

1.4. ZMENA ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VODIVÝCH MATERIÁLOV

1.4.1. INFORMÁCIE O PROBLEMATIKE

Základné fyzikálne vlastnosti kovových vodivých materiálov sú:

- merná elektrická vodivosť (odpor),
- teplotný súčiniteľ mernej elektrickej vodivosti,
- merná tepelná vodivosť,
- kontaktný potenciál a termoelektrická sila,
- mechanické vlastnosti,
- teplotný súčiniteľ rozťažnosti, teplota tavenia, hustota,
- spájkovateľnosť, obrábateľnosť, ...

Elektricky vodivý materiál je látka s vysokou koncentráciou voľných elektrických nábojov. Kovové vodivé materiály majú ako voľné nosiče náboja valenčné elektróny, ktoré sa stávajú voľnými v procese kryštalizácie. Kovové kryštály vznikajú ako dôsledok chemickej väzby, ktorej hovoríme **kovová**. Táto väzba je výsledkom pôsobenia Coulombových síl medzi voľnými valenčnými elektrónmi a kladnými iónmi kovových prvkov, ktoré sú viazané v uzloch kryštalickej mriežky. Elektróny sa v kryštále pohybujú v periodicky premennom elektrickom poli. Elektrón môže nadobúdať vlastnosti hmotnej častice alebo sa správa ako vlnenie (kmitá). Z energetického hľadiska môže elektrón zaujať taký stav, ktorý sa nachádza v oblasti dovolených energetických hladín, ktoré sú navzájom oddelené pásmi zakázaných energií (pásový model). U vodivých materiálov však **nie sú** posledné dve dovolené pásy energií navzájom oddelené pásmo zakázaných energií, ale sa prekrývajú. Posledný (vodivostný) pás nie je úplne zaplnený elektrónmi a elektróny môžu plynulo zvyšovať (znižovať) svoj energetický stav po dodaní (odobratí) určitej formy energie z (do) vonkajšieho prostredia.

Najdôležitejšou vlastnosťou vodivých materiálov je elektrická vodivosť. Je spôsobená pohybom voľných elektrónov v kryštalickej mriežke pôsobením vonkajšieho elektrického poľa. Pôsobením elektrického poľa získavajú elektróny prídavnú zložku rýchlosti proti smeru elektrického poľa, ktorá sa superponuje na rýchlosť tepelného pohybu elektrónov. Zložka rýchlosti získaná pôsobením elektrického poľa sa nazýva *driftová* alebo *transportná* a je príčinou elektrického prúdu.

Pri pohybe elektrónov vplyvom pôsobenia vonkajšieho elektrického poľa sa v ich ceste vyskytujú „prekážky“, ktoré im bránia v pohybe. Tieto sú fyzikálnou príčinou existencie elektrického odporu. Ako prekážky môžeme chápať kmitanie iónov v uzloch mriežky vplyvom teploty, nepravidelné umiestnenie iónov v mriežke, ióny prímiesí v mriežke a deformácie mriežky. V prípade zliatin môže nastať výrazné zlepšenie elektrických vlastností pri násobkoch stechiometrického pomeru zložiek, ktoré tvoria zliatinu. Zlepšenie však neprevýši vlastnosti čistých kovov. Medzi štruktúrou kovu a jeho vodivosťou existuje teda závislosť. Všeobecne je vodivosť kovu tým väčšia, čím vyšší je stupeň usporiadanosti jeho častíc, t.j. čím dokonalejšia je kryštalická mriežka a čím nižšia je teplota.

Driftová rýchlosť jednotlivého elektrónu medzi zrážkami a rýchlosť „elektrónového plynu“ vo vodivom materiáli sú rozdielne o niekoľko rádov. Preto sa zaviedol pojem stredná voľná dráha a stredná transportná rýchlosť. Pomocou strednej transportnej rýchlosti sa definuje veľmi dôležitá charakteristika tohto procesu, ktorá sa nazýva **pohyblivosť elektrónov**. Kvantitatívne je definovaná vzťahom:

$$b = \frac{v}{E} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}] \quad \text{kde: } \begin{array}{l} v \dots \text{stredná transportná rýchlosť} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \\ E \dots \text{intenzita vonkajšieho elektrického poľa} \quad [\text{V} \cdot \text{m}^{-1}] \end{array}$$

1.4.2 ZADANIE SAMOSTATNEJ PRÁCE

1. Zmerajte vplyv prímiesí a deformácie kryštalickej mriežky vodivých materiálov na meranú elektrickú vodivosť u zadaných materiálov.
2. Overte teplotnú závislosť merného elektrického odporu elektrovodných a odporových materiálov.
3. Graficky znázorníte priebehy $\rho = f(z)$ - pre vplyv deformácie, stĺpcový graf ρ pre vplyv prímiesí, $R = f(T)$ - pre vzorky 1÷7 a $\rho = f(T)$ - pre vzorky 9,10.
4. Pre vzorky 1÷7 určíte, či je daný materiál vodivý alebo nevodivý, pre vzorky 9,10 vypočítajte tepelný koeficient merného odporu $TK\rho$ a tepelnú vodivosť λ pre referenčnú teplotu 20°C.
5. V hodnotení merania fyzikálne vysvetlite priebehy nameraných hodnôt.

1.4.3 POSTUP VYPRACOVANIA

Veľkosť prúdovej hustoty v kovovom vodiči s elektrickým prúdom môžeme vyjadriť vzťahom:

$$i = e \cdot n \cdot v \quad [\text{A} \cdot \text{m}^{-2}]$$

kde: e ... náboj elektrónu [A.s]
 n ... koncentrácia voľných elektrónov [m^{-3}]

Po dosadení za v dostávame známy **Ohmov zákon**:

$$i = \sigma \cdot E \quad [\text{A} \cdot \text{m}^{-2}]$$

kde: $\sigma = e \cdot n \cdot b$ [$\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$] je **merná elektrická vodivosť**.

Prevrátená hodnota mernej elektrickej vodivosti je **merný elektrický odpor**, ktorý pre vodiče konštantného prierezu vypočítame podľa vzťahu:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad [\Omega \cdot \text{m}]$$

kde: R ... elektrický odpor vodiča [Ω]
 S ... prierez vodiča [m^2]
 l ... dĺžka vodiča [m]

Merný elektrický odpor kovov so zvyšujúcou teplotou narastá. Keďže koncentrácia elektrónov v kovoch veľmi málo závisí od teploty, príčinou je zmenšenie pohyblivosti elektrónov – vid' vzťah pre mernú elektrickú vodivosť. Podľa **Matthiessenovho pravidla** sa vyjadruje merný elektrický odpor vzťahom, v ktorom je zložka závislá od teploty ρ_t a zložka závislá od deformácií mriežky a koncentrácie prímiesí ρ_0 :

$$\rho = \rho_0 + \rho_t \quad [\Omega \cdot \text{m}]$$

V oblasti najnižších teplôt sa merný elektrický odpor nesupravodivých materiálov rovná zložke ρ_0 a u čistých kovov je veľmi malý. Druhá zložka, ρ_t závislá od teploty, je pri nízkych teplotách úmerná piatej mocnine absolútnej teploty. Nad **Debyeovou teplotou** (asi 100°K) merný elektrický odpor kovov rastie takmer lineárne od teploty. V tejto oblasti teplôt tiež platí, že pomer tepelnej a elektrickej vodivosti je úmerný absolútnej teplote:

$$\lambda = k \cdot T \cdot \sigma \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

kde: k ... konštanta úmernosti (Lorentzovo číslo)
 $k = 2,442 \cdot 10^{-8} \quad [\text{V}^2 \cdot \text{K}^{-2}]$

λ ... merná tepelná vodivosť [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

T ... teplota [K]

σ ... merná elektrická vodivosť [$\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$]

Tento vzťah je nazývaný aj ako **Wiedemann – Franzov zákon**.

Merná elektrická vodivosť materiálu λ je mierou schopnosti materiálu prenášať kinetickú energiu neusporiadaného pohybu častíc bez prúdenia, iba vedením tepla. Je podielom hustoty tepelného toku a teplotného spádu v toku. Merná tepelná vodivosť sa s teplotou mení málo. Čisté (rýdze) kovy majú vyššiu tepelnú vodivosť ako ich zliatiny.

Závislosť merného elektrického odporu od teploty sa zisťuje meraním a matematicky sa vyjadruje rovnicou pomocou mocninového radu:

$$\rho = \rho_0 (1 + a \cdot (t - t_0) + b \cdot (t - t_0)^2 + \dots) \quad [\Omega \cdot \text{m}]$$

kde a , b sú koeficienty radu, ktoré sa určia z nameranej závislosti merného elektrického odporu od teploty.

U väčšiny technických vodičov a v užšom teplotnom intervale sa nahradzuje nameraná závislosť priamkou. Z predchádzajúceho vzťahu tak zostávajú len prvé dva členy:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (t - t_0)) \quad [\Omega \cdot m] \quad \text{kde: } t_0 \dots \text{referenčná teplota (najčastejšie } 20^\circ\text{C)}$$

$\alpha \dots$ teplotný súčiniteľ odporu – označuje sa aj symbolom $TK\rho$

Z posledného vzťahu sa vypočíta $TK\rho$:

$$TK\rho = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)}{(T - T_0)} \quad [\text{deg}^{-1}]$$

Ak je závislosť merného odporu od teploty lineárna, $TK\rho$ je konštanta, pre nelineárnu závislosť je však tiež závislý od teploty. V našom meraní **linearizujeme** nameranú závislosť merného elektrického odporu a z takto získanej priamky odčítaním dvoch hodnôt a dosadením do uvedeného vzťahu vypočítame konštantnú hodnotu $TK\rho$.

1.4.4 KONTROLNÉ OTÁZKY

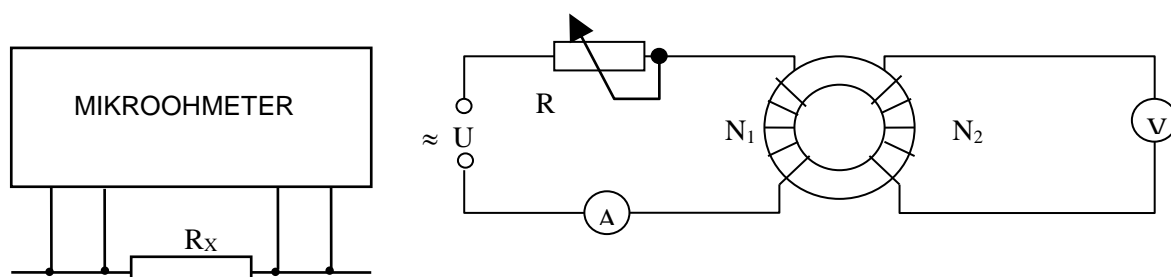
1. Charakterizujte vlastnosti vodivých materiálov.
2. Vysvetlite mechanizmus vodivosti vodivých materiálov.
3. Ako vplýva na vodivosť vodičov teplota?
4. Aký rozdiel je medzi hypervodivosťou a supravodivosťou?
5. Vysvetlite súvislosť medzi elektrickou a tepelnou vodivosťou vodivých materiálov.

Zmena vlastností vodivých a magnetických materiálov

A. Zadanie úlohy:

- Vyhodnoťte teplotnú závislosť elektrického odporu predložených vzoriek materiálov.
- Graficky znázorníte priebehy $R = f(T)$ - pre vzorky 1÷7 a $\rho = f(T)$ - pre vzorky 9,10.
- Pre vzorky 1÷7 určite, či daný materiál patrí medzi vodivé alebo nevodivé, pre vzorky 9 a 10 vypočítajte teplotný koeficient merného elektrického odporu $TK\rho$ a tepelnú vodivosť λ pre referenčnú teplotu 20°C.
- Vyhodnoťte vplyv teploty na magnetické vlastnosti vzorky magnetického materiálu pri frekvencii siete. Graficky znázorníte priebeh $B_m = f(T)$ a určite technickú Curieho teplotu.
- V hodnotení merania fyzikálne vysvetlite namerané priebehy.

B. Schéma zapojenia:



C. Merané vzorky:

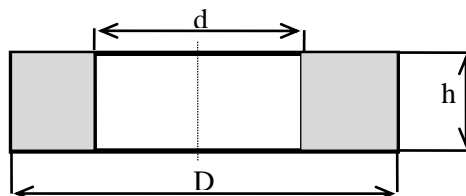
- Rezistory s rôzneho typu, termistory, platinový odporový snímač (vzorky č. 1-7), medený vodič (vz.č.9, $\phi = 0.4\text{mm}$, $l=10.58\text{ m}$), odporový vodič - konštantán (vz.č.10, $\phi = 0.6\text{mm}$, $l=9.67\text{m}$).
-

oxidový ferit

$d =$ mm, $D =$ mm, $h =$ mm

závity cievok : $N_1 =$, $N_2 =$

hmotnosť $G =$ g



D. Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt:

1) Úloha č. 1:

	Odpor [Ω]									
Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20										
50								Odpor prívodov		
60										
70										
80										
90										
100										

Vypočítané hodnoty pre vzorky č. 9 a 10:

	Teplota [°C]	20	50	60	70	80	90	100
Merný elek- trický odpor [Ωm]	Vzorka č.9							
	Vzorka č.10							

Vzor výpočtu:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} =$$

Pre linearizované priebehy (**priamky**) závislosti merného odporu od teploty – vzorky č.9 a 10 - odčítame z grafov hodnoty pre ďalší výpočet (**vyznačiť v grafoch**):

$$TK_{\rho}(9) = \frac{\rho_n - \rho_{20}}{\rho_{20} \cdot (T_n - T_{20})} = \quad \lambda(9) = k \cdot T \cdot \sigma_{20} =$$

$$TK_{\rho}(10) = \frac{\rho_n - \rho_{20}}{\rho_{20} \cdot (T_n - T_{20})} = \quad \lambda(10) = k \cdot T \cdot \sigma_{20} =$$

Úloha č.4:

$$I_1 = \text{konst} = 1 \text{ A}$$

Teplota [°C]	20	50	60	70	80	90	100	110		
Napätie U_2 [V]										0
Indukcia B_m [T]										0

Vzor výpočtu:

$$B_m = \frac{U_2}{\sqrt{2} \pi \cdot f \cdot S \cdot N_2} = \quad S =$$

E. Grafy: (v prílohe)

F. Zhodnotenie: (Vysvetliť **prečo?** má daná nameraná veličina taký priebeh.)