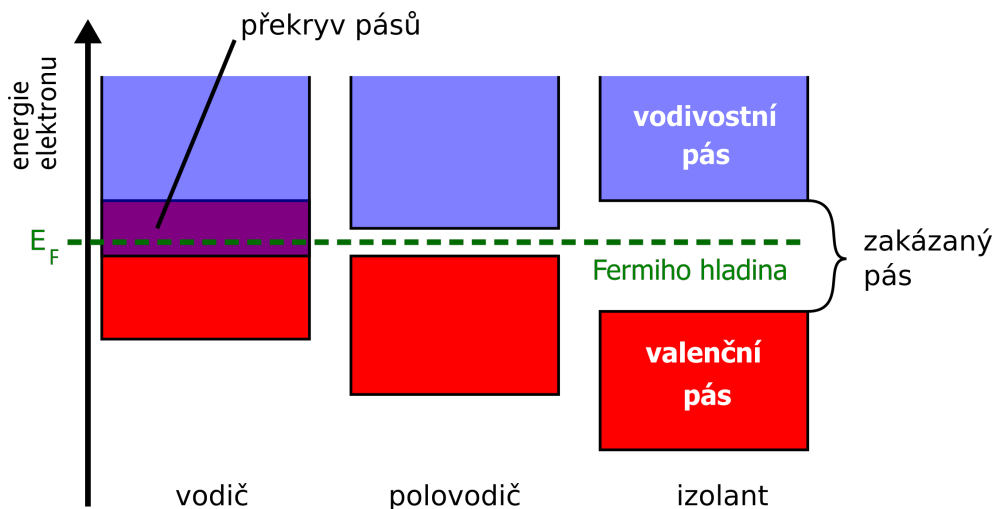


# Pásová teorie pevných látek

- Mluvíme také o pásovém modelu
- Je to energetický model elektronů v pevné látce s periodickou strukturou
- Popisuje elektrické vlastnosti krystalických látek
- Je odvozen z řešení Schrödingerovy stacionární rovnice s periodickým potenciálem
- V látce dochází k vytvoření energetických pásů pro elektrony
- Ten je složen z miliard samostatných hladin rozložených velmi těsně u sebe
- Protože těchto jednotlivých hladin je tolik, kolik je atomů v krystalu, nelze pás odlišit od spojitého oboru dovolených energií
- Elektrony obsazují energetické hladiny postupně od nižších hodnot výše
- Pásová struktura vzniká v důsledku
  - Pauliova vylučovacího principu
  - vzájemné interakce atomů periodické struktury

## Schéma energetických pásů



## Základní pojmy

### pásky povolených energií

- v těchto pásech se elektron může vyskytovat
- **valenční pás**
- poslední pás energií v pásovém energetickém spektru který je zcela obsazený elektrony
- **vodivostní pás**
- první pás energií v pásovém energetickém spektru, který je elektrony ne zcela obsazen
- podle obsazení vodivostního pásu můžeme pevné látky rozdělit na
  - vodiče - vodivostní pás částečně obsazen
  - izolanty - vodivostní pás je téměř neobsazen
- polovodiče se při nízkých teplotách chovají jako izolanty – vodivostní pás je neobsazen

### pásky zakázaných energií

- v těchto pásech se elektron nemůže vůbec vyskytovat
- zakázaný pás mezi valenčním a vodivostním pásem je pro izolanty poměrně velký, asi 10 eV
- polovodiče jsou látky, které mají zakázaný pás mezi vodivostním a valenčním pásem relativně malý, asi 1 eV

### Fermiho energie $E_F$

- hladina energie, která je u vodičů při teplotě  $T = 0$  K nejvýše obsazena elektrony
- při teplotě  $T > 0$  K je tato hladina energie obsazena s pravděpodobností 0,5
- u neovodičů leží hladina Fermiovy energie v zakázaném páse mezi valenčním a vodivostním pásem
- Fermiova energie je rovna chemickému potenciálu volných elektronů pevné látky

## Izolanty

- pevná látka se nazývá izolant, jestliže po přiložení elektrického napětí nevede elektrický proud
- u izolantu je valenční pás obsahující elektrony plně obsazen
- Pauliho vylučovací princip brání elektronům v přesunu do již obsazených hladin.
- vodivostní pás není elektrony prakticky vůbec obsazen
- ve vodivostním pásu je proto mnoho prázdných hladin
- aby látka vedla elektrický proud, je nutný dostatek elektronů ve vodivostním pásu
- aby se elektron dostal z valenčního do vodivostního pásu, musí překonat zakázaný pás
- zakázaný pás energií je u izolantu poměrně široký
- energie potřebná na jeho překonání je pro diamant 5,5 eV
- to je asi 140krát víc, než je střední kinetická energie volného elektronu při pokojové teplotě
- zakázaný pás je u diamantu tak široký, že jej žádný elektron za pokojové teploty nepřeskočí
- elektronu v diamantovém krystalu je třeba dodat nejméně 5,5 eV energie, má-li se jeho kinetická energie zvýšit (elektron nemůže mít energii v zakázaném pásu)
- dodat takové množství energie elektronu v krystalu pomocí elektrického pole není snadné
- elektron pohybující se krystalem prodělává v průměru na každých  $10^{-8}$  m jednu srážku
- při ní ztrácí při ní většinu energie, kterou získá z jakéhokoli vnějšího elektrického pole
- k tomu, aby elektron získal na dráze  $10^{-8}$  m energii 5,5 eV, je zapotřebí intenzity elektrického pole  $5,5 \cdot 10^8 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$
- diamant je tedy izolant, a to velice dobrý

## Vodiče

- Pro kovy je charakteristické, že se nejvyšší obsazená hladina energie nachází blízko středu vodivostního pásu.
- ve vodivostním pásu zbývá velmi mnoho prázdných hladin
- na tyto hladiny o vyšších energiích mohou elektrony přecházet
- elektrony v nejvyšším obsazeném pásu se mohou snadno přesunovat na vyšší energetické hladiny téhož pásu
- jestliže na kovový vzorek přiložíme napětí, vzorkem bude protékat proud

## Polovodiče - vlastní vodivost

- vlastní polovodič je čistá látka bez příměsí
- pásová struktura polovodičů je podobná pásové struktuře izolátorů
- za nízkých teplot se polovodiče chovají jako dokonalé izolanty
- polovodič má ale mnohem užší pás zakázaných energií mezi vrcholem valenčního pásu a dnem prázdného vodivostního pásu (pro křemík je  $E_g = 1,1 \text{ eV}$ )
- při nízkých teplotách je křemík jako vodič jen trochu lepší než diamant
- v křemíku, na rozdíl od diamantu, může při pokojové teplotě reálně docházet vlivem tepelné aktivace k přeskokům elektronů z valenčního pásu do pásu vodivostního.
- s rostoucí teplotou se tepelná energie elektronů zvyšuje
- v křemíku dochází při pokojové teplotě vlivem tepelné aktivace k přeskokům velkého množství elektronů z valenčního pásu do pásu vodivostního
- Tyto elektrony stačí ke vzniku malého elektrického proudu při působení elektrického pole.
- křemík má tak elektrický odpor co do velikosti mezi vodiči a izolátory a patří mezi polovodiče.
- přeskokem elektronu do vodivostního pásu vzniká pár volně pohyblivých nosičů náboje elektron - díra

## Polovodiče - nevlastní vodivost

- u vlastních polovodičů můžeme výrazně zvětšit jejich vodivost pomocí příměsí
- přidáním příměsí vznikne nevlastní (příměsový) polovodič

### Polovodič typu N

- vznikne přidáním látky s přebytkem valenčních elektronů
- například do čistého křemíku přidáme fosfor
- tak se vytvoří dodatečná hladina energie v zakázaném pásu v blízkosti vodivostního pásu

### Polovodič typu P

- vznikne přidáním látky s nedostatkem valenčních elektronů
- například do čistého křemíku přidáme bór
- tak se vytvoří dodatečná hladina energie v zakázaném pásu v blízkosti valenčního pásu