

# Anyagtudomány

## (Vázlat)

1. Mivel foglalkozik az anyagtudomány? Bevezető
2. A kémiai kötések
  - Elsőrendű kémiai kötések
  - Másodrendű kémiai kötések
3. A szilárd anyagok szerkezete
4. Energiasávok
5. Szigetelők és vezetők
6. Félvezetők
7. Félvezető eszközök
  - a) dióda
  - b) tranzistor
  - c) tirisztor
  - d) fotoellenállás
  - e) fotodióda
  - f) LED
  - g) lézerdióda

# Anyagtudomány

## Bevezető

Általánosságban **anyagtudomány**nak nevezzük azt a területet, amely

- különböző igények szerinti anyagok tervezésével,
- előállítási technológiájának kidolgozásával foglalkozik,
- vizsgálja, hogy az atomfizika és a kvantummechanika törvényei hogyan érvényesülnek különböző molekuláris kötésekben, szilárd anyagok kristályszerkezeteiben.

A természetben az anyagok nem atomos állapotban fordulnak elő, hanem halmazokat alkotnak. A halmazban a részecskék között különböző jellegű kötések alakulnak ki. A kötések létrejötte egy alacsonyabb energiát jelent az anyag számára, mintha az atomos állapotban létezne. A továbbiakban a részecskék között kialakuló kötések jellegét tanulmányozzuk.

## Kémiai kötések

A kémiai kötéseknek két nagy csoportja van:

### 1. Elsőrendű kémiai kötés

Ide tartozik:

- a) Ionos kötés,
- b) kovalens kötés,
- c) fémes kötés.

### 2. Másodrendű kémiai kötés. Ezeket más néven van der Waals-kötéseknek is nevezzük.

Ide tartozik:

- a) diszperziós kötés
- b) dipól-dipól kötés
- c) hidrogén-kötés.

Nézzük részletesebben ezeket a kémiai kötések!

### Elsőrendű kémiai kötések

Az elsőrendű kémiai kötések kötési energiája 1eV-5eV lehet.

#### a) Ionkötés

Ionkötés kis és nagy elektronegativitású atomok halmazai közötti kölcsönhatáskor alakul ki. Legismertebb ionkötésű vegyület a konyhasó, kémiai nevén nátrium-klorid.

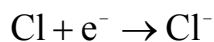
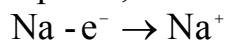
#### Nátrium-atom

- 3s atompályáján egyetlen elektron van.
- Ez az elektron egy nem lezárt héjon helyezkedik el, ezért az atommagtól viszonylag távol van, és laza szerkezetű.
- Ha a nátrium ezt az elektront leadja, akkor szerkezete a 10-es rendszámú neonéhoz hasonlóvá válik.

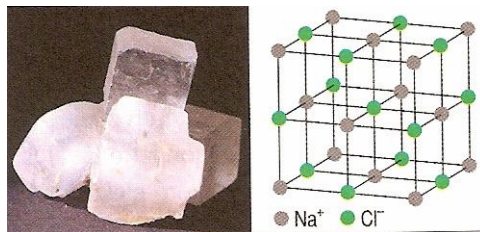
#### Klór-atom

- A 3p atompályáján csak 5 elektron van.
- Még egy elektronra lenne szüksége, hogy a szerkezete a 18-as rendszámú argonéhoz hasonlóvá váljon.

Ha ez a két atom egymás közelébe kerül, akkor a nátriumatom azáltal stabilizálódik, hogy leadja az elektronját, a klór pedig akkor kerül alacsonyabb energetikai állapotba, ha ezt felveszi.



Az így kialakuló **ellentétes töltésű ionok között fellépő elektromos vonzóerő tartja össze ionrácsos anyagok kristályrácsát.**

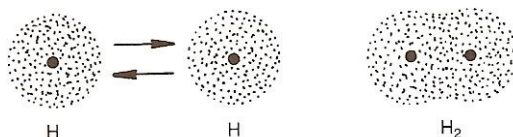


## b) Kovalens kötés

**Kovalens kötésről akkor beszélünk, ha két atomtörzset közös elektronfelhő kapcsol össze.**

A legegyszerűbb példa a kovalens kötésre a hidrogénmolekula, amely két protonból és két elektronból áll.

- Ha két hidrogénatom közeledik egymás felé, akkor a kölcsönhatás következtében a négy elemi részecskéből kialakul az atomnál stabilabb állapot.
- Ebben az állapotban mindkét elektron ugyanabban a térfogatban található. Ez csak úgy valósulhat meg, hogy a két elektron spinquantumszáma különböző. Tehát a molekula képződésére is igaznak kell lenni a Pauli-elvnek.



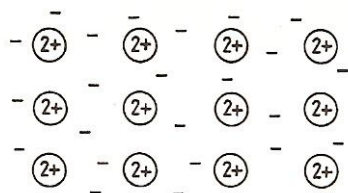
- Mindkét elektron mindkét atommagot körbefogja.
- A két atommag közötti térrészben a legnagyobb az elektronfelhő sűrűsége.

Általánosan:

- Molekula képződésekor az atomok legkülső elektronhéján lévő valamennyi elektron molekulapályára kerül.
- A molekulapályák energiája mindig alacsonyabb, mint az atompályák energiája.
- A molekulapályákra került elektronok közül annyi létesít kovalens kötet, amennyire az atomoknak szükségük van a nemesgázszerű szerkezet kialakításához.

- A többi molekulapályára kerülő elektron úgynevezett nemkötő molekulapályán fog elhelyezkedni.
- Ha a kovalens kötés elektronfelhője két azonos elektronegativitású atomtörzset köt össze, akkor a kovalens kötés szimmetrikus elrendezésű. Ilyenkor **apoláris kovalens kötés**ről beszélünk.
- Ha a közös elektronpár két különböző elektronegativitású atomtörzset kapcsol össze, akkor az elektronfelhő nem lesz szimmetrikus. A nagyobb elektronegativitású atom jobban vonzza a kovalens kötésben lévő közös elektronokat. Ilyenkor pólussal rendelkező, **poláris kovalens kötés** alakul ki.

### c) Fémes kötés



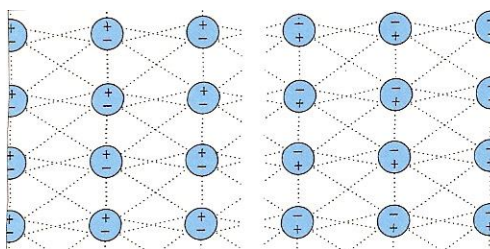
- Fémes kötés a kis elektronegativitású atomok halmazából alakul ki.
- Az atomok a legkülső elektronhéjon lévő, lazán kötött elektronjaikat leadják.
- Így pozitív töltésű fémionok keletkeznek, amelyek szerkezete hasonlít a nemesgázokéhoz.
- A leszakadó elektronok kollektív, delokalizált elektronfelhőként fogják körbe a fémionokat.

## Másodrendű kémiai kötések

A másodrendű kémiai kötések molekulák, illetve nemesgáz atomok között alakul ki. Kötési energiájuk nem éri el a 0,5 eV-ot.

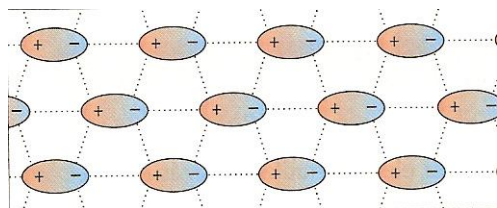
### a) Diszperziós kötés

- A diszperziós kölcsönhatás az apoláris molekulák között kialakuló nagyon gyenge másodrendű kötés.
- Az apoláris molekulák időbeli átlagban elektromosan semlegesek.
- Az atommagok mozgása miatt nagyon rövid időre kicsi töltések alakulnak ki.
- Ez az időleges töltéseltolódás hatással van a szomszédos molekulákra is, azokban is töltéseltolódást idéz elő.



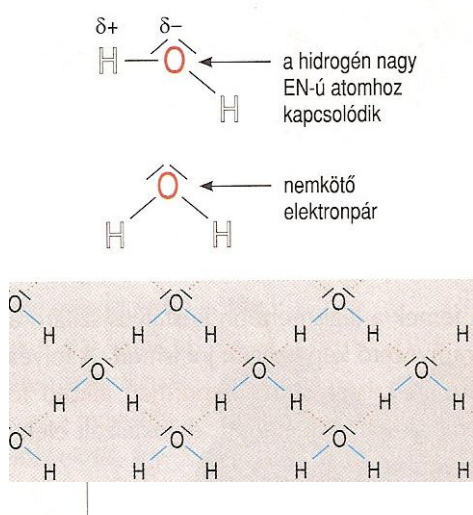
- A kicsi töltések között csak nagyon gyenge elektromos kölcsönhatás léphet fel.
- Minél nagyobb a molekula mérete, annál nagyobb az elektronfelhő. Így az elektronfelhő torzulásából adódó töltés is egyre nagyobb lesz. Tehát a nagyobb molekulák között nagyobb diszperziós kölcsönhatás lép fel.

## b) Dipól-dipól kötés



- A dipól-dipól kötés poláris molekulák között kialakuló van der Waals-kötés.
- Amikor poláris molekulák kerülnek egymás közelébe, az állandóan meglévő ellentétes pólusaikkal vonzó hatást gyakorolnak egymásra.
- Ez a kölcsönhatás erősebb a diszperziós kötésnél, de kötési energiája messze elmarad az elsőrendű kötések energiájától.

## c) Hidrogénkötés



- A hidrogénkötés kialakulásának a feltétele, hogy a molekulában a hidrogénatom egy nagy elektronegativitású atomhoz kapcsolódjon kovalens kötéssel. A legnagyobb elektronegativitású atomok a fluor, az oxigén és a nitrogén.
- Így erősen poláris molekulák jönnek létre, ahol a molekula pozitív pólusa a hidrogénnél van, a negatív pólus pedig a nagy elektronegativitású atomnál.
- A molekulák között a hidrogénkötés úgy jön létre, hogy az egyik molekula hidrogén atomja vonzóerőt gyakorol a másik molekula nagy elektronegativitású atomjának nemkötő elektronpárjára.
- A hidrogénkötés a legerősebb másodrendű kötés. Ennek köszönhető, hogy a víz a kis moláris tömege ellenére is folyékony halmazállapotú.

## A szilárd anyagok szerkezete

A szilárd anyagoknak kettő nagy csoportja van:

### Amorf anyagok

- Ezek olyan szilárd anyagok, amelyekben a részecskék rendezetlenül helyezkednek el. Ez azt jelenti, hogy a részecskék között a kötéstávolság nem állandó.
- Ebből az is következik, hogy az amorf anyagoknak nincs meghatározott olvadáspontjuk.
- Amorf anyag pl. a vaj, üveg, kátrány.

### Kristályos szilárd anyag

- A kristályos szilárd anyag belső szerkezetére a rendezettség a jellemző.
- Elemi cellának nevezzük a kristályos szilárd anyagban azt a legkisebb egységet, amely a tér mindhárom irányába ismétlődik.

Néhány elemi cella:

- térközepes kockarács,
  - lapközepes kockarács,
  - hatszöges szoros illeszkedésű rács,
  - gyémántszerkezet (erre az atomok tetraéderes elrendeződése a jellemző). Ilyen pl. a gyémánt, szilícium, germánium.
- Kristályrács típusok:

#### 1. Molekularács

- Ilyen szilárd anyagoknál a rácspontokban molekulák helyezkednek el.
- A molekulákat másodrendű van der Waals-kötés kapcsolja össze.
- Ilyen anyag a víz, a szárazjég, a cukor, stb.

#### 2. Atomrács

- A rácspontokban atomok helyezkednek el.
- Az atomokat elsőrendű kovalens kötés kapcsolja össze.
- Ilyen anyag pl. gyémánt, germánium, kvarc.

#### 3. Ionrács

- A rácspontokban pozitív és negatív töltésű ionok helyezkednek el.

- Ezeket az ionokat elsőrendű ionkötés kapcsolja össze.
- Ilyen pl. konyhasó, a kálium-klorid vagy a nátrium-nitrát.

#### 4. Fémrács

- A rácspontban fémionok helyezkednek el. Ezeket kollektív, delokalizált elektronfelhő kapcsolja össze.
- Ezt a delokalizált elektronfelhőt gyakran szokták gázként modellezni. Innen az elektrongáz modell elnevezés.
- Ilyen szerkezete van a fémeknek: Cu, Ni, Al.

A legtöbb kristályos anyag szerkezete nem tökéletes.

- A rácspontokból hiányozhat egy-egy molekula, atom vagy ion.
- Pont hibát okozhat idegen atomoknak a beépülése is.
- Előfordul, hogy az elemi cellák illeszkedése nem pontos. Ezek feszültséget okozhatnak az anyag belsejében.

Minden rácshiba módosítja az anyag tulajdonságát.

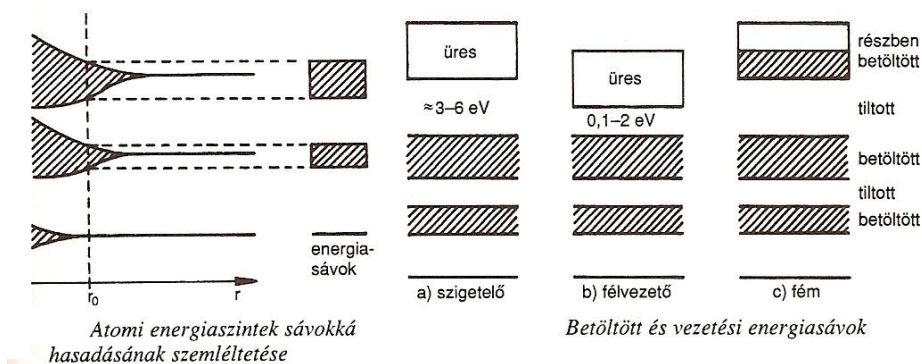


## Energiasávok

Az energiasávok fogalma nagy segítséget jelent a szilárd anyagok számos tulajdonságának a megértésében.

Induljunk ki a következőből:

- Nagyszámú ( $N$ ) azonos atom van, egymástól olyan távolságra, hogy a közöttük fellépő kölcsönhatás elhanyagolható.
- Ilyenkor az atomban minden elektronnak megvan a saját energiaszintje. Ugyanakkora energiával  $N$  db elektron rendelkezik, hiszen pl. minden atomban az 1s atompályán lévő elektron energiája ugyanakkora bármelyik atomot is vizsgáljuk.
- Most kezdjük el összenyomni az atomokat úgy, hogy egyre közelebb kerüljenek egymáshoz.
- Az elektromos kölcsönhatás és a Pauli-elv miatt az elektroneeloszlások kezdenek eltorzulni, különösen a külső elektronhéjon.
- Az energiaszintek szintén eltolódnak, van olyan, amelyik felfelé, van olyan, amelyik lefelé, ahogy az elektronfelhők egyre inkább delokalizálttá válnak.
- Így a korábbi energiaszintek körül **energiasávok** alakulnak ki. Egy-egy energiasávban  $N$  számú energiaszint tartozik. Ezeknek az energiaszinteknek az energiái nagyon közel vannak egymáshoz.



- Ha  $N$  az Avogadro-szám nagyságrendjébe esik, akkor egy-egy sávon belül  $10^{23}$  nagyságrendi energiaszint létezik. Ezt úgy is felfoghatjuk, mintha *egy sávon belül az energia eloszlása folytonos lenne*.
- Az egymást követő sávok között hézagok vannak, ahol nincsenek megengedett energiaszintek. Ezeket a hézagokat **tiltott sávoknak** nevezzük.

Az energiasávok betöltöttsége határozza meg, hogy egy anyag vezető vagy szigetelő.

## Szigetelők és vezetők

### Szigetelők

- A szigetelőkben és a félvezetőkben a vegyértékelektronok által elfoglalt **legmagasabb energiájú sávot vegyértéksávnak** nevezzük.
- Ezeknél az anyagoknál a vegyértéksávnál magasabban lévő **vezetési sáv** teljesen üres.
- Szigetelők esetén a tiltott sáv szélessége 1 eV-5 eV közé esik.
- Külső elektromos mező hatására az ilyen állapotban lévő elektronok nem tudnak mozogni. A vegyértéksáv teljesen betelt. Ez olyan, mintha egy garázsban egymás mellett állnának az autók. Egyik sem tud moccanni a másiktól. Ha egy fel tudna ugrani a felső üres emeletre, akkor már a lent maradóknak is lenne mozgási lehetősége.
- Ezeknél az anyagoknál ahhoz, hogy egy elektron a vegyértéksávból a vezetési sávba kerüljön legalább 1-5 eV energia szükséges. Mindez csak az abszolút nulla fok közelében igaz. Ennél magasabb hőmérsékleten — az energia véletlenszerű eloszlása miatt — lehet olyan elektron, amely akkora energiára tesz szert, hogy leküzdje a tiltott sáv által állított akadályt, és bekerül a vezetési sávba. Itt már szinte akadály nélkül mozoghat. Minden véges hőmérsékleten, még a legtökéletesebb szigetelőben is véletlenszerűen található néhány elektron.
- 10 K hőmérsékletkülönbség megduplázza a vezetési elektronok számát.

### Vezetők

- A vezetőknél az egyes energiasávok annyira kiszélesednek, hogy átfedik egymást.
- Így a legmagasabb energiájú vegyértéksáv csak részben van betöltve.
- Ebben a sávban nagyon sok egymáshoz közeli energiaszint van.
- Külső elektromos mező hatására az elektronok könnyen átlépnek egy közeli magasabb energiaszintre. Az ilyen elektronok mozgékonyak, részt tudnak venni az elektromos és a hővezetésben.

# Félvezetők

A félvezetők olyan anyagok, amelyeknél a tiltott sáv igen keskeny. Így az elektronok termikus energia következtében is könnyen feljuthatnak a vezetési sávba.

A félvezetőknek két fajtája van:

- a) Szerkezeti félvezetők
- b) Szennyezéses félvezetők

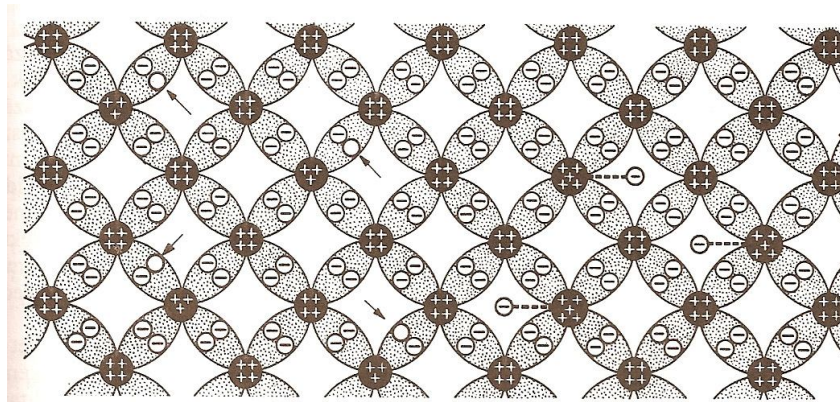
Itt további két csoportot különböztetünk meg:

- n-típusú kristály
- p-típusú kristály

## a) Szerkezeti félvezetők jellemzője

- A vegyértéksáv teljesen telített.
- A tiltott sáv igen keskeny.
- A vezetési sáv alacsony hőmérsékleten üres.

A keskeny tiltott sáv miatt az elektronok a termikus mozgás következtében feljuthatnak a vezetési sávba. Az ilyen kristályok alacsony hőmérsékleten szigetelők, magasabb hőmérsékleten vezetők. Ilyen pl. a tiszta szilícium-kristály.



Szilíciumkristály ionjai

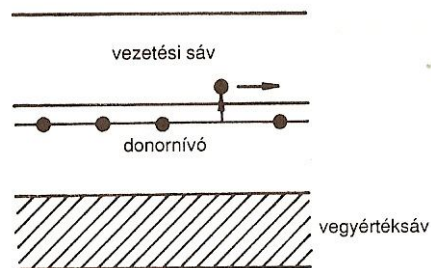
## b) Szennyezéses félvezetők

- A tiszta szilíciumkristályban minden szilíciumatomnak négy vegyértékelektronja van.
- Ezek valamennyien részt vesznek a kovalens kötés kialakításában.

- Így a vezetés számára nem marad elektron.
- A vezetést szennyező atomok segítségével lehet könnyebbé tenni. A szennyezéses félvezetőknél a szennyezés mértéke olyan, hogy kb. egy szennyező atom jut százmillió szilíciumatomra.

### n-típusú vezetés

- Gondoljuk el, hogy a szilíciumkristály néhány atomját foszfor atomra cseréljük ki.
- A foszforatom vegyértékhéján öt elektron van.
- Ebből négy elektron részt vesz a kovalens kötés kialakításában, és még marad egy lazán kötött elektron.
- Ennek az ötödik elektronnak az energiája éppen a tiltott energiasávba esik.
- A laza kötés azt jelenti, hogy az energiaállapot közel esik a vezetési sávhoz, az elektron könnyen leszakadhat, akár hőmozgás hatására is, és így módon a szennyezett szilíciumkristály vezetővé válik.
- Az ilyen vezetés számára elektronokat adó idegen atomokat **donorok**nak nevezzük.
- A donortom kötésben részt nem vevő elektronjának energiaszintjét **donornívó**nak nevezzük.
- Az ilyen kristályokban a vezetést elektronok, azaz negatív töltésű részecskék végzik. Innen az elnevezés: **n-vezetés**.

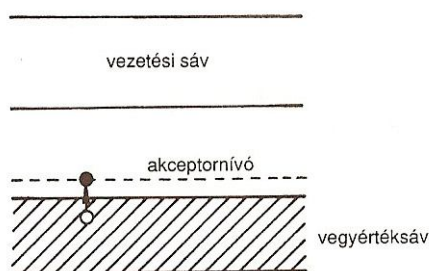


n-típusú félvezetők  
sávszerkezete

- n-típusú vezetés létrehozható:
  - foszfor atommal,
  - arzén atommal,
  - antimón atommal.

### p-típusú vezetés

- Ebben az esetben a szilíciumkristály néhány atomját a 13-as rendszámú Al atommal helyettesítjük.
- Az alumíniumatomnak a vegyértékhéján csak három elektron van. Így az egyik kötés csonka marad. Ez a hiány a tiltott sávban, a vegyértéksávhoz közel jelentkezik.
- Ide a vegyértéksávból egy elektron átugorhat, így a vegyértéksávban elektronhiányos (pozitív) hely keletkezik.
- Ebbe a lyukba beléphet az egyik kötésből egy elektron, és így tovább. Tehát a lyuk lesz az, ami vándorol.
- Valóságban természetesen az elektronok végeznek mozgást, de az egész jelenség leírható úgy, mintha a lyuk vándorolna.
- Az elektronhiányt előidéző atomot **akceptornak** nevezzük, a hozzá tartozó nívót **akceptornívónak**. Az akceptornívó a vegyértéksávhoz közel helyezkedik el.




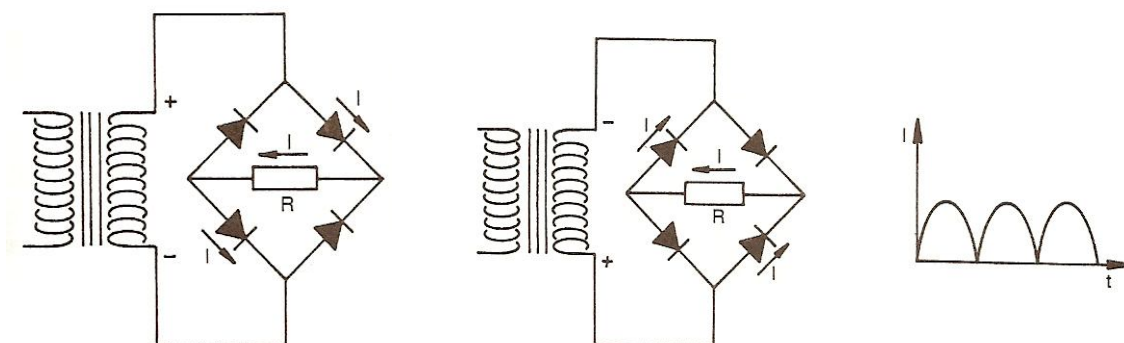
- p-típusú vezetés létrehozható:
  - alumínium atommal,
  - bór atommal,
  - indium atommal.

## Félvezető eszközök

Mára a félvezető eszközök rendkívül nagy számban és fajtában terjedtek el a gyakorlatban. Közülük a legfontosabbak:

### a) Dióda

- A legismertebb félvezető eszköz a rétegdióda. A kristály egyik oldala p-típusú, a másik oldala n-típusú félvezető.
- A szabad végeken egy-egy fémcsatlakozó van. Innen van a névben a „di” szócska.
- A dióda működésében a két réteg találkozási pontja, az ún. **p-n átmenet** játszik szerepet. Az érintkező felületen a **hőmozgás** következtében megindul a rekombináció. Az n-rétegből elektronok lépnek a p-réteg lyukaiba. *Így a határrétegben csökken a vezetőképes elektronok száma, az ellenállás megnő, a vezetőképesség csökken.*
- Ha a p-oldalra pozitív potenciált, az n-oldalra negatívot kötünk, akkor a dióda jól vezet. A p-oldalról lyukak, az n-oldalról elektronok indulnak a p-n átmenet felé, ahol az elektronok beugrálnak a lyukba, így az elektron-lyuk párok folyamatosan megsemmisülnek. Közben a csatlakozónál újabb lyukak és elektronok indulnak el. Ez a **nyitóirányú előfeszítés**, amikor csökken a dióda ellenállása és nő a vezetőképessége.
- Ha ellenkező feszültséget kapcsolunk az eszközre, akkor a lyukak is és az elektronok is a p-n átmenettől távolodni kezdenek. Ilyenkor a p-n átmenet a töltéshordozóktól kiürül, az átmenet elektromos ellenállása megnő, az áramvezetés igen rövid idő alatt megáll. Ez a **záróirányú előfeszítés**.
- A diódákat egyenirányításra lehet használni, mivel az egyik irányban  $10^4$ - $10^5$ -szer nagyobb az ellenállása, mint a másik irányban. Váltakozóáram esetén egyetlen diódával **félutas egyenirányítás** hozható létre. Teljes, kétutas egyenirányításhoz négy dióda kell. A dióda áramköri jelében a nyíl irányába mutat a vezetési irány. 





- A diódában nagy **záróirányú feszültség** esetén átütés jöhet létre, és ilyenkor a dióda vezetővé válik. Ezt az átütési áramot **Zener-áramnak** nevezik. A nagy térerő hatására az átmeneti rétegben lévő elektronok felgyorsulnak, és az ütközés következtében egyre több elektronnak adnak akkora energiát, hogy azok bekerülnek a vezetési sávba.

## Nyitóirányú karakterisztika



A dióda p-n átmenete kis feszültségen a diffúziós hatás miatt az áram útjában gátat képez.

Nyitóirányú feszültség növekedése esetén, ha a külső feszültség eléri a **küszöbfeszültséget**, a zárórétegben megindul az elektronok áramlása.

A küszöbfeszültség szilícium félvezető esetén 0,6 V, germánium félvezető esetén 0,2V.

A feszültségnövekedés hatására az áram növekedése kezdetben exponenciális jellegű, később lineárisává válik. A görbült karakterisztika miatt meg kell különböztetni az egyenáramú és a differenciális ellenállást. Az egyenáramú ellenállás értéke a diódán eső pillanatnyi feszültség és a hatására átfolyó áram hányadosa:

A dióda áram-feszültség karakterisztikája

$$R_e = \frac{U_m}{I_m}$$

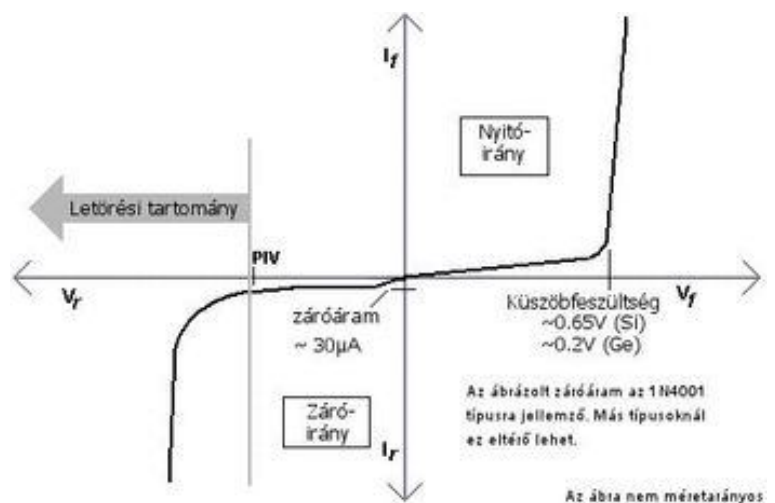
Ahol:

$U_m$  = munkaponti feszültség

$I_m$  = munkaponti áram

A differenciális ellenállás a karakterisztika adott m munkapontjához húzható érintő iránytangense. Ezt közelítőleg a feszültség kis megváltozásának és a hozzátartozó áramváltozásnak a hányadosa:

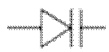
$$R_d = \frac{dU}{dI}$$



Ahol:  $dU$  = feszültségváltozás a munkapont körül,  
 $dI$  = áramváltozás a munkapont körül.

## Záróirányú karakterisztika

A dióda p-n átmenetére záró feszültséget kapcsolva, a p-n átmenetben a kiürített réteg szélessége nagyobb lesz. A kristály hőmérsékletének hatására kisebbségi töltéshordozók keletkeznek, amelyeket a kialakult térerősség a határréteg irányába sodor, ami az átmeneten keresztül záróáramot hoz létre. Az előfeszített p-n átmenet értéke egy erősen hőmérsékletfüggő áramgenerátort alkot. Szilícium félvezetőn keresztül csak néhány nanoamper, germánium esetén mikroamper nagyságrendű áram áthaladása lehetséges.



A záróirányban előfeszített dióda egy kondenzátort alkot. Fegyverzetként a p és az n réteg viselkedik, a közöttük lévő kiürített záróréteg a dielektrikum. Mivel a kiürített réteg szélessége a rákapcsolt záróirányú feszültséggel nő, a dióda-kondenzátor kapacitása ezzel csökken, így olyan kondenzátor jön létre, amelynek a kapacitása a rákapcsolt feszültséggel arányos. Azt a diódátípust, amely ezt a hatást felhasználja, változó kapacitású diódának vagy „varicap” diódának nevezzük.



Növelve a zárófeszültséget, a kiürített rétegben az elektromos térerősség akkora értéket érhet el, amely kiszakítja a kristálykötésből az elektronokat. A töltéshordozók megnövekedett száma miatt a záróirányú áram növekedni kezd. A szabad elektronok a nagy térerősség hatására gyorsulnak, mozgási energiájuk nő. A kristály atomjaiba ütközve a leadott energia újabb elektronokat szakít ki a kötésből, ami lavina-effektust eredményez, és a záróréteget hirtelen elárasztják az elektronok és a lyukak; az áram ugrásszerűen megnő. Az áram korlátozása nélkül a kristály túlmelegszik és tönkremegy. Ezt a jelenséget felfedezőjéről (Clarence Melvin Zener) Zener-effektusnak nevezik. Ezt a jelenséget feszültségstabilizációra lehet felhasználni. A Zener-effektust alkalmazó diódát Zener-diódának vagy stabilizátor-diódának nevezik.

## b) Tranzisztor

### Felépítése

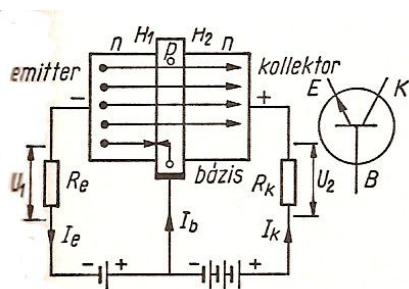
- Három, egymást felváltva követő, különböző típusú **vezetési tartomány**ból áll. Az **nnp-tranzisztor** esetén két n-típusú tartomány között egy *vékony* p-típusú réteg van, **pnnp-tranzisztor** esetén pedig két p-típusú réteg közé kerül egy vékony n-típusú tartomány. A félvezető rétegek két egymással szembefordított **p-n átmenetet** alkotnak (*mint két dióda*). Minden réteg ki van vezetve.
- A két szélső réteget **kollektornak** (C), illetve **emitternek** (E) nevezik, a középső réteget **bázisnak** (B) hívják. A bázis jóval vékonyabb, mint a másik két réteg. A tranzisztor három rétege a félvezető kristálynak



csak a felső vékony rétegét foglalja el. A kristály alsó része mechanikusan tartja a rétegeket.

- A három rétegnek megfelelően két határréteg van. Jelöljük ezeket  $H_1$ -gyel és  $H_2$ -vel.
- Az emitter-bázis diódára nyitóirányú előfeszítést adunk, a bázis-kollektor diódára záróirányút.
- Az tapasztalható, hogy a bázisáram ( $I_b$ ) elenyészően kicsi, míg a kollektoráram ( $I_k$ ) és az emitteráram ( $I_e$ ) közel megegyező nagyságú.

### Működése

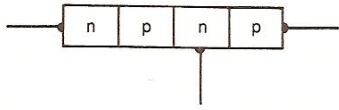


- Az emitterből szabad elektronok, a bázisból pedig lyukak haladnak a  $H_1$  határréteg felé.
  - Mivel a középső p-réteg, a bázis vékony (kb.  $50 \mu m$ ), az elektronok többsége eléri a  $H_2$  réteget, onnan a kollektoron át zárja az áramkört.
  - A rekombinálódó elektronok, illetve lyukak hozzák létre a bázisáramot.
- Ha a bázison keresztül nem folyik áram, akkor a tranzisztor kollektora és az emittere között sem folyik áram.
  - Amennyiben a bázison áram folyik át, akkor az áram mértékével arányosan folyik áram a kollektor és az emitter között is.

### A tranzisztor erősítő hatásának magyarázata

- Az emitter-bázis dióda nyitóirányú előfeszítéséhez elegendő tized volt nagyságrendű feszültség is.
- Ez azt jelenti, hogy már kis feszültségváltozás jelentősen megváltoztatja az  $I_b$  bázisáram, ill. az  $I_e$  emitteráram értékét.
- Mivel a kollektoráram erőssége közelítőleg megegyezik az emitteráram erősségével, a kollektorkörbe kötött megfelelő ellenálláson jóval nagyobb feszültségváltozás jön létre. Ez abból következik, hogy a kollektor-bázis dióda záróirányú előfeszítése kb. 50-100-szor nagyobb feszültséggel lehetséges, mint az emitter-bázis nyitófeszültsége.

### c) Tirisztor



- Két dióda van sorba kapcsolva.
- A szokásos két csatlakozón kívül egy harmadik is található, amit **kapunak** hívunk.
- A kapun átfolyó kicsiny árammal lehet szabályozni a főáramot, ami igen nagy is lehet.
- A tirisztor tehát kapcsolóként működik mozgó alkatrész nélkül.
- Felhasználása
  - riasztókban,
  - autó gyújtáskapcsolójaként,
  - villanymotorok indításához.

### d) Fotoellenállás

- A fotoellenállás ellenállásértéke megvilágítás hatására csökken.
- Ilyen anyag pl. a kadmium-szulfát.
- A félvezető anyagban az elnyelt fény energiájának hatására elektron-lyuk párok jönnek létre, amelyek részt tudnak venni a vezetésben.
- Minél erősebb a megvilágítás, annál több töltéshordozó pár keletkezik, annál kisebb lesz a félvezető elektromos ellenállása.
- Segítségével egy áramkör például automatikusan bekapcsolhatja a belső világítást, ha a természetes napfény nem elegendő.

### e) Fotodióda

- A fotodióda úgy készül, hogy a fény a p-n átmenetre essen.
- Ha a fotodiódára záróirányú feszültséget kapcsolunk, akkor az elektromos ellenállása nagymértékben változhat a megvilágítástól függően, mivel a megvilágítás hatására elektron-lyuk párok jönnek létre.
- Ha a fotodiódára nem kapcsolunk külső feszültséget, akkor fényelemként működik. Ha pl. napfénnel világítjuk meg, akkor napelemnek hívjuk.
- A p-n átmenettől távolodó töltéshordozók egyenáramot hoznak létre, amellyel pl. zsebszámológépeket lehet üzemeltetni.

### f) LED

- A LED olyan dióda, amely fényt sugároz ki.
- A LED p-n átmenete sugározza ki a fényt, ha a dióda nyitóirányba van kapcsolva.
- Ilyenkor elektronok kerülnek a p-tartományba, és lyukak az n-tartományba.

- A rekombináció során energia szabadul fel foton formájában, és a p-n átmenet környéke világítani kezd.
- A kisugárzott fény hullámhossza a félvezető anyagi minőségétől függ. Vannak infravörösben, vörösben, zöldben és sárgában sugárzó LED-ek.
- A TV-k, videók távirányítóiban infravörös fényt sugárzó LED-ek vannak, amelyek fényét a TV-ben, ill. a videókból lévő fotodiódák észlelik. Az infravörös érzékelők olyan szűrőkkel vannak ellátva, amelyek nem engedik át a szobában lévő sokféle egyéb fényt.

#### **g) Lézerdióda**

- A lézerdiódák olyan fénykibocsátó diódák, amelyben különlegesen kialakított, polírozott lapok találhatók a kibocsátási zónára kereszttezett irányban.
- Ezek a lapok úgy működnek, mint a lézerekben használt tükrök.
- Legfontosabb felhasználási területük a CD lejátszók, mert a lézerdiódákkal különösen élesen fókuszált (1 mikronnál kisebb átmérőjű) sugarat lehet előállítani.

A félvezető diódák p-n átmenet fontosságát nem lehet eléggé hangsúlyozni. Pl. a memóriachipek sok millió p-n átmenetet tartalmaznak egyetlen szilíciumfelületen, amely nem nagyobb, mint egy egyforintos.