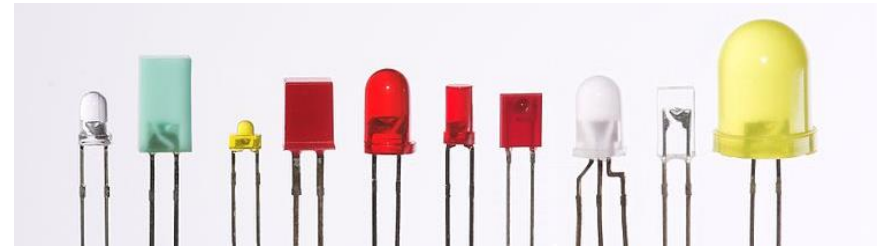


# 09 Elektrický proud v polovodičích

# 1.9 Elektrický proud v polovodičích

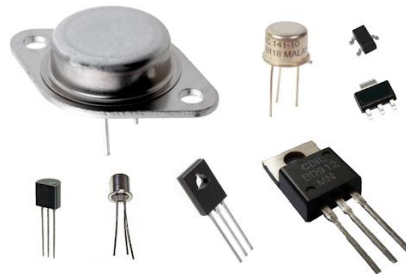
- Polovodičové prvky (diody, tranzistory, integrované obvody) mají velký význam pro rozvoj a miniaturizaci elektroniky (rádia, TV, mobily, PC)



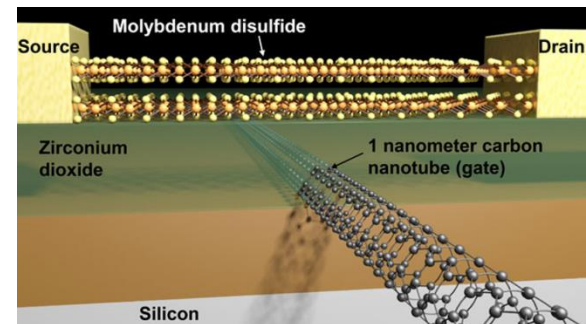
**Nick Holonyak (\*1928) – objevitel LED diody (1962)**



cca 15 cm =  $10^{-1}$  m



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

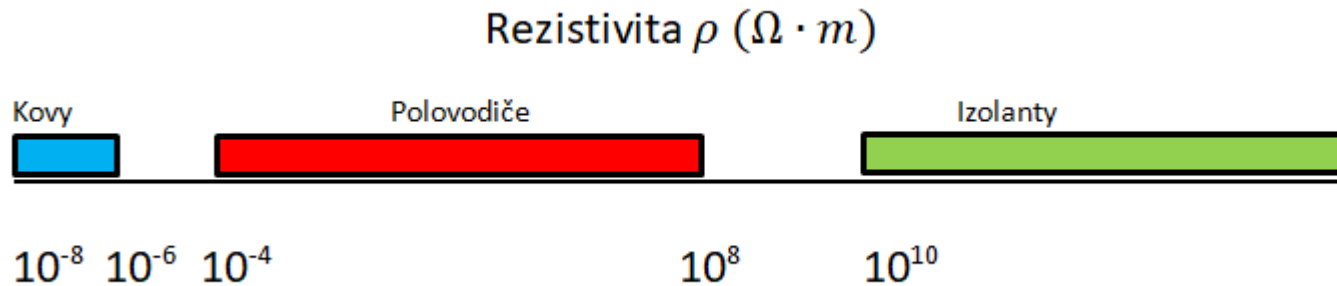


cca 1 nm =  $10^{-9}$  m (2016)

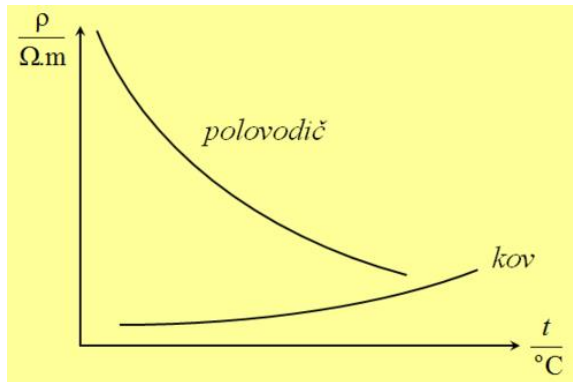
**John Bardeen (1908-1991), Walter Brattain (1902-1987), William Shockley (1910-1989)**

– 1. tranzistor, Nobelova cena za fyziku 1956

# 1.9 Vlastní vodivost



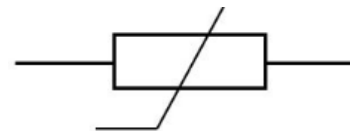
## Závislost odporu na teplotě



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



termistor

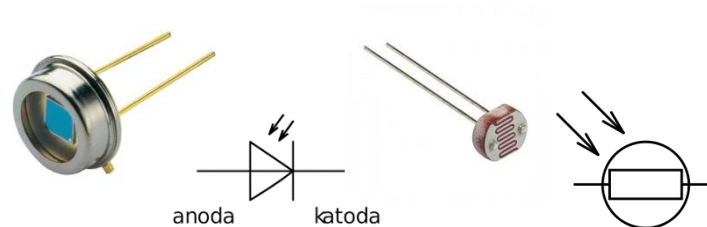


schematická značka

## Závislost odporu na světle

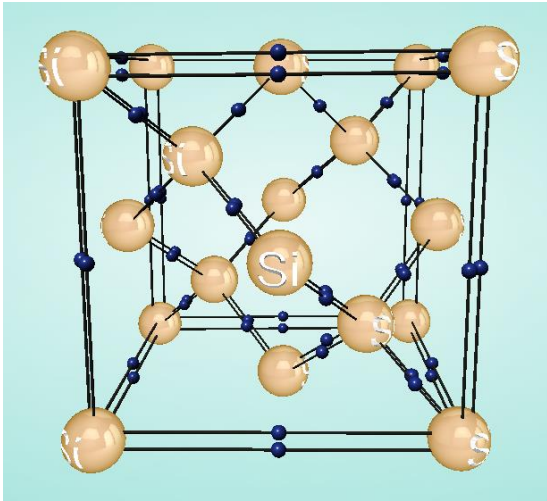
- **Fotodioda, fotorezistor**

Př. optické brány, optoelektronické prvky, TV ovladače, solární články  
prvky: Si, Ge, Se, Te, C  
sloučeniny: PbS, CdS, GaAs, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, NiO

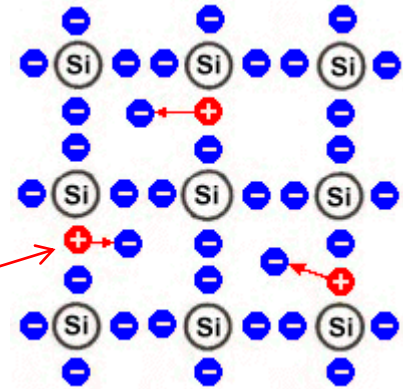


# 1.9 Vlastní vodivost

## 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<sup>-</sup>: 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  $1 \text{ cm}^3$

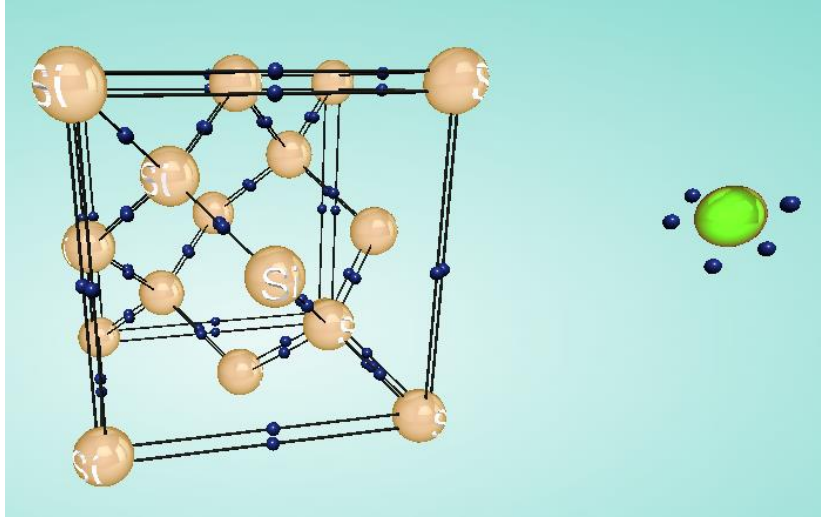
## Vlastní vodivost

- **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)

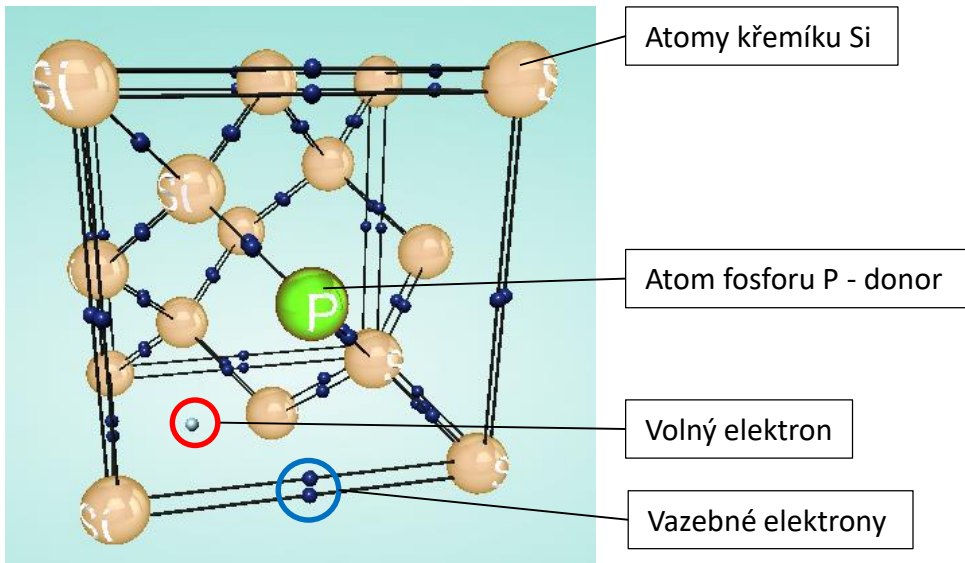


# 1.9 Příměšové polovodiče – typ N

## Polovodič typu N



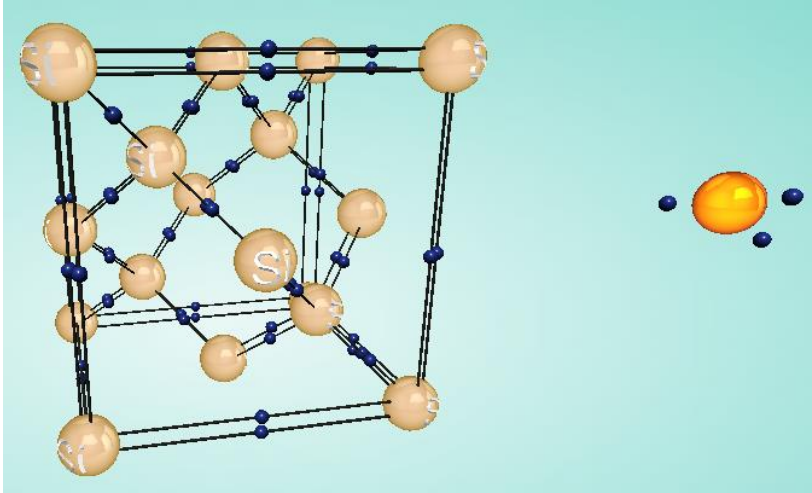
- **negativní vodivost**, převaha elektronů
- do struktury Si (resp. prvků skupiny IV.A) zabudujeme atomy prvku z V.A skupiny (např. P, As, Sb, Bi)
- prvek z V.A skupiny nazýváme **donor** (dárce) → má **více elektronů než Si**
- **Majoritní** (většinová) **elektronová vodivost**
- Minoritní (menšinová)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



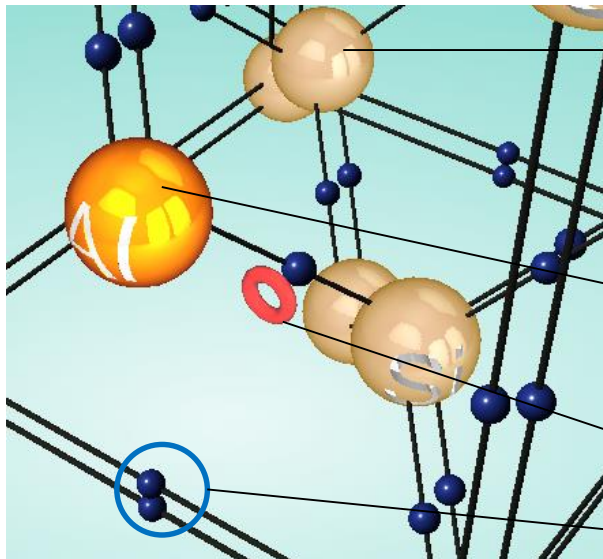
Monokrystal Si

# 1.9 Příměšové polovodiče – typ P

## 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** (příjemce) → má **méně elektronů než Si**
- **Majoritní** (většinová) **děrová vodivost**
- Minoritní (menšinová) děrová vodivost



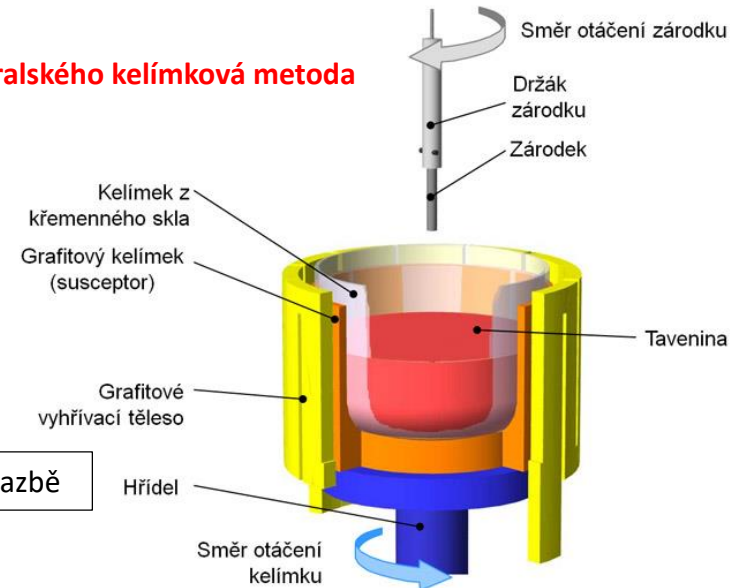
Atomy křemíku Si

Atom hliníku Al - akceptor

Kladná díra = chybějící elektron ve vazbě

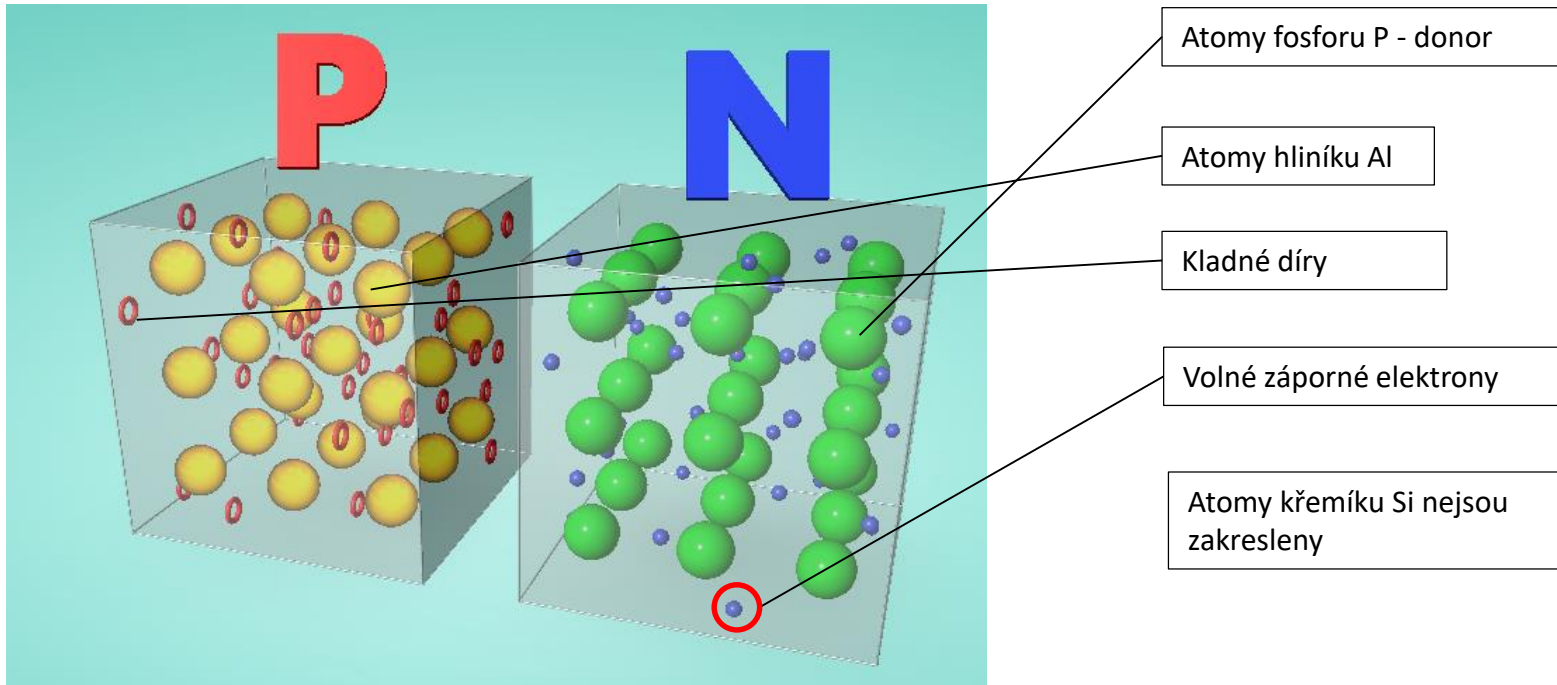
Vazebné elektrony

## Czochralského kelímková metoda



# 1.9 PN přechod

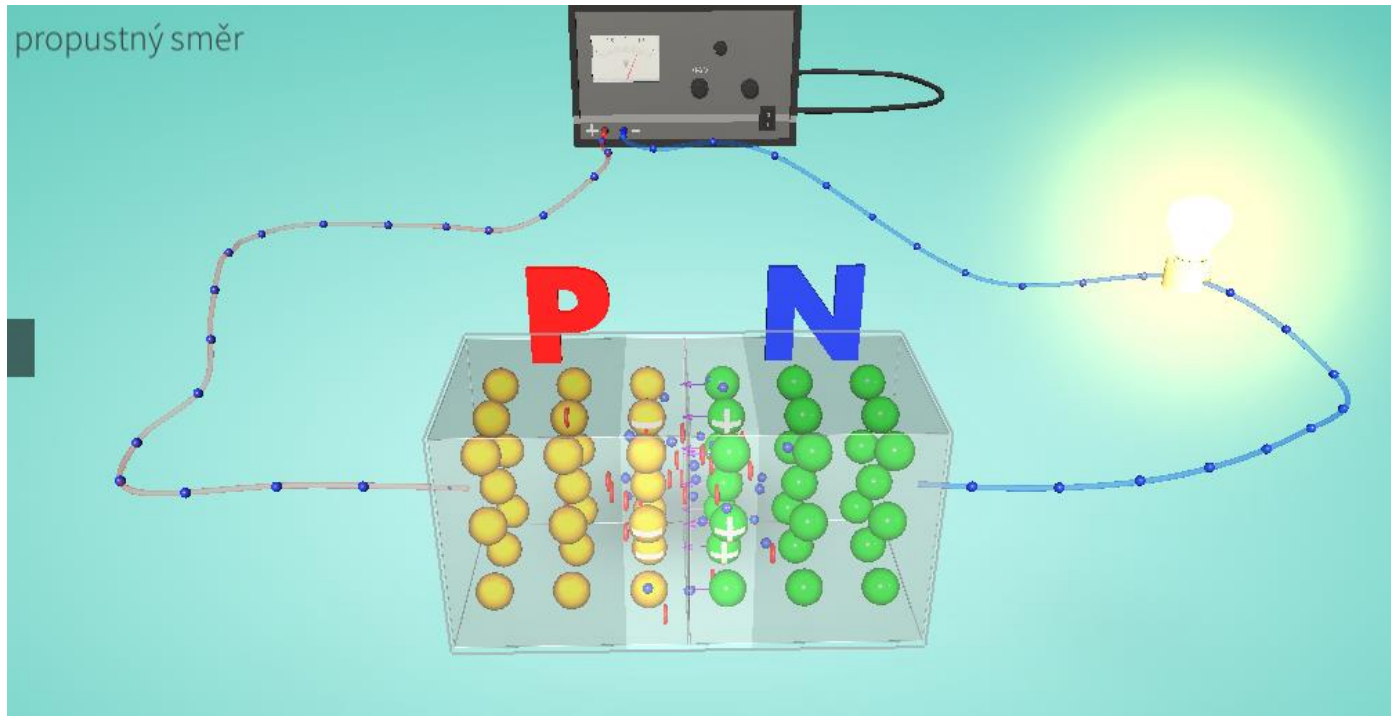
## PN přechod - vznik



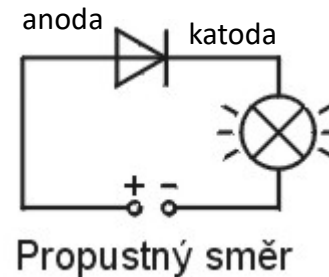
- PN přechod vzniká na rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N
- Po jejich spojení jsou **kladné díry** přitahovány směrem k **polovodiči N** a **volné elektrony** naopak migrují do **polovodiče P**
- Vzniká **difúzní proud**, při kterém dochází k **rekombinaci párů elektron-díra**
- Hradlová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

# 1.9 PN přechod

## PN přechod – propustný směr



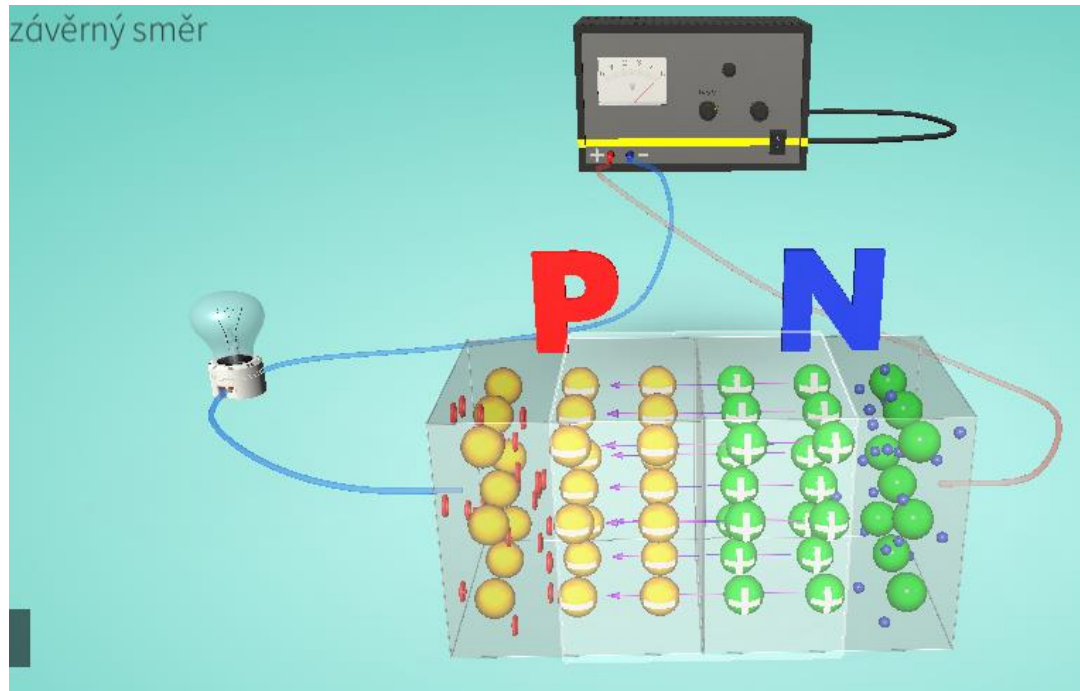
- Na polovodič typu P je připojen + pól ze zdroje, na N – pól zdroje
- PN přechod se zúží
- Obvodem **prochází** proud



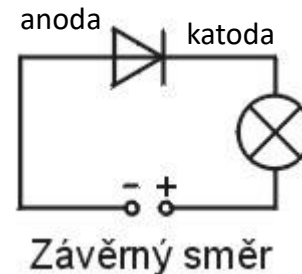


# 1.9 PN přechod

## PN přechod – závěrný směr



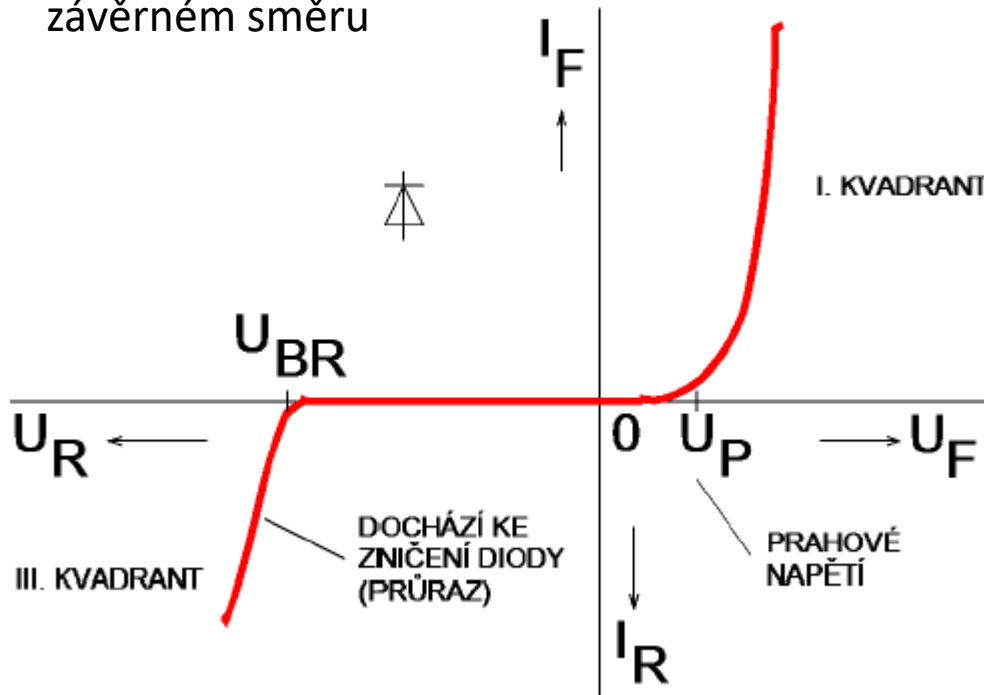
- Na polovodič typu P je připojen – pól ze zdroje, na N + pól zdroje
- PN přechod se rozšíří
- Obvodem **neprochází** proud
- **Diodový jev** – závislost vodivosti diody na polaritě přiloženého napětí



# 1.9 Usměrňovací dioda

## VA charakteristika usměrňovací diody

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

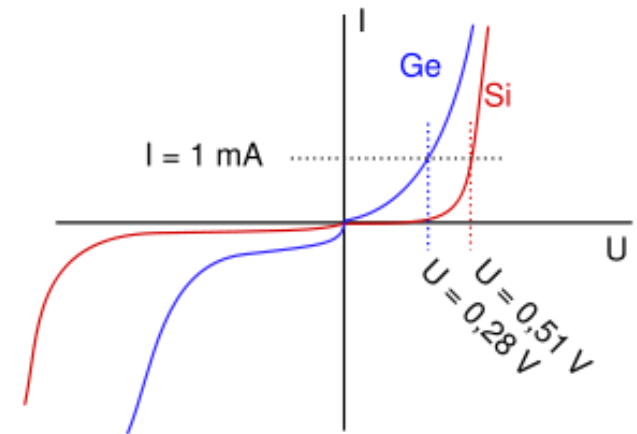


### I. kvadrant – propustný směr

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

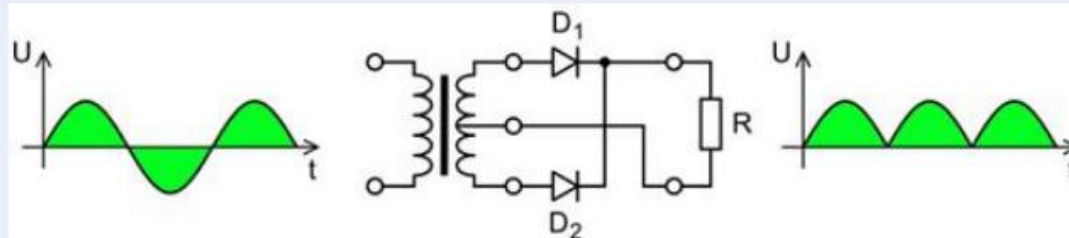
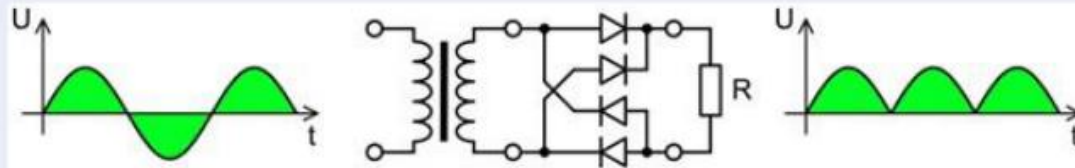
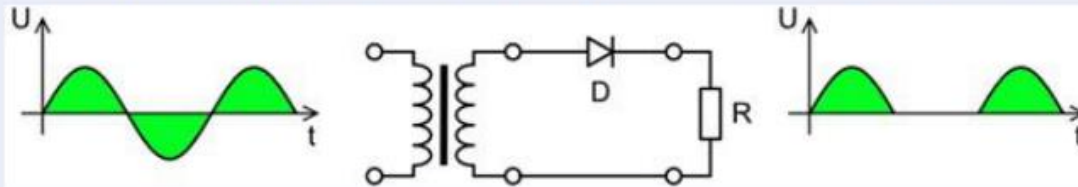
# 1.9 Usměrňovač

## 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 – usměrnění obou půlperiod
- c) dvoucestný usměrňovač – usměrnění obou půlperiod

### Neřízené usměrňovače

Výstupní napětí usměrňovačů s diodami nelze řídit.



# 1.9 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  $U_{BR} = 5 \text{ V}$

