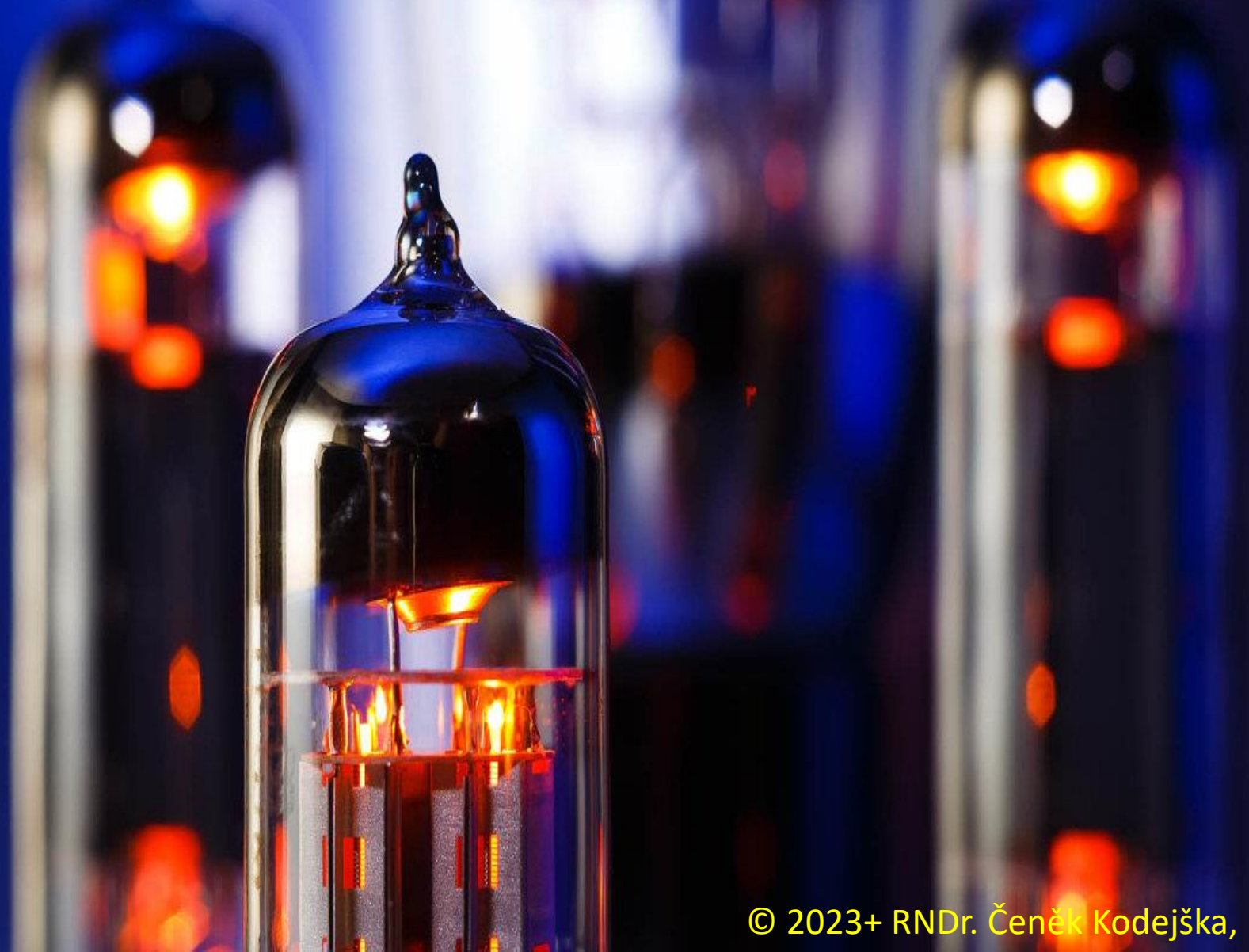


Elektrický proud v polovodičích



21. Elektrický proud v polovodičích – vlastní vodivost

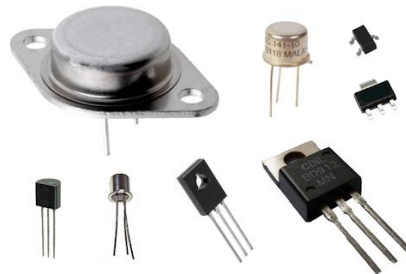
- Polovodičové prvky (diody, tranzistory, integrované obvody) mají velký význam pro rozvoj a miniaturizaci elektroniky (rádia, TV, mobily, PC)



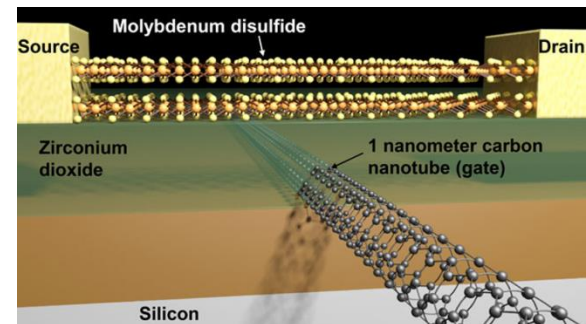
Nick Holonyak (*1928) – objevitel LED diody (1962)



cca 15 cm = 10^{-1} m



cca 5 mm = 10^{-3} m (1980)

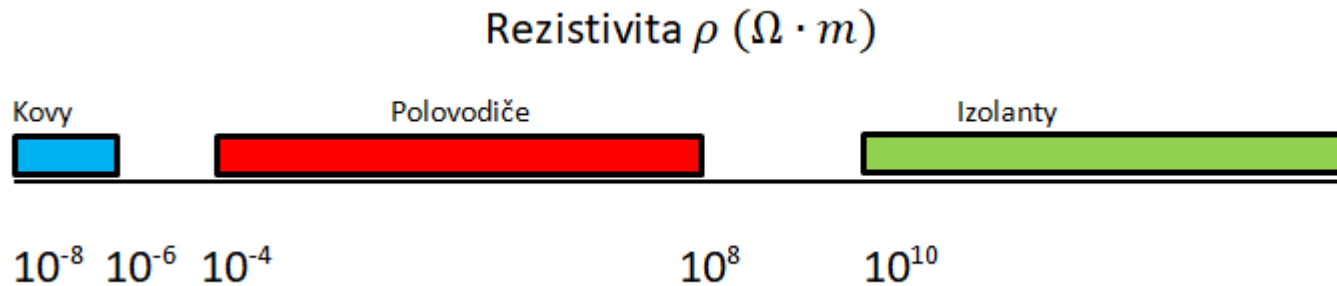


cca 1 nm = 10^{-9} m (2016)

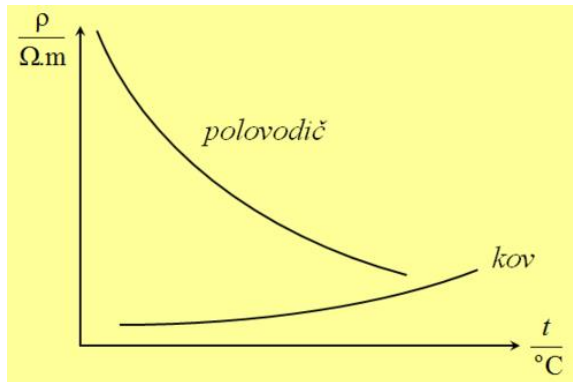
John Bardeen (1908-1991), Walter Brattain (1902-1987), William Shockley (1910-1989)

– 1. tranzistor, Nobelova cena za fyziku 1956

21. Elektrický proud v polovodičích – vlastní vodivost



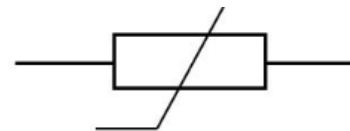
Závislost odporu na teplotě



- **Vodič (kov):** s rostoucí teplotou roste odpor (téměř lineárně)
- **Polovodič: s rostoucí teplotou klesá odpor** (částečně lineárně)
Př. termistor – digitální teploměry, regulace teploty



termistor



schematická značka

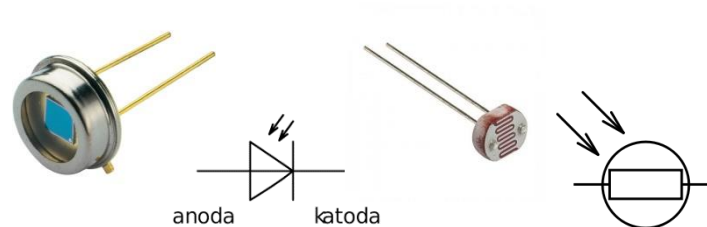
Závislost odporu na světle

- **Fotodioda, fotorezistor**

Př. optické brány, optoelektronické prvky, TV ovladače, solární články

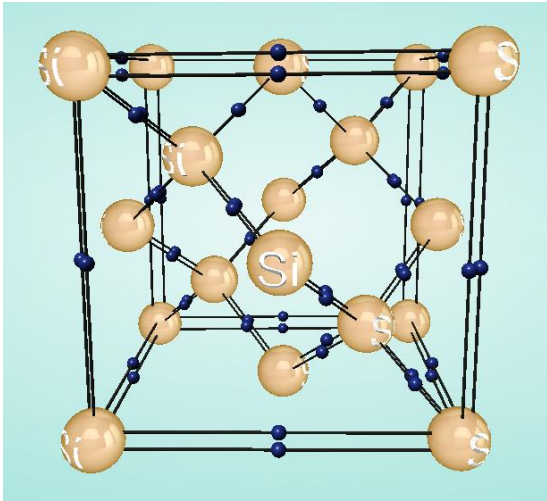
prvky: Si, Ge, Se, Te, C

sloučeniny: PbS, CdS, GaAs, Fe₂O₃, CuO, NiO

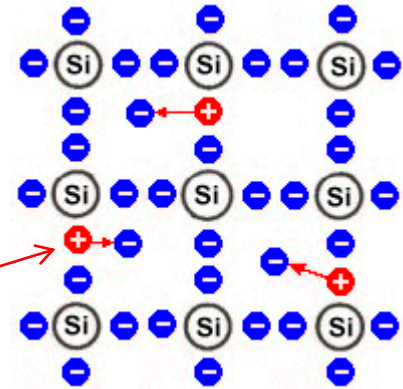


21. Elektrický proud v polovodičích – vlastní vodivost

Vlastní polovodiče



- velmi čistý krystalický křemík Si, Ge (čistota 99,9999 % - 1 cizí částice na 10 000 atomů Si)
- Při pokojové teplotě mají elektrony dost energie, aby se uvolnily z vazby
- Si: 14 e⁻: 10 vázaných a 4 vodivostní
- uvolní-li se elektron z vazby, zůstane na jeho místě **kladná díra** (neobsazené místo ve vazbě)



Generace a rekombinace

- **Generace:** uvolněním elektronu z vazby vlivem teploty → **vzniká pár elektron-díra**
- **Rekombinace:** **zánik páru elektron-díra** → elektron zaplní kladnou díru (splyne s ní)
- Generace a rekombinace probíhá v polovodiči současně v celém objemu polovodiče v počtu cca 10^{17} - 10^{20} generací - rekombinací za 1 ms v 1 cm^3

Vlastní vodivost

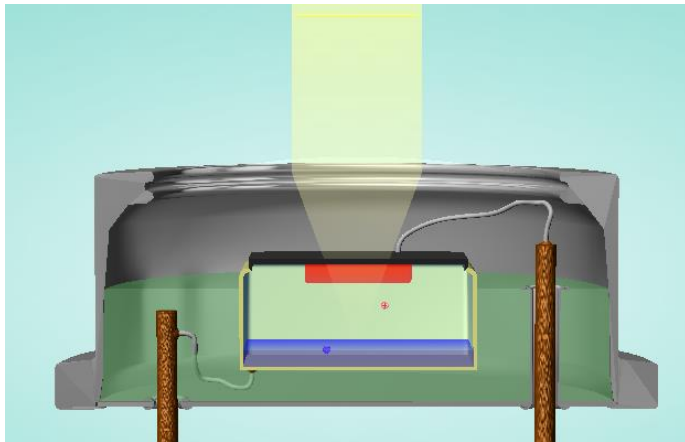
- **děrová:** pohyb kladných děr → **zdánlivý pohyb** → **při zaplnění díry elektronem vzniká díra na jiném místě a vzniká dojem, že polovodičem se pohybuje kladná díra**
- **elektronová:** **reálný pohyb volných elektronů** → elektron zaplní kladnou díru (splyne s ní)
- **Vnitřní fotoelektrický jev** – generování páru elektron-díra vlivem světla (fotodiody)

21. Elektrický proud v polovodičích – vlastní vodivost

Corinth 3D - Lifeliqe - fotodioda



[fotodioda](#)



Poznámky k modelu

Fotodioda typu PIN, jejíž řez vidíme na modelu, má oproti klasickému PN přechodu mezi polovodičem typu P (v modelu červeně) a polovodičem typu N (v modelu modře) **vnitřní vrstvu I** (v modelu světle modře) s **minimálně dopovaným polovodičem**.

Na modelu vidíme, že světlo dopadající do oblasti I způsobí díky tzv. **vnitřnímu fotoelektrickému jevu vznik páru elektron-díra**. Tento proces, který nazýváme **generace páru elektron-díra**, je opačným jevem k rekombinaci. Volné elektrony pak zvyšují vodivost PN přechodu a je-li dioda zapojena do obvodu v závěrném směru, vzniklý **závěrný proud** I_B (back current) je **přímo úměrný intenzitě osvětlení**. Elektrony, které vznikají při procesu generace páru elektron-díra, se pohybují směrem ke katodě, kladné díry směrem k anodě.

Tato **lineární závislost proudu na osvětlení** je pak využívána v praxi při konstrukci fotodetektorů v **luxmetrech** (přístroj měřící osvětlení), **expozimetrech** (ve fotoaparátech) nebo v automatizaci jako členy **optických bran**.

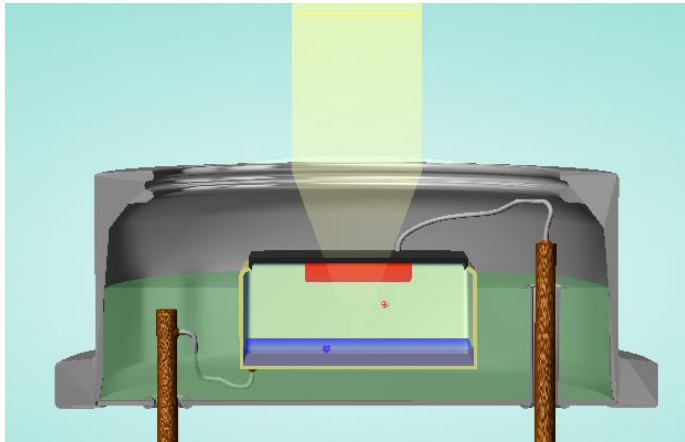
V domácnosti najdeme fotodiodu v **automatických spínačích světla** závislých na osvětlení, nebo jako **přijímací diodu**, která je součástí televizoru, CD přehrávače či jiné **domácí elektroniky**, kde reaguje na IČ světlo vysílané diodou dálkového ovladače přístroje. Fotodiody uspořádané do tzv. **polí**, ve kterých jsou uspořádány stovky až tisíce těchto prvků, jsou např. **součástí CCD snímačů** v digitálních fotoaparátech nebo kamerách.

21. Elektrický proud v polovodičích – vlastní vodivost

Corinth 3D - Lifelique - fotodioda



[fotodioda](#)



Teorie

V **propustném směru** se fotodioda, která není osvětlena, chová jako **klasická křemíková dioda**. Toto zapojení nemá ale v zásadě **žádné využití**. V **závěrném směru** může fotodioda pracovat buď ve **fotovodivostním režimu** (stejně jako fotorezistor), nebo ve **fotovoltaickém**, kdy se chová jako **zdroj napětí**. Této vlastnosti využívají např. fotovoltaické (solární) články.

Světlo dopadající do oblasti PN přechodu může mít různou vlnovou délku. Energie fotonů světla musí být dostatečně velká, aby došlo k **excitaci elektronů z valenčního pásu do vodivostního**.

Pro oblast UV, viditelného světla a IČ oblasti se používají křemíkové diody (190-1100 nm). Pro větší vlnové délky lze použít germaniové diody (400-1700 nm), které mají pomalejší odezvu na změnu osvětlení nebo rychlejší InGa As diody (800-2600 nm).

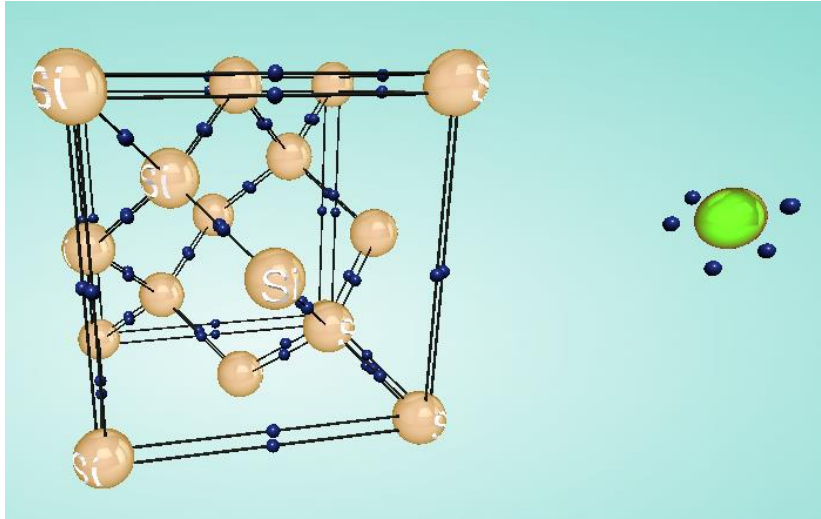
Lavinová dioda, pracující jako fotodetektor s vysokou citlivostí, našla využití v astronomii, spektroskopii, pozitronové emisní tomografii nebo v detektorech částic (CERN).

LED dioda (light-emitting diode) pracuje opačně než fotodioda. Napětí přivedené v propustném směru na vysoce dotovaný PN přechod způsobí **rekombinaci velkého počtu volných elektronů a kladných děr v ochuzené oblasti**, která je široká jen několik mikrometrů. Při rekombinaci dochází k přeskoku elektronů z vyšších hladin na nižší a k vyzáření fotonů – světla určité vlnové délky. LED diody dnes nahrazují klasické zdroje světla (žárovky, zářivky), protože mají při stejné svítivosti mnohem menší spotřebu elektrické energie.

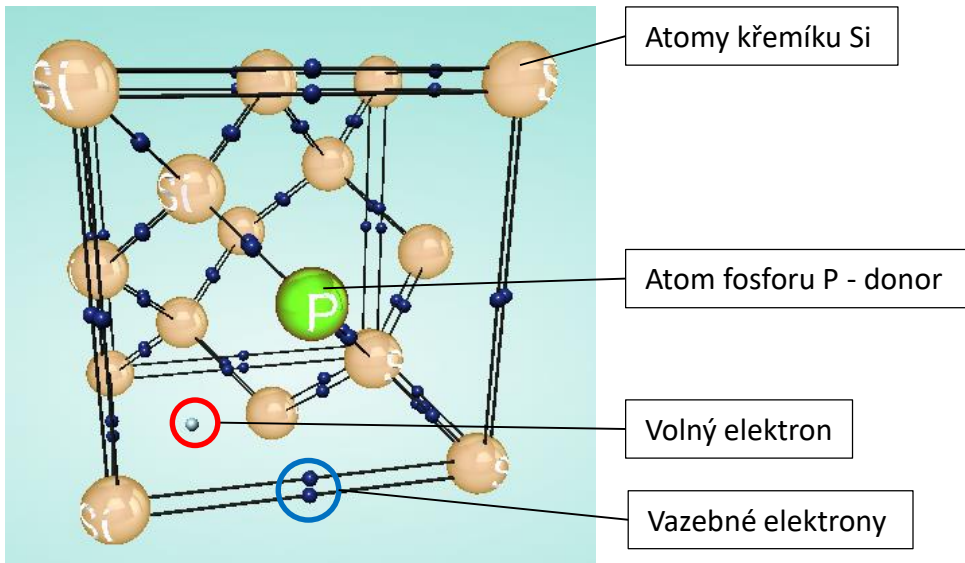
Laserová dioda pracuje na podobném principu jako dioda LED. Konstrukčně je upravena tak, aby **emitované světlo** bylo téměř **monochromatické a koherentní**, čímž se blíží vlastnostem klasického laserového světla. První laserová dioda byla vyrobena v laboratořích už v roce 1962. Laserová dioda má široké využití, od laserových ukazovátek, čteček čárových kódů, laserových tiskáren, CD-ROM a DVD-ROM mechanik, až po optické vlnovody v telekomunikacích nebo holografii. Diody s vysokým výkonem se používají v průmyslu k řezání nebo svařování kovů, ale také v lékařství jako chirurgický nástroj nebo v dentální medicíně místo klasických zubních vrtaček.

22. Elektrický proud v polovodičích – příměsově polovodiče

Polovodič typu N



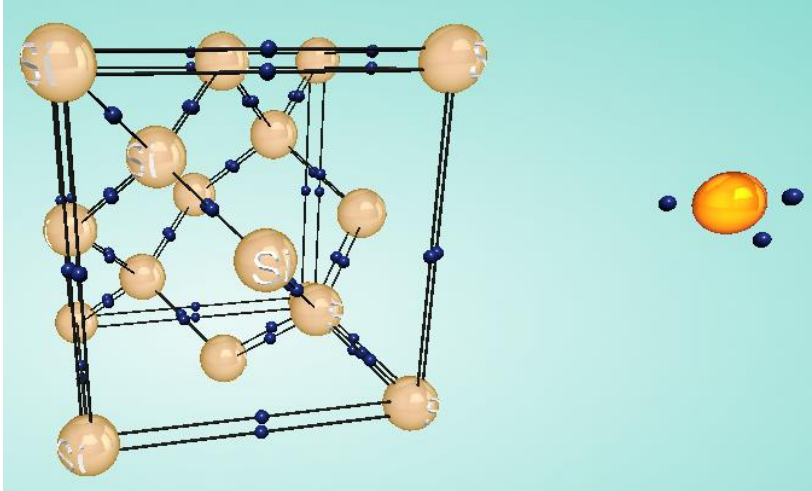
- **negativní vodivost**, převaha elektronů
- do struktury Si (resp. prvků skupiny IV.A) zabudujeme atomy prvku z V.A skupiny (např. P, As, Sb, Bi)
- prvek z V.A skupiny nazýváme **donor** (dárce)
→ má **více elektronů než Si**
- **Majoritní** (většinová) **elektronová vodivost**
- Minoritní (menšinová) děrová vodivost



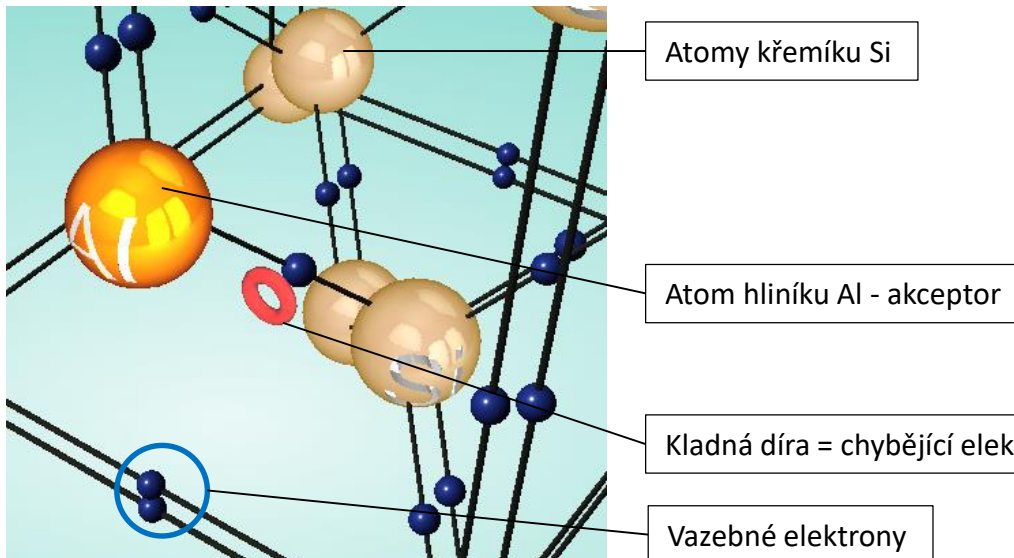
Monokrystal Si

22. Elektrický proud v polovodičích – příměsově polovodiče

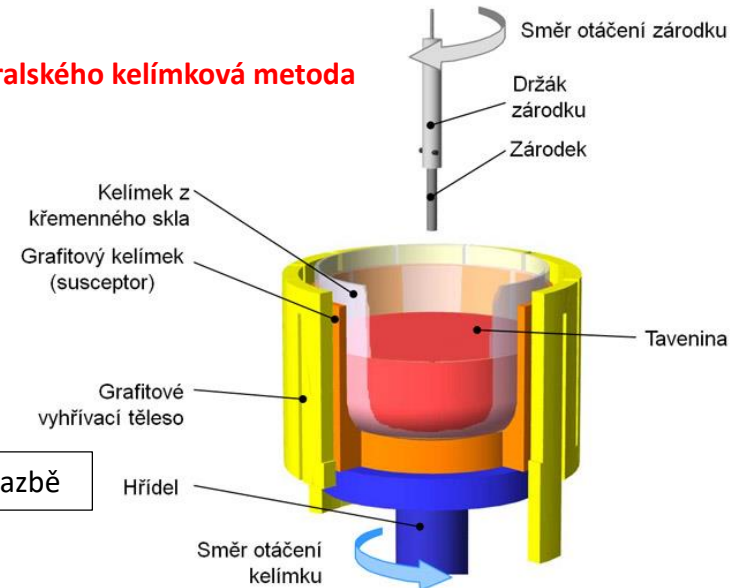
Polovodič typu P



- **pozitivní vodivost**, převaha kladných děr
- do struktury Si (resp. prvků skupiny IV.A) zabudujeme atomy prvku z III.A skupiny (např. Al, Ga, In)
- prvek ze III.A skupiny nazýváme **akceptor** (dárce) → má **méně elektronů než Si**
- **Majoritní** (většinová) **děrová vodivost**
- Minoritní (menšinová) děrová vodivost



Czochralského kelímková metoda

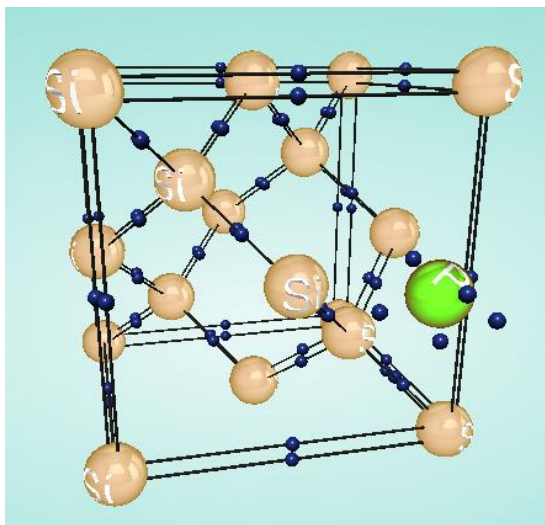


22. Elektrický proud v polovodičích – příměsové polovodiče

Corinth 3D - Lifeliqe – Příměs v polovodiči



[Příměs v polovodiči](#)



Poznámky k modelu

Příměsové polovodiče vznikají zavedením malého množství cizích **příměsových atomů** (nesprávně nazývaných nečistotami) **do struktury polovodiče s vlastní vodivostí** (např. křemík, germanium). Tím dochází ke změně elektrické vodivosti polovodiče. Poměr počtu příměsových atomů ku počtu atomů vlastního polovodiče je přibližně $1 : 10^7$.

Zajímavosti

Pro výrobu polovodičů se nejčastěji používají **monokrystaly křemíku nebo germania**, které se liší od křemíku v přírodě vyskytuje velmi vzácně.

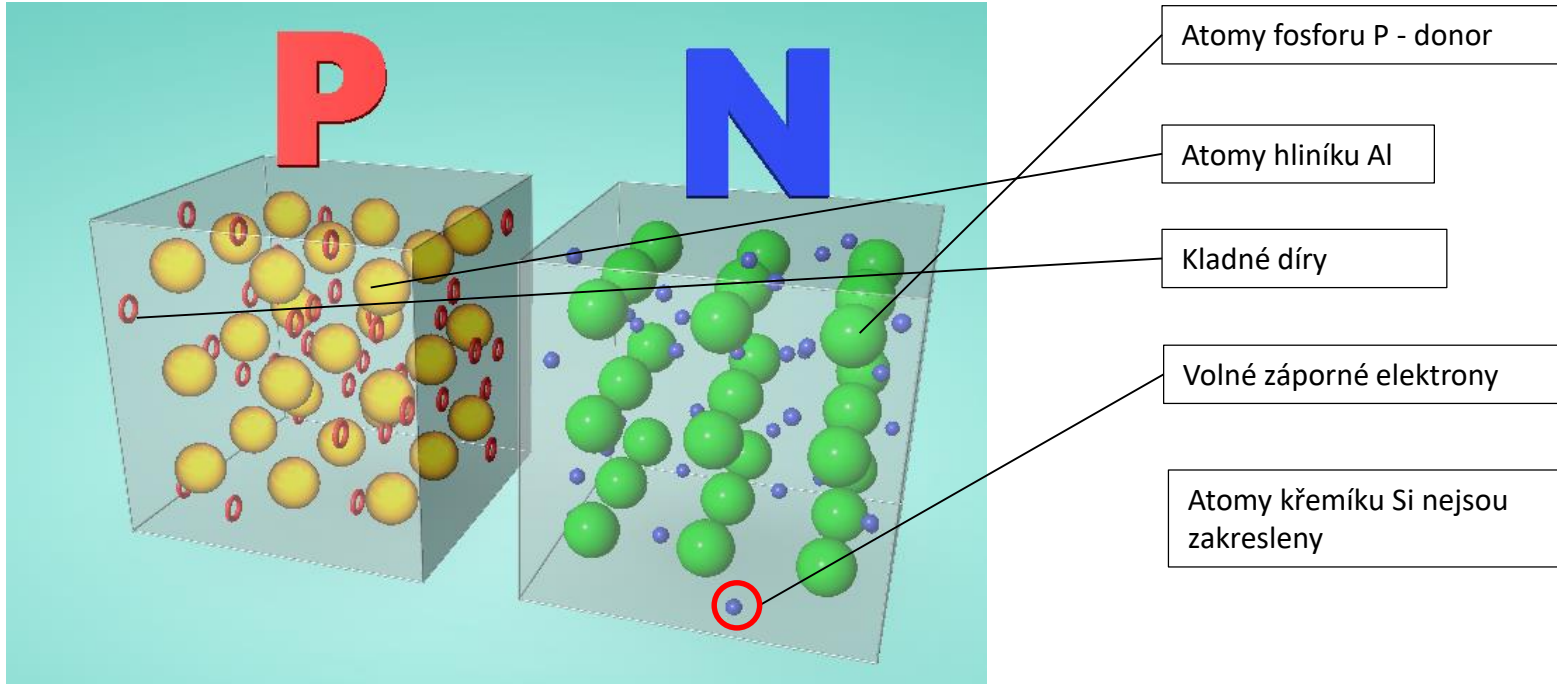
Křemík je druhým nejrozšířenějším prvkem na Zemi (po kyslíku), který s podílem 26 % tvoří součást většiny hornin a minerálů. Krystalický křemík je málo reaktivní, nerozpustný v kyselinách, rozpustný v zásadách.

Výroba čistého monokrystalu křemíku spočívá v několika krocích. Nejprve se vytvoří **čisté křemíkové jádro**, kolem kterého postupně narůstá **válcový ingot polykrystalického křemíku** o průměru až 20 cm. Čistota tohoto ingotu je tak vysoká (jeden atom příměsi na 10^6 atomů křemíku), že dostačuje pro většinu aplikací.

Polykrystalický křemík se následně převede na monokrystalický, nejčastěji tzv. **Czochralského kelímkovou metodou**, postupným tažením zárodečného krystalu z taveniny. Vzniklý monokrystal se dále brousí na požadovaný průměr, řeže na plátky diamantovou pilou, které se opět brousí a dále čistí a na závěr se leští. Výsledkem je Si deska (silicon wafer).

23. Elektrický proud v polovodičích – PN přechod

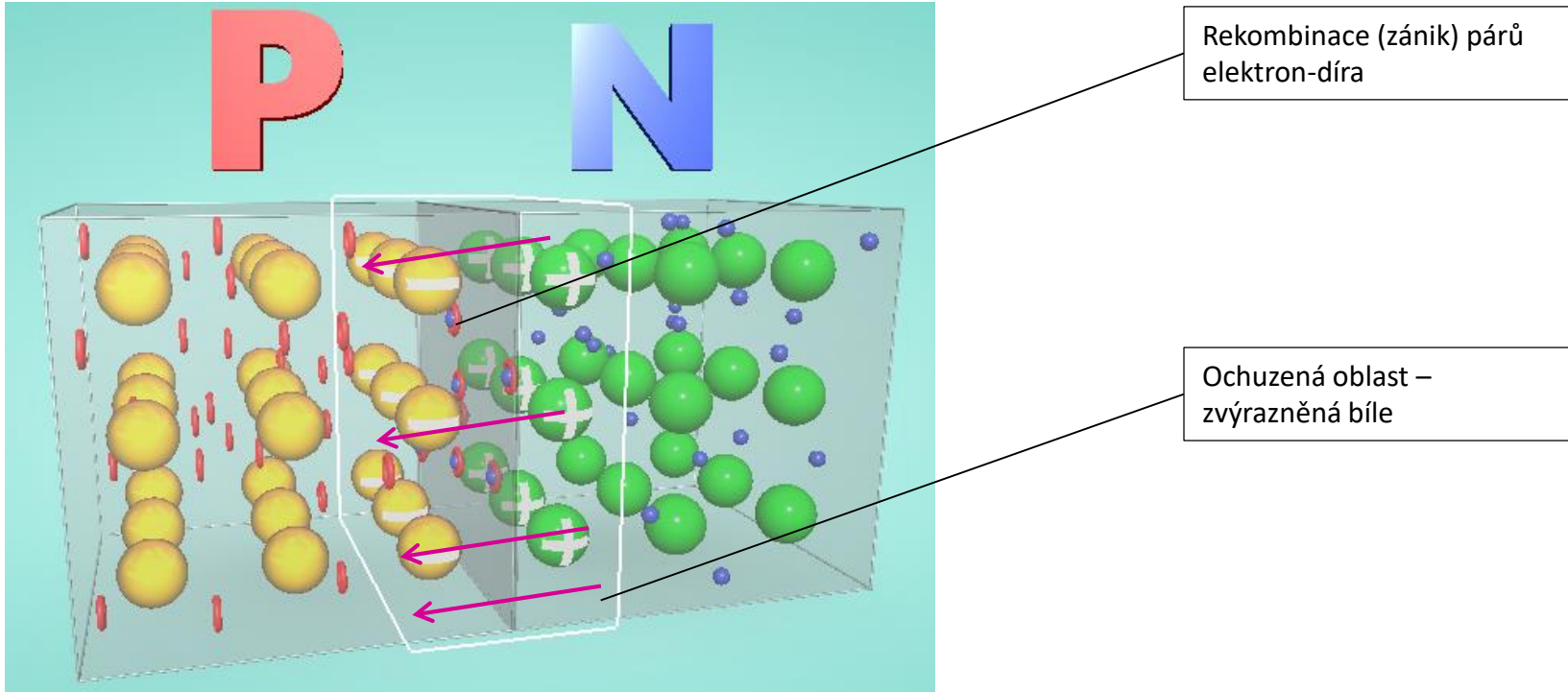
PN přechod - vznik



- PN přechod vzniká na rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N
- Po jejich spojení jsou **kladné díry** přitahovány směrem k **polovodiči N** a **volné elektrony** naopak migrují do **polovodiče P**
- Vzniká **difúzní proud**, při kterém dochází k **rekombinaci párů elektron-díra**
- Hradlová vrstva (PN přechod) má tloušťku cca 1 μm

23. Elektrický proud v polovodičích – PN přechod

PN přechod – rekombinace

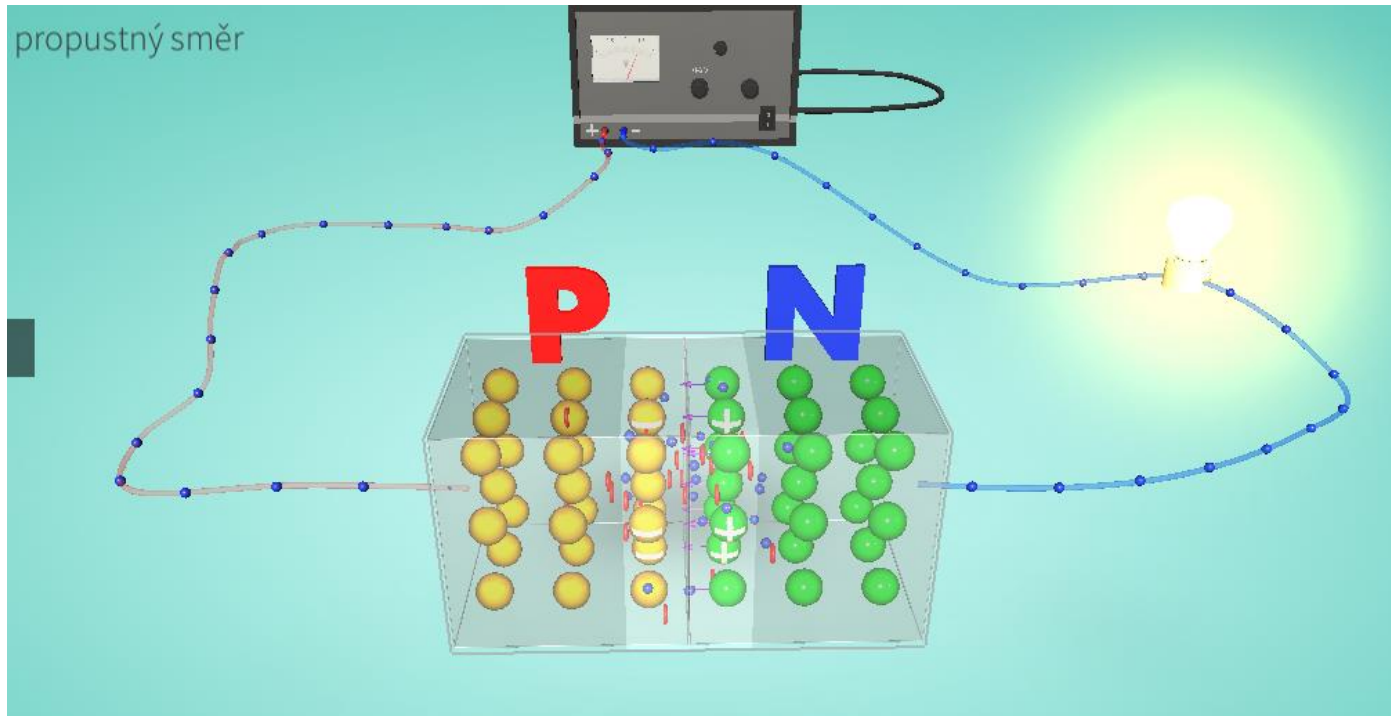


Ochuzená oblast

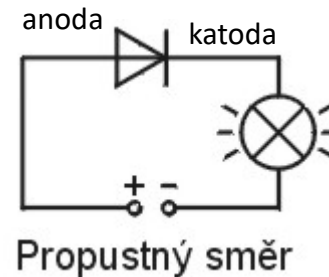
- vzniká po rekombinaci na rozhraní polovodiče P a N
- je to **oblast bez volných nosičů náboje** (kladných děr a volných elektronů)
- směr elektrické intenzity této oblasti má směr z N do P (**fialové šipky**)
- PN přechod využívá dioda (1) nebo tranzistor (2)

23. Elektrický proud v polovodičích – PN přechod

PN přechod – propustný směr

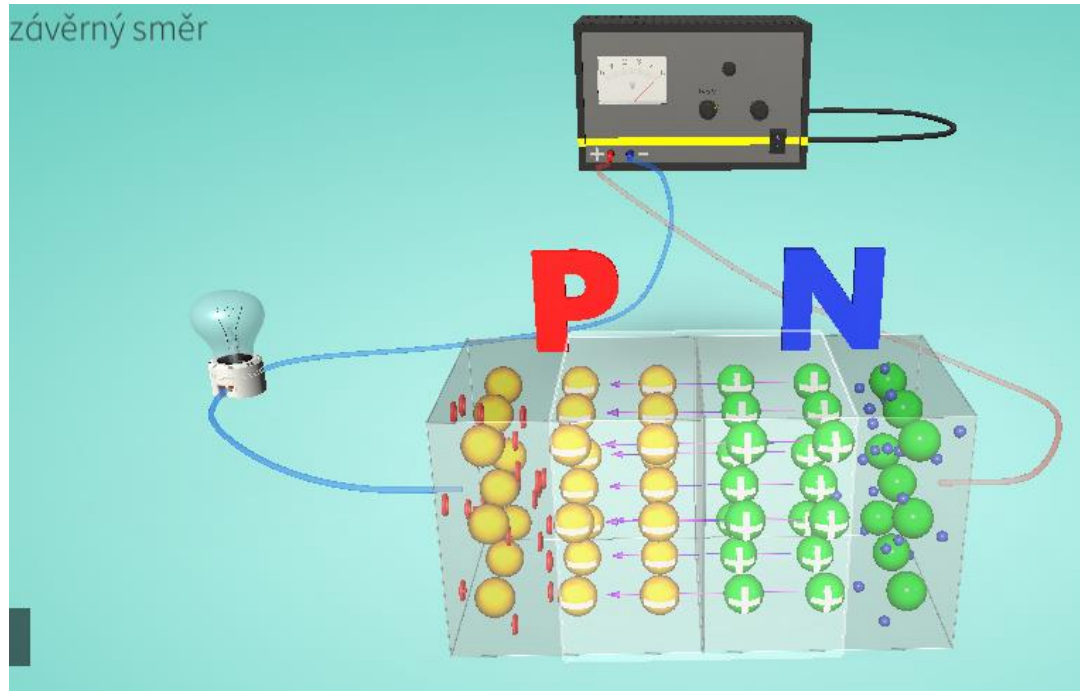


- Na polovodič typu P je připojen **+** pól ze zdroje, na N **-** pól zdroje
- PN přechod se zúží
- Obvodem **prochází** proud

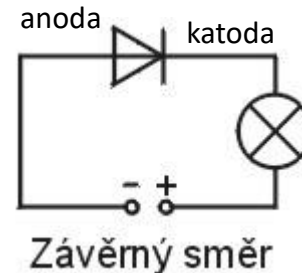


23. Elektrický proud v polovodičích – PN přechod

PN přechod – závěrný směr



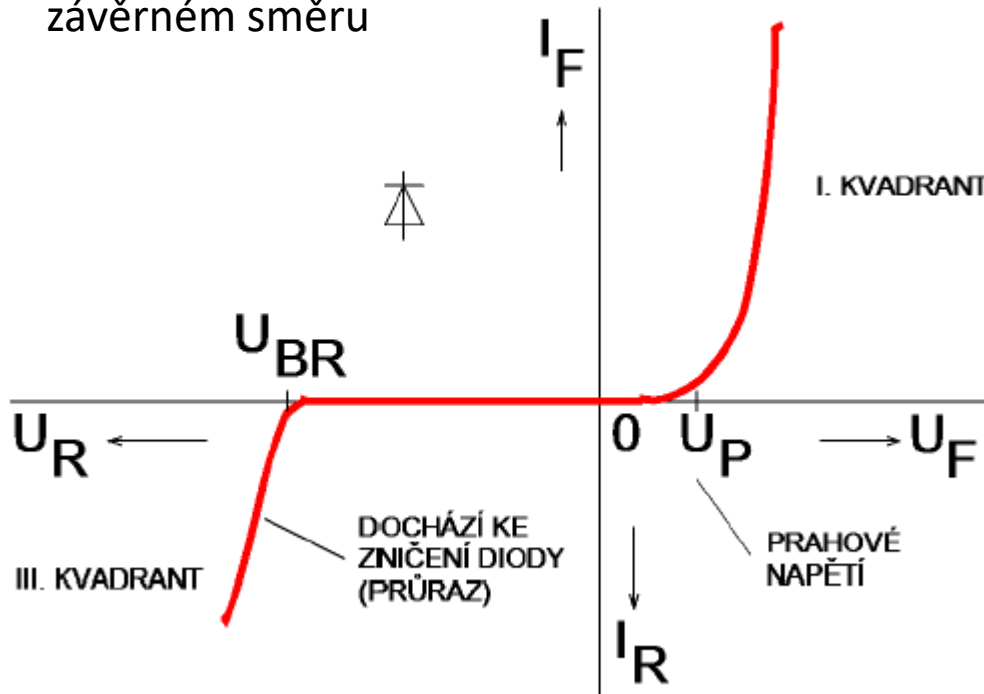
- Na polovodič typu P je připojen $-$ pól ze zdroje, na N $+$ pól zdroje
- PN přechod se rozšíří
- Obvodem **neprochází** proud
- **Diodový jev** – závislost vodivosti diody na polaritě přiloženého napětí



23. Elektrický proud v polovodičích – usměrňovací dioda

VA charakteristika usměrňovací diody

- Volt-ampérová charakteristika diody je graf závislosti proudu na napětí v propustném a závěrném směru

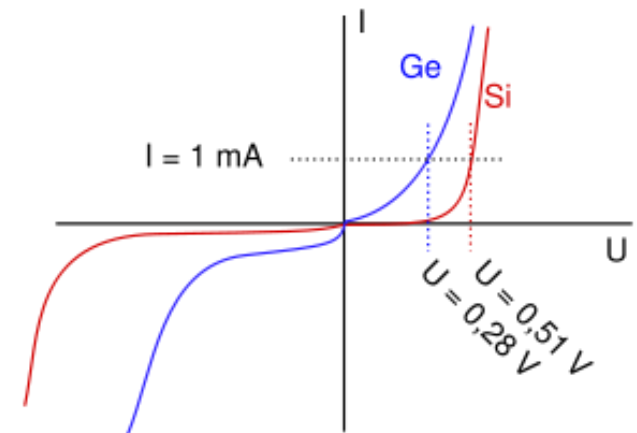


I. kvadrant – propustný směr

Velký **propustný proud** I_F (forward current) nezačne obvodem protékat okamžitě, ale až po překročení určité hodnoty napětí (na obr. je to cca 0,57 V), kterou nazýváme **prahové napětí** $U_{F0}(U_P)$. Dioda tak plní funkci sepnutého spínače.

III. kvadrant – závěrný směr

U_{BR} – **průrazné napětí** → po jeho překročení dochází u normální diody k jejímu poškození



VA charakteristika Ge a Si diody

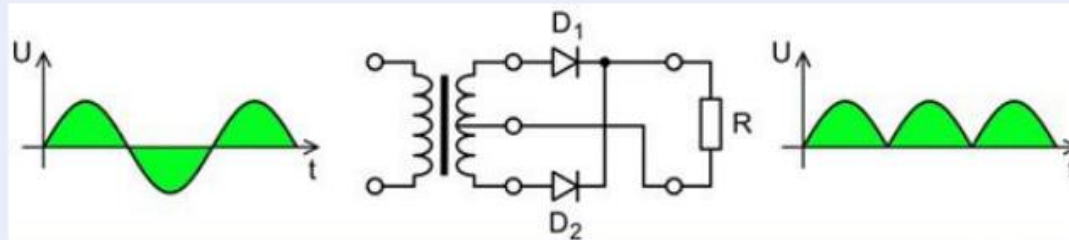
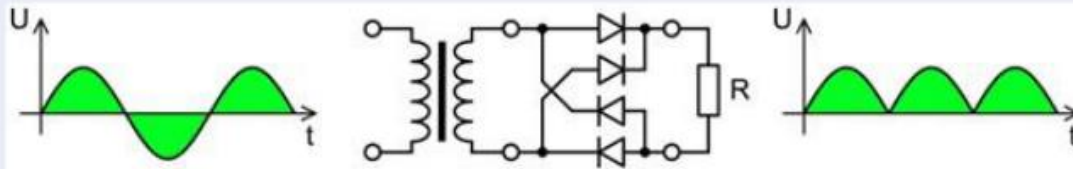
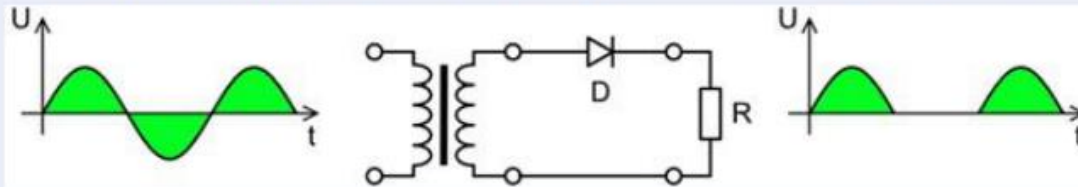
23. Elektrický proud v polovodičích – usměrňovač

Usměrňovač střídavého proudu

- Mění střídavý proud (sinusový průběh) na stejnosměrný (konstantní průběh)
- a) jednocestný usměrňovač – **pulzní napětí a tepavý proud** na výstupu
- b) Graetzovo zapojení se 4 diodami – usměrňování obou půlperiod
- c) dvoucestný usměrňovač – usměrňování obou půlperiod

Neřízené usměrňovače

Výstupní napětí usměrňovačů s diodami nelze řídit.

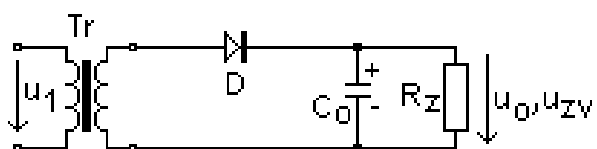


23. Elektrický proud v polovodičích – usměrňovač

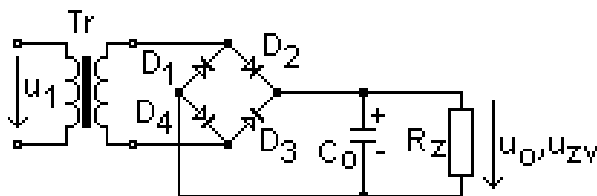
Usměrňovač střídavého proudu

- Kondenzátor zabraňuje poklesu napětí → místo pulzního napětí je na výstupu pilovité napětí
- Při **větší kapacitě kondenzátoru** je pokles menší a tím je **menší zvlnění** křivky
- Lze dosáhnout téměř konstantní závislosti (jako u stejnosměrného proudu)

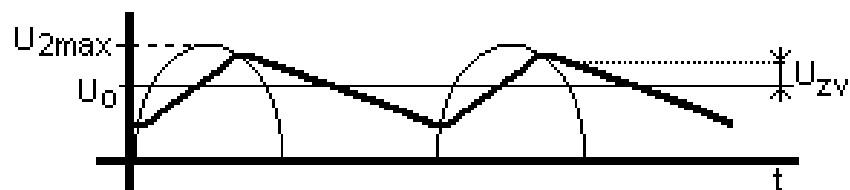
Srovnání zvlnění na jednotlivých typech usměrňovačů



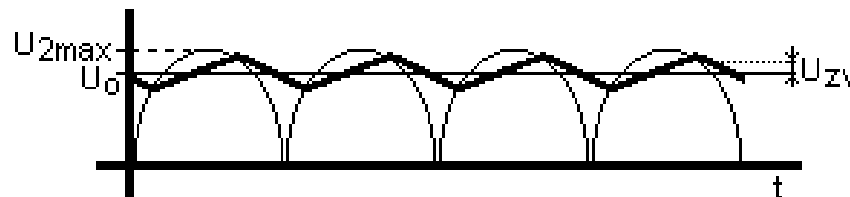
Jednocestný usměrňovač



Dvoucestný usměrňovač



Průběhy napětí j.u. se sběracím kondenzátorem



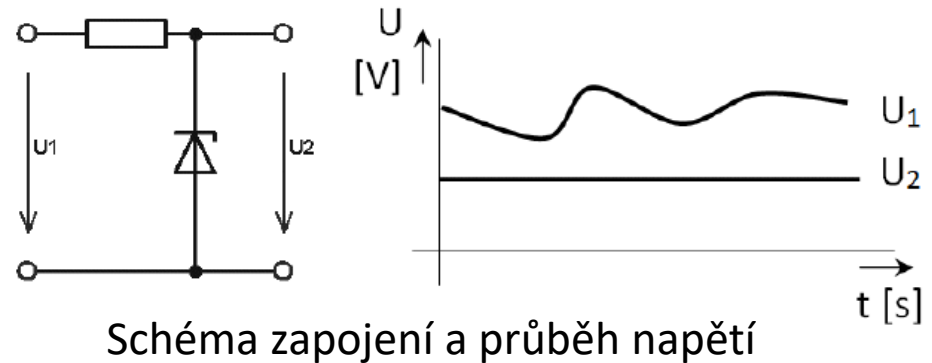
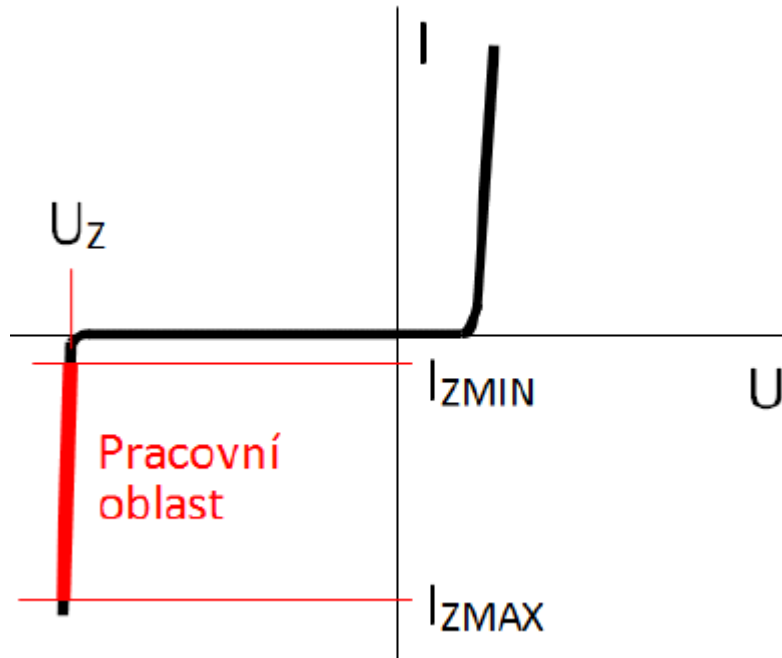
Průběhy napětí dv.usm. se sběracím kondenzátorem

Poznámka:
Pilovitý průběh se
PROKLÁDÁ
1. harmonickou
(sinusoidou) !!!
Není zakresleno !!!
 U_{zv} ...je maximální
amplituda
1.harmonické !!!

23. Elektrický proud v polovodičích – Zenerova dioda

VA charakteristika Zenerovy diody

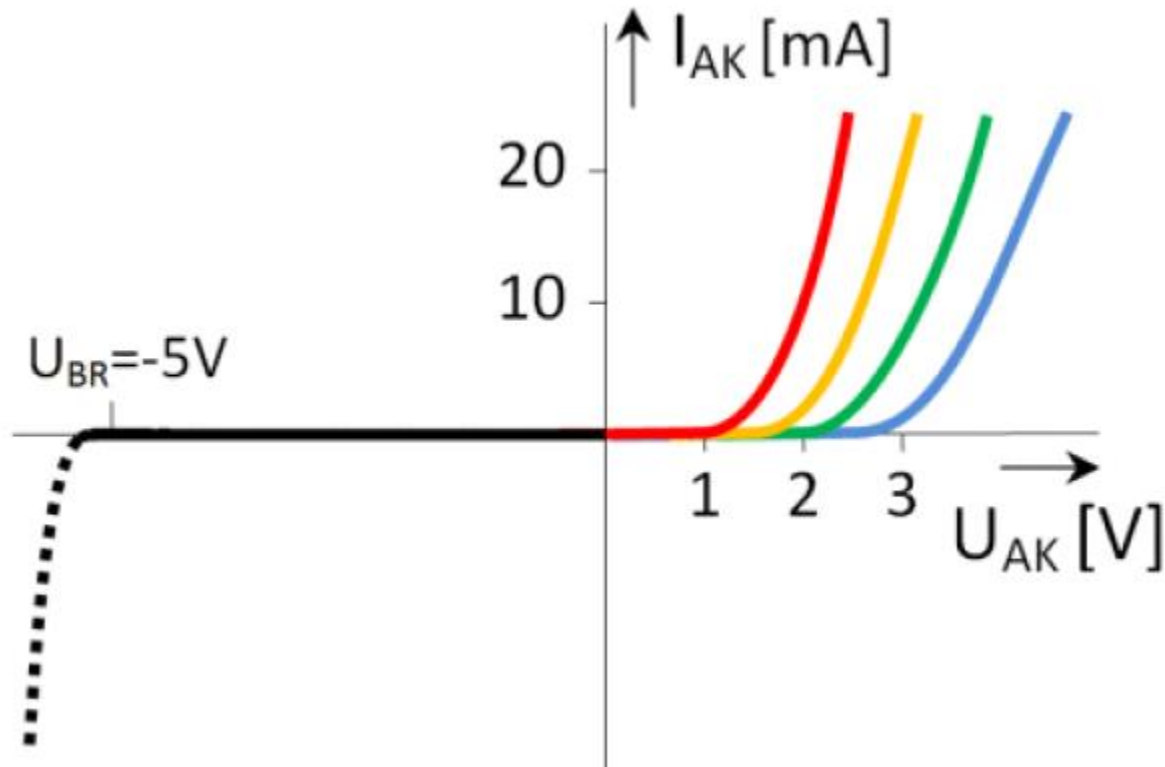
- **Zenerova dioda** se používá ke stabilizaci napětí
- používá se výhradně v **závěrném směru**
- po překročení závěrného napětí dochází k **nedestruktivnímu průrazu PN přechodu**
- **odpor diody klesne z $M\Omega$ na Ω** → při konstantním napětí U_Z se zvyšuje proud



23. Elektrický proud v polovodičích – LED dioda

VA charakteristika LED diody

- **LED diody** se používají k osvětlení, jako barevné kontrolky, ve světlometech automobilů
- používají se výhradně v **propustném směru**
- velmi malé průrazné napětí cca $U_{BR} = 5 \text{ V}$

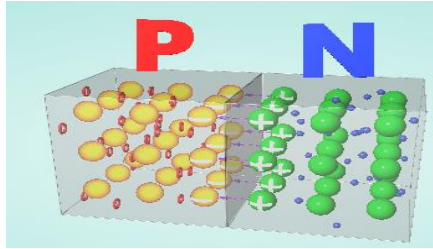


23. Elektrický proud v polovodičích – PN přechod

Corinth 3D - Lifeliqe – PN přechod



[PN přechod](#)



Poznámky k modelu

PN přechod vzniká na **rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N**. Pro jednoduchost si vznik přechodu můžeme představit, jako spojení krychle s vodivostí P s krychlí s vodivostí N.

V krychli označené P jsou **dominantními** (majoritními) nosiči **kladné díry** (červené kroužky), které se nachází **mezi záporně nabitými atomy akceptoru** (ve scéně jsou pro zjednodušení vynechány atomy křemíku a jsou zde zobrazeny pouze atomy akceptoru žlutě a donoru zeleně).

V krychli označené N jsou **dominantní volné elektrony** (světle modré kuličky), které se pohybují **mezi kladně nabitými atomy donoru**.

Po spojení obou částí **volné elektrony difundují** z krychle **N** přes **rovinu přechodu** do krychle **P**, kde je nedostatek volných elektronů. Podobně z krychle **P** **difundují** přes rovinu přechodu **do polovodiče typu N kladné díry**.

Při setkání záporného elektronu s kladnou dírou na rozhraní obou typů polovodičů dojde k tzv. **rekombinaci (zániku) páru elektron-díra** a vytvoření **ochuzené oblasti bez volných nosičů náboje**. **Směr elektrické intenzity této oblasti** je vyznačen v modelu **fialovými šipkami** a směřuje od kladných iontů donoru v krychli N k záporným iontům akceptoru v krychli P.

Zajímavosti

Pohyby **majoritních nosičů** (volných elektronů z oblasti N do oblasti P a kladných děr z oblasti P do oblasti N) vytváří tzv. **difuzní proud**. **Prostorový náboj**, který vzniká v důsledku difuze v oblasti roviny přechodu mezi polovodičem P a polovodičem N, **vytváří** v oblasti PN přechodu **rozdíl potenciálů** (napětí), který **brání další difuzi** elektronů i děr.

Kromě majoritních nosičů náboje dochází **v oblasti PN přechodu** i k **pohybu minoritních nosičů náboje** z obou oblastí do druhé. Menšinové elektrony se pohybují směrem do oblasti N, na jejímž rozhraní je kladný náboj donorů a stejně tak menšinové kladné díry se pohybují z oblasti N do oblasti P, kde jsou záporné ionty akceptoru. Proud těchto minoritních nabitých částic označujeme jako **driftový proud**.

V PN přechodu, který není připojen na vnější zdroj napětí, jsou pak oba proudy, difuzní i driftový v rovnováze, a výsledný proud přes rovinu přechodu je nulový.

PN přechod se vytváří na vyleštěné straně Si desky (výroba viz model Příměs v polovodiči), která je vytvořena jako polovodič typu P nebo N. Do daného typu polovodiče se potom pomocí procesu **epitaxe, iontové implantace** nebo **termické difuze** vnesou v dostatečné koncentraci příměsi opačného typu. Např. při iontové implantaci se ionty akceptorů nebo donorů urychlují elektrickým polem a pak se nastřelují do určité hloubky Si desky. Při termické difuzi se při teplotách okolo 1000 °C do Si desky vnášejí příměsi ve formě prvků (B, P, As) nebo oxidů (B_2O_3 , P_2O_5). V obou výše uvedených případech se příměsi vnášejí do přesně stanovené hloubky desky a s přesně stanovenou koncentrací.

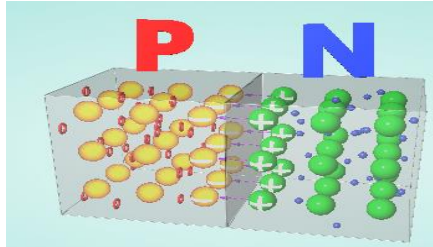
Polovodičová součástka s **jedním PN přechodem** je např. **dioda**, **dva PN přechody** má např. **tranzistor**. PN přechod mají např. i **LED diody, solární články** nebo **integrované obvody**.

23. Elektrický proud v polovodičích – PN přechod – propustný směr

Corinth 3D - Lifeliqe – PN přechod – propustný směr



[PN přechod - propustný směr](#)



Poznámky k modelu

Nejjednodušší polovodičovou součástí, která má jeden PN přechod je **dioda**. U diody rozeznáváme **anodu** a **katodu**. Je-li dioda (PN přechod) zapojena **v propustném směru**, je **kladný pól zdroje připojen na anodu** (polovodič typu P) a záporný pól zdroje na katodu (polovodič typu N).

Po přiložení napětí na PN přechod můžeme v modelu pozorovat **zmenšení šířky přechodu**, které je vyznačeno zmenšením délky fialových šipek znázorňujících intenzitu elektrického pole přechodu, a snížením počtu iontů akceptoru a donoru tvořících prostorový náboj.

Elektrony (modré kuličky) se pohybují z oblasti N do oblasti P a dále se pohybují elektrickým obvodem. Kladné díry (červené kroužky) se pohybují z oblasti P do oblasti N.

Velký **propustný proud** I_F (forward current) nezačne obvodem protékat okamžitě, ale až po překročení určité hodnoty napětí (v animaci je to 0,6 V), kterou nazýváme **prahové napětí** U_{F0} . Dioda tak plní funkci sepnutého spínače.

Zajímavosti

Zapojíme-li diodu v propustném směru, dojde k **zúžení ochuzené oblasti**, a majoritní nosiče náboje mohou opět ve velkém množství procházet **potenciálovou bariérou** PN přechodu. **Difuzní proud** je tedy významně větší než driftový a jejich rozdíl je výsledný **propustný proud** I_F (forward current).

Velikost **driftového proudu**, který tvoří minoritní nosiče, není vnějším napětím zdroje nijak ovlivněna.

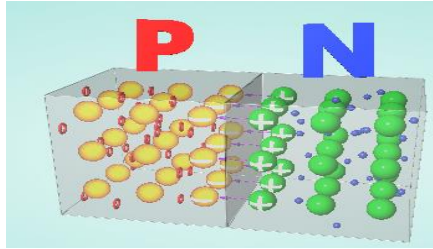
Schopnost diody vést elektrický proud pouze v propustném směru se využívá při **usměrnění střídavého proudu** pomocí **diodového usměrňovače**.

23. Elektrický proud v polovodičích – PN přechod – závěrný směr

Corinth 3D - Lifeliqe – PN přechod – závěrný směr



[PN přechod - závěrný směr](#)



Zajímavosti

Zapojíme-li diodu **v závěrném směru**, dojde k **rozšíření ochuzené zóny**, díky čemu majoritní nosiče náboje nemohou procházet **potenciálovou bariérou** PN přechodu. **Difuzní proud** je tedy významně menší než driftový, a jejich rozdíl je velmi malý **závěrný proud** I_B (back current).

Velikost **driftového proudu**, který tvoří minoritní nosiče, není vnějším napětím zdroje nijak ovlivněna.

Zenerova dioda zapojená v závěrném směru se využívá při **stabilizaci napětí ve stabilizovaných napěťových zdrojích**. Využívá speciální konstrukce, která umožňuje opakovaným nedestruktivním průrazům v závěrném směru, a zajišťuje víceméně konstantní hodnotu výstupního napětí na svorkách zdroje při velkých změnách odebíraného proudu. V jiných typech obvodů se používá jako **regulační napěťový prvek**.

Poznámky k modelu

Nejjednodušší polovodičovou součástkou, která má jeden PN přechod je **dioda**. U diody rozeznáváme **anodu** a **katodu**. Je-li dioda zapojena **v závěrném směru**, je **kladný pól zdroje připojen na katodu** (polovodič typu N) a záporný pól zdroje na anodu (polovodič typu P).

Po přiložení napětí na PN přechod můžeme v modelu pozorovat **zvětšení šířky přechodu**, které je vyznačeno zvětšením délky fialových šipek znázorňujících intenzitu elektrického pole přechodu, a zvýšením počtu iontů akceptoru a donoru tvořících prostorový náboj. V modelu je tento nárůst znázorněn zvýrazněním polarity atomů donoru a akceptoru ve druhé řadě.

Elektrony (modré kuličky) se pohybují pouze v oblasti N od přechodu PN směrem ke kladnému pólu zdroje. Kladné díry (červené kroužky) se pohybují pouze v oblasti P od ochuzené oblasti k zápornému pólu zdroje.

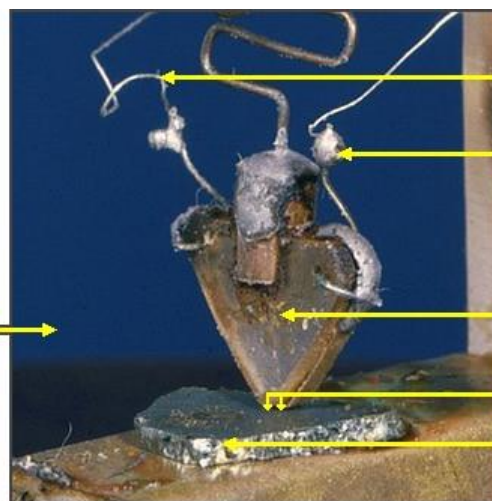
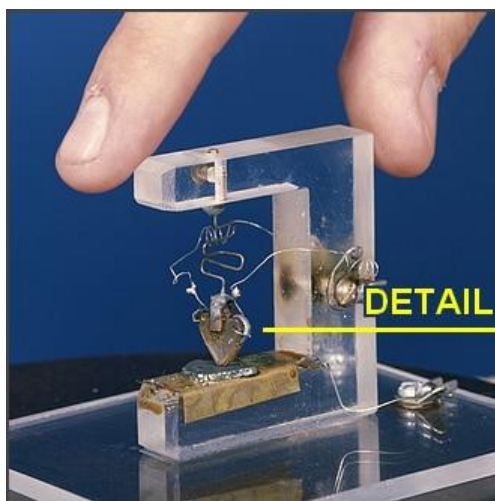
Obvodem protéká velmi malý **závěrný proud** I_B (back current), který dosahuje velikosti maximálně řádu μA . Napětí na diodě nesmí překročit hodnotu, kterou nazýváme **průrazné napětí** U_{BR} (reverse breakdown voltage), po jehož překročení dojde k poškození diody. Dioda zapojená v závěrném směru plní funkci rozepnutého spínače.

24. Elektrický proud v polovodičích – tranzistor, operační zesilovač, integrovaný obvod

Tranzistor

Walter Brattain (1902-1987), William Shockley (1910-1989), John Bardeen (1908-1991)

– 1. tranzistor sestaven v roce 1947 – BELL laboratoře, Nobelova cena za fyziku 1956



emitor

kolektor

plastový "klín"

hroty

krystal germánia

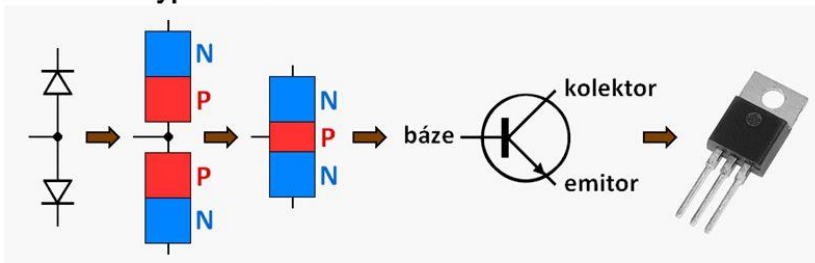
24. Elektrický proud v polovodičích – tranzistor, operační zesilovač, integrovaný obvod

Tranzistory NPN a PNP

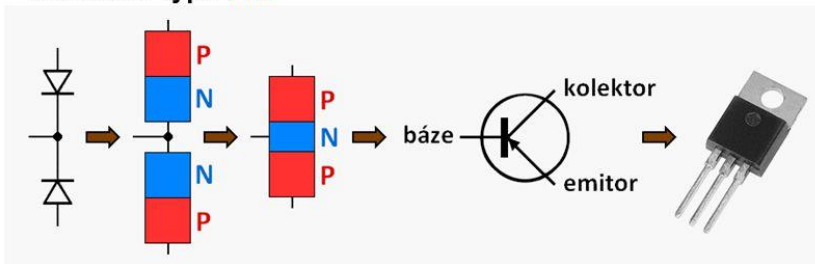
- sendvičové propojení polovodičů typu N a P
- NPN – šipka ven, PNP – šipka dovnitř jde

Struktura tranzistoru

Tranzistor typu NPN



Tranzistor typu PNP



- elektrony se pohybují z emitoru do prostoru báze, kde malá část rekombinuje → **malý bázevý proud I_B**
- většina elektronů projde do oblasti kolektoru, kde vytvoří **velký kolektorový proud I_C**
- dochází tedy k zesílení kolektorového proudu → **malé vstupní napětí U_1** je zesíleno na **větší výstupní napětí U_2**
- $+U_{CC}$ je napájecí napětí celého zapojení

Tranzistorový jev

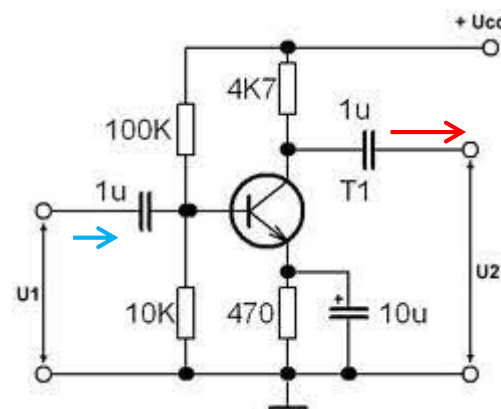
Malá změna bázevého proudu vyvolá velkou změnu kolektorového proudu.

Kolektorový obvod

- zapojen v závěrném směru

Bázevý obvod

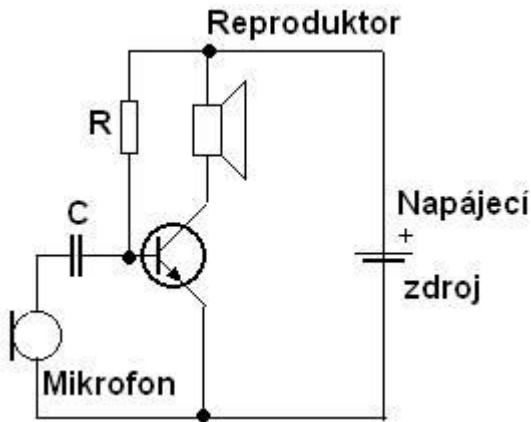
- zapojen v propustném směru



24. Elektrický proud v polovodičích – tranzistor, operační zesilovač, integrovaný obvod

Tranzistor jako zesilovač

- základní činnost tranzistoru spočívá v zesílení signálu (napětí)
- plní tedy funkci jednoduchého **zesilovače**
- jsou základem všech integrovaných obvodů (IO) → procesory, paměti



Proudový zesilovací činitel – β

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \sim 10^2$$

Zajímavosti

běžné tranzistory:

- slouží pro zpracování signálu ať už jako jednotlivé „diskrétní“ součástky, či součástky v **čipech** a mikročipech **integrovaných obvodů**
- jsou dnes základním prvkem spotřební i nespotební elektroniky (televize, rádia, počítače, mobilní telefony...)
- běžné tranzistory obvykle zpracovávají signál v jednotkách voltů, proud přitom bývá nejvýše v řádu miliampérů

výkonové tranzistory:

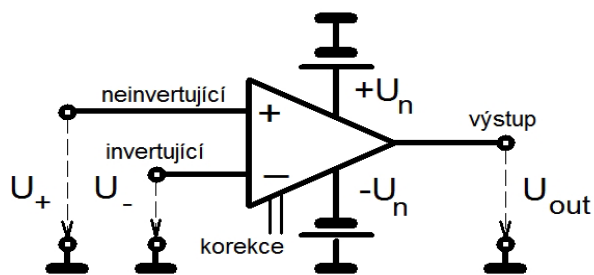
- jsou klíčovým prvkem používaným ve **výkonové elektronice**, například v oblasti **spínaných zdrojů** nebo **frekvenčních měničů**
- výkonová elektronika je rovněž klíčová při **realizaci moderních zdrojů světla** (úsporná žárovka, LED), moderních trakčních vozidel s asynchronními motory, **hybridních automobilů a elektromobilů, fotovoltaických a větrných elektráren.**
- současné výkonové tranzistory jsou schopny ve spínacím režimu pracovat s **napětím až v řádu kilovoltů** a s **proudy v řádu 10^2 až 10^3 A**

- v procesoru Intel Pentium 4 je cca 42 000 000 tranzistorů se spoji o šířce 0,18 μm

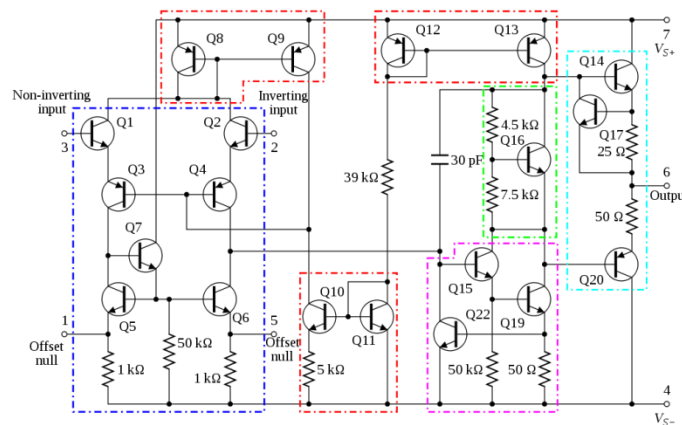
24. Elektrický proud v polovodičích – tranzistor, operační zesilovač, integrovaný obvod

Operační zesilovač

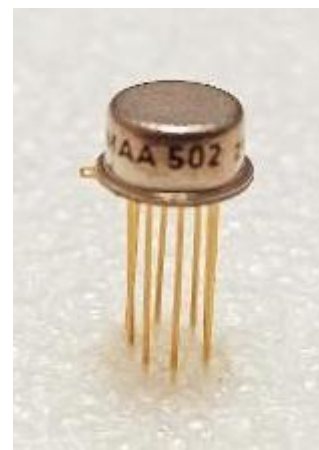
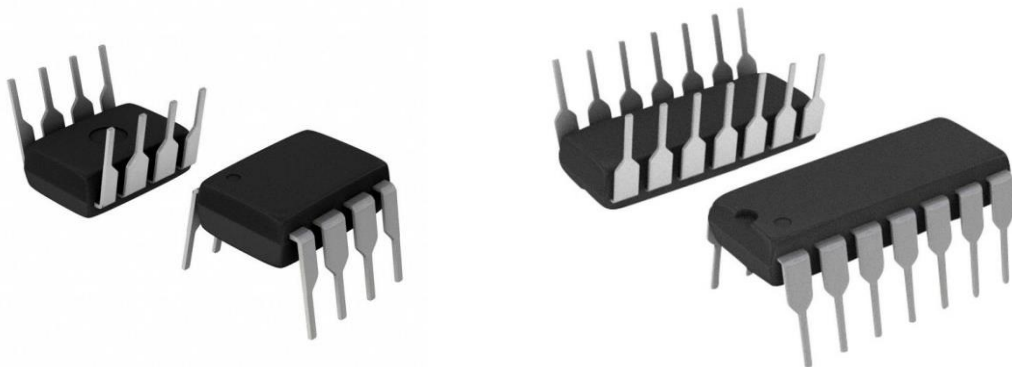
- univerzální stejnosměrný zesilovací analogový elektronický obvod
- je základem všech analogových elektronických obvodů
- složen z desítek miniaturních tranzistorů, rezistorů, kondenzátorů



schématická značka OZ s
označením konektorů



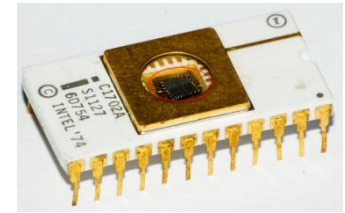
Vnitřní zapojení prvků OZ



24. Elektrický proud v polovodičích – tranzistor, operační zesilovač, integrovaný obvod

Integrovaný obvod alias „šváb“

- složen z desítek miniaturních tranzistorů, rezistorů, kondenzátorů, OZ
- jako celek jde o elektrický obvod, který vykonává určitou funkci
- první IO vytvořen v roce 1958 v Texas Instruments
- meze integrace součástek závisí krom jiného i na **Heisenbergových relacích neurčitosti**
→ součástky i jejich počet na mm^2 nelze zmenšovat do nekonečna



Využití

- veškeré spotřební elektronice, ale i různá vědecká zařízení, např. na **umělých družicích**.
- televize, videa, satelitní přijímače, dálková ovládní
- rádia, CD či MP3 i MP4 přehrávače
- digitální hodinky, kalkulačky
- mobilní telefony, vysílačky, GPS přijímače
- fotoaparáty, digitální fotoaparáty
- počítače, tiskárny, monitory, PDA
- automobily, letadla a další dopravní prostředky
- lékařské, vědecké a měřicí přístroje

Zajímavosti

Nejmenší IO na světě: Vědci z IBM dokázali vytvořit **nejmenší logický obvod na světě sestávající z jediné molekuly kysličníku uhelnatého**. Tento obvod má rozměr menší než jedna triliontina čtverečního palce (a je tedy 260 000 x menší než obdobný obvod na křemíkové bázi).



Nejmenší tranzistor na světě

- výzkumníci z MIT vytvořili 3D tranzistory o průměru pouhých 2,5 nanometrů
- Na jediný mikročip o velikosti nehtu lze umístit až desítky miliard těchto drobných tranzistorů