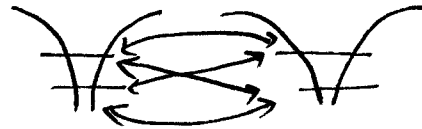
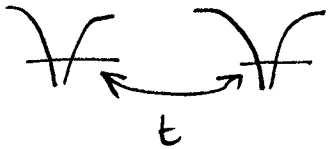


(II/E) Felvezetők

① Egyatomos lánc modellje

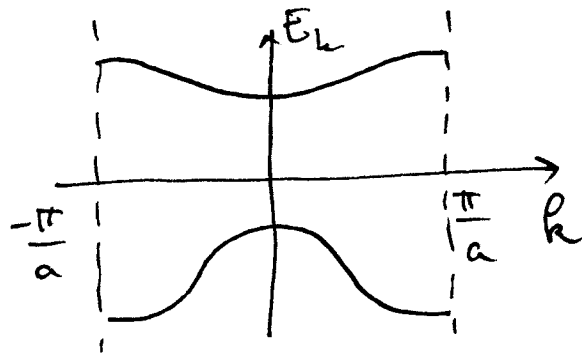
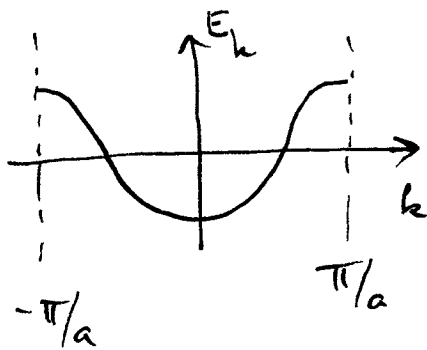
eddig: 1 pálya/atom

igazából: több pálya/atom



alagutazási
mátrixelem

több különböző
alagutazási mátrixelem

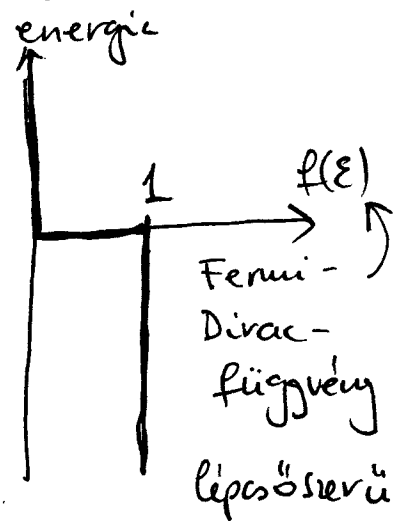
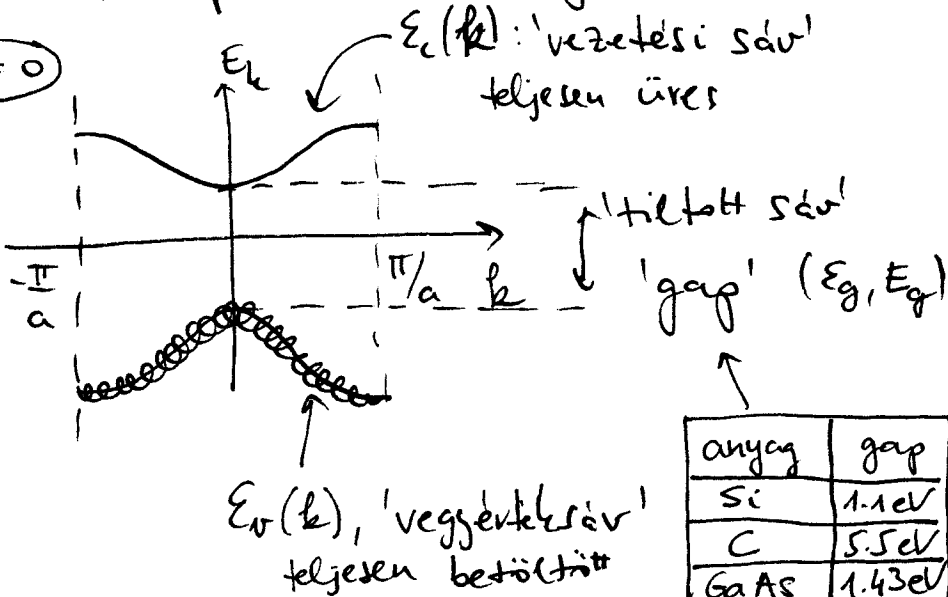


egyetlen sáv

több sáv
"Sávstruktúra"

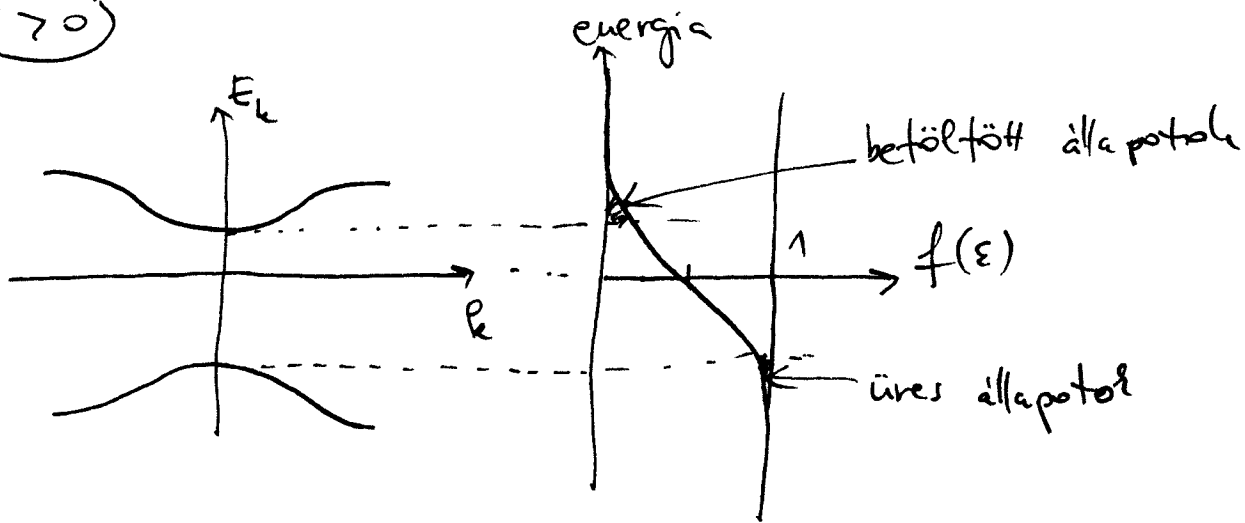
② Sávok / állapotok betöltöttsége tiszta felvezetőben

$T=0$



anyag	gap
Si	1.1 eV
C	5.5 eV
GaAs	1.43 eV

(170)



résilegesen betöltött vezetési sáv / vegyértéksáv

"termikusan gerjentesített töltéshordozók":

extra elektronok a vezetési sávban

hiányzó elektronok ('lyukak') a vegyértéksávban

③ Tiszta félvezető kémiai potenciálja (μ)

$$f(\epsilon, T, \mu) = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon - \mu}{k_B T}} + 1}$$

$\epsilon_v(k), \epsilon_c(k), T$ adott

$\mu = ?$

μ meghatározó

$$\sum_k f(\epsilon_c(k), T, \mu) = \sum_k [1 - f(\epsilon_v(k), T, \mu)]$$

"a vezetési sávba a vegyértéksávból gerjentesődhetnek e-ök"

④ töltéshordozók száma/sűrűsége:

elektronok \leftarrow spin

$$n = \frac{N}{L} = \frac{2}{L} \sum_k f(\epsilon_c(k), T, \mu) \quad (1D)$$

lyukak:

$$p = n \leftarrow$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{2}{V} \sum_k f(\epsilon_c(k), T, \mu) \quad (3D)$$

⑤ példa: 3D, sávok parabolikus (effektív tömeg) közelítés:

$$n(T) = 2.5 \left(\frac{m_n^*}{m_e} \right)^{3/4} \left(\frac{m_p^*}{m_e} \right)^{3/4} \left(\frac{T}{300K} \right)^{3/2} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} \times 10^{19} \frac{1}{\text{cm}^3}$$

" p(T)

$m_n^* = m_p^* = m_e$ \rightarrow $n(300K) \approx 10^{11} \frac{1}{\text{cm}^3}$ ("félvezető")
 $E_g = 1\text{eV}$
 $E_g = 5\text{eV} \Rightarrow n(300K) \approx 2.5 \times 10^{-23} \frac{1}{\text{cm}^3}$ ("szigetelő")

fém: $a = 2\text{Å}$ rácslátszó, 1 e/atom a vezetési sávban

$$\Rightarrow n \approx 1,25 \times 10^{23} \frac{1}{\text{cm}^3}$$

⑥ vezetőképesség: Drude-modell: $\sigma = \frac{n e^2 \tau}{m^*}$

félvezetőben e- és lyukak járuléka: $\sigma = \sigma_e + \sigma_h$

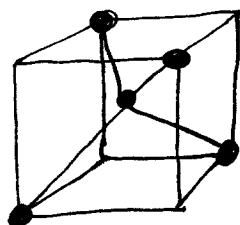
σ értékegy hőm.-re \rightarrow hőmérs.

pl: $n(E_g = 1\text{eV}, T = 303K) \approx 1.22 \times 10^{11} \frac{1}{\text{cm}^3}$

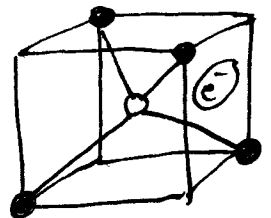
3K hőm.-növekedés \rightarrow 20% ellenállás-csökkenés

⑦ adalékolt félvezetők; pl: Si (gyémántstruktúra)

III.	IV.	V.
13 Al	14 Si	15 P
31 Ga	32 Ge	33 As



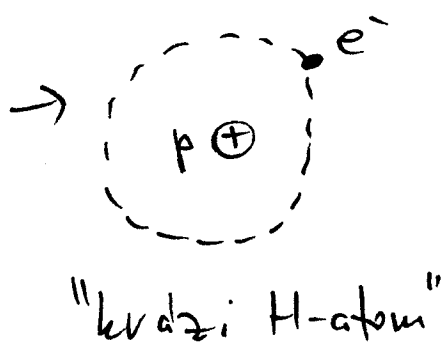
• Si 4 vegyjéklet-e \rightarrow 4 kötés



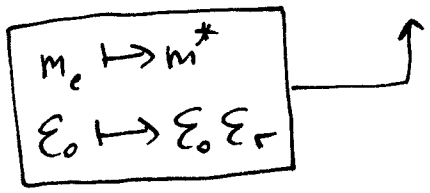
• P: 5 vegyjéklet-e
4 kötés

8) 'donornívő' a vezetési sáv alatt

P-atom Si kristályban } pozitívan töltött P ion }
 5 vegyérték-e } + 1 db kötött elektron }
 4 kötés }

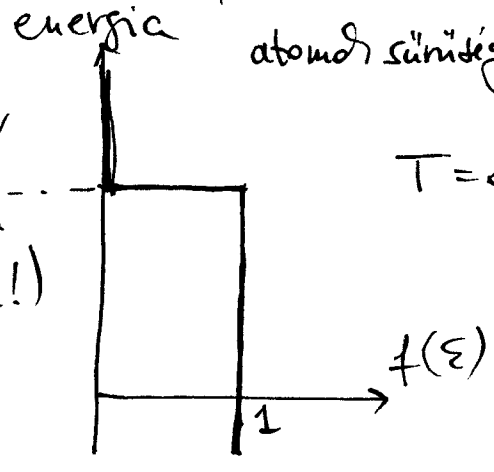
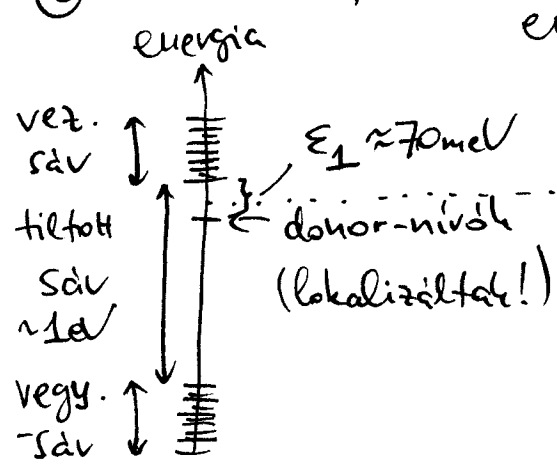


$$\epsilon_1 = \epsilon_c(0) - \frac{1}{2} \frac{m^* e^4}{(4\pi \epsilon_0 \epsilon_r)^2 \hbar^2}$$



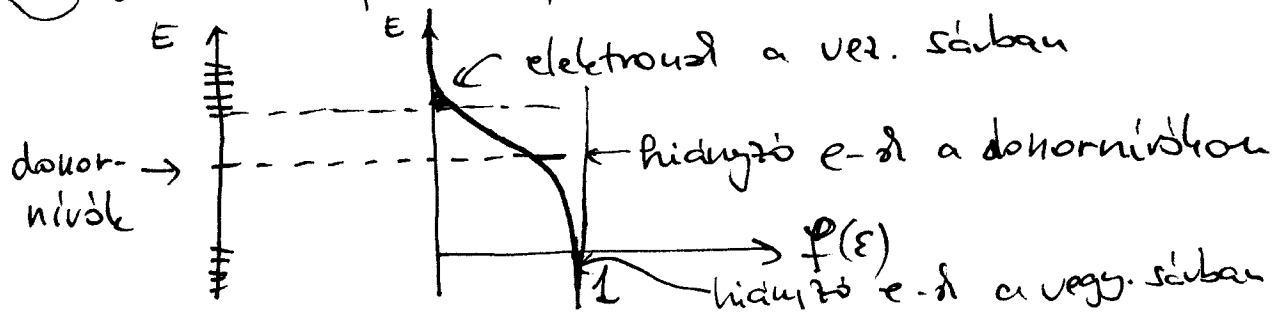
pl: Si, $\epsilon_g \approx 1.1 \text{ eV}$, $m^* \approx 0.5 m_e$, $\epsilon_r \approx 10 \rightarrow \epsilon_1(\text{P@Si})$
 $\approx 0.02 \epsilon_1(\text{H})$
 $\approx 70 \text{ meV}$

9) adalékolt félvezető, $T=0$; adalékatomok sűrűsége: $10^{13} - 10^{18} \frac{1}{\text{cm}^3}$
 atomok sűrűsége (Si+P): $\approx 5 \times 10^{22} \frac{1}{\text{cm}^3}$



$T=0 \rightarrow$ vezetési sáv üres
 \rightarrow szigetelő

10) adalékolt félvezető, $T > 0$



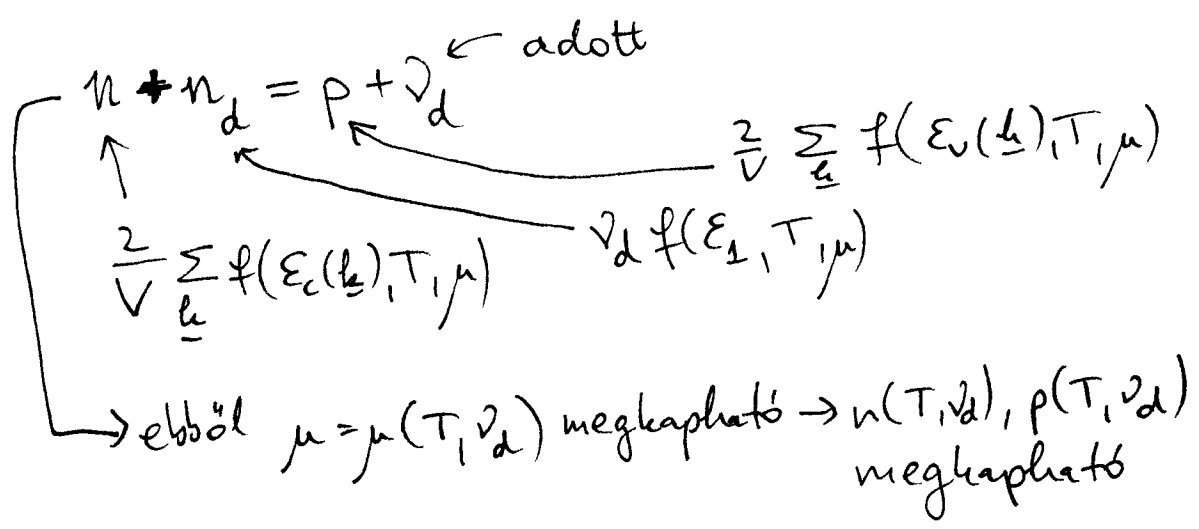
11) adalékolt félvezető, $T > 0$: töltéshordozók száma?

ν_d : donoratomok sűrűsége

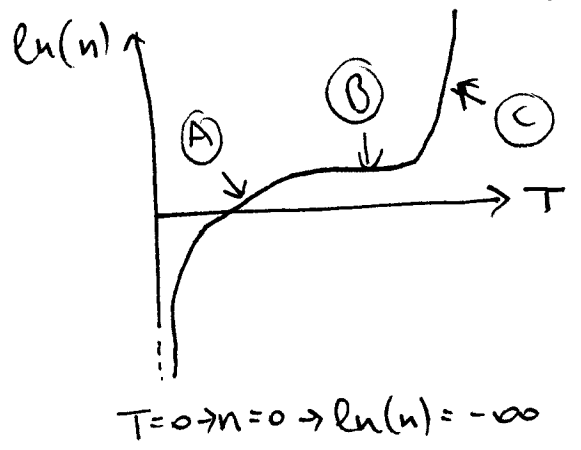
n_d : donornívón levő e-ok sűrűsége

donornívók spin-degenerációját elhagyható, $n_d \in [0, \nu_d]$

"a vez. e-ok és a donornívókon levő e-ok vagy a vegyértéksávból, vagy a donoratomoktól származnak":



12) töltéshordozó-sűrűség tipikus T-függése:

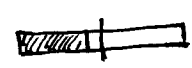


(A) kifagyási tartomány

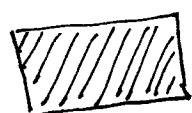
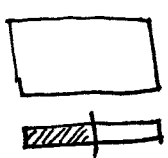
$$n \sim e^{-\epsilon_d / 2k_B T}$$



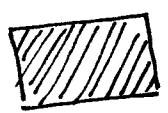
vez. sáv

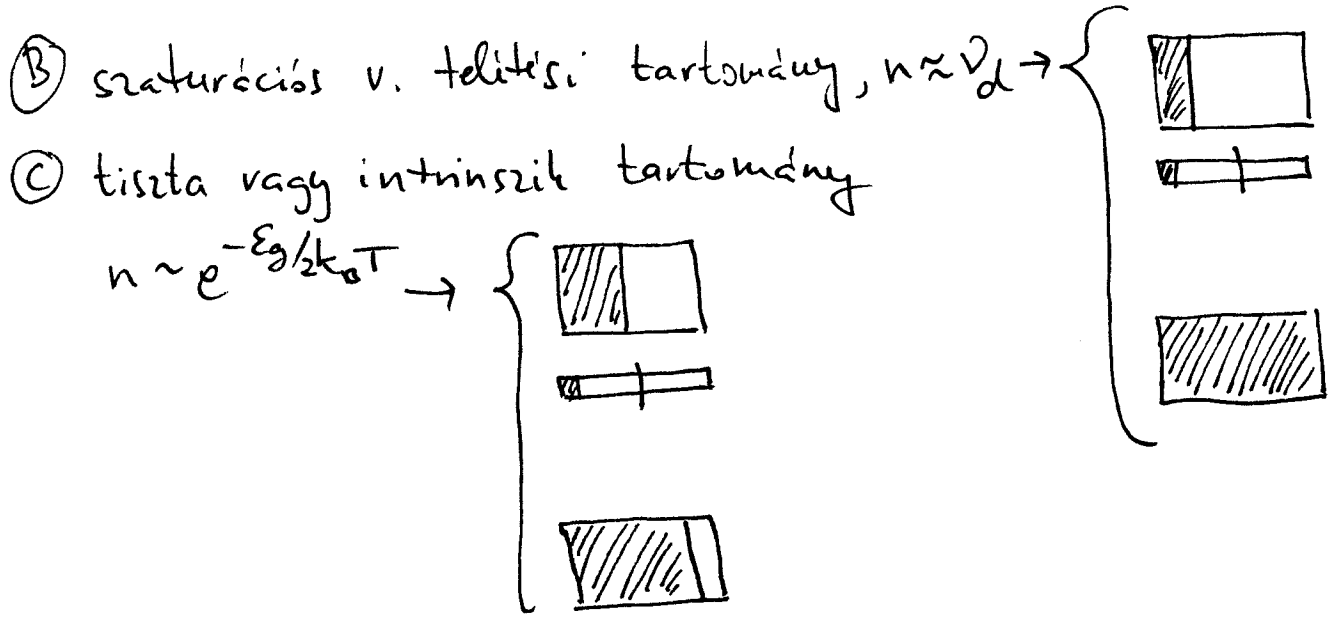


donornívók



vegy. sáv



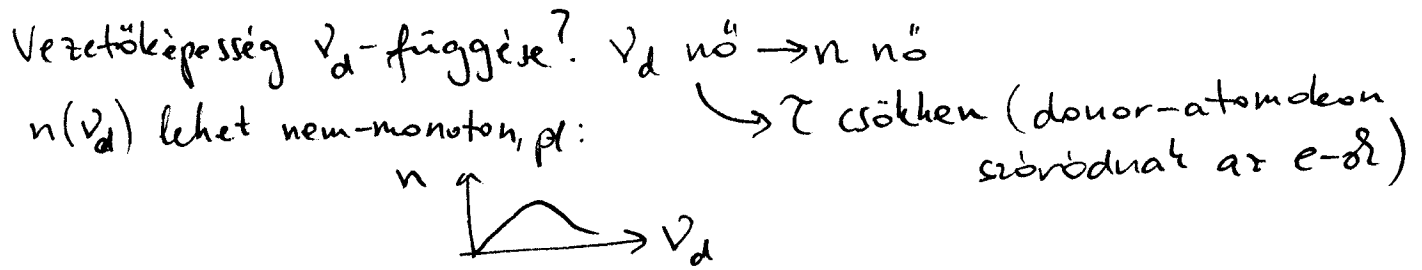


(13) Vezetőképeség T-függése? $\sigma(T) = \frac{n(T) e^2 \tau(T)}{m^*}$

kifogyási tartomány (A) } $n(T)$ gyorsan nő ha T nő
 intrinszik tartomány (C) } $\rightarrow \sigma(T)$ nő ha T nő

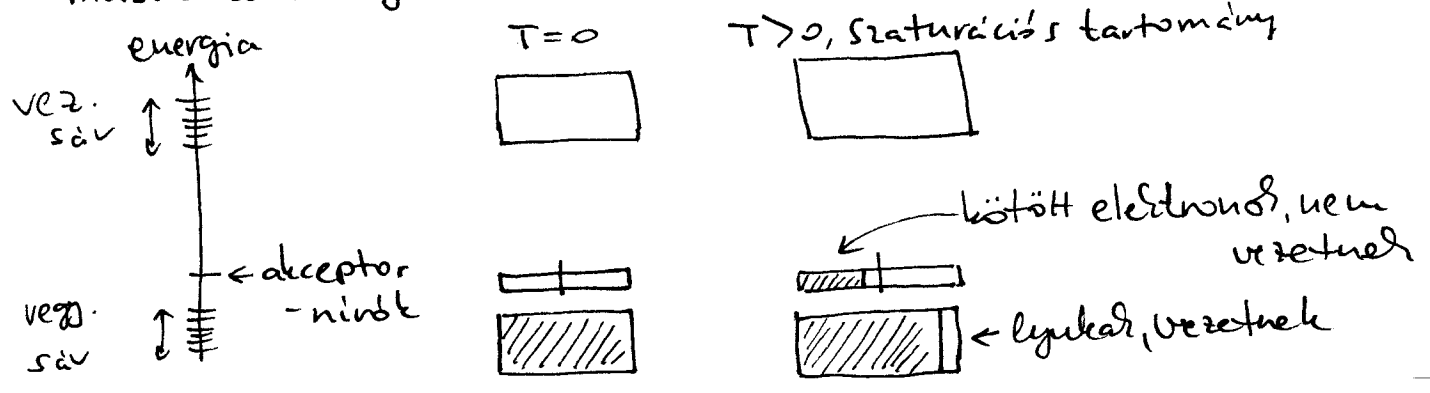
telítési tartomány (B): $n(T) \approx \text{konstans}$, $\tau(T)$ csökken ha T nő

$\rightarrow \sigma(T)$ inkább csökken, ha T nő.

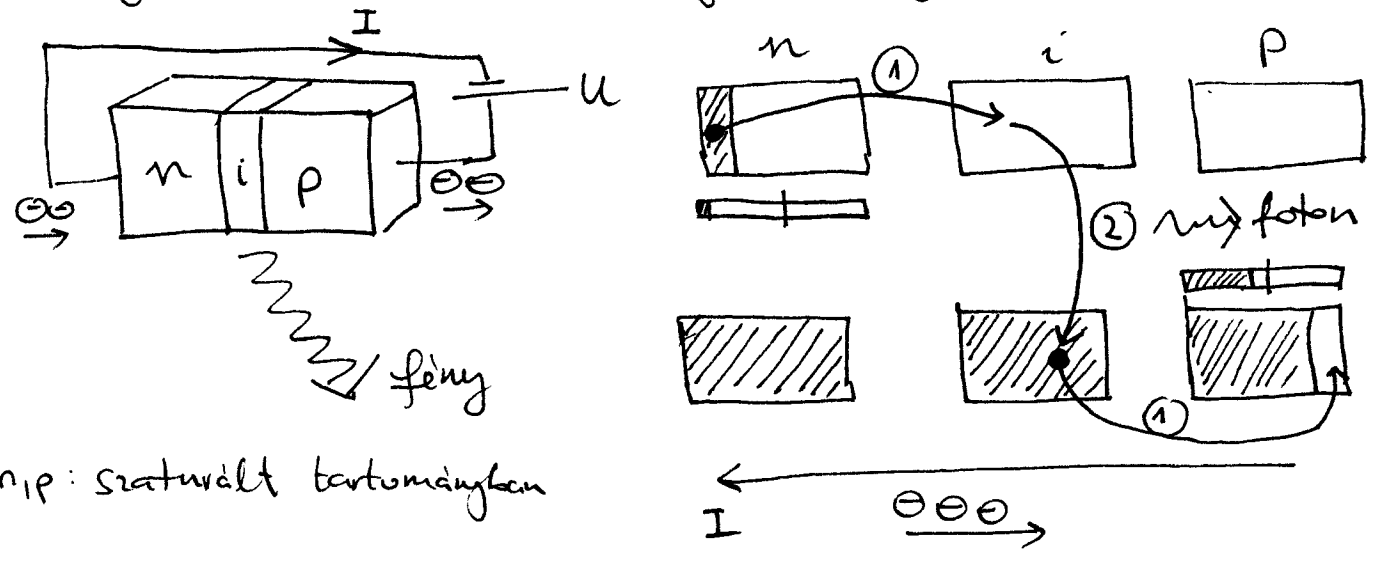


τ csökken (donor-atomokon szóródnak az e-ok)

(14) eddig: P@Si: donor ($Z_p = Z_{Si} + 1$), 'n-típusú' félvezető!
 másik lehetőség: Al@Si: akceptor ($Z_{Ac} = Z_{Si} - 1$), 'p-típusú' félvezető!



15) Fénykibocsátó dióda (LED, light-emitting diode)



n, p : szaturált tartományban

16) feladat: $I = 1 \text{ mA}$, minden átmenő e-ből 1 foton származik.
 hány foton/sec? mellé a sugárzási teljesítmény, ha az anyag GaAs?

megoldás: $1 \text{ sec} \rightarrow \text{foton\#} = e\# = \frac{1 \text{ mC}}{e} \approx \frac{10^{-3} \text{ C}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} \approx 0,7 \times 10^{16}$

sug. teljesítmény: $P = \text{fotonáram} \cdot \text{fotonenergia} \approx$
 $\approx 0,7 \times 10^{16} \frac{1}{\text{sec}} \cdot 1,43 \text{ eV} \approx 1,6 \text{ mW}$
 $\tau E_{g, \text{GaAs}}$

megj: a fén. forrás teljesítménye $P_u = U \cdot I > P$ (Joule-fűtés)

17) Piezorezisztív mechanizmus? félvezetőben (pl: n-típusú)

