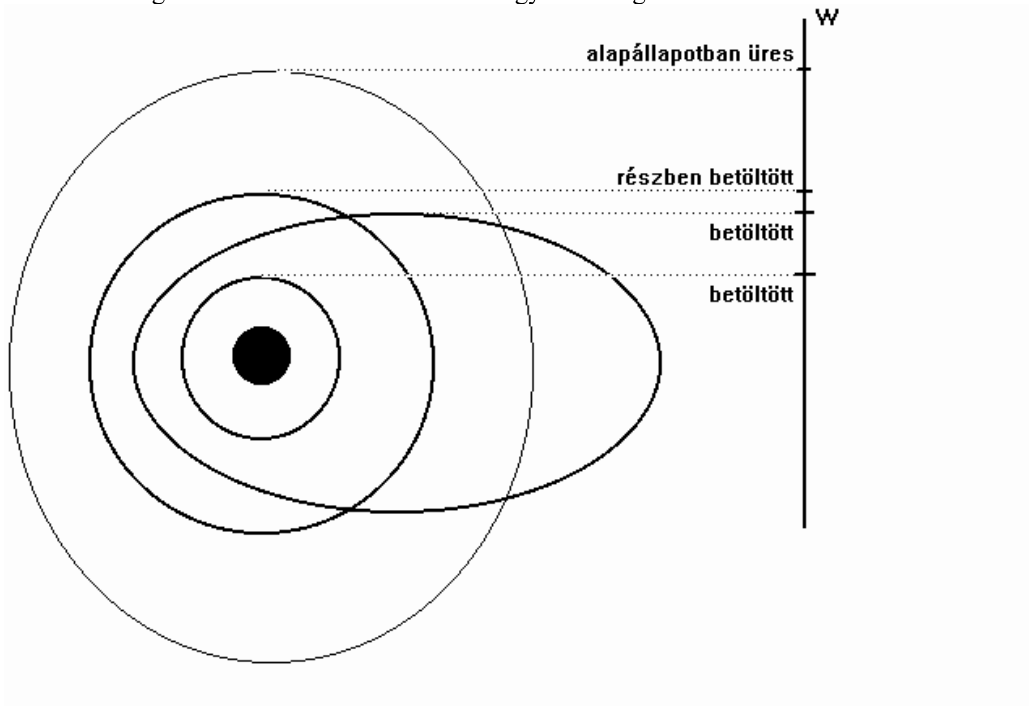


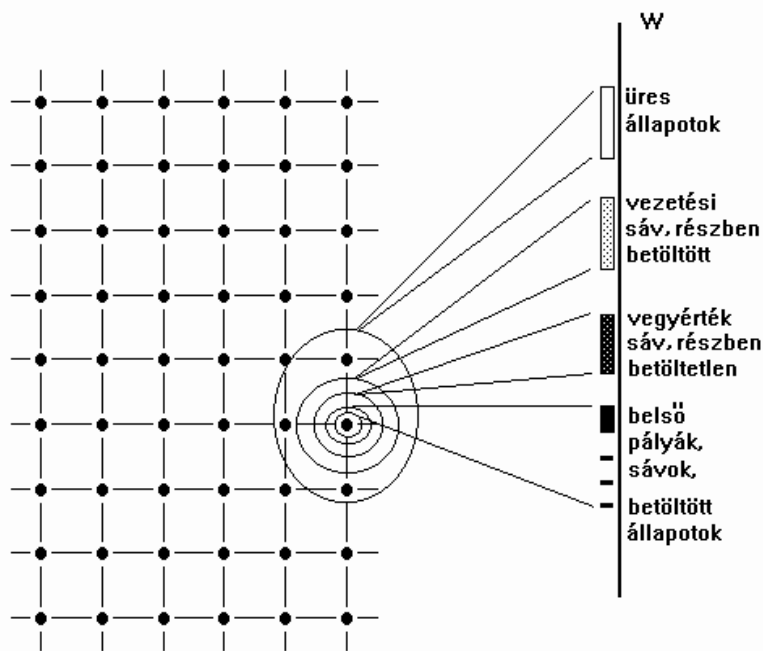
Függelék

(Félvezető-fizikai fogalmak összefoglalója a "Napelemek" c. jegyzethez)

Elektron-energiaszintek származtatása: hullámegyenlet megoldása.



Egyedülálló atom: diszkrét energiaszintek. A szintek közötti elektron-átmenet az energiaszintek közötti energia-különbséggel megegyező energiájú foton kibocsátásával, illetve elnyelésével jár együtt. Adott energia-szintről az elektron végtelenbe való eltávolításához az ionizációs potenciállal egyenlő energia közlése szükséges.

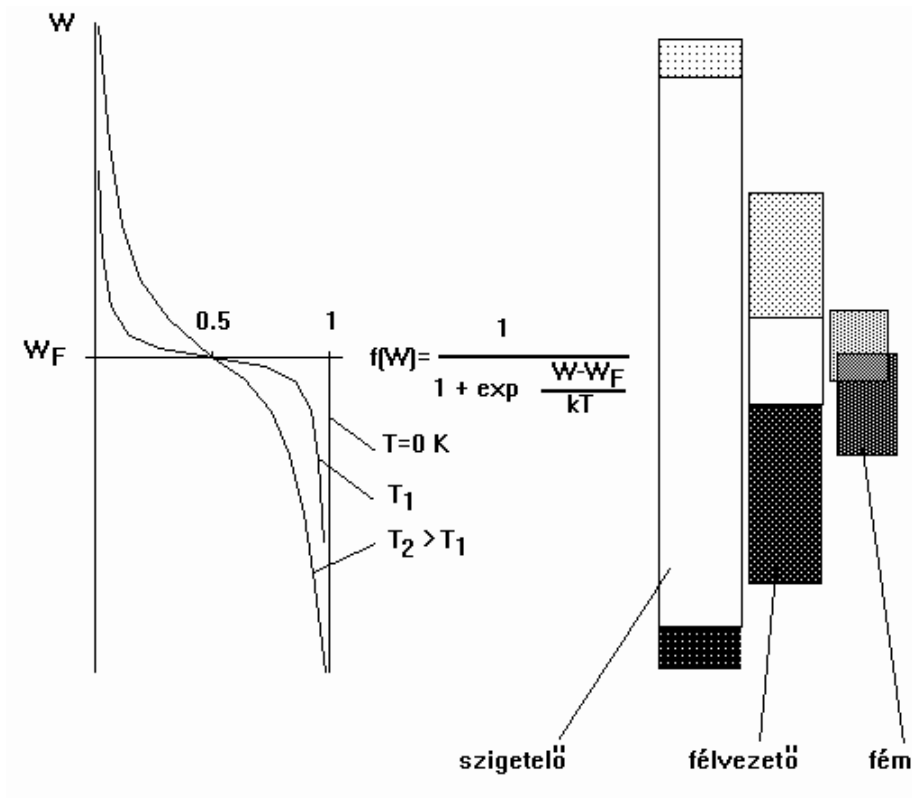


Kristályrács: a diszkrét energiaszintek sávokká szélesednek (ok: Pauli elv). A hullámegyenlet megoldása periodikus potenciáltér és végtelen kristálytérfogat (Bloch határfeltétel) esetére megadja az elektron által elfoglalható energiaszinteket, sávokat. A külső, részben betöltött (vezetési) sáv a kristály elektromos (vezetési) jellemzőit, a mélyebben fekvő (vegyérték) sáv a kristály kémiai tulajdonságait befolyásolja döntően. A vezetési és vegyérték sávokat elválasztó tiltott sávba eső energia értékeket az elektronok nem vehetik fel. A vezetési sávban az energia növekedésével parabolikusan növekszik a betölthető állapotok száma.

Szigetelő: a tiltott sáv olyan széles, hogy (az adott hőmérsékleten) a vezetési sáv üres, a vegyérték sáv teljesen be van töltve. Elektromos vezetése elhanyagolható, a (tiltott sáv szélességénél kisebb energiájú) fotonokat átengedi (széles hullámhossz tartományban átlátszó).

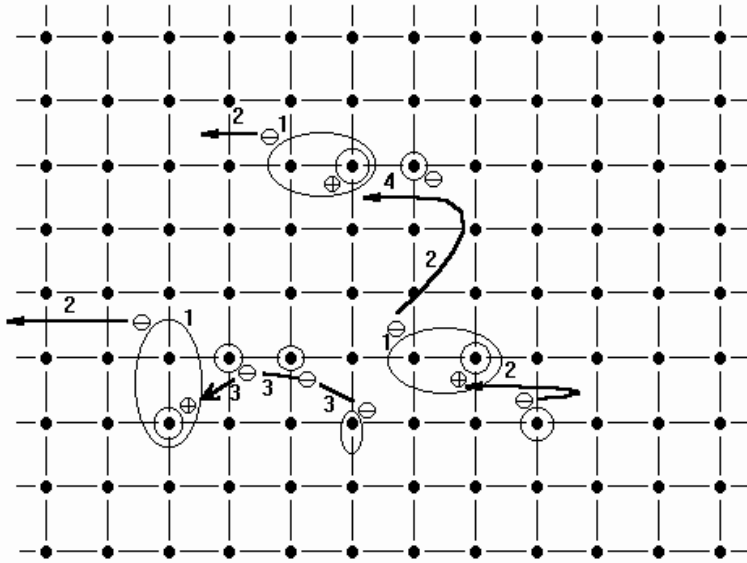
Félvezető: a tiltott sáv keskenyebb, így (az adott hőmérsékleten) a vezetési sávban is vannak elektronok, és a vegyérték sáv is csak részben van betöltve. Elektromos vezetése és egyéb elektromos tulajdonságai nagyon erősen függenek a környezeti tényezőktől, valamint a kristályrács ideálistól való eltéréseitől. A tiltott sáv szélességénél kisebb energiájú fotonokat átengedi.

Fém: a vezetési és vegyérték sávokat elválasztó tiltott sáv hiányzik, a sávok átlapolódnak, a vezetési elektronok sűrűsége igen nagy (szabad elektrongáz), ennek következménye, hogy a fémek a fényt visszaverik.

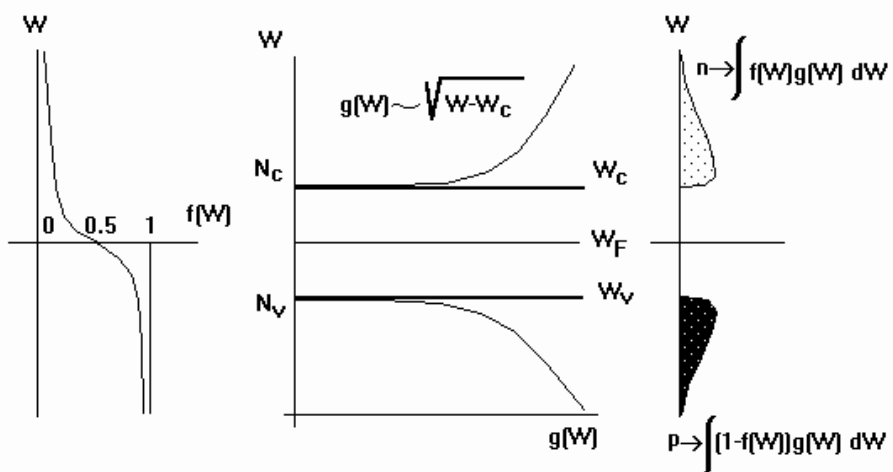


Az elektronok energia szerinti eloszlása: a Fermi-Dirac függvénnyel ($f(W)$) jellemezhető. Ez megadja az adott energiájú állapot betöltési valószínűségét, az $1-f(W)$ pedig az üres állapot létrejöttének valószínűsége. Az 50 %-os betöltési valószínűséghez tartozó energia érték a Fermi-szint. A Fermi-szint és a vákuumszint közötti különbség a kilépési munka, az elektron végtelenbe való eltávolításához szükséges energia.

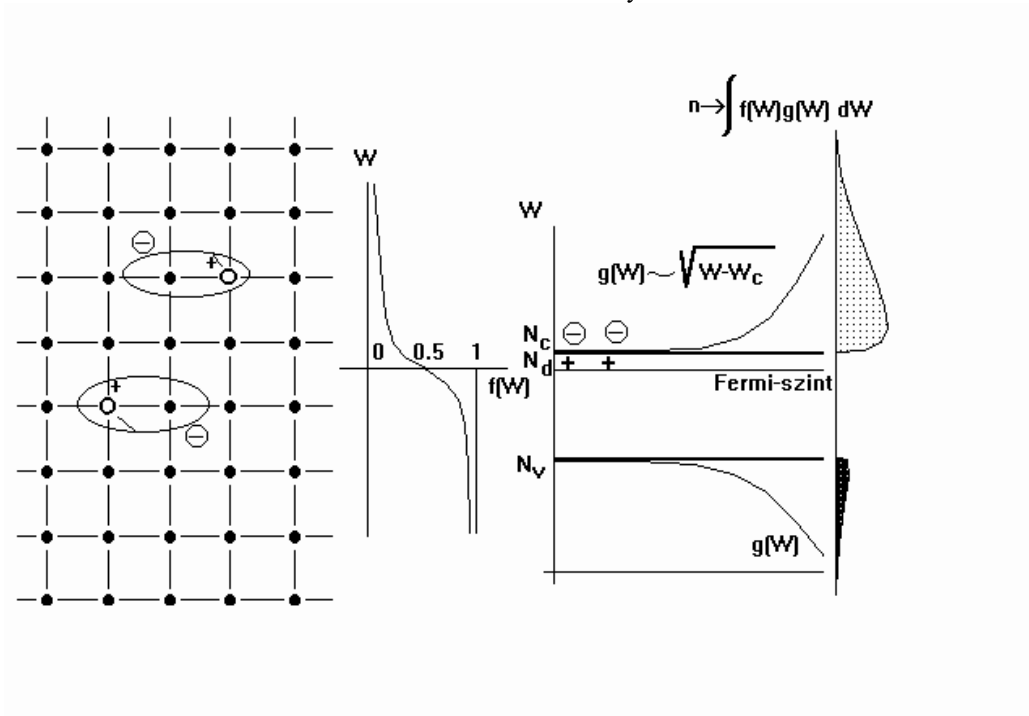
Ideális, tiszta félvezető egykristály: 4 vegyértékű atomokból (vagy 3-5, ill. 2-6 vegyértékű atomok vegyületéből) álló, tökéletesen periodikus (makroszkopikusan értelmezett hosszú távú rendezettséget mutató) szerkezet.



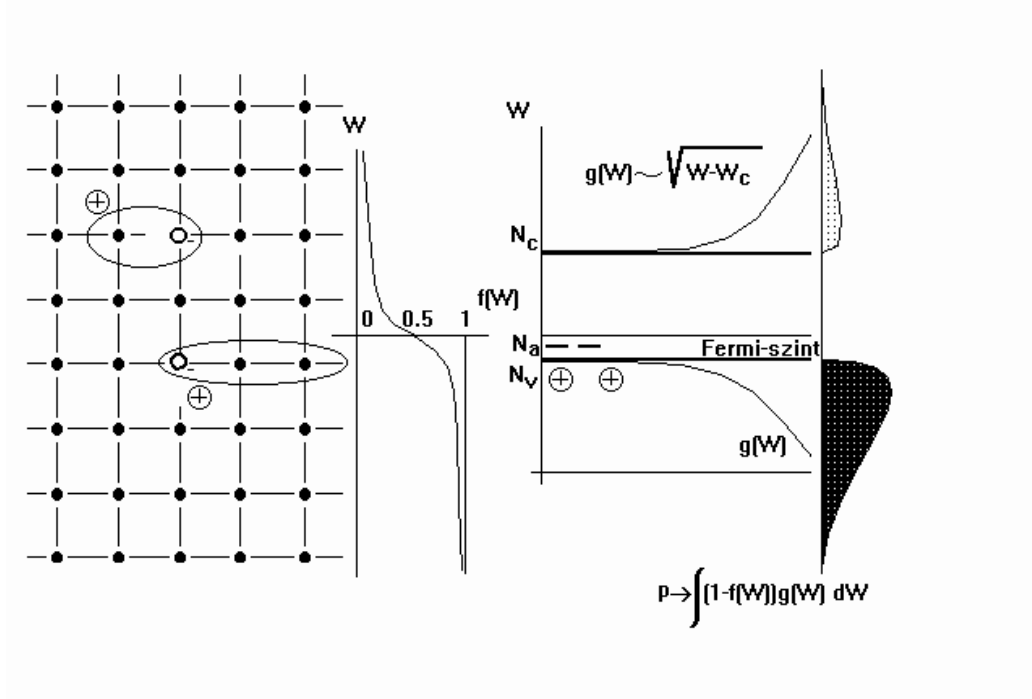
A hőmérséklettől függően (vagy más gerjesztés következtében) egyes elektronoknak elegendő energiájuk lehet ahhoz, hogy a vegyértékkötésből kiszakadva a vezetési sávba kerüljenek (generáció, 1). A vezetési sávba került elektronok a térerőnek megfelelően mozogva vezetési áramot, illetve koncentráció gradiens esetén hőmozgásukkal diffúziós áramot eredményezhetnek (2). A kristályrácsból kiszakadt elektron helyére (lyuk) egy szomszédos vegyérték elektron kerülhet. Ilyen módon a vegyérték sávban is lehetséges elektromos vezetés a lyukak (látszólagos, 3) transzportjával. A vezetési sávba került elektron is visszaugorhat egy kiszakadt elektron helyére (rekombináció, 4). A Fermi-szint a tiltott sávban a sávközép közelében van. Az elektronok és a lyukak koncentrációja megegyezik (intrinsic töltéshordozó koncentráció).



N típusú félvezető: a kristályrácsba (a félvezető atomok helyére) bevitt öt vegyértékű atomok a vezetési sáv alsó széléhez közeli megengedett energiaszinteket hoznak létre a félvezető tiltott sávjában. Ezekről a szintekről már igen kis gerjesztés hatására a vezetési sávba kerülnek az elektronok, megnövelve a kristály vezetését. Egy-egy öt vegyértékű (donor) atom egy-egy elektront adhat a vezetési sávba. Az ionizált donor atom helyhez kötött pozitív töltésként a róla leszakadt elektronnal együtt makroszkopikusan nem bontja meg a töltésemlegességet (az elektronok koncentrációja közel azonos a donor koncentrációval, a kisebbségi lyukak koncentrációja a tömeghatás törvénynek megfelelően az intrinsic koncentráció alá csökken). A Fermi-szint a tiltott sávban a vezetési sávhoz közelebb helyezkedik el.

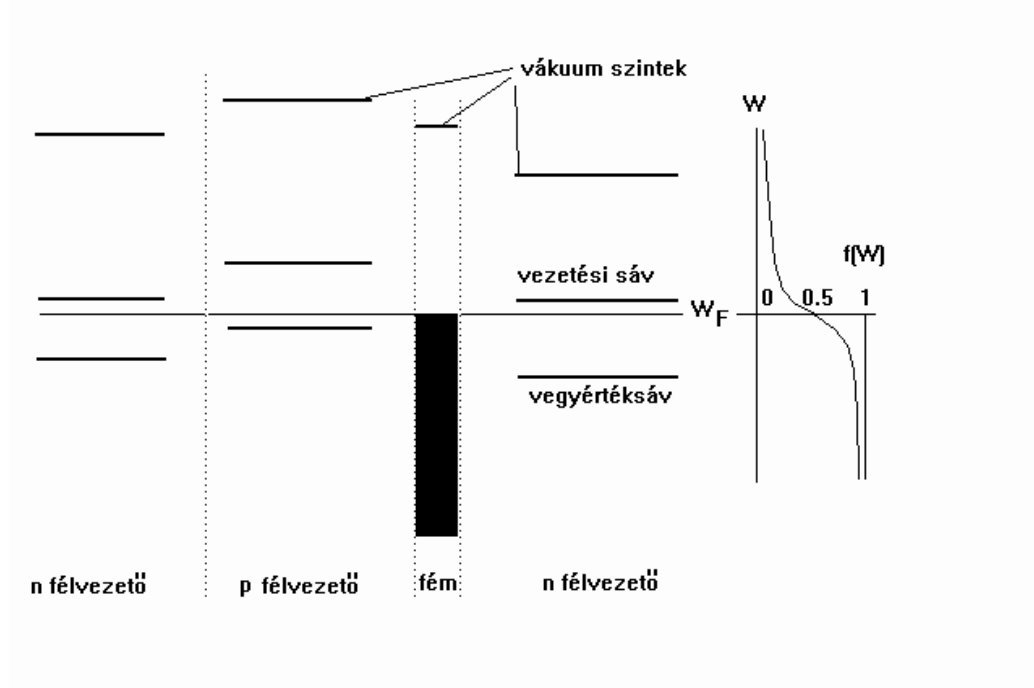


P típusú félvezető: a kristályrácsba bevitt három vegyértékű atomok a vegyérték sáv felső széléhez közeli megengedett energiaszinteket hoznak létre a félvezető tiltott sávjában. Ezekre a szintekre nagyon könnyen felugorhat egy-egy elektron a vegyérték sávból, így minden három vegyértékű adalékatom egy-egy lyuk megjelenését eredményezi a vegyérték sávban. Az elektronnal betöltött állapot (ionizált akceptor atom) helyhez kötött negatív töltésként az általa létrehozott lyuk pozitív töltésével együtt makroszkopikusan nem bontja meg a töltéssemlegességet (a lyukak koncentrációja közel azonos az akceptor koncentrációval, a kisebbségi elektronok koncentrációja a tömeghatás törvénynek megfelelően az intrinsic koncentráció alá csökken). A Fermi-szint a tiltott sávban a vegyérték sávhoz közelebb helyezkedik el.

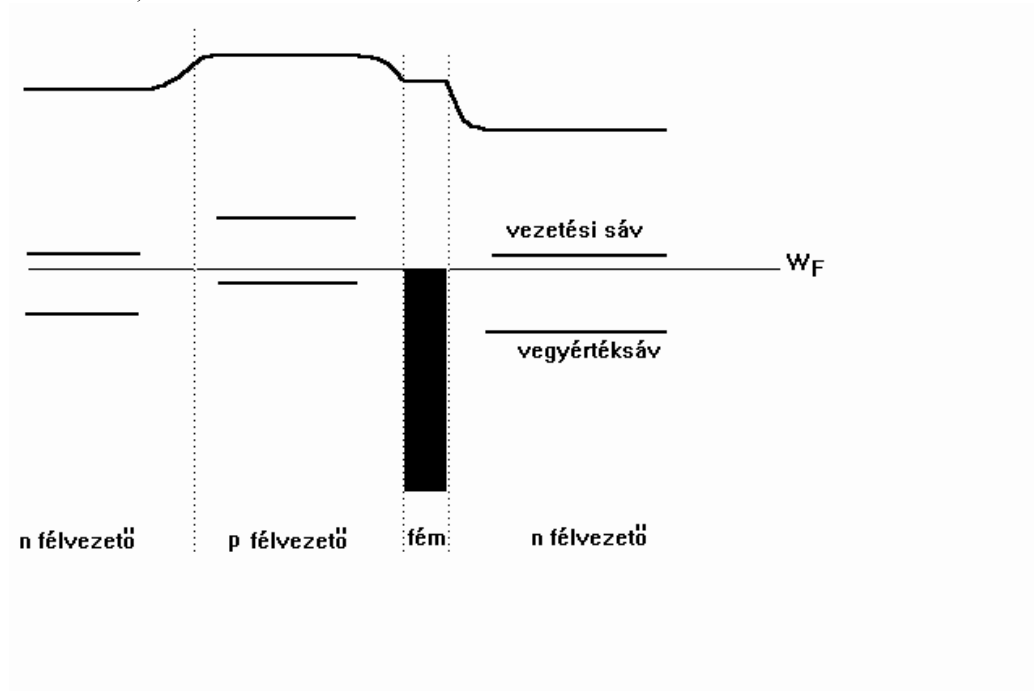


Sávdigramok szerkesztése, a sávdigramokból levonható következtetések: a félvezető eszközökben mindig többféle szilárdtest érintkezik egymással, s az eszköz jellemzőit rendszerint döntően befolyásolják a határfelületen kialakuló viszonyok. Ezek elemzése, az eszközök tulajdonságainak minőségi, esetleg mennyiségi tekintetben való előrejelzése sávdigramok szerkesztésével, elemzésével lehetséges.

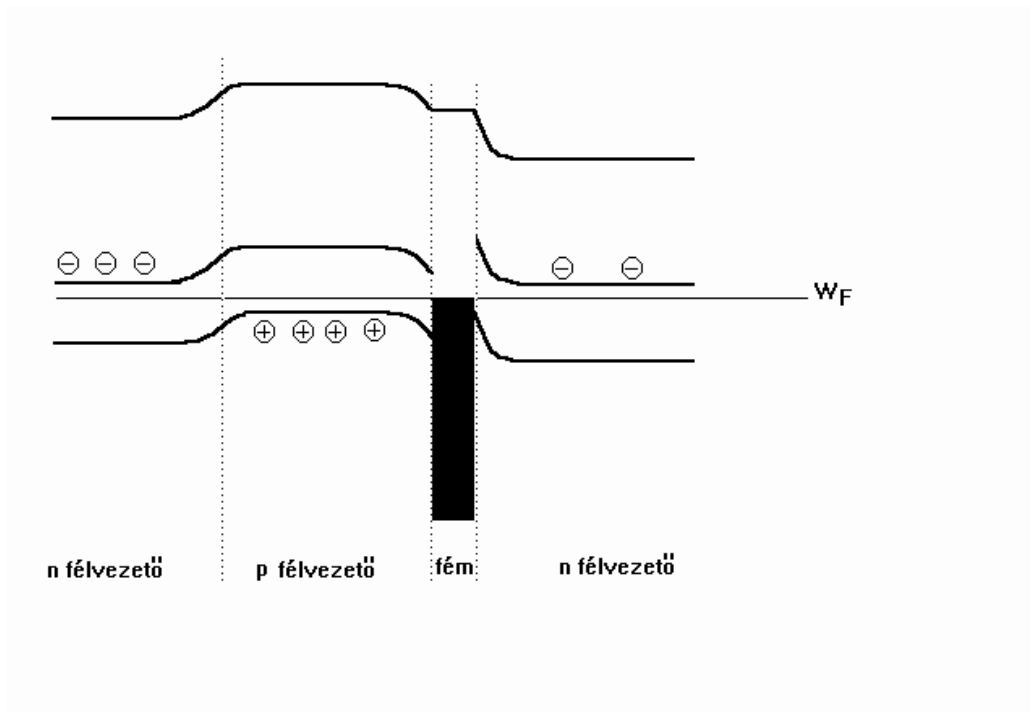
Az első lépés az egyes tartományokra (ezeket a pontvonalak határolják) jellemző sávdigramok felrajzolása közös Fermi-szinttel (külső előfeszítés nélkül, termikus egyensúlyban az elektronok mindenhol ugyanolyan az energia eloszlásúak).



A kilépési munka értékében szakadás nem lehet, így a következő lépés a vákuumszintek folytonos összekötése,



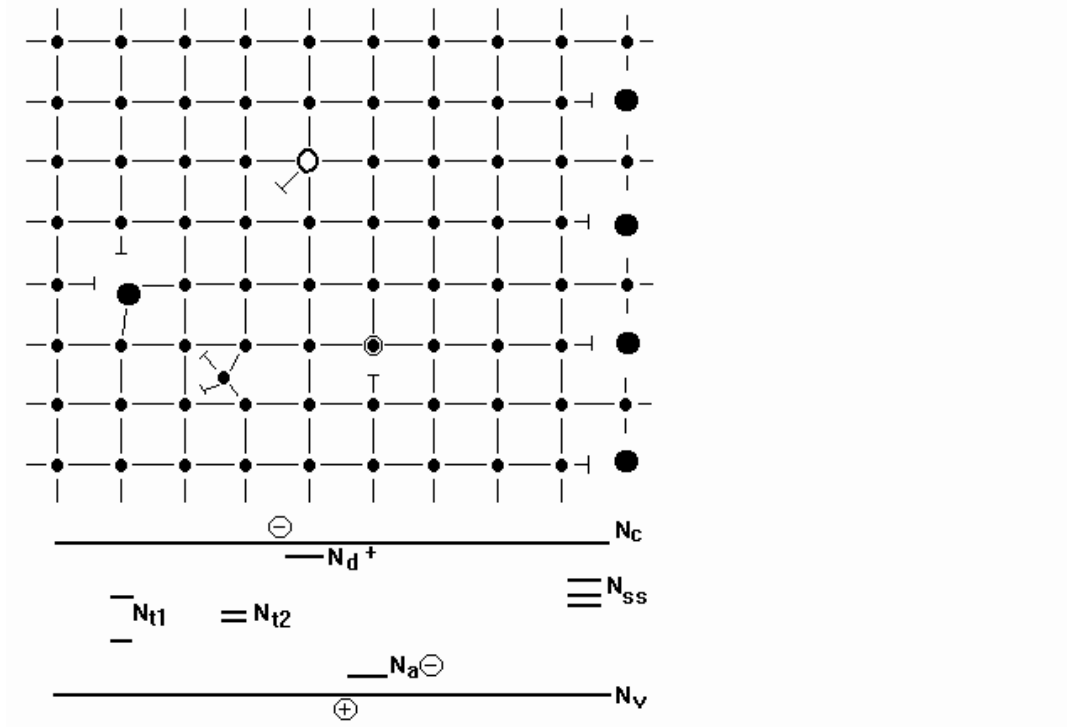
majd a vákuumszintektől állandó távolságra (elektronaffinitás) a vezetési sávok széleinek, illetve a vegyértéksávok széleinek (elektronaffinitás+tiltott sáv) berajzolása.



Homogén donor illetve akceptor koncentrációk esetén a tartományok határain az energiasávok parabola alakban görbülnek, a kiürített rétegek kiterjedései az adalékkoncentrációkkal fordítottan arányosak. A felfelé görbülő sávok az elektronokra nézve, a lefelé görbülő a lyukakra nézve jelentenek potenciál-gátat. A tartományok határain fellépő potenciál-gát (kiürített réteg) nemlineárisá teszi a tartományok közötti áram-feszültség karakterisztikát, azaz egyenirányító hatást eredményez.

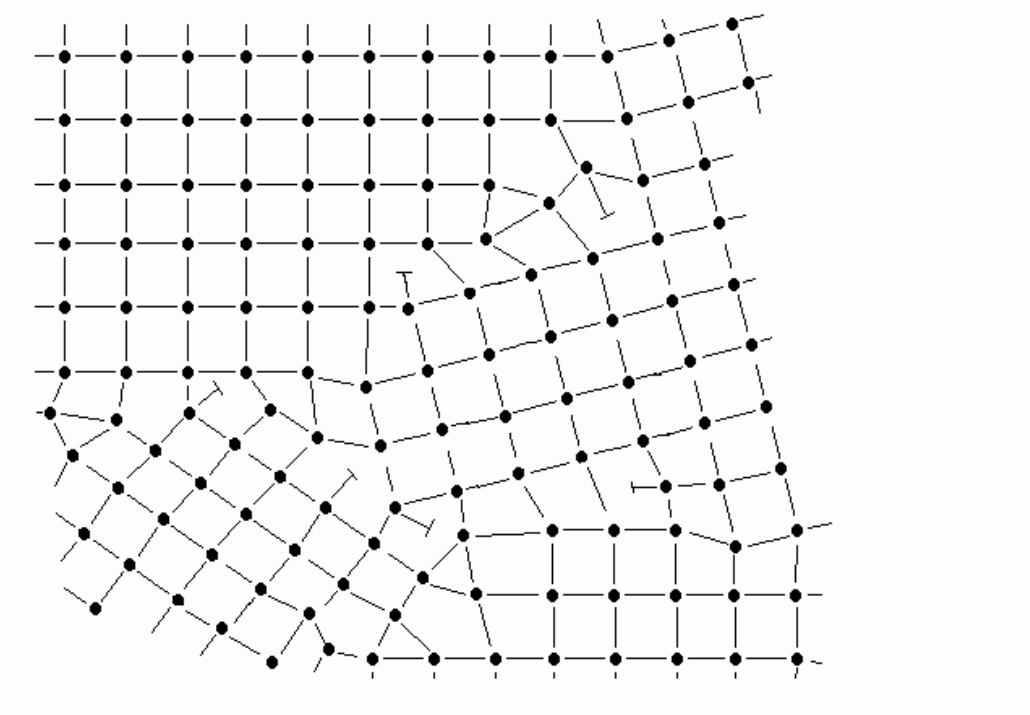
A mély energiaállapotok keletkezése, hatása: egyes kristályhibák (vakanciák, idegen, vagy saját intersticiális atomok, nehézfém szennyezők) a tiltott sáv középső részében hoznak létre (helyhez kötött, lokalizált) megengedett (tömbi) állapotokat (N_{t1} , N_{t2}). Ezek a sávszélektől távol vannak, így a vezetési elektronok koncentrációját alig befolyásolják, megnövelik viszont a generáció és a rekombináció valószínűségét.

A felületi állapotok keletkezése és hatása: a periodikus potenciáltér megszakadása (felület) a szakadás helyéhez kötött állapotokat (N_{ss}) hoz létre a félvezető tiltott sávjában.



Egyensúlyi állapot: (termikus egyensúly) akkor áll be, amikor a termikus generáció útján időegység alatt keletkező, valamint a rekombináció során időegység alatt eltűnő elektron-lyuk párok száma megegyezik. Nem szabad összetéveszteni az állandósult állapottal, ami azt jelenti, hogy a jellemző mennyiségek időben nem változnak. Megvilágított félvezetőben, vagy előfeszített pn átmenet környezetében állandósul a termikus egyensúlytól eltérő állapot.

Polikristályos félvezető: olyan félvezető, amely geometriai méreténél (esetleg nagyságrendekkel) kisebb, egymáshoz szorosan összenőtt egykristályokat tartalmaz. A kristályhatárokon felületi állapotok lehetnek. Az esetleges belső feszültségek következtében nagyobb számú tömbi állapot alakulhat ki. A kristályhatárok közelében a gyorsabb diffúzió és a szegregáció inhomogén adalékeloszlást hozhat létre. Az előbbieket következményeként a polikristályos félvezetők tulajdonságai nehezebben tervezhetők előre. Általában jellemző, hogy a kisebbségi töltéshordozók élettartama rövidebb (kisebb a diffúziós hossz). Ennek oka a kristályhatárokon fellépő állapotok rekombinációt segítő hatása.



Amorf félvezető: hosszú távú szerkezeti rendezettséget nem mutató szilárdtest félvezető. Az atomok kötési szöge és az atomok távolsága mindazonáltal az egykristályra jellemző érték közelében van.

