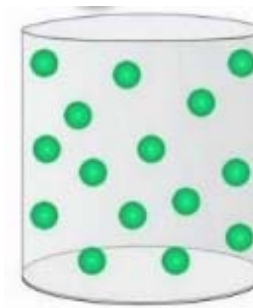
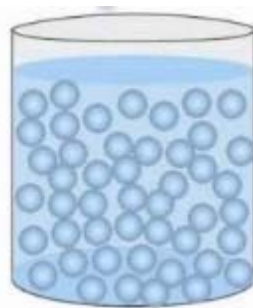
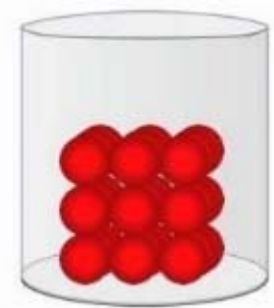


Szilárd anyagok

Balog Erika



Szilárd (kristály)

Folyadék

Gáz

állandó alak
állandó térfogat
hosszú távú
rendezettség

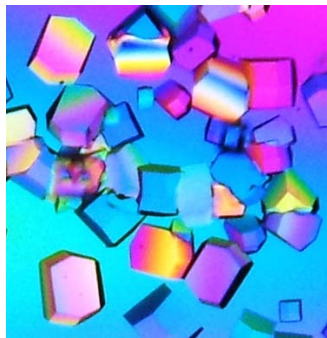
változó alak
állandó térfogat
rövid távú
rendezettség

változó alak
változó térfogat
nincs rendezettség

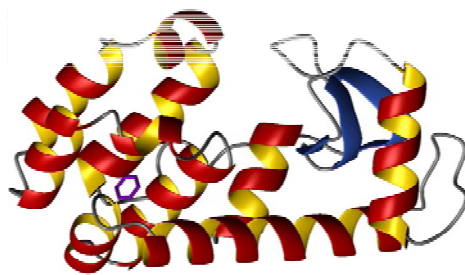
Szilárd anyagok

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)

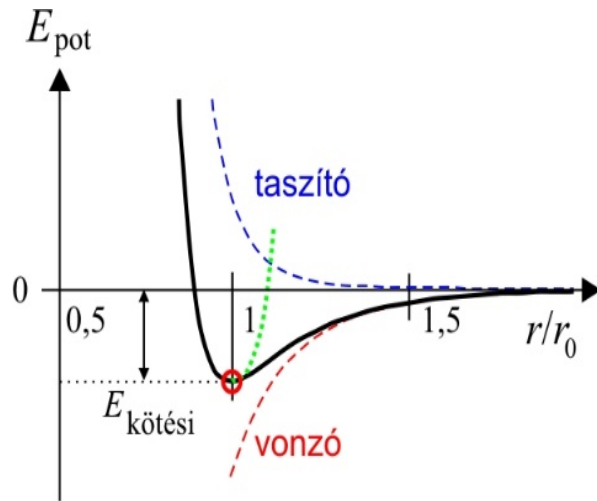


Lizozim fehérjemolekula

B. Amorfa anyagok

üvegszerű, viszkózus "folyadékok"

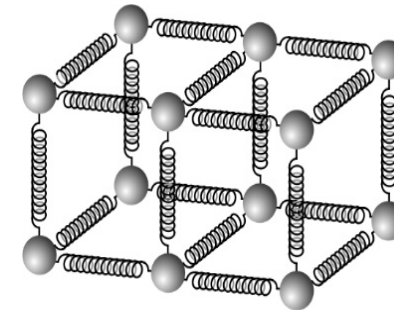
| | | | |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| | | Bravais-rácsok | |
| $\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ | $\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ | | |
| $a \neq b \neq c$ | $a \neq b \neq c$ | $a \neq b \neq c$ | $a \neq b \neq c$ |
| $a \neq c$ | $a \neq c$ | | |
| $\alpha \neq 90^\circ$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



- a függvény minimumhely közelében parabolával jól közelíthető.

$$E_{pot} = D (r - r_0)^2$$

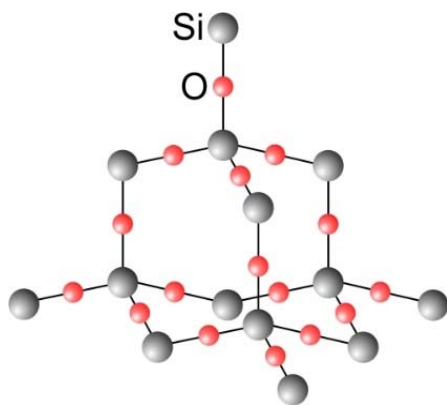
$$F = -D r$$



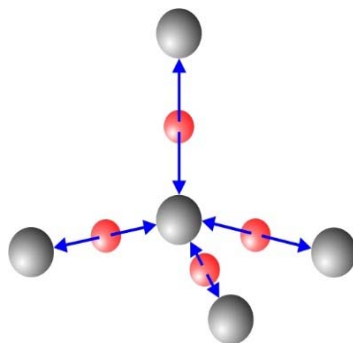
Kristály: rugókkal összekötött tömegpontokból álló térrács.

- az atomok egyensúlyi helyzetük körül rezgőmozgást végeznek.
- ha a hőmérséklet nő, a rezgés amplitúdója nő.
- de az aszimmetrikus potenciálgödör miatt a mozgás nem lesz szimmetrikus: az egyensúlyi helyzetnél nagyobb távolságokra való elmozdulás nagyobb lesz.
- átlagosan hosszabb ideig tartózkodnak az egyensúlyi helyzettől nagyobb távolságra.

Piezoelektromos hatás



Kvarc (SiO_2) kristályszerkezete.

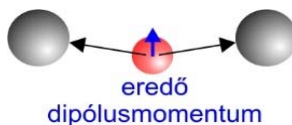


- dipólus: a +/- töltések középpontja nem esik egybe.

$$p = q \cdot l$$

- poláris kovalens kötésekhez tartozó elektromos dipólusmomentumok (tetraéderes kristálszimmetria miatt) eredője 0.

Ha nyomást gyakorlunk a kristályra:



meghajló Si – O – Si kötések eredő dipólusmomentuma nem 0

+/- töltések középpontja nem fog egybeesni, feszültség mérhető a kristály két pontja között.

Direkt piezoelektromos hatás

Piezelektromos hatás

Direkt piezelektromos hatás:

*ha nyomást gyakorlunk a kristályra
(deformáljuk)*

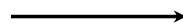


feszültség mérhető a kristály két pontja között

ultrahang detektálás

Inverz piezelektromos hatás:

ha feszültséget kapcsolunk a kristályra



a kristály deformálódik

*ha periodikus feszültséget kapcsolunk
a kristályra*



a kristály periodikusan deformálódik = rezeg

*ha megfelelően választjuk feszültség
frekvenciáját*

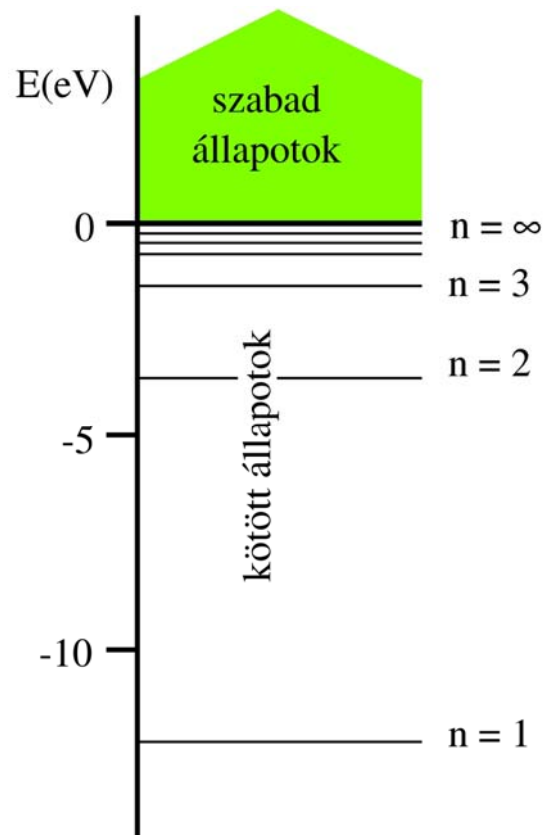


ultrahang keltés

Energianívók kristályokban

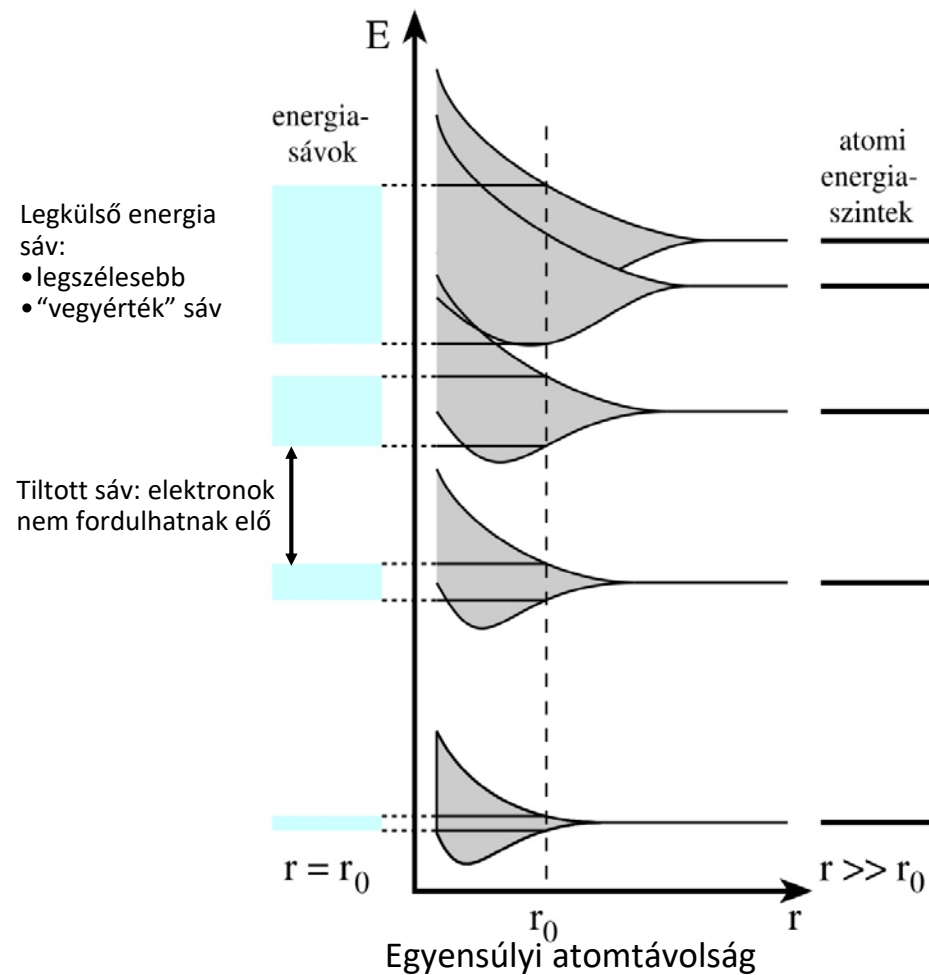
Izolált hidrogénatom

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

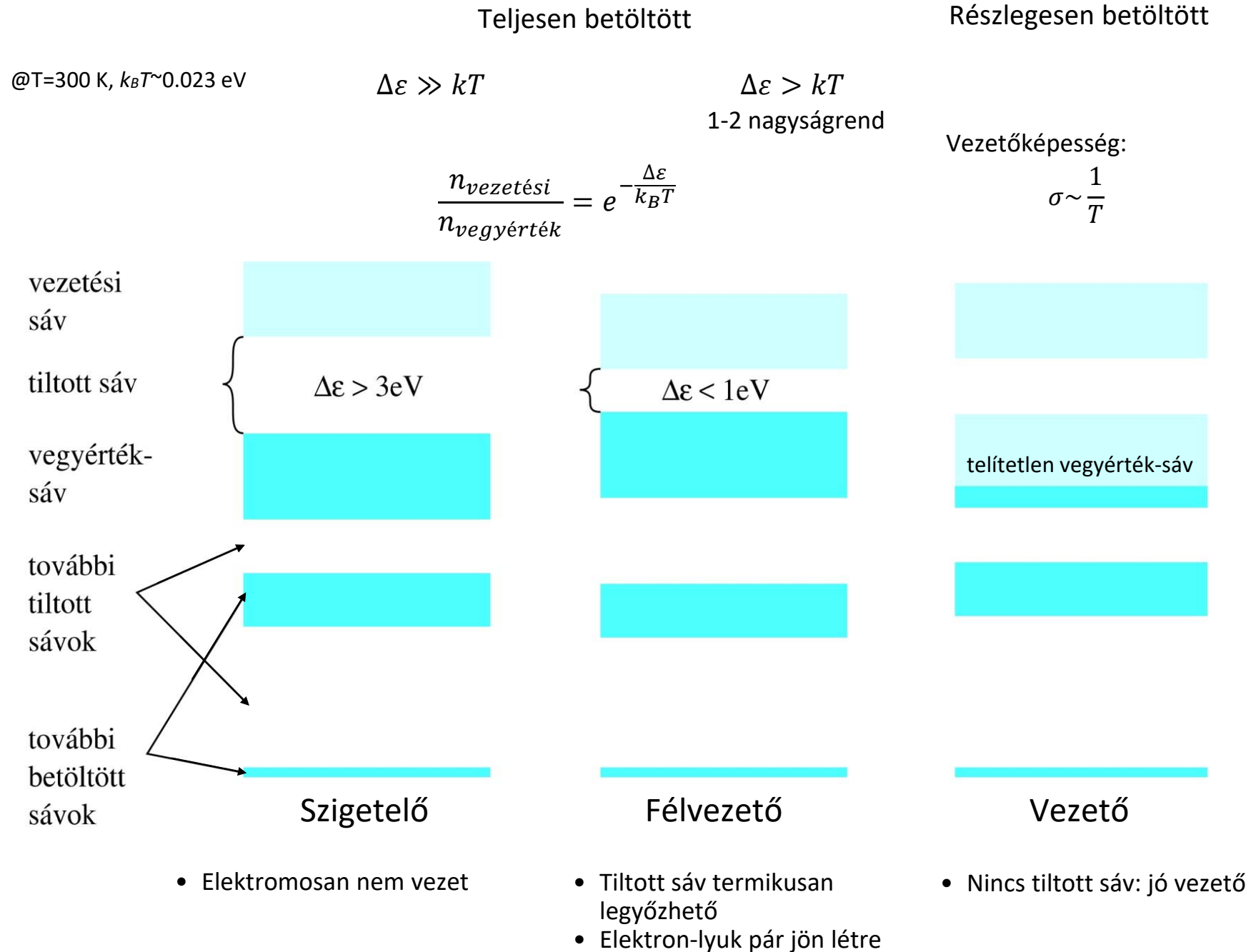


Kristály

- 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



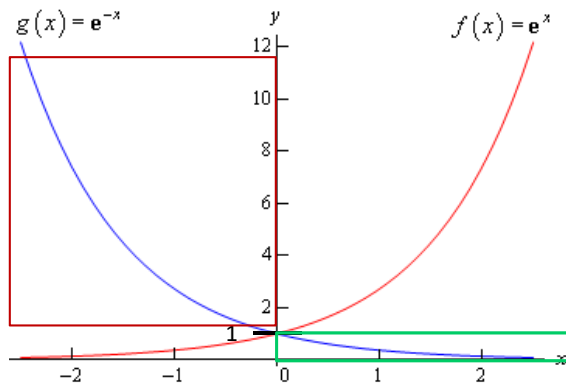
Eltérő sávszerkezetű kristályos anyagok



Boltzmann-eloszlás (ism.)

$$\frac{n_{\text{vezetési}}}{n_{\text{vegérték}}} = e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{k_B T}}$$

$$T = \text{const.}$$



$$\varepsilon_i > \varepsilon_0$$

$$k_B, T > 0$$

$$\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{k_B T} > 0$$

- a hőmérséklet növelésével nő a magasabb energianívók betöltöttsége.

$$T \nearrow \quad \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{k_B T} \searrow \quad n_{\text{vezetési}} \nearrow$$

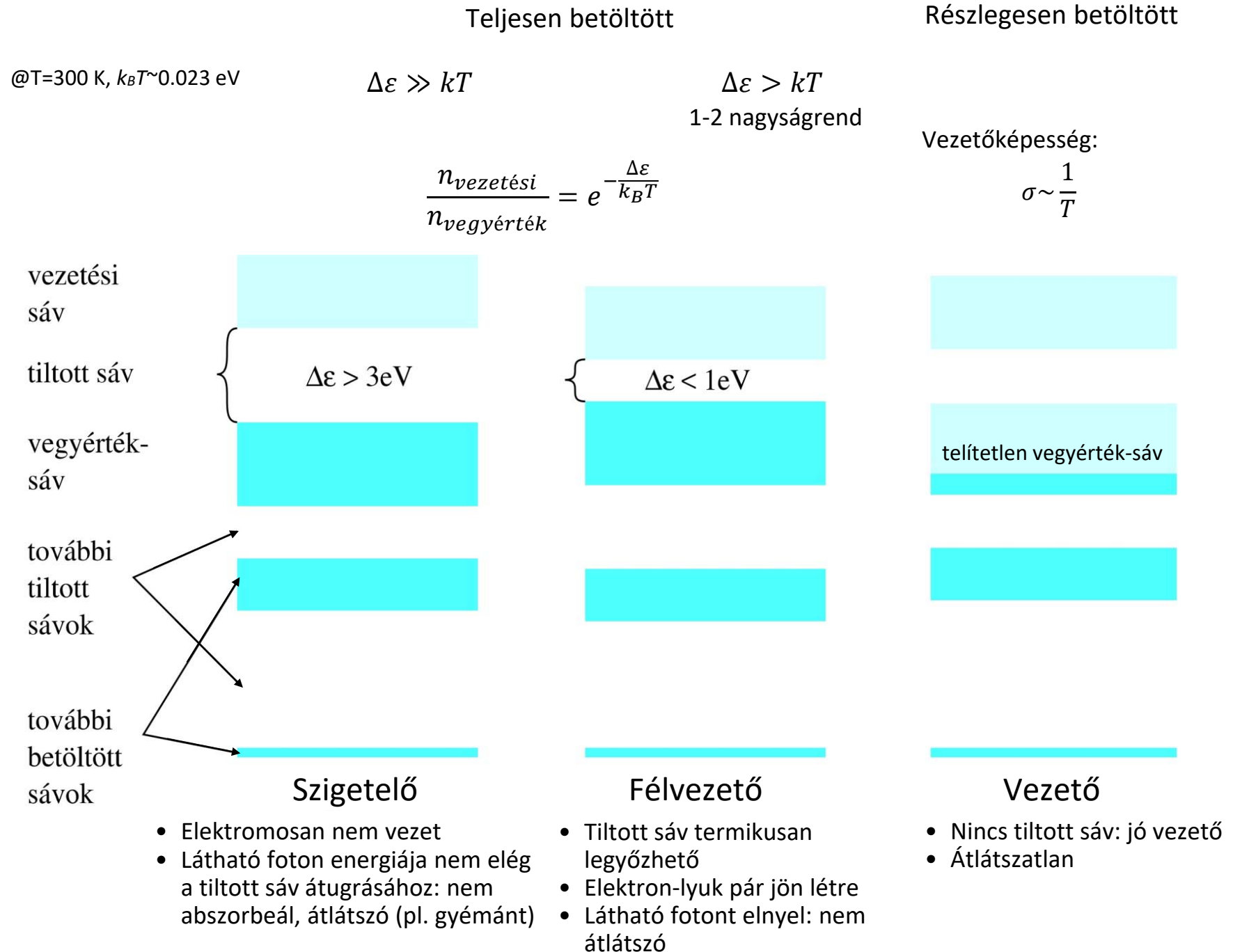
$$\frac{n_i}{n_0} = e^{-\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{k_B T}}$$

Lehet $n_i > n_0$?

NEM! $T[\text{K}]$ nem lehet < 0 !

Kétállapotú rendszer esetén nem lehetséges populáció inverzió!

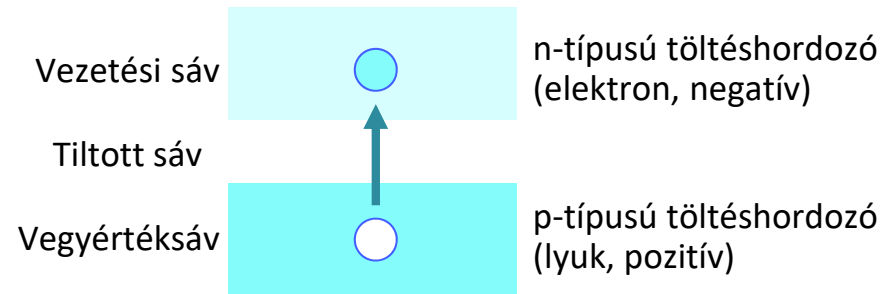
Eltérő sávszerkezetű kristályos anyagok



Félvezetők

A. Tiszta félvezetők

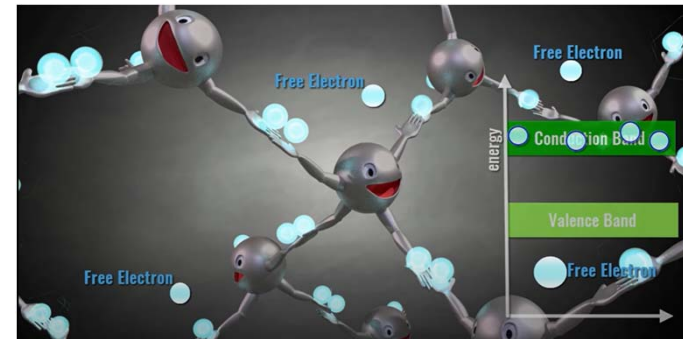
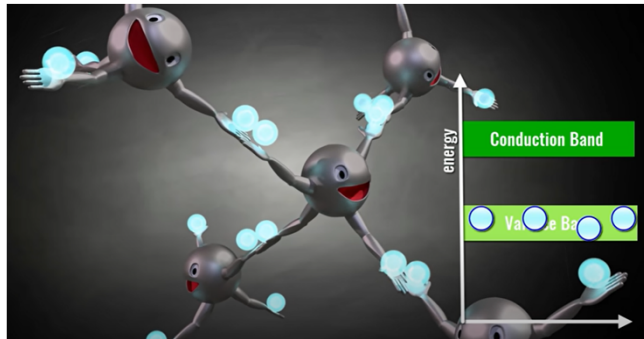
- Kétféle töltéshordozó (n, p):



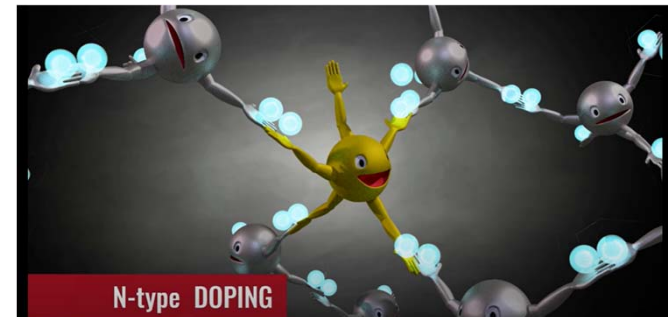
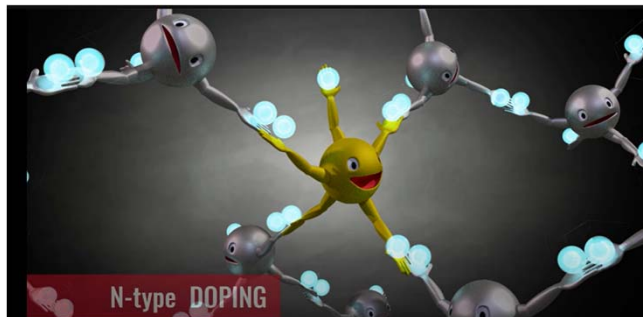
- Vezetőképesség hőmérsékletfüggő: $\sigma = konst \cdot e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{2k_B T}}$
- Tiltott sáv ($\Delta\varepsilon$) < 3 eV
- Tiltott sáv átugrása látható fény (1.5-3 eV) abszorpciójával is előidézhető: $hf_{vis} > \Delta\varepsilon \longrightarrow$ átlátszatlan
- Tiltott sáv ($\Delta\varepsilon$)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



Si



Si



Si - P

Félvezetők

B. Szennyezett félvezetők

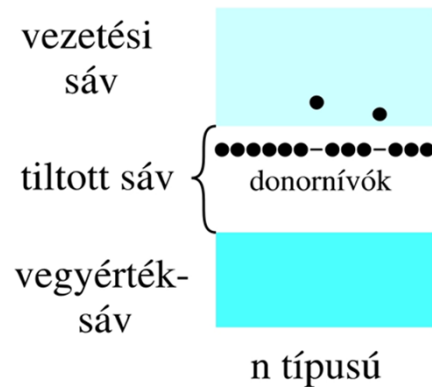
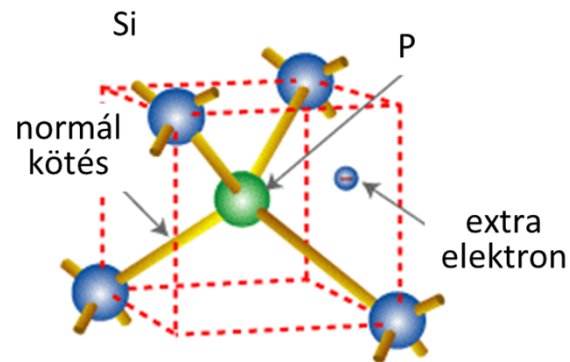
Szennyezés: - a gazdarács atomjai között elhelyezett kis mennyiségű idegen atom:
- új elektronállapotok kialakulásához vezet, melynek következtében a tiltott sáv keskeny lesz.

$$\frac{N_{gazda}}{N_{szennyezés}} \approx 10^6$$

n-típusú félvezető (e-donor):

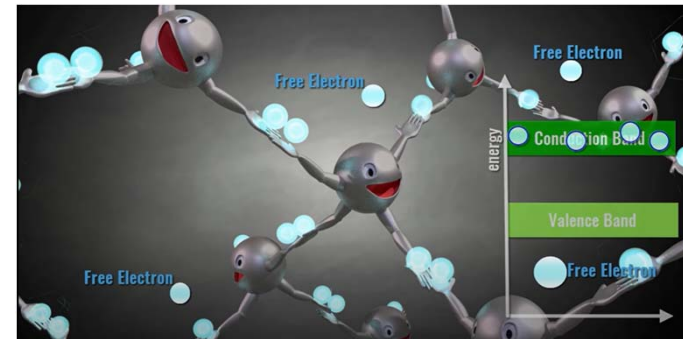
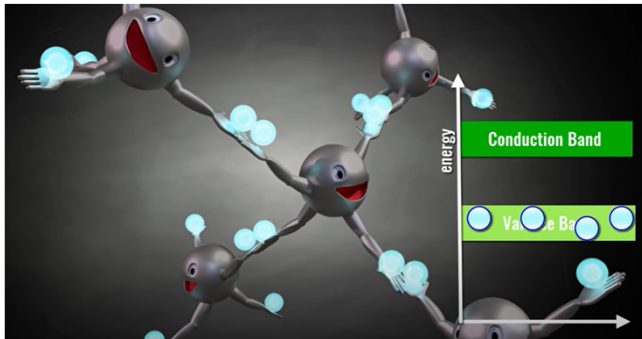
4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

5-vegyértékű szennyezés (P, As, Bi):

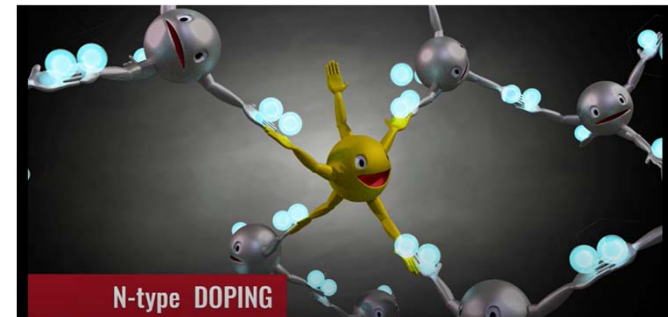
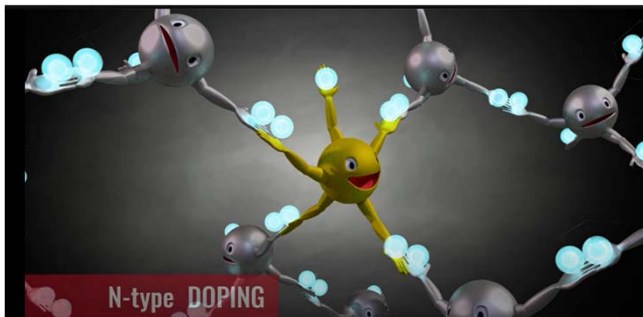




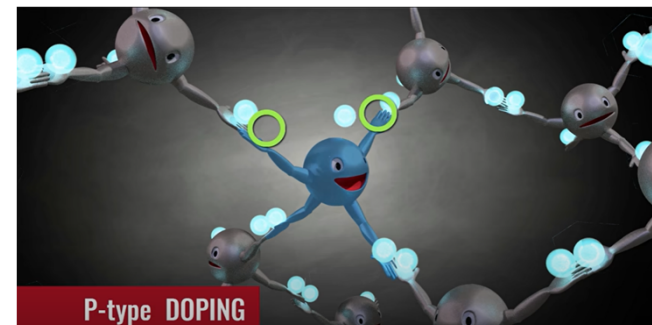
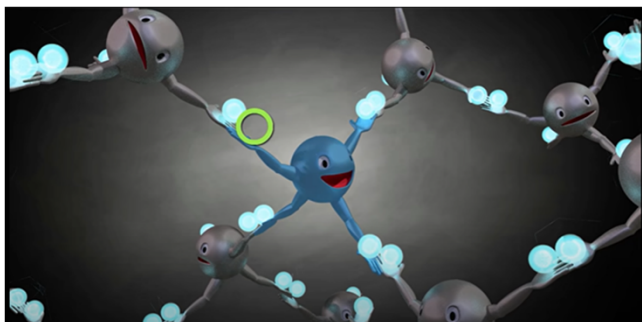
Si



Si



Si - P



Si - B

Félvezetők

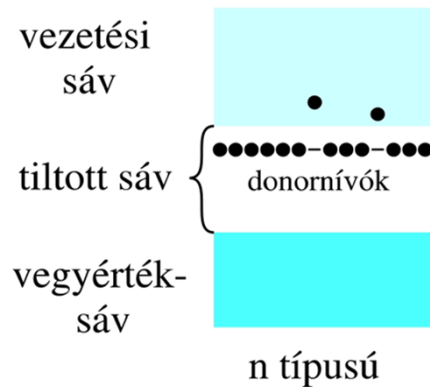
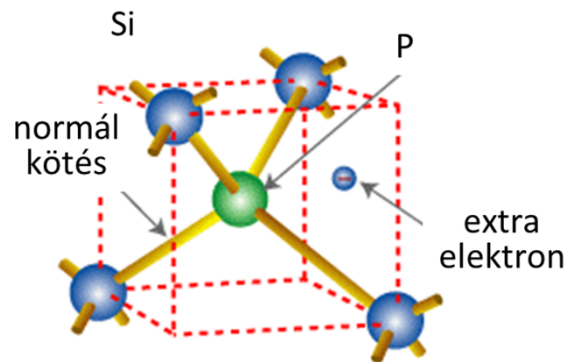
B. Szennyezett félvezetők

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)

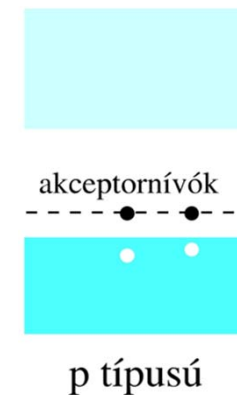
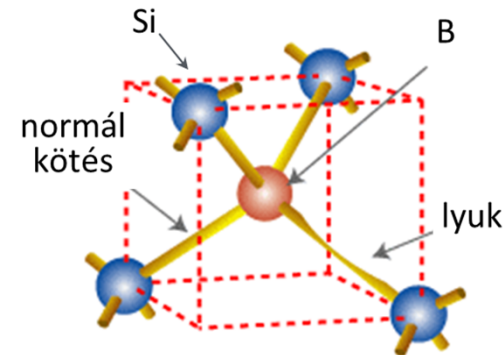
5-vegyértékű szennyezés (P, As, Bi):



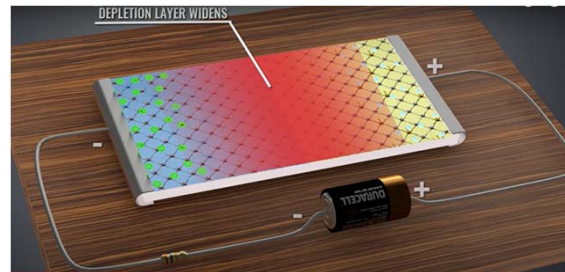
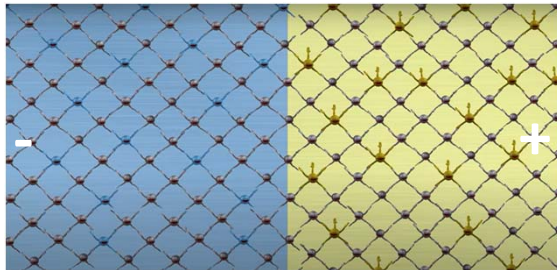
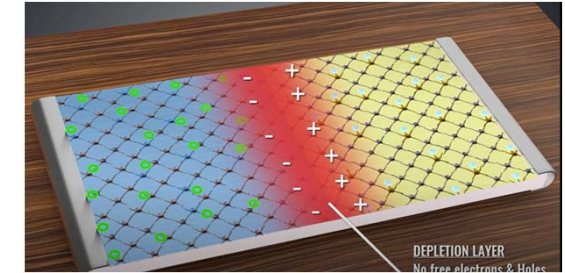
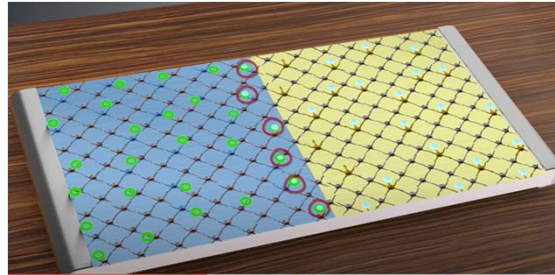
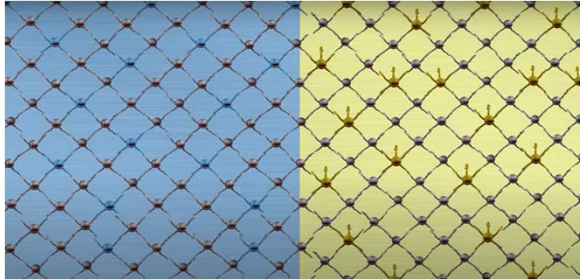
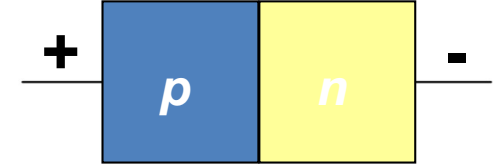
p-típusú félvezető (e-akceptor):

4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

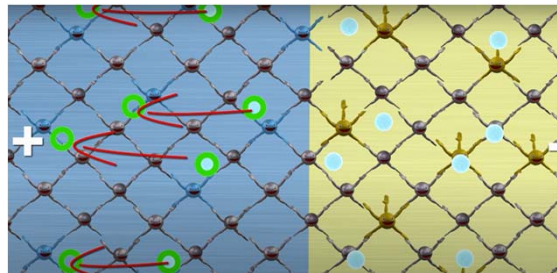
3-vegyértékű szennyezés (Al, Ga, In, B):



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



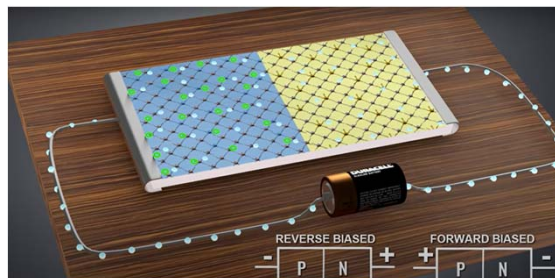
- záróirányú előfeszítés



- nyitóirányú előfeszítés

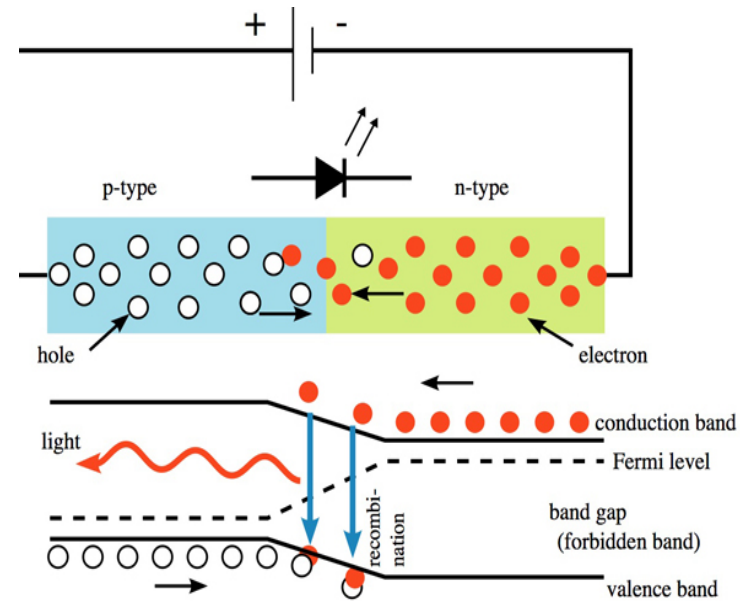
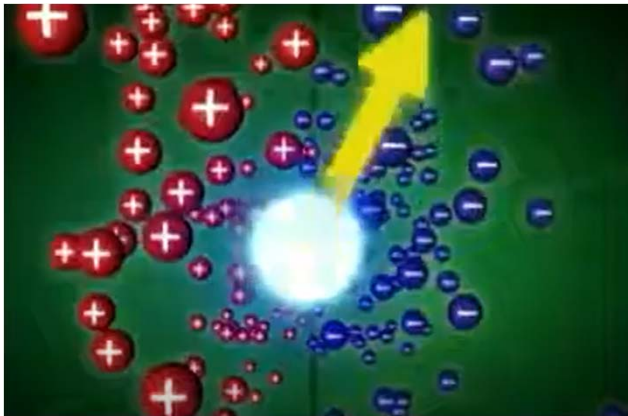
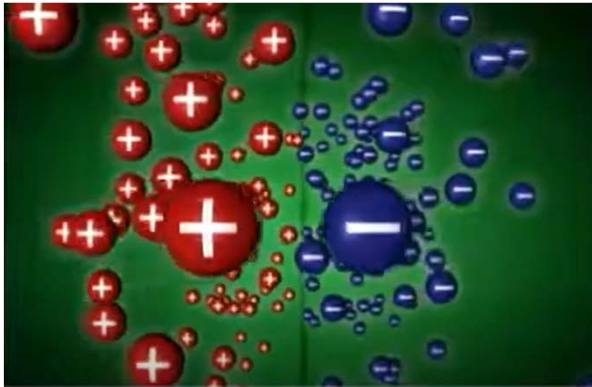
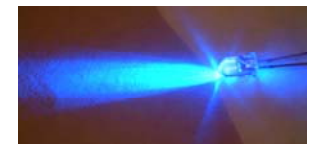
Alkalmazás:

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



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

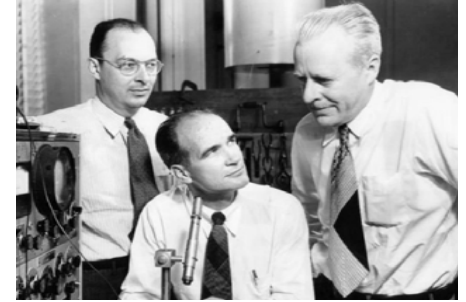
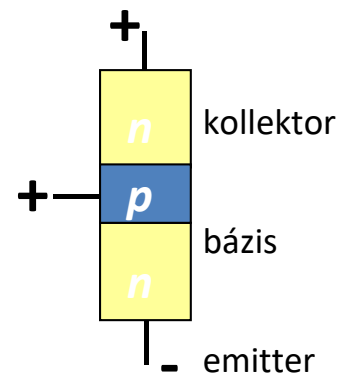
Light Emitting Diode (LED)



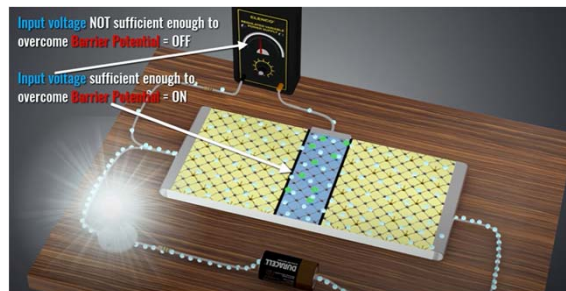
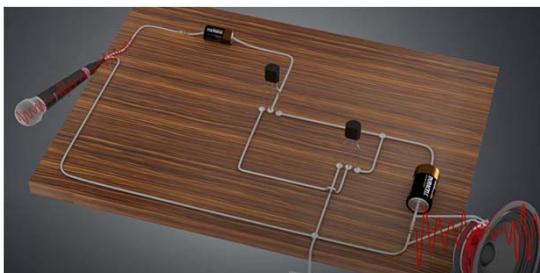
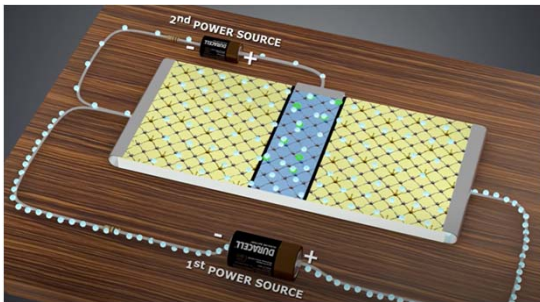
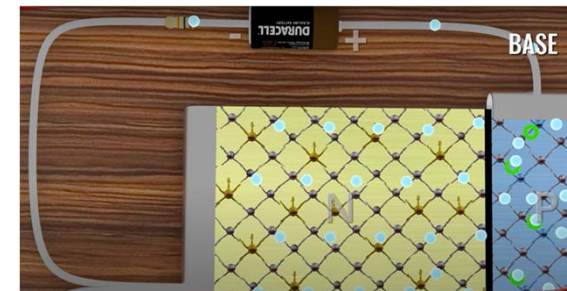
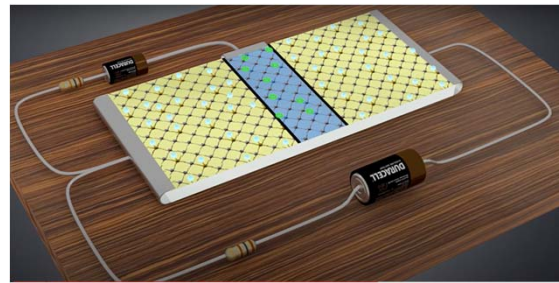
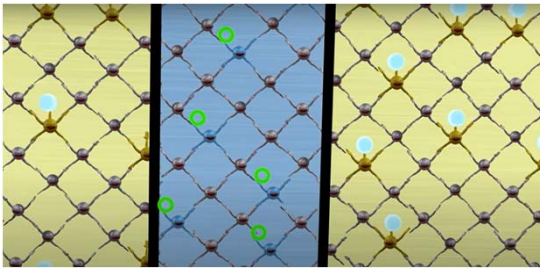
Isamu Akasaki, Shuji Nakamura, Hiroshi Amano, Nobel-prize 2014

Tranzisztor

Okostelefon processzor:



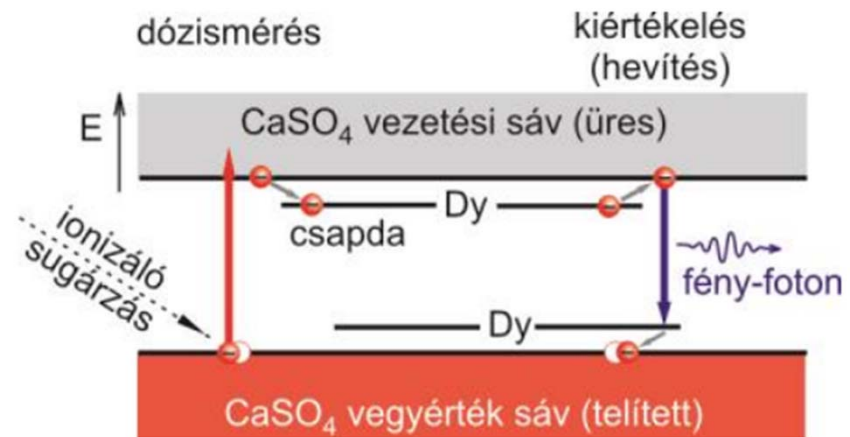
John Bardeen, William Shockley, Walter Brattain,
Nobel-prize 1956



Tranzisztor

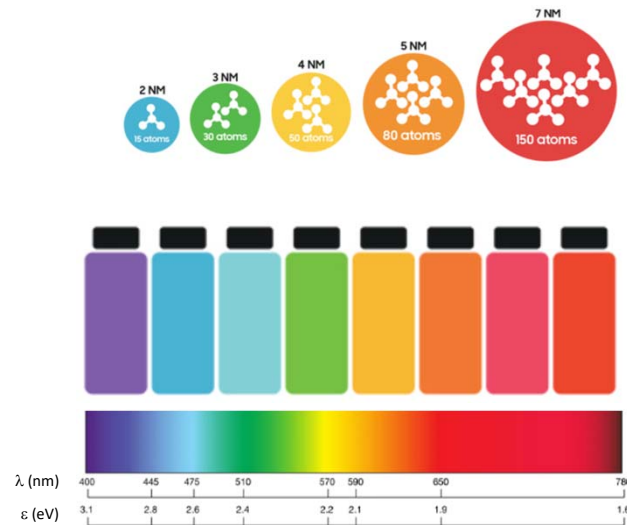
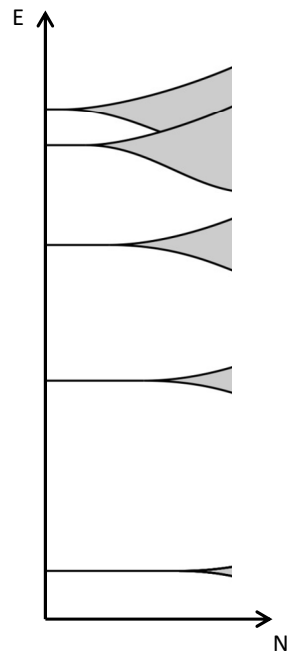
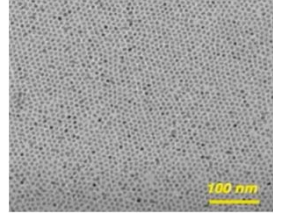
- áramerősítő
- digitális memória elemei
- számlálók, multivibrátorok

Termolumineszcens dózismérő



Kvantumpontok:

- kis méretű (nm nagyságú, 100-1000 atomot tartalmazó) félvezetők.
- nagyságuk meghatározza tulajdonságaikat: a kibocsájtott fény energiája a kvantumpont nagyságától függ.
- a tiltott sáv szélessége határozza meg a kibocsájtott fény energiáját (hullámhosszát).
- a kibocsájtott fény energiája fordítottan arányos a kvantumpont nagyságával.



Alkalmazás:

- sejtek működése – képalkotás (fehérje nagyságúak),
- lézer, mikroszkóp,
- orvosi képalkotás, TV-QLED, stb.



Moungi G. Bawendi, Louis E. Brus, Alexei I. Ekimov
kémiai Nobel-díj 2023