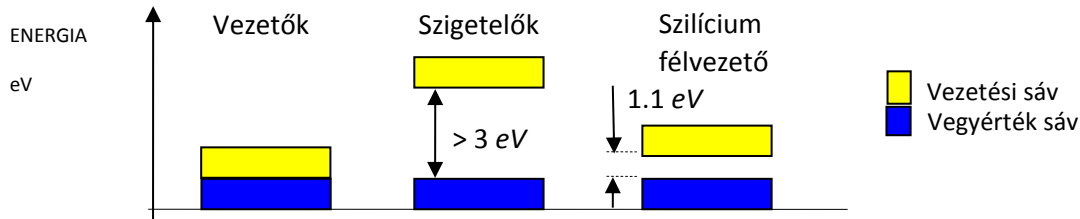
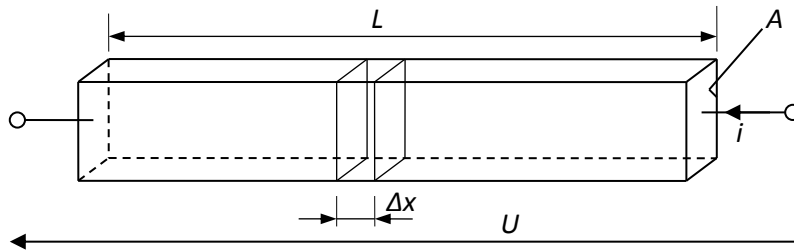


Kristályos anyagok elektronjainak lehetséges energia tartományai, sávdigramok:**Ohmos áramvezetés, drift (sodródási) áram, térerősség hatására**

Vezető fém tömb (L hosszúságú, A keresztmetszetű), elmozdulni képes töltéshordozókkal (szabad elektronokkal), rákapcsolt U feszültség hatására:



Az átfolyó áram: (éppen Δx távolságot tesz meg egy töltéshordozó Δt idő alatt)

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{nq\Delta x A}{\Delta t} = nqv_n A, \quad \text{az elektronok sebessége: } v_n = \mu_n E = \mu_n \frac{U}{L}$$

Részecskék (elektronok) köbméterenkénti sűrűsége, koncentrációja: $[n] = \frac{1}{m^3}$

Részecskék mozgékonyasága (n: elektron): $[\mu_n] = \frac{m^2}{Vs} = \frac{m}{s} \frac{m}{V}$

E: villamos térerősség

Részecske (elektron) töltése: $[q] = As$

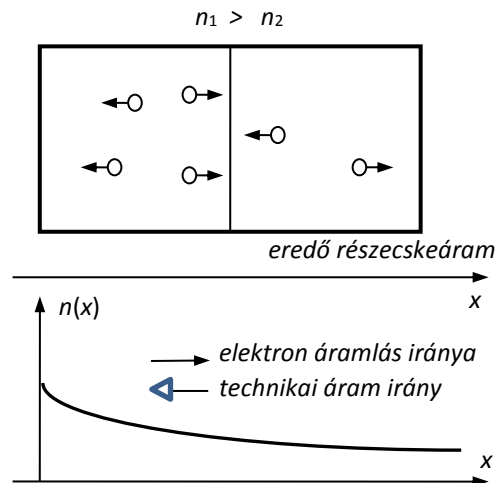
$$i = nq\mu_n \frac{A}{L} U = GU \quad G = nq\mu_n \frac{A}{L} \quad R = \frac{1}{G} = \frac{1}{nq\mu_n} \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{A}$$

Fajlagos ellenállás: $\rho = \frac{1}{nq\mu_n}$

Pl. réz: $\rho_{\text{réz}} = 0.017 \frac{\Omega \text{mm}^2}{m}$

Áramvezetés diffúzióval, töltéshordozó koncentráció különbség hatására

A részecskék hő mozgás következtében létrejövő, csak x irányú sebessége (a hőmérséklet mindkét fél térben egyforma):



x irányú diffúziós áram ha $n(x)$ elektron koncentráció:

$$i = qAD_n \frac{dn(x)}{dx}$$

$[D_n] = \frac{m^2}{s}$, diffúziós állandó, anyagjellemző, hőmérséklet függő.

Einstein összefüggés: $D_n = \frac{kT}{q} \mu_n$

k : Boltzmann állandó

T : abszolút hőmérséklet (abszolút 0 fokon nincs diffúzió).

q : elektron töltése

Töltéshordozók (elektronok) koncentrációja: $[n] = \frac{1}{m^3}$

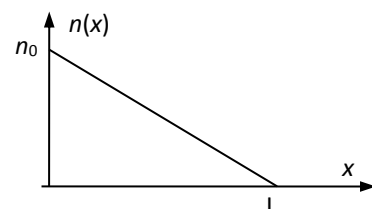
Pld.:

Legyen az elektron sűrűség helyfüggése az ábra szerinti:

$$n(x) = -\frac{n_0}{L}x + n_0$$

Az x irányú áram – elektronáram - a diffúziós képlet szerint:

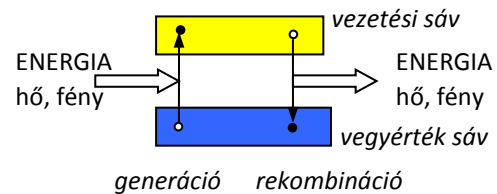
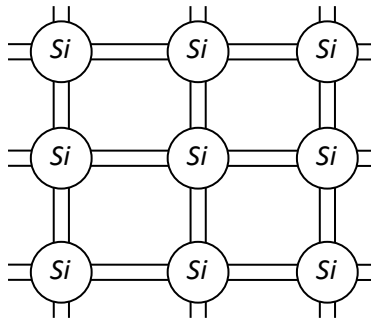
$$i = -qAD \frac{n_0}{L}$$



A negatív előjel a technikai áramirány miatt az x tengellyel ellentétes irányú áramra utal. Lineáris koncentráció változás esetén a kialakuló diffúziós áram konstans.

Félvezetők ohmos vezetése – Intrinsic (tisztá félvezető)

Szilícium egykristály kétdimenziós képe:

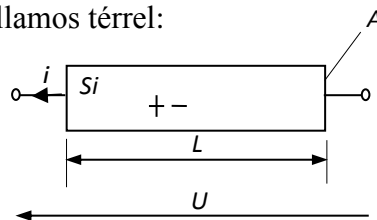


A kristályrácsba beépülő Si atomok valamennyi elektronja a kristályrács kötésében vesz részt, szabad töltéshordozó tipikusan nincs. Kevés kötésbeli elektron külső energia behatásra (hő, fény) kiléphet a kötésekől, ami azt jelenti, hogy létrejött egy elmozdítható elektron (- töltéshordozó vezetési sávban), és a kötésből hiányzó elektron hiány, azaz lyuk (+ töltéshordozó vegyérték sávban). Ezt a töltéshordozó képződési folyamatot hívjuk generációnak) Pl. külső térerősség hatására az elektron (-) elmozdulni képes, valamint az elektron hiányba a szomszédos kötésekől elektronok ugorhatnak át, létrehozva így a lyukak (+) elmozdulását, azaz a lyuk vezetést, amely az elektronok mozgásával ellentétes irányú.

Ha egy a generációval létrejött szabadon mozgó elektron beesik egy elektron hiányba (*rekombináció*), akkor megszűnik mind -, mind a + elmozdulni képes töltéshordozó. Ez a folyamat energia leadással (hő, fény) jár együtt.

A generáció és a rekombináció együttesen jelenlévő folyamatok. Egy adott hőmérsékleten kialakul egy + és ugyanekkora – töltéshordozó koncentráció.

Tiszta, 4 vegyértékű szilícium félvezető tömb (A keresztmetszetű, L hosszúságú), rákapcsolt U feszültséggel, tehát belső villamos térrel:



A létrejövő sodródási (drift) áram az elektronok, illetve a lyukak által létrehozott áramok

összege:

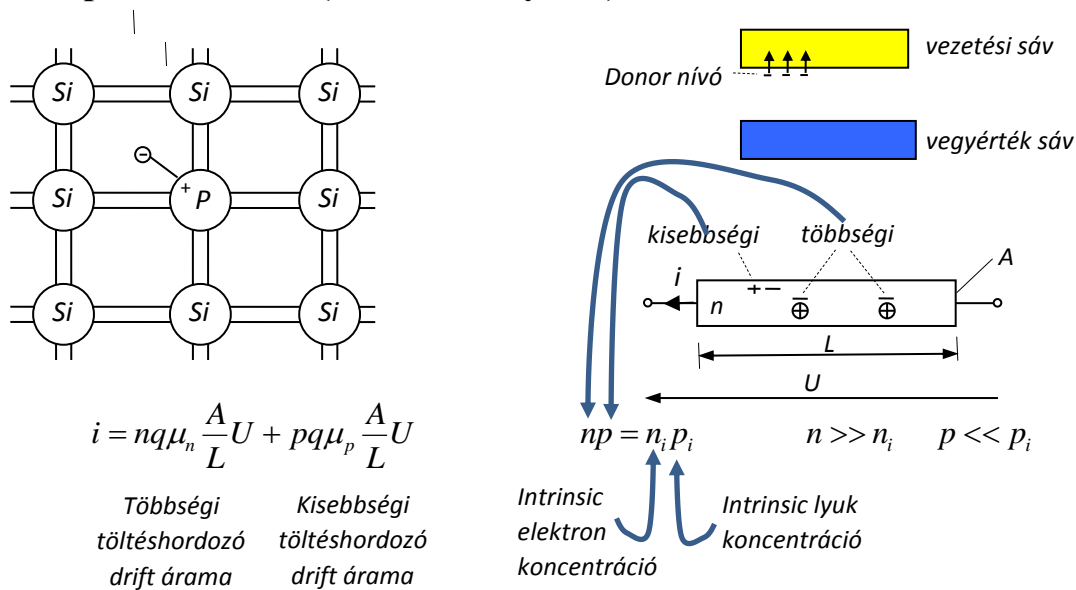
$$i = \left(n_i q \mu_n \frac{A}{L} + p_i q \mu_p \frac{A}{L} \right) U$$

$$\mu_n = 0.13 \frac{m^2}{Vs} : \text{elektron mozgékonyaság}, \quad \mu_p = 0.045 \frac{m^2}{Vs} : \text{lyuk mozgékonyaság}$$

$n_i = p_i$: az intrinsic, tiszta félvezető elektron és lyuk koncentrációja, igen kicsi, hőmérséklet, illetve fény besugárzás függő érték.

Igaz, hogy a lyukak mozgását is elektronok mozgása okozza, mivel azonban ezek az elektronok a szomszédos kötésekől szabadulnak ki, a lyukmozgékonyaság eltér az elektron mozgékonyaságtól, annál kisebb.

„n” típusú félvezető (donor szennyezés):

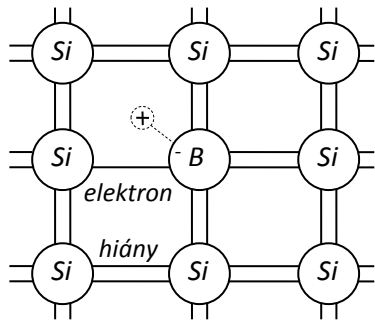


Az 5 vegyértékű foszfor (P) szennyezés kristályrácsba juttatása (n típusú, donor szennyezés) esetén az atommag 5 protonja tart elektromos egyensúlyt az 5 vegyérték elektronnal, amelyek közül 4 beépül a rácsba, egy elektron pedig viszonylag könnyen – kis energiaköltség hatására – kiszabadul az atomból, azaz a vezetési sávba jut. A kis energia igényt szemlélteti a vezetési sávhoz közel elhelyezkedő donor szint. A kiszabadult elektron hátrahagy egy kiegyenlítetlen *helyhez kötött* pozitív töltést, amit *bekarikázva* jelölünk. A mellette lévő nem karikázott negatív töltés mozgásra képes.

Mivel az n típusú félvezetőben a szabad elektron koncentráció sokkal nagyobb, mint az intrinsicben, ezért a kisebbségi, szabadon mozgó lyukak koncentrációja jóval kisebb, mert nagyobb valószínűséggel töltődnek be a szabad elektronok által. Ezt fejezi ki az $np = n_i p_i$ egyenlet.

Az n típusú félvezető a szennyezési koncentrációtól függően jó vezető.

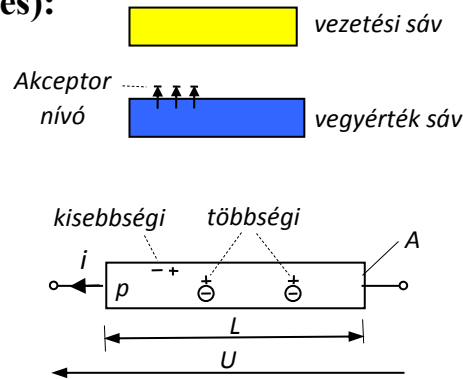
„p” típusú félvezető (akceptor szennyezés):



$$i = nq\mu_n \frac{A}{L} U + pq\mu_p \frac{A}{L} U$$

kisebbségi

többségi



$$np = n_i p_i$$

$$n \ll n_i \quad p \gg p_i$$

A 3 vegyértékű Bór (B) szennyezés kristályrácsba juttatása (p típusú szennyezés) esetén az atommag 3 protonja tart elektromos egyensúlyt a 3 vegyérték elektronnal, amelyek közül valamennyien részt vesznek a szomszédos szilícium atomokkal való kötésben. A teljes kötéshez azonban 4 vegyérték elektronnal volna szükség, tehát itt egy elektron hiány (lyuk) alakul ki. Ez az elektron hiány könnyen betölthető a szomszédos kötésekben átugró elektronnal. Ekkor az elektron hiány (lyuk) az elektronját elvesztő atomra ugrott át, míg a bór atom az elektron hiányát betöltő elektron miatt egy *helyhez kötött* negatív töltésként viselkedik.

Ezt a működést modellezi az akceptor nível megjelölése a sávdigramban. Hiszen ha a valenciasávból a hozzá energiában közel lévő akceptor nivóra emelkedik egy elektron (ez már kis hőmérsékleten kialakul), akkor a vegyértéksávban egy elektron hiányt (lyukat) hagy hátra, és ez a lyuk pl. külső térerősség hatására elmozdulni képes, azaz szabad töltéshordozóként viselkedik.

Mivel a p típusú félvezetőben a szabad lyukkonzentráció sokkal nagyobb, mint az intrinszc félvezetőben, ezért a kisebbségi, szabadon mozgó elektronkonzentráció jóval kisebb, mert az elektronok a lyukakkal nagyobb valószínűséggel egyesülnek. Ezt fejezi ki az $np = n_i p_i$ egyenlet.

A p típusú félvezető a szennyezési koncentrációtól függően jó vezető.