

17. MĚŘENÍ REZISTIVITY POLOVODIČŮ ČTYŘBODOVOU METODOU

Měřicí potřeby

- 1) měřič rezistivity
- 2) měřicí hlavice lineární
- 3) stejnosměrný zdroj
- 4) digitální multimetr V 553
- 5) miliampérmetr
- 6) ochranné odpory s přepínačem
- 7) vzorky polovodičů

Obecná část

Jednou z nejdůležitějších fyzikálních konstant, která slouží k posouzení elektrických vlastností látek, je *konduktivita* γ (dříve nazývaná *měrná elektrická vodivost*). Obecně je definována jako konstanta úměrnosti mezi proudovou hustotou \mathbf{j} a intenzitou elektrického pole \mathbf{E} v dané mikroskopické oblasti látky, tj.

$$\mathbf{j} = \gamma \mathbf{E} .$$

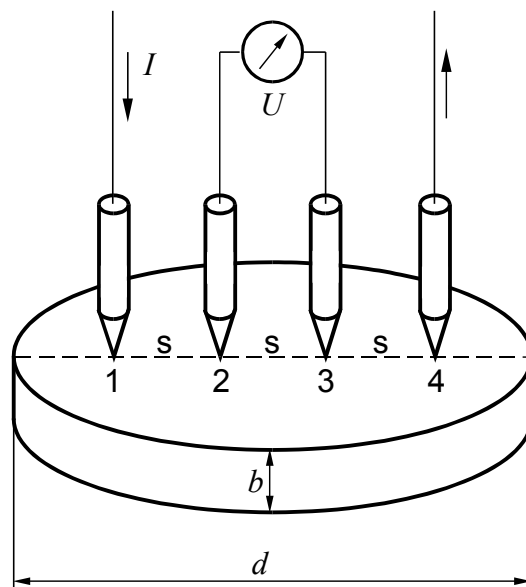
Jednotkou konduktivity je Sm^{-1} (Siemens/metr) = $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$. Její hodnota se u kovů pohybuje řádově od 10^6 do 10^7 Sm^{-1} , u polovodičů od 10^6 do 10^{-8} Sm^{-1} a izolanty mají konduktivitu 10^{-7} Sm^{-1} a nižší. *Rezistivita* ρ (dříve *měrný elektrický odpor*) je převrácená hodnota konduktivity:

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \quad [\Omega\text{m}] .$$

Měření rezistivity vodivých a polovodivých látek lze provádět různými způsoby. Velice rozšířená je čtyřbodová metoda, kterou vypracoval v r. 1954 L. B. Voldée. Výhody této metody jsou následující:

- a) Není nutná znalost všech geometrických rozměrů vzorku. Stačí pouze určit tloušťku vzorku, a to jen v tom případě, kdy je mnohem menší než ostatní rozměry.
- b) Sondy není nutné speciálně připravovat, stačí je pouze přitisknout na vzorek. Musí ale být z vhodného kovu, aby se vyloučil usměrňující hradlový jev.

Pro měření polovodičů čtyřbodovou metodou je důležité, aby byl polovodič homogenní a rozdělení potenciálu bylo stejné jako v případě ohmického odporu. Naše vzorky tomuto požadavku vyhovují. Další velkou předností této metody je její jednoduchost. Čtyři ostré hroty jsou přitlačeny na povrch měřeného vzorku kolmo v přímce (viz obr. 1) určitým, přesně daným tlakem. Vzdálenost s mezi kontakty je



Obr. 1 Princip čtyřbodové metody

stejná. Dvěma krajními kontakty 1 a 4 se přivádí do vzorku proud I z vnějšího stejnosměrného zdroje proudu. Na vnitřních kontaktech 2 a 3 měříme rozdíl potenciálů U vhodným voltmetrem.

Rezistivita ρ závisí na tvaru, tloušťce, rozměrech a teplotě měřeného vzorku. V našem případě budeme měřit vzorky ve tvaru tenkých kruhových destiček s použitím lineární měřicí hlavice s roztečí hrotů $s = 1,047$ mm. Rezistivitu takových vzorků lze určit z poloempirického vztahu:

$$\rho = \frac{U}{I} b F C K_s K_t$$

kde U je napětí na vnitřních hrotech 2 a 3, I je proud mezi hroty 1 a 4, b je tloušťka destičky, F je korekce na tloušťku b tenké destičky, C je korekce na plošný rozměr destičky, K_s je korekce geometrických rozměrů hlavice, K_t je korekce na teplotu místnosti.

Hodnoty korekčních faktorů C a F jsou uvedeny v tabulce 1 (d je průměr vzorku):

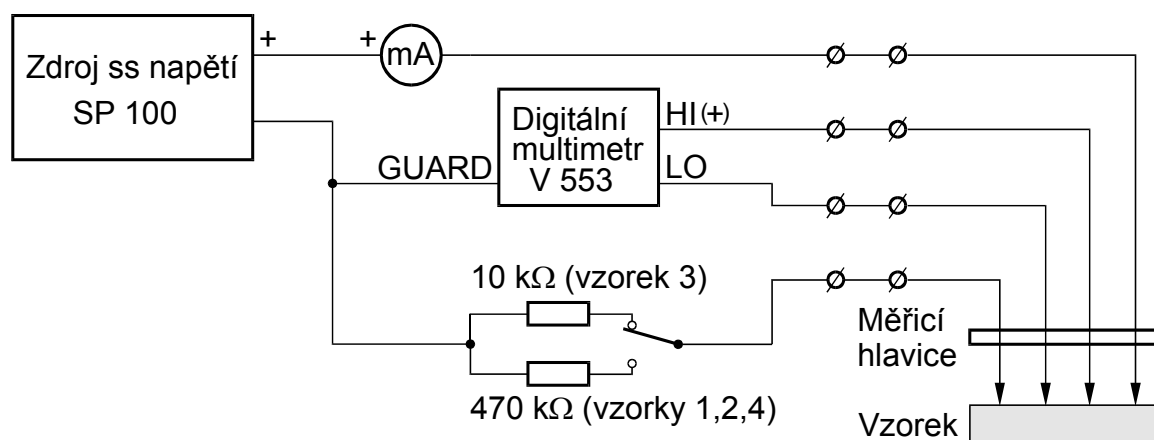
Tabulka 1

b [mm]	$\leq 0,6$	0,7	0,8	0,9	1
F	1,000	0,998	0,974	0,957	0,936
d [mm]	10	20	30	40	70
C	4,16	4,42	4,49	4,51	4,53

Faktor $K_s = 1$, pokud jsou hroty měřicí hlavice vzdáleny více než 5 mm od okraje vzorku. Faktor $K_t = 1 + 0,01 \cdot (t - 24)$, kde t je teplota místnosti ve $^{\circ}\text{C}$.

Měření

- 1) Zapojte měřící obvod dle schématu na obr. 2.
- 2) Přepínačem zvolte odpor buď 470 k Ω nebo 10 k Ω (podle měřeného vzorku).
- 3) Vzorky polovodičů jsou přilepené na destičce z plexiskla. Na vzorky nesahejte! V případě znečištění je otřete vatou navlhčenou v benzínu.



Obr. 2 Schema zapojení obvodu při měření čtyřbodovou metodou. (GUARD je svorka plovoucího stínění multimetru V553)

- 4) Do měřiče vložte vzorek a otočením páky na boku přístroje přitiskněte hroty k měřenému vzorku. Měřicí hlavici nevytahujte ani s ní jinak nemanipulujte!
- 5) Pomalu zvyšte napětí na zdroji tak, aby vzorkem protékal doporučený proud. Po celou dobu měření na jednom vzorku udržujte tento proud stále stejný. Doporučené proudy a další údaje k měřeným vzorkům jsou přiloženy u úlohy.
- 6) Při změně měřeného místa na vzorku vypínejte zdroj (tlačítkem OFF na předním panelu), aby se zabránilo jiskření a opalování kontaktů měřicí hlavice.
- 7) Před vložením **nového** vzorku do měřiče **snižte vždy napětí zdroje na nulu!**
- 8) Multimetrem V553 měřte napětí na vnitřních kontaktech 2 a 3.

Pracovní úkol

- 1) Proměřte rezistivitu u přiložených vzorků polovodiče. U každého vzorku změřte 10 hodnot napětí na místech vhodně rozložených po ploše vzorku. Neměřte ve vzdálenosti menší než 5 mm od okraje vzorku. Hodnoty zapisujte do tabulky 2:

Tabulka 2

Číslo vzorku	1	2	3	4
Průměr d [mm]				
Tloušťka b [mm]				
Proud I [mA]				
Korekce C				
Korekce K_t				
Číslo měření ↓	U_1 [mV]	U_2 [mV]	U_3 [mV]	U_4 [mV]
1				
2				
...				

- 2) Pro každý vzorek spočítejte ze zjištěných napětí střední hodnotu \bar{U} a směrodatnou chybu σ_U .
- 3) U všech vzorků určete rezistivitu ρ a její směrodatnou chybu. Výsledek uveďte ve standardním tvaru $\rho = \dots \pm \dots$ [jednotky]. Pro určení chyb si nezapomeňte poznamenat třídu přesnosti a rozsah použitého miliampérmetru! Veškeré informace týkající se stanovení chyb měření najdete v úvodní části skript v kapitole „Chyby měření“.