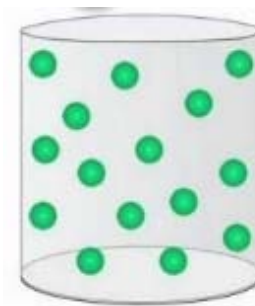
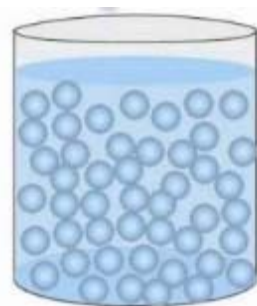
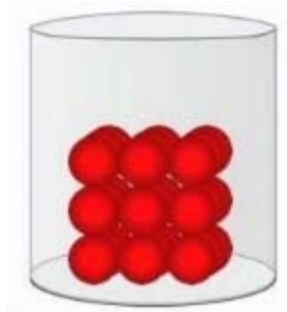


Gázok, folyadékok, folyadékkristályok, szilárd anyagok

Balog Erika



Szilárd (kristály)

állandó alak
állandó térfogat
hosszú távú
rendezettség

Folyadék

változó alak
állandó térfogat
rövid távú
rendezettség

Gáz

változó alak
változó térfogat
nincs rendezettség

Gázok (ism.)

Az ideális gáz

- A részecskék **pontszerűek**, térfogatuk **elhanyagolható**.
- A részecskék között **nincs kölcsönhatás**.
- Állapotegyenlet:

$$pV = Nk_B T$$

A reális gáz

- A részecskék **nem pontszerűek**, térfogatuk (b) **nem elhanyagolható**.

$$V - Nb$$

- A részecskék között **kölcsönhatás** (a) **lép fel**.

$$p = \frac{Nk_B T}{V - Nb} - a \frac{N^2}{V^2}$$

- Állapotegyenlet:

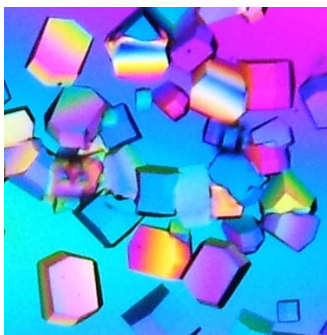
$$\left(p + a \frac{N^2}{V^2} \right) (V - Nb) = Nk_B T$$

P = nyomás (Pa)
 V = térfogat (m^3)
 T = abszolút hőmérséklet (K)
 N = részecskeszám
 k_B = Boltzmann állandó

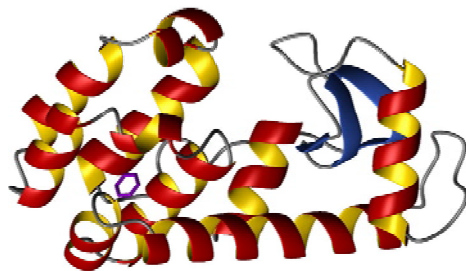
Szilárd anyagok

A. Kristályos anyagok

- Periodikus hosszútávú rendezettség
- Térrács - elemi cella (a természetben 14-féle, "Bravais-rácsok")
- Összetartó kölcsönhatások alapján
 - kovalens kötés: atomrács
 - ionos kötés: ionrács
 - fémes kötés: fémkristály
 - másodlagos kötések: molekularács



Lizozim fehérjekristályok polarizált fényben (anizotrópia)



Lizozim fehérjemolekula

B. Amorf anyagok

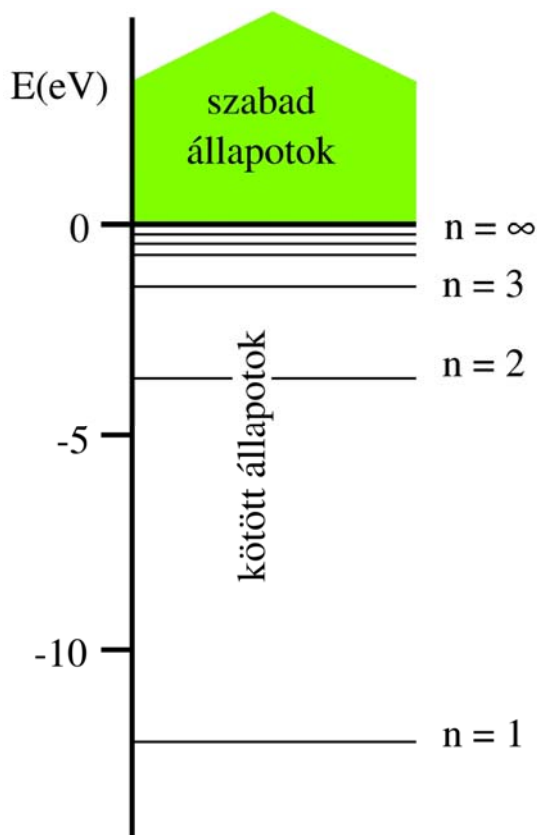
üvegszerű, viszkózus "folyadékok"

		Bravais-rácsok	
$\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ 	$\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ 		
$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$
$a \neq c$ 		$a \neq c$ 	
$\alpha \neq 90^\circ$ $a \neq a$ 			
$\gamma = 120^\circ$ 			

Energianívók kristályokban

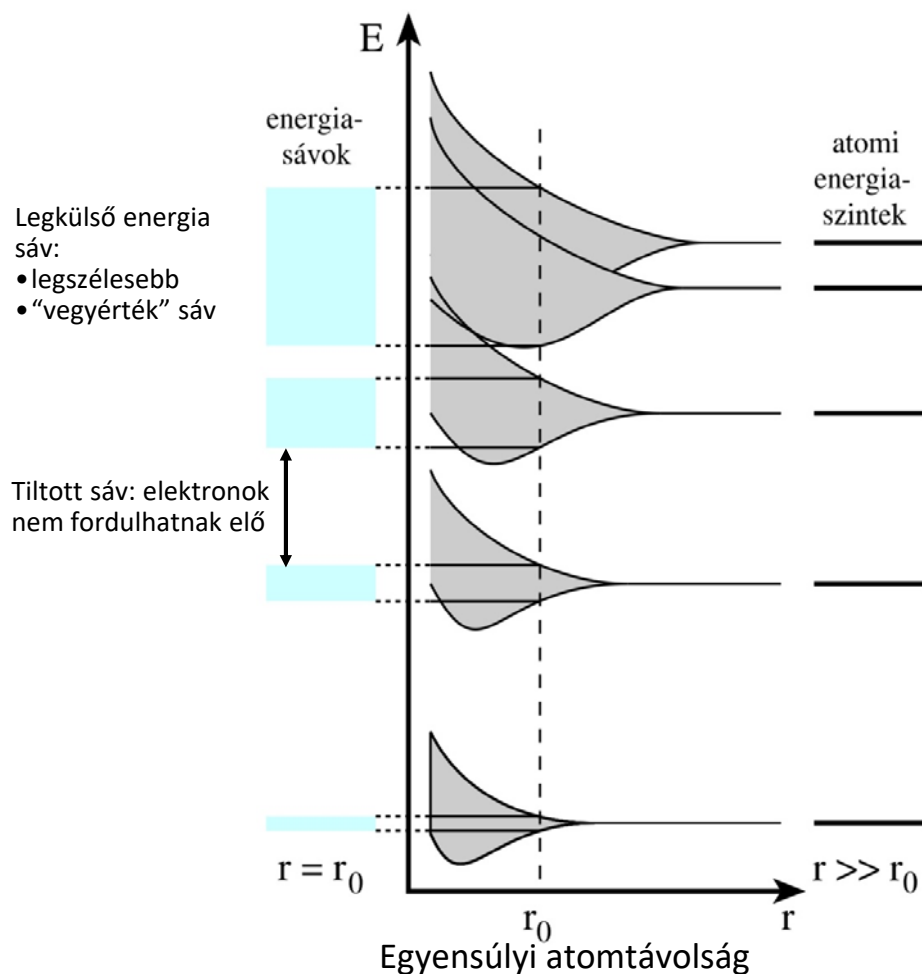
Izolált hidrogénatom

- Nincs kölcsönhatás más atomokkal
- Diszkrét energianívók
- **Pauli-elv:** egy atomon belül nem létezhet két olyan kötött elektron, amelynek mind a négy kvantumszáma megegyezik

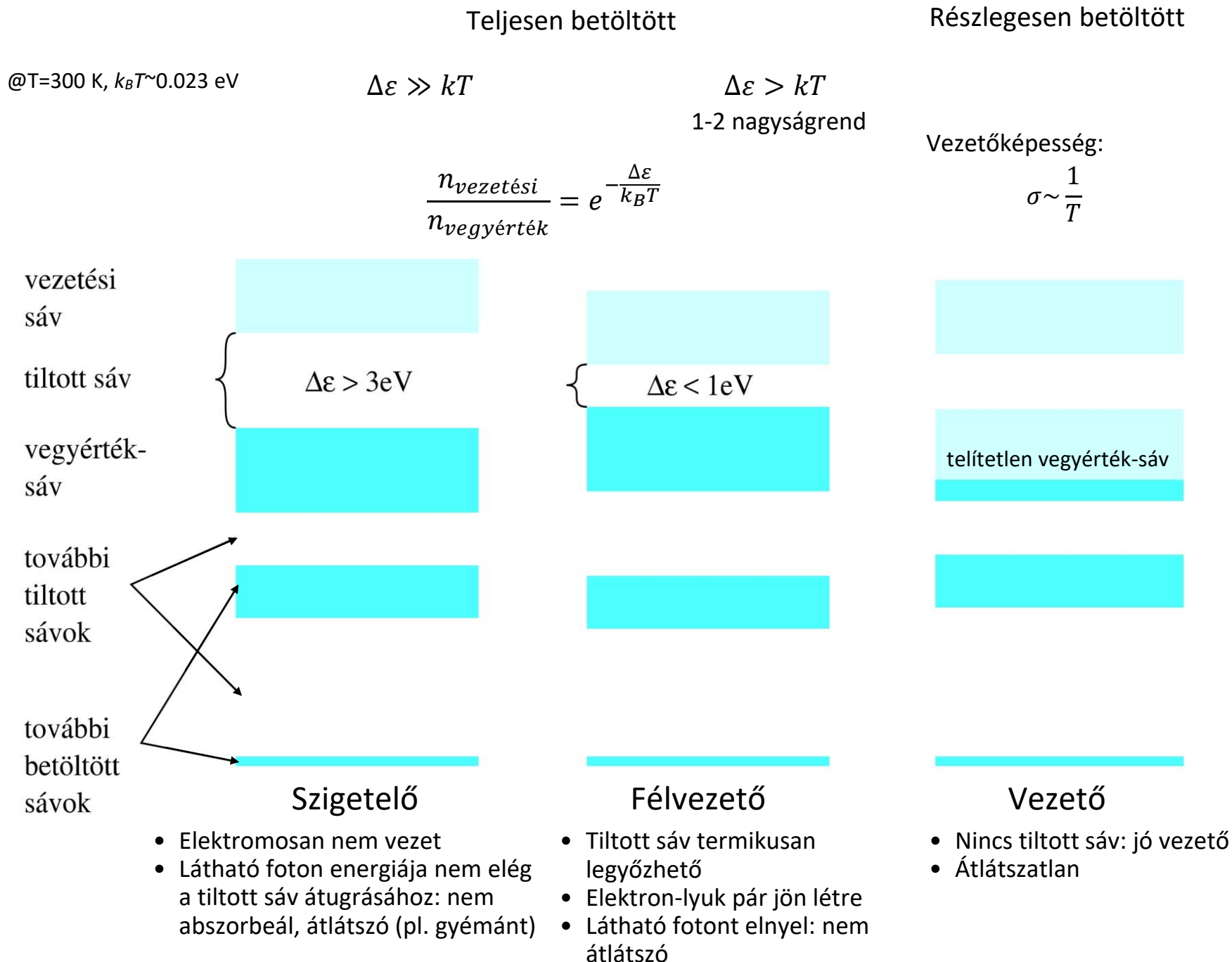


Kristály

- Atomok kölcsönhatnak
- **Pauli-elv következménye:** azonos kvantumállapotok elkerülése úgy valósul meg, hogy a kölcsönhatásba kerülő elektronok atomonként azonos energiaszintjei N darab közeli szintre hasad fel
- Közeli nívók folytonos **energiasávokba** olvadnak



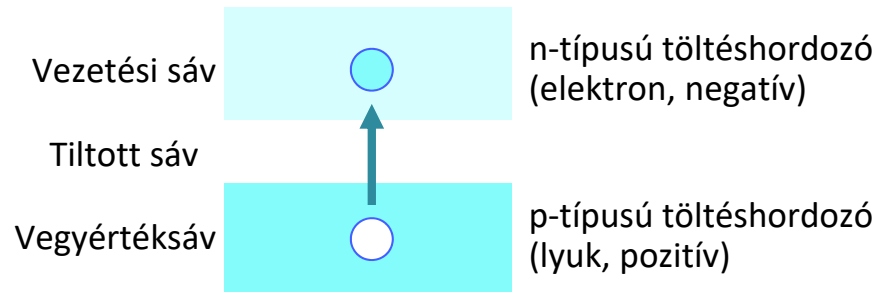
Eltérő sávszerkezetű kristályos anyagok



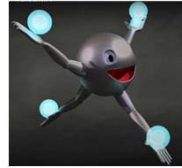
Félvezetők

A. Tiszta félvezetők

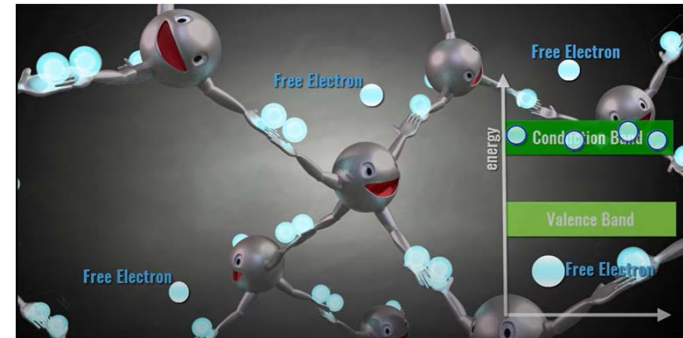
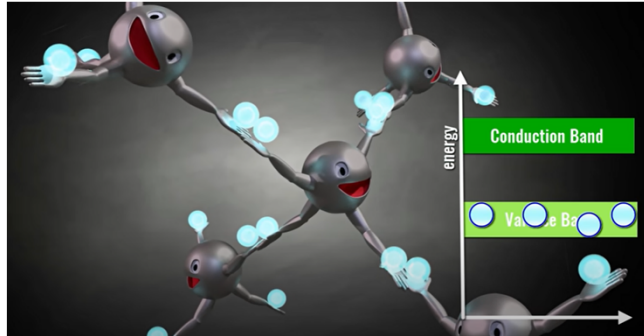
- Kétféle töltéshordozó (n, p):



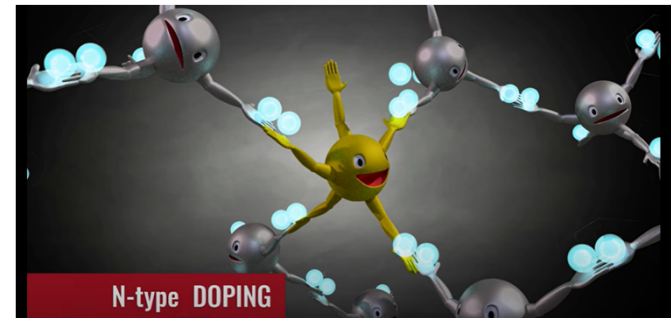
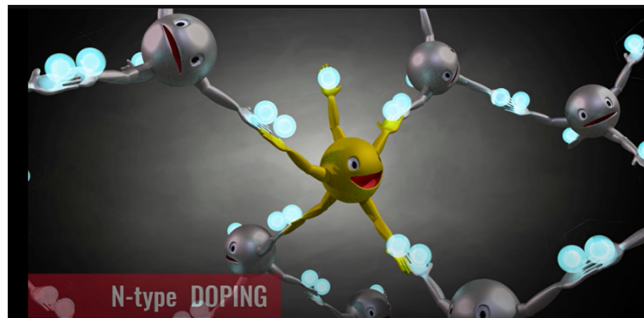
- Vezetőképesség hőmérsékletfüggő: $\sigma = konst \cdot e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{2k_B T}}$
- Tiltott sáv ($\Delta\varepsilon$) < 1 eV
- Tiltott sáv átugrása látható fény (1.5-3 eV) abszorpciójával is előidézhető: $hf_{vis} > \Delta\varepsilon \longrightarrow$ átlátszatlan
- Tiltott sáv ($\Delta\varepsilon$) termikusan legyőzhető



Si



Si



Si - P

Félvezetők

B. Szennyezett félvezetők

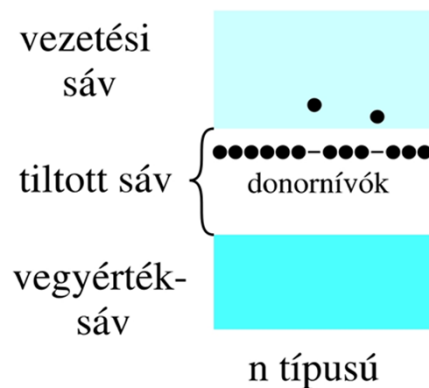
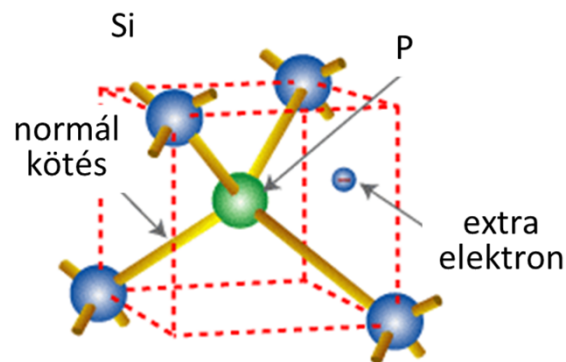
Szennyezés: - a gazdarács atomjai között elhelyezett kis mennyiségű idegen atom:
- új elektronállapotok kialakulásához vezet, melynek következtében a tiltott sáv keskeny lesz.

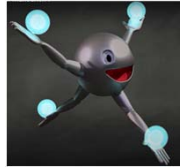
$$\frac{N_{host}}{N_{dopant}} \approx 10^6$$

n-típusú félvezető (e-donor):

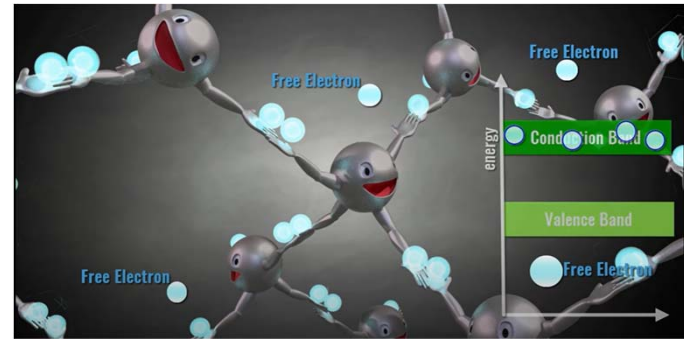
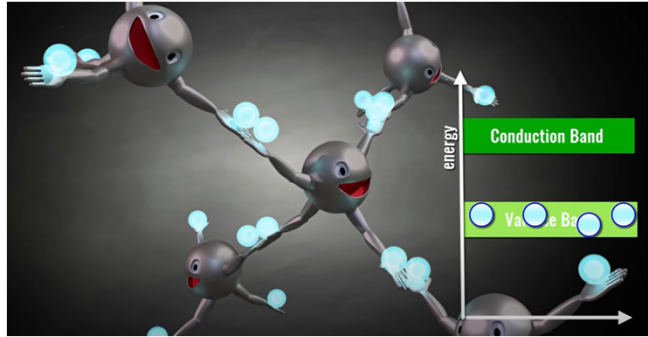
4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

5-vegyértékű szennyezés (P, As, Bi):

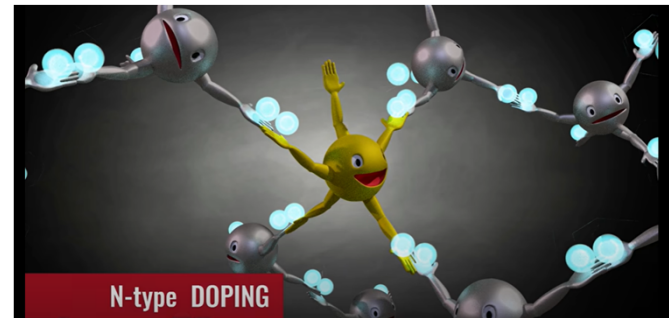
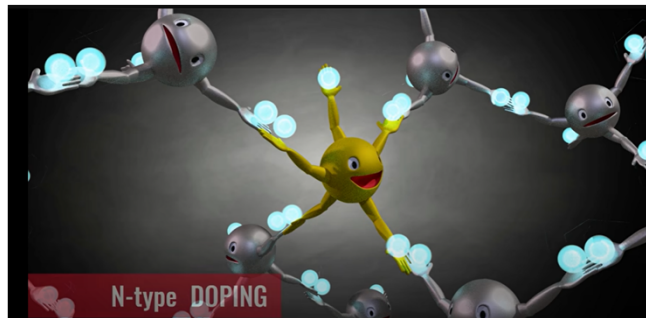




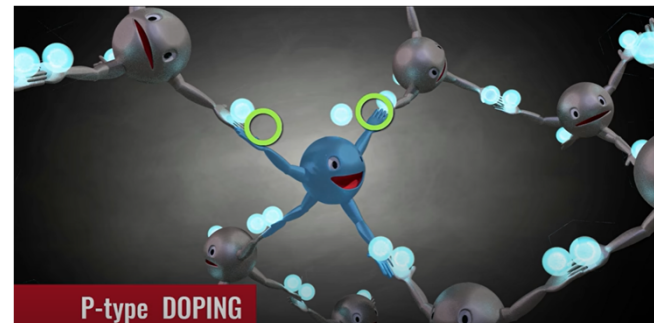
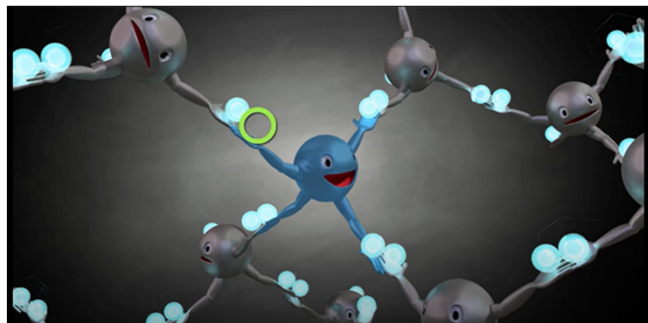
Si



Si



Si - P



Si - B

Félvezetők

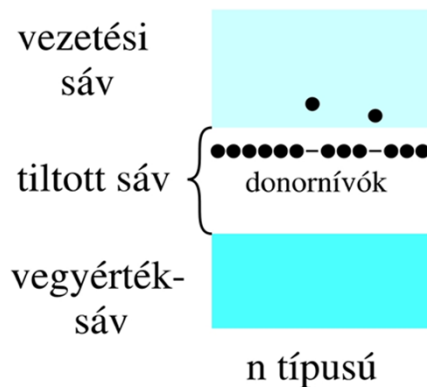
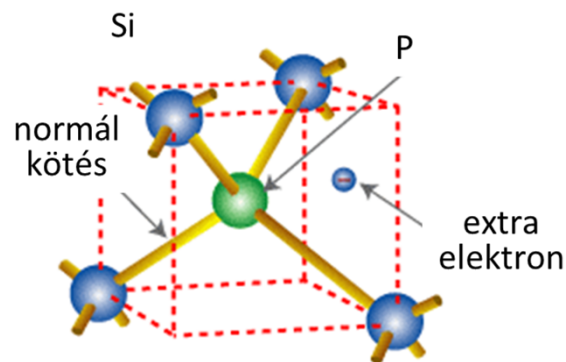
B. Szennyezett félvezetők

Szennyezés: - a gazdarács atomjai között elhelyezett kis mennyiségű idegen atom:
- új elektronállapotok kialakulásához vezet, melynek következtében a tiltott sáv keskeny lesz.

n-típusú félvezető (e-donor):

4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

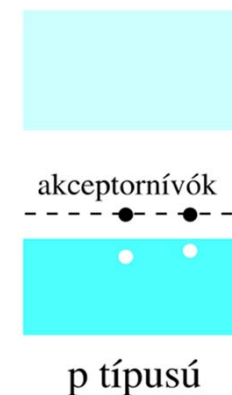
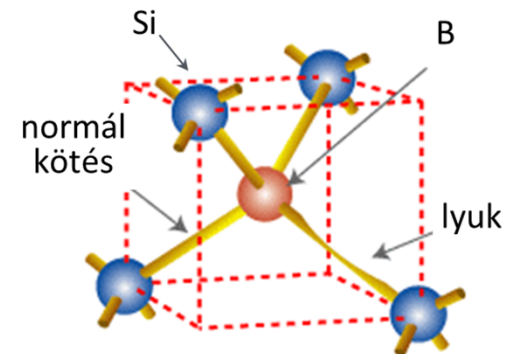
5-vegyértékű szennyezés (P, As, Bi):



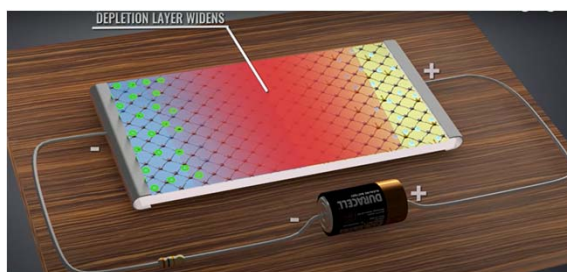
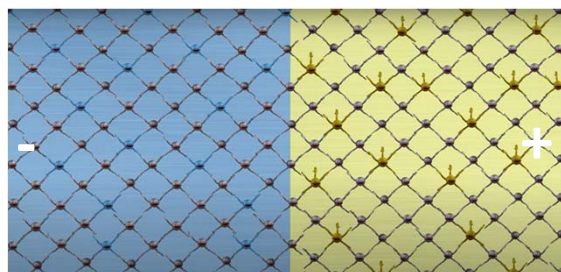
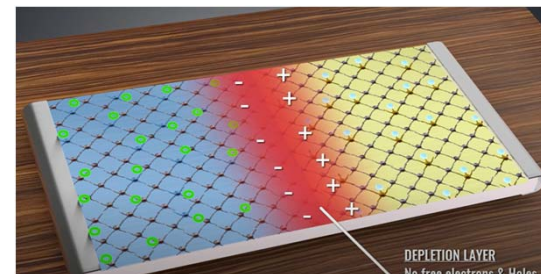
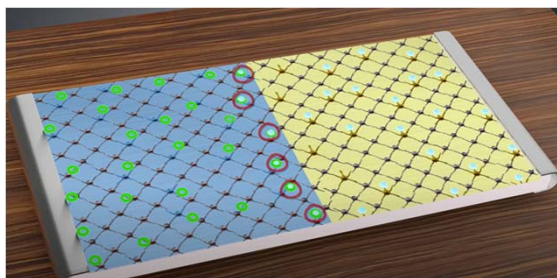
p-típusú félvezető (e-akceptor):

4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

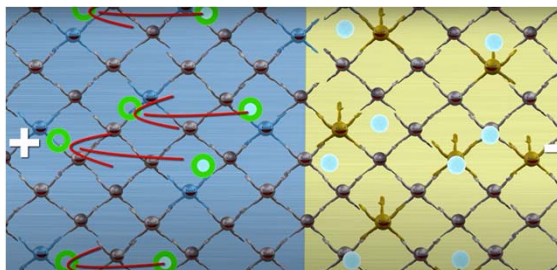
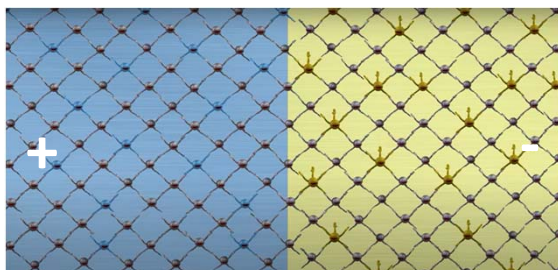
3-vegyértékű szennyezés (Al, Ga, In, B):



Dióda - megfelelően szennyezett, p- és n-típusú félvezetők összeillesztéséből kialakított mikroelektronikai eszközök



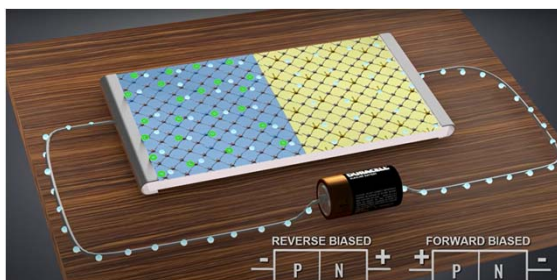
- záróirányú előfeszítés



- nyitóirányú előfeszítés

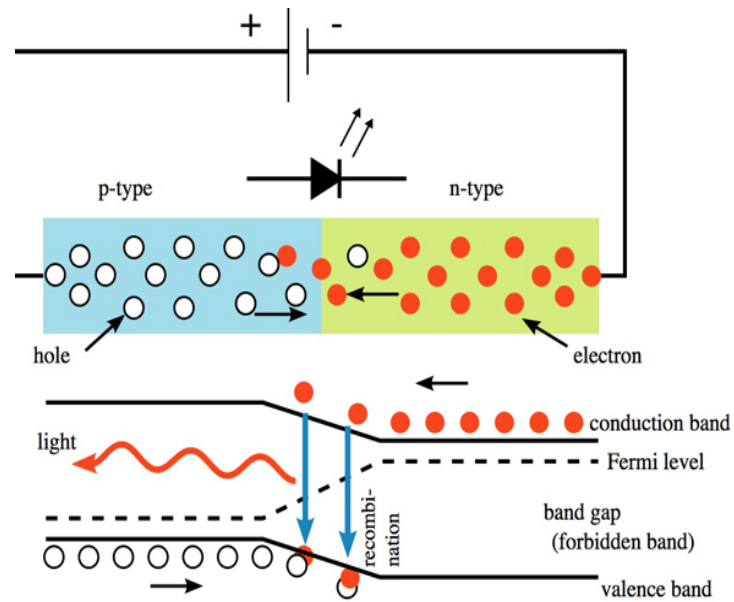
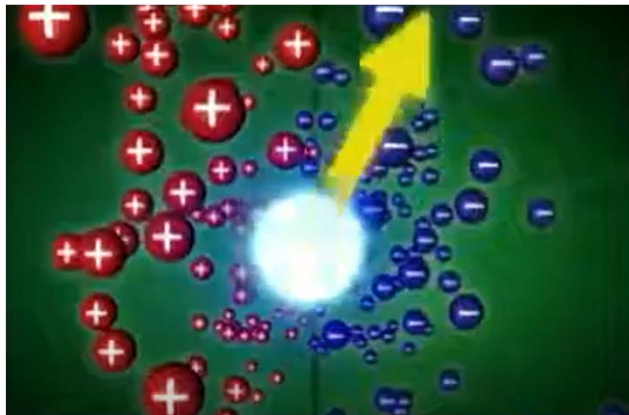
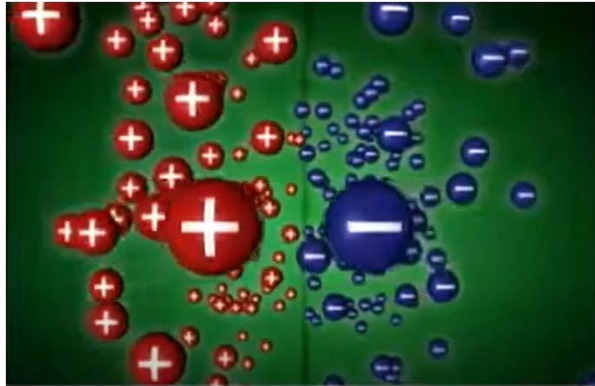
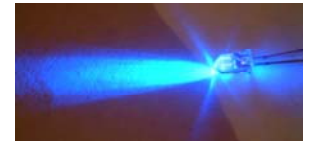
Alkalmazás:

- egyenirányító
- elektromos feszültség → fényforrás, LED
- megvilágítás → feszültség → CCD pixel



<https://www.youtube.com/watch?v=7ukDKVHnac4>

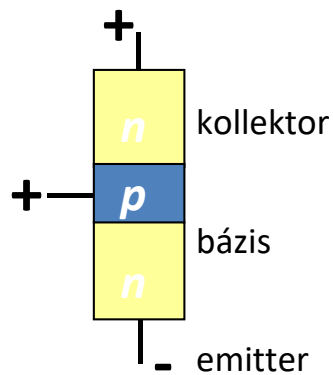
Light Emitting Diode (LED)



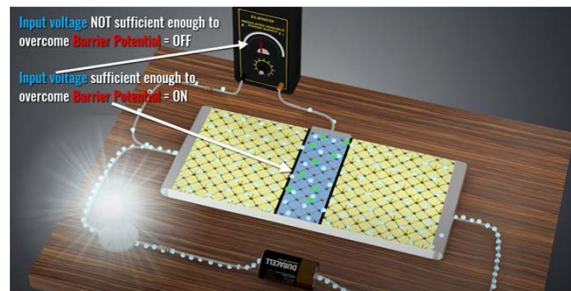
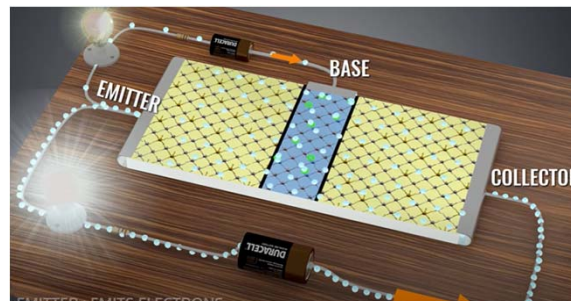
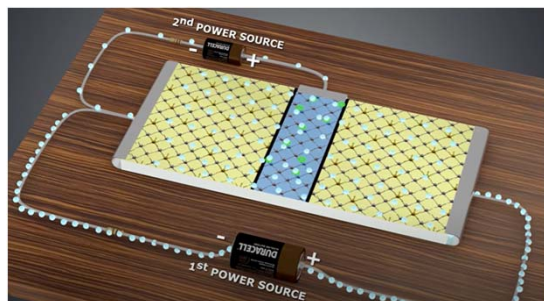
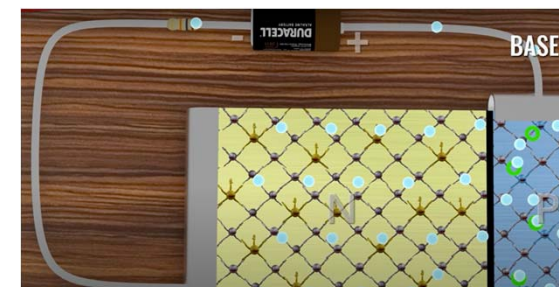
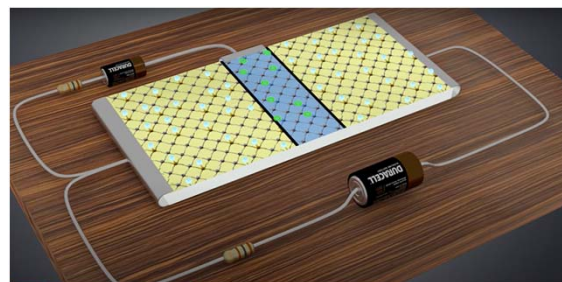
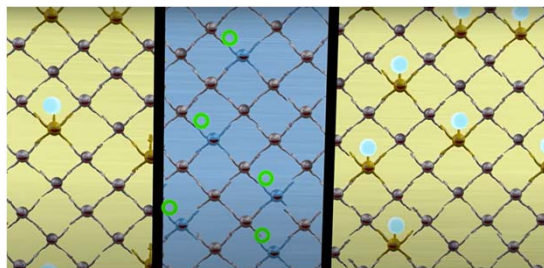
Isamu Akasaki, Shuji Nakamura, Hiroshi Amano, Nobel-prize 2014

Tranzisztor

Okostelefon processzor:



John Bardeen, William Shockley, Walter Brattain,
Nobel-prize 1956



Tranzisztor

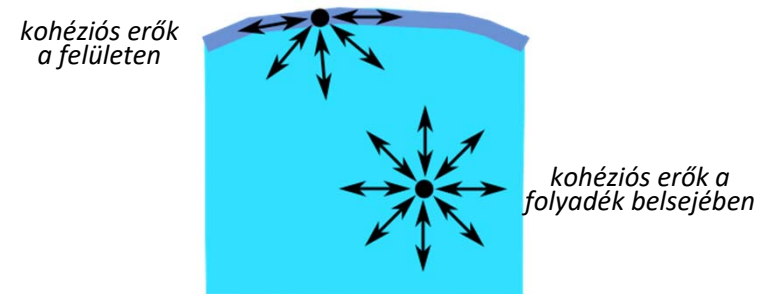
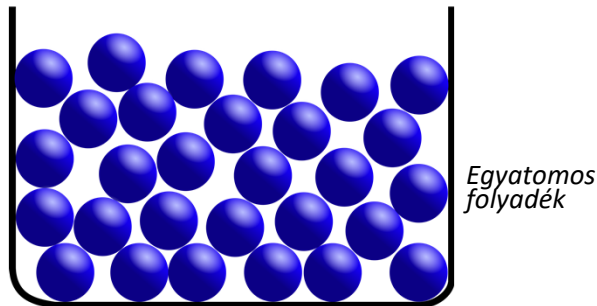
- áramerősítő
- digitális memória elemei
- számlálók, multivibrátorok

Folyadékok

- Összenyomhatatlan: nyomástól függetlenül közel állandó a térfogata.
- Sűrűsége hasonló a szilárdéhoz („condensed matter”).
- Folyékony (mint a gázok és a plazma); felveszi az edény alakját; belső súrlódása („viszkozitás”, η) a hőmérséklettel csökken:

$$\eta \sim e^{-\frac{E}{k_B T}}$$

A részecskék közötti „lyukak” („vakanciák”) relatív koncentrációjával csökken a viszkozitás.



- Mikroszkópikus szerkezet: részecskéit (atomok, molekulák) rövid távú kölcsönhatások, kohéziós erők tartják össze (nincs hosszútávú rendezettség)
- A kohéziós erők közötti egyenlőtlenség (folyadék felülete vs belseje) felületi feszültség kialakulásához vezet (kontrakciós tendencia, gömb alak felvétele)

Folyadékkristályok

Review

Physics of liquid crystals in cell biology

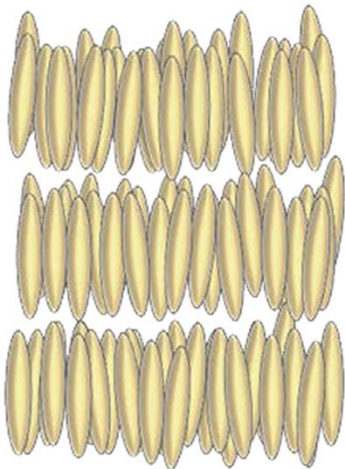
Amin Doostmohammadi^{1,*} and Benoit Ladoux^{2,*}

The past decade has witnessed a rapid growth in understanding of the pivotal roles of mechanical stresses and physical forces in cell biology. As a result, an integrated view of cell biology is evolving, where genetic and molecular features are scrutinised hand in hand with physical and mechanical characteristics of cells. Physics of liquid crystals has emerged as a burgeoning new frontier in cell biology over the past few years, fuelled by an increasing identification of

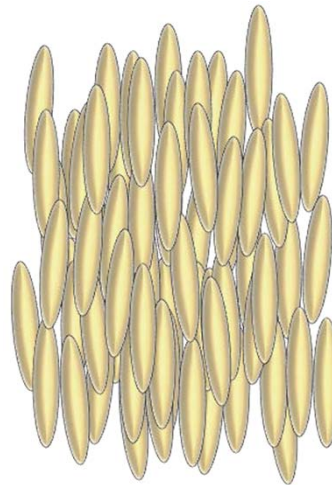
Highlights

Various forms of liquid crystalline order, including nematic, smectic, and chiral textures, have been established in cytoskeletal constructs in vitro and in subcellular filaments in vivo.

- Folyadék és szilárd tulajdonságokkal egyszerre rendelkeznek: folyónak (gyenge intermolekuláris kölcsönhatások), de hosszútávú rendezettséget mutatnak.
- A molekulák nem gömbszimmetrikusak: kalamitikus (pálcika- vagy fonálszerű), diszkotikus (korongszerű)
- Rendezettség típusa: translációs, orientációs



Szmektikus állapot
(orientációs és translációs
rendezettség)



Nematikus állapot
(csak orientációs
rendezettség, nincs
transzlációs
rendezettség)



Koleszterikus állapot
(nematikus rendezettség
különböző síkokban;
speciális eset: csavart
nematikus állapot -
menetemelkedés a színt
befolyásolja)



Diszkotikus állapot
(korongszerű, translációs
rendezettség)

Folyadékkristályok

Termotróp

(hőmérsékletfüggő rendezettség)

- Szín a hőmérséklettől függ (termooptikai tulajdonság); – koleszterikus foly. krist. alkalmazás: kontakt termográfia
- Ha a molekulák elektromos dipólok, az optikai polarizáció, fényáteresztés elektromosan vezérelhető (elektrooptikai tulajdonság); – nematikus foly. krist. alkalmazás: LCD kijelzők, monitorok, stb.



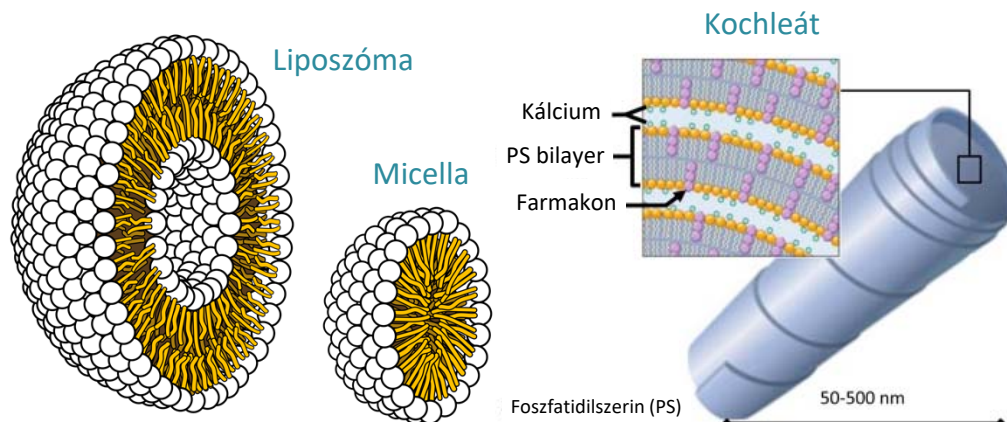
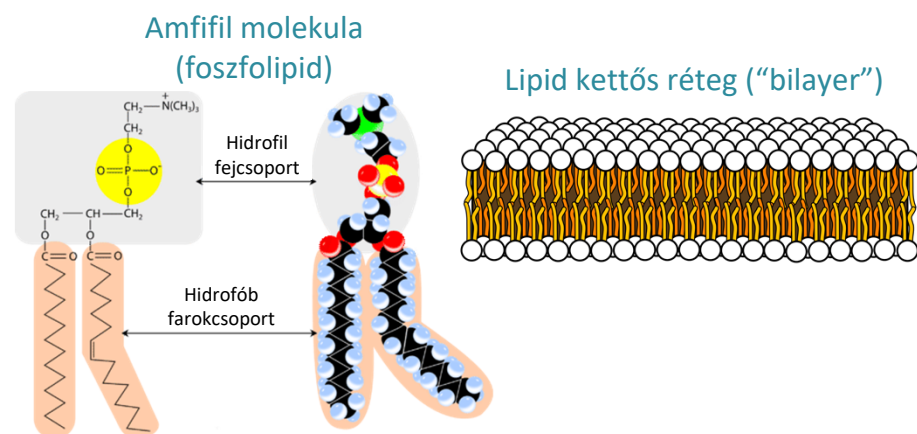
Kontakt termográfia



LCD kijelző

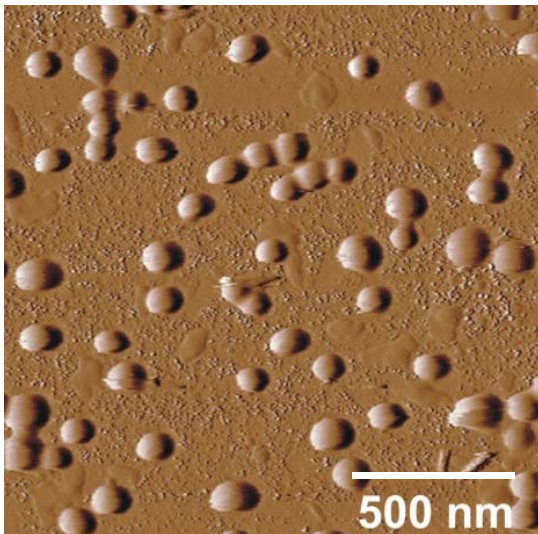
Liotróp

(koncentrációfüggő rendezettség)

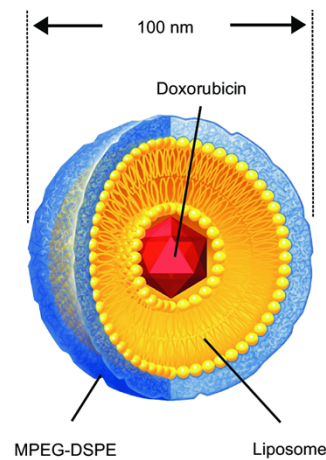


Liposzóma alkalmazások

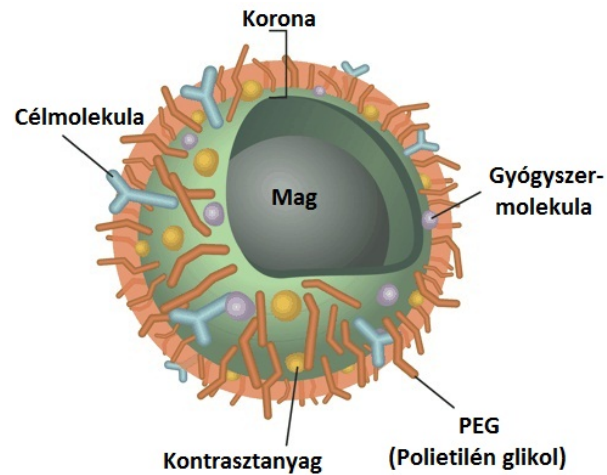
Felszín-adszorbeált liposzómák
AFM képe



Toxikus gyógyszermolekula
szállítása



“Intelligens” liposzóma



Teranosztika
(terápia + diagnosztika)

