

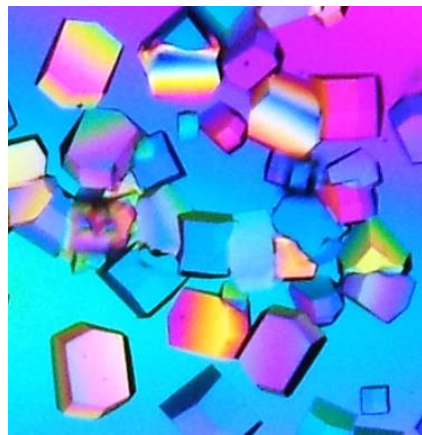
Kristályos szerkezet.  
Vezetők, szigetelők, félvezetők elektromos,  
termikus és optikai tulajdonságai.

Balog Erika

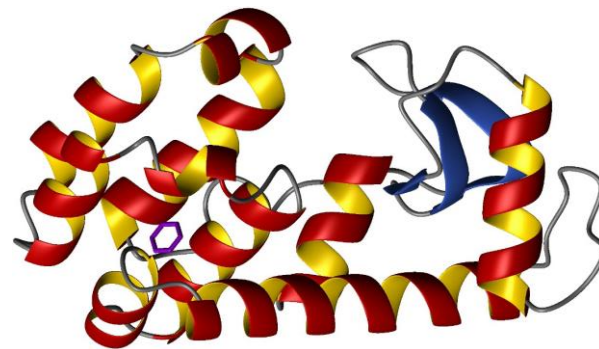
# Szilárd anyagok

## 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)

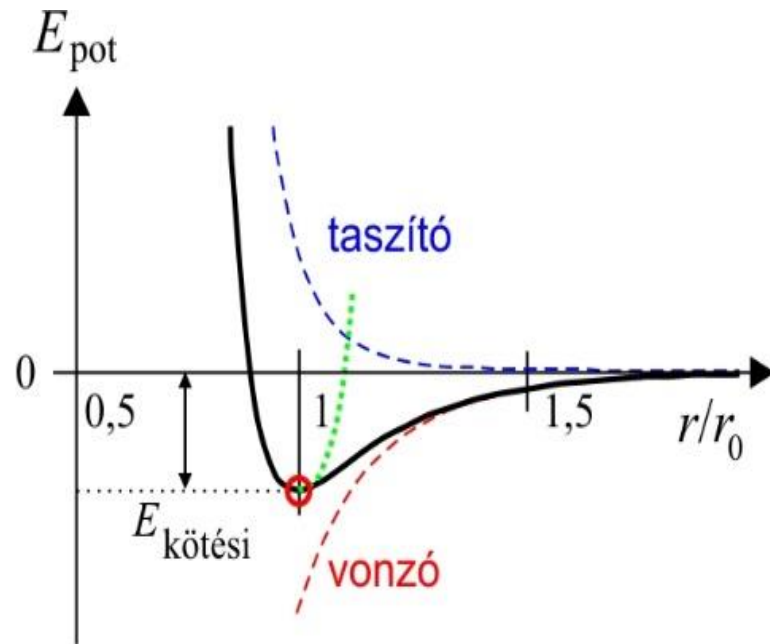


Lizozim fehérjemolekula

## B. Amorfa anyagok

üvegszerű, viszkózus "folyadékok"

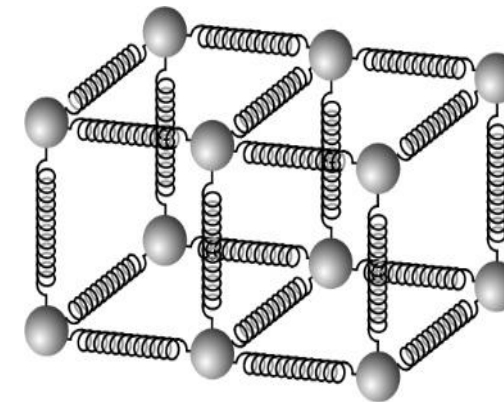
		Bravais-rácsok	
$\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ 	$\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ 		
$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 
$a \neq c$ 		$a \neq c$ 	
$\alpha \neq 90^\circ$ 			
$\gamma = 120^\circ$ 			



- a függvény minimumhely közelében parabolával jól közelíthető.

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

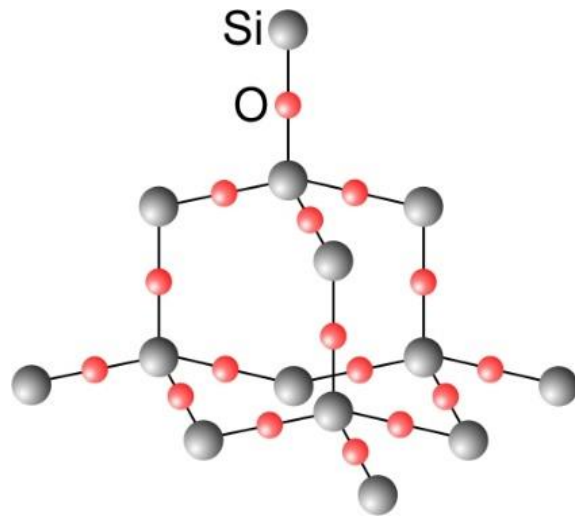
$$F = -D r$$



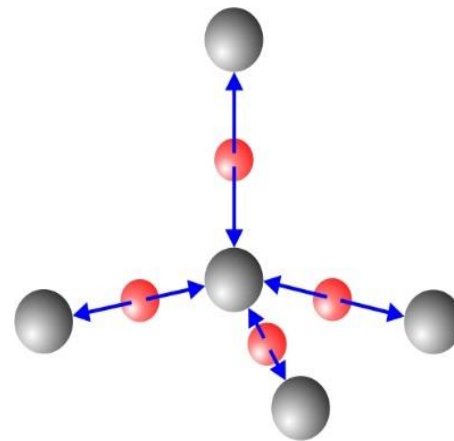
Kristály: rugókkal összekötött tömegpontokból álló térrács.

- 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: átlagosan hosszabb ideig tartózkodnak az egyensúlyi helyzettől nagyobb távolságra.

# Piezelektromos hatás



Kvarc ( $\text{SiO}_2$ ) kristályszerkezete.

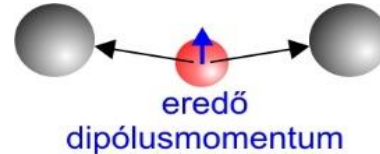


- dipólus: a +/- töltések középpontja nem esik egybe.

$$p = q \cdot l$$

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

*Ha nyomást gyakorlunk a kristályra:*



*feszültség mérhető a kristály két pontja között.*

meghajló Si – O – Si kötések eredő dipólusmomentuma nem 0

***Direkt piezelektromos 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 periodikusan változó feszültséget  
kapcsolunk a kristályra*



*a kristály periodikusan deformálódik = rezeg*

*ha megfelelően választjuk meg a  
feszültség frekvenciáját*

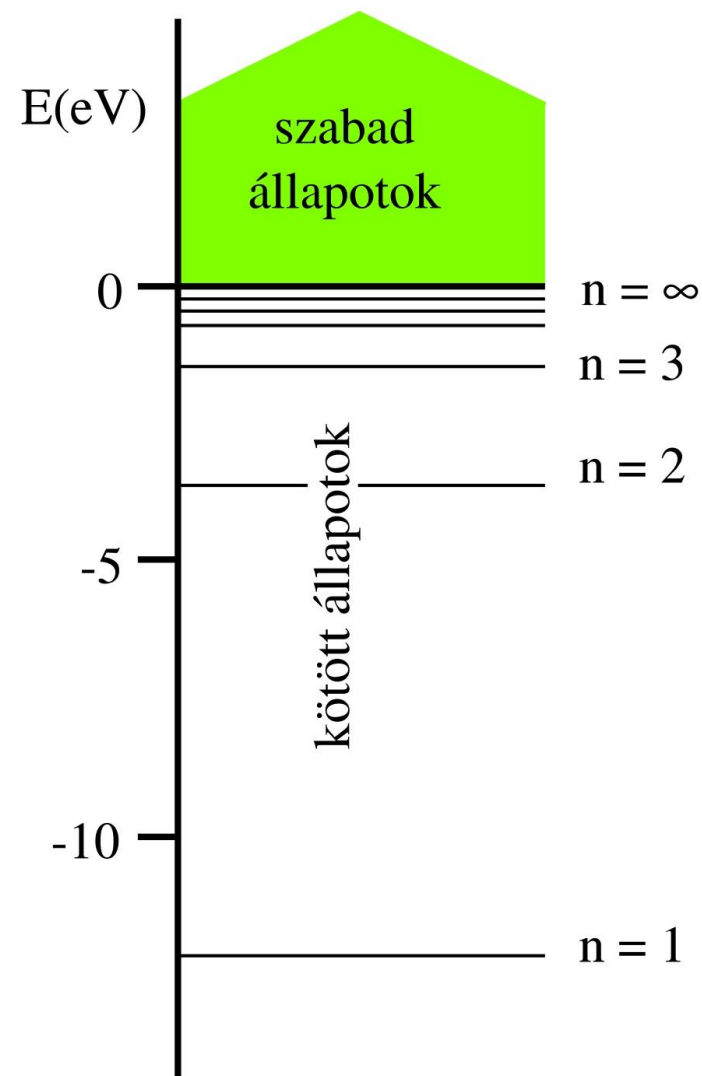


*ultrahang keltés*

# Energianívók kristályokban

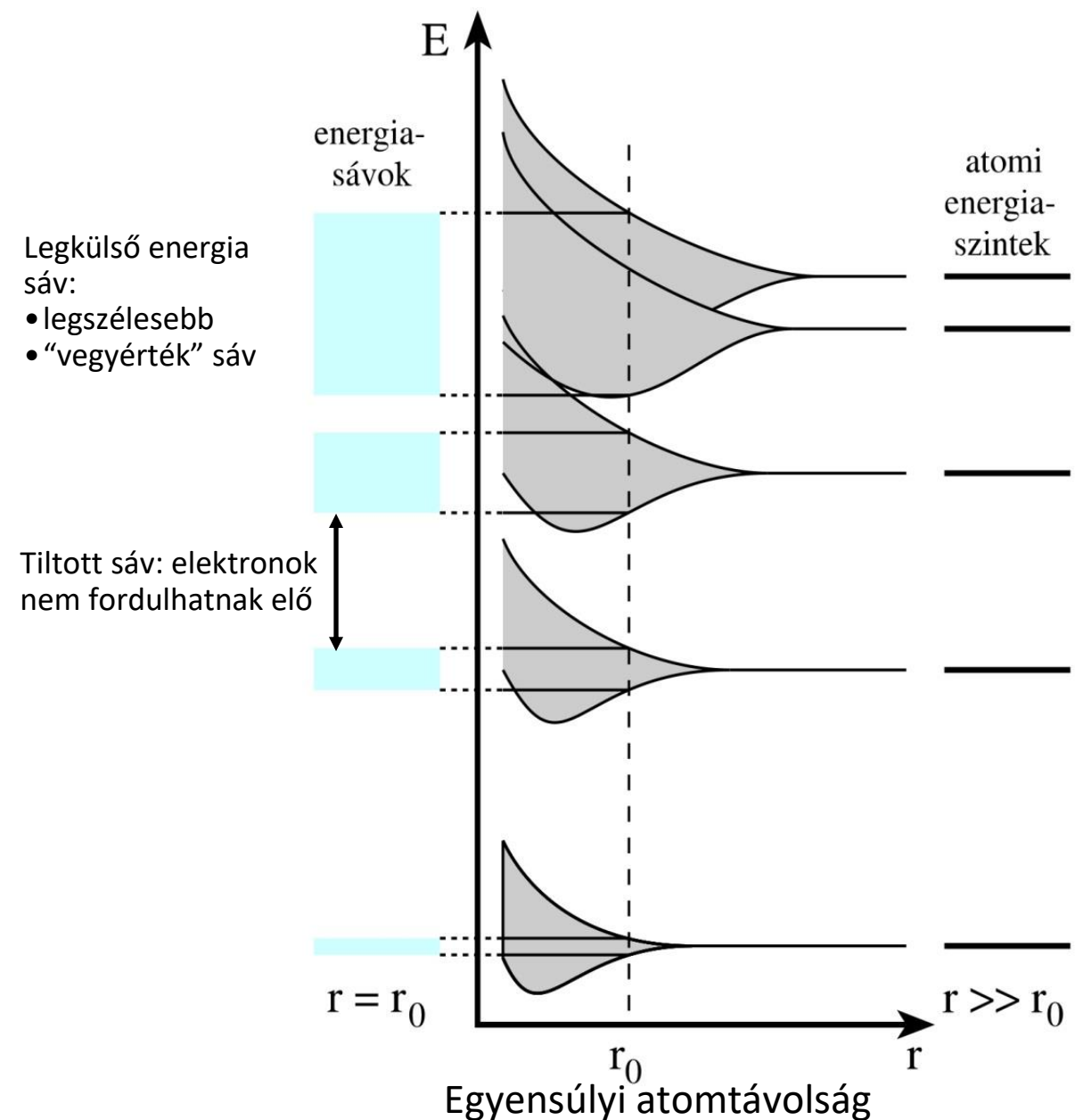
## Izolált hidrogénatom

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

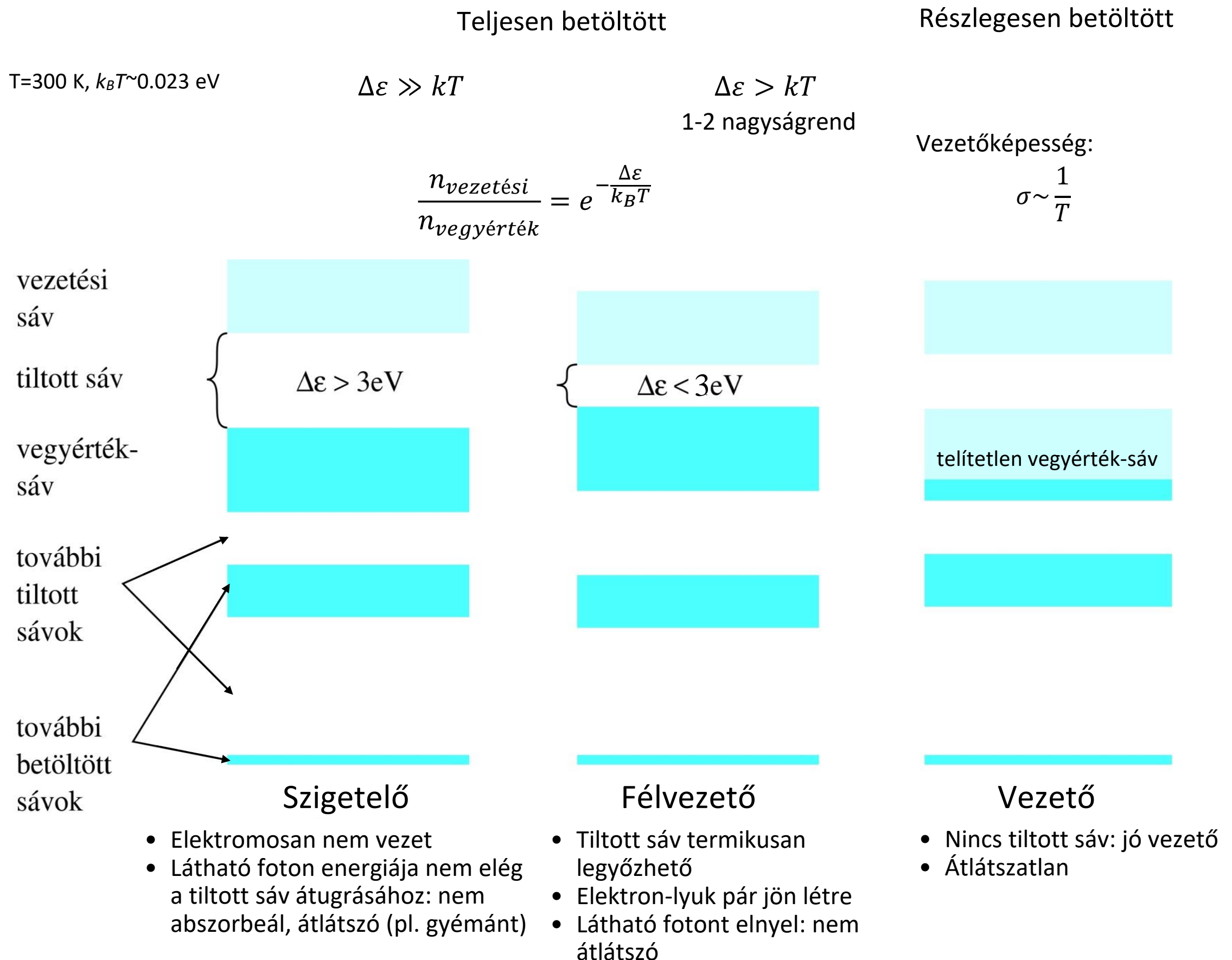


## Kristály

- 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



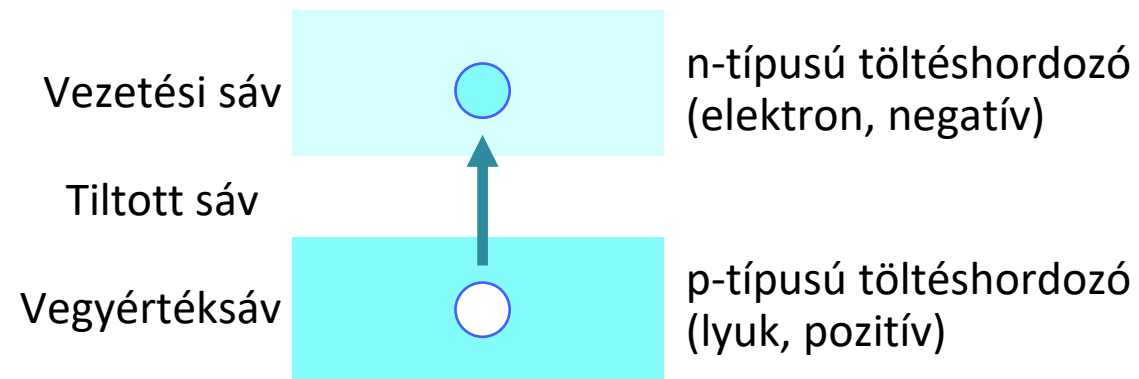
# Eltérő sávszerkezetű kristályos anyagok



# Félvezetők

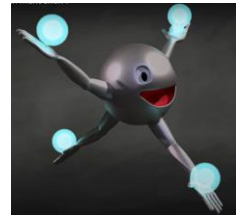
## A. Tiszta félvezetők

- Kétféle töltéshordozó (n, p):

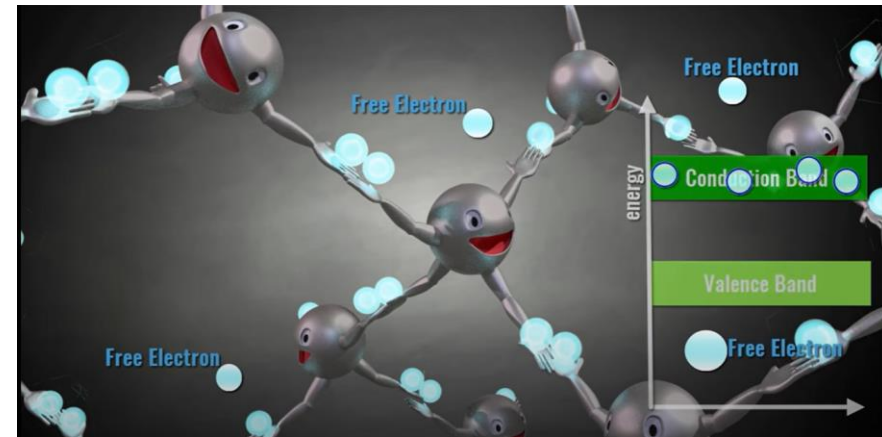
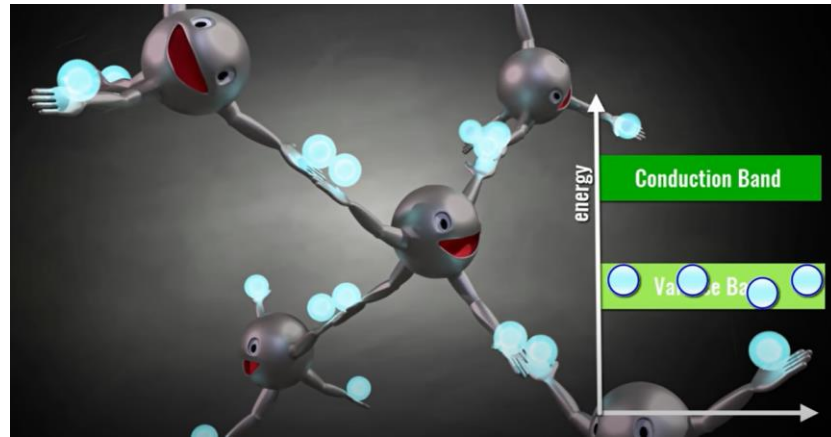


- Vezetőképesség hőmérsékletfüggő:  $\sigma = konst \cdot e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{2k_B T}}$
- Tiltott sáv ( $\Delta\varepsilon$ ) < 3 eV
- Tiltott sáv átugrása látható fény (1.5-3 eV) abszorpciójával is előidézhető:  $hf_{vis} > \Delta\varepsilon \longrightarrow$  átlátszatlan
- Tiltott sáv ( $\Delta\varepsilon$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

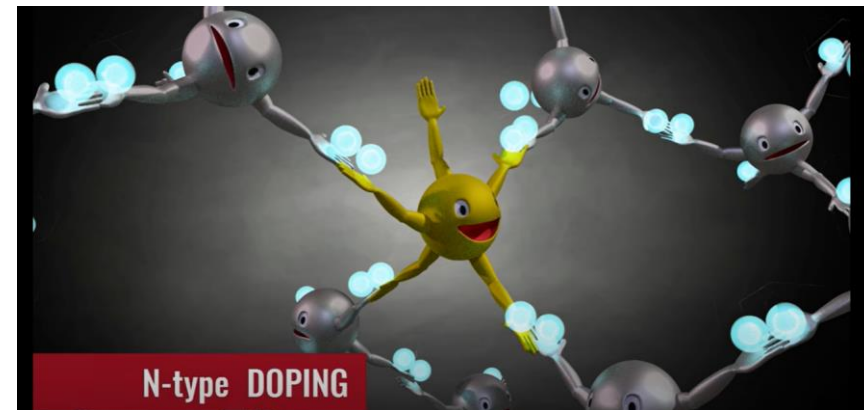
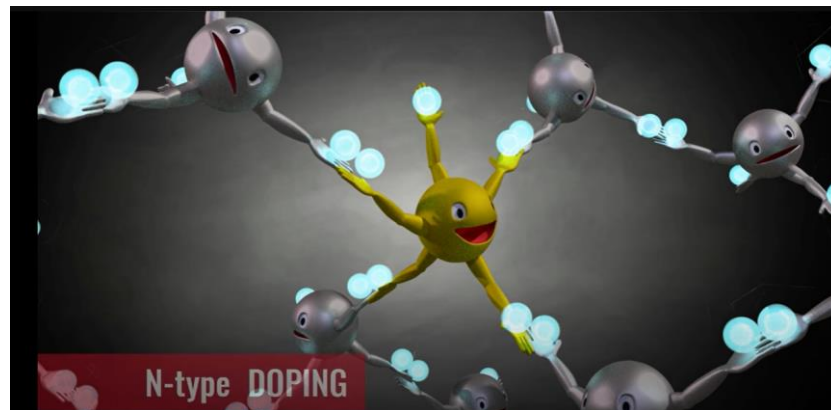




Si



Si



Si - P

# Félvezetők

## B. Szennyezett félvezetők

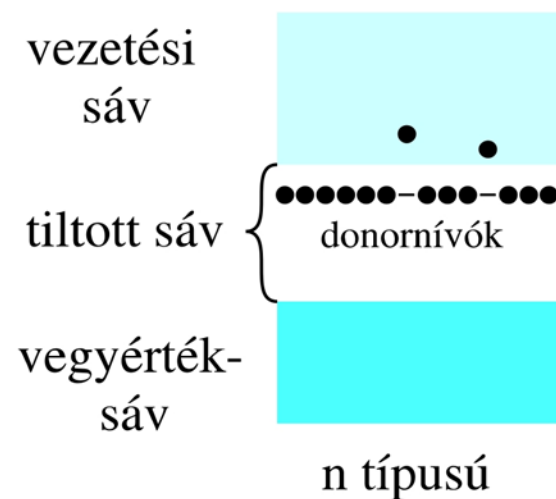
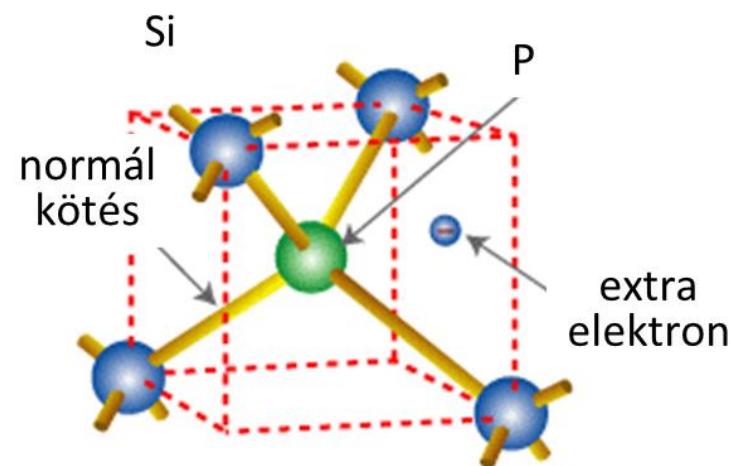
Szennyezés: - a gazdarács atomjai között elhelyezett kis mennyiségű idegen atom:  
- új elektronállapotok kialakulásához vezet, melynek következtében a tiltott sáv keskeny lesz.

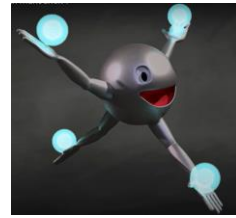
$$\frac{N_{gazda}}{N_{szennyezés}} \approx 10^6$$

***n-típusú félvezető*** (e-donor):

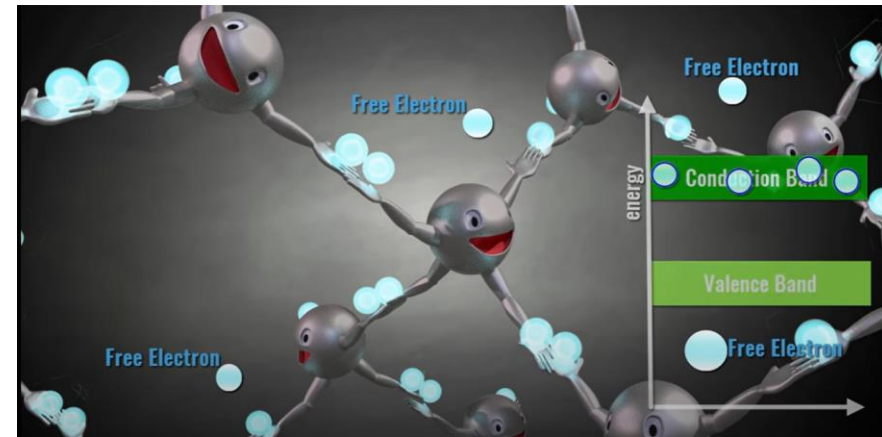
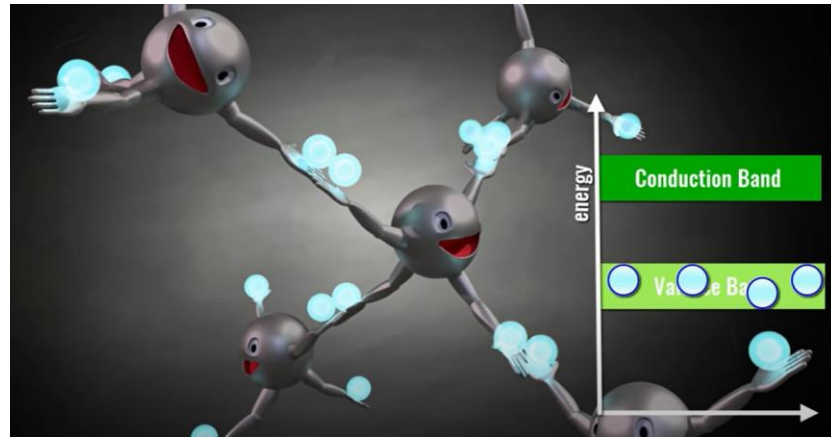
4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

5-vegyértékű szennyezés (P, As, Bi):

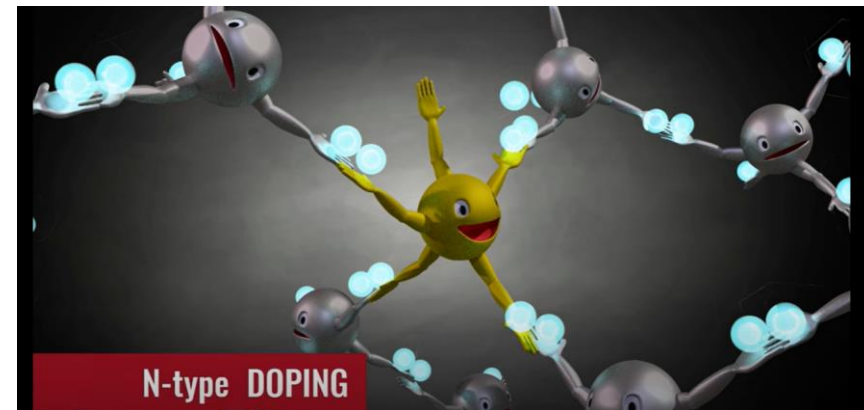
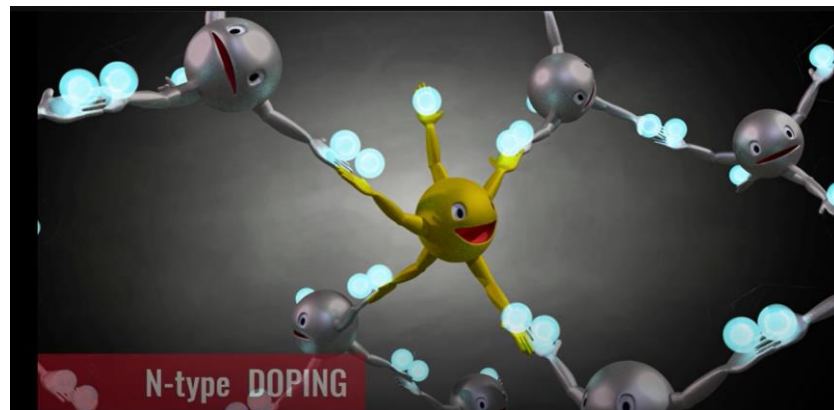




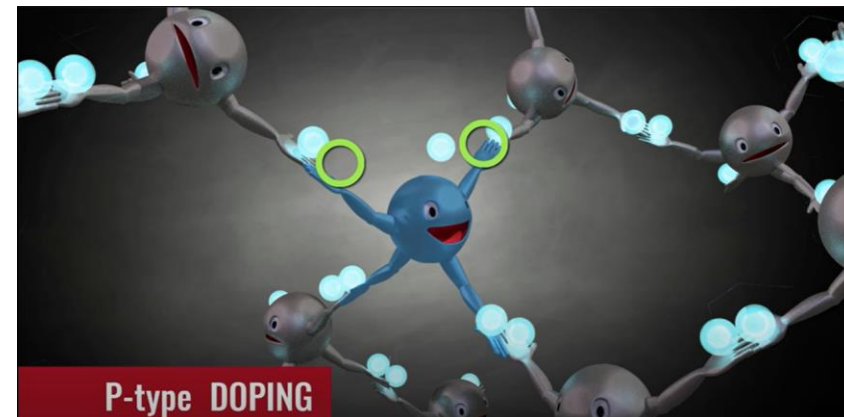
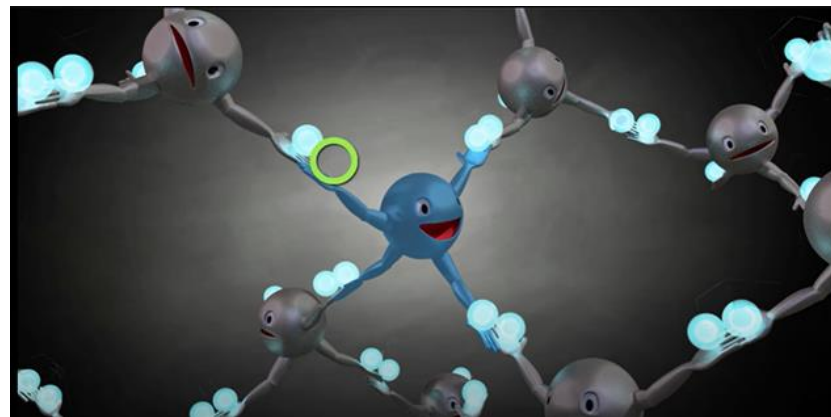
Si



Si



Si - P



Si - B

# Félvezetők

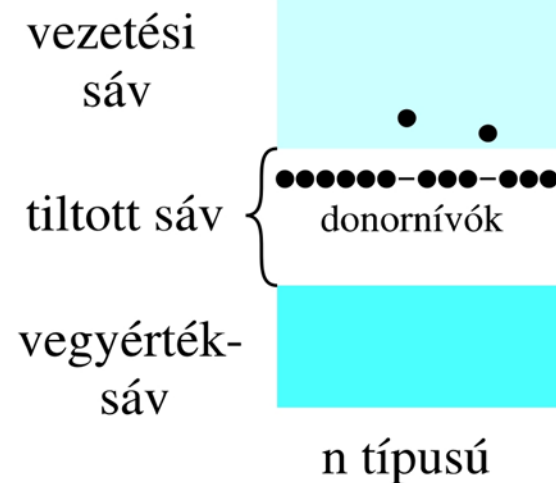
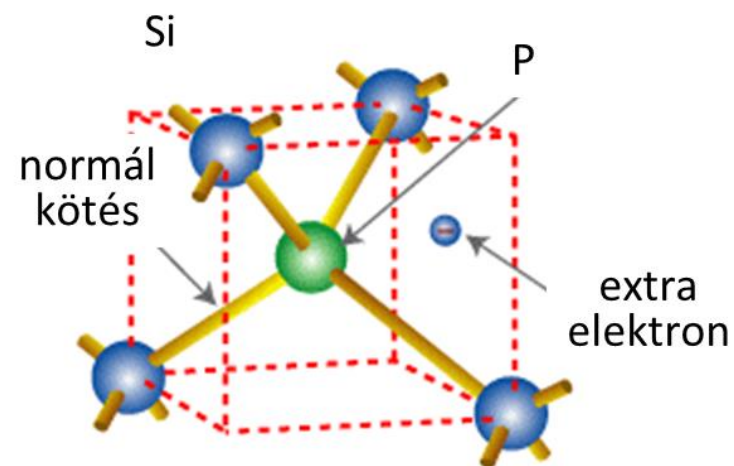
## B. Szennyezett félvezetők

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)

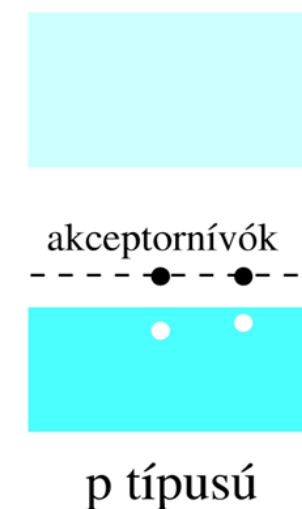
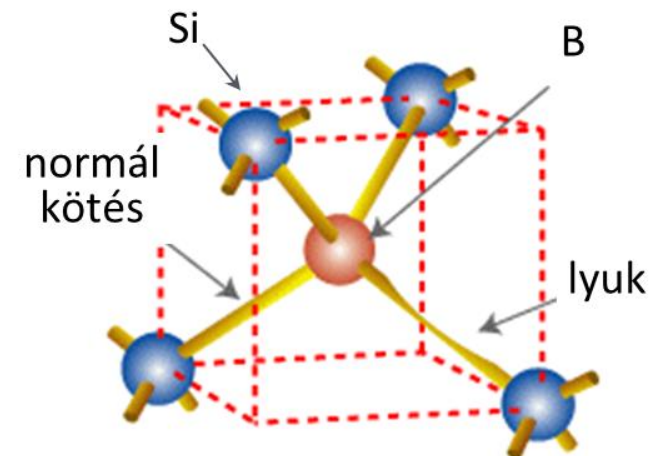
5-vegyértékű szennyezés (P, As, Bi):



***p-típusú félvezető*** (e-akceptor):

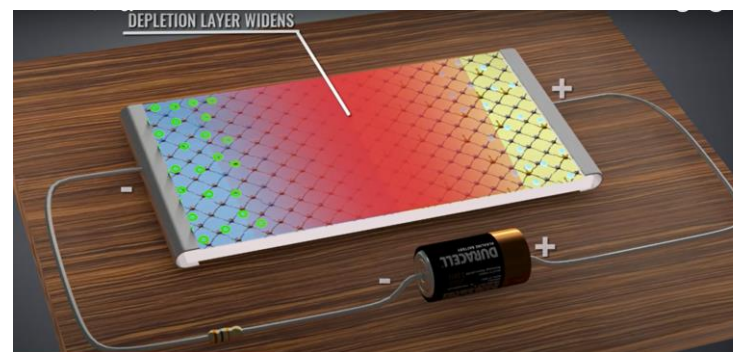
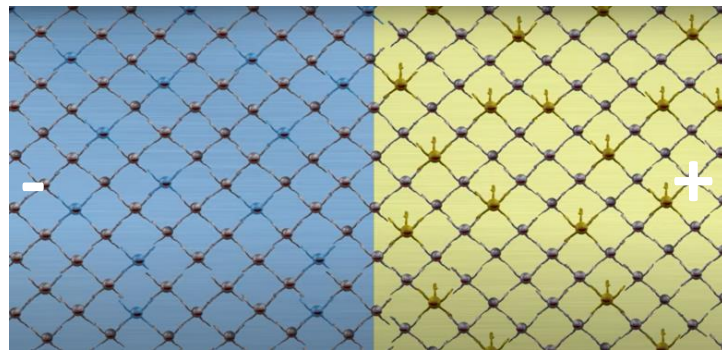
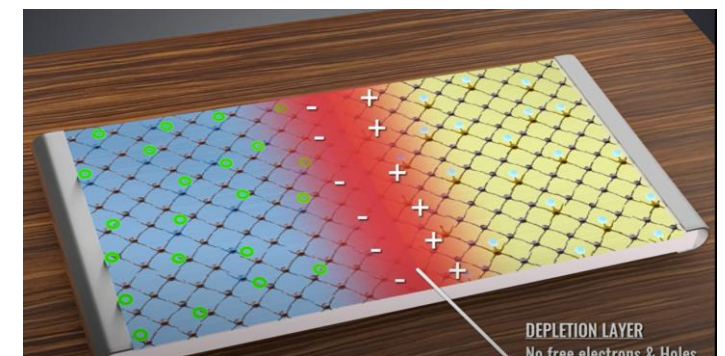
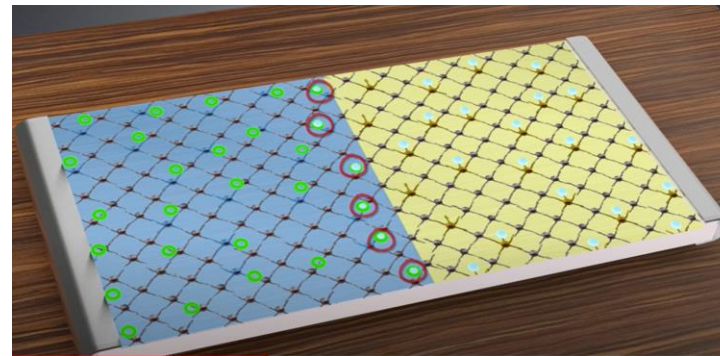
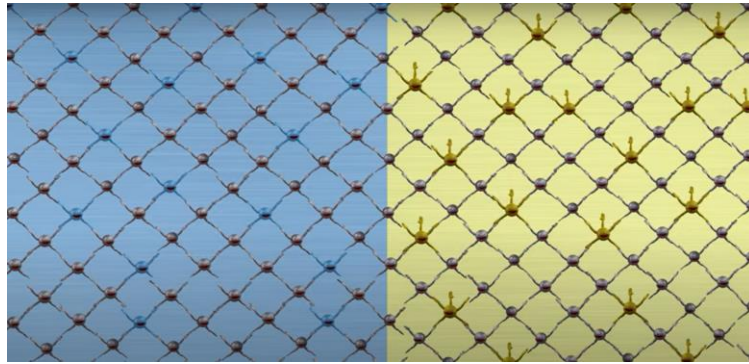
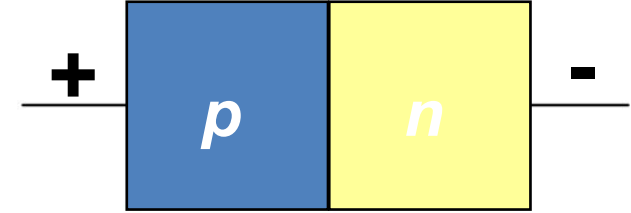
4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

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

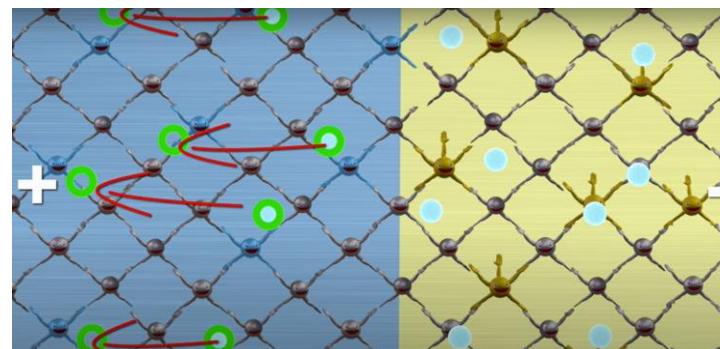
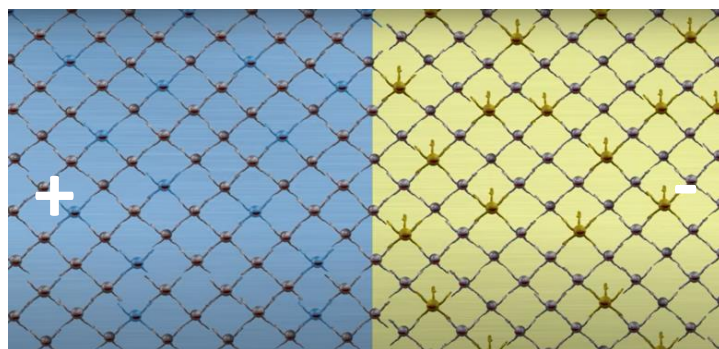




**Dióda** - megfelelően szennyezett, p- és n-típusú félvezetők összeillesztéséből kialakított mikroelektronikai eszközök



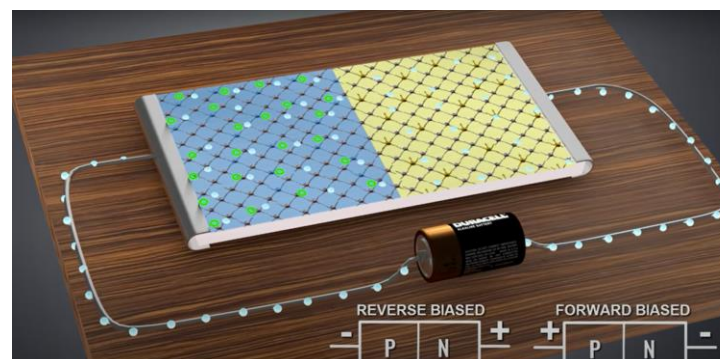
- záróirányú előfeszítés



- nyitóirányú előfeszítés

Alkalmazás:

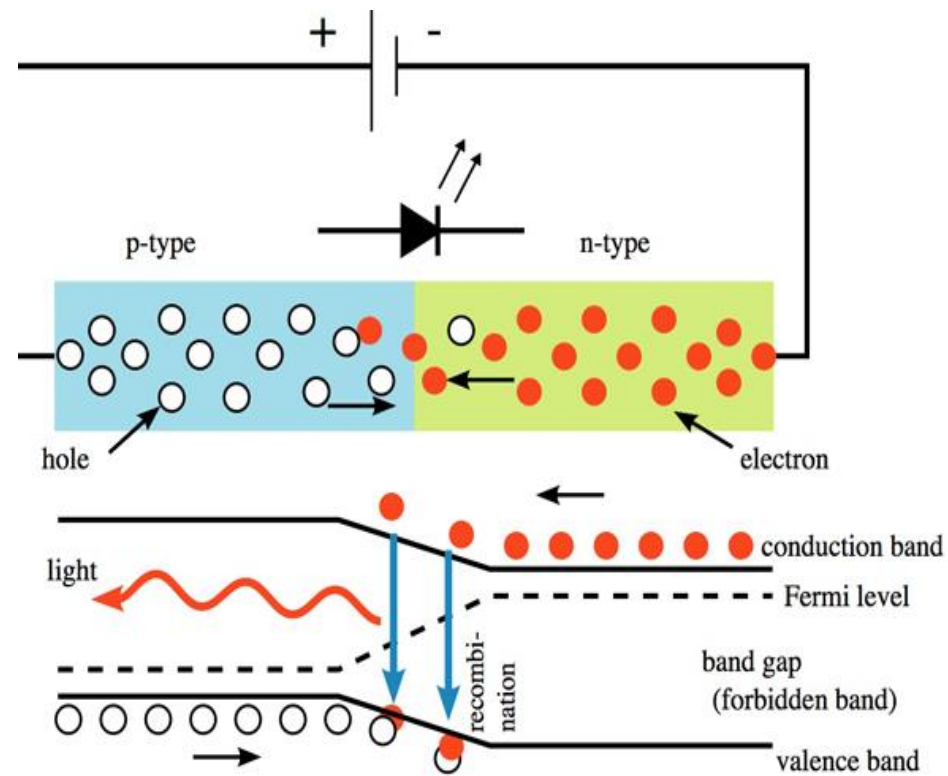
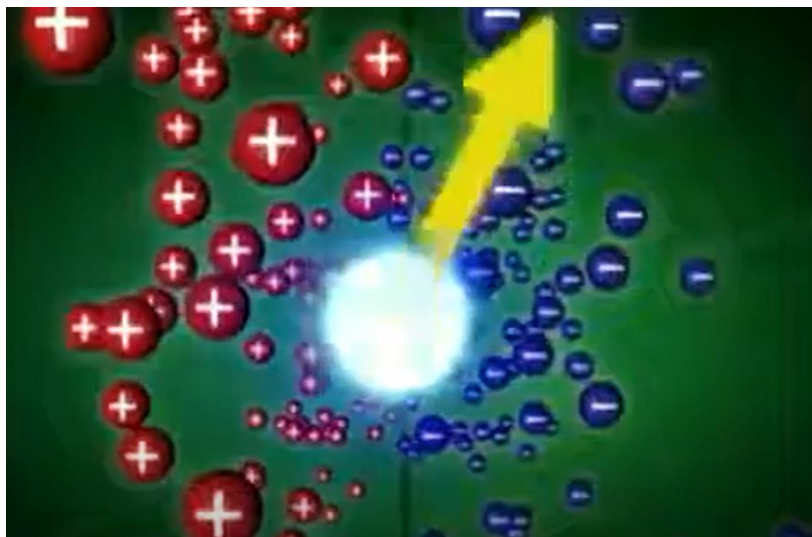
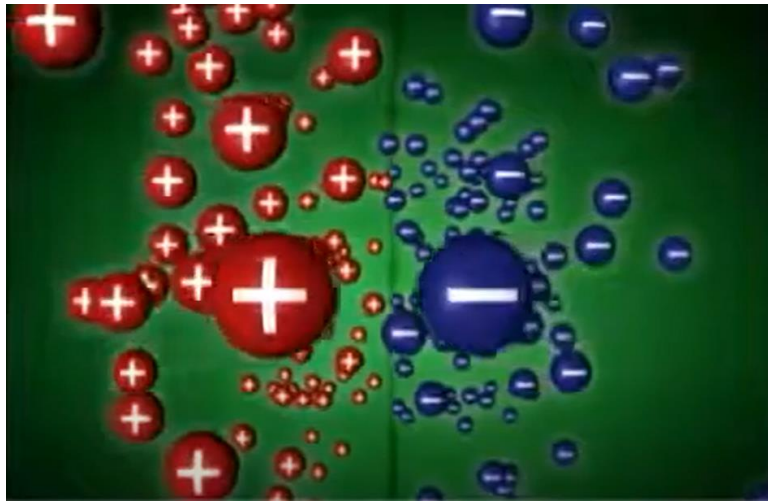
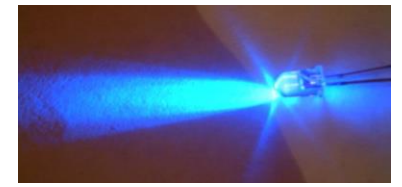
- egyenirányító
- elektromos feszültség → fényforrás, LED
- megvilágítás → feszültség → CCD pixel



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

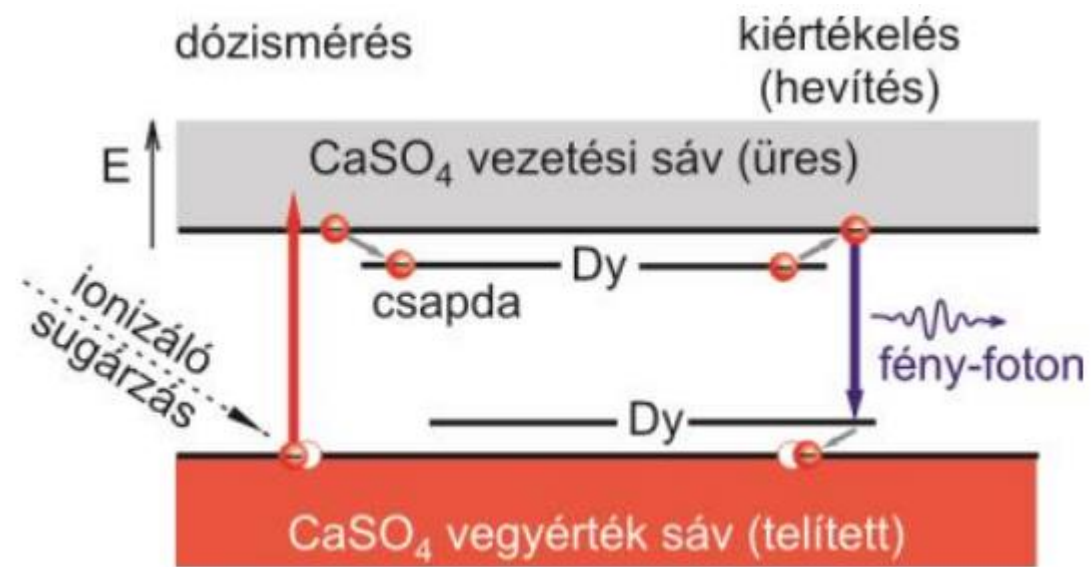


# Light Emitting Diode (LED)



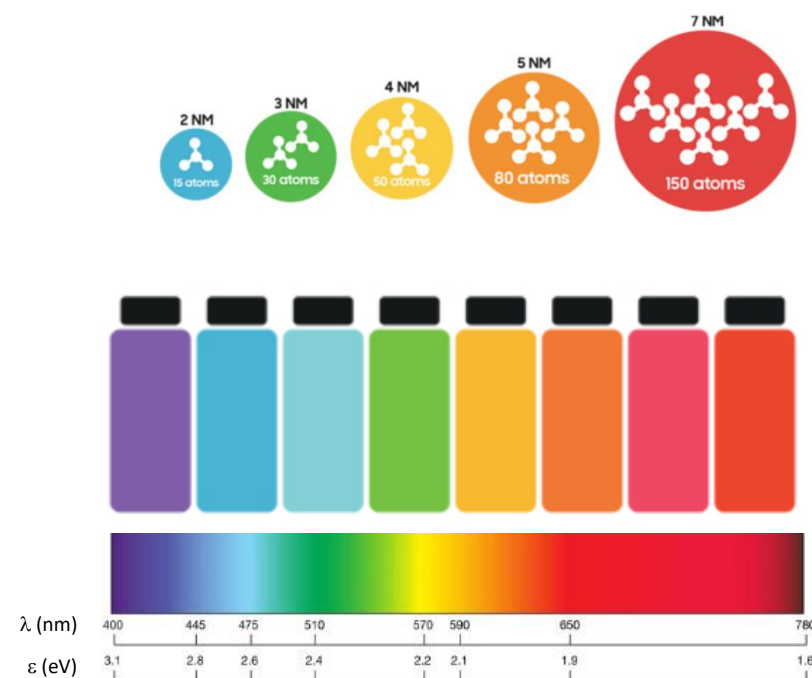
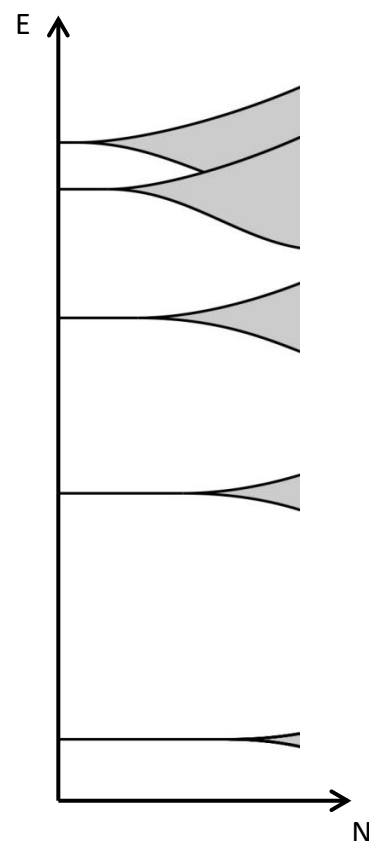
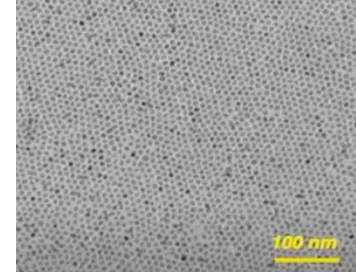
Isamu Akasaki, Shuji Nakamura, Hiroshi Amano, Nobel-prize 2014

# Termolumineszcens dózismérő



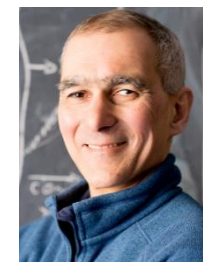
# Kvantumpontok:

- kis méretű (nm nagyságú, 100-1000 atomot tartalmazó) félvezetőik.
- 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.



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