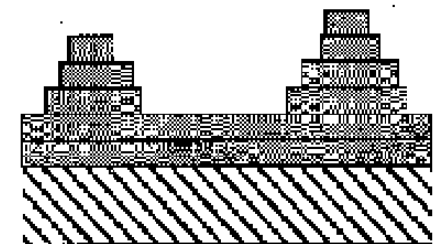
Deposition Grade Silanes comprise alkoxysilanes and their predecessors chlorosilanes typically used in a Sol-Gel process. Transformations of alkoxysilanes during the processing proceed through a series of subsequent hydrolysis, condensation and thermal treatment steps briefly outlined in **Figure 1**.



Frank-van der Merwe



Volmer-Weber



Stranski-Krastanov

Figure 1. Cross-section views of the three primary modes of thin-film growth including (a) Volmer-Weber (VW: island formation), (b) Frank-van der Merwe (FM: layer-by-layer), and (c) Stranski-Krastanov (SK: layer-plus-island). Each mode is shown for several different amounts of surface coverage, Θ .

Volmer-Weber growth of thin films

Citable URI: <http://hdl.handle.net/1721.1/29912>

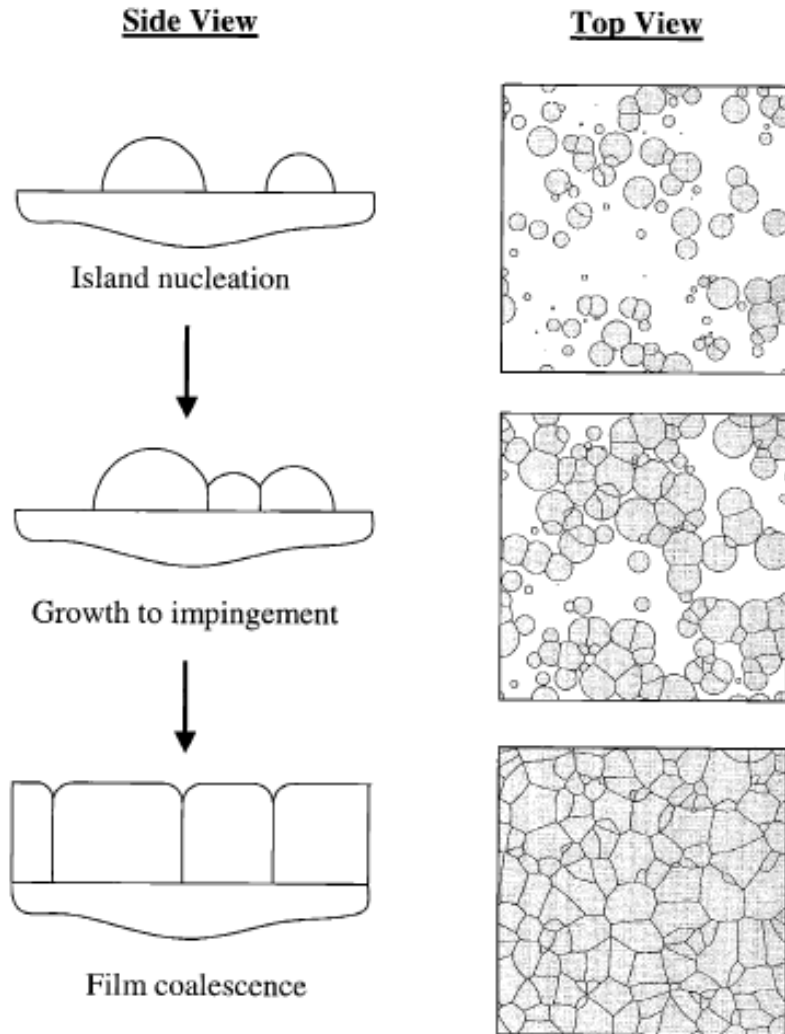


Figure 1-1: Schematic of the progression of thin film growth by the Volmer-Weber island growth mode.

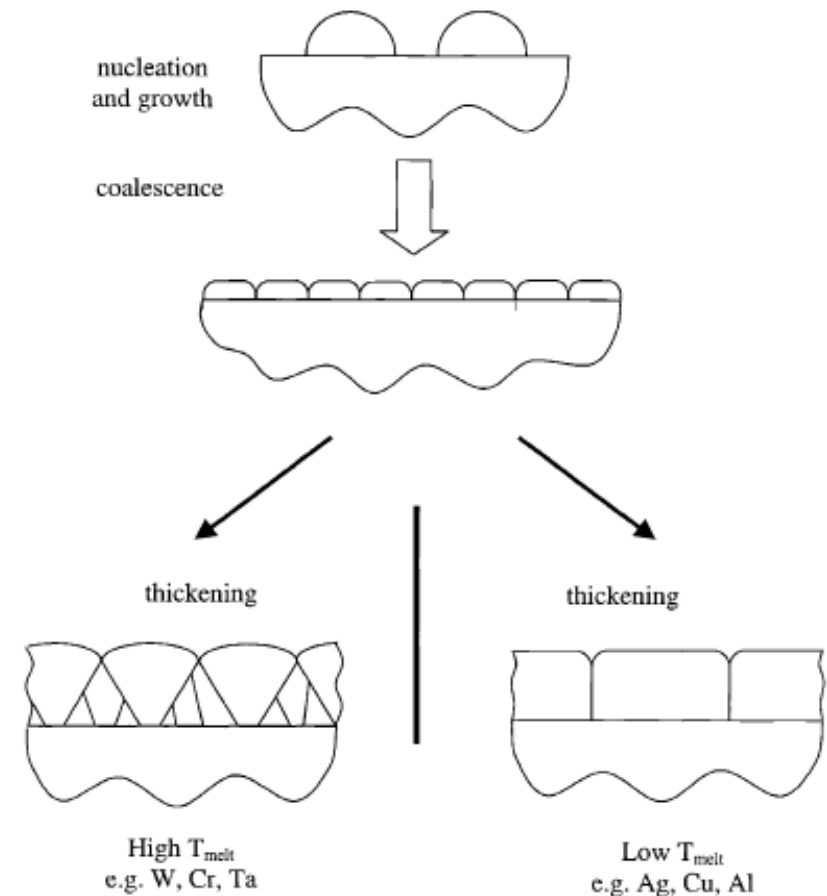
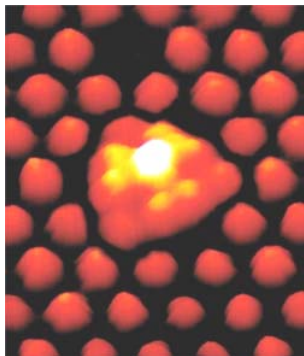
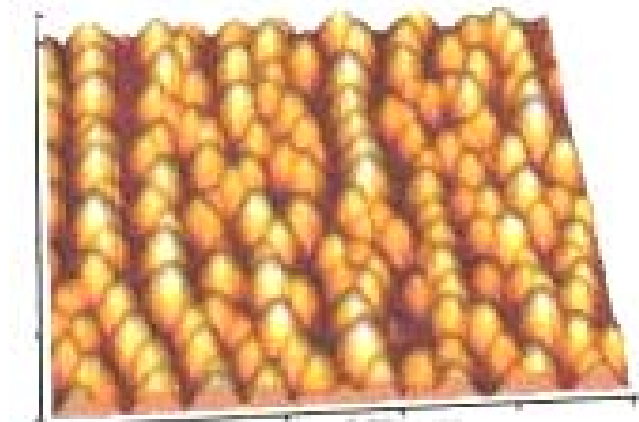
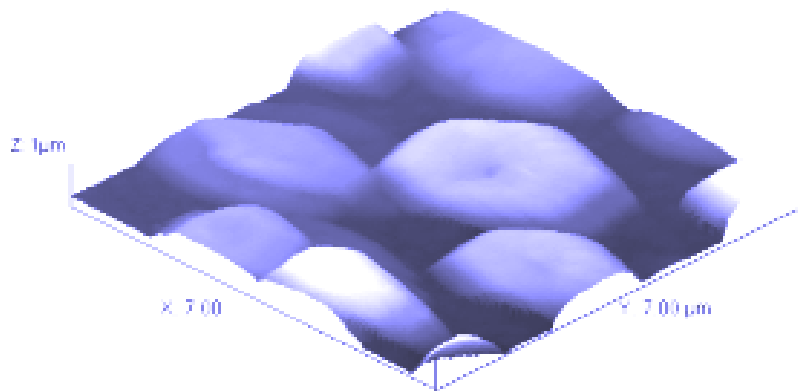


Figure 1-2: Schematic view of polycrystalline film growth for (left) a high melting point material with columnar grain, and (right) a low melting point material with equiaxed grains.

Nano-sluoksniai paviršiuje: taikymas – katalizatoriai, cheminių medžiagų jutikliai (jei veikia kaip lauko tranzistoriaus užtūra)

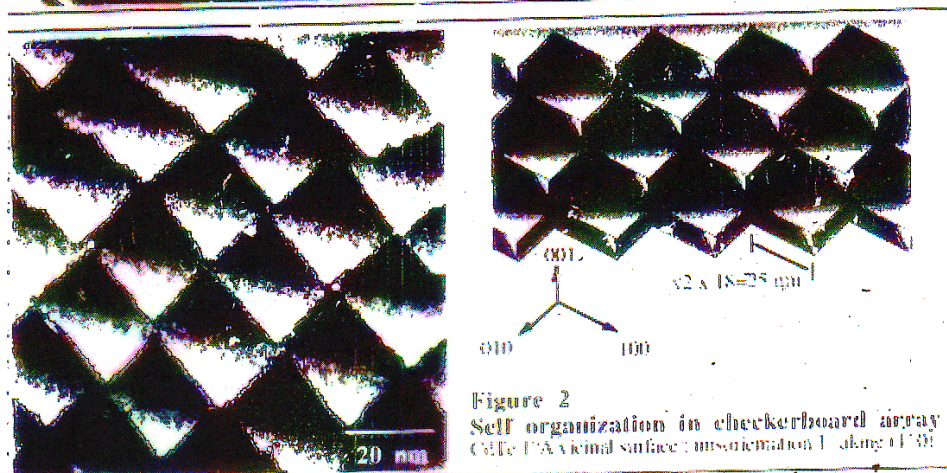
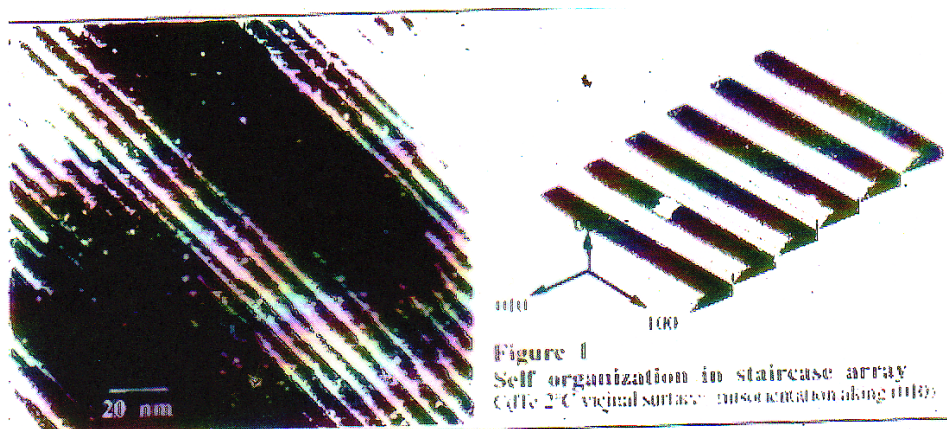
1. Heksagoniniai kristalitai GaN paviršiuje;

2. Kvantiniai “taškai”, “duobės”



10 Ga atomų klasteris ant Si kristalo paviršiaus. Taškai supantys klasterį yra Ga atomai $1/3$ ML.

Nušlifuotas kampu kristalinis padėklas



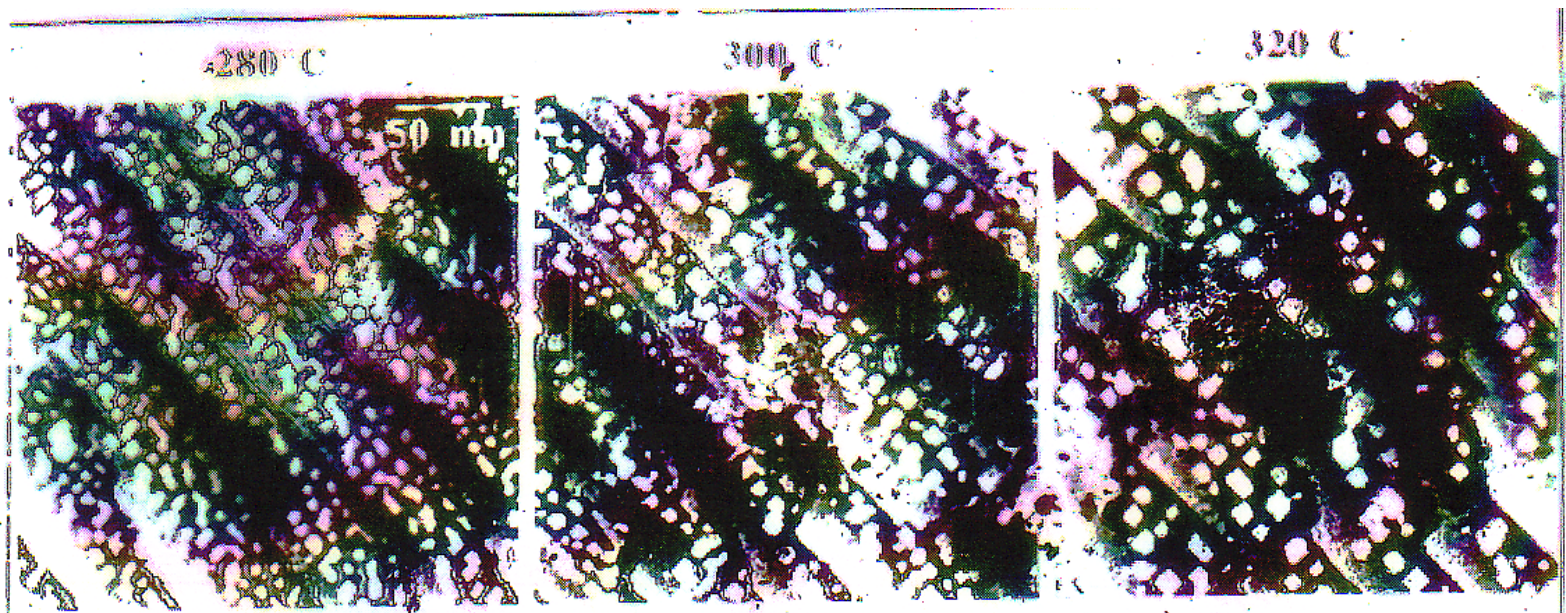
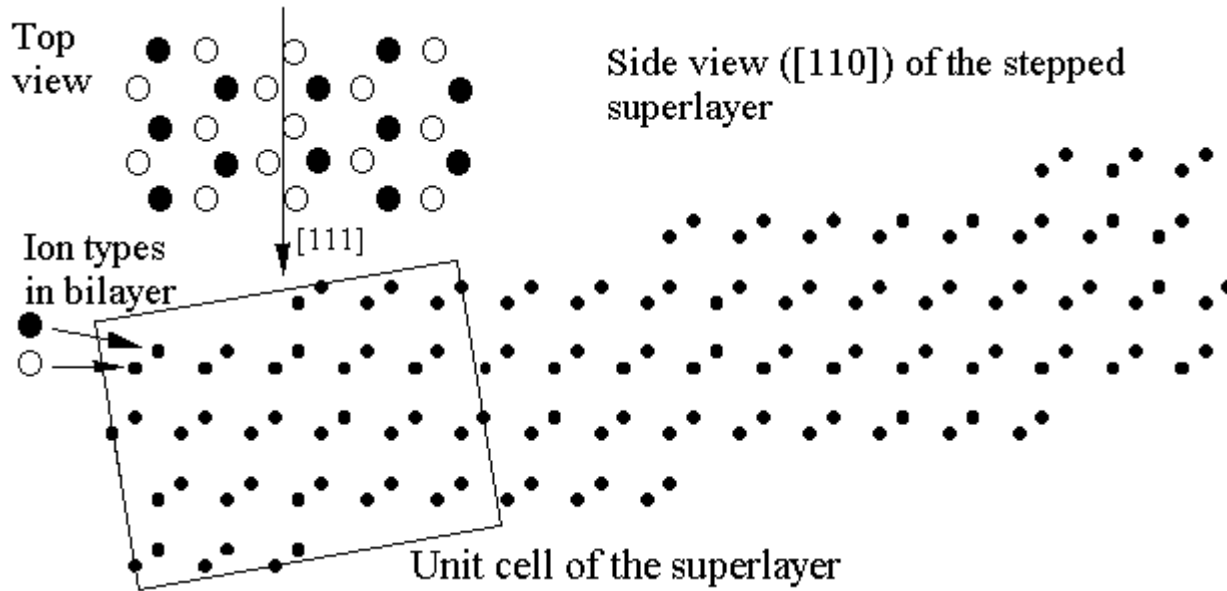
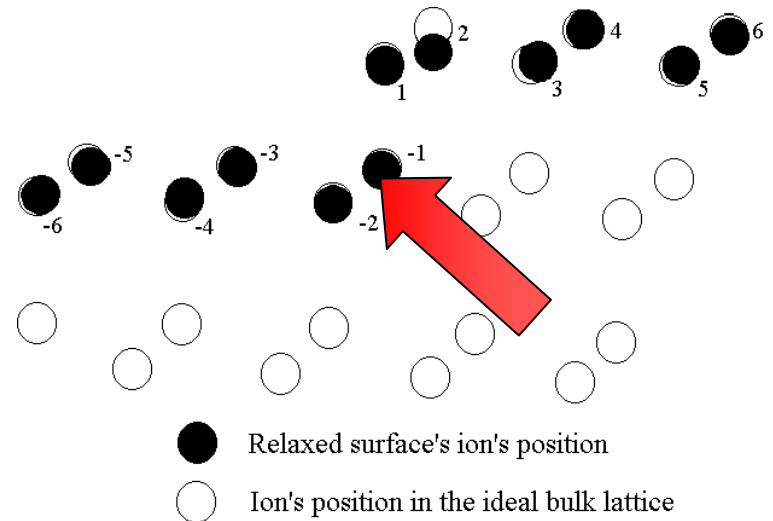
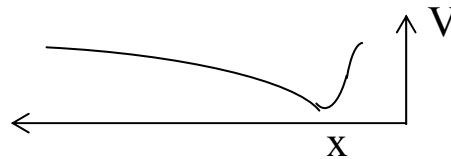
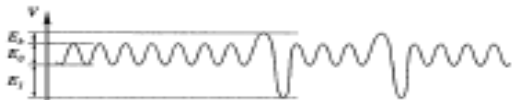


Figure 3
Steps advancement and nucleation of CdTe islands during ALE growth mode

Modeliavimas



J.L. Batstone demonstrated it by HRTEM movie (1994)



I. Derenyi et al. PRL 1998 v.80(7)

Si

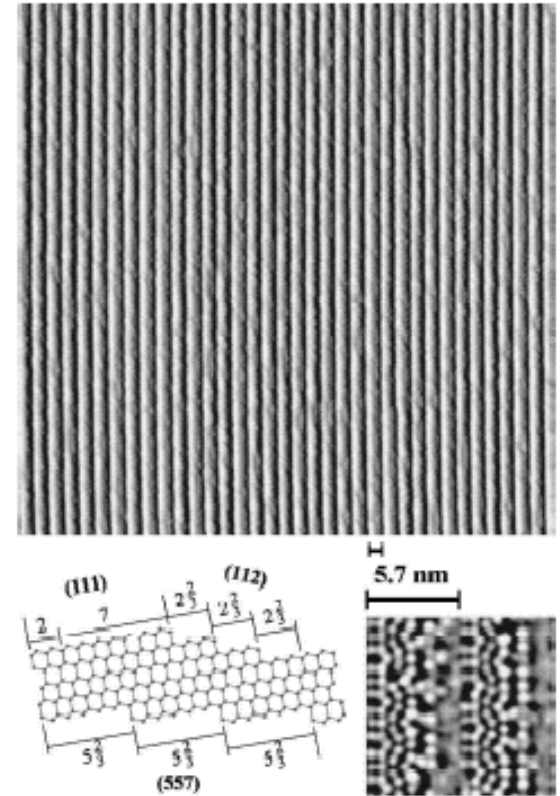
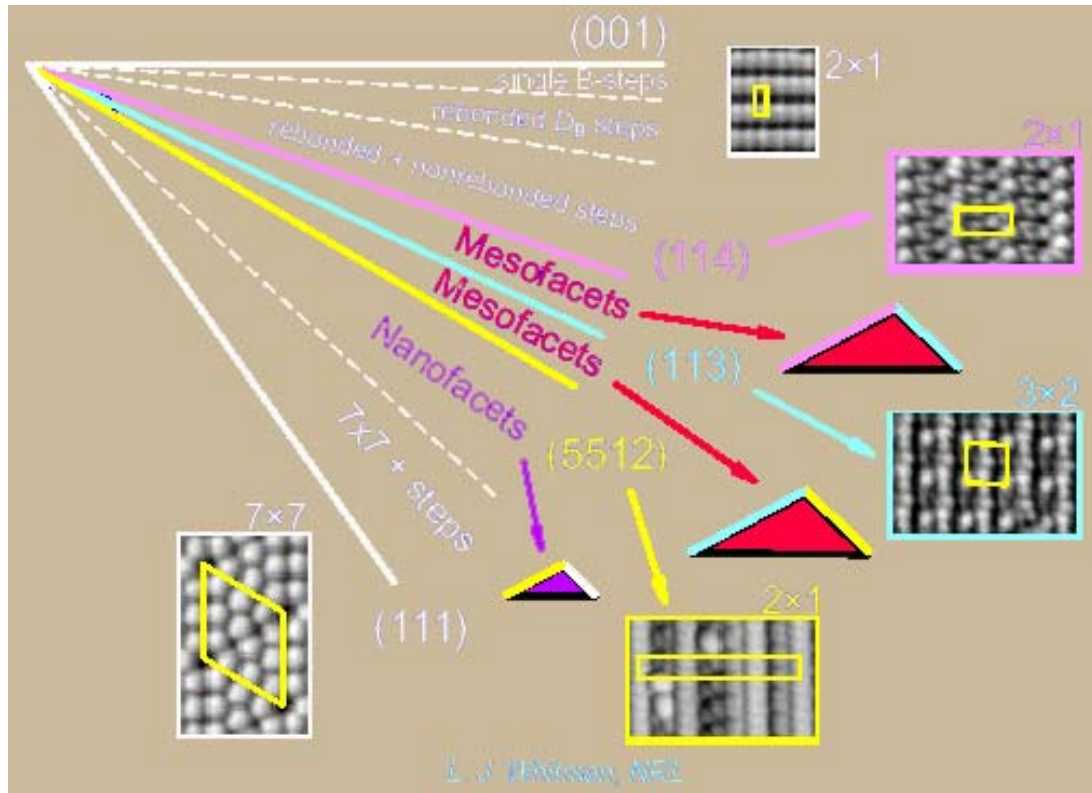
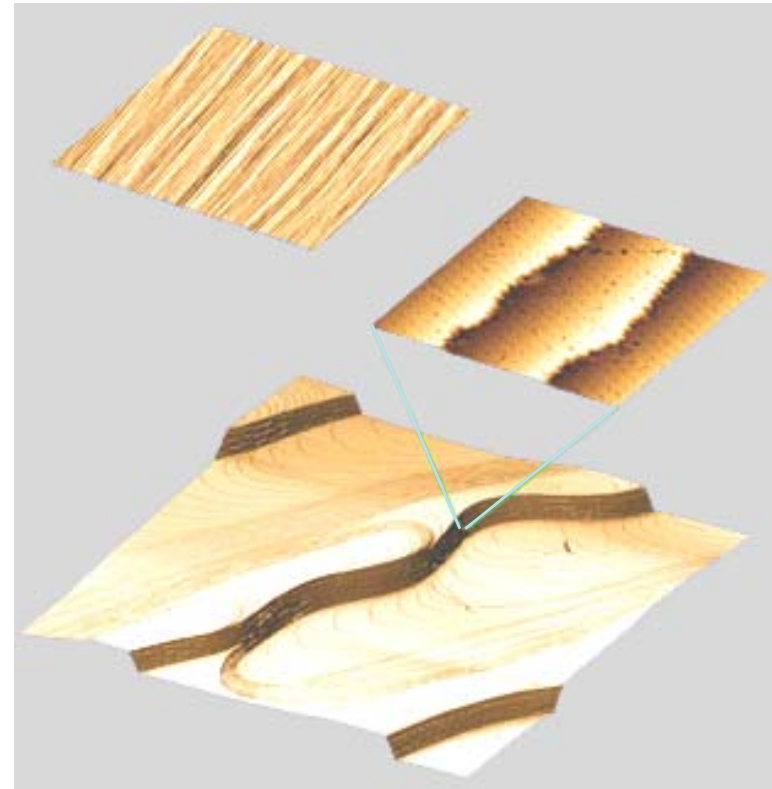
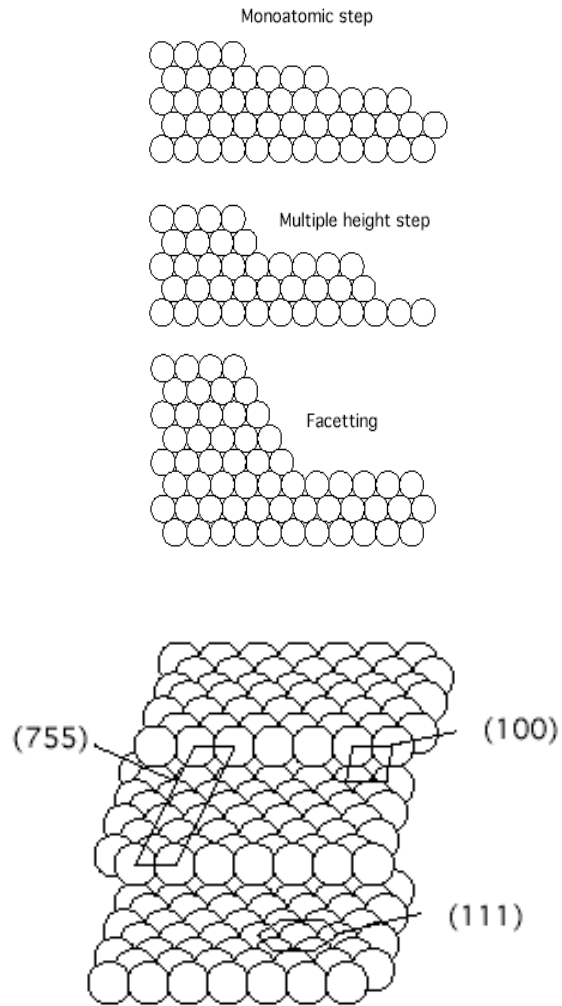
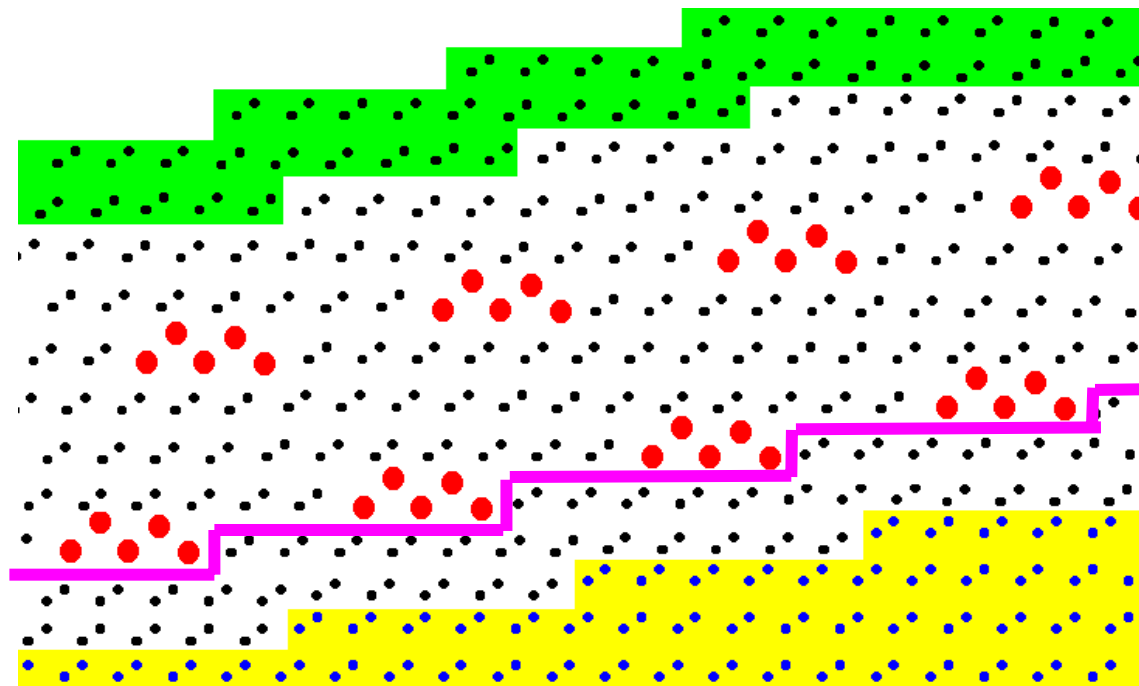


FIG. 1. STM images of a Si(557) surface with a periodicity of 5.73 nm, together with a side view of the unreconstructed unit cell. A single Si(111)7x7 unit is combined with a triple step that can be approximated by a Si(112) facet. The overview gives the x derivative of the topography. The closeup is high-pass filtered to show the surface atoms.

Kas dar nutinka?

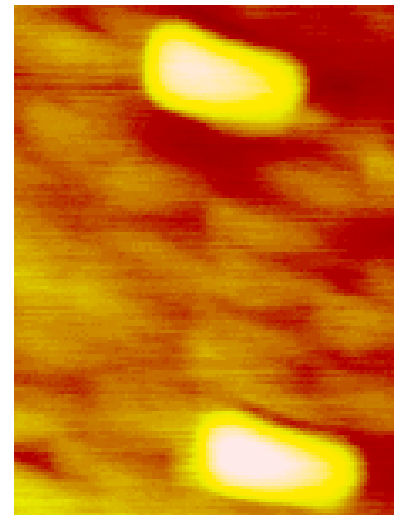


Galimybė auginti periodiškai išsidėsčiusius nanodarinius

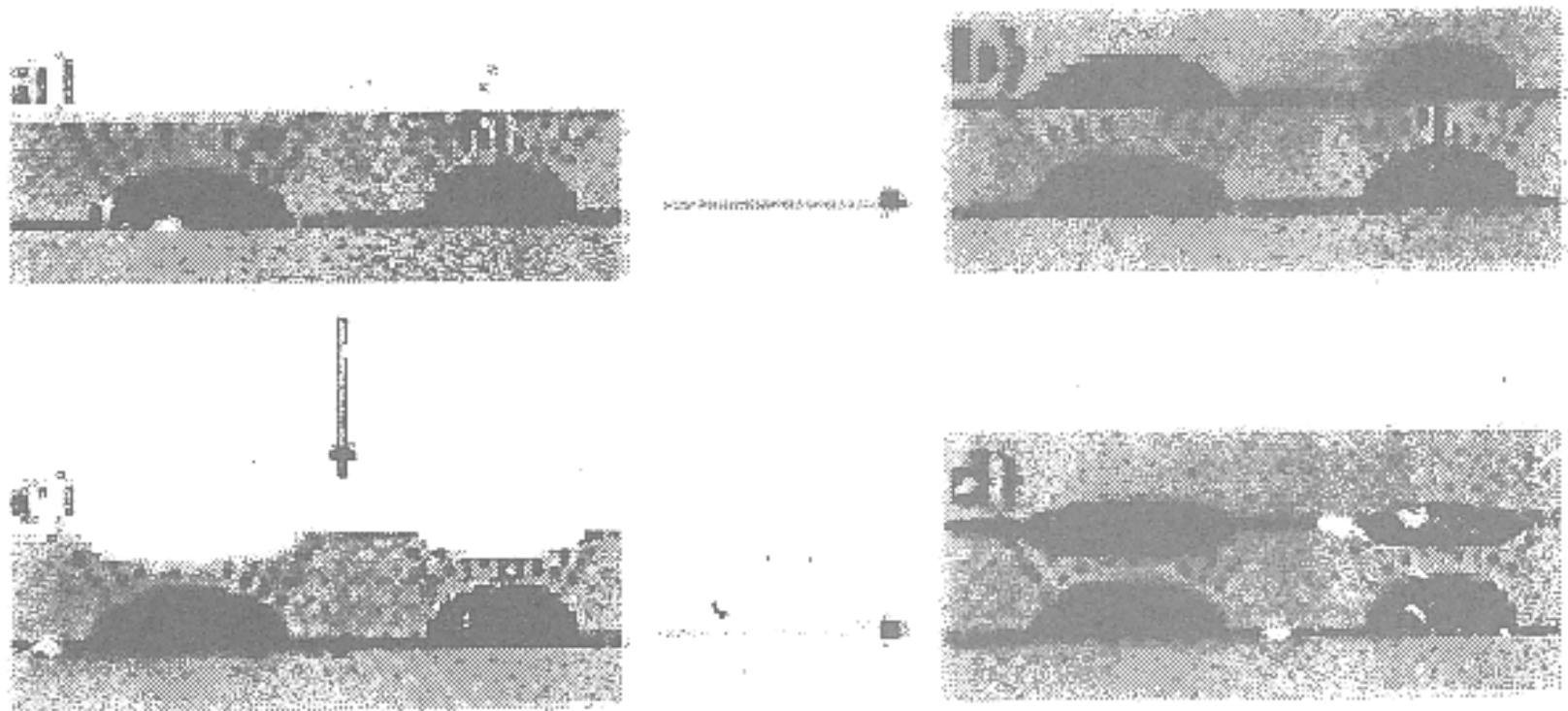




“Vilnietiški” nanoklasteriai



Vidinių įtempimų panaudojimas



I-mos paskaitos reziume:

- Dėka elektronų lokalizacijos kinta jiems leidžiamos būsenos ir sklaida, judant kitomis kryptimis.
- Tuneliavimas tarp nanosandarų valdomas potenciniais laukais.
- Nanosandarų auginimas vykdomas panaudojant:
 - Atomų saviorganizacijos efektą;
 - padėklo ir nusodinamų atomų abipusią sąveiką.