

Polovodiče (elektrina)

Polovodiče mají za normální teploty odpor mezi izolanty a vodiči a nevýznamnější vlastností je, že se jejich **odpor s teplotou snižuje**¹

Polovodič nejsou ohmické materiály!

Polovodiče:

- Křemík (Si)- monokrystaly- nejčastěji (viz níže)
- Germanium (Ge)
- Selen (Se)
- Tellur (Te)
- Grafit (C)
- Sulfid olovnatý (PbS)
- Sulfid kademnatý (CdS)
- Arsenid gallia (GaAs)

Vlastnosti:

- Na rozdíl od kovů, mají velmi málo volných nábojů, tento počet však s teplotou roste (hustota elektronů není konstantní, jako je tomu v kovech)
- Na rozdíl od izolantů, jejich elektrony mají relativně nízkou ionizační energii a snadno opouští valenční vrstvy
- Zahřátí / fotoelektrický efekt → uvolnění elektronů → snížení odporu

Elektrický proud v polovodičích

Vlastní vodivost

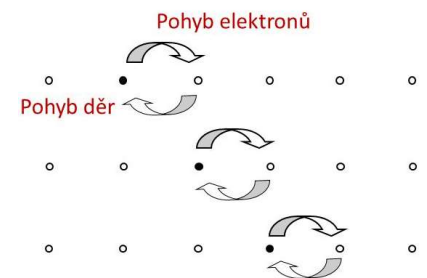
Např.: křemík má 4 vazebné elektrony, které v jeho monokrystalu tvoří kovalentní vazby, ty mají velmi malou energii vazby a po dodání tepelné energie opouští orbital a podílí na tvorbě proudu

Díra- prázdné místo po uvolnění elektronu- de facto, má vlastnosti kladného náboje (kation Si) a může se „pohybovat“, pokud elektron přeskočí na její místo → dojde rekombinaci nosičů náboje a vytvoří se tak „nová“ díra na jiném atomu

Proud o dvou nábojích- dochází jak k pohybu děr rekombinací nosičů náboje, tak k pohybu elektronů standartním způsobem

Při dané teplotě existuje dynamické ekvilibrium mezi uvolňováním elektronů a rekombinací nosičů náboje, tedy právě jedna hodnota vodivosti

S rostoucí teplotou stoupá **generace nosičů náboje** i elektronová hustota → vyšší vodivost



Základní typy čistých polovodičů:

¹ Zvyšující se odpor kovů je způsoben tím, že všechny elektrony víceméně volné a jedinou vznikající překážkou jsou čím dál více kmitající kationty

- Termistor
 - Záporný teplotní součinitel odporu (α) → odpor klesá s teplotou
 - Složení: slisovaná směs oxidů (např. TiO_2 , CuO , NiO , Fe_2O_3)
 - Využití: měření a regulace teploty
- Fotorezistor
 - Odpor klesá při dopadu fotonů
 - Složení: většinou sulfid kadmnatý (CdS)

Příměsová vodivost

Vlastní vodivost se používá jen výjimečně (fotorezistory, termistory) a často je nežádoucí (chlazení)

Naprostá většina polovodičových součástek obsahuje malé množství substitučních příměsí ve své mřížce, které zvyšují vodivost tisícinásobně:

Polovodič typu N

Do křemíku se přidávají atomy s 5 valenčními elektrony (P, As, Sb):

Elektronová vodivost:

- Z 5 valenčních elektronů se na vazbě v krystalu podílí pouze 4
- Zbývá 1 elektron je vázán velmi slabě a již při nízkých teplotách se může pohybovat → elektronový proud
 - **Majoritní nosiče náboje- volné elektrony** od příměsí
 - **Minoritní nosiče náboje- díry**

Donory- atomy příměsí, které poskytnou elektron a stanou se nepohyblivými kationty

Polovodiče typu P

Do křemíku se přidávají atomy se 3 valenčními elektrony (B, Al, Ga, In)

Děrová vodivost:

- Příměs se naváže pouze 3 valenčními elektrony a na křemíku vznikne díra
 - **Majoritní nosiče náboje- díry**
 - **Minoritní nosiče náboje- volné elektrony** od křemíku

Akceptory- atomy příměsí se stávají nepohyblivými zápornými ionty (do vytvořené díry přeskakují elektrony)

Elektrický proud

$$I = I_e + I_D$$

Na výsledném proudu se podílí tok děr (od + k -) i tok elektronů (od - k +)

Příměsová vodivost prakticky závisí pouze na množství a typu příměsí, hustota volných nábojů příměsového původu je téměř konstantní

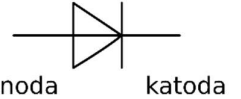
S teplotou se projevuje pouze vlastní vodivost

Polovodičová dioda (přechod PN)

Přechod PN- přechod mezi dvěma oblastmi polovodičového krystalu s opačnými typy vodivosti

Diodový jev:

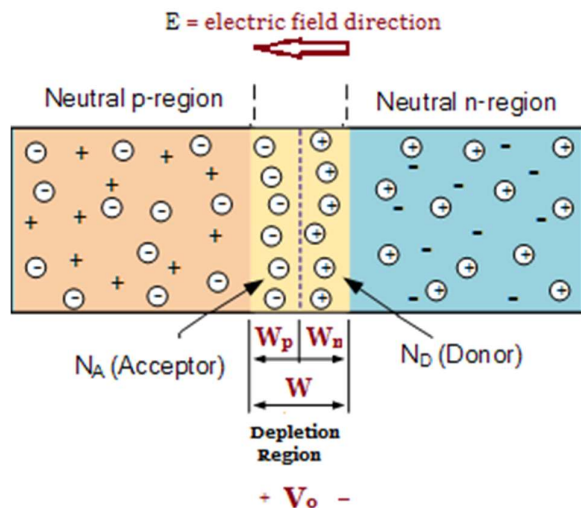
- Anodu (P- záporné akceptory) a katodu (N- kladné donory) odděluje přechod PN
- **Propustný směr zapojení**- proud prochází od anody ke katodě (ve směru šipky) → **nízký odpor**
- **Závěrný směr zapojení**- proud prochází od katody k anodě (proti směru šipky) → **odpor je obrovský**



Polovodičová dioda- 1 přechod PN

Diodový jev

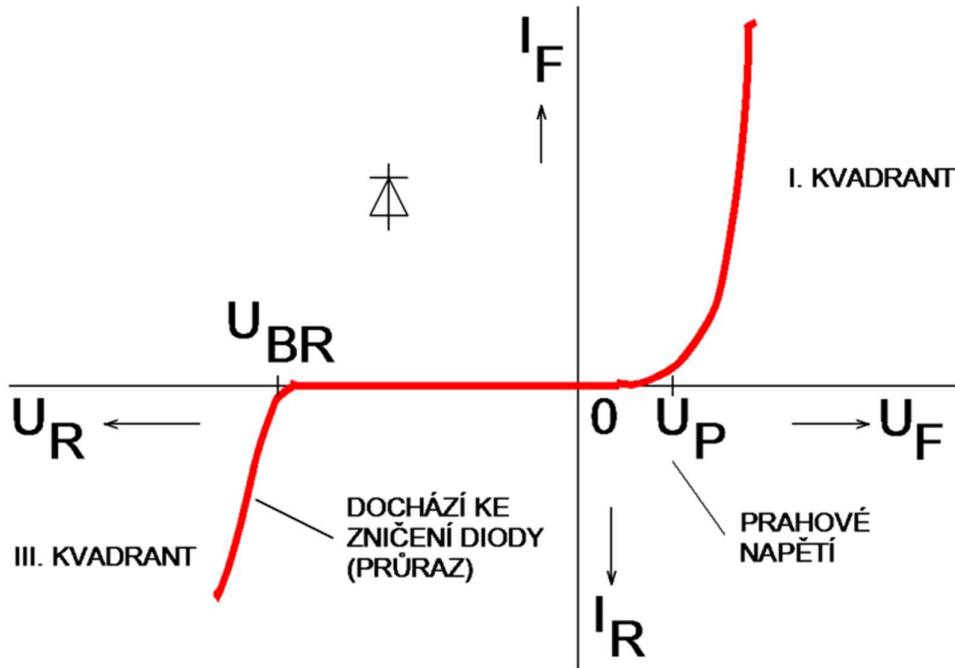
- Majoritní nosiče P: kladné díry
- Majoritní nosiče N: volné elektrony
- Na přechodu PN dochází díky difúzi elektronů k rekombinaci nábojů → neutrální tenoučká hradlová vrstva
- Volné částice rekombinovány → převládá působení nepohyblivých iontů → elektrické pole směřuje od N (kationtové donory) k P (aniontové akceptory)- tzv. difúzní napětí
- Propustný směr- opačné elektrické pole → potlačení hradlové vrstvy → nižší odpor
- Závěrný směr- elektrické pole ve směru vnitřního diodového → rozšíření hradlové vrstvy → vyšší odpor (téměř nevodivá) + pouze nízký proud menšinových nosičů



Voltampérová charakteristika diody

Diody jsou nelineární součástky- neřídí se ohmovým zákonem!

- Propustný směr (**index F**)- potenciál anody je vyšší, než potenciál katody (konvenčně I. kvadrant)
- Závěrný směr (**index R**)- potenciál katody je vyšší, než potenciál anody (konvenčně III. kvadrant)
- Prahové napětí (**U_P**)- propustný směr- po jeho překročení začíná odpor exponenciálně klesat k nule (např. Si asi 0,6V)- překonání hodnoty difúzního napětí
- Průrazné napětí (**U_{BR}**)- závěrný směr- po jeho překročení dochází ke zničení diody a prudkému poklesu odporu



Usměrňovací diody- používají se k průchodu proudu obvodem pouze v jednom směru

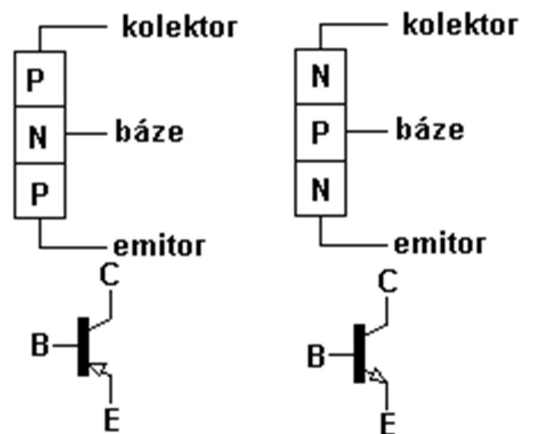
Tranzistor

Součástka s dvěma PN přechody (1 vrstva X a 2 vrstvy Y)- 3 konektory vedou k všem součástem krystalu:

- Báze (B)- střední část krystalu- zpravidla velmi malá
- Kolektor (C)
- Emitor (E)

Typy tranzistorů:

- NPN- šipka od báze k emitoru
- PNP- šipka od emitoru k bázi



Tranzistorový jev

- 1) Tranzistor typu NPN
- 2) Kolektorový obvod- NPN je připojený přes kolektor a emitor ke zdroji napětí → ampérmetr neukáže téměř žádnou výchylku
- 3) Obvod báze- do obvodu připojíme rezistor mezi kladný pól zdroje napětí a bázi tranzistoru → Ampérmetr ukáže výchylku

Malé napětí v obvodu báze vzbuzuje mnohokrát vyšší kolektorový proud

- Elektronky z emitoru pronikají do báze, kde je dostatek děr, ale v bázi jsou elektrony minoritní → přechází tedy na kolektor s kladným potenciálem
- Bázový proud- jen malá část elektronů z emitoru rekombinujících se v bázi
- Kolektorový proud- většina elektronů přecházejících na kolektor

→ tranzistory se používají k zesílení proudu (např. akustické zesilovače- malý proud z mikrofону na velký proud reproduktorů, při zachování relativních poměrů)

Převodní charakteristika tranzistoru

Závislost kolektorového proudu na proudu báze [$I_C = f(I_B)$]- téměř lineární

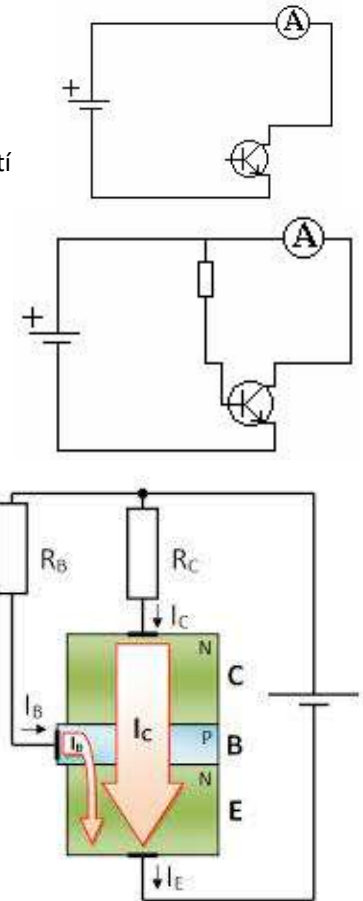
Proudový zesilovací činitel (β)- násobení proudu při konstantním napětí:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \bigg|_{U_{CE}} = \text{const.}$$

Proudový zesilovací činitel bývá řádově 100

Bipolární a unipolární tranzistory

- a) Bipolární tranzistor (viz výše)- proud tvoří elektrony i díry
- b) Unipolární tranzistor (FET- Field Effect Transistor)- pouze jeden typ nosičů- kolektorový proud je řízen elektrickým napětím (ergo elektrickým polem)



Proud (imaginárních kladných nábojů)