

A close-up, low-angle shot of a microchip on a circuit board, with a blue gradient overlay. The chip is dark and rectangular, with various pins and components visible. The background is a deep blue with a bokeh effect of light spots.

Félvezetők

Harrer Dániel 12.A

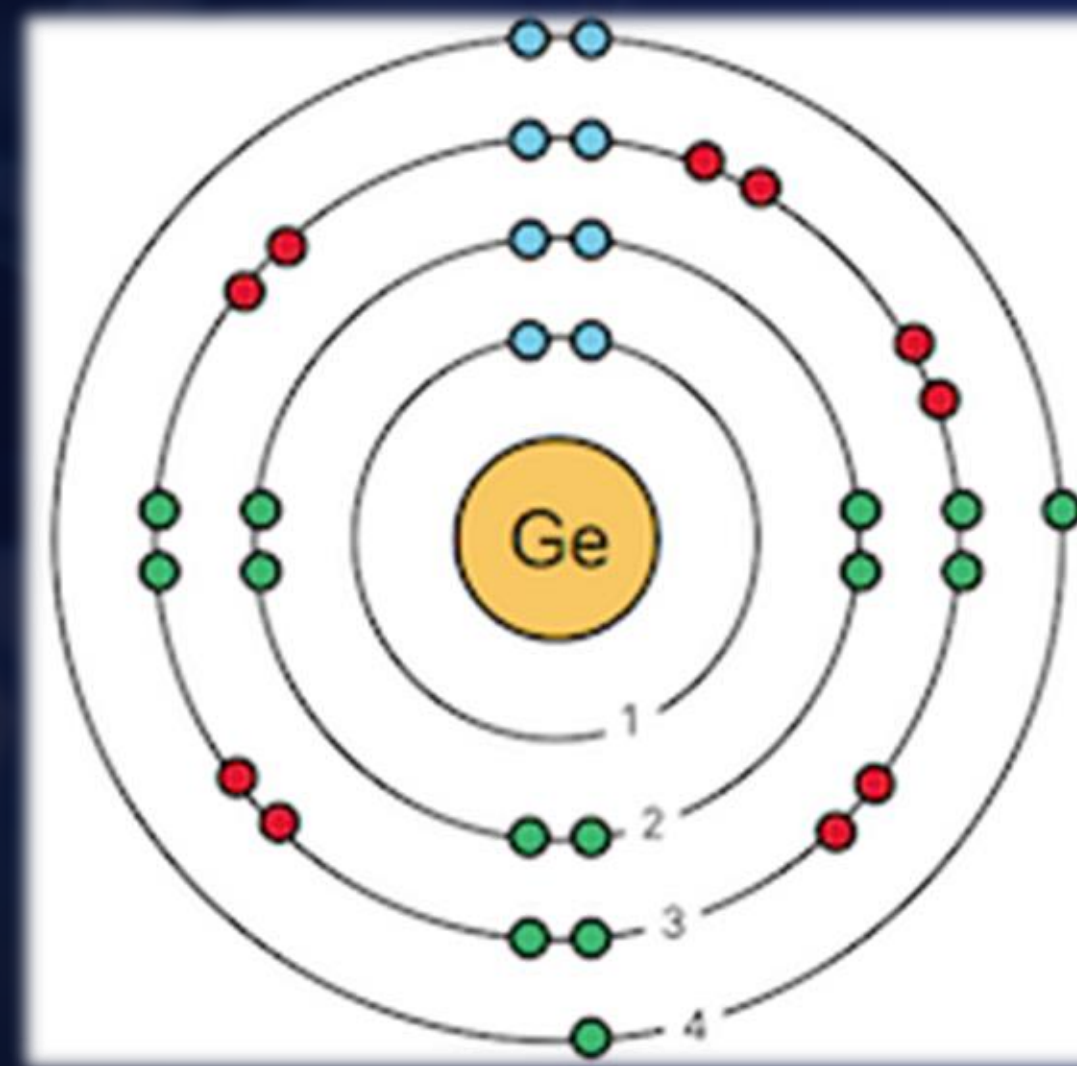
Elemi félvezetők

[illegible]

Germánium (Ge)

- Clemens Winkler (1886)
- Agrirodit ásvány
- Ritka, 1,5g/t
- 4. főcsoport → 4 vegyérték elektron

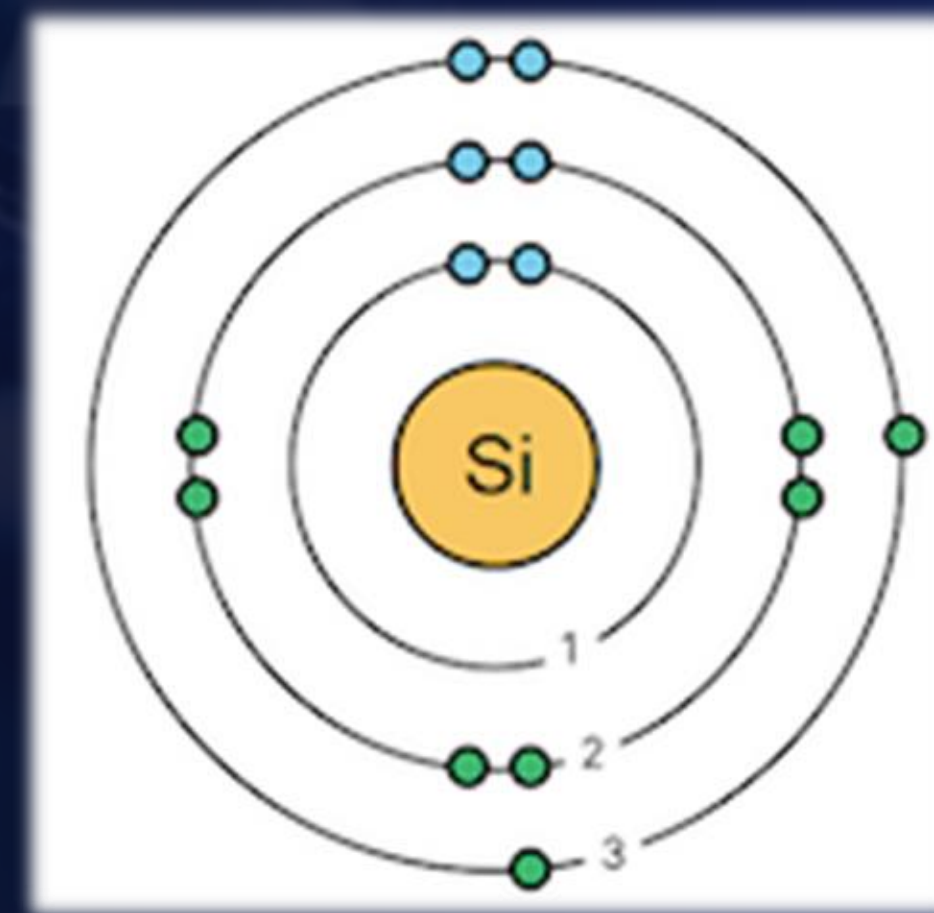
32	938 2820 5,32
Ge	
germánium	
72,63	



Szilícium (Si)

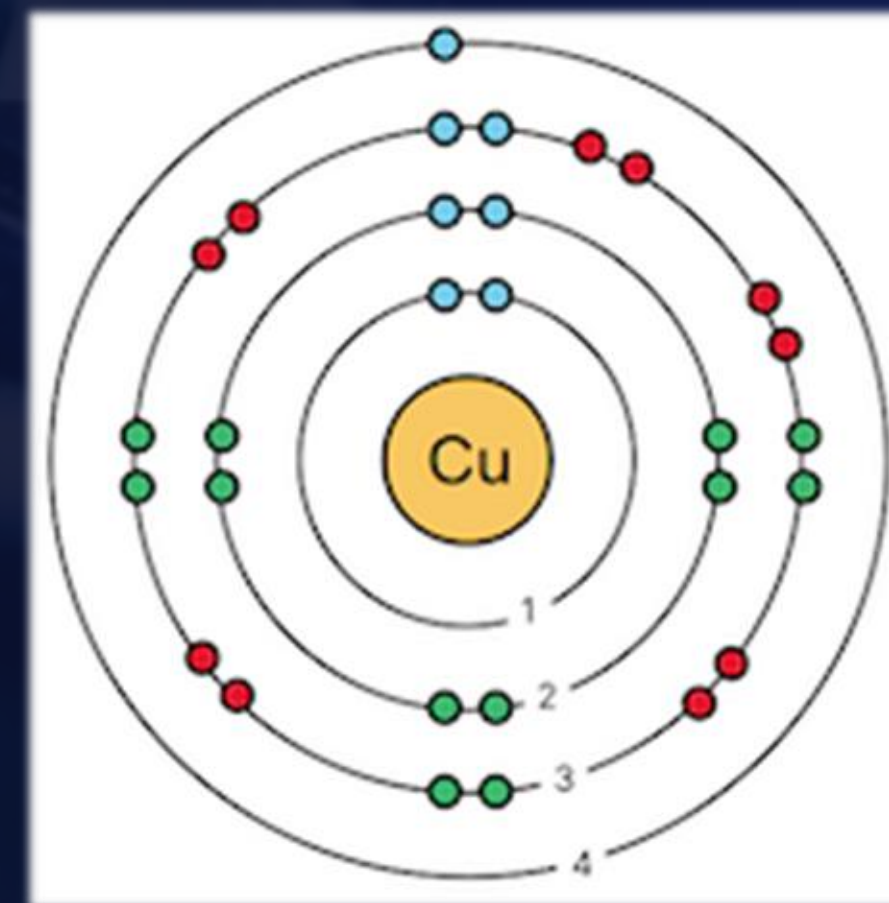
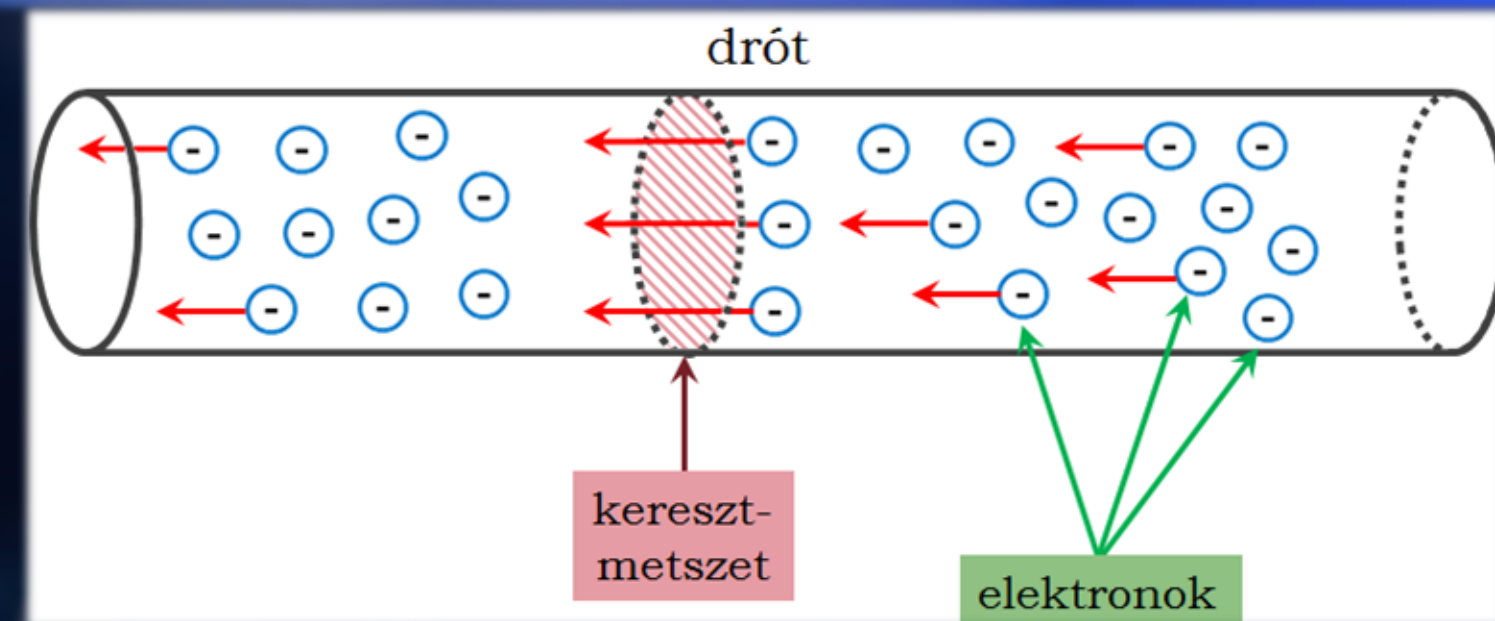
- Jöns Jakob Berzelius (1823)
- Oxigén után második leggyakoribb elem
- 4. főcsoport $\rightarrow$ 4 vegyérték elektron
- Elemi állapotában nagyon ritkán fordul elő
- Kvarcristály (SiO_2)

14	1414 2900 2,33
Si	
szilícium	
28,09	



Vissza az alapokhoz – vezetés a fémekben

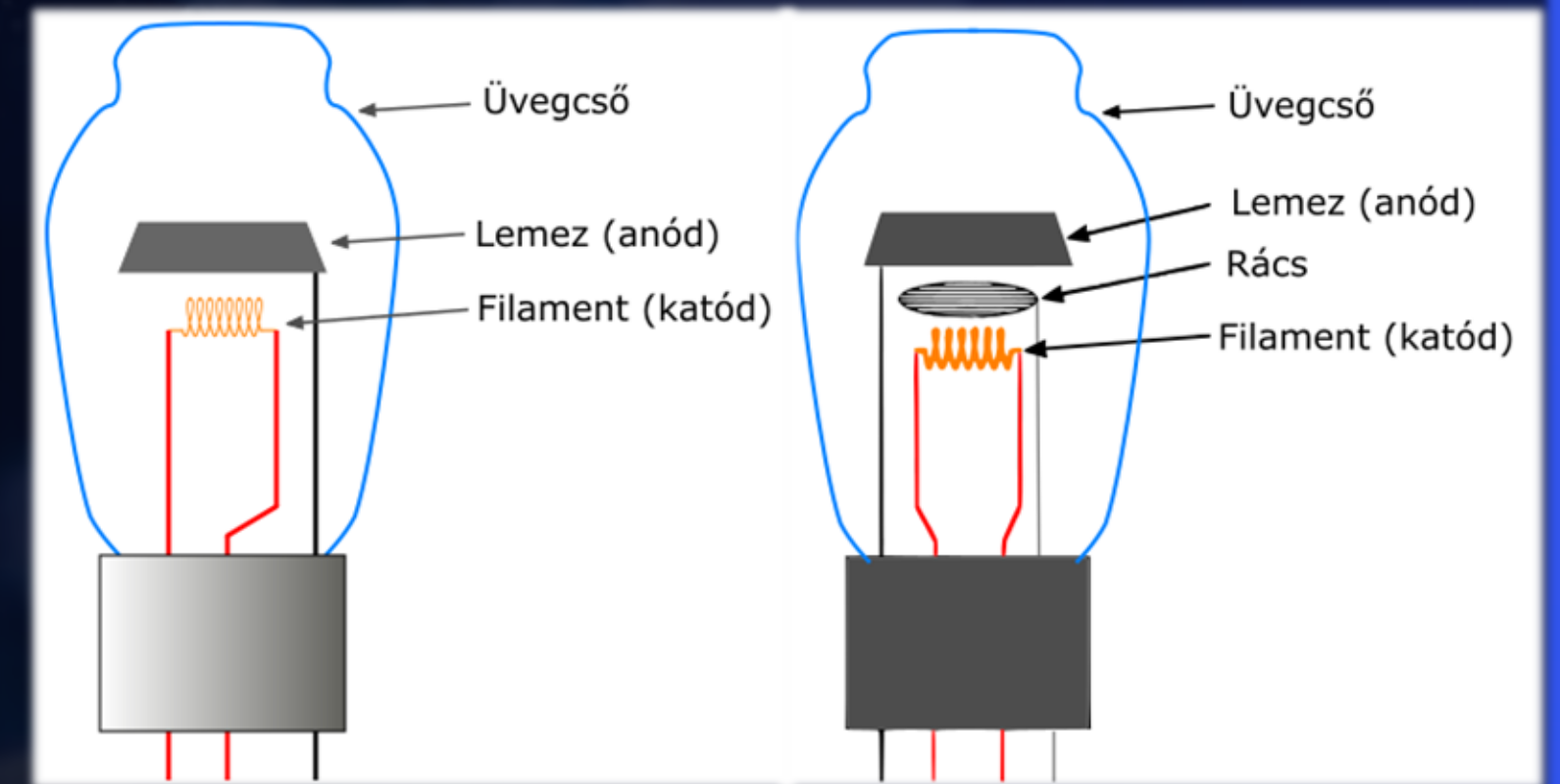
- Elektronáramlás a fémrácsban
 - Egyezményes irány: magasabb potenciálból alacsonyabb potenciálba
 - Tényleges irány: Elektrontöbbletből elektronhiányba
- Ellenállás jelleg
 - Keresztmetszettől és fajlagos ellenállástól függ



$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \rightarrow \rho = \frac{RA}{l} \rightarrow R = \rho \frac{l}{A}$$

Félvezetők előtt – Az elektroncső

- Vákuummal vagy kis nyomású gázzal töltött üvegcső
- Termikus emisszió
 - A fűtőszál (katód) magas hőmérsékleten elektronokat „sugároz”
- Elektronok az anódba csapódnak
- Rácctal szabályozható az elektronok leválása



Dióda

Trióda

Szupravezetés

- Kritikus hőmérséklet (T_c)
- Nulla ellenállás (hőtermelés nincs)

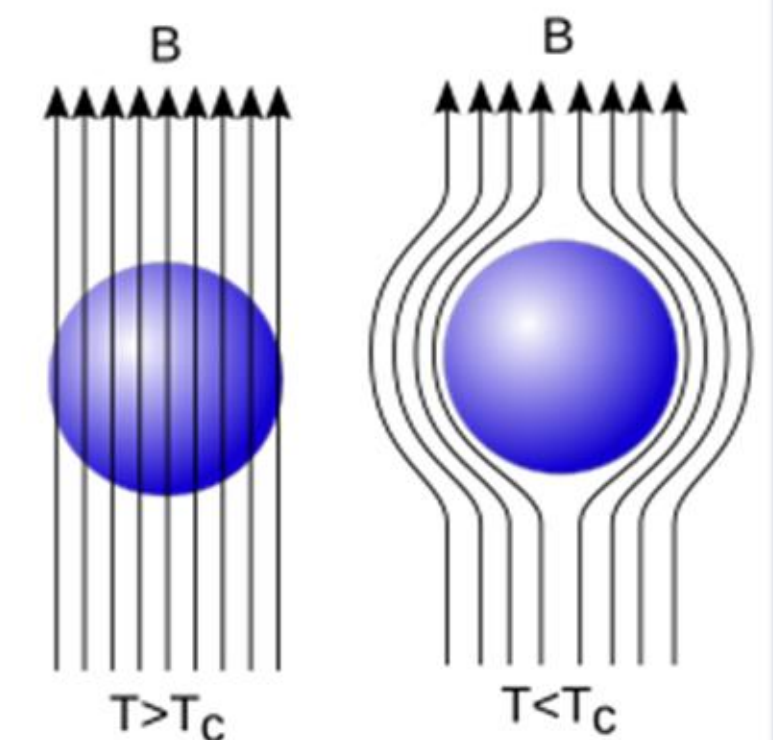
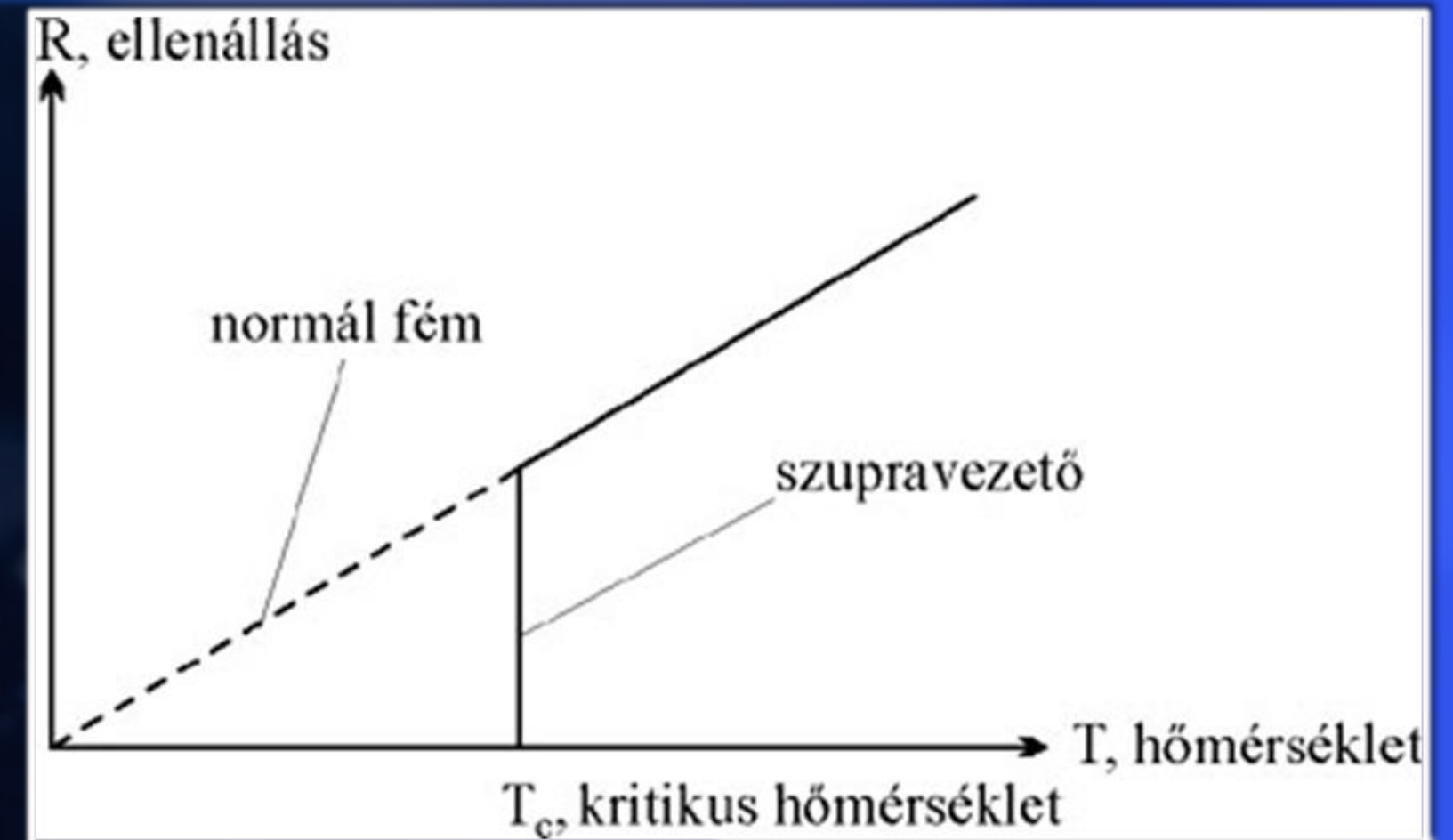
–Joule hő: $Q = I^2 \cdot R \cdot t$

–Ha az ellenállás közelít a 0-hoz:

$$\lim_{R \rightarrow 0} (I^2 \cdot R \cdot t) = 0$$

- Meissner(–Ochsenfeld)-hatás

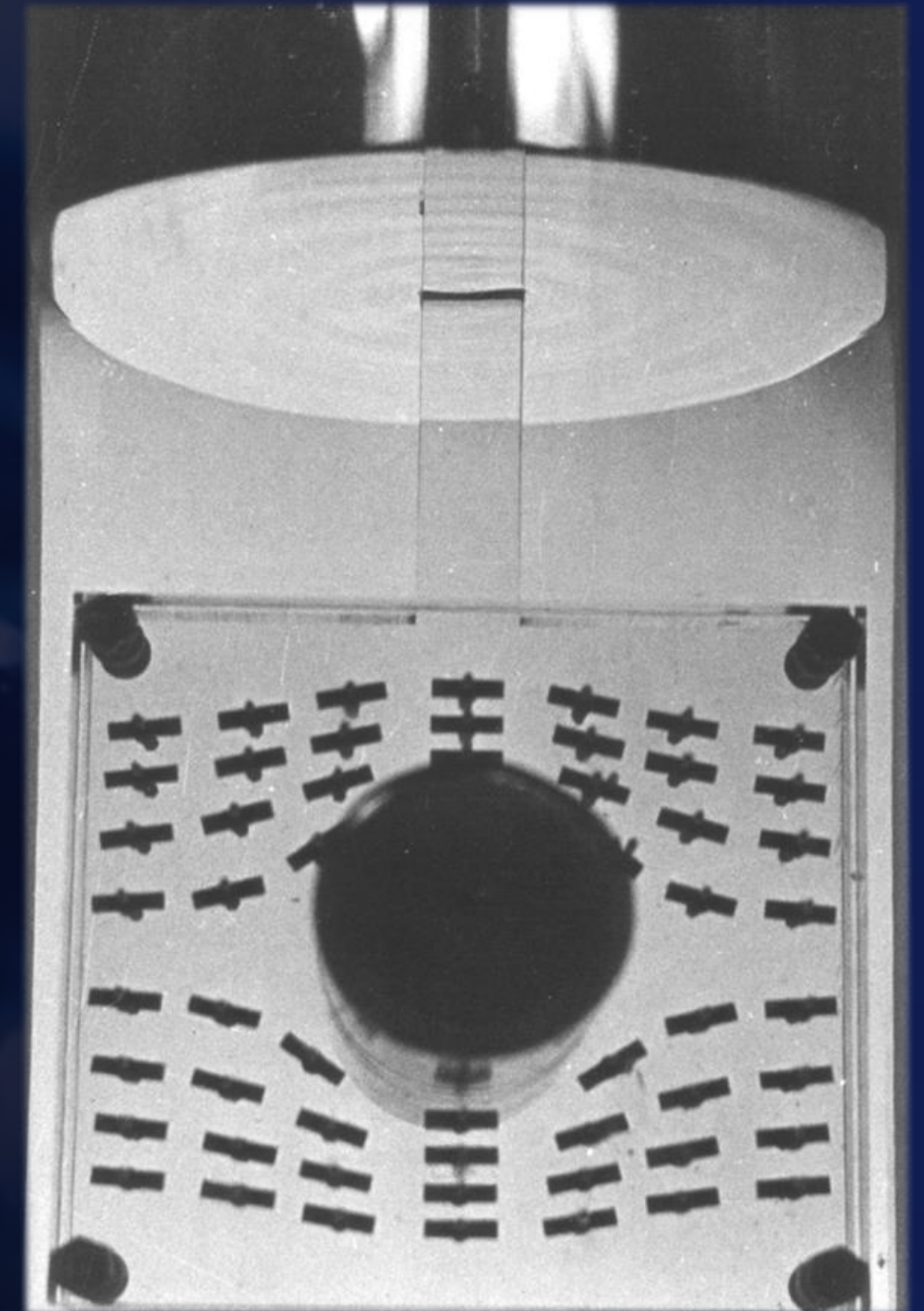
–A mágneses erővonalak nem hatolnak be a testbe



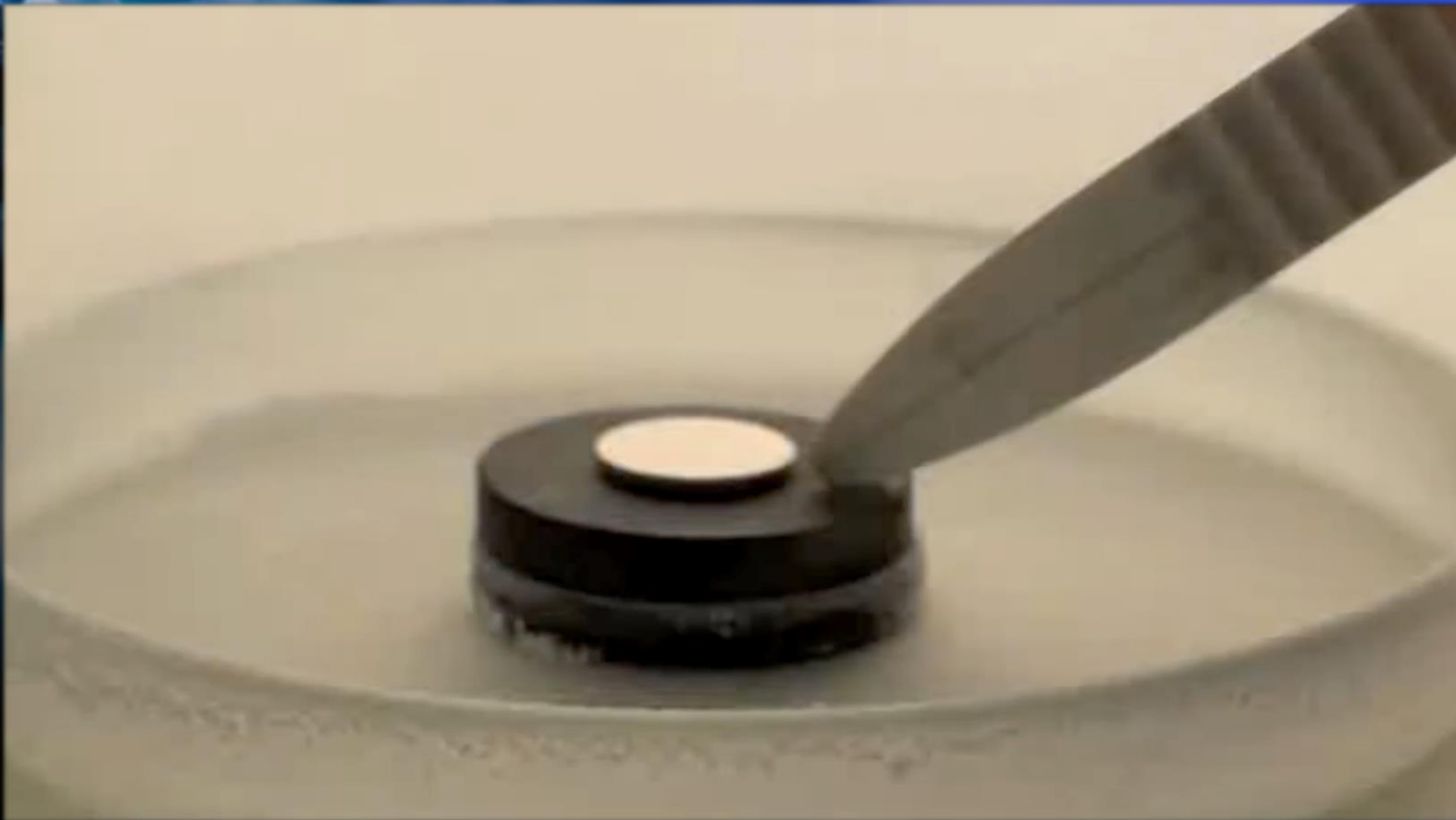
Walter Meißner (1882–1974) és Robert Ochsenfeld (1901–1993) 1933-as felfedezéséből:

Szupravezetés

- Thermodinamikai ellentmondás:
 - London-egyenletekből: $\nabla^2 \mathbf{H} = \lambda^{-2} \mathbf{H}$
 - $\mathbf{H}$ a mágneses tér, ami λ távolságra hatol be
 - Exponenciálisan csökken
- Elemi szupravezetők:
 - Nióbium ($_{41}\text{Nb}$), Ólom ($_{82}\text{Pb}$), Higany ($_{80}\text{Hg}$)
- Ötvözött szupravezetők:
 - Nióbium-titán (NbTi), Nióbium-ón (Nb_3Sn), Vanádium-gallium (V_3Ga)



Szupravezetés – Meissner-effektus

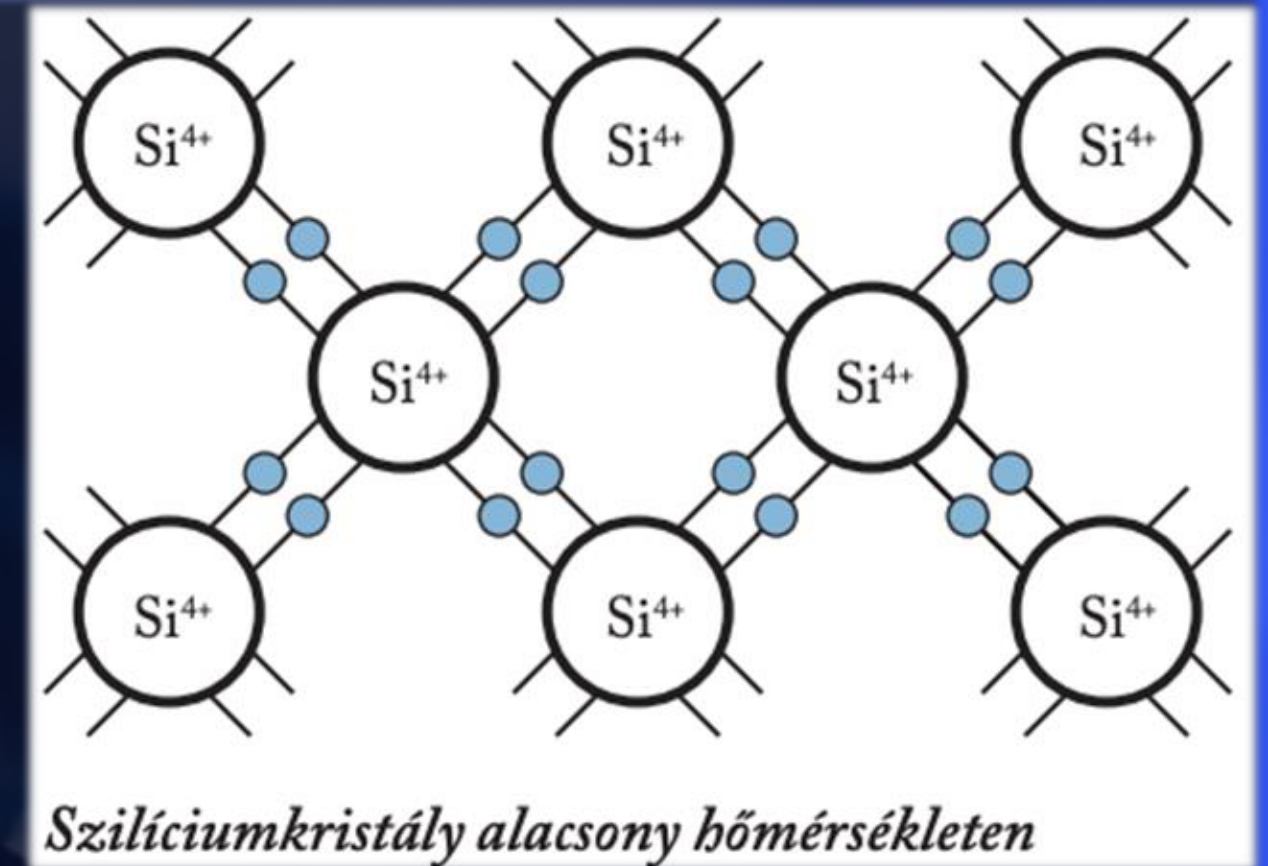


Félvezetők szerkezete

- Az ionok kristályszerkezetet alkotnak
 - Kovalens kötés
- Elektronok helyhez kötöttek
 - Csak hőmérsékletnöveléssel szakadnak ki
 - Jó szigetelő

Hőmérséklet növekedésével

- Nő a vezetőképesség
- Nagyobb amplitúdóval rezegnek az atomtörzsek ➔ rugalmatlan ütközések

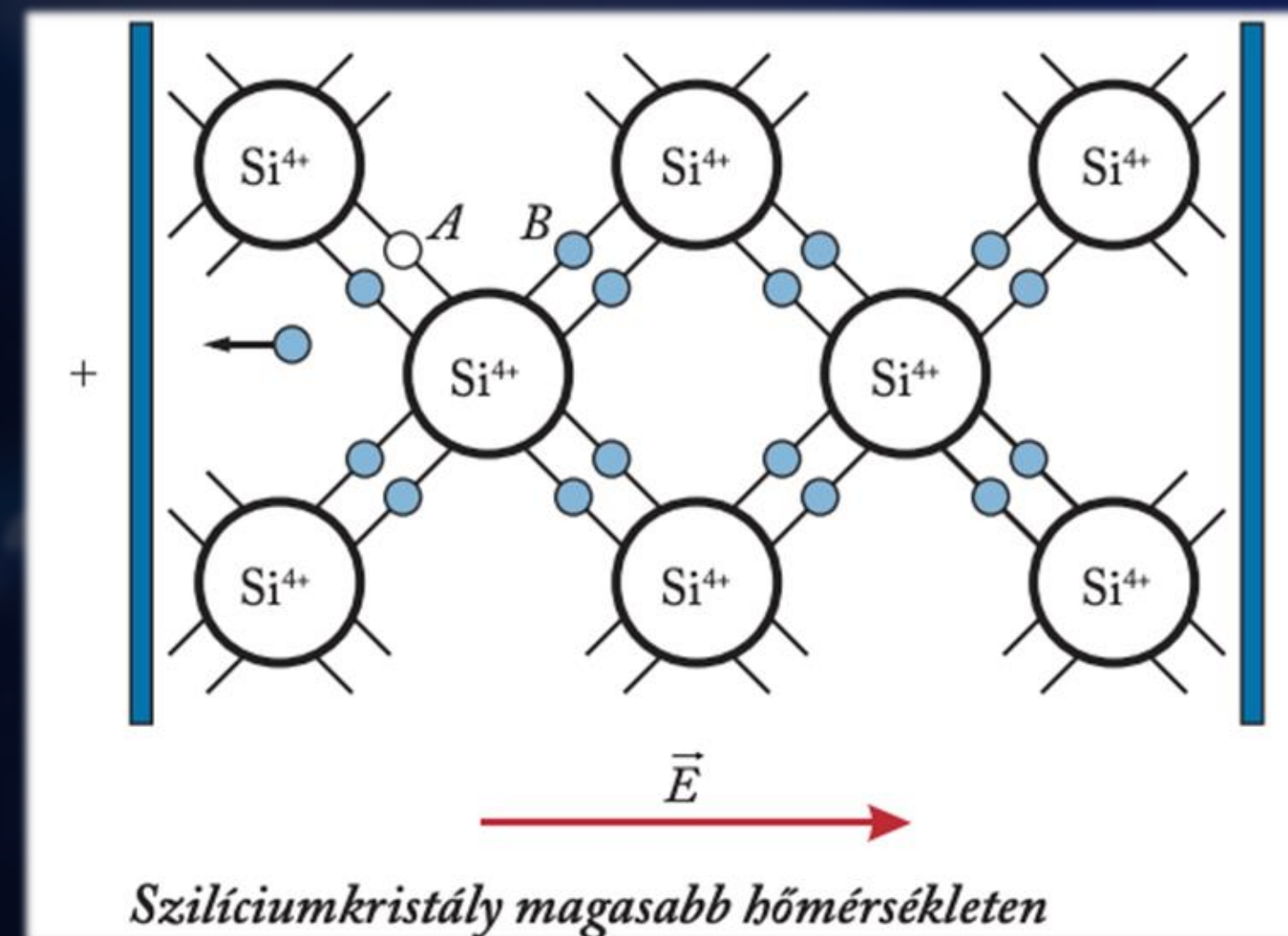


Félvezetők szerkezete – Hőmérséklet növekedésével

- Minden kiszakadt elektron helyén lyuk marad (elektronhiány)
- A lyukba átugorhat egy másik, a szomszédos kötésből kilépő elektron. (Pl. B-ből A-ba)

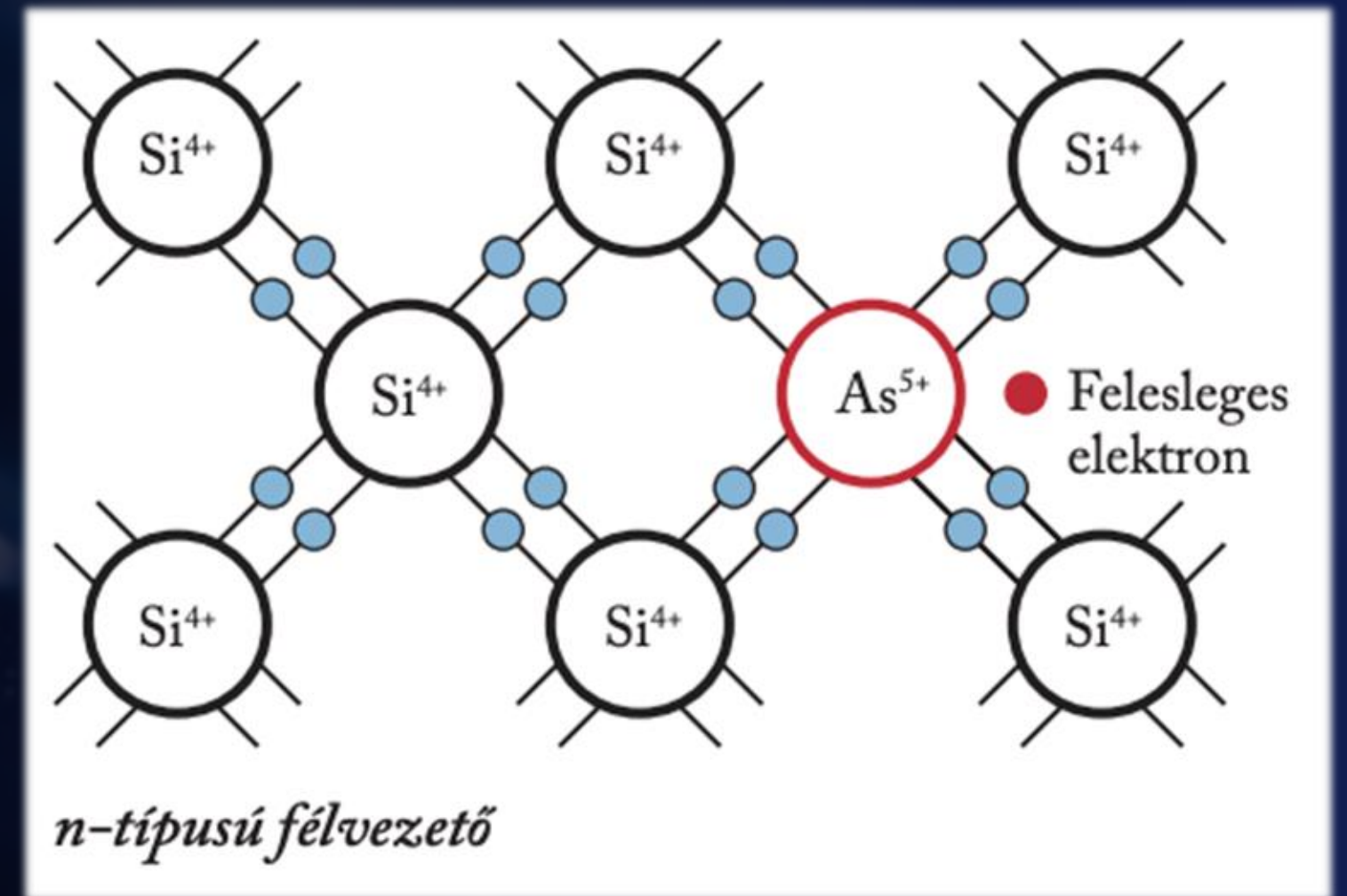
—Ez a **sajátvezetés**

- Lyukak vándorlása → egyzményes áramirány
- Elektronok vándorlása → fizikai áramirány
- A vezetésben részt vevő elektronok és lyukak száma egyenlő



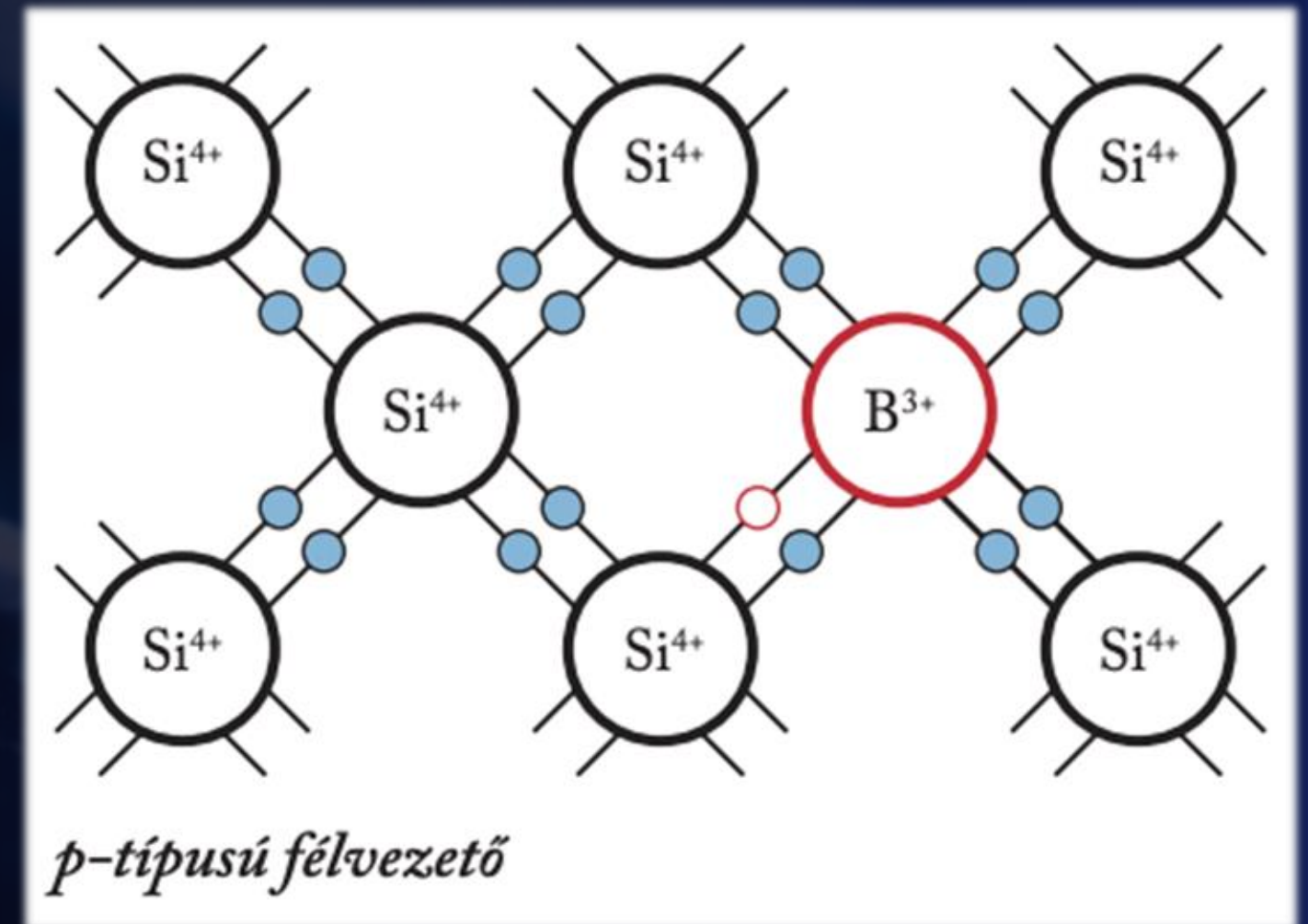
Adalékolt félvezetők – *n*-típusú adalékolás

- Kristályban levő (Si-)atomok egy részét 5 vegyértéke.-s anyaggal „szennyezzük”
 - Pl.: Arzén (As), Foszfor (P)
- 5 e-ból 4 kell a kovalens kötéshez
 - 1 db felesleges elektron
- Elektromos mező hatására vezetési elektronként szolgálnak



Adalékolt félvezetők – *p*-típusú adalékolás

- Kristályban levő (Si-)atomok egy részét 3 vegyértéke.-s anyaggal „szennyezzük”
 - Pl.: Bór (B), Indium (In), alumínium (Al), **gallium (Ga)**
- 3 e helyett 4 kell a kovalens kötéshez
 - Csonka kötés
- Teljessé válhat úgy, hogy a lyukat betölti egy szomszédos vegyértékelektron, aminek helyét másik veszi át



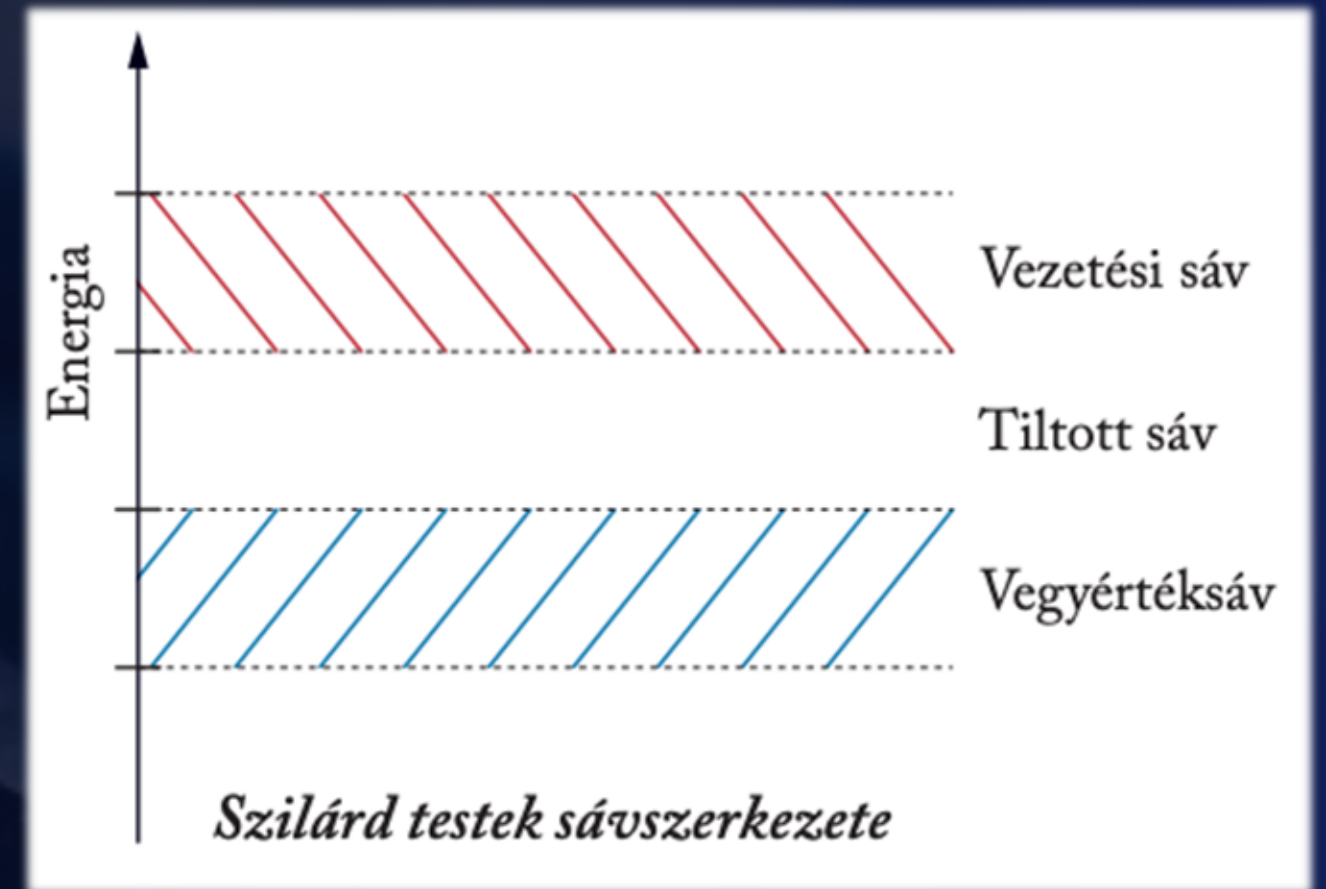
Adalékolt félvezetők

- Gyártásuk nagyon kevés szennyezőanyagot igényel
 - Tranzisztorgyártáshoz 10^{10} Germániumatomhoz jut **egy** atomnyi

(Egy tipikus HD felbontású kép egy modern képernyőn több mint 10^6 pixelt jelent;
 10^{10} pixel 10 000 egymás mellé helyezett HD monitornak felelne meg.)

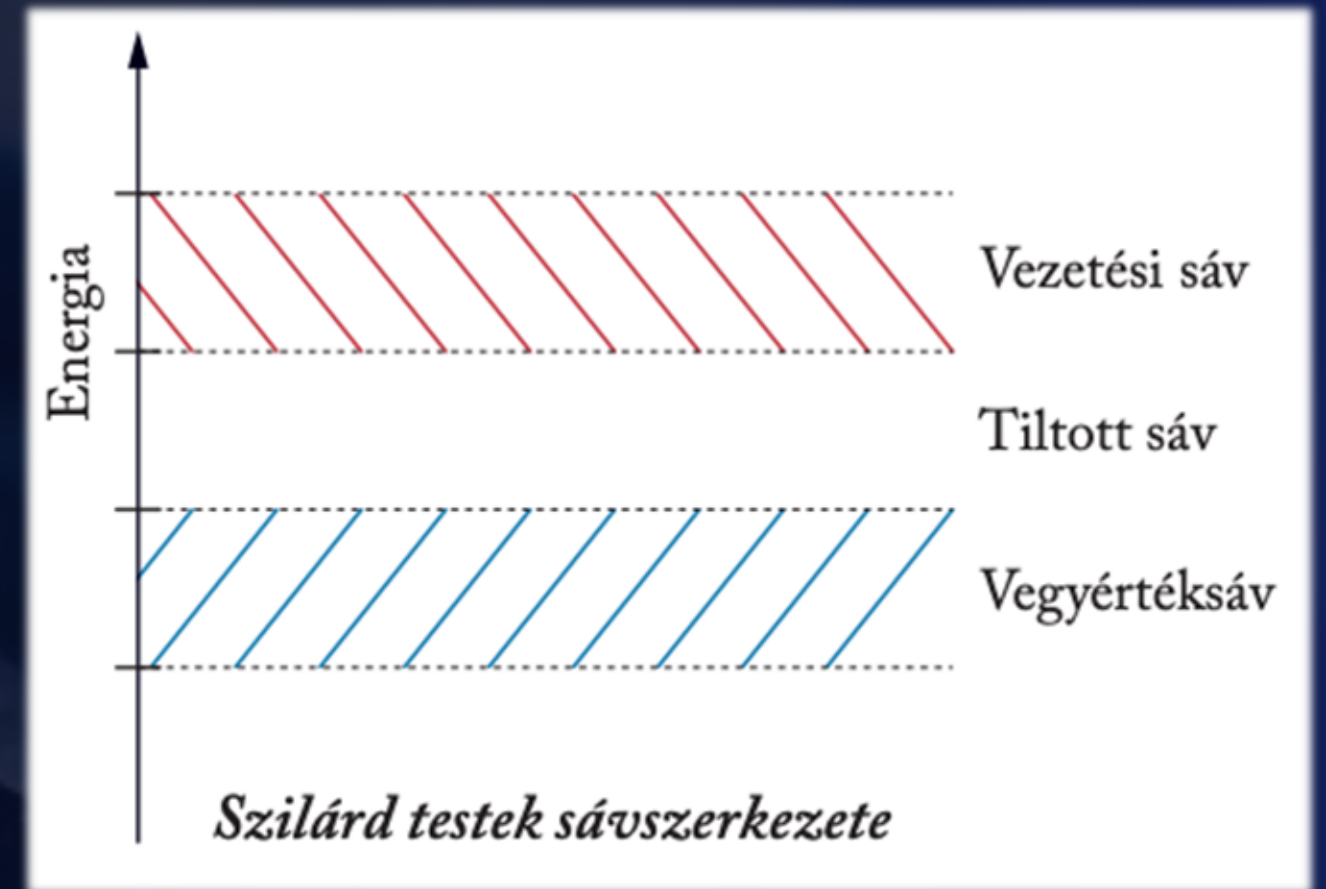
A sávszerkezet

- Szilárd testben az elektronok energiája tartományonként megközelítőleg egyenlő
 - Felírható egy-egy sávban egy energiagrafikonon
 - Vezetési sáv (elektronok, melyek szabadon mozognak)
 - Vegyértéksáv (atomhoz kötött elektronok)
 - Tiltott sáv (két sáv közötti tartomány, itt nincsenek elektronok)
- Szigetelőanyagoknál a tiltott sáv széles, fémeknél keskeny



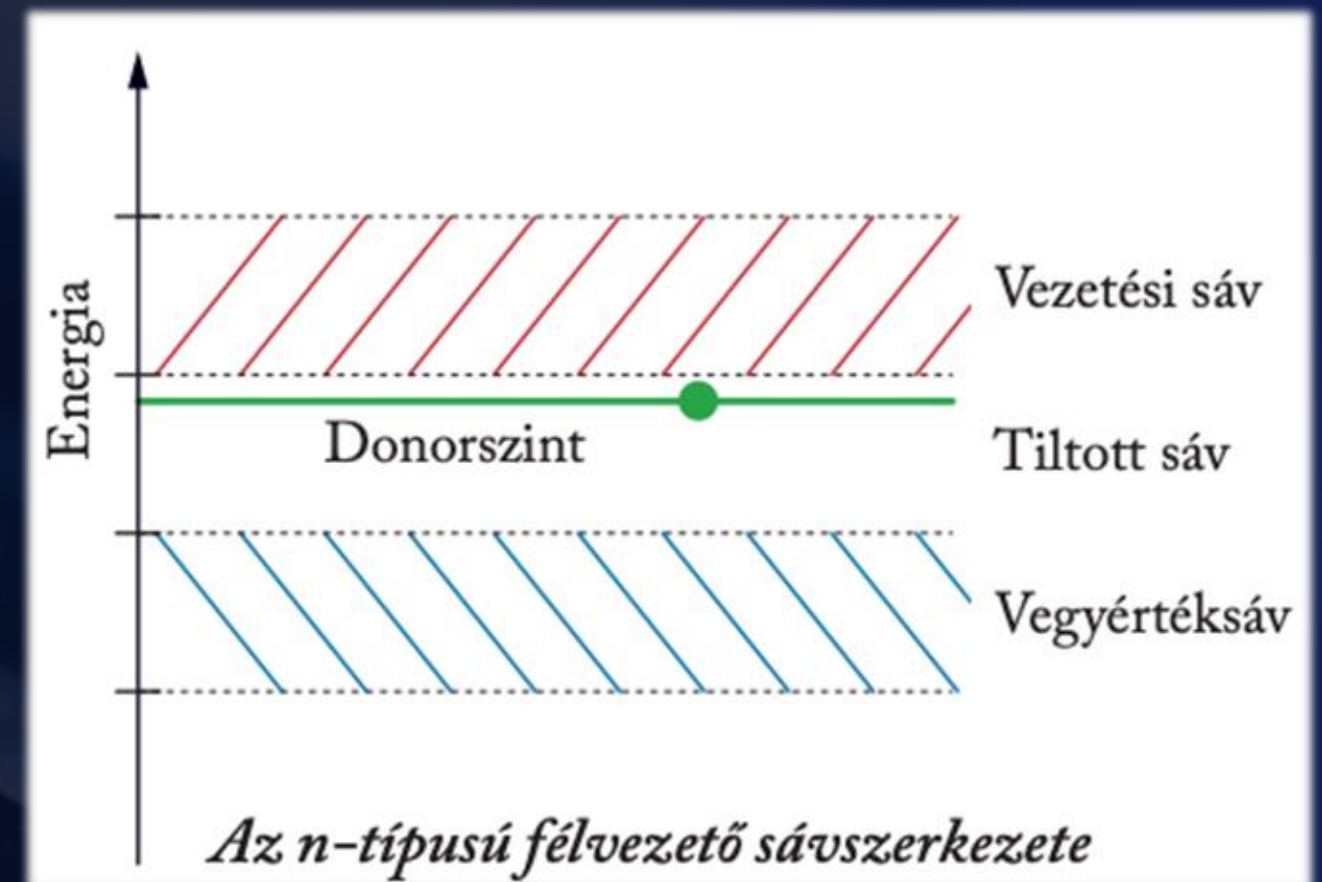
A sávszerkezet – Félvezetők

- Félvezetőknél a tiltott sáv:
 - Keskenyebb, mint a szigetelőknél
 - Szélesebb, mint a fémes vezetőknél
- Sajátvezetés jelensége
 - Képes feljutni néhány elektron a vezetési sávba
 - Hő vagy fény hatására nő az elektronok energiája ➔ Nő a vezetőképesség



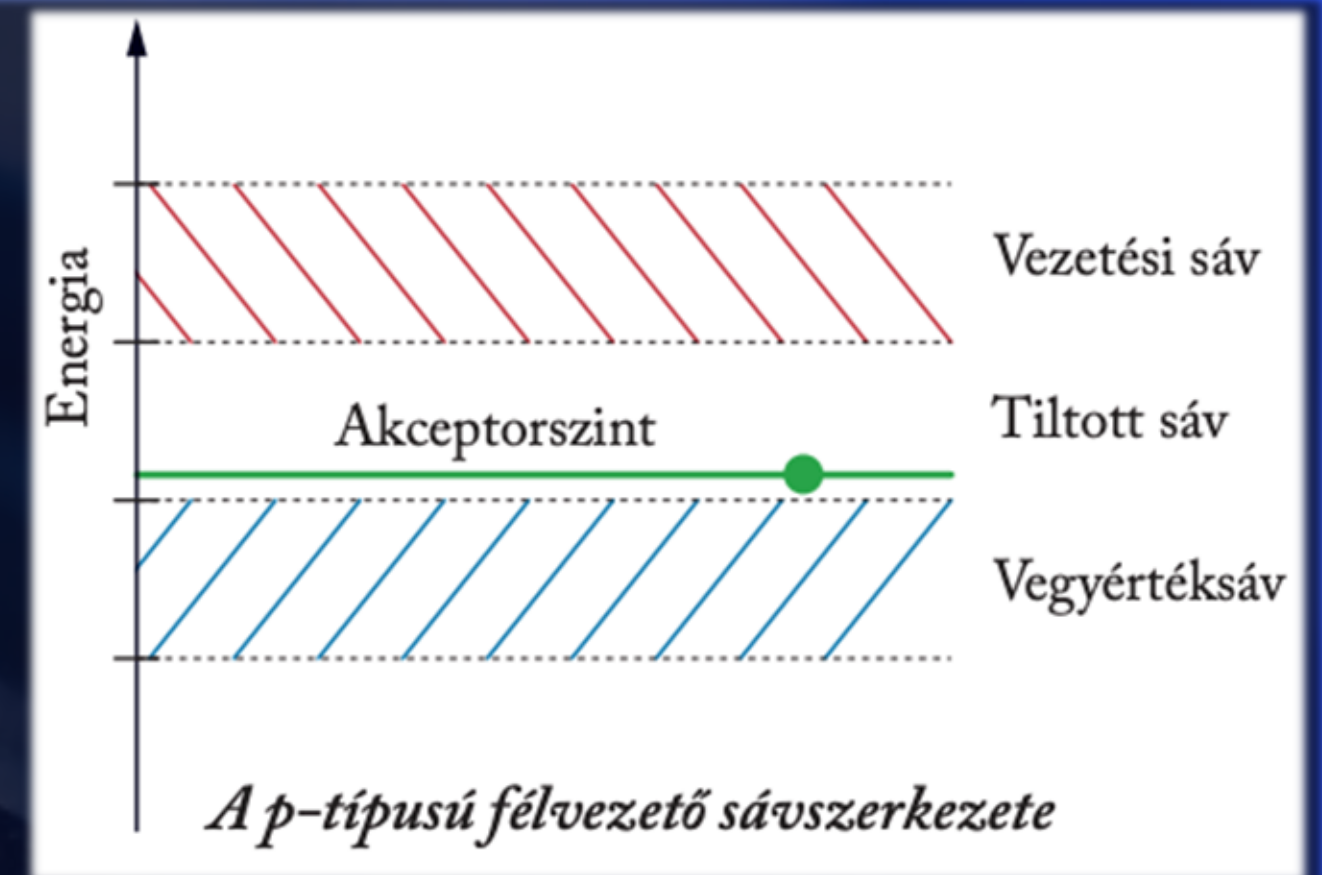
A sávszerkezet – n -típusú félvezetők

- 5 vegyértékelektron → Többletelektronok
 - Könnyen leszakadnak az atomról
 - Ezek a donor(- vagy adományozó) atomok
 - Összevetve, donorszintet hoznak létre
 - Tiltott sávban, a vezetési sáv közelében
 - Donorszintről az elektronok minimális energiával a vezetési sávba jutnak
 - Elektronok áramlása



A sávszerkezet – p -típusú félvezetők

- 3 vegyértékelektron → Elektronhiány
 - A lyukak befogják az alaprács egyes elektronjait
 - Ezek az akceptor(- vagy befogadó) atomok
 - Összevetve, akceptorszintet hoznak létre
 - Tiltott sávban, a vegyértéksáv közelében
 - Vegyértéksávról az elektronok könnyebben az akceptorszintre jutnak
 - Lyukak áramlása



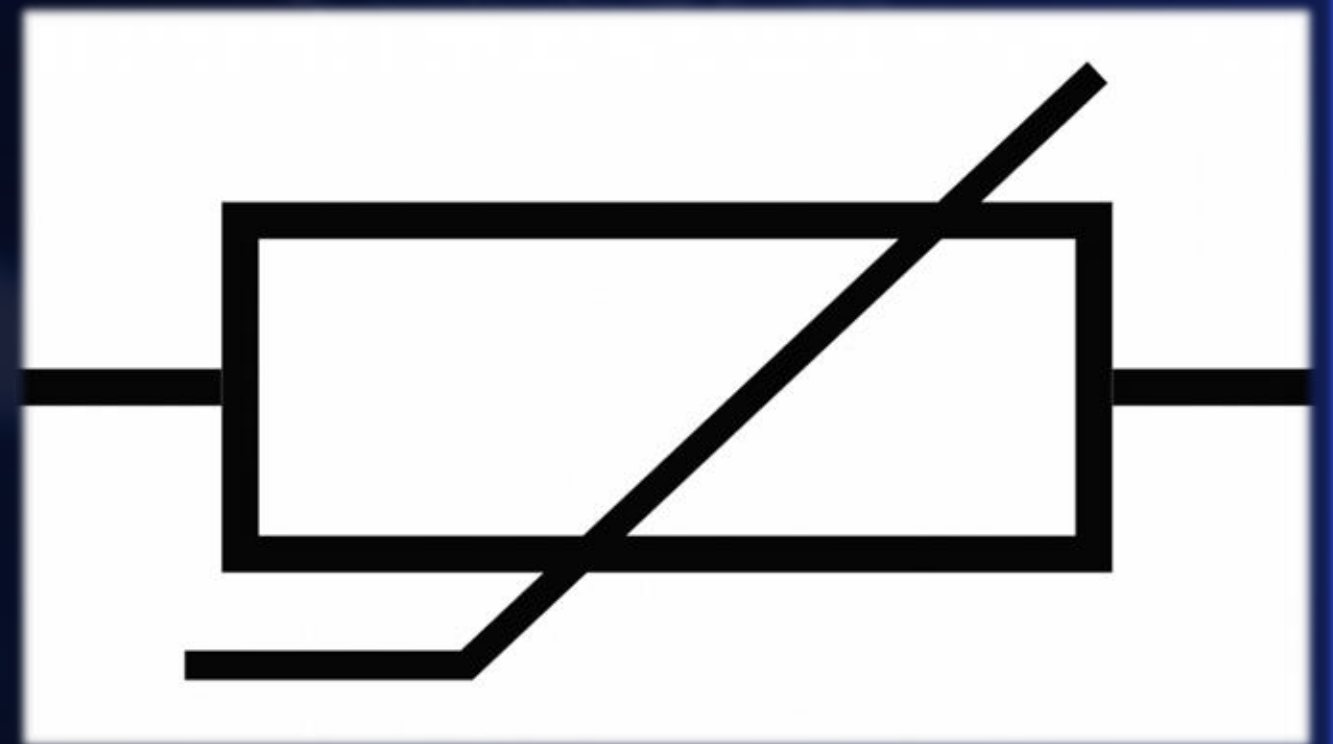
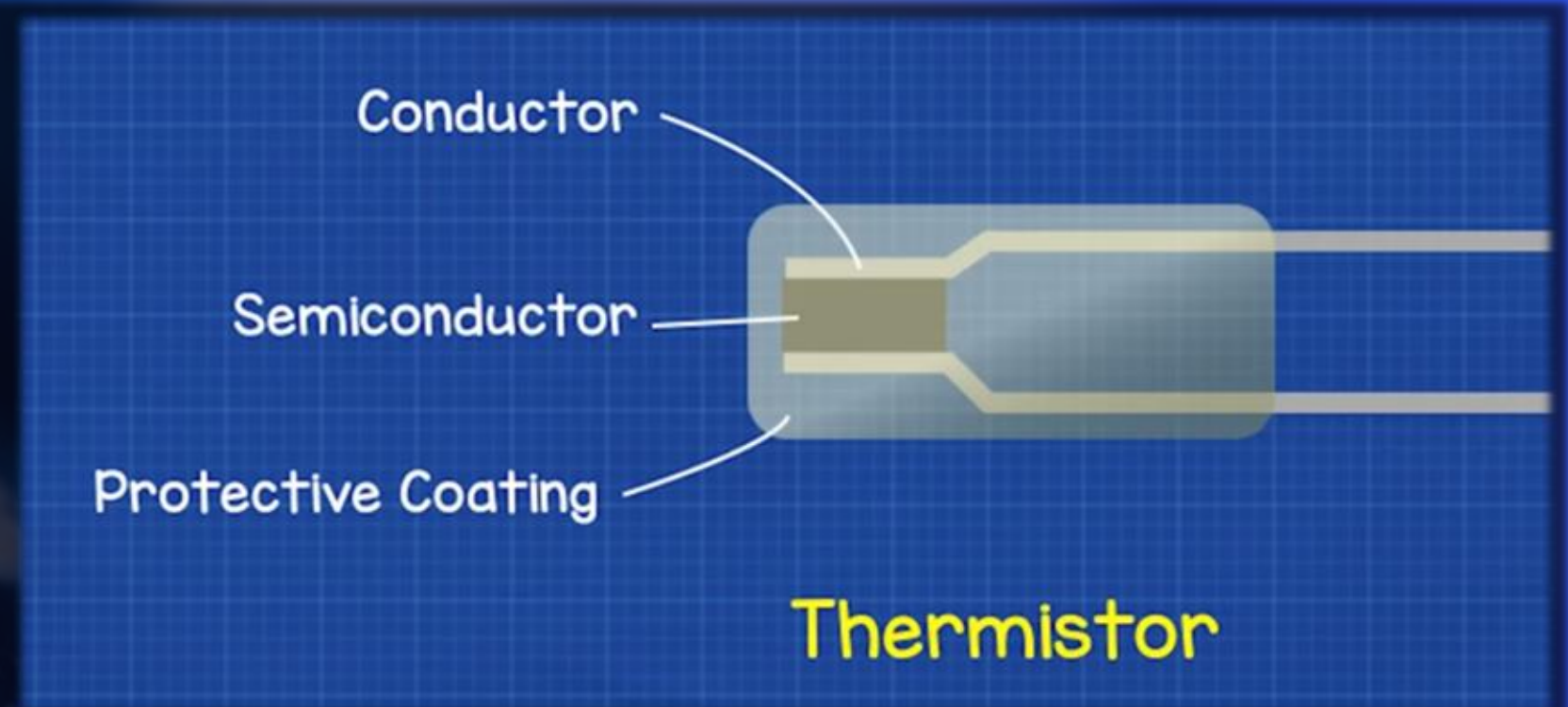
Termisztor (NTC, azaz negative temperature coefficient)

- Félvezető fémre csatlakoztatva
- Hőmérsékletnövekedés esetén a vegyértékelektronok könnyebben a vezetési sávba jutnak



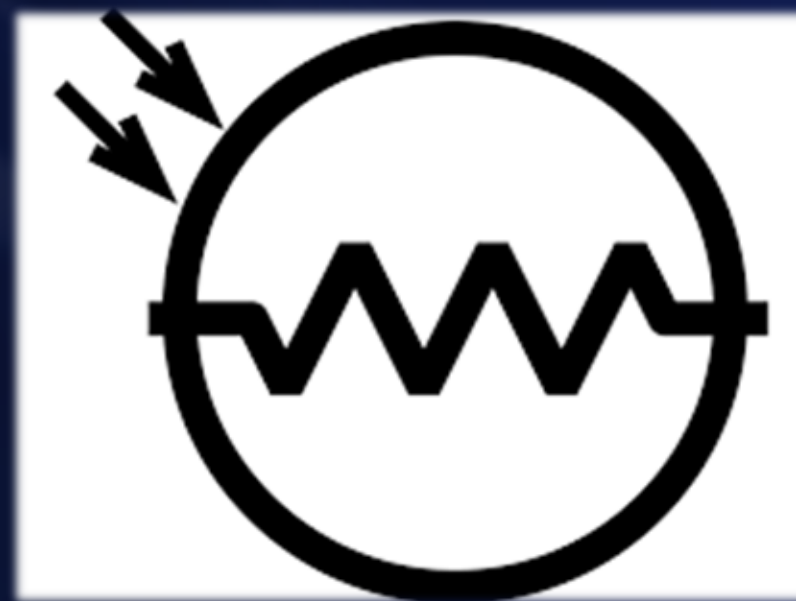
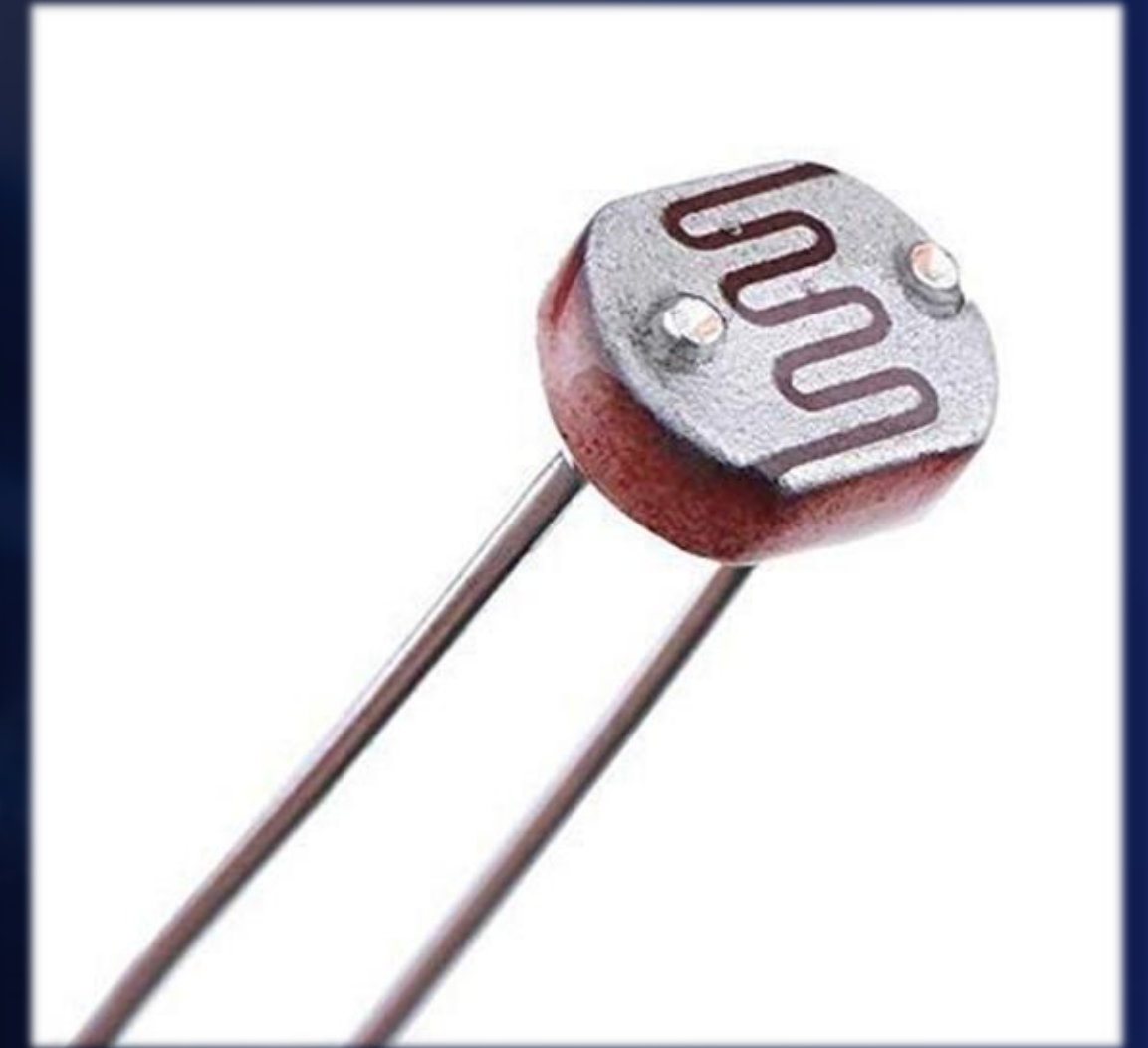
Ellenállás lecsökken

- Hőmérsékletmérésre használják



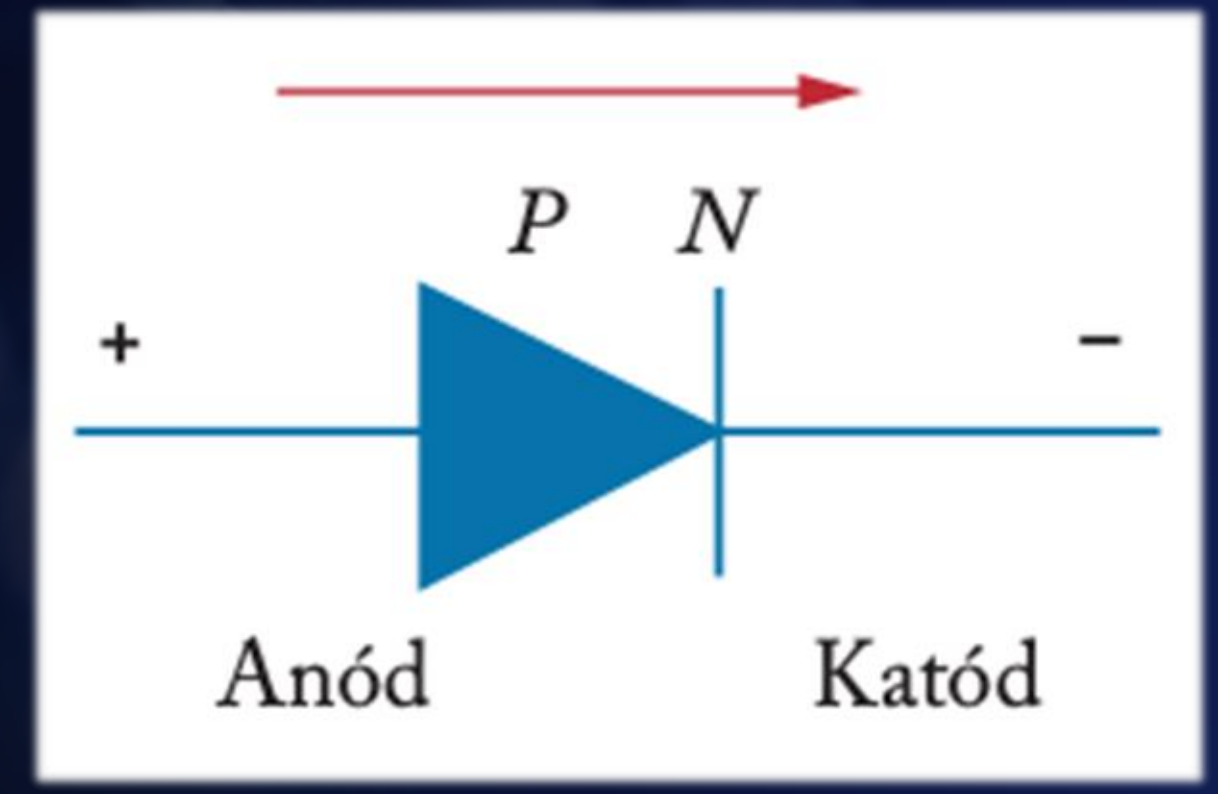
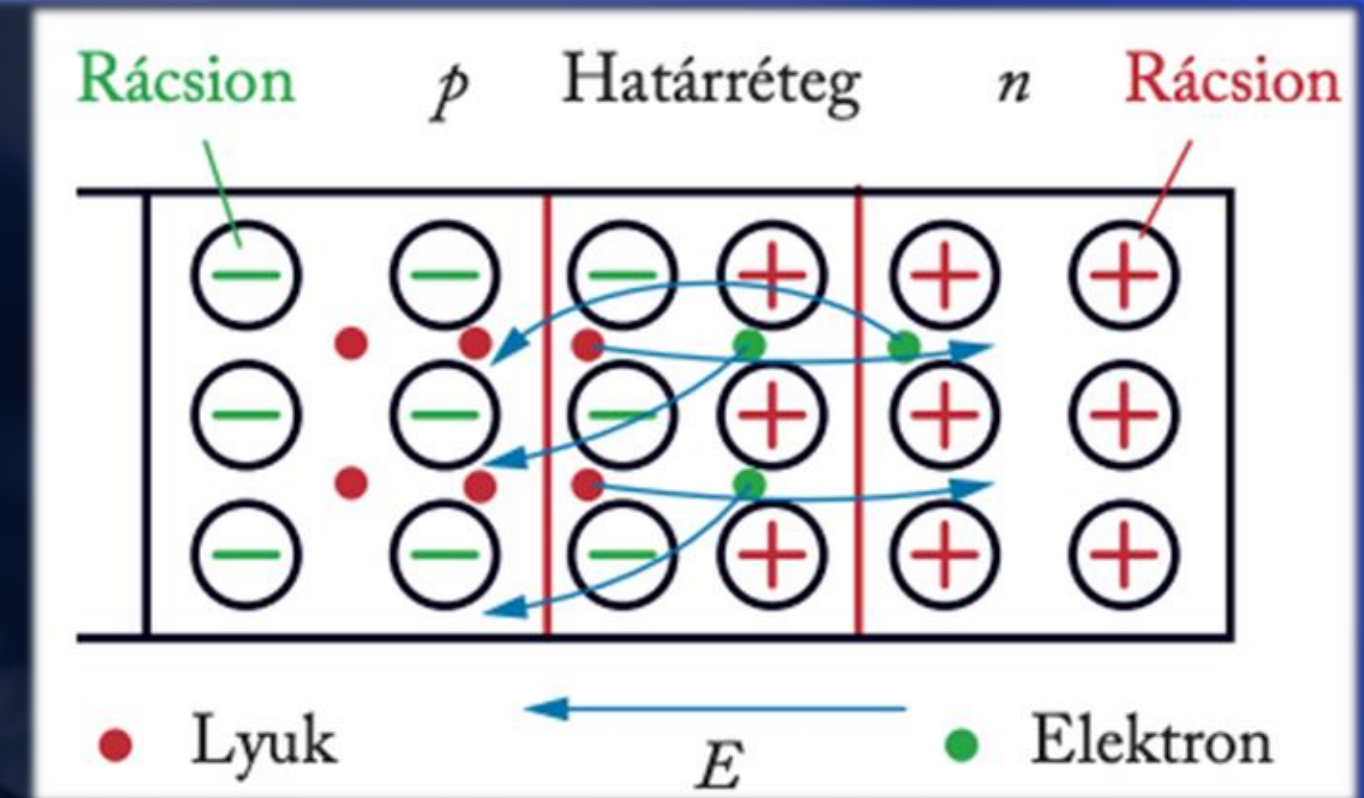
Fotoellenállás

- Hasonló a termisztorhoz
 - Hő helyett fény (fotonok becsapódásával) juttatja az elektronokat a vezetési sávba
 - Így csökken az ellenállás
- Fény erősségének mérésére használják



Félvezető dióda– p - n átmenet

- p és n típusú félvezető anyag találkozása
 - Félvezetőkristály egyik részét p típusúan adalékolják, másikat n típusúan
 - Elektronok és lyukak diffundálnak a másik rétegbe, majd rekombinálódnak
 - Határréteg keletkezik
 - Kevés töltéshordozó → Magas ellenállás
 - Nem nagyobb néhány mikronnál (potenciálgát)
 - Áram irányának biztosítására használják



Félvezető dióda kapcsolásai – Nyitó irány

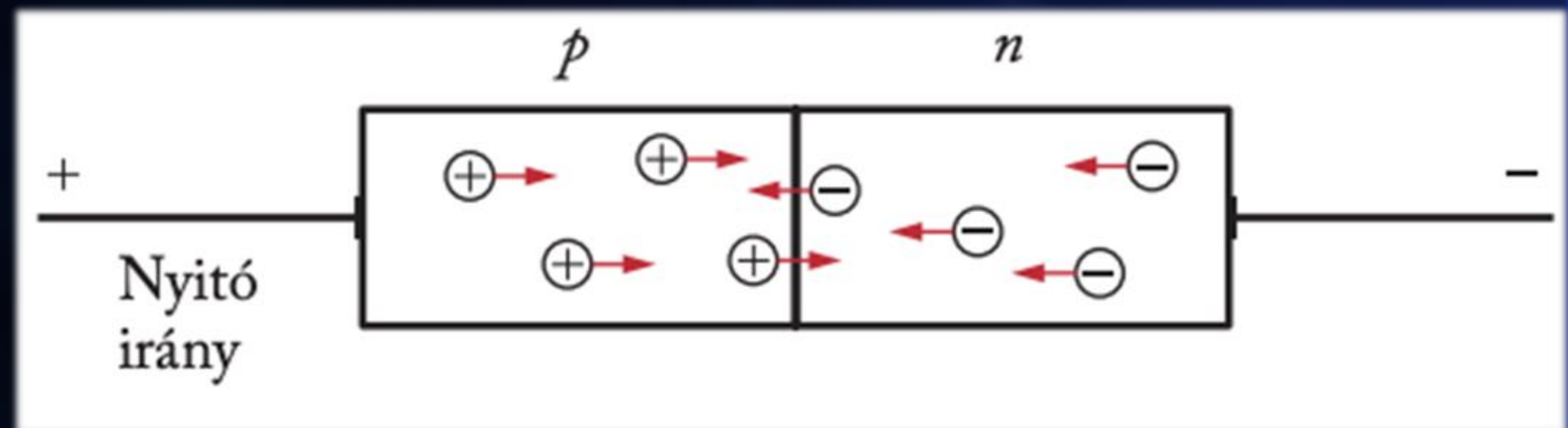
- Ha a dióda ***n*** részéhez képest $+0,5 - +0,7$ V feszültséget (nyitófeszültség) kapcsolunk a ***p*** részhez képest

–Az elektromos mező feltölti a határréteget töltéshordozókkal



A határrétegből szigetelő helyett vezető lesz

–Vezetővé válik



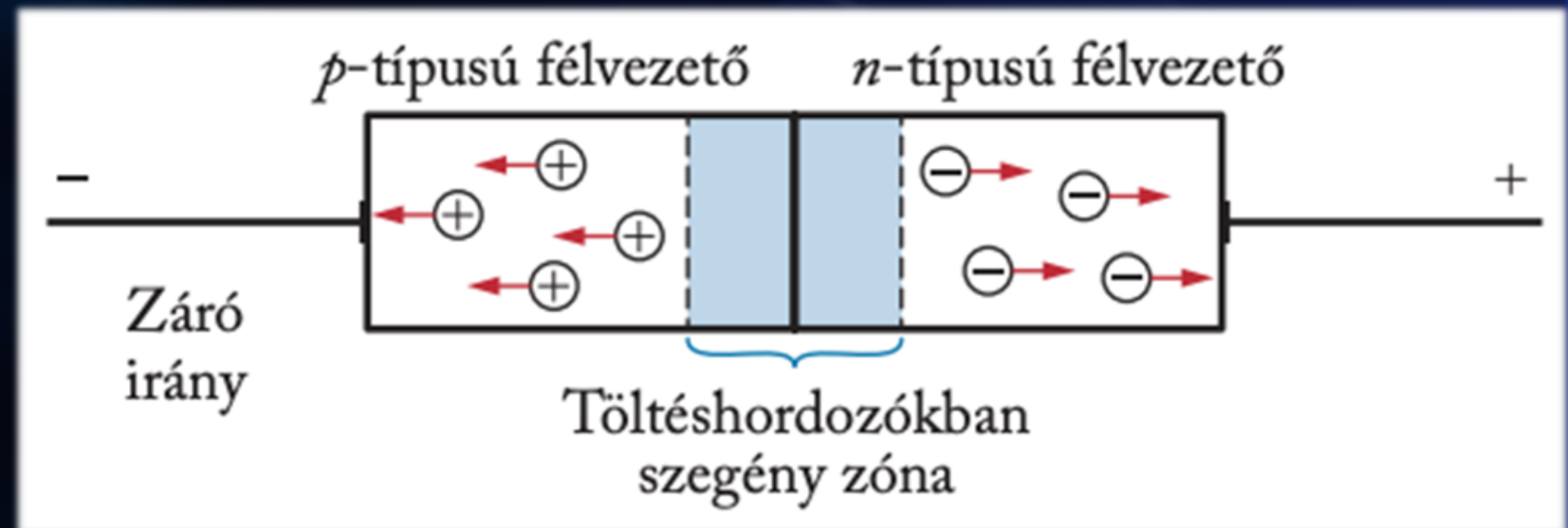
Félvezető dióda kapcsolásai – Záró irány

- Ha megfordítjuk a diódát, vagy fordítva kötjük be
 - Az elektromos mező eltávolítja a mozgásképes töltéseket a határrétegből

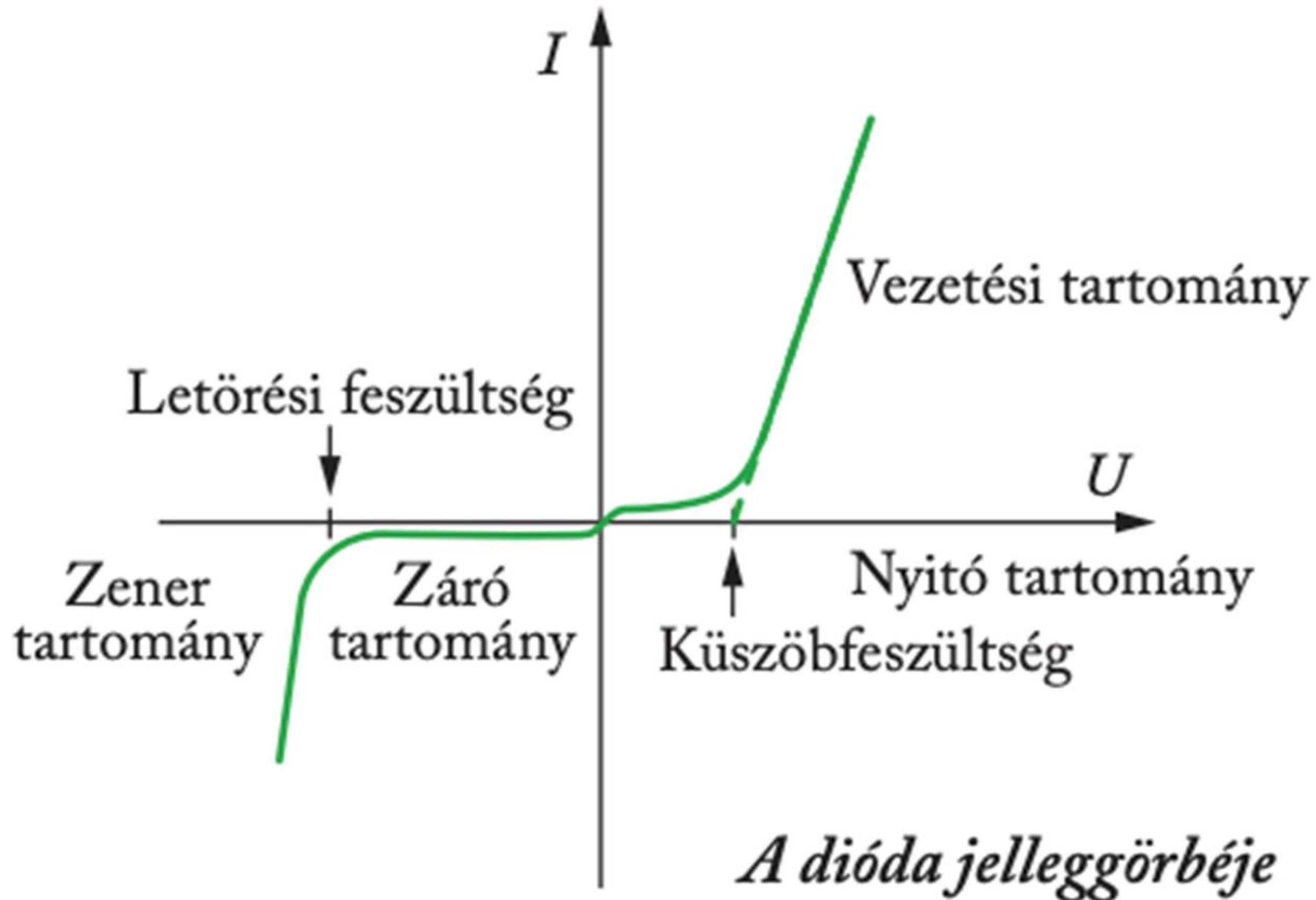


Kiszélesedik a határréteg

– A dióda szigetelővé válik

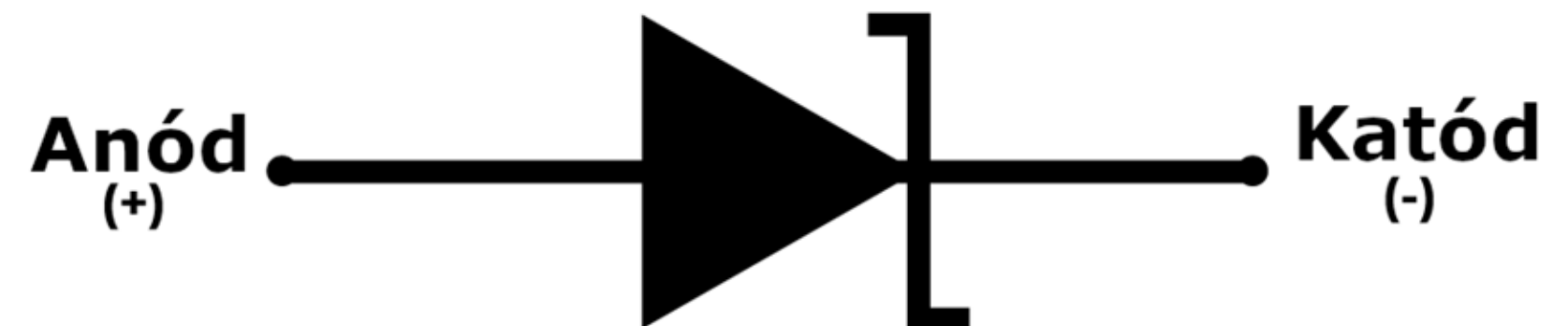
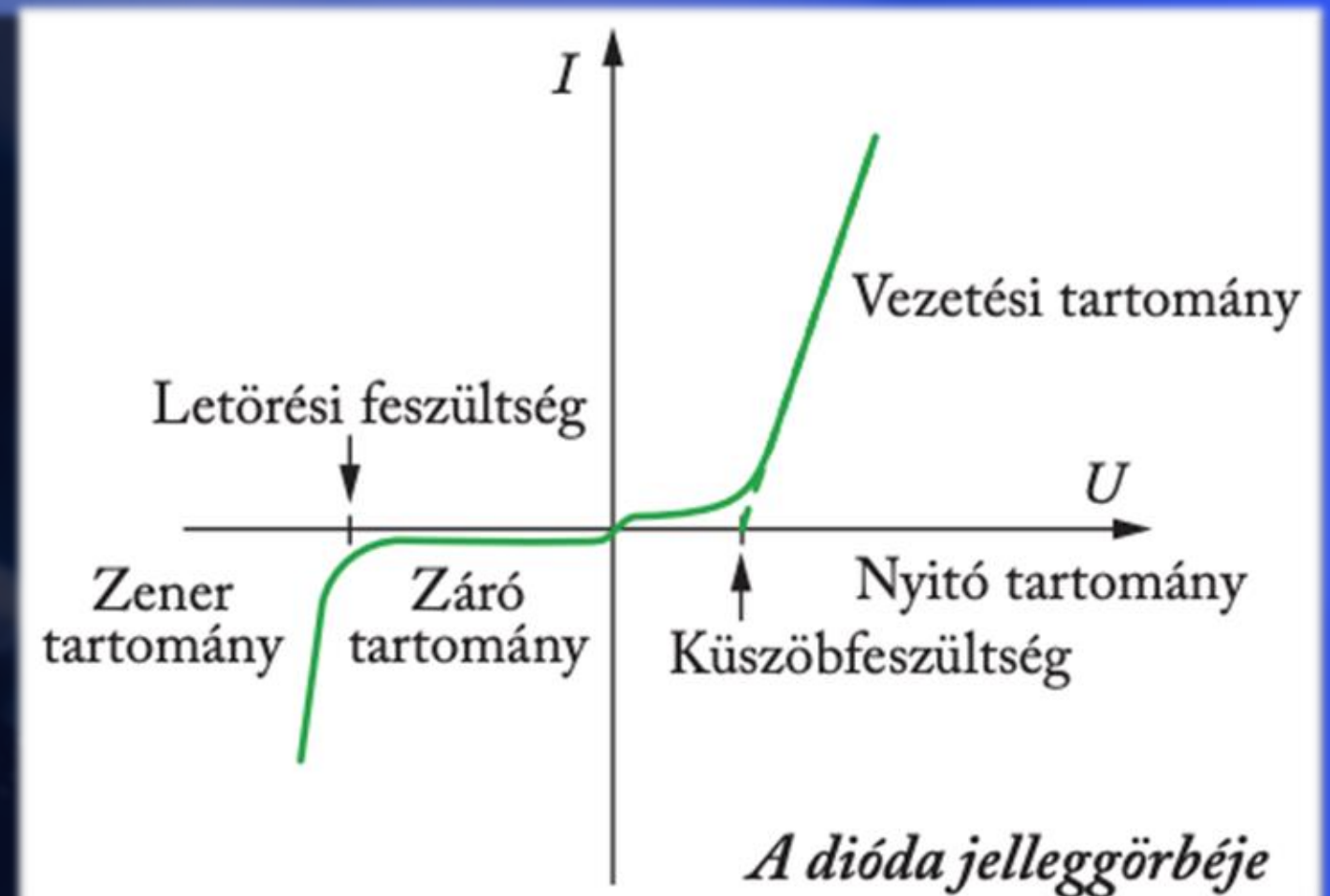


Félvezető dióda karakterisztikája



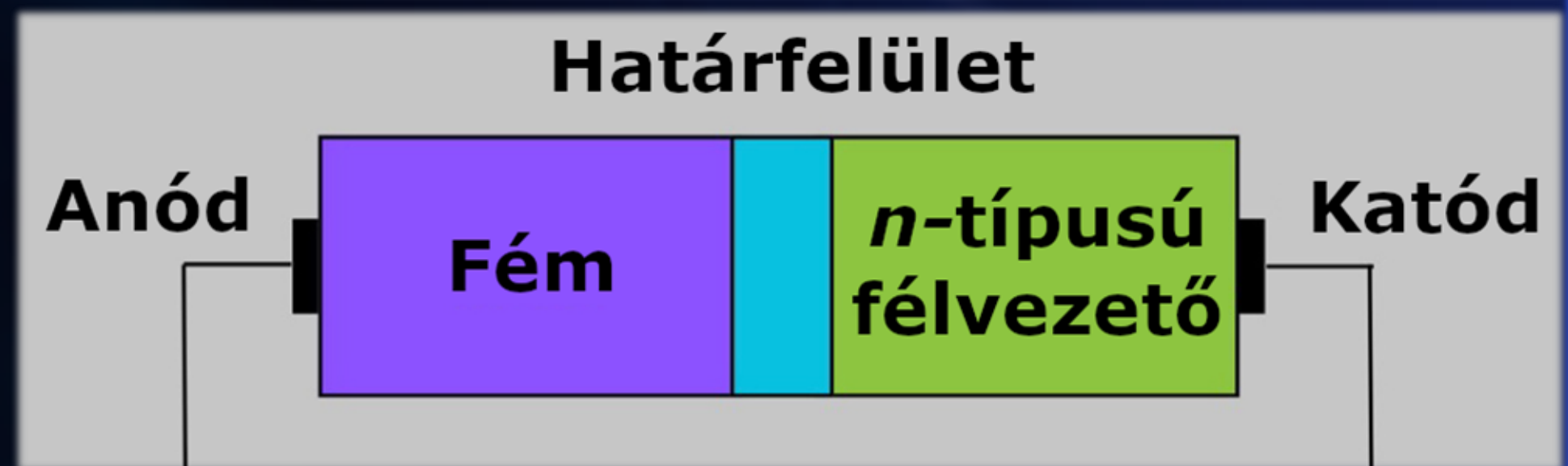
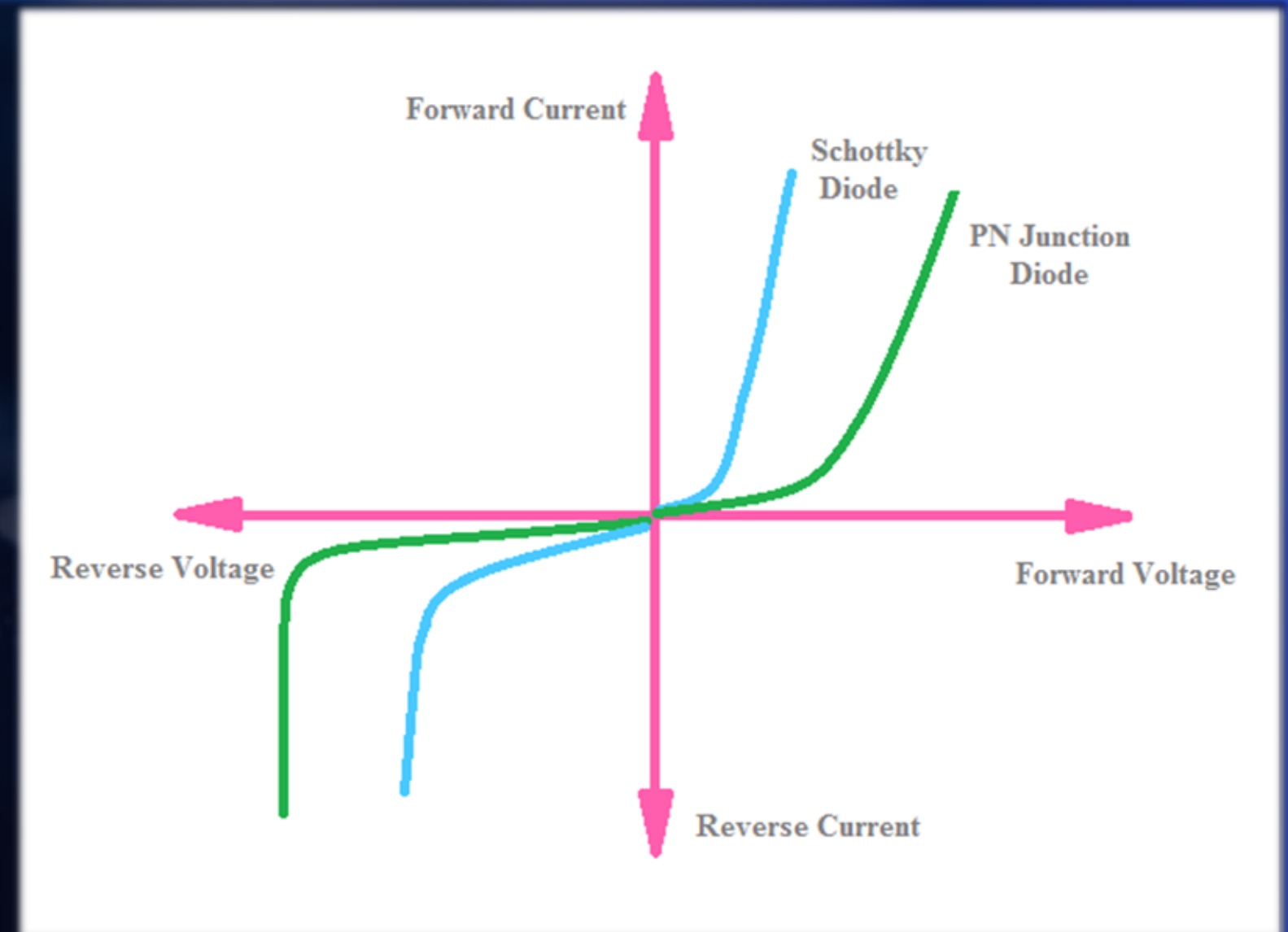
Félvezető diódák – Zener dióda

- Zener diódák normál diódához hasonló módú bekötése esetén
 - Vezetési tartomány
- Zener diódák fordított bekötése
 - Zener tartomány
 - Lekorlátozza a feszültséget a letörési feszültségig (breakdown voltage)



Félvezető diódák – Schottky dióda

- Walter Schottky-tól kapta a nevét (Schottky effektus)
- Alacsonyabb nyitófeszültség
 - *p-n* dióda: 600-700mV
 - Schottky dióda: **150-450mV**
- Gyors helyreállítási idő
- Magas frekvencián is alkalmazható

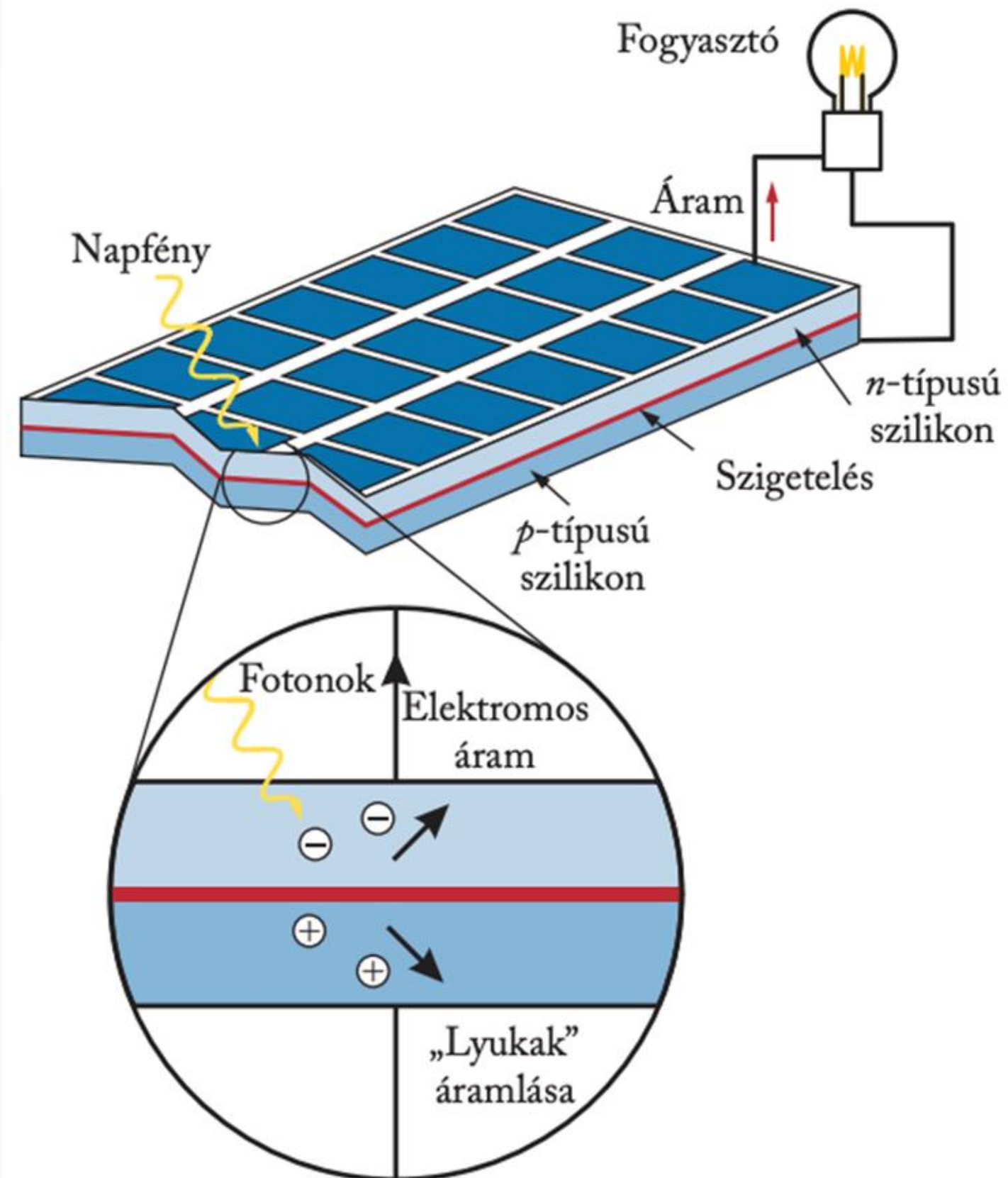


Félvezető diódák – Fotodióda

- Fény hatására elektron-lyuk párok keletkeznek (belső fotoeffektus)
- Feszültség hatására áram keletkezik
 - Mértéke arányos a fotonok mennyiségével
- Alkalmazzák:
 - Fényképezőgépekben
 - Napelemekben
 - Optocsatolóknak (galvanikus leválasztás)

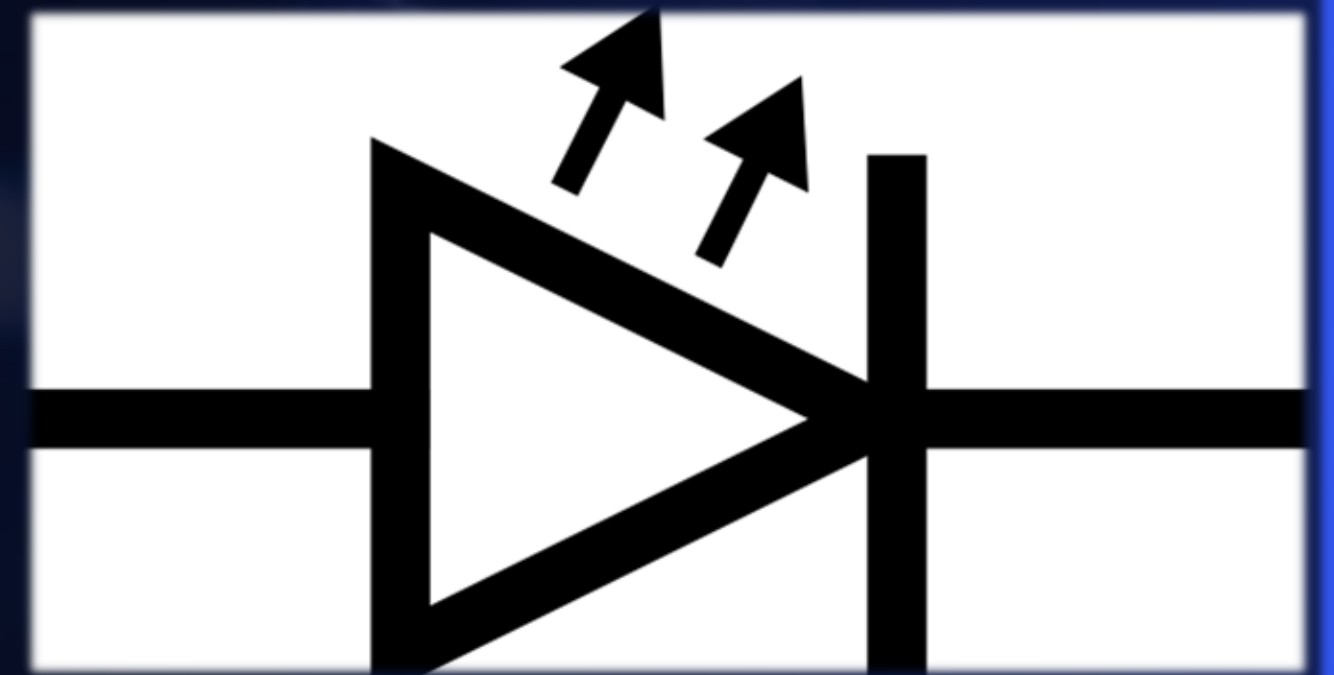
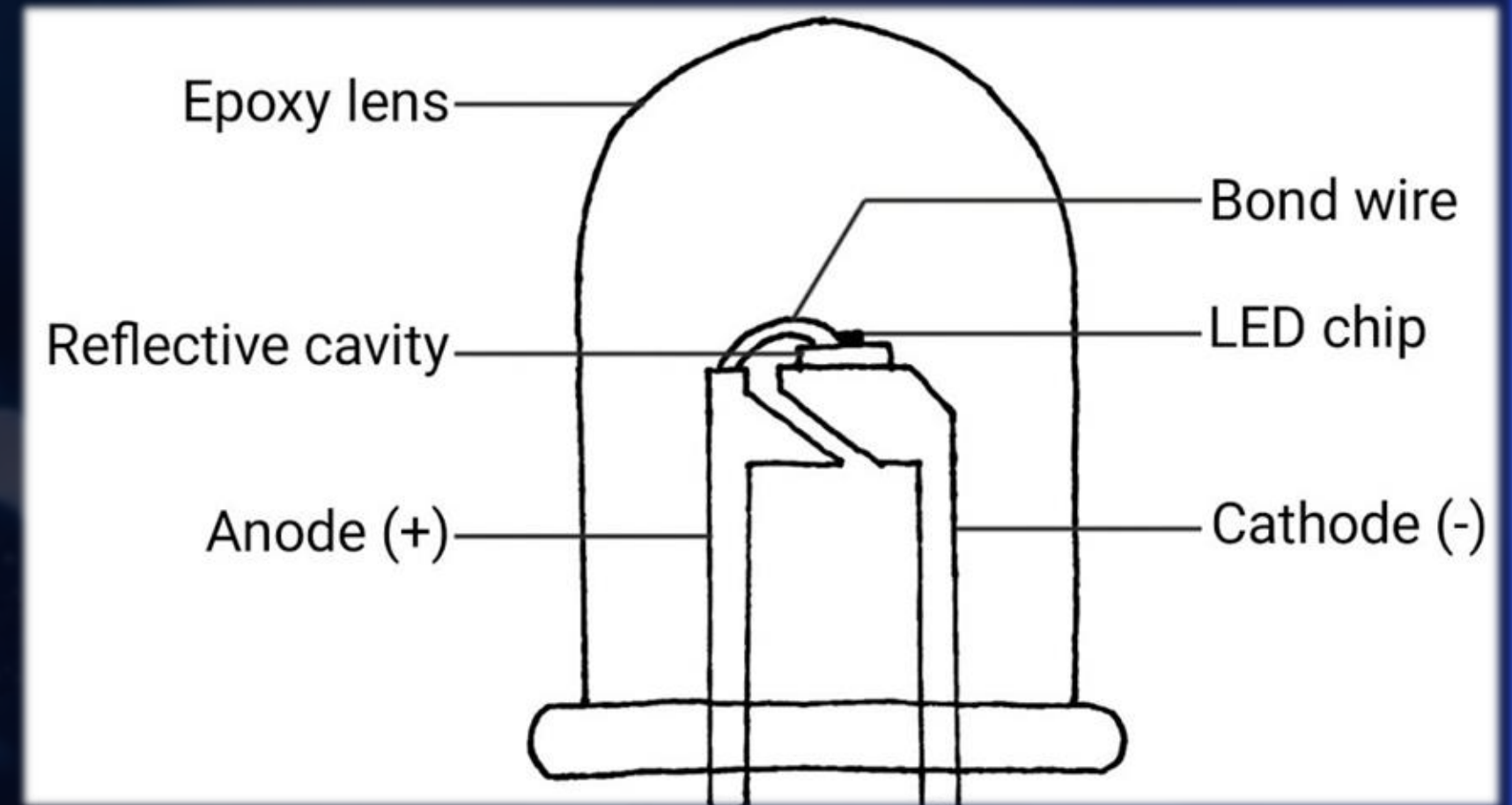


Félvezető diódák – Fotodiódák Napelemekben



Félvezető diódák – LED (Light Emitting Diode)

- Fénykibocsátó diódák
- Nyitóirányban a töltéshordozók a határrétegben rekombinálódnak
 - Energia szabadul fel, fotonok formájában
- Kis áramerősséget és alacsony feszültséget igényel
 - Nagyon hatékony
 - Az áram legalább 50%-át fénné alakítja
(Ez 5x több a hagyományos izzónál)



Félvezető diódák – LED (Light Emitting Diode)

- Elektronok energiája a tiltott sáv szélességével egyenlő, vagy nagyobb

- Tiltott sáv energiájából hullámhossz

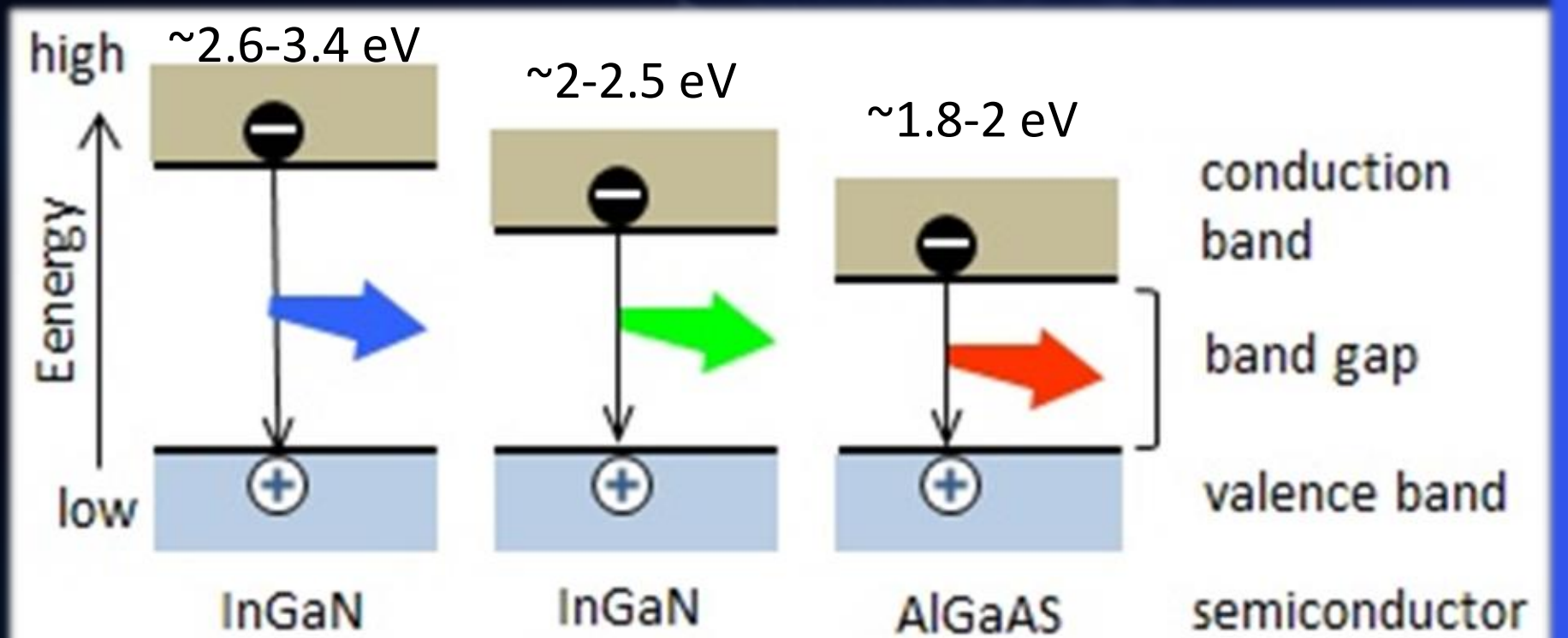
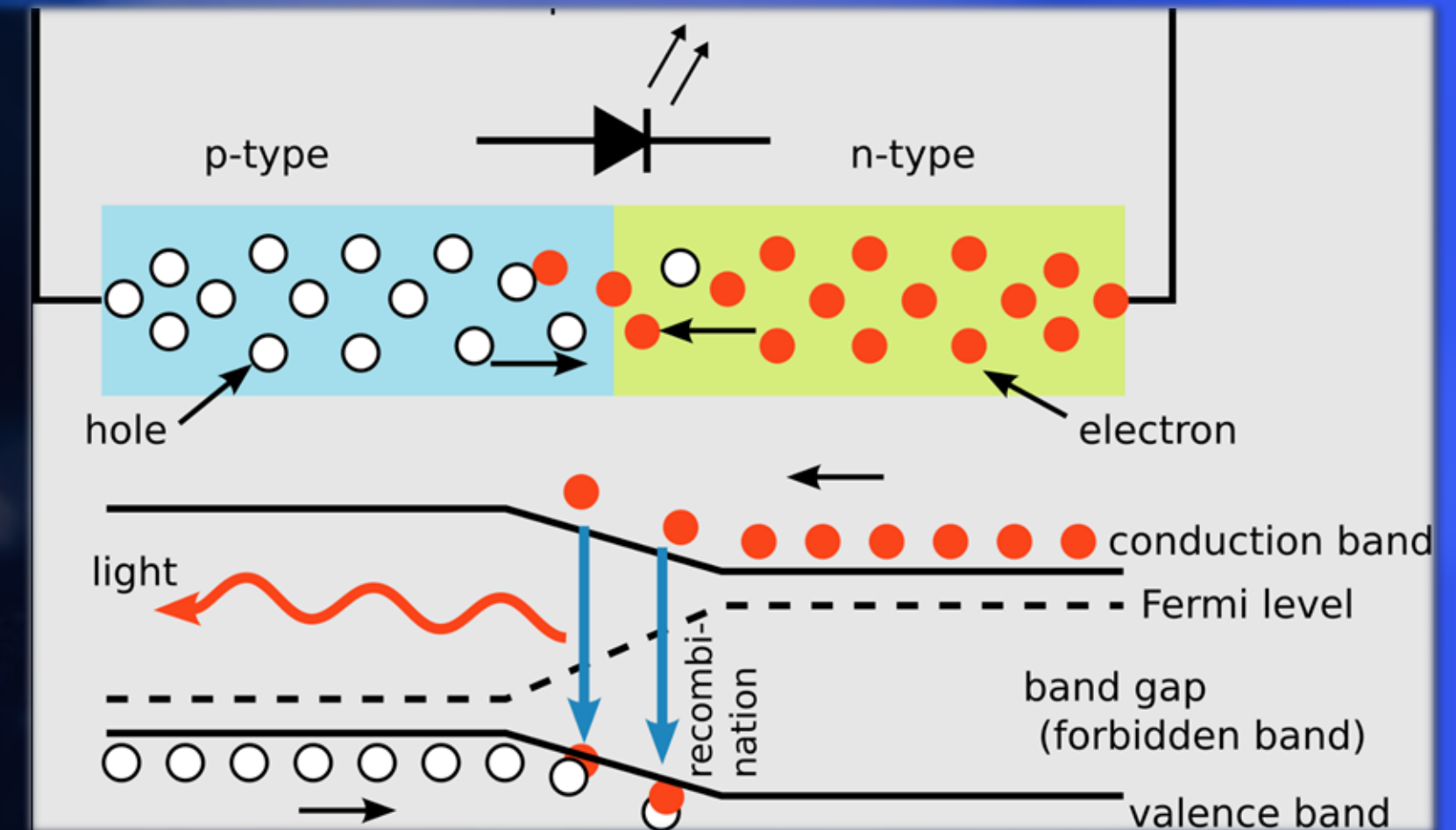
– Foton energiája: $E = \frac{hc}{\lambda}$

– Ebből a hullámhossz: $\lambda = \frac{hc}{E_g}$

- (ahol az E_g a tiltott sáv energiája)

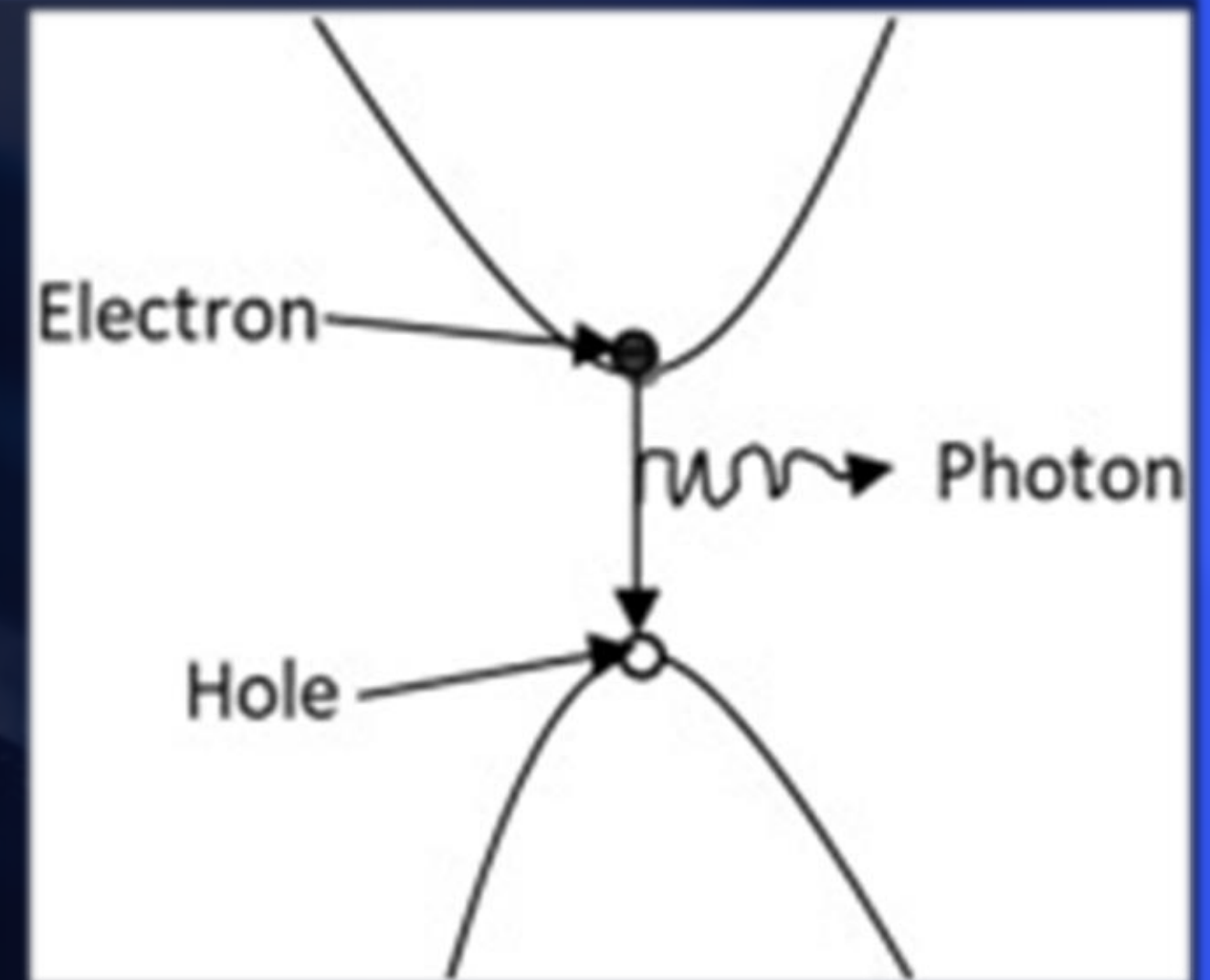
- Kék LED-nek tiltott sávja a legszélesebb

- Sokáig lehetetlennek tartották gyártását



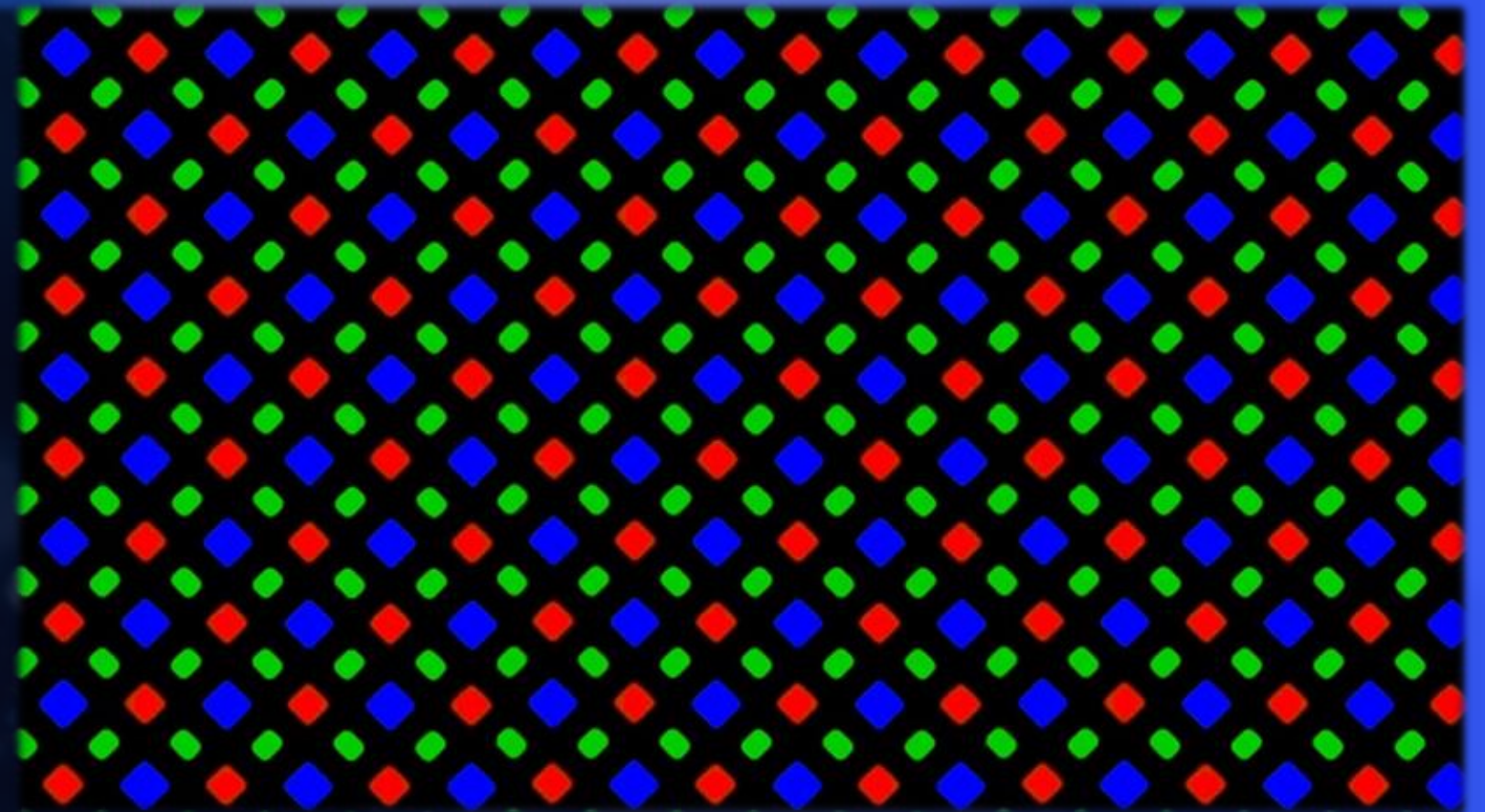
Félvezető diódák – Lézerdióda

- LED-hez hasonlóan két vagy több komponensű félvezetők
 - Pl.: gallium-arzenid (Ga-As)
- Vegyértéksáv és a vezetősáv csak nagyon szűk tartományban keskeny
 - Foton energiája megközelítőleg egyenlő
 - Egyenlő hullámhossz (monokromatikus fénysugár)

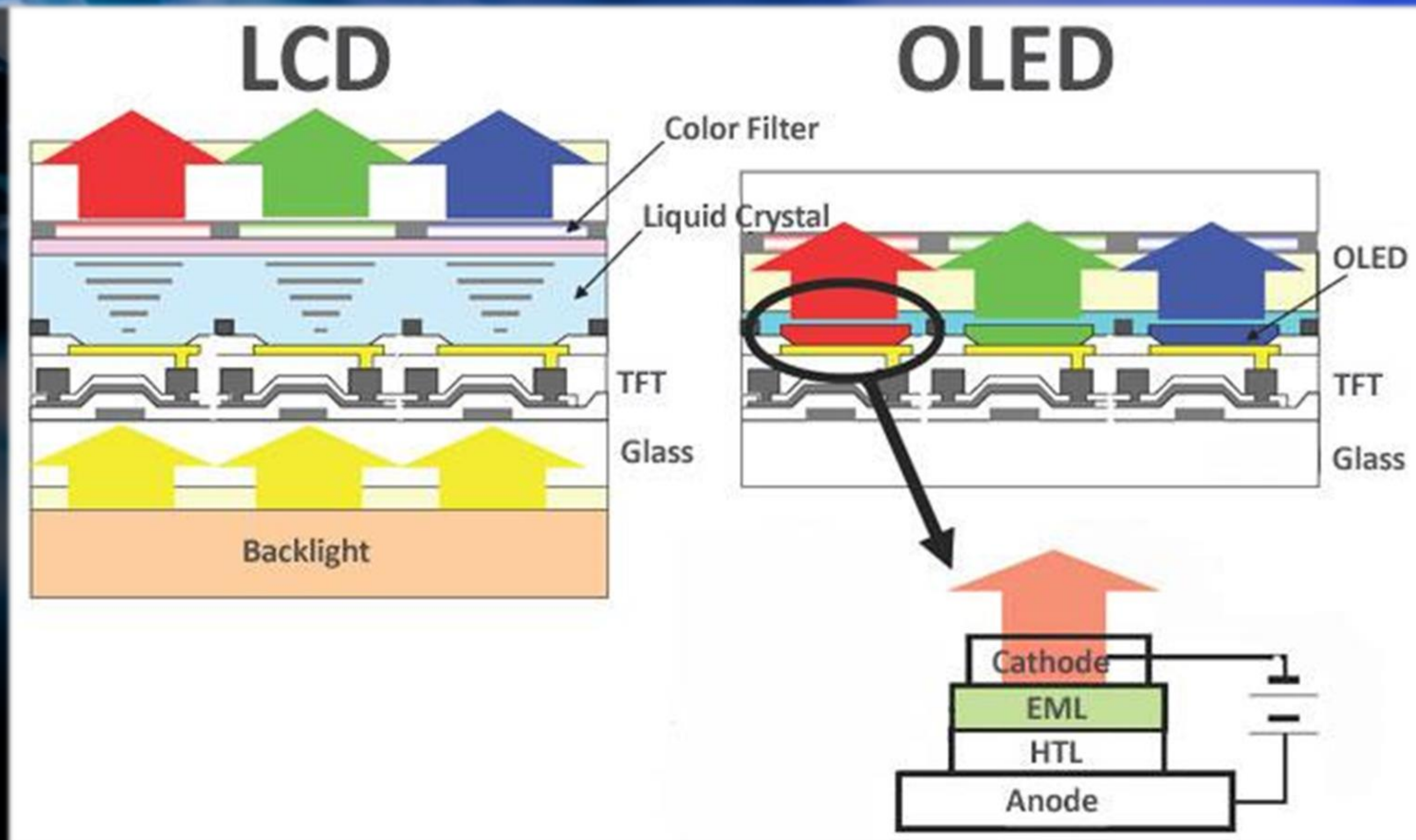


Félvezető diódák – LED kijelző

- Sok, parányi LED
 - Akár 5 mikrométer átmérőjű (MiniLED)
 - Mátrixos, vagy TFT-s vezérlés
- Jobb kontraszt az LCD-kkel szemben
 - Külön LED minden képpontnak
 - Fénypolarizációval nem lehetséges „tényleges” fekete kép



Félvezető diódák – OLED kijelző



Többrétegű félvezetők – Bipoláris tranzisztor

- Három adalékolt félvezető réteg

–***n-p-n***

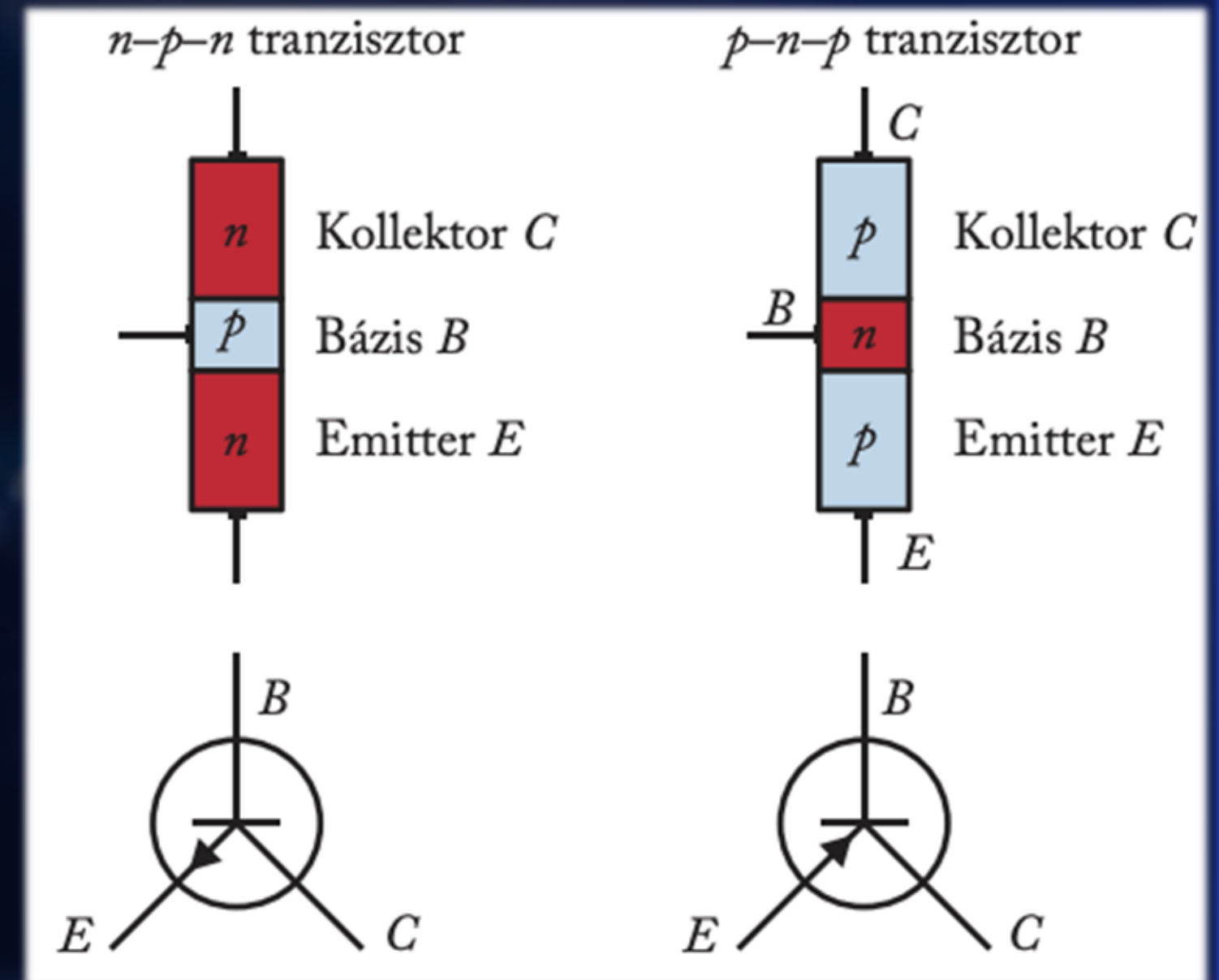
–***p-n-p***

- Emitter (E), Bázis (B), Kollektor (C)

- Bázis vékonyabb, mint a másik két réteg

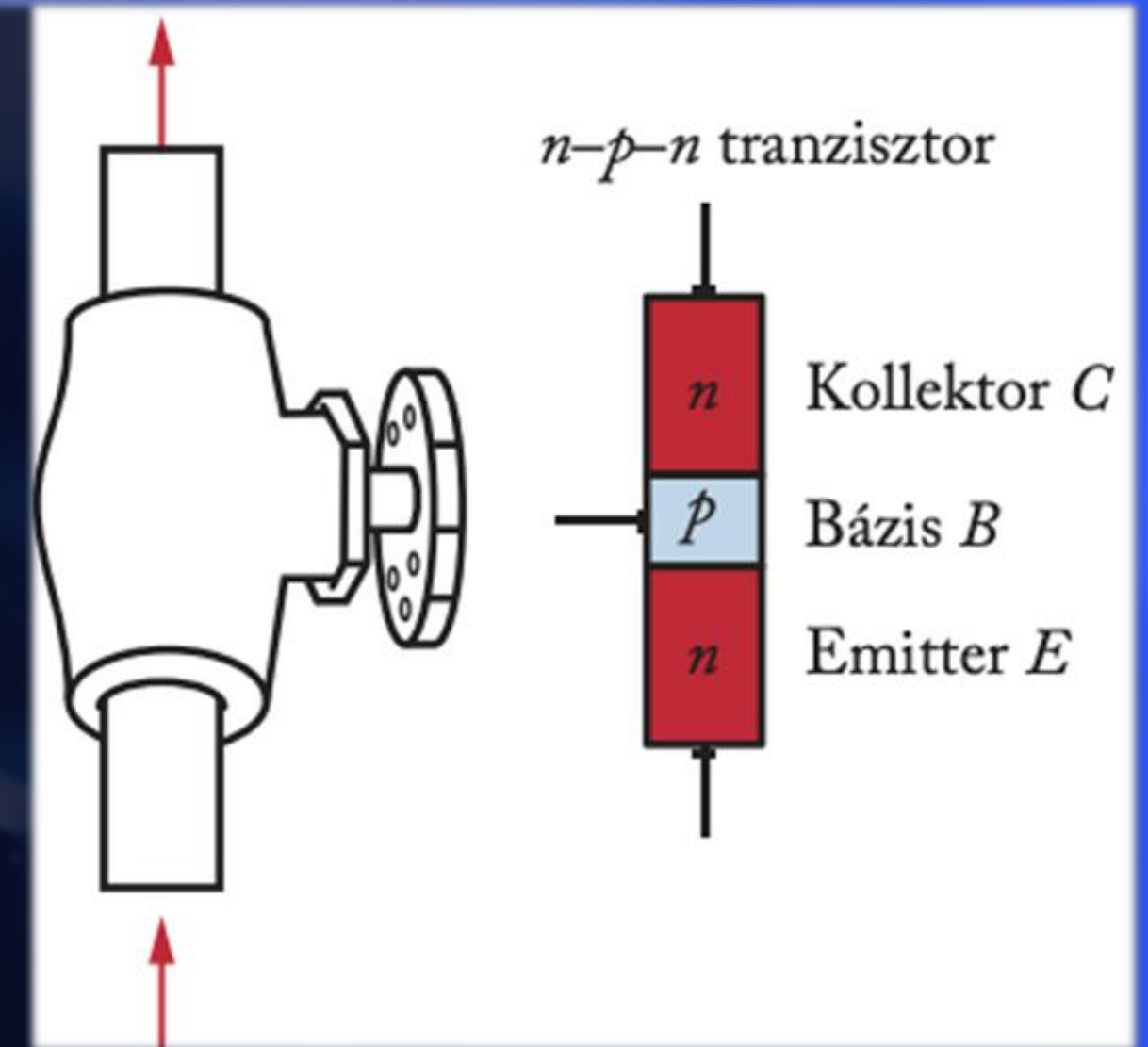
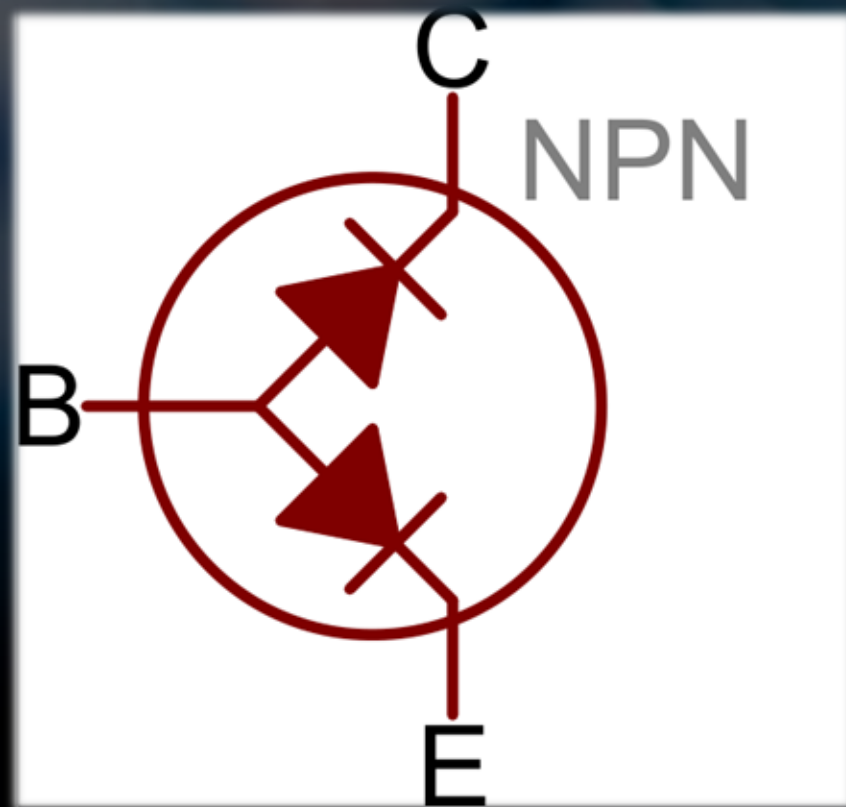
- Két szembekapcsolt dióda
(két ***p-n*** átmenet)

- Működésének szemléltetése: Golyós csap modell

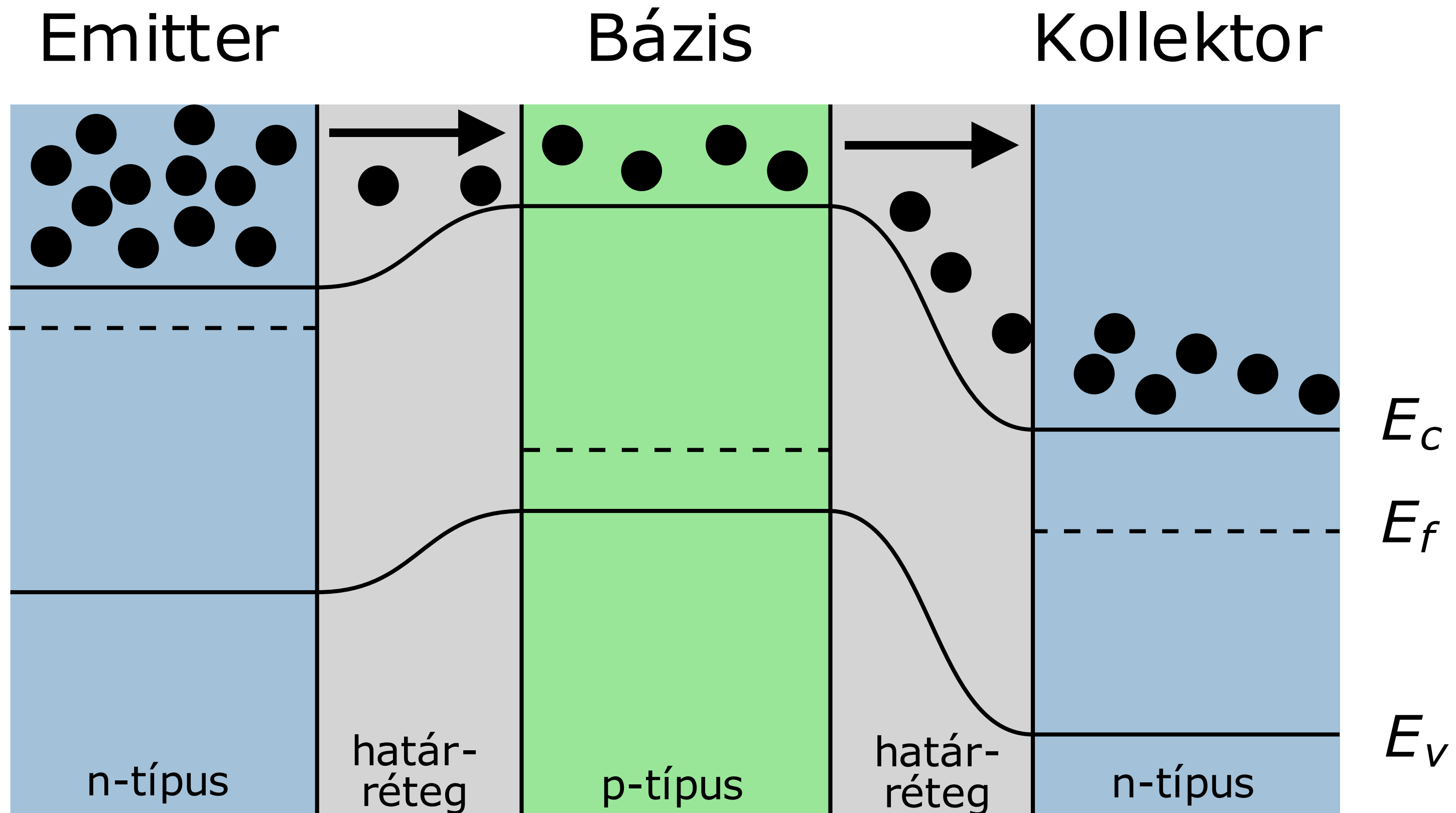


Többrétegű félvezetők – $n-p-n$ bipoláris tranzisztor

- Bázisra kapcsolt nyitófeszültség esetén
–Emitter kontaktból Kollektorba engedi az elektronáramot
- Bázis pozitív feszültségének szabályozásával tudjuk az elektronáram mértékét befolyásolni

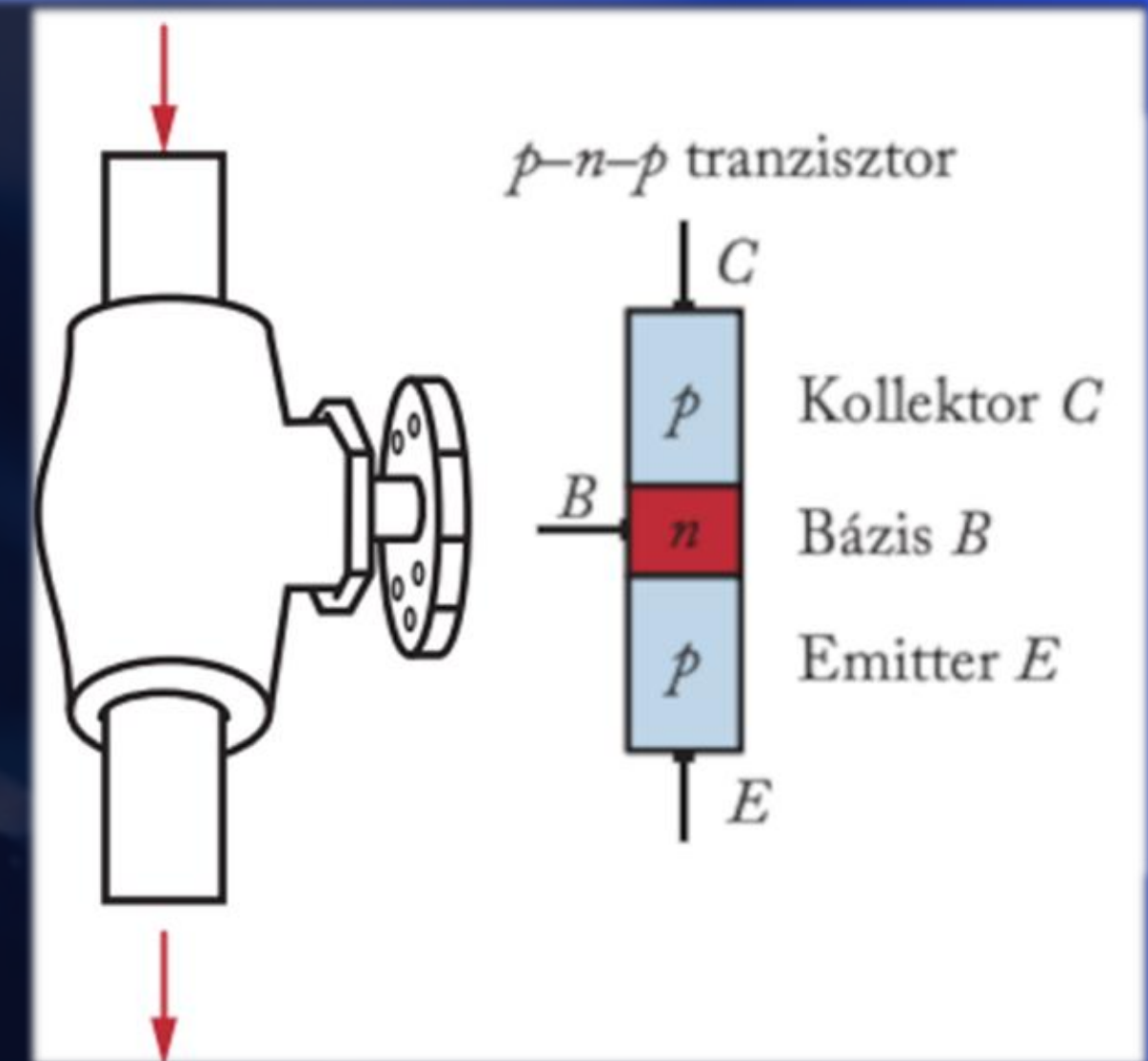
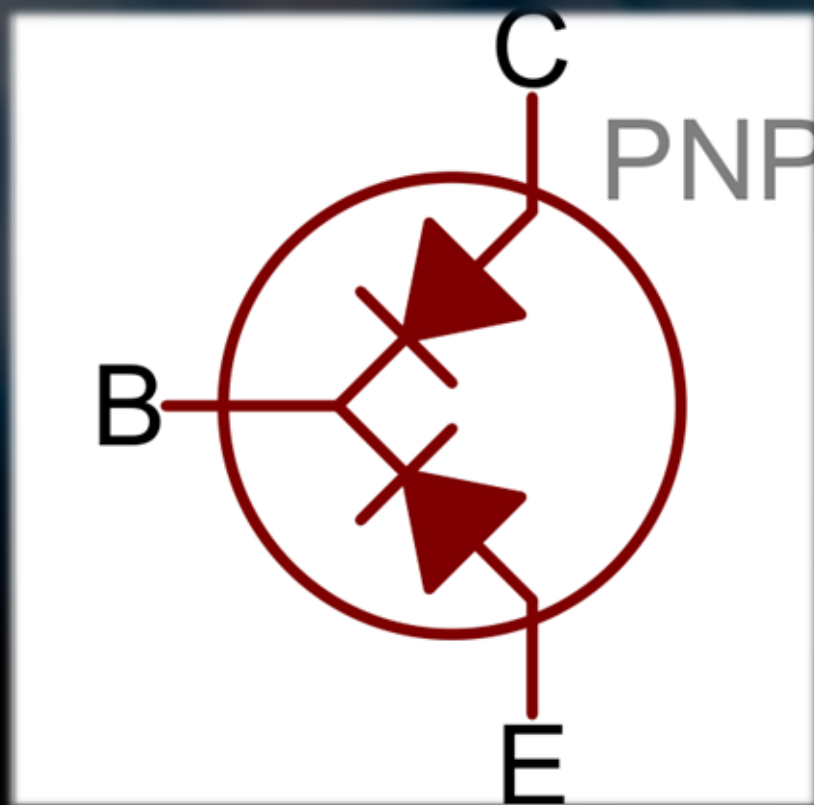


Többrétegű félvezetők – *n-p-n* bipoláris tranzisztor

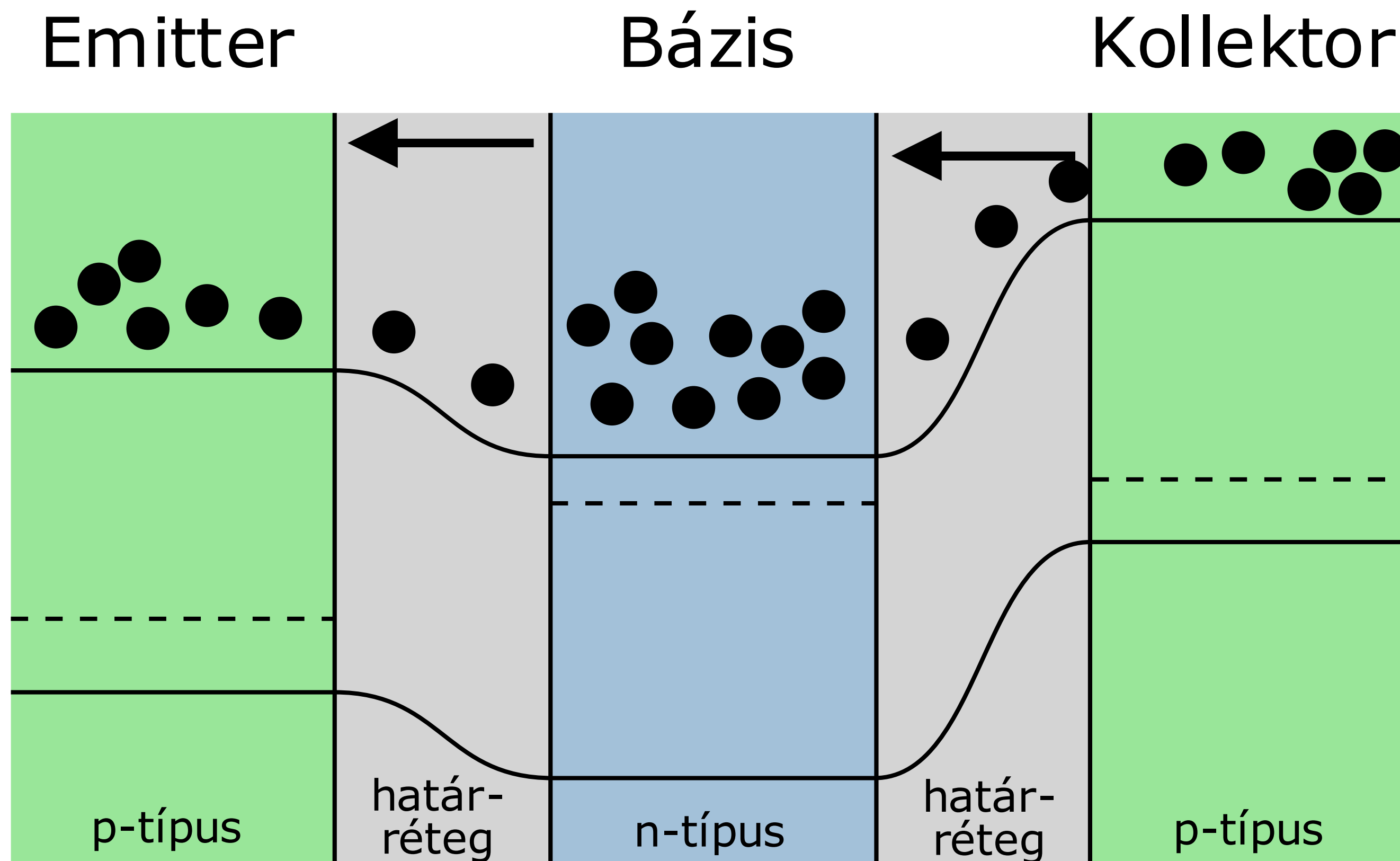


Többrétegű félvezetők – $p-n-p$ bipoláris tranzisztor

- Bázisra kapcsolt nyitófeszültség esetén
–Kollektor kontaktból Emitterbe engedi az Elektronáramot
- Bázis negatív feszültségének szabályozásával tudjuk az elektronáram mértékét befolyásolni



Többrétegű félvezetők – $p-n-p$ bipoláris tranzisztor



Többrétegű félvezetők – bipoláris tranzisztor alkalmazásai

TOSHIBA

2SC5197

TOSHIBA TRANSISTOR SILICON NPN TRIPLE DIFFUSED TYPE

2SC5197

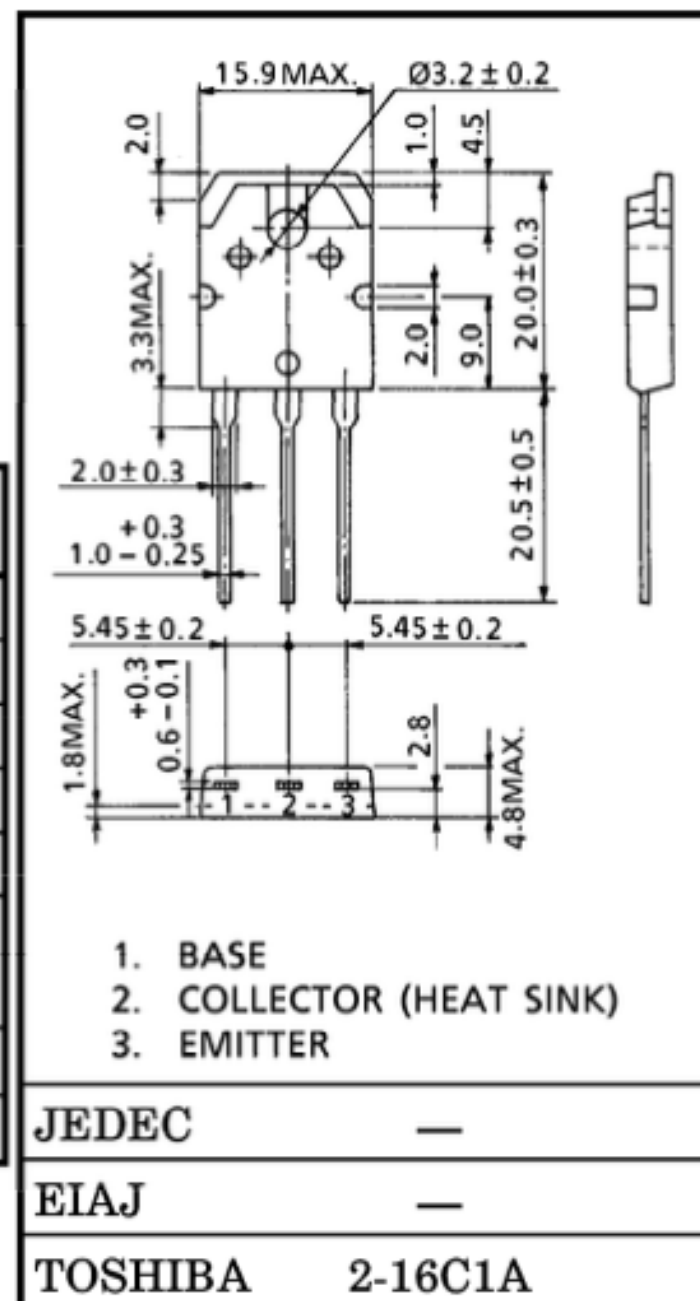
POWER AMPLIFIER APPLICATIONS

- Complementary to 2SA1940
- Recommend for 55W High Fidelity Audio Frequency Amplifier Output Stage.

MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	120	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	120	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5	V
Collector Current	I_C	8	A
Base Current	I_B	0.8	A
Collector Power Dissipation ($T_c = 25^\circ\text{C}$)	P_C	80	W
Junction Temperature	T_j	150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	$-55 \sim 150$	$^\circ\text{C}$

Unit in mm



Többrétegű félvezetők – bipoláris tranzisztor alkalmazásai

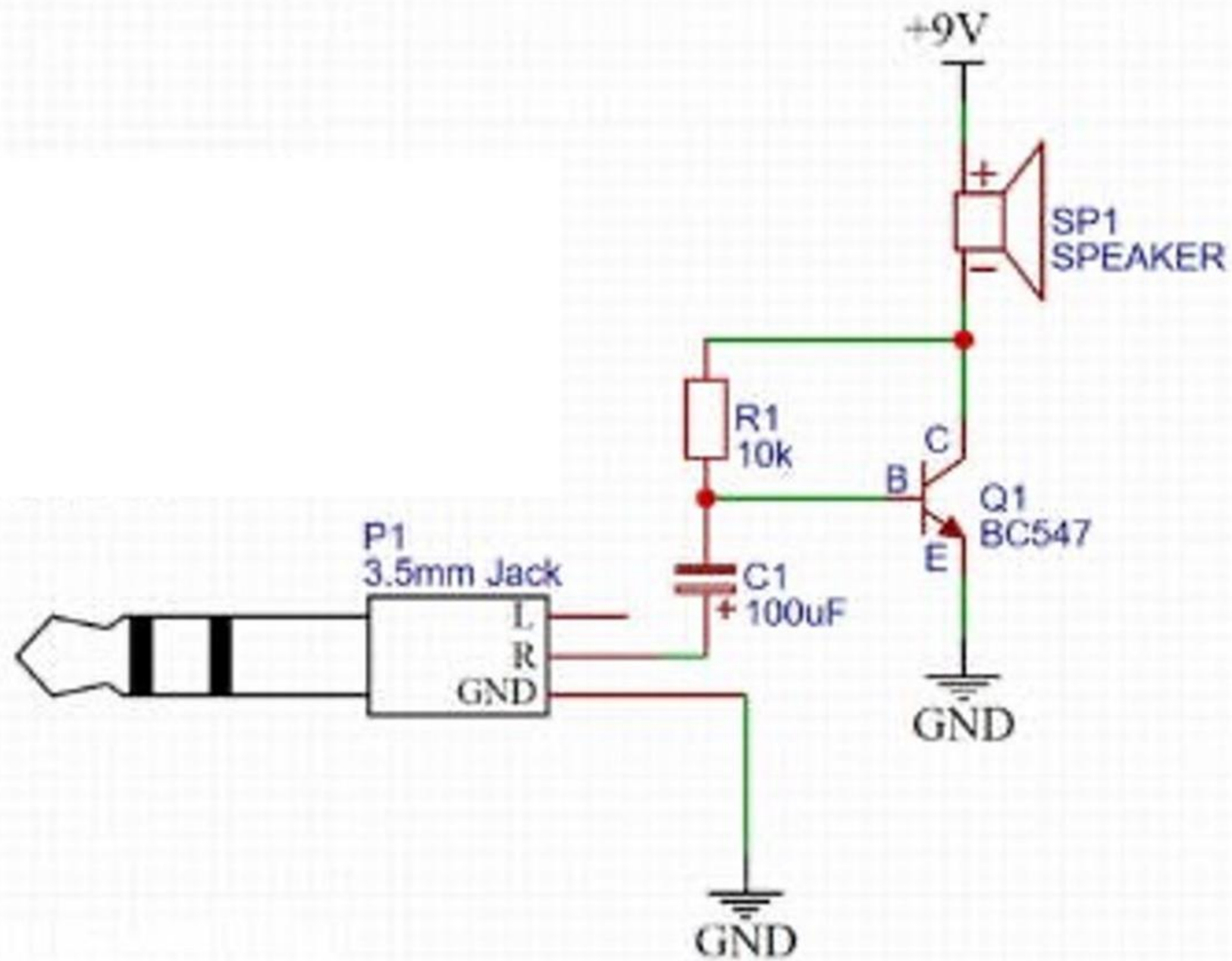
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

Weight : 4.7g (Typ.)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	$V_{CB} = 120V, I_E = 0$	—	—	5.0	μA
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$	—	—	5.0	μA
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR) CEO}$	$I_C = 50mA, I_B = 0$	120	—	—	V
DC Current Gain	$h_{FE} (1)$ (Note)	$V_{CE} = 5V, I_C = 1A$	55	—	160	
	$h_{FE} (2)$	$V_{CE} = 5V, I_C = 4A$	35	75	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE (sat)}$	$I_C = 6A, I_B = 0.6A$	—	0.35	2.0	V
Base-Emitter Voltage	V_{BE}	$V_{CE} = 5V, I_C = 4A$	—	0.95	1.5	V
Transition Frequency	f_T	$V_{CE} = 5V, I_C = 1A$	—	30	—	MHz
Collector Output Capacitance	C_{ob}	$V_{CB} = 10V, I_E = 0, f = 1MHz$	—	120	—	pF

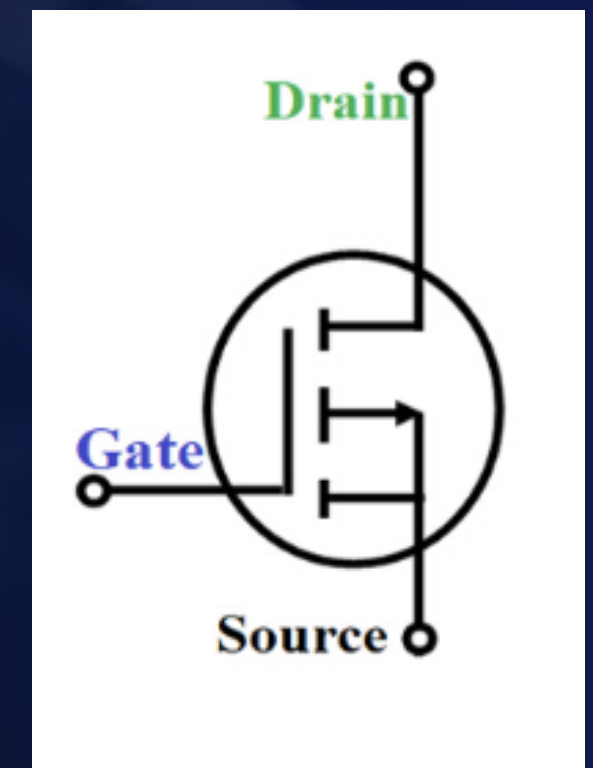
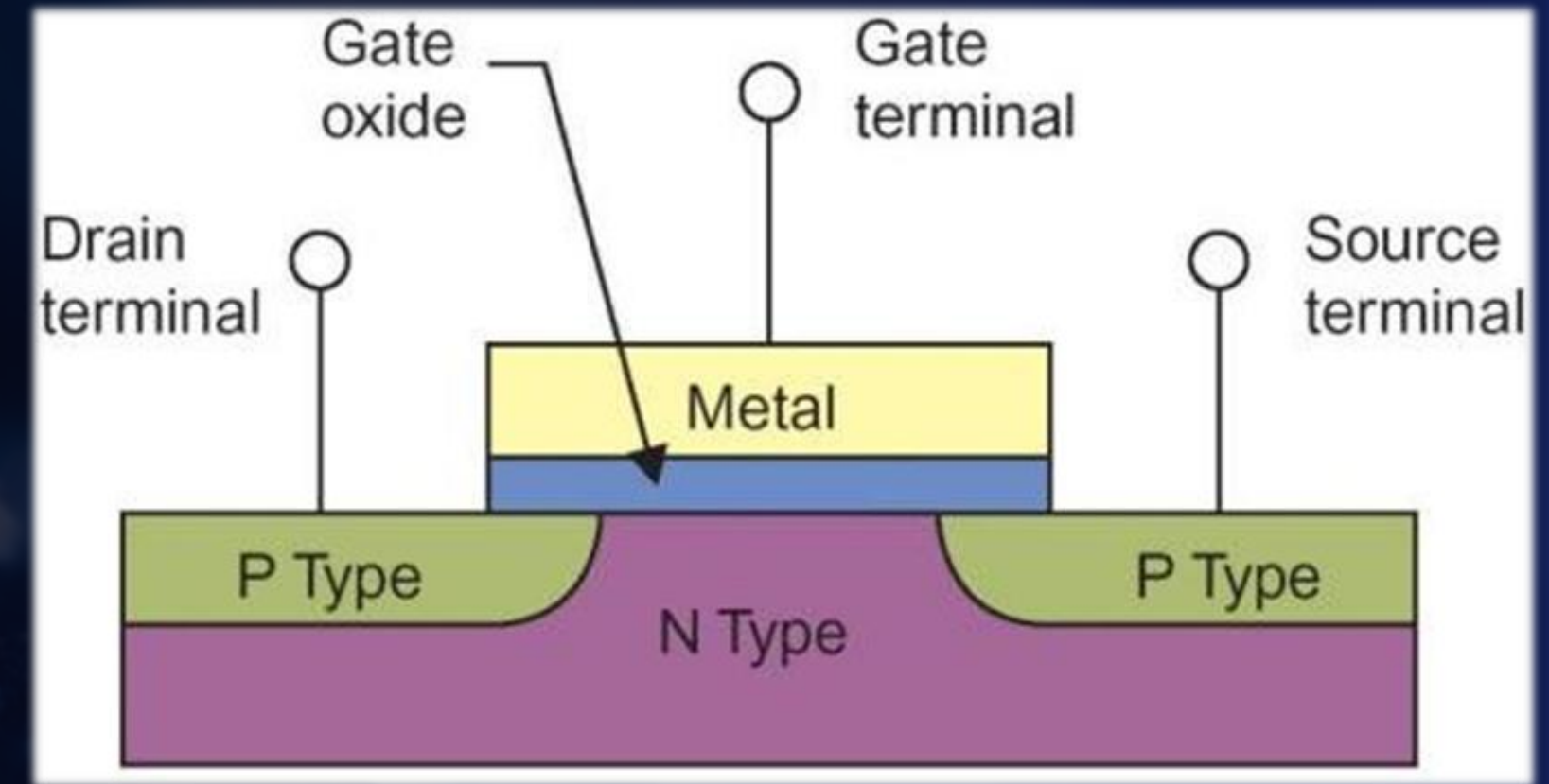
Note : $h_{FE} (1)$ Classification R : 55~110, O : 80~160

Többrétegű félvezetőik – bipoláris tranzisztor alkalmazásai

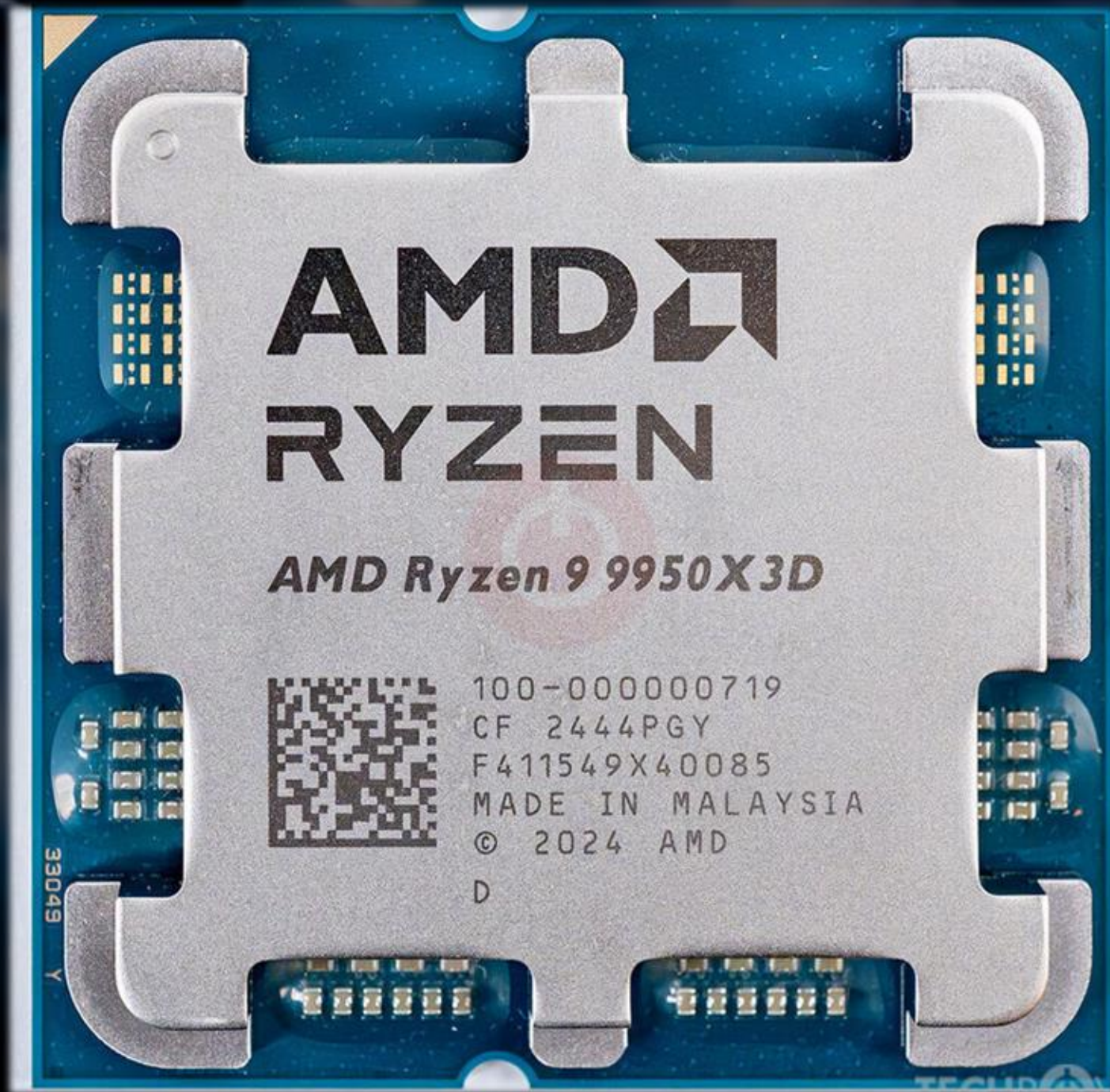


Félvezető technológia fejlődése – MOSFET

- Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
- Fém-oxid réteggel leválasztott fém, Kapu csatlakozás
 - Nem kell áramnak „folynia”
 - Kondenzátor fegyverzeteként viselkedik



Hol tartunk most?



AMD Ryzen 9 9950x3D processzor
Kb. 20.600.000.000
30-100nm átmérőjű tranzisztor



Köszönöm a figyelmet!
