

◀	Tartalom	Fogalmak	Törvények	Képletek	Lexikon	▶
---	----------	----------	-----------	----------	---------	---

Áramvezetés félvezetőkben

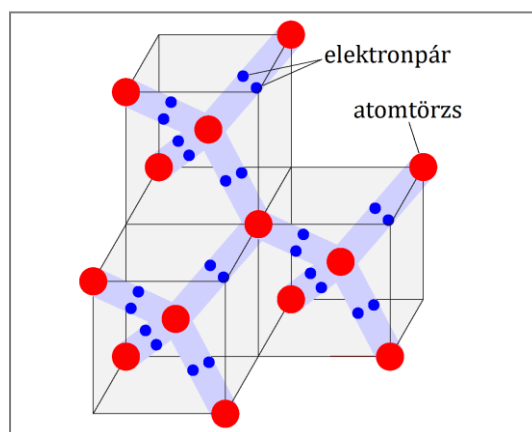
Tudjuk, hogy egyes anyagok vezetik az áramot, mások viszont nem. A vezetők és a szigetelők közti határ azonban nem ilyen éles, számos olyan anyag van, amely e két csoport között helyezkedik el. Az *olyan anyagokat, amelyeknek a fajlagos ellenállása lényegesen nagyobb, mint a vezetőké, de nem tekinthetők szigetelőnek sem, félvezetőknek nevezzük*. Félvezető például a szilícium, a germánium, a szelén, a gallium-arzenid és a kadmium-szulfid.



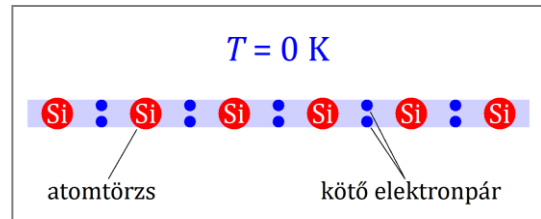
További lényeges tulajdonság, hogy *a félvezetők fajlagos ellenállása melegítés hatására csökken*, hűtéskor viszont növekszik. A félvezetők 0 K hőmérséklet közelében szigetelővé válnak. Ebben a tekintetben a fémek és a félvezetők ellentétesen viselkednek. Láttuk ugyanis, hogy a fémek fajlagos ellenállása a hőmérséklet emelkedésekor növekszik, hűtéskor viszont csökken, sőt 0 K közelében a fémek szupravezetővé válnak.

A félvezetők és a fémek egymással ellentétes viselkedése az eltérő kristályszerkezetükből adódik. A következőkben a leggyakrabban használt félvezető, a szilícium kristályszerkezetét elemezzük, és ennek alapján magyarázatot adunk a félvezetők jellegzetes tulajdonságaira is.

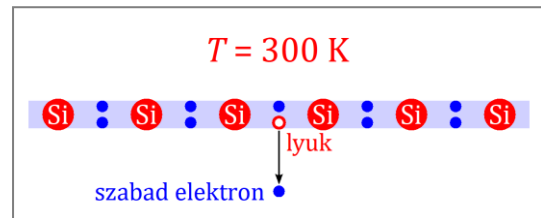
A szilícium atomokban a külső elektronhéjon 4 elektron található. A szilícium kristályban a szomszédos atomok közötti kötést ezek az elektronok alakítják ki. Minden atomnak négy közvetlen szomszédja van, és két ilyen szomszédos atom között két elektrontól álló elektronpár létesít kötést. Ezek az elektronpárok vonzzák a pozitív atomtörzseket, és ezáltal tartják egyben a kristályt.



Ha a hőmérséklet 0 K körül van, akkor a szilíciumkristályban a pozitív atomtörzsek és az elektronok is helyhez kötöttek, tehát a kristályban nincsenek szabad töltéshordozók.



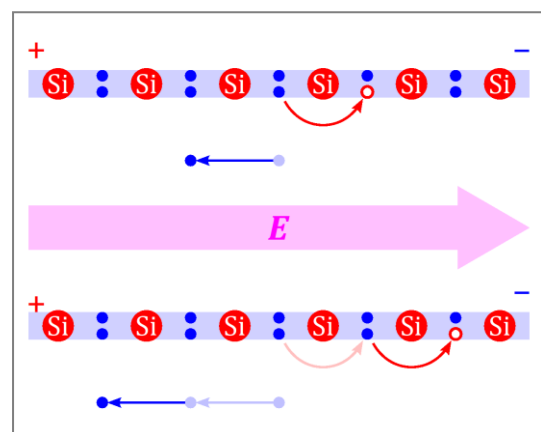
Ennek következtében a félvezetők a 0 K közelében jó szigetelők. Magasabb hőmérsékleten a hőmozgás következtében az elektronok egy része kiszabadul a kötésből. A rácsból kiszabadult elektron helyén viszont



elektronhiány, lyuk keletkezik. Mivel a lyuk képződésekor a semleges kristályból egy negatív töltésű elektron lép ki, a lyukak pozitív töltésűek.

Külső elektromos mező hiányában az elektronok a fémekben lévő vezetési elektronokhoz hasonlóan véletlenszerűen mozognak a kristályrácsban. De ugyanígy mozognak a rácson belül a lyukak is. Az atomtörzs vonzása miatt ugyanis a lyukba könnyen átugorhat egy közeli elektronpár egyik elektronja, ekkor azonban annak a helyén keletkezik lyuk. Végző soron mindez azt jelenti, hogy a lyuk elmozdulhat a kristályrácsban. Mivel külső elektromos mező hiányában egy lyukba bármelyik szomszédos elektron átléphet, a lyuk mozgása is teljesen véletlenszerű.

A legtöbb félvezetőnél már szobahőmérsékleten is létrejönnek elektron–lyuk párok. Emiatt a félvezetők már szobahőmérsékleten is vezetnek az áramot, mert az elektromos mező hatására a kötésből kiszakadt elektronok a térerősséggel ellentétes irányba mozognak. Ezt a fajta vezetést elektronvezetésnek hívjuk.

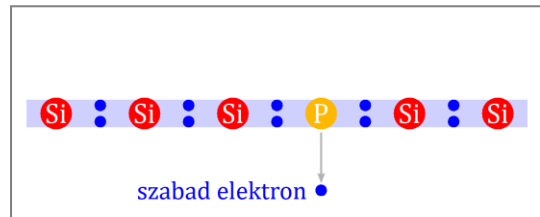


A vezetésben azonban a lyukak is részt vesznek. A külső mező hatására a lyuk környezetében levő elektronok közül azokra hat nagyobb erő, amelyek a lyukhoz viszonyítva a térerősség irányába helyezkednek el. Ennek

következtében ezek az elektronok lépnek át a lyukakba, így a lyuk a térerősség irányába mozdul el. Külső elektromos mező hatására tehát a pozitív töltésű lyukak a térerősség irányába áramlanak. A lyukak mozgásából adódó vezetést lyukvezetésnek nevezzük.

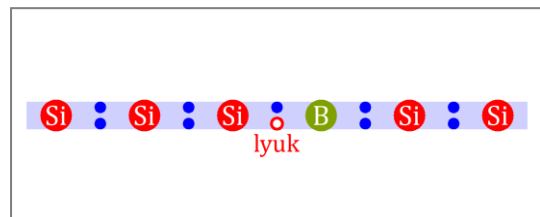
A vezetésnek azt a fajtáját, amelynél a töltéshordozók csupán a hőmozgás következtében keletkező elektron–lyuk párok, *sajátvezetésnek* nevezzük. Az olyan félvezetőt, amelyben csak sajátvezetés van, *sajátfélvezetőnek* nevezzük. A sajátvezetés legfontosabb jellemzője, hogy a hőmérséklet emelkedésével egyre több elektron lép ki a kötésből, így nő a vezetésben részt vevő elektron–lyuk párok száma. Mindez a fajlagos ellenállás csökkenését eredményezi.

A félvezetőkbe azonban más módon is bejuttathatunk töltéshordozókat. Ha gyártáskor a szilíciumhoz kis mennyiségben olyan anyagot adagolnak, amelynek atomjaiban a külső elektronhéjon 5 elektron van (arzén, foszfor,



antimon), akkor a szilícium rácsába beépülő „szennyezőatom” egyik elektronja nem vesz részt a kötések kialakításában. Ez az elektron nagyon könnyen leszakadhat, és a hőmozgásból származó elektron–lyuk párok mellett részt vehet a vezetésben. Emiatt azonban a szabad töltéshordozók között több az elektron, mint a lyuk, vagyis az elektronok a többségi töltéshordozók. *Az olyan félvezetőt, amelyben a többségi töltéshordozók elektronok, n típusú félvezetőnek* nevezzük.

Ha a szilíciumhoz kis mennyiségben olyan anyagot adagolnak, amelynek atomjaiban a külső elektronhéjon 3 elektron van (indium, bór, alumínium, gallium), akkor a szilíciumrácsba beépülő „szennyezőatom” és az egyik szomszédos szilíciumatom között olyan kötés alakul ki, amelyben csak egy elektron van. Ennek következtében a félvezetőkristályban itt egy lyuk keletkezik, amely az elektron–lyuk

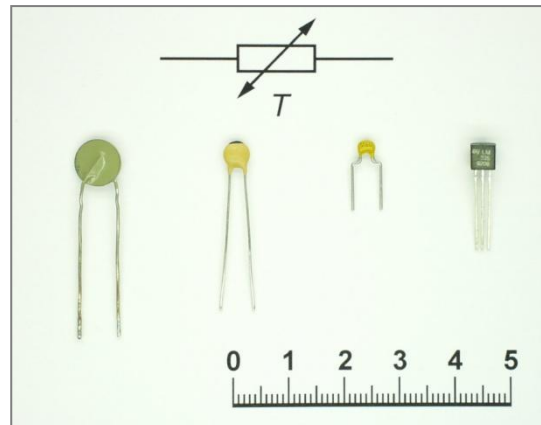


párok mellett a már ismert módon részt vehet a vezetésben. A töltéshordozók közül most a lyukak vannak többségben, azaz a lyukak a többségi töltéshordozók. *Az olyan félvezetőt, amelyben a többségi töltéshordozók lyukak, p típusú félvezetőnek* nevezzük.

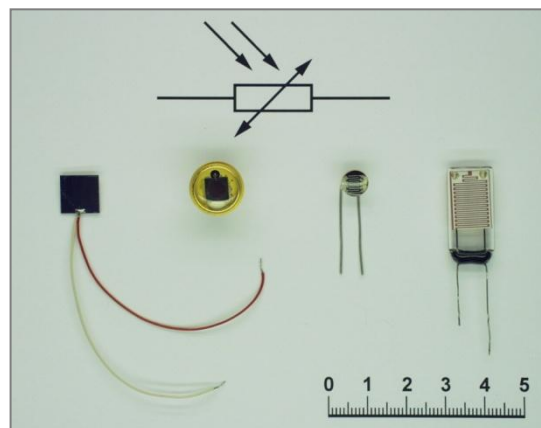
Az n típusú és a p típusú félvezetőkből összetett félvezetőeszközök (dióda, tranzisztor, integrált áramkör stb.) állíthatók elő, ezekkel a következő, *A dióda és a tranzisztor* című fejezetben foglalkozunk.

Kiegészítések

1. A *termisztor* működése azon alapul, hogy a félvezetők ellenállása a hőmérséklet emelkedésekor csökken. A termisztorok ellenállását megmérve következtetni lehet a hőmérsékletre, így a termisztor felhasználható elektronikus hőmérők érzékelőjeként. Az autókba szerelt ilyen hőmérőkhöz általában két termisztoros érzékelő csatlakozik, az egyik a belső, a másik a külső hőmérsékletet méri. Ez utóbbival érzékeltetni lehet, ha a hőmérséklet fagypont alá csökken, és az út jegessé válik. Az ilyen hőmérő ekkor egy jelzéssel is figyelmeztetheti a gépkocsivezetőt.



2. A *fotoellenállás* (fényellenállás) működése azon alapul, hogy a félvezetők fajlagos ellenállása a fény hatására megváltozik. A fény ugyanis a félvezetőben szintén elektron-lyuk párokat hoz létre. A szabad töltéshordozók számának növekedése itt is a fajlagos ellenállás csökkenését eredményezi. Ezt a jelenséget *belső fényelektromos hatásnak* nevezzük. A fotoellenállásokat megvilágításmérőkben, fényérzékelőkben használják. Fényellenállást tartalmaz az infravörös távirányítóval vezérelhető készülékek egy része is.



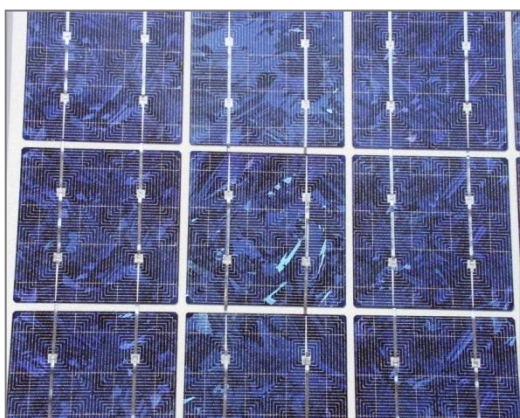
3. A *fényelemek* olyan félvezető eszközök, amelyekben a fény hatására keltett elektron-lyuk párok a fényelem két kivezetésére jutnak, így a két kivezetésen ellentétes előjelű töltések halmozódnak fel. A megvilágított fényelem így áramforrásként használható. (A képen egy fényelemmel működő zsebszámológép látható.)



Mivel a fényelemek működéséhez szükséges fényt általában a Nap szolgáltatja, *napelemeknek* is nevezik őket. (Ne keverjük össze őket a napkollektorokkal, amelyek csak vizet melegítenek a hősugarak összegyűjtésével.) A műholdak, űrszondák, űrállomások áramellátását többnyire fényelemekből összeállított telepekkel biztosítják. A jobb oldali képen a *Nemzetközi Űrállomás* (ISS) látható kinyitott napelemekkel.




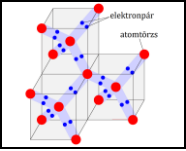
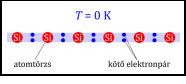
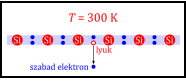
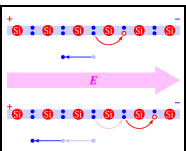
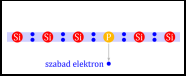
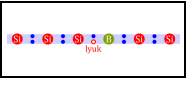
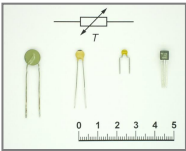
A napelemeket egyre nagyobb mértékben használják villamos energia előállítására is, mivel a működéséhez a megújuló napenergiát használja. Hátránya, hogy borús időjárásnál jelentősen csökken, éjszaka pedig nullává válik a teljesítménye.





4. A kristályos szilíciumban köbcéntiméterenként megközelítőleg $5 \cdot 10^{22}$ szilíciumatom van. 300 K hőmérsékleten a töltéshordozók száma csupán $1,08 \cdot 10^{10}$ köbcéntiméterenként. Az adagolt szilíciumban a bejuttatott „szennyezőatomok” (és ezzel a többségi töltéshordozók) száma $10^{13} \dots 10^{18}$ között van, azaz az így bevitt töltéshordozók száma 3 ... 8 nagyságrenddel nagyobb, mint a sajátvezetésből származó töltéshordozók száma. (A táblázat az 1 cm^3 szilíciumban található az atomok/töltéshordozók számát tartalmazza.)

Szilíciumatomok	$5 \cdot 10^{22}$	50 000 000 000 000 000 000 000
Töltéshordozók sajátvezetésből	$1,08 \cdot 10^{10}$	10 800 000 000
Töltéshordozók adalékolásból (min.)	10^{13}	10 000 000 000 000
Töltéshordozók adalékolásból (max.)	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000

Képek jegyzéke

	<p>Szilícium W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SiliconCroda.jpg</p>
	<p>A szilíciumkristály felépítése © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0469.svg</p>
	<p>Töltéshordozók a 0 K hőmérsékletű szilíciumban © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0470.svg</p>
	<p>Töltéshordozók a 300 K hőmérsékletű szilíciumban © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0471.svg</p>
	<p>Elektronvezetés és lyukvezetés a szilíciumban © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0472.svg</p>
	<p>N típusú félvezető (szilícium) © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0473.svg</p>
	<p>P típusú félvezető (szilícium) © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0474.svg</p>
	<p>Termisztorok és a termisztor kapcsolási jele © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fiz0130.jpg</p>

	<p>Fotoellenállások és a fotoellenállás kapcsolási jele © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0131.jpg</p>
	<p>Fényelemmel működő zsebszámológép © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1032.jpg</p>
	<p>A Nemzetközi űrállomás kinyitott napelemekkel W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS-56_International_Space_Station_fly-around_(07).jpg</p>
	<p>Napelem közelről © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0480.jpg</p>
	<p>Napelem háztetőn (Névleges teljesítmény 4 kW) © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1031.jpg</p>

Jelmagyarázat:

© **Jogvédelem** anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.