

# Elektronika alapjai

## 2. előadás

### Passzív alkatrészek és félvezetők

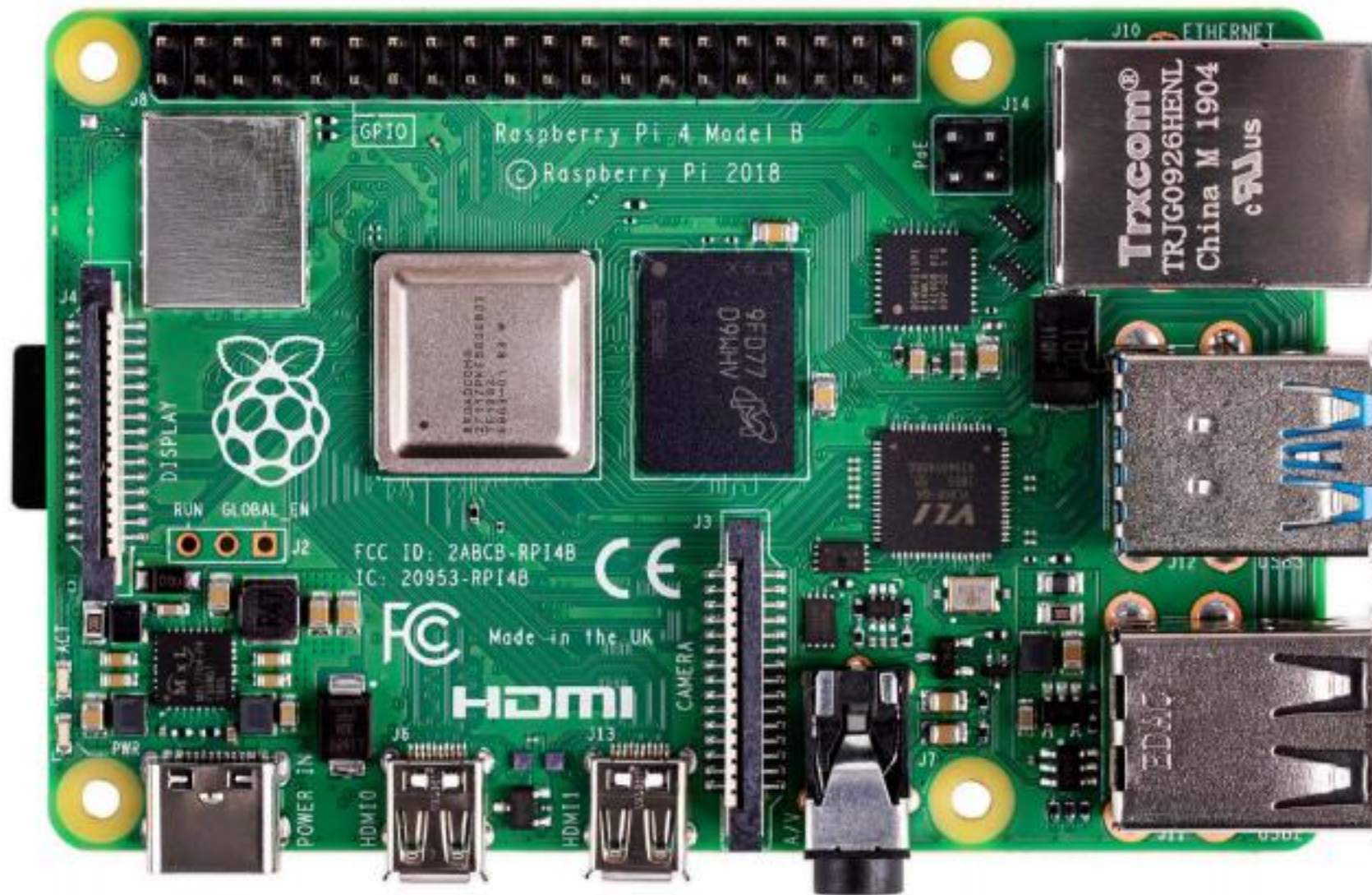


# Tartalom

- Alkatrészek
  - Passzív alkatrészek
- Félvezetők
  - Dióda
  - LED



# Példa: Raspberry Pi



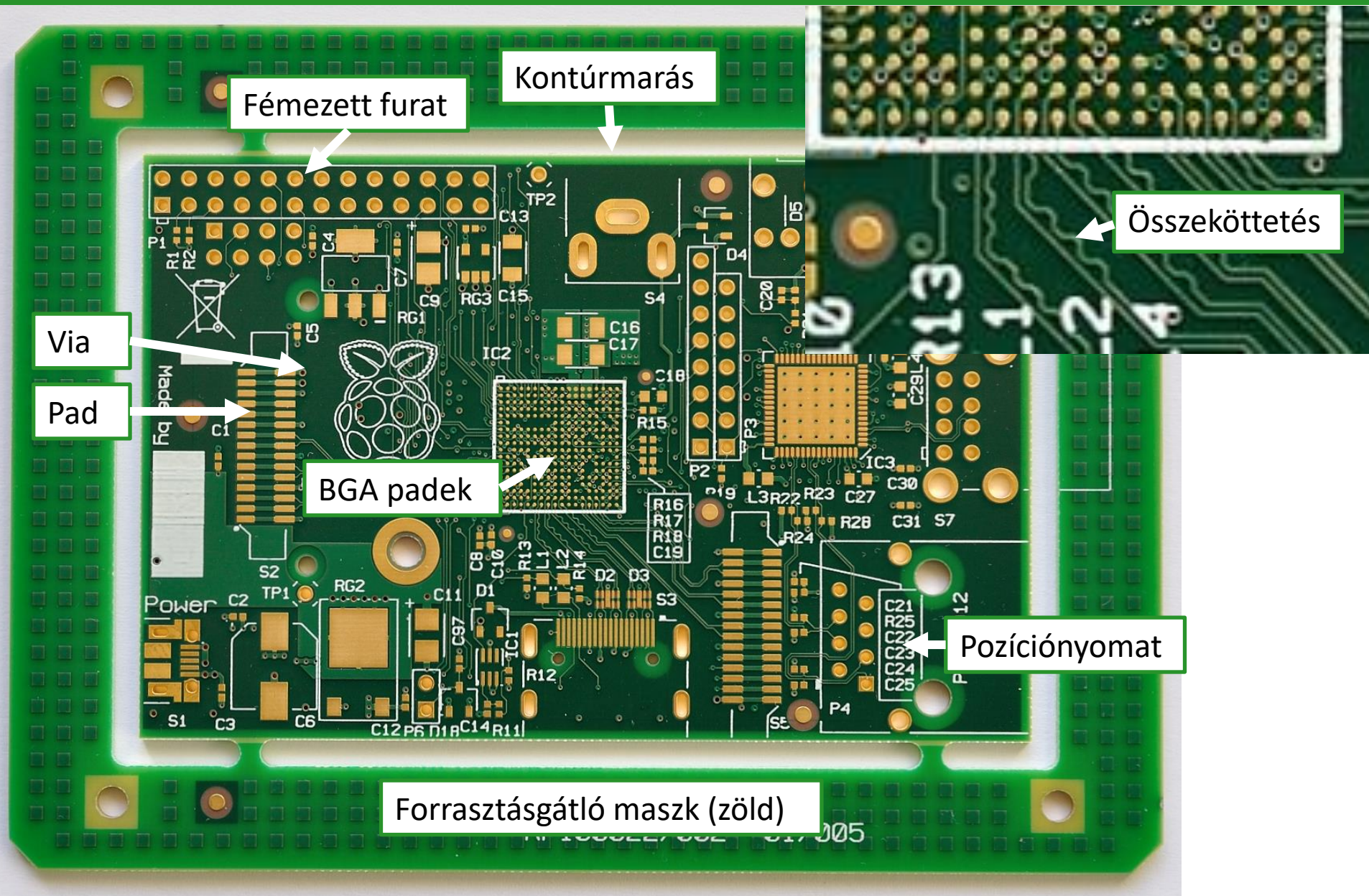
## Nyomtatott huzalozású lemez (PCB)

- Szerelésre a leggyakrabban alkalmazott
- Feladata
  - Alkatrészek közötti elektromos összeköttetés megvalósítása
  - Az alkatrészek mechanikai rögzítése
  - (Hőelvezetés)
- Elektromos összeköttetés réz rétegeken történik
  - Egy ill. kétrétegű (ez utóbbi általában alap)
  - Többrétegű (lassan kezd alapkövetelménnyé válni a min. négy réteg)
    - Tápfeszültség / Föld / Két jel réteg
  - Nagyobb bonyolultságú eszközök
    - Pl. PC alaplap 6-8-12-16 réteg, RPi4 – 6 rétegű (?)
    - Rétegszám növekedésével az ár növekszik, viszont kisebb helyen huzalozhatók össze ugyanazok az alkatrészek, sűrűbb lesz a panel.
- Az alkatrészeket általában forrasztással rögzítik





Egy PCB (Raspberry Pi)



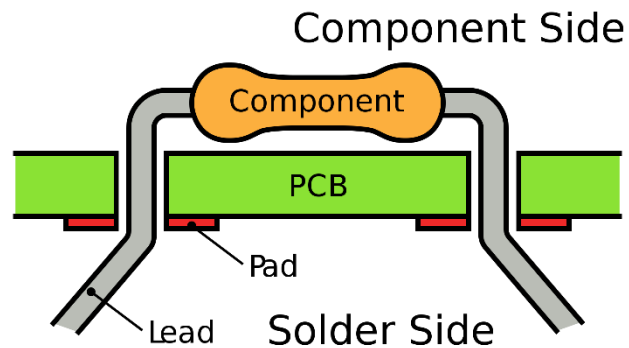
# Alkatrészek

- Passzív elektronikai elemek
  - Ellenállás, kondenzátor, tekercs
- Félvezetők
  - **Diszkrét** ( 1 funkció)
    - Diódák
    - Tranzisztorok
    - Stb.
  - **Integrált áramkörök**
- Mechanikai elemek
  - Kapcsolók, nyomógombok
  - Csatlakozók
- Egyéb



## Furatba szerelhető (through hole) alkatrészek

- Manapság leginkább a mechanikai tartás miatt alkalmazzák
  - Nagyméretű alkatrészek, csatlakozók esetén
- Az alkatrész lábait méretre vágják és hajlítják, majd a furatba behelyezik és forrasztják
  - Szokásosan egy oldalon vannak az alkatrészek, ez az ún. alkatrész oldal, a másik oldal pedig a forrasztási oldal.
  - Kisebb alkatrészsűrűség és nehezebb szerelhetőség



## Felületre szerelhető (SMD) alkatrészek

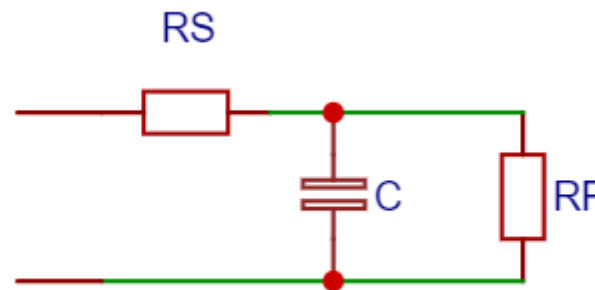
- A furatba való ültetésnél egyszerűbb és helytakarékosabb technológia a felületszerelés.
  - Nem kell fúrni!
  - Mindkét oldal használható alkatrész céljaira
- Ebben a technológiában az alkatrész tokján lévő forraszfelületek vagy kis tappancsok szolgálnak az elektromos bekötésre és az alkatrész mechanikai rögzítésére is.
- A hordozón (PCB) furat nélküli pad-ekre ültetjük az alkatrészt.





## Valódi alkatrész

- A lineáris ellenállás/kapacitás/induktivitás **absztrakció!**
  - Egy valódi alkatrész nem teljesen úgy viselkedik, mint az absztrakt alkatrész
  - Gyakorlati szempontból jó közelítés, de nem teljesen hanyagolhatók el a másodlagos hatások, amelyeket általában szintén ideális alkatrészekkel modellezünk
  - Példa: valódi kondenzátor modellje
    - $C$  – a kapacitás
    - $R_s$  – soros ellenállás. Azt modellezi, hogyha feszültséget kapcsolunk rá, az áram korlátozott lesz
    - $R_p$  – veszteségi ellenállás – a feltöltött kondenzátor töltése egy idő után elszivárog.



- Értéke függ a külső hatásoktól (hőmérséklet, megvilágítás, mágneses tér – szinte minden)
- **Ezt a hatást majd az érzékelőknél részletezzük**
  - Legfontosabb a hőmérsékletfüggés
    - Valamely paraméter, pl. ellenállás értéke megváltozik a hőmérséklettel.
    - A változást a legegyszerűbb esetben lineárisan közelítjük. Ha  $p$  az alkatrész paramétere, és egy adott  $T_0$  hőmérsékleten  $p_0$  az érték, akkor
    - $p(T) = p_0 \left( 1 + \frac{1}{p_0} \frac{dp}{dT} (T - T_0) \right)$  írja le. **Ez a hőmérsékleti együttható (TC)**
    - Ez lehet negatív (NTC) vagy pozitív. Pl. fémek ellenállása esetén általában pozitív, azaz a hőmérséklet növekedésével nő az ellenállás.
- Az alkatrész értéke időben nem állandó
  - „öregszik” – azaz a terhelés hatására a fontos paraméterek romlanak
  - Hőmérsékletfüggő!

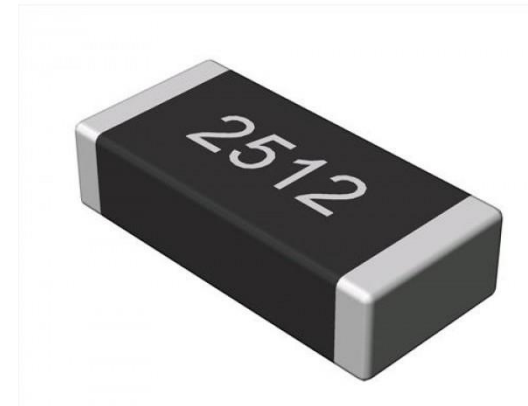
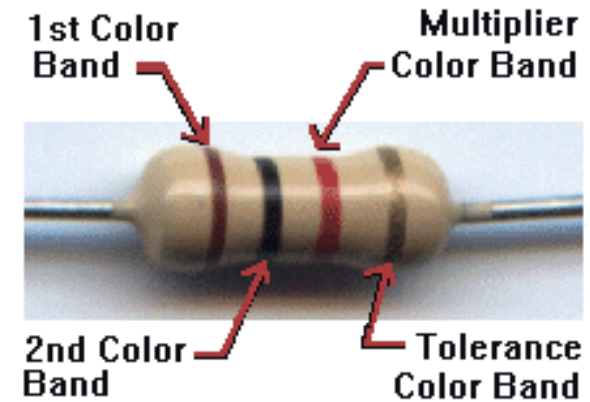


- Névleges érték – nem lehet nyilvánvaló módon pontos alkatrészt gyártani, az értékek a névleges érték körül szórni fognak.
  - Normális eloszlás...
- Tűrés – névleges értéktől megengedett eltérés
- Szabványosították, ezek az ún. értéksorok.
  - A relatív eltérés mindenhol azonos legyen, azaz az értékek mértani sor szerint követik egymást.
  - E6(±20%), E12(±10%).. E96 (±1%) stb.
  - Az E után következő szám jelzi azt, hogy hány érték van egy dekádban. (egy tízszeres intervallumban, pl. 10 és 100 között)
  - Az E6 sor: 10, 15, 22, 33, 47, 68
    - (Pl. az első elem max értéke 12, a második min. értéke szintén 12)
  - A szorzó  $\sqrt[6]{10} = 1,4678$ 
    - (értelemszerűen kerekítve az értékeket)



## Ellenállások

- mΩ- MΩ értékkészlet
- Fontos a megengedett teljesítmény, pl. 1/4W
  - Ezt meghaladó teljesítmény károsítja az ellenállást
- Furatszerelt
  - Az ellenállások értékét színkóddal jelölik
    - [\(Google: resistor color chart\)](#)
    - A felirattal ellentétben a színkód bármilyen pozícióban beültetve látszik
- SMD
  - Különböző méretekben
  - Az ellenállás értékét vagy ráírják
    - Ekkor R ill. k kerül a tizedespont helyére, pl. 4k7  
4,7kΩ
  - Vagy egy 3 vagy 4 jegyű szám
    - Ahol az utolsó számjegy a tizes hatvány
    - Pl. 2512 →  $251 \cdot 10^2 = 25,1k\Omega$





# Ellenállások

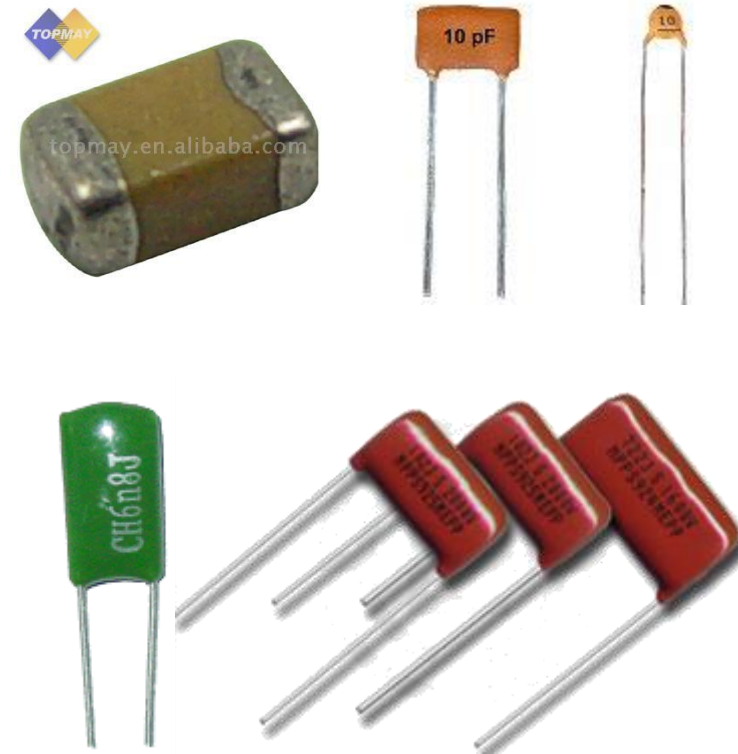
## ▪ Speciális ellenállások

- Változtatható ellenállás, potencióméter (kézzel, vagy csavarhúzóval)
- Nagyon sok érzékelő esetén az ellenállás megváltozása arányos az érzékelt mennyiséggel
  - Fotoellenállás (fény)
  - Termisztor (hőmérsékletérzékelés)
- $0\Omega$  -os ellenállás
  - Rövidzár
  - Tipikusan konfiguráláshoz



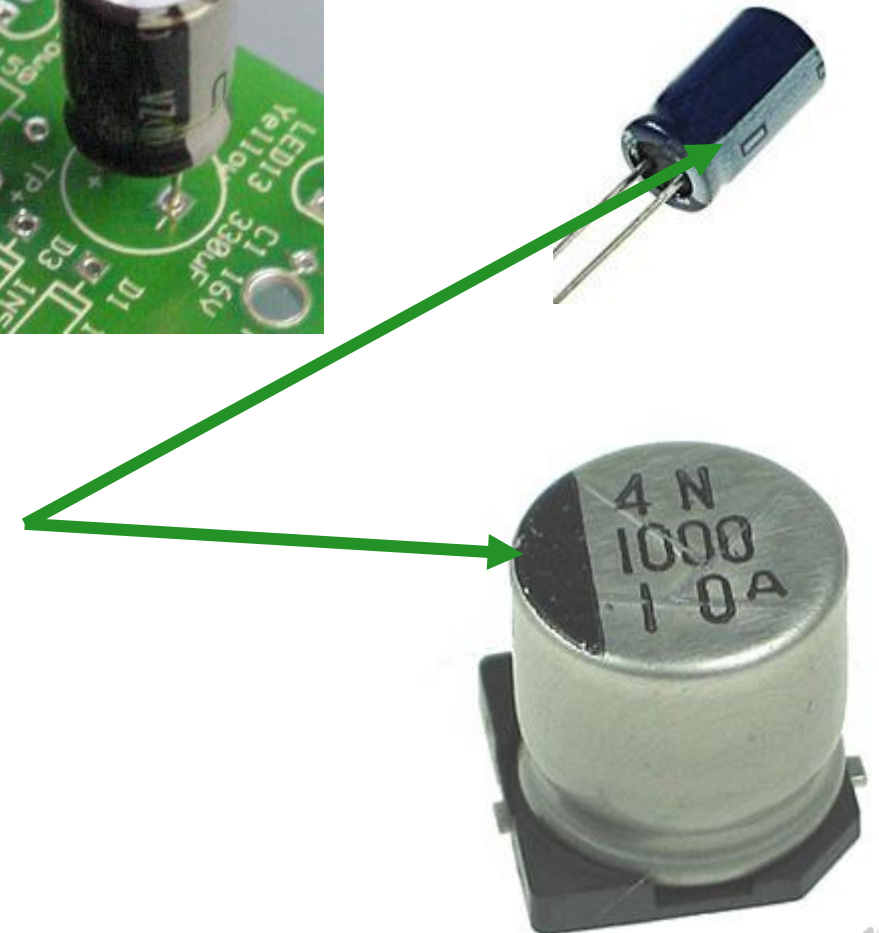
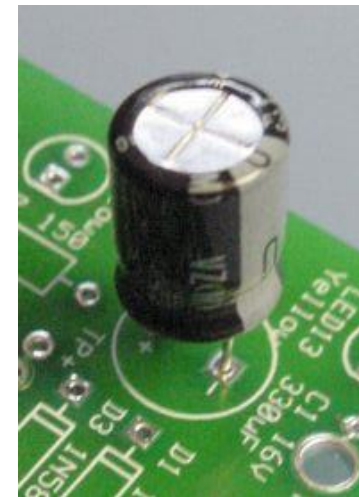
# Kondenzátorok

- Két fegyverzet között szigetelő
- Megengedett max. feszültsége van
- Nem polarizált
  - Kerámiakondenzátorok
  - Fóliakondenzátorok
  - Viszonylag kis kapacitásúak (pF-nF)
  - Értéke – ha csak számkód van rajta:
    - $C = \text{számérték} \cdot 10^{\text{utolsó számjegy}} \text{ pF}$ ,
    - azaz pl. 223  $\rightarrow 22 \cdot 10^3 \text{ pF}$ , azaz 22nF

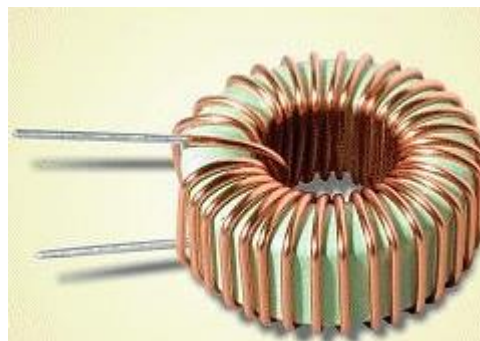
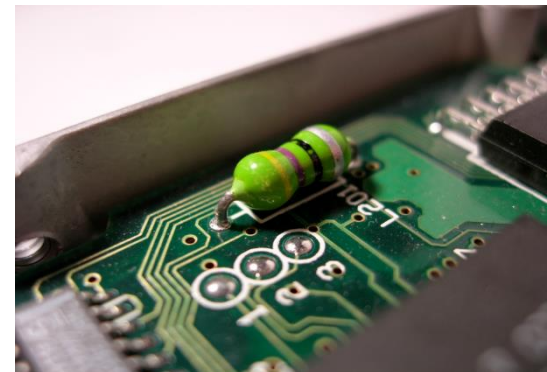


## Elektrolit kondenzátorok

- Nagy kapacitásérték (tip. nF - 10000 $\mu$ F...)
- Kisfrekvenciásak (tipikusan hangfrekvencia)
- Polarizáltak
  - **Ellentétes polaritással nem szabad bekötni!**
- A hőmérséklet csökkenésével a kapacitás csökken
- Alkalmazási terület:
  - Energiatárolás (tápok pufferei, Low ESR!)
- Kritikus alkatrész...



- Induktivitások
  - Szolenoidok
  - Toroidok
  - Értékkészlet tipikusan  $\mu\text{H}..m\text{H}$
- Gyakori alkalmazás:
  - DC/DC átalakítóknban, energiatárolásra







Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Elektronikus Eszközök Tanszéke

# A félvezetők



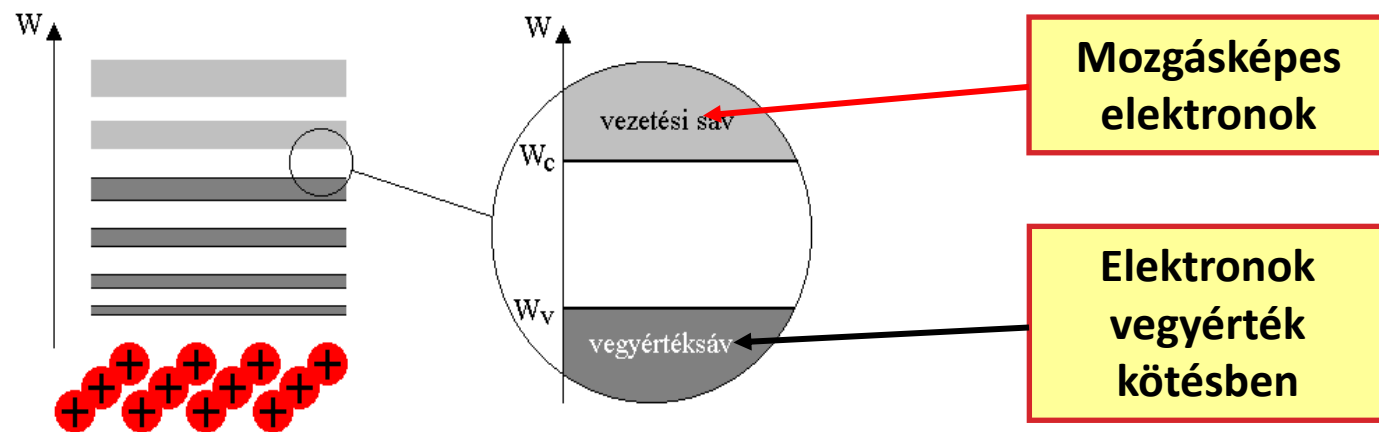
# Félvezetők

- Átmenetet képeznek a szigetelők és a vezető anyagok között.
- Vezetik az áramot.
  - NTC, azaz növekvő hőmérsékletre az ellenállásuk csökken. (ellentétben a fémekkel!)
- Fontosabb félvezető anyagok (önkényes és nem teljes felsorolás!)
  - Egykristályos, elemi félvezetők: Si, Ge ( periódusos rendszer IV. oszlop)
  - Szilícium: integrált áramkörök, eszközök
- Vegyületfélvezetők: pl. GaAs, GaAsP, GaN, SiC stb.
  - LED, HEMT (high electron mobility transistor – nagyfrekvenciás analóg feldolgozás), teljesítmény félvezetők
- amorf (főleg Si)
  - TFT, napelem stb.
- szerves
  - OLED

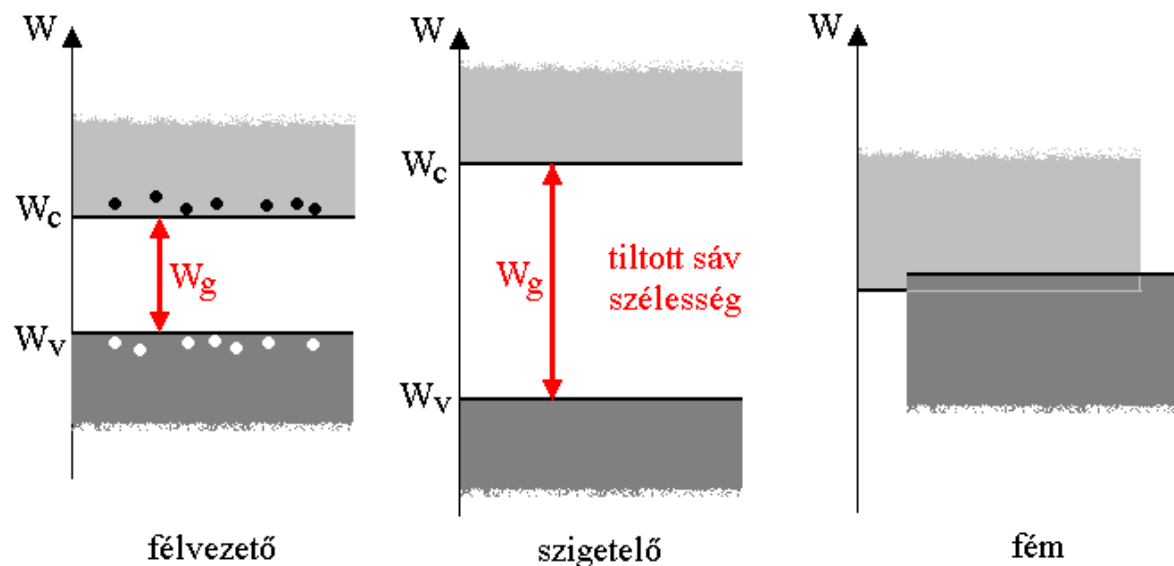


## Mitől lesz egy anyag vezető, félvezető, szigetelő?

- Ehhez vissza kell nyúlni a kvantummechanikához.
  - Egy atomban az elektronok csak meghatározott diszkrét (kvantált) energiaállapotokat vehetnek fel. Egy energiaállapotban összesen két (!) elektron lehet.
  - Kristály esetén hasonló a helyzet. A megengedett állapotok sávokká szélesednek, amelyek között nem megengedett állapotok, ún. tiltott sávok vannak.



# Vezetők, félvezetők és szigetelők

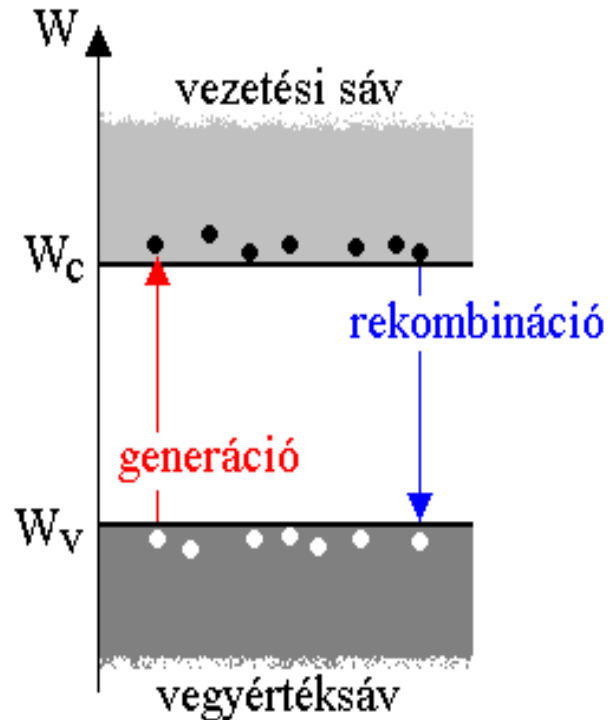


- Fémek esetén a vezetési és vegyértéksáv között nincs tiltott sáv, a fémek jól vezetik az áramot
- Ha a tiltott sáv széles, a termikus átlagenergiához képest ( $kT=26\text{meV}$ ) a vegyértéksávból történő felkerülés valószínűsége 0, szigetelők
- Ha a tiltott sáv néhány eV körüli, akkor létező valószínűséggel felkerülhet elektron a vezetési sávba, ekkor félvezetőkről beszélünk.
  - eV – elektron volt – energia nem SI mértékegysége, 1 elektron 1V feszültséggel gyorsítva,  $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
  - Nagyobb hőmérsékleten megnövekszik a valószínűség, több lesz tehát a töltéshordozó. Azaz a félvezető ellenállása csökken, (NTC)





# Töltéshordozók



- Elektronok a vezetési sáv alján
- Lyukak (elektron hiányok) a vegyértéksáv tetején
- Mindkettő szolgálja az áramvezetést.
  - nemcsak az elektron, hanem az elektron hiány is el tud mozdulni.
- A „tiszta” (szakszóval intrinsic) félvezetőben viszonylag kevés töltéshordozó van.
  - Szilíciumban pl.  $10^{10}/\text{cm}^3$ , miközben  $5 \cdot 10^{22}/\text{cm}^3$  atom van
  - Így az intrinsic félvezető nem túl jó áramvezető

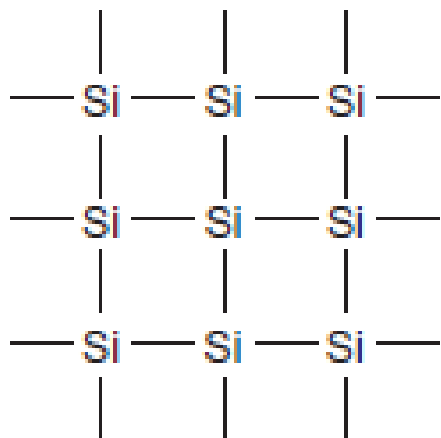


# Adalékolás

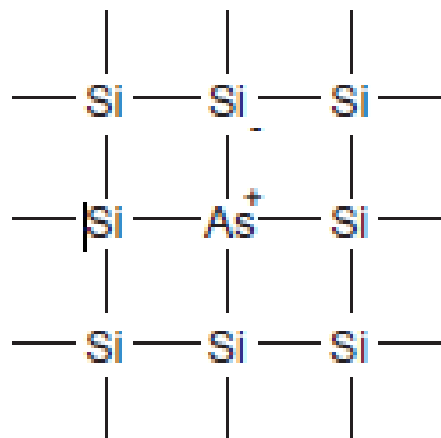
- A félvezető kristályba kis mennyiségben idegen atomokat juttatnak be, amelyek beépülnek a kristályrácsba.
- Attól függően, hogy az adalék atom a félvezetőhöz képest több vagy kevesebb elektronnal rendelkezik, két adalékolási módot különböztethetünk meg.
  - n típusú adalék: az adalék atomok több elektronnal rendelkeznek a külső elektronhéjon. A többlet a kristály vezetési sávjába kerül, így az elektronok száma megnövekszik, az elektronok lesznek a többségi töltéshordozók
  - p típusú adalék: az adalék atomok kevesebb elektronnal rendelkeznek a külső elektronhéjon. A kristály szabad elektronjait befogják, így mozgóképes elektronhiány (lyuk) alakul ki.
- Nagyjából annyi „új” töltéshordozó keletkezik, amennyi adalékatom a kristályba került.



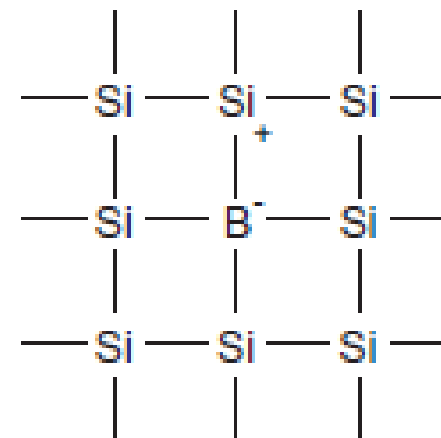
## Példa: szilícium adalékolása arzénnel ill. bórral



intrinsic szilícium



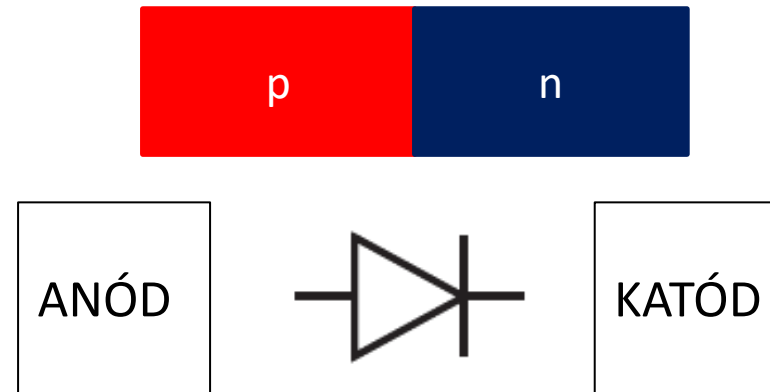
n szilícium



p szilícium



## pn átmenet vagy félvezető dióda



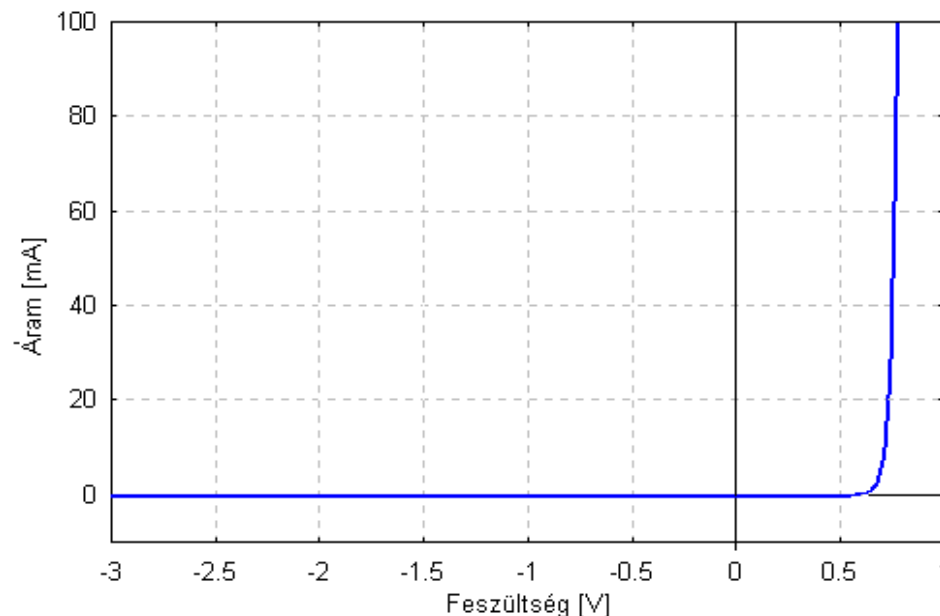
- Ahol a kristályban egy n és egy p zóna érintkezik kialakul egy ún. **pn** átmenet.
  - A p vezetékes területet szokásosan anódnak, az n vezetékes részt katódnak hívjuk
  - Ha az anód pozitívabb feszültségű, mint a katód, az átmenet nagy árammal vezet, az áram nagyjából exponenciálisan nő a feszültséggel, a dióda *kinyit*
  - Ha az anód negatívabb feszültségű, mint a katód, az átmeneten nagyon kis áram folyik, a dióda *lezár*.
  - Erre mondjuk azt, hogy **EGYENIRÁNYÍT**.



## A dióda legfőbb tulajdonságai

- Pozitív feszültségekre (p típusú anyag pozitívabb potenciálon, **nyitóirány**), a struktúrán a feszültségtől exponenciálisan függő áram folyik.
- Negatív feszültségekre (p oldal negatívabb, **záróirány**) a struktúrán nagyon kis, gyakorlatilag feszültségfüggetlen áram folyik.

**Záró (reverse)**  
tartomány  
 $I \sim 10^{-12} \text{ A/mm}^2$   
(Si,  $T=300 \text{ K}$ )

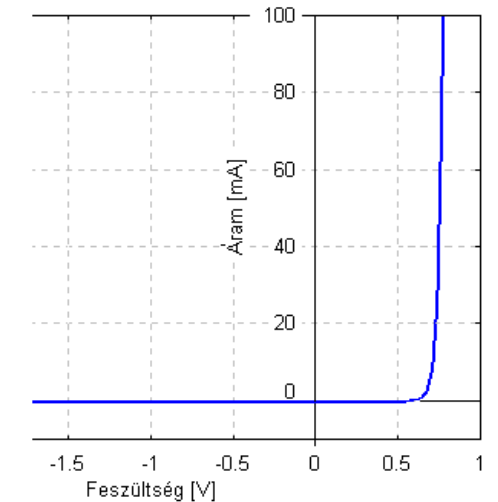
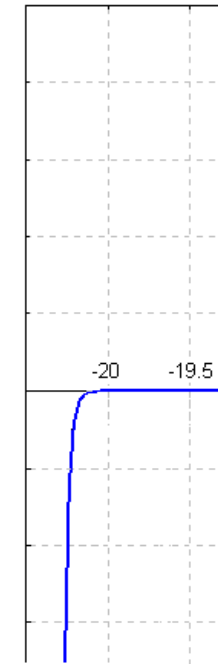


**Nyitó (forward)**  
tartomány  
 $I \sim \exp(V)$

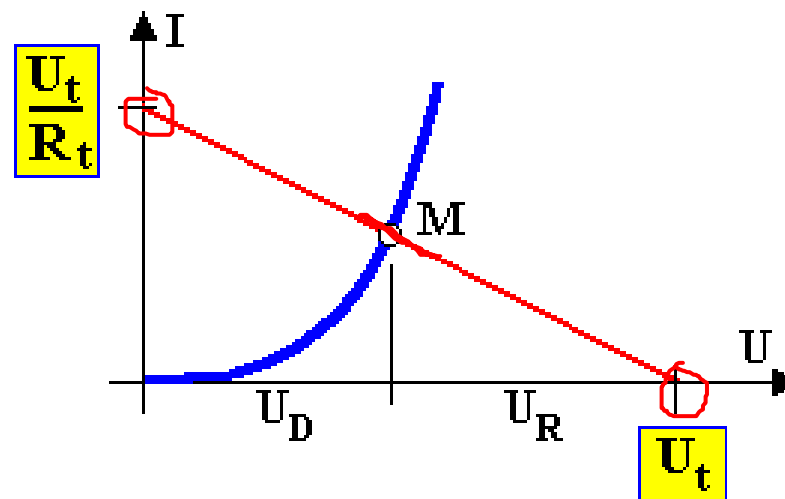
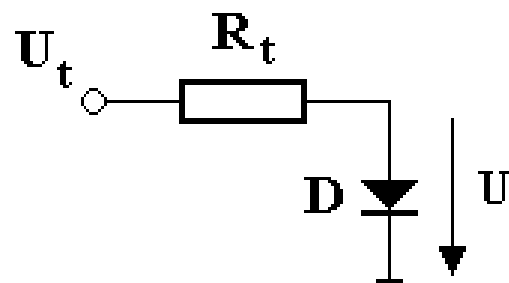
## A dióda karakterisztikája

- Nyitóirányban:
- Karakterisztika egyenlet:  $I=f(U)$  függvény...
- Nemlineáris eszköz.
  - $I_0$  a pn átmenet **szaturációs konstansa**,
  - $I_0 \approx 10^{-14} \dots 10^{-15} \text{ A}$  szilícium diódán.
  - $V_{TH}$  a termikus feszültség ( $kT/q$ ), 26mV
  - $n$  egy illesztett konstans, 1..2 között
- Záróirányban:
  - Egy adott kritikus zárófeszültségnél, az ún.  $V_{BR}$  letörési feszültségnél a dióda záróárama hirtelen megnő és viszonylag nagy áramok folynak a diódán nagyon kis további feszültség-emelkedéssel. Ez a karakterisztika feszültség stabilizálásra alkalmazható.

$$I = I_0 (e^{V/nV_{TH}} - 1)$$



## Dióda számítása

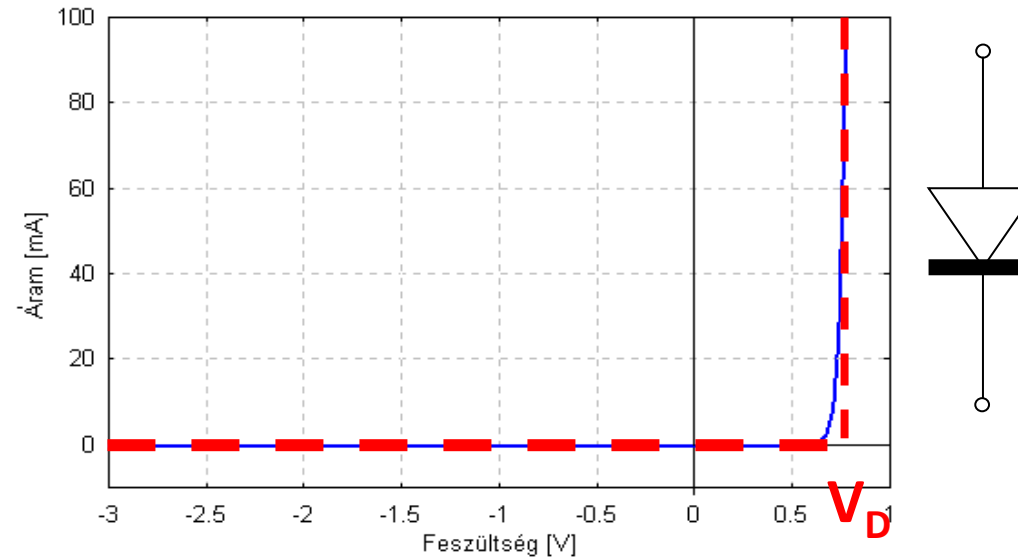


- Az áramkörre felírt huroktörvényből:  $U_t = IR_t + U$ , azaz  $I = \frac{U_t - U}{R_t}$
- Egy egyenes egyenlete adódik (ez tulajdonképpen az áramkörben a diódán kívül előforduló elem „karakterisztikája” a dióda feszültségének függvényében)
- Ha a karakterisztika grafikusan adott – a szerkesztés könnyen elvégezhető.
- Ha a diódaegyenlet konstansai adottak, akkor pedig numerikusan megoldható.



## Közelítő számítás

- Kihasználjuk, hogy az exponenciális függvény „meredek”



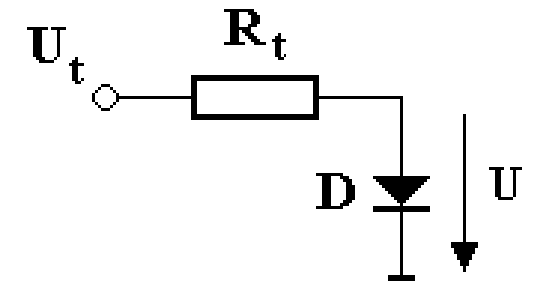
- A bekapcsolt (= nyitóirányú áramot vezető) diódát egy  $U_D$  feszültségforrással, a kikapcsolt diódát pedig szakadással helyettesítjük.
- A helyettesítő feszültségforrás feszültségét,  $V_D$  –t az adatlapból állapítjuk meg, Si diódára kb. 0,7V

## Példa

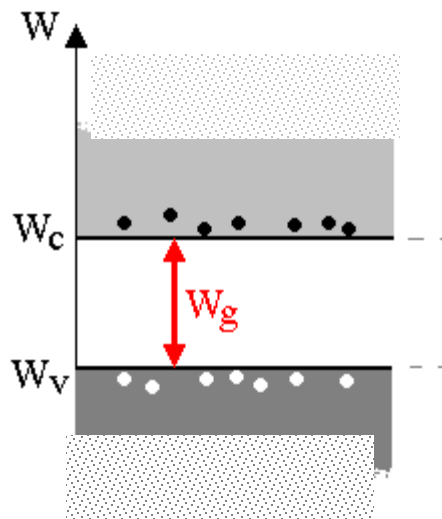
- Feltételezzük, hogy a dióda vezet.
  - Mivel az ellenállás egyik végén a tápfeszültség, másik végén közelítőleg a dióda feszültség van, ezért

$$I = \frac{V_t - V_D}{R_t}$$

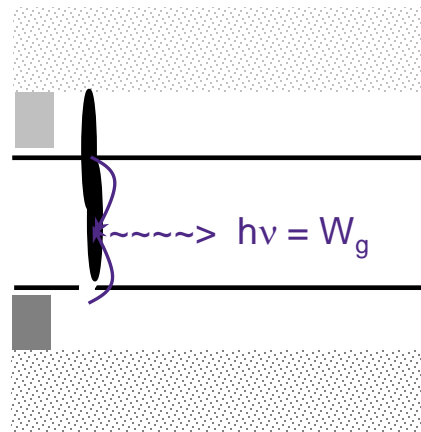
- Si diódára  $V_D=0,7V$ , legyen a tápfeszültség  $5V$ , az ellenállás pedig  $1k\Omega$ , ekkor a munkaponti áram:
  - $I = \frac{5-0,7}{1} = 4,3mA$



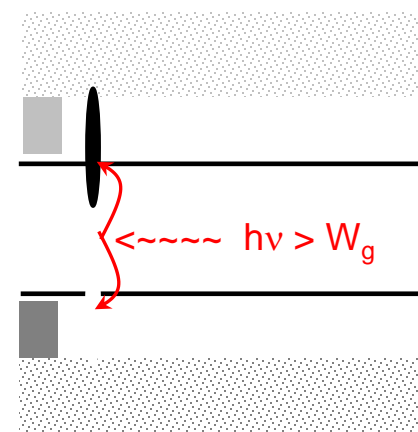
# LED



Direkt **rekombináció**  
fényemisszióval jár(hat),



Fényelnyelés generációt  
okozhat



- Bizonyos típusú félvezető anyagokban a rekombináció
  - Azaz egy elektron visszatérése a vezetési sávból a vegyértéksávba
- Foton kibocsátásával járhat
  - (Az elektronnak el kell veszítenie az energiáját. Ez vagy fotonnak (direkt) vagy a kristályrácsnak (indirekt) adódik át.
- A kibocsátott foton hullámhossza a tiltott sáv szélességétől függ.





## LED félvezetők

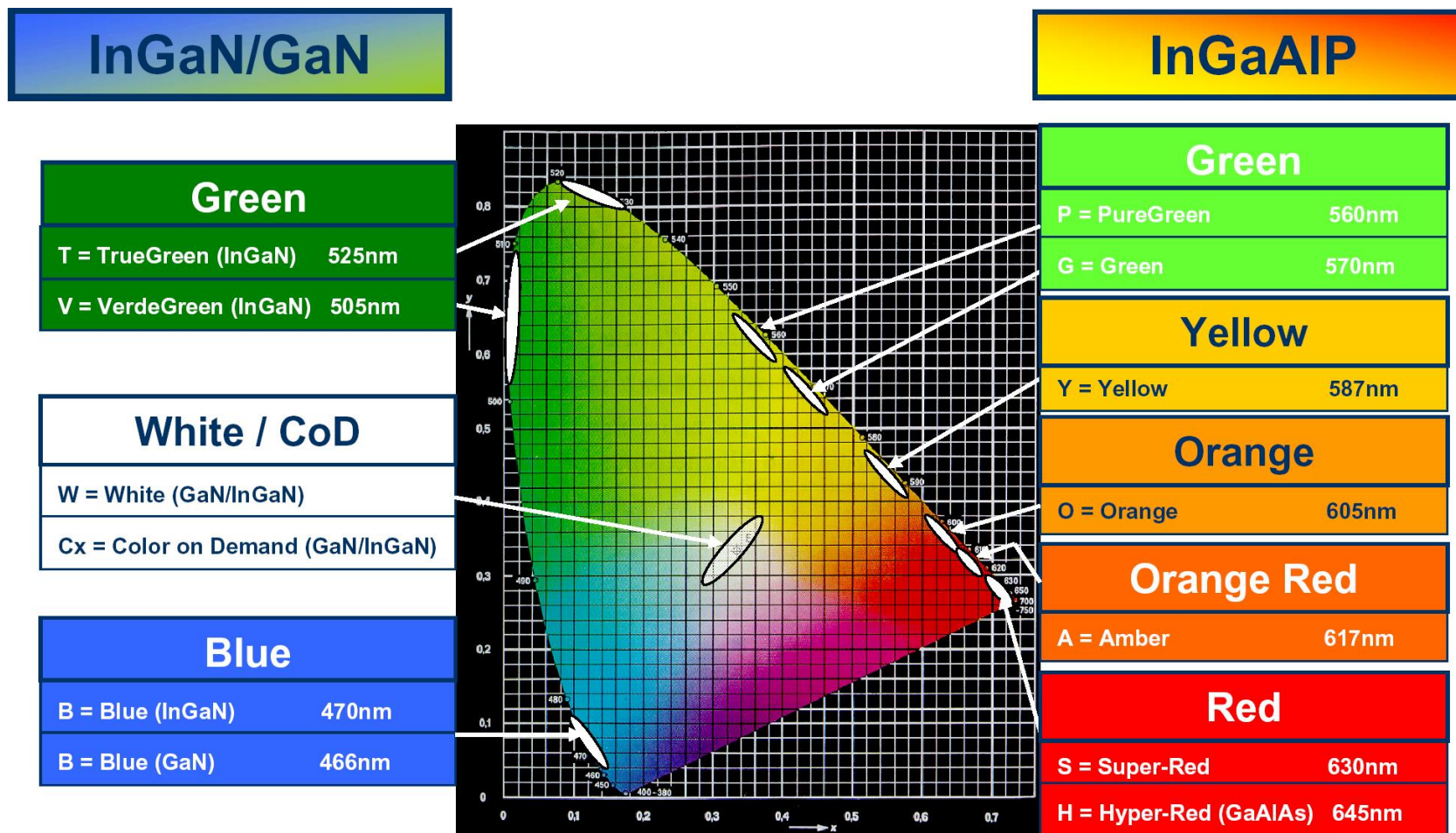
- A szilíciumban indirekt rekombináció zajlik
- Direkt (sugárzásos) rekombináció van az
  - ún. vegyületfélvezetőkben
    - A periódusos rendszer III. és V. oszlopában lévő elemek vegyületei
    - Al, Ga, In
    - N, P, As
- A tiltott sáv szélessége az összetételtől függ
- $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{W_g}$
- Szélesebb tiltott sáv -> kisebb hullámhossz
- Keskenyebb tiltott sáv -> nagyobb hullámhossz

III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A
					2 He
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn



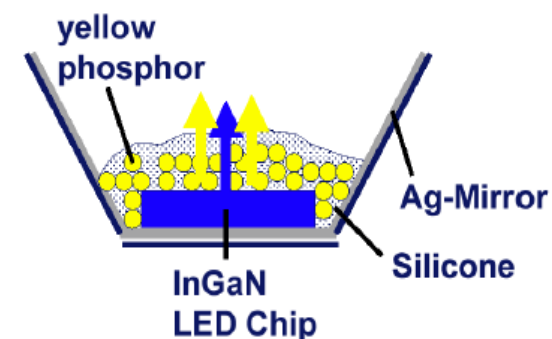
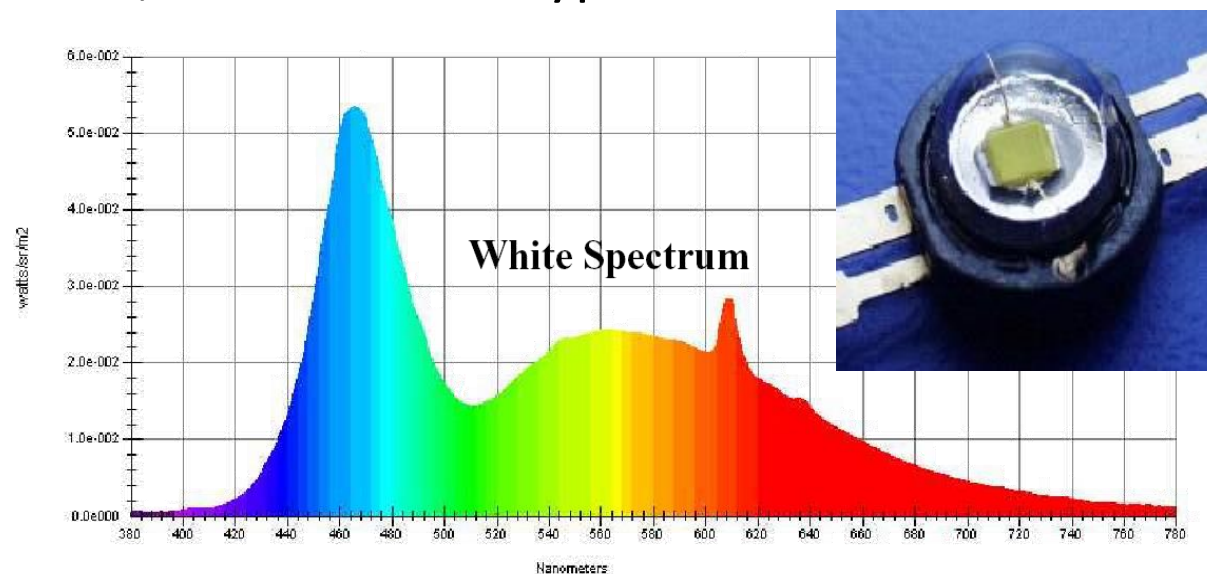
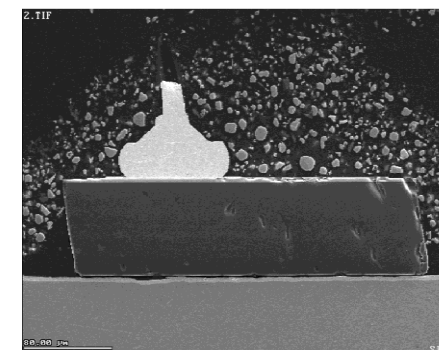
■ Két anyagrendszert használnak. Az elérhető színek

- InGaAlP rendszer: (infra vörös) – vörös – sárgászöld
- InGaN/GaN rendszer: (ultraibolya) – kék - kékeszöld



# Fehér fény előállítása

- RGB LED
  - A három alapszínt tartalmazza
  - A színek aránya könnyen beállítható.
    - Azaz a R, G, B intenzitása külön szabályozható
- Kék LED + sárga fénypor
- UV LED + vörös, zöld és kék fénypor

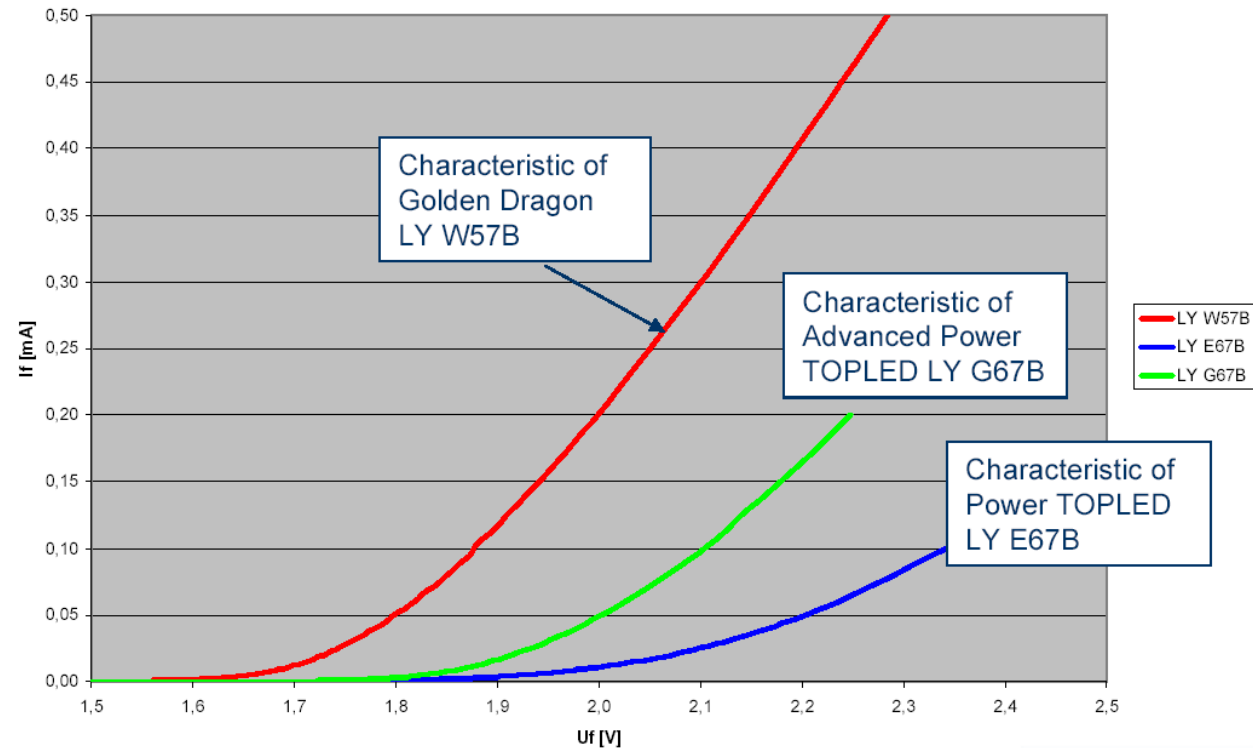


# Fényporok

- Más néven „foszfor”
  - (foszforeszkál szóból ered, nem a foszforra (mint kémiai elem) utal)
- Sugárzás (foton, vagy elektron) hatására látható fényt kelt.
  - Elnyeli a nagyobb energiájú (kisebb hullámhosszú) fotont és kisebb energián (nagyobb hullámhosszon) sugározza ki.
    - Az energiakonverziós hatások tehát kisebb, mint 1
  - A gerjesztő sugárzás megszűnése után még sugároz
    - Ez az ún. utánvilágítási idő, néhány ms (CRT) – több másodperc (radar)
  - Fénycsövekben (az UV fény átalakítására)
  - Katódsugárcsővekben (elektronsugár kelt fényt)
  - Fehér LED-ekben
  - Utánvilágító táblák (több órán is) – biztonságtechnika, munkavédelem



# Elektromos karakterisztika

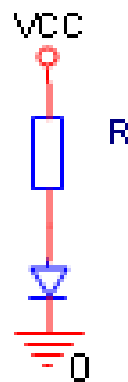


## ■ Elektromos szempontból egy dióda

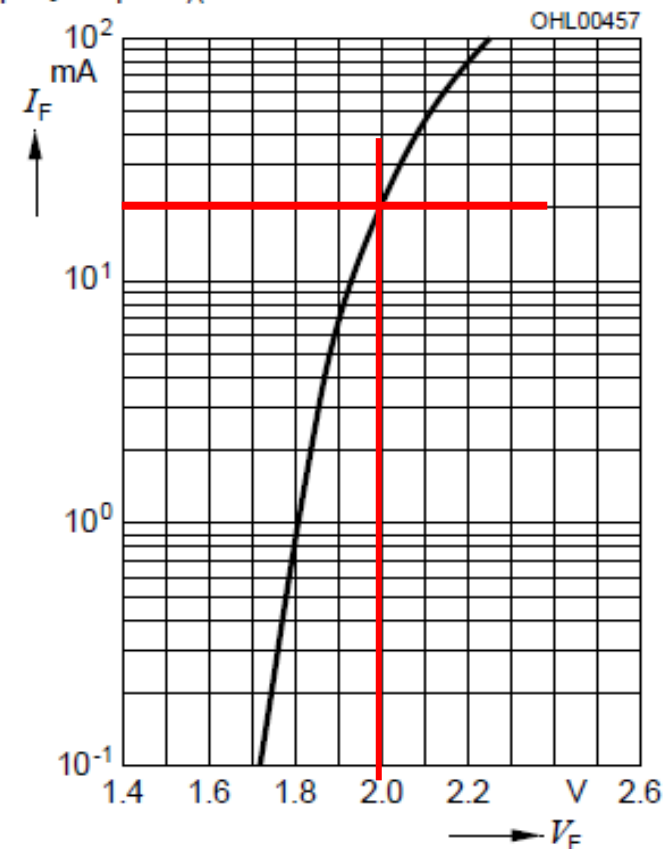
- Kisebb hullámhossz: ugyanakkora áramhoz nagyobb feszültség tartozik.
- **Nyitó áram:**
  - kisteljesítményű, hagyományos LED-ek: ~20 mA
  - nagyteljesítményű LED-ek: 300 mA ... 800 mA ... több A



- Egy zöld színű LED-et szeretnénk egy 3,3V-os tápfeszültségről a 20mA munkapontban működtetni. A LED karakterisztikája adott.
- A kapcsolási rajz a következő:
- Az  $I_L=20\text{mA}$ -es ponthoz  $U_L=2\text{V}$  feszültség tartozik a karakterisztika alapján.
- A szükséges ellenállás tehát:
  - $R = \frac{V_{CC} - U_L}{I_L} = \frac{3,3 - 2}{20} = 65\Omega$
- Látható, hogy az előtét ellenálláson hővé alakuló energia a teljes rendszer hatásfokát rontja.
  - Éppen ezért nagyáramú, világítástechnikai célokra szánt LED-ek esetén nem előtétellenállást, hanem LED meghajtó áramköröket alkalmaznak.



Durchlassstrom<sup>2)</sup> Seite 15  
 Forward Current<sup>2)</sup> page 15  
 $I_F = f(V_F); T_A = 25^\circ\text{C}$





## Források, ajánlott irodalom, érdekességek

### 1. Félvezető eszközök működése

- Dr. Székely Vladimír: Elektronika 1. Félvezető eszközök (Műegyetemi Kiadó, 2001)

### 2. [A pn átmenet működése](#)

### 3. [Egyenirányító dióda szimulációja](#)

### 4. [LED lighting efficacy: Status and directions](#)