

## ELEKTRICKÁ VODIVOSŤ KOVOV

V. Girman

*Katedra fyziky kondenzovaných látok, UPJŠ, Košice  
vladimir.girman@upjs.sk*

### **Abstrakt**

Článok pojednáva o podstate elektrickej vodivosti v kovových materiáloch. Opísaný je mechanizmus vedenia elektrického prúdu a dôvod, prečo majú rôzne kovové materiály rôznu elektrickú vodivosť. Pre porovnanie je uvedená aj tabuľka merných elektrických odporov niektorých čistých kovov.

### **1. Úvod**

Pod pojmom elektrická vodivosť rozumieme schopnosť materiálov viesť elektrický prúd. Je to jedna z najdôležitejších fyzikálnych vlastností. Podľa tejto vlastnosti rozdeľujeme potom všetky látky do troch skupín: sú to vodiče (typu I alebo II), polovodiče a izolanty. Kovové materiály patria do skupiny vodičov typu I, pričom ich elektrická vodivosť je v porovnaní s takými izolantmi o 15 až 24 rádov vyššia.

### **2. Základná koncepcia elektrickej vodivosti**

Stručne podstatu elektrickej vodivosti v kovoch vystihuje pásová elektrónová teória kovov, no pri jej bližšom štúdiu sa už nevyhneme aparátu kvantovej teórie tuhých látok. Zjednodušene by sa však dala elektrická vodivosť kovových sústav vysvetliť nasledovne. Uvažujme kovový kryštál, ktorý sa skladá z istého počtu atómov. Tieto atómy majú vo svojom orbite určitý počet elektrónov, ktoré sú podľa Fermiho – Diracovej rozdeľovacej funkcie rozložené do energetických hladín ( $1s^2$ ,  $2s^2$ ,  $2p^6$ ,  $3s^2$ ,  $3p^6$ , atď...), čo je dôsledok toho, že elektróny nadobúdajú energiu po kvantách, a nie spojito. Predstavme si, že každý atóm v kryštále má svoje elektróny zoradené do tejto konfigurácie. Súčasne však máme na zreteli Pauliho vylučovací princíp, podľa ktorého sa nemôžu v danom kryštále nachádzať dva elektróny s rovnakou energiou. Potom poľahky dôjdeme k

záveru, že každý atóm prispeje do energetického spektra elektrónov kryštálu energiou svojich elektrónov. Tak vznikne v kryštále pás energii  $1s^2$ , ďalší pás energii  $2s^2$ , potom pás energii  $2p^6$ , atď... Tieto pásy nazývame aj pásmi dovolených energii, pretože sú to energetické oblasti, do ktorých sa elektróny môžu dostať. Pásky dovolených energii sú však medzi sebou oddelené pásmi zakázaných energii, teda energii, ktoré elektróny nadobúdať nemôžu, a ktoré predstavujú istú energetickú bariéru pre elektróny umiestnené v dovolených pásoch. Takto sú elektróny v kryštále “poukladané“ do týchto pásov dovolených energii (šírka dovolených a zakázaných pásov sa udáva v jednotkách energie, konkrétne v [eV]).

Zaujímavá situácia však nastáva na poslednom (čiže valenčnom) páse, ktorý je daný kryštál schopný vytvoriť. Tento pás môže byť elektrónmi obsadený čiastočne, alebo úplne. Kryštál sa správa ako kov, ak má valenčný pás zaplnený len čiastočne. Elektróny, ktorými je takýto valenčný pás obsadený, nazývame aj voľné elektróny a spolu tvoria v kovovom kryštále tzv. fermiónový plyn. Elektróny tohto fermiónového plynu sa objemom kryštálu pohybujú chaoticky, čím sa vzájomne anihilujú. Preto je výsledná stredná rýchlosť elektrónu fermiónového plynu nulová. Situácia sa však mení po aplikovaní vonkajšieho elektrického poľa. Vodivostné elektróny sa pod účinkom energie elektrického poľa nabudia do

vyšších energetických stavov a začnú sa pohybovať usmernene, proti smeru pôsobenia elektrického poľa. Tým však ešte nie je zabezpečená elektrická vodivosť. Vodivostný pás musí totiž spĺňať jednu dôležitú podmienku, a to, že musí obsahovať Fermiho plochu (Fermiho plocha oddeľuje pri teplote absolútnej nuly nezaplnené energetické stavy od zaplnených). Z toho vyplýva aj povinnosť vodivostných elektrónov nadobudnúť po priložení vonkajšieho elektrického poľa také energie, aby sa nachádzali v oblasti Fermiho plochy, pretože vedenie elektrického prúdu je určované zmenami hybnosti len tých elektrónov, ktoré sa nachádzajú v blízkosti Fermiho plochy.

Zoberme si ako príklad meď. Jej elektrónová konfigurácia je  $1s^2, 2s^2, \dots, 3d^{10}, 4s^1$ . Z popisu konfigurácie je vidieť, že valenčný pás má meď zaplnený elektrónmi len do polovice, pretože orbitál  $4s$  môže byť obsadený dvoma elektrónmi. Z predošlého nám vyplýva, že na elektrickej vodivosti sa budú podieľať elektróny z orbitálu  $4s^1$ , ale až potom, čo získajú dostatočnú energiu na to, aby preskočili do druhej, neobsadenej polovice orbitálu  $4s^1$ , kde sa už nachádza Fermiho plocha. Vodivostné elektróny tak ľahko nadobúdajú vyššiu energiu a súčasne zostávajú vo svojom energetickom páse.

Trošku iný prípad je také železo. To má elektrónovú konfiguráciu  $1s^2, 2s^2, \dots, 3d^6, 4s^2$ . Správne by sa však mala jeho konfigurácia zakončiť v poradí  $4s^2, 3d^6$ , pretože orbitál  $4s$  je energeticky menej náročný ako orbitál  $3d$ , hoci je už z vyššej periódy. Zvláštnosťou oproti meďi je to, že v železe medzi orbitálmi  $4s^2$  a  $3d^6$  nielenže nie je žiadny zakázaný pás, ale tieto dva pásy energie sa vzájomne čiastočne prekrývajú. To znamená, že na elektrickej vodivosti železa sa tak môžu podieľať aj elektróny orbitálu  $4s^2$ .

### 3. Ktorý kov je najlepší vodič ?

Ak neuvažujeme kovy a ich zliatiny v supravodivom stave (t.j. pri teplotách hlboko pod 273,15 K), tak za štandardných termodynamických podmienok je z kovov najlepším vodičom elektrického prúdu striebro. Akákoľvek zliatina na báze striebra, môže teda logicky dosahovať len nižšiu elektrickú vodivosť. Praktické využitie striebra ako vodiča s najmenším odporom je však vzhľadom na jeho cenu veľmi obmedzené. Našťastie sa v prírode vyskytuje prvok, ktorý je svojou vodivosťou striebra veľmi blízky. Je ním omnoho prístupnejšia meď (viď. tabuľku merných elektrických odporov). Pre lepšie mechanické vlastnosti sa však častejšie ako čisté kovy využívajú ich zliatiny.

Tab. merných elektrických odporov

Prvok	Merný elektrický odpor $\rho$ [ $n\Omega.m$ ]
Ag	15,05
Cu	87,1
Zr	15,55
Co	420
Ni	421
Zn	197
Au	52
W	1440
Ir	65,8
Ag	130
Cu	54,5
Zr	24,5
Co	20,4
Ni	50,3
Zn	48,9
Au	98,1
W	47,1

### 4. Prečo majú rôzne kovy rôznu elektrickú vodivosť?

Elektrická vodivosť kovov je ovplyvňovaná viacerými faktormi. Sú to predovšetkým interakcie elektrón – fonón a

elektrón – porucha mriežky, pri ktorých dochádza k rozptylu elektrónov a stratám ich energie (interakcia elektrón - elektrón je pri usmernenom toku elektrónov minimálna). Obidva typy interakcii sú u každého kovu inej intenzity, pretože atómy rôznych prvkov sa vo svojich vlastnostiach líšia. Podobne môžeme uvažovať aj v prípade množstva porúch mriežky. Dôležitá je aj atómová stavba kryštálu, čiže typ mriežky. Kovy sa takisto líšia šírkou dovolených a zakázaných pásov, čo tiež vplýva na rozdielnú elektrickú vodivosť. No najviac je elektrická vodivosť ovplyvňovaná tvarom a veľkosťou Fermiho plochy, pretože ako je spomenuté vyššie, vedenie elektrického prúdu sa realizuje v oblasti tejto plochy. A bolo dokázané, že každý kov má svoju Fermiho plochu trochu ináč tvarovanú. V prípade zliatin hrá dôležitú úlohu aj prítomnosť rôznych fáz, ktoré sa líšia svojou elektrickou vodivosťou.

### **Použitá literatúra**

- [1] KITTEL CH.: *Úvod do fyziky pevných látok*. 6. vydanie, Academia, Praha, 1985.
- [2] KITTEL CH.: *Kvantová teória tuhých látok*. Alfa, Bratislava, 1977.
- [3] ČIČMANEC P.: *Všeobecná fyzika 2: Elektrina a magnetizmus*. Alfa, Bratislava, 1980.
- [4] COTTRELL A. H.: *Základy fyziky kovov*. Slov. vyd. tech. lit., Bratislava, 1961.
- [5] KUŽEL R. et al.: *Úvod do fyziky kovů II*. SNTL, Praha, 1985