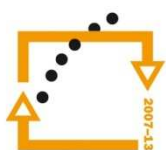




MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1

**Šablona:** Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

**Název:** Elektrický proud stejnosměrný

**Téma:** Elektrický proud v polovodičích – vlastní, nevlastní vodivost

**Autor:** Ing. Radovan Hartmann

**Číslo:** VY\_32\_INOVACE\_43-16

**Anotace:** Materiál je určen pro 2. ročníky SPŠ obor strojírenství. Jedná se o výkladovou prezentaci k problematice elektrického proudu v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost.

**Prosinec 2013**

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

**Existují dva základní mechanismy vedení elektrického proudu v polovodičích:**

1. vlastní vodivost - způsobena pouze samotným prvkem, který tvoří polovodič
2. příměsová vodivost - do daného prvku se přidávají prvky jiné, které výrazným způsobem ovlivňují vodivost polovodiče

**V této souvislosti je nutné pečlivě rozlišit mezi dvěma pojmy:**

- nečistota - ve struktuře polovodiče se objevuje nahodile a její přítomnost není žádána. Do struktury polovodiče se dostává např. při tuhnutí taveniny přímo při výrobě krystalu polovodiče.
- příměs - do struktury polovodiče se zabudovává cíleně tak, aby požadovaným způsobem ovlivnila vodivost polovodiče

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

## Vlastní polovodiče

- **Vlastní polovodič je polovodič neobsahující žádné příměsi.**
- Nejvýznamnějším materiálem pro výrobu polovodičových součástek je čistý monokrystalický křemík. Atom křemíku má 14 elektronů, z nichž je 10 pevně vázáno k jádru a zbývající 4 vytvářejí elektronové vazebné dvojice se čtyřmi sousedními atomy v krystalové mřížce. Křemík krystalizuje v diamantové struktuře, tj. plošně centrovaná kubická soustava. Na uvolnění elektronu z této kovalentní vazby je zapotřebí energie, která překoná vazebnou energii  $E_v = 1.1 \text{ eV}$ . Tuto energii musí elektron získat najednou a jsou tyto možnosti jejího získání:

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

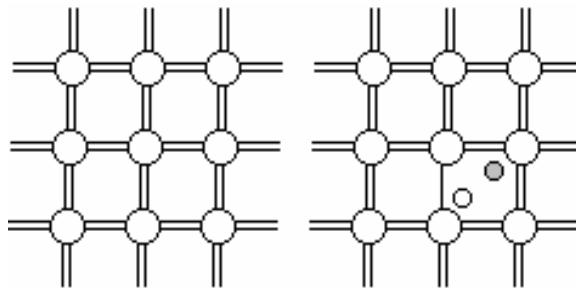
1. tepelná excitace - kladné ionty krystalové mřížky neustále kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Díky tomuto pohybu může elektron získat energii, která stačí na překonání energie vazebné. Při pokojových teplotách ( $T=300\text{K}$ ) je energie tepelných kmitů  $E=0.025\text{ eV}$  a uvolňuje se tedy tímto způsobem velice málo elektronů. S rostoucí teplotou se jejich počet ale zvětšuje.
2. světelná excitace (vnitřní fotoefekt) - elektron může energii získat dopadem elektromagnetického záření (a tedy i světla). Záření má energii, která je přímo úměrná jeho frekvenci. Energie viditelného světla se pohybuje v rozmezí 1.5 až 3.1 eV . Viditelné světlo tedy může způsobit excitaci elektronu resp. jeho vytržení z krystalické mříže atomu.

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

3. excitace silným elektrickým polem- při pokojových teplotách nepřipadá tento způsob excitace v úvahu, neboť by byla nutná elektrická intenzita takové velikosti, která by daný materiál zničila (nastal by tzv. elektrický průraz materiálu). Dojde-li k uvolnění elektronu, začne se pohybovat krystalem. Na jeho místě vzniká prázdné místo, které má kladný náboj a které se může v krystalu také pohybovat. Tato kvazičástice (objekt, který se chová skoro jako částice) se nazývá díra. Pohyb díry se děje v krystalu tak, že na chybějící místo po uvolněním elektronu se dostane jiný elektron a díra tedy vznikne jinde.  
... tak se vlastně díra přesunula na jiné místo krystalu.

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

- Proces vzniku páru elektron - díra se nazývá generace. Ke generaci je nutno dodat energii.
- Tuto energii lze dodat jedním z výše uvedených způsobů.



Obr. 1 Struktura polovodiče

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

- Struktura polovodiče bude zakreslována pouze v rovině tak, jak ukazuje obr. 1. Ve skutečnosti se jedná pochopitelně o trojrozměrný útvar.
- Dojde-li k setkání elektronu a díry, ztrácí elektron část své energie a zapojuje se opět do vazebné dvojice. Tomuto procesu se říká rekombinace. Při rekombinaci se uvolňuje energie. V polovodiči se při stálé teplotě udržuje dynamická rovnováha mezi generací a rekombinací.

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

- Zapojíme-li polovodič do elektrického obvodu, vzniká v něm elektrické pole, které způsobuje upořádaný pohyb děr ve směru elektrické intenzity a volných elektronů ve směru opačném. Výsledný elektrický proud v polovodiči je součtem proudu elektronového a děrového.

$$I = I_e + I_d.$$

- Hustota elektronů se s rostoucí teplotou zvětšuje, proto měrný elektrický odpor klesá na rozdíl od kovů, kde je hustota volných elektronů konstantní a měrný odpor se s rostoucí teplotou zvětšuje. V kovech totiž nedochází k uvolňování dalších elektronů z vazeb mříže.
- Právě popsaný typ elektrické vodivosti se nazývá vlastní vodivost.

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

## **Příměsové polovodiče**

- Příměsové polovodiče jsou polovodiče, které obsahují příměsi - atomy jiného prvku.
- Energie, která je nutná k odtržení elektronu od atomu prvku, podstatným způsobem ovlivňuje vlastnosti polovodičů. Cizí atom se může vyskytovat v:
  1. substituční poloze - nahradí vlastní atom v jeho poloze v krystalické mřížce
  2. intersticiální poloze - cizí atom se nachází mimo krystalickou mřížku, mimo tzv. uzlové body

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

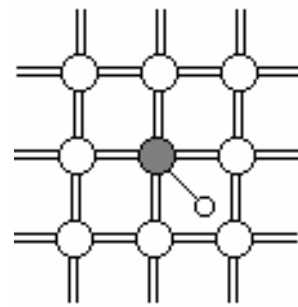
- V polovodičích se využívá substituční poloha, protože při umístění do intersticiální polohy se mění i objem polovodiče. S rostoucím objemem klesá objemová hustota vodivostních částic (počet částic na jednotku objemu), což se výrazně projeví na vodivosti polovodiče. K výrazným změnám vlastností polovodičů dochází totiž už při koncentraci 1 atom cizího prvku na  $10^8$  atomů čistého prvku (většinou křemíku). Vodivost vyvolaná pomocí příměsí se nazývá příměsová vodivost.

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

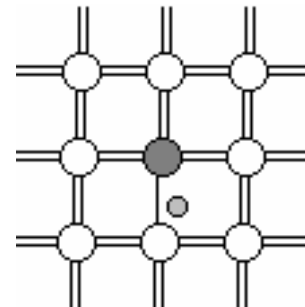
- nazývá příměsová vodivost.
- Přidáme li do křemíku, který se nachází ve čtvrté skupině periodické soustavy prvků (PSP), prvek z páté skupiny (P, As, Sb, ...), podílí se jen čtyři z pěti valenčních elektronů na kovalentní vazbě s křemíkem. Pátý elektron je vázán slabě (viz obr. 2), může se uvolnit a začít se pohybovat krystalem. Prvky 5. skupiny se stávají nepohyblivými kladnými ionty a nazývají se donory (dárci)- dávají k dispozici elektron. V takto upraveném krystalu převažují elektrony- jsou tedy většinovými (majoritními) nositeli náboje. Díry jsou menšinové (minoritní) nositelé náboje. Vytvořili jsme tak polovodič s elektronovou vodivostí, který se nazývá polovodič typu N.

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

- Elektrony převažují proto, že kromě uvolněných elektronů od prvků z 5. skupiny PSP jsou v krystalu i volné elektrony vzniklé tepelnou generací. Mechanismy vlastní vodivosti nelze zrušit.



Obr. 2 – typ N



Obr. 3 – typ P

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

- Přidáme-li do křemíku prvek ze třetí skupiny PSP (B, Al, Ga, In, ...), obsadí svými elektrony jen tři vazby. Po chybějícím elektronu, který by se podílel na další vazbě, vznikne díra (viz obr. 3), která může být snadno zaplněna přeskokem elektronu z některého sousedního atomu křemíku. Díra se tak může pohybovat krystalem. Příměsi se stávají nepohyblivými zápornými ionty a nazývají se akceptory (příjemce).
- Přijímají totiž elektrony od původního prvku polovodiče.
- Majoritními nositeli náboje jsou díry, minoritními elektrony. Tímto způsobem vznikl polovodič s děrovou vodivostí, který se nazývá polovodič typu P.

# Elektrický proud v polovodičích – vlastní a nevlastní vodivost

- Typy polovodičů si lze pamatovat jednoduše: elektronová vodivost je způsobena elektrony se záporným (negativním) nábojem a vzniká polovodič typu N; vodivost děrová je způsobena dírami s kladným (pozitivním) nábojem- vzniká polovodič typ P.
- Hustota volných nositelů náboje v příměsových polovodičích je při nízkých teplotách konstantní. Při zvyšování teploty se začíná uplatňovat také vodivost vlastní, která zvyšuje koncentraci zejména minoritních nositelů náboje. U většiny polovodičových součástek je tento jev nežádoucí, proto musí být součástky chlazeny.

## ZDROJE:

- <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/259-elektricky-proud-v-polovodicich>