



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

Elektronika alapjai

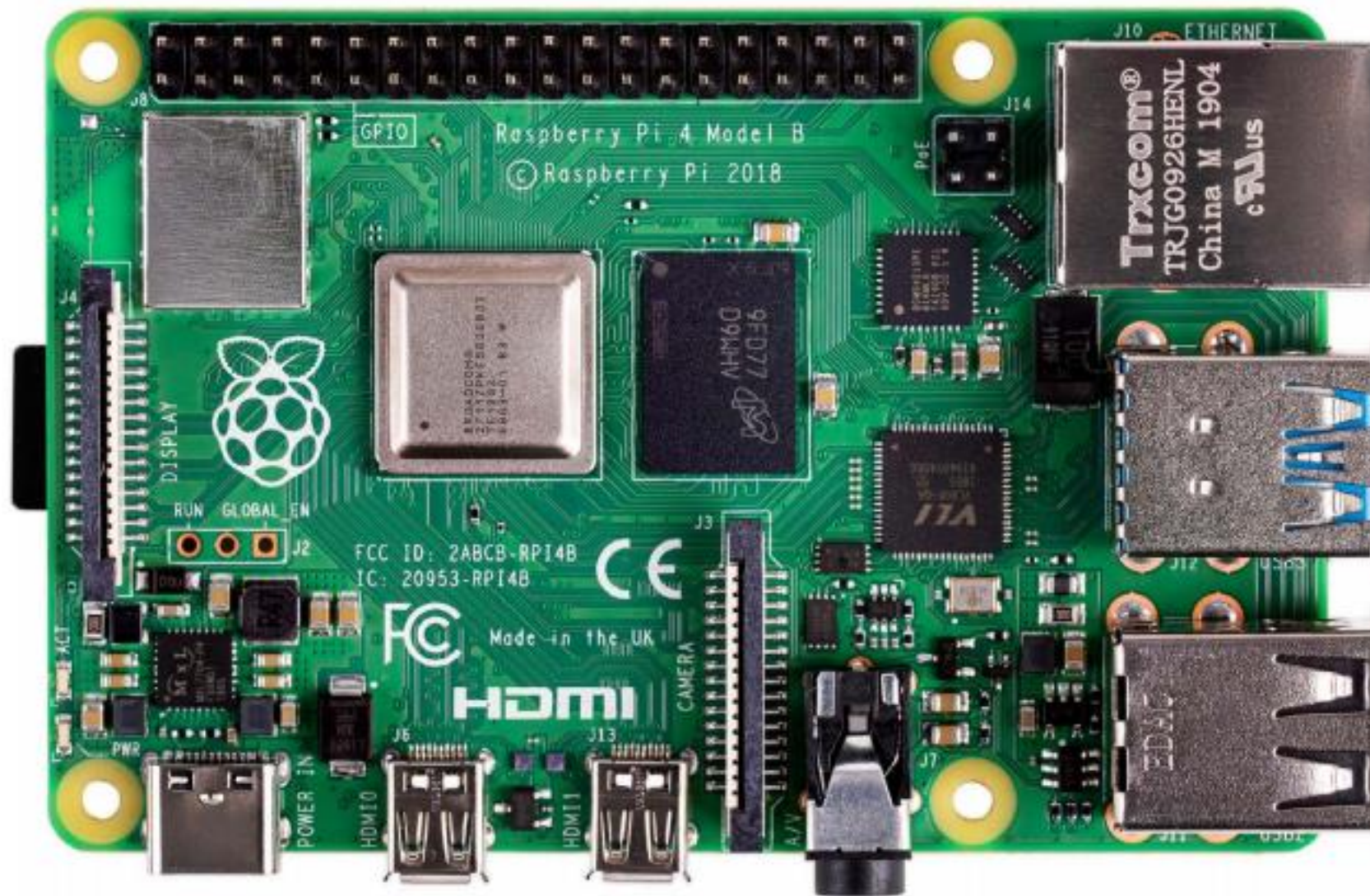
2. előadás

Passzív alkatrészek és félvezetők

Tartalom

- Alkatrészek
 - Passzív alkatrészek
- Félvezetők
 - Dióda
 - LED

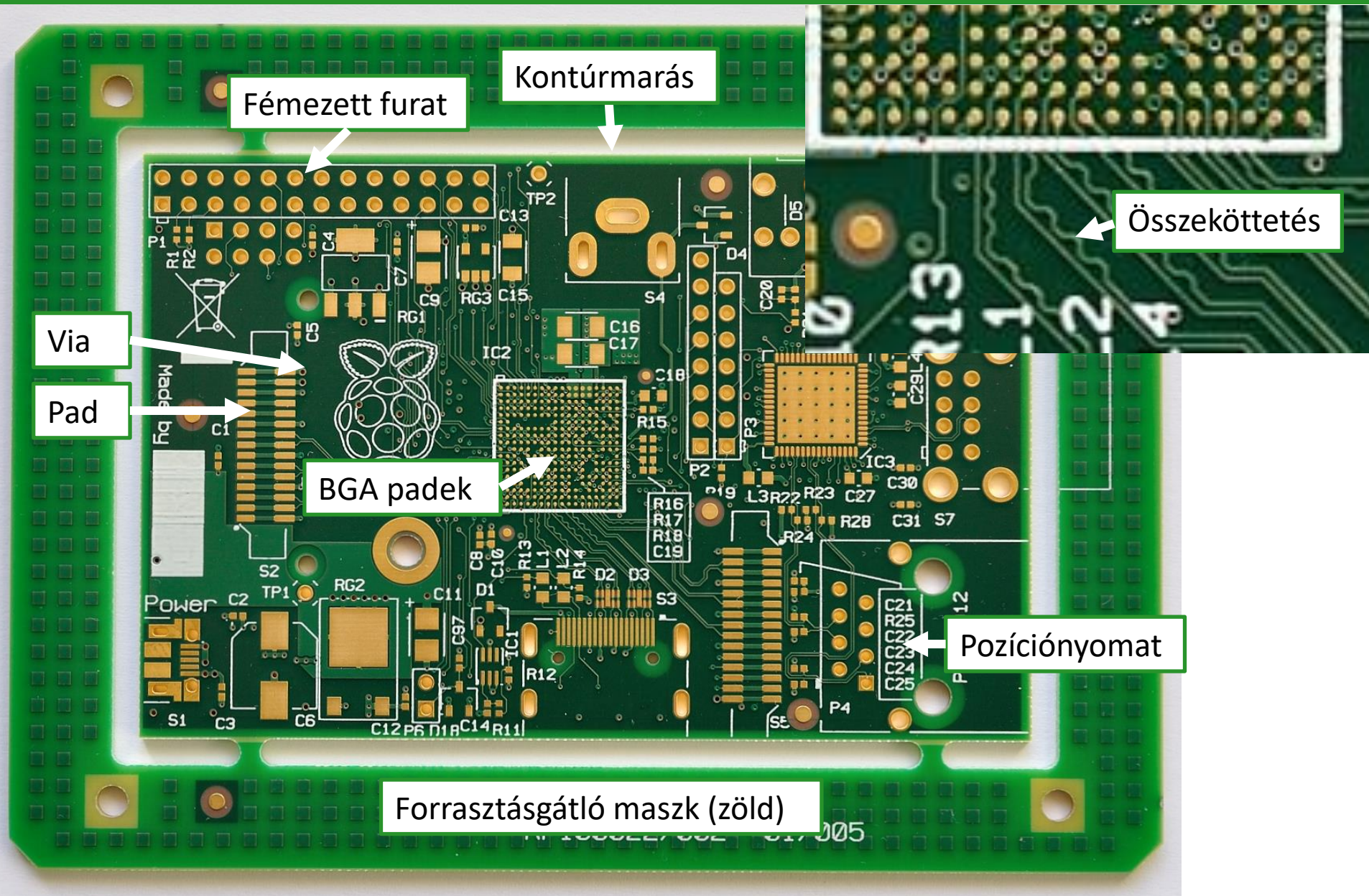
Példa: Raspberry Pi



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)

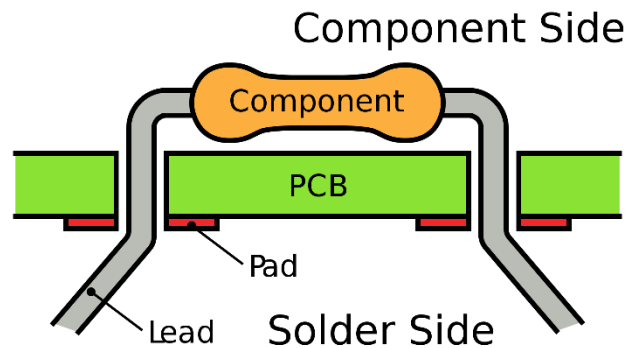


Alkatrészek

- 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



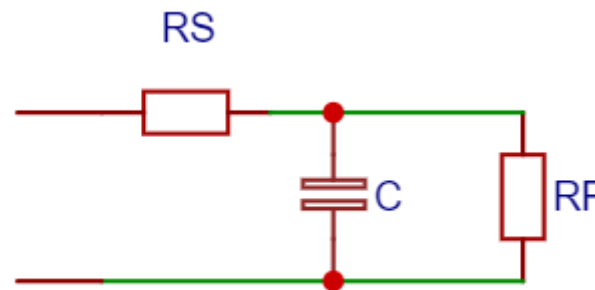
Felületre szerelhető (SMD) alkatrészek

- 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.

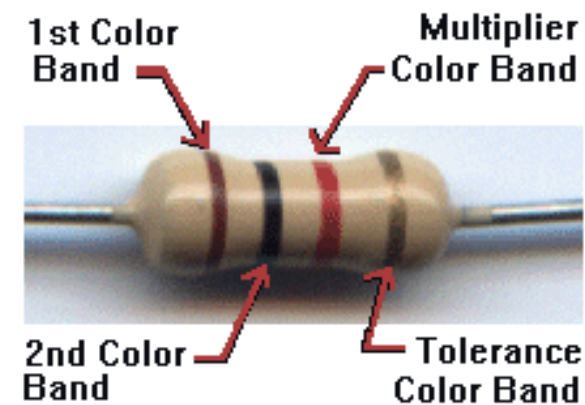


- Értéke függ a külső hatásoktól (hőmérséklet, megvilágítás, mágneses tér – szinte minden)
- Ezt a hatást majd az érzékelőknél részletezzük
 - Legfontosabb a hőmérsékletfüggés
 - Valamely paraméter, pl. ellenállás értéke megváltozik a hőmérséklettel.
 - A változást a legegyszerűbb esetben lineárisan 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 → $251 \cdot 10^2 = 25,1k\Omega$



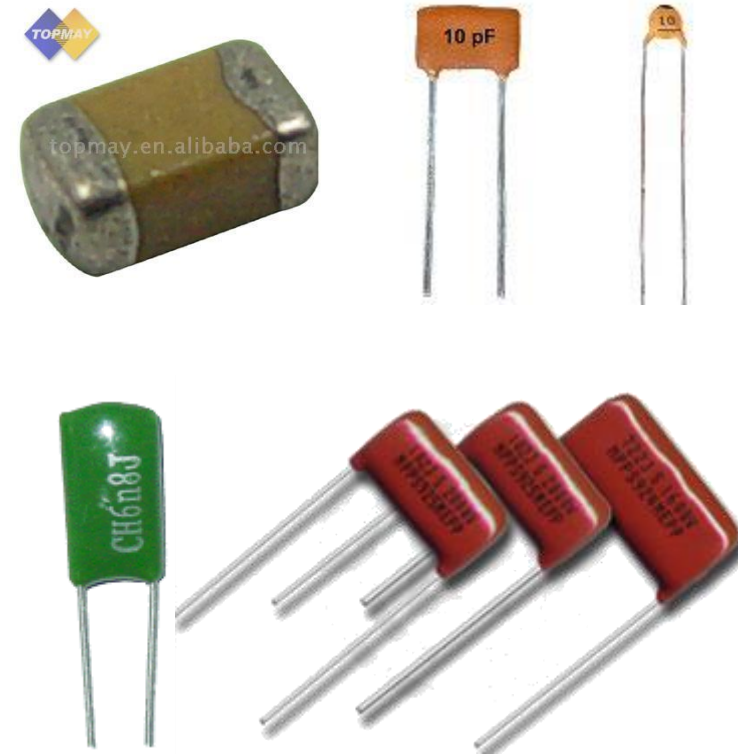
Ellenállások

▪ Speciális ellenállások

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

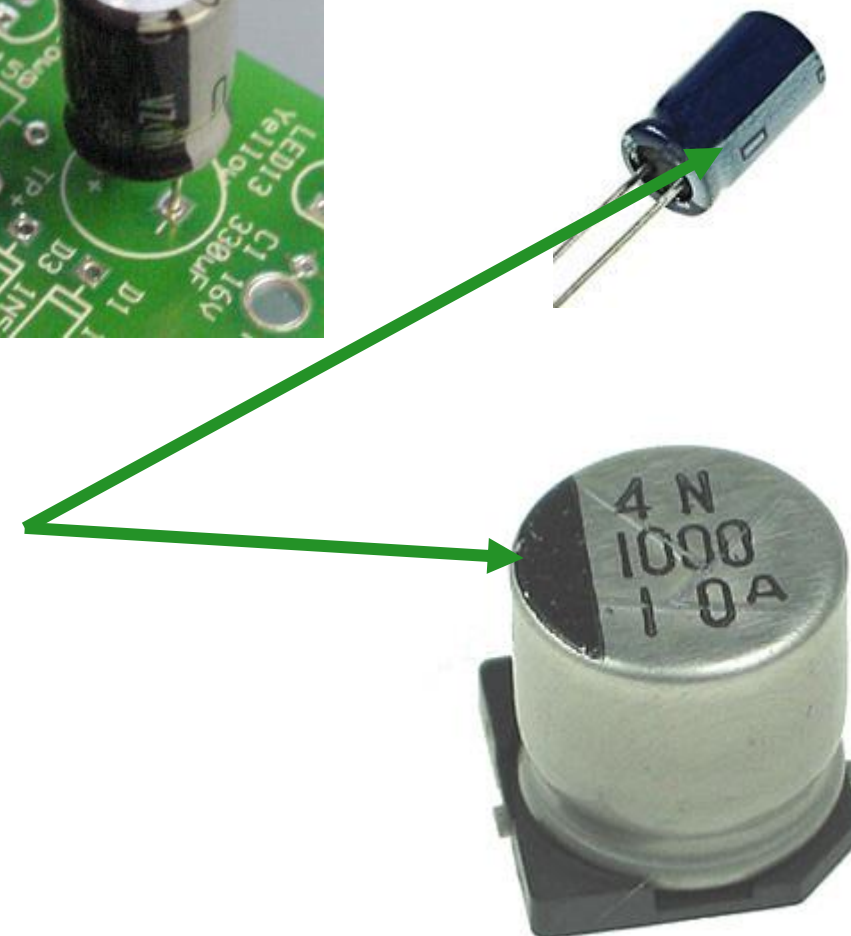
Kondenzátorok

- 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

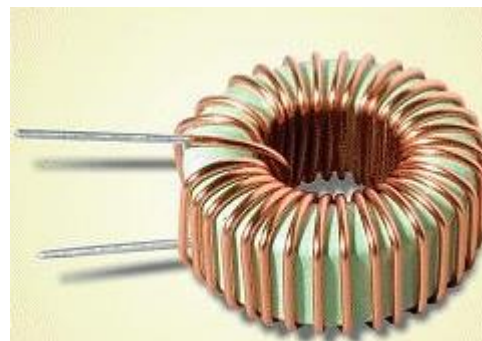
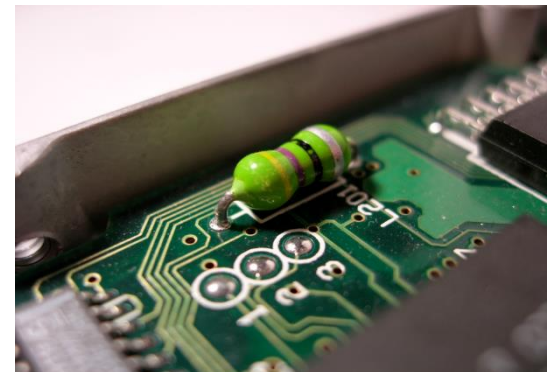


Elektrolit kondenzátorok

- Nagy kapacitásérték (tip. nF - 10000 μ 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 átalakítókban, energiatárolásra





Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

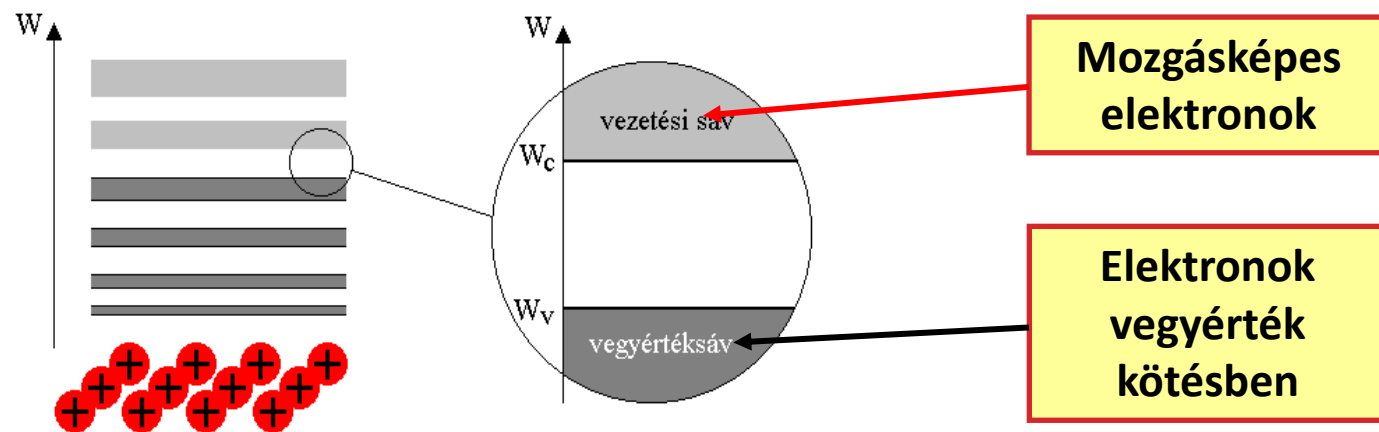
A félvezetők

Félvezetők

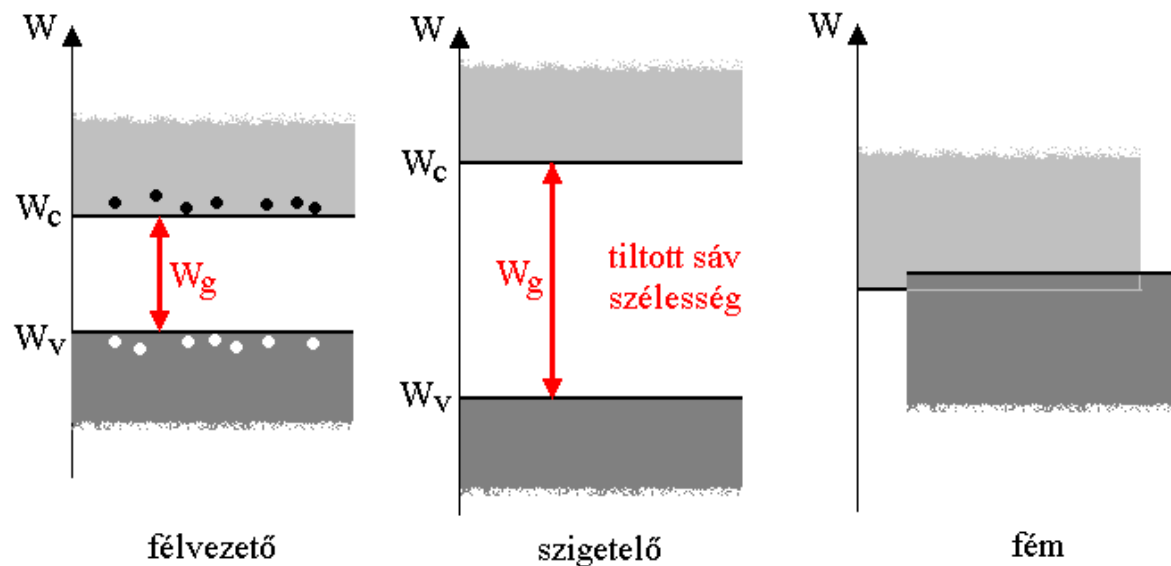
- Átmenetet képeznek a szigetelők és a vezető anyagok között.
- Vezetik az áramot.
 - NTC, azaz növekvő hőmérsékletre az ellenállásuk csökken. (ellentétben a fémekkel!)
- Fontosabb félvezető anyagok (önkényes és nem teljes felsorolás!)
 - Egykristályos, elemi félvezetők: Si, Ge (periódusos rendszer IV. 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.

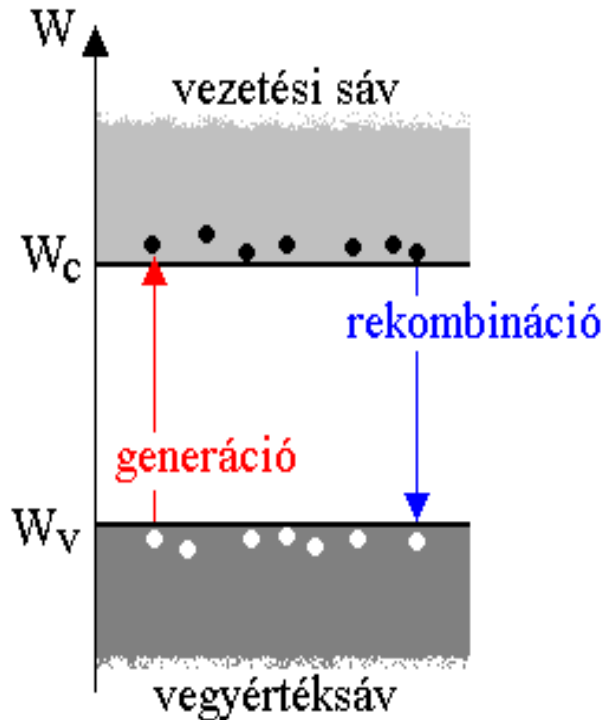


Vezetők, félvezetők és szigetelők



- 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, 1.6×10^{-19} J
 - Nagyobb hőmérsékleten megnövekszik a valószínűség, több lesz tehát a töltéshordozó. Azaz a félvezető ellenállása csökken, (NTC)

Töltéshordozók

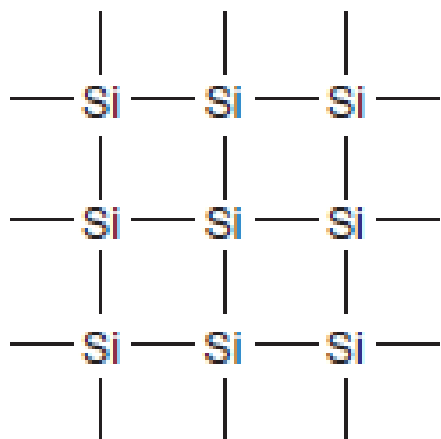


- Elektronok a vezetési sáv alján
- Lyukak (elektron hiányok) a vegyértéksáv tetején
- Mindkettő szolgálja az áramvezetést.
 - nemcsak az elektron, hanem az elektron hiány is el tud mozdulni.
- A „tiszta” (szakszóval intrinsic) félvezetőben viszonylag kevés töltéshordozó van.
 - Szilíciumban pl. $10^{10}/\text{cm}^3$,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

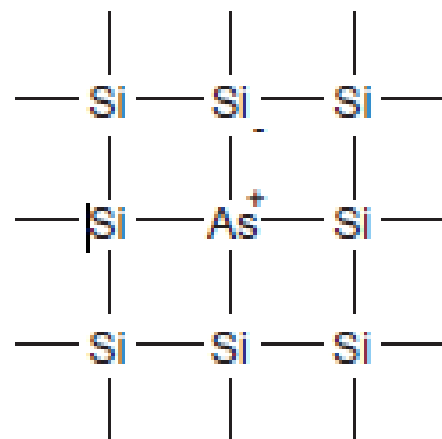
Adalékolás

- 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.

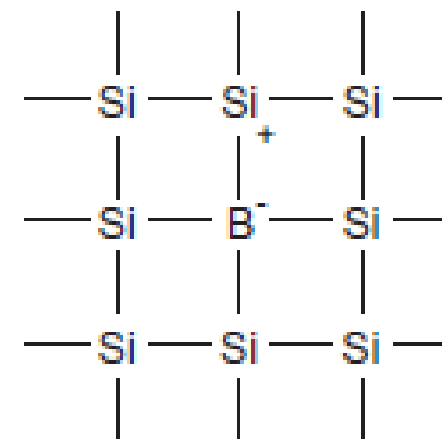
Példa: szilícium adalékolása arzénnel ill. bórral



intrinsic szilícium

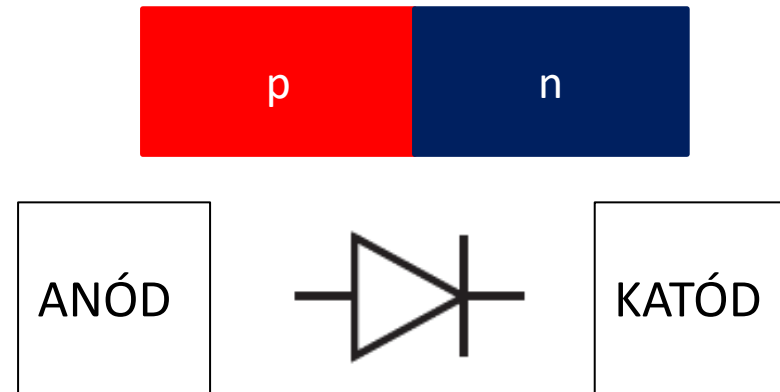


n szilícium



p szilícium

pn átmenet vagy félvezető dióda

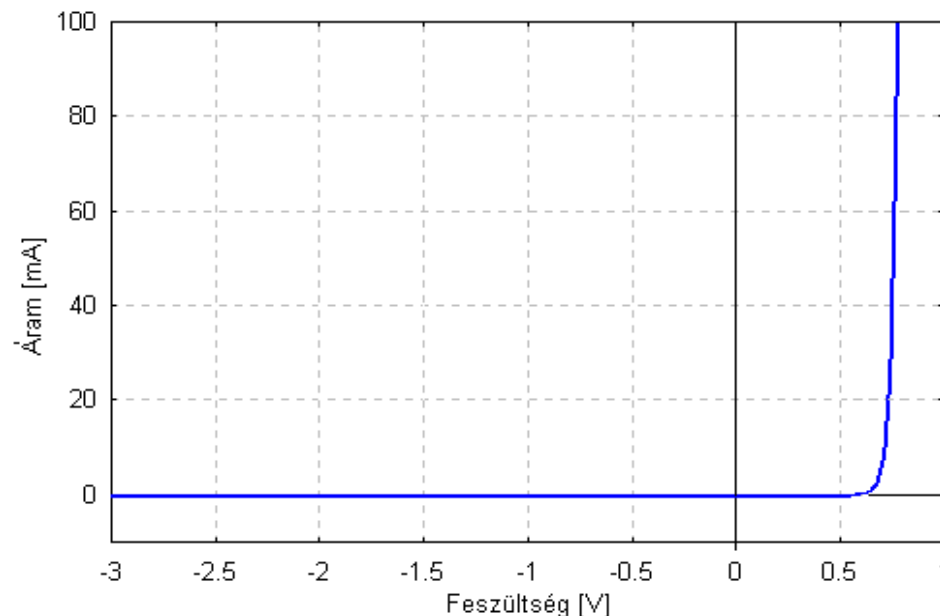


- Ahol a kristályban egy n és egy p zóna érintkezik kialakul egy ún. **pn** átmenet.
 - A p vezetékes területet szokásosan anódnak, az n vezetékes részt katódnak hívjuk
 - Ha az anód pozitívabb feszültségű, mint a katód, az átmenet nagy árammal vezet, az áram nagyjából exponenciálisan nő a feszültséggel, 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, $T=300 \text{ K}$)

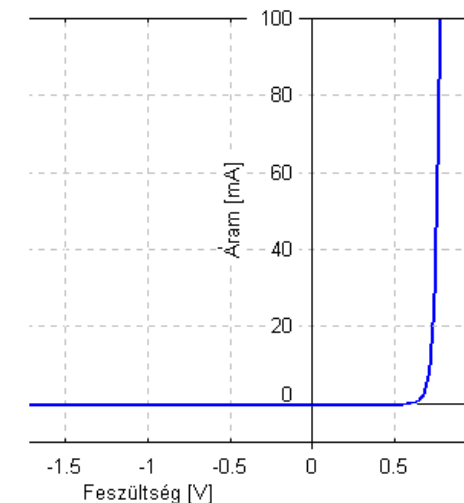
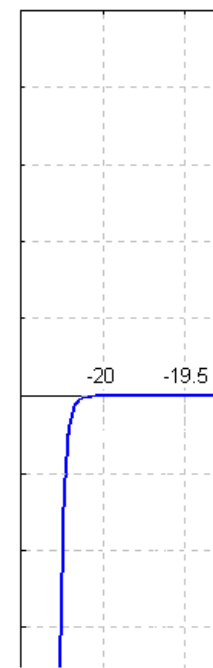


Nyitó (forward)
tartomány
 $I \sim \exp(V)$

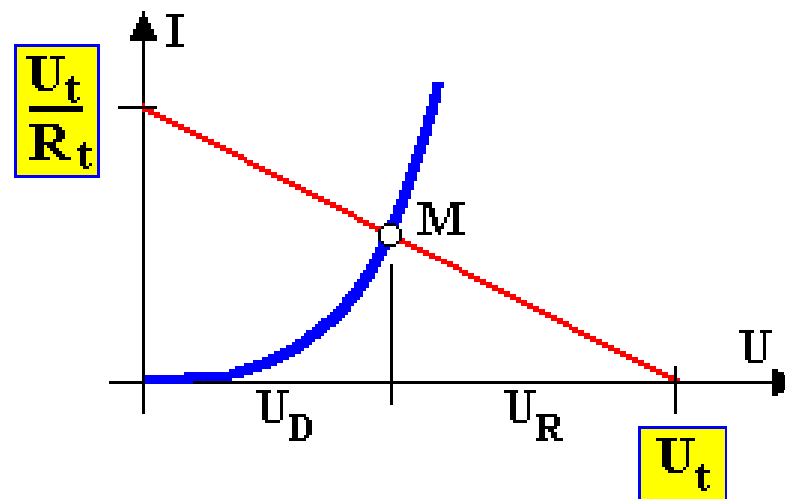
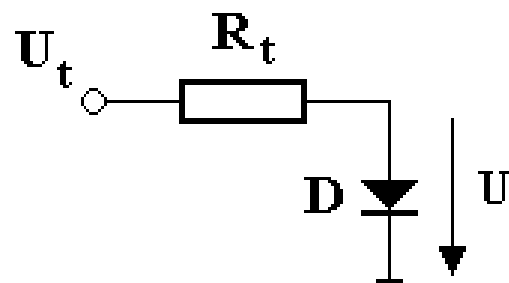
A dióda karakterisztikája

- 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.

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



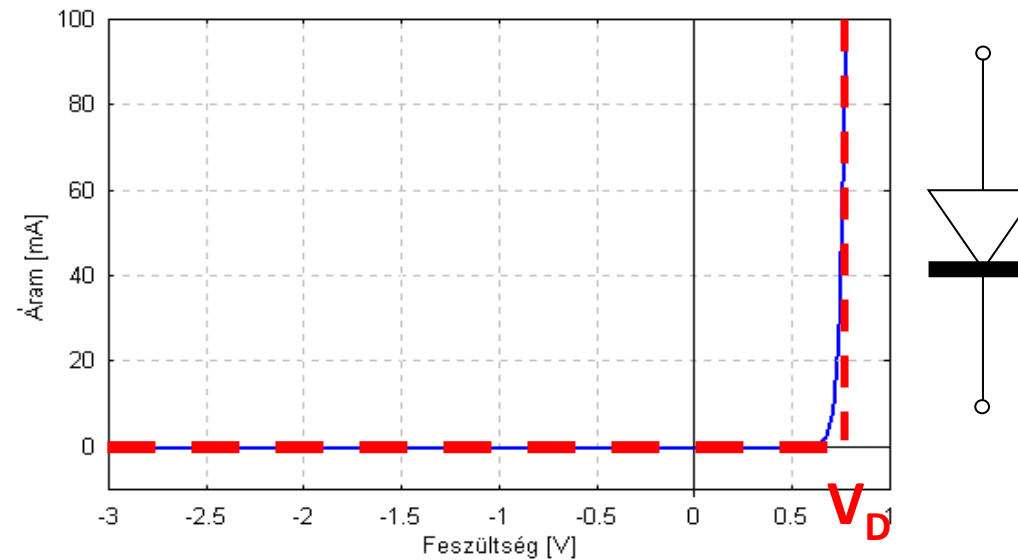
Dióda számítása



- 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 grafikusán adott – a szerkesztés könnyen elvégezhető.
- Ha a diódaegyenlet konstansai adottak, akkor pedig numerikusan megoldható.

Közelítő számítás

- Kihasználjuk, hogy az exponenciális függvény „meredek”



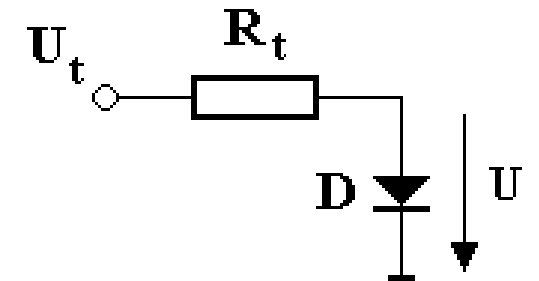
- A bekapcsolt (= nyitóirányú áramot vezető) diódát egy U_D feszültségforrással, a kikapcsolt diódát pedig szakadással helyettesítjük.
- A helyettesítő feszültségforrás feszültségét, V_D –t az adatlapból állapítjuk meg, Si diódára kb. 0,7V

Példa

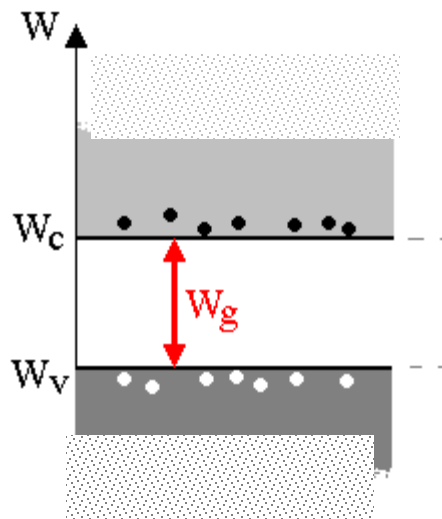
- Feltételezzük, hogy a dióda vezet.
 - Mivel az ellenállás egyik végén a tápfeszültség, másik végén közelítőleg a dióda feszültség van, ezért

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

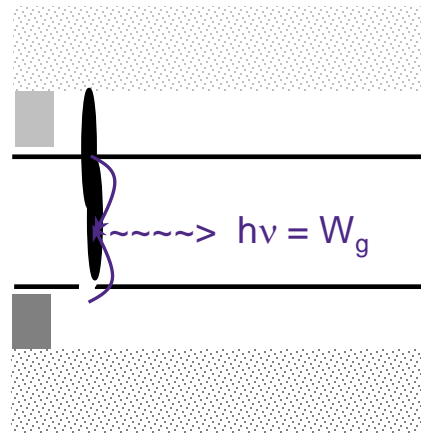
- Si diódára $V_D=0,7V$, legyen a tápfeszültség $5V$, az ellenállás pedig $1k\Omega$, ekkor a munkaponti áram:
 - $I = \frac{5-0,7}{1} = 4,3mA$



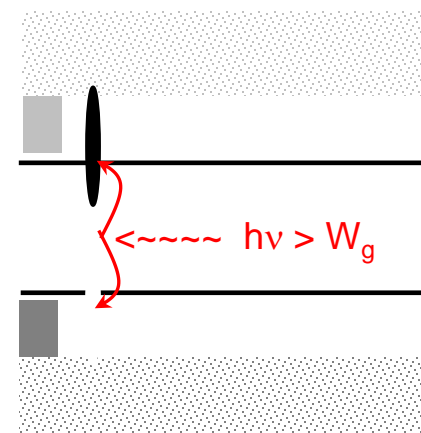
LED



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.

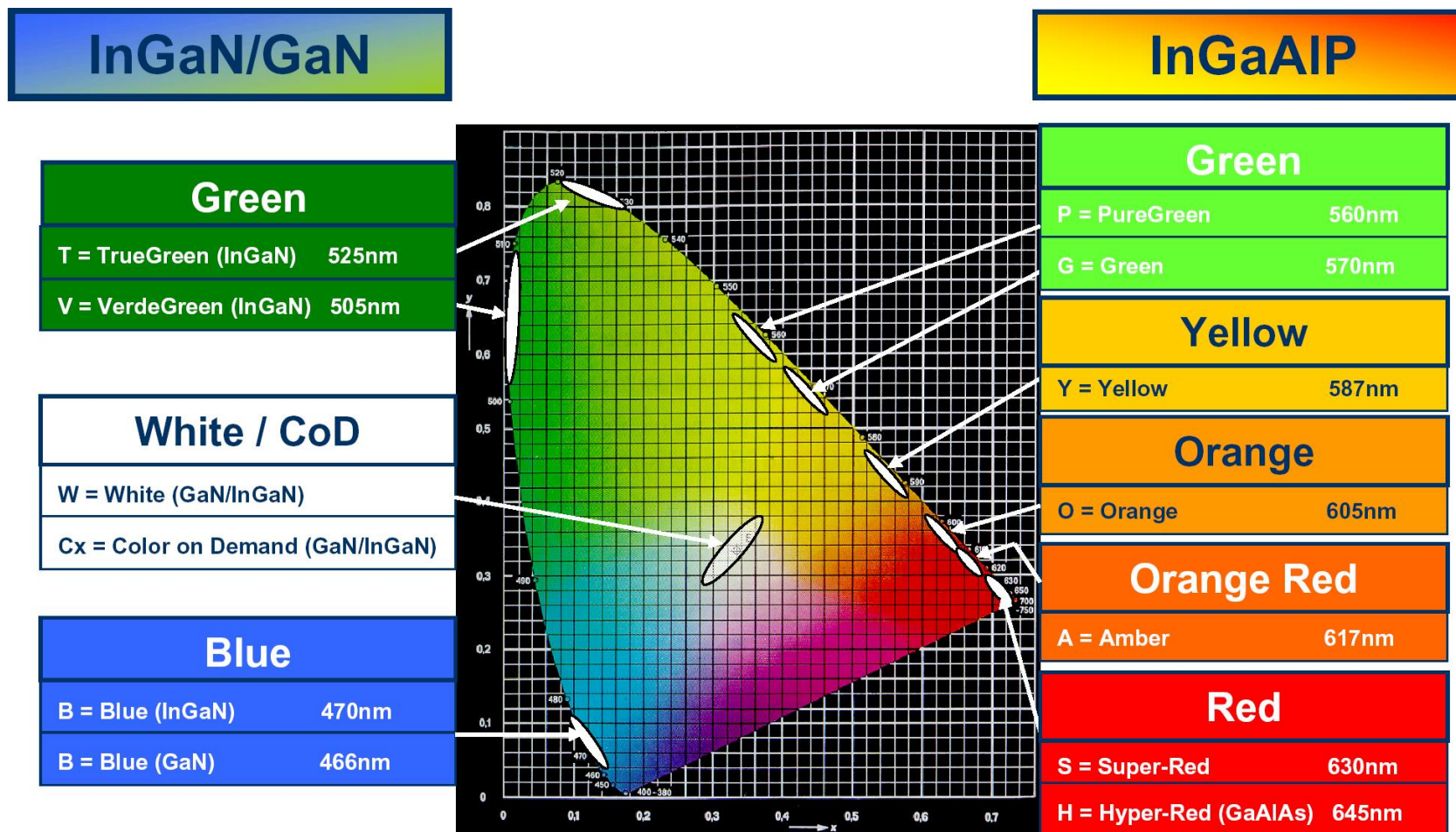
LED félvezetők

- 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

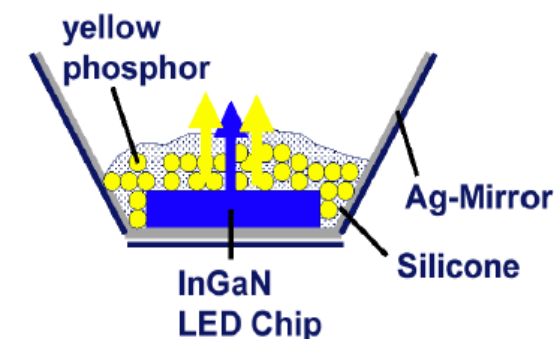
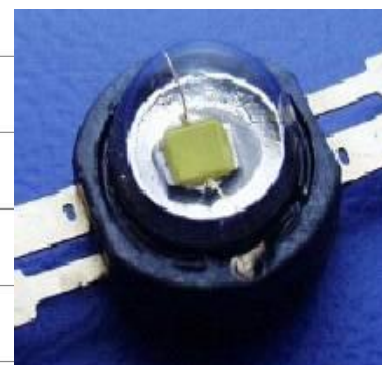
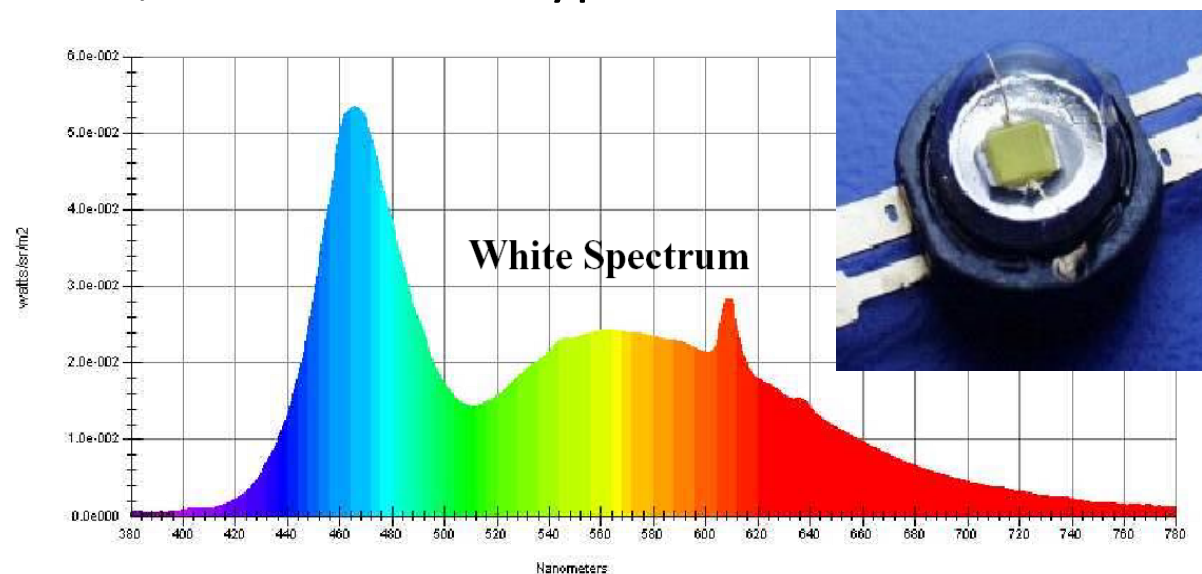
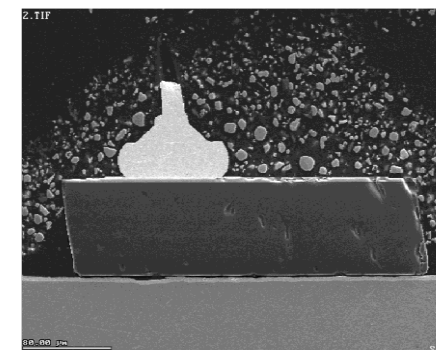
■ Két anyagrendszert használnak. Az elérhető színek

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



Fehér fény előállítása

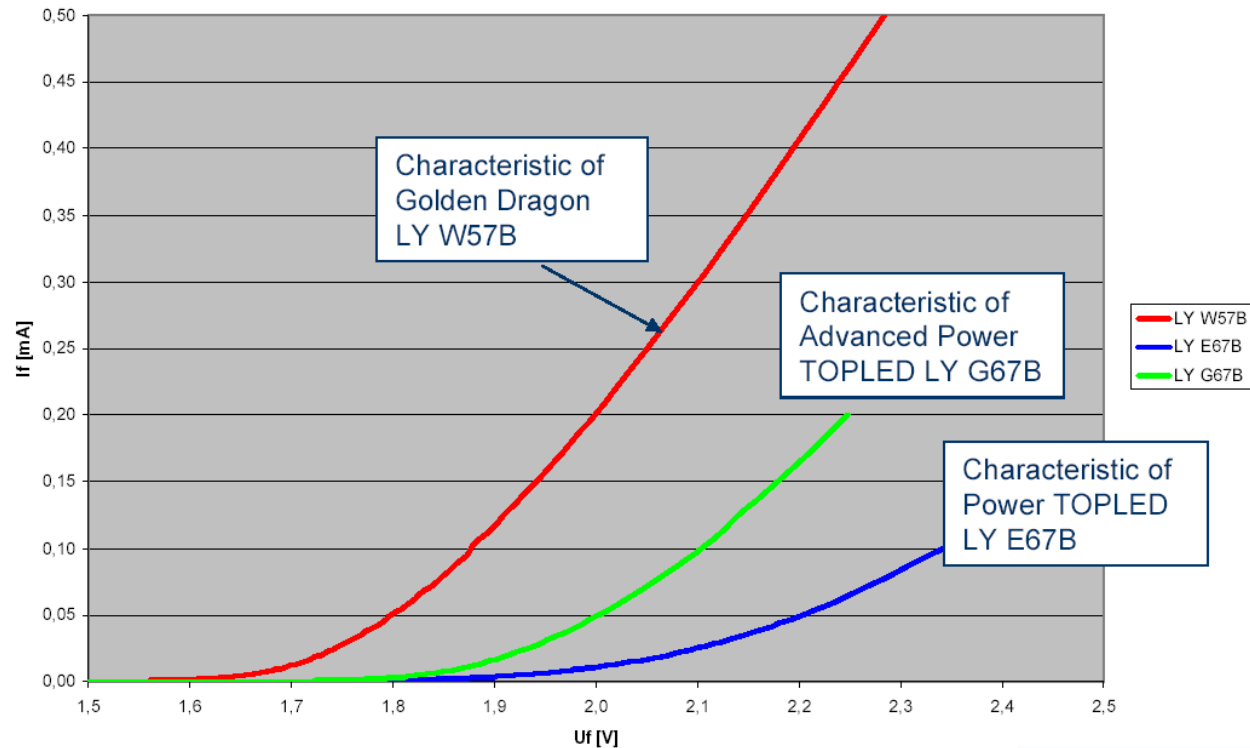
- RGB LED
 - A három alapszín tartalmazza
 - A színek aránya könnyen beállítható.
 - Azaz a R, G, B intenzitása külön szabályozható
- Kék LED + sárga fénypor
- UV LED + vörös, zöld és kék fénypor



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

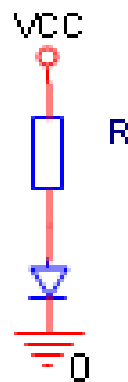
Elektromos karakterisztika



■ 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.

Durchlassstrom²⁾ Seite 15Forward Current²⁾ page 15 $I_F = f(V_F); T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 