

4bodová metoda a odpor TV

# Metody měření odporu polovodičů

Rozsah rezistivity je u polovodičů cca 4 x větší než u kovů, je cca 8 řádů od  $10^{-4} \Omega\text{m}$  do  $10^4 \Omega\text{m}$ .

U polovodičů nepotřebujeme měřit velké proudy jako u vodičů ani malé jako u izolantů.

Problémem je naopak s technickým provedením zapojení polovodiče do obvodu elektrického měření.

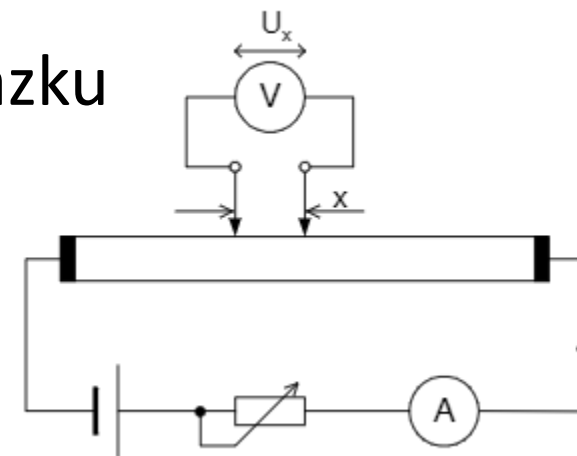
Pokud se stýkají dva kovy o různé teplotě, tak může vznikat termoelektrické napětí = problém. Ale typická je stejná teplota vzorku a kontaktů.

# Přímá metoda měření

- Měřený objekt v sérii s ampérmetrem je připojen ke zdroji stejnosměrného napětí.
- Odpor  $R$  z Ohmova zákona  $R = U/I$  [ $\Omega$ ]
- Z odporu  $R$  při znalosti rozměrů lze spočítat rezistivitu v  $\Omega\text{m}$  ze vztahu pro odpor  $R = \rho \frac{L}{A}$  [ $\Omega$ ], kde  $L$  je délka vodiče a  $A$  jeho plocha
- Odpor kontaktů a rozhraní kov/polovodič ovlivňuje přímo měřenou hodnotu. Neohmické propojení vede na různé hodnoty proudu pro různá aplikovaná napětí.

## 2 bodová metoda (2 hrotová metoda)

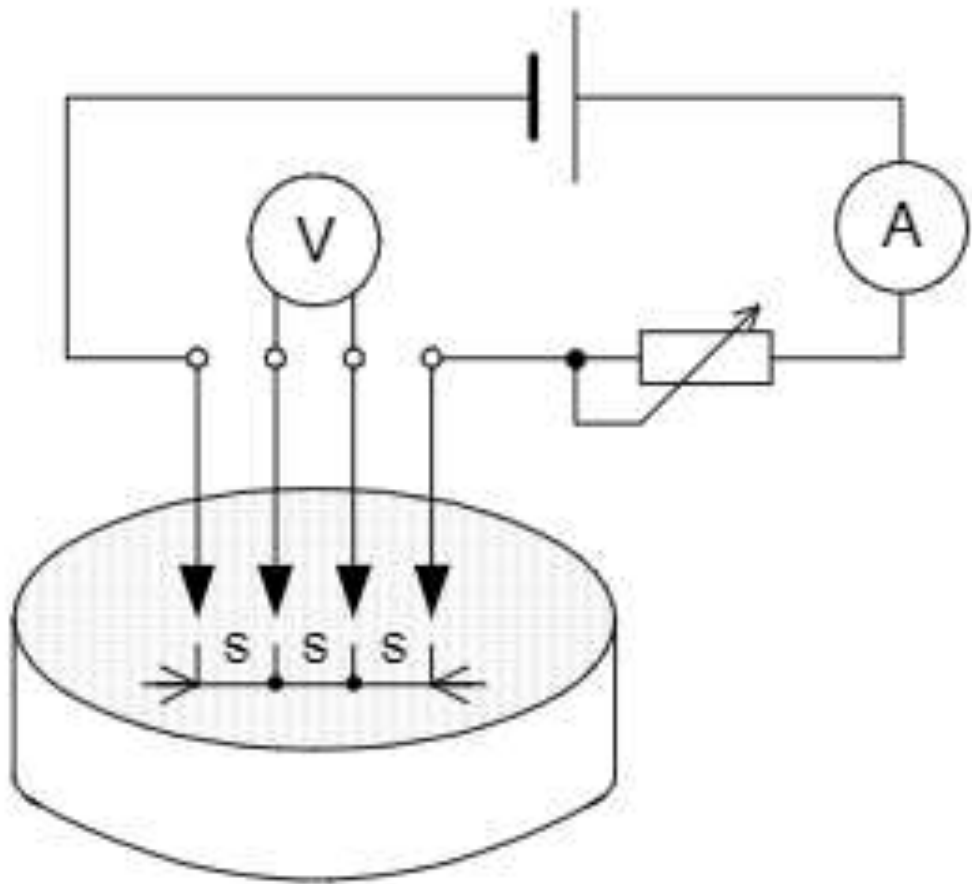
- Vzorek konstantního průřezu  $S$  je připojen jako na obrázku
- Vhodné např. pro Si ingot
- Měříme na ingotu na broušení vzniklé rovinné ploše
- Tak určíme kde je ingot dobrý a kde již k ořezu
- Pak při známé vzdálenosti hrotů  $x$ , proudu  $I$  a napětí mezi hroty  $U_x$
- Spočítáme rezistivitu  $\rho = \frac{U_x S}{I x} [\Omega\text{m}]$



# 4 bodová metoda (4 hrotová metoda)

- Původně určeno pro měření bulkových plochých polovodičů
- Používá se měřící hlava se 4 kontakty (obvykle s pružinkami pro přítlak)
- Krajní kontakty bývají proudové a vnitřní napěťové, vzdálenost mezi hroty pak je konstantní (nejčastěji, a cca 1 mm).
- Pak platí  $\rho = 2\pi s \frac{U}{I} [\Omega\text{m}]$
- Kde  $s$  je vzdálenost mezi hroty,  $U$  a  $I$  napětí a proud dle schématu
- Vztah platí pokud podíl  $h/s > 5$ , tj. vzorek je podstatně tlustší než je vzdálenost mezi hroty sondy. Vzdálenost od okraje vzorku alespoň  $4s$  a ohmické kontakty!!
- Typický vhodný proud vzorky  $I$  je 1uA.

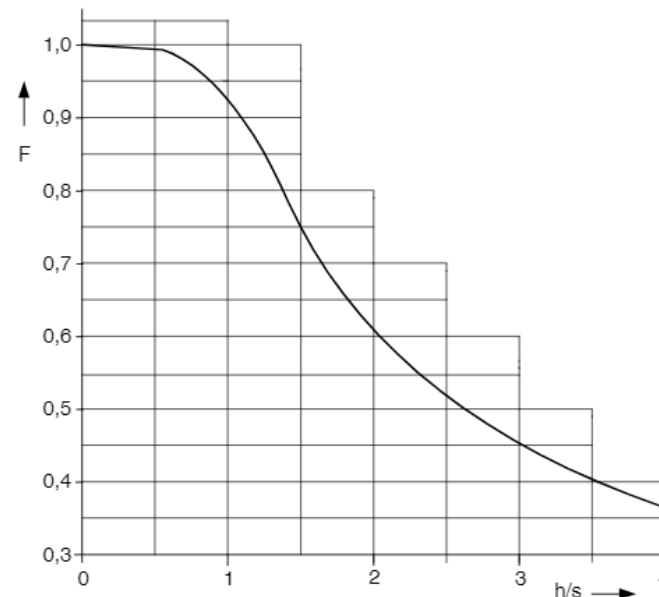
# 4 bodová metoda (4 hrotová metoda)



# 4 bodová metoda (4 hrotová metoda)

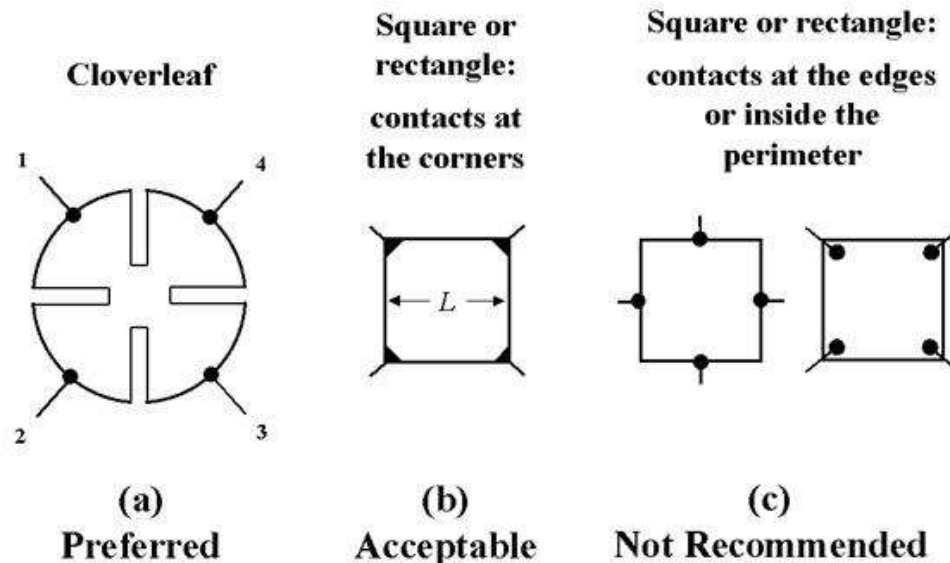
- Původní vztah vyžaduje desky tloušťky v mm, to není typické pro elektrotechnický průmysl. Wafery jsou cca 0.5 mm a 0.2 mm.
- Pak lze odvodit vztah:  $\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{U}{I} h F(h/s) [\Omega\text{m}]$
- Kde U napětí mezi vnitřními hroty, I proud mezi vnějšími hroty, h tloušťka destičky
- F(h/s) je korekční faktor
  - h tloušťka vzorku
  - s vzdálenost hrotů

Ohmický kontakt



# Modifikace pro ploché vzorky

- Známo jako metoda Van der Pauwa, vzorek ve tvaru ploché desky konstantní tloušťky, homogenní, izotropní bez děr a raději pravidelný symetrický tvar (není nezbytné)
- Malé elektrody s ohmickým kontaktem na okraji vzorku, jeden druh vodiče pro eliminaci termoelektrických napětí





# Modifikace pro ploché vzorky

Kontakty označíme protisměru hodinových ručiček 1 až 4 a měříme, alternativně někteří značí abcd

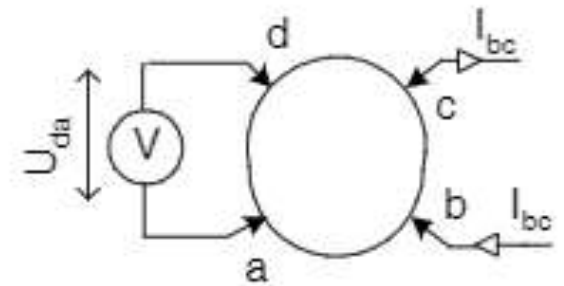
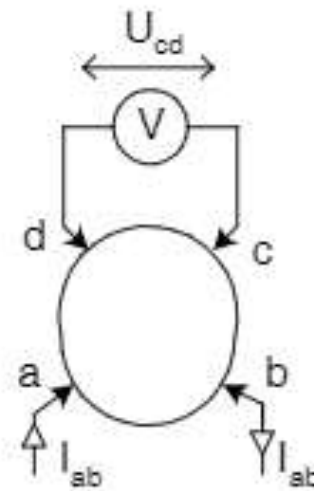
Vytvoříme proud  $I_{ab}$ , ten změříme

Zároveň měříme napětí  $U_{cd}$

Získáme  $R1 = U_{cd}/I_{ab}$

Pak kontakty přepojíme a změříme

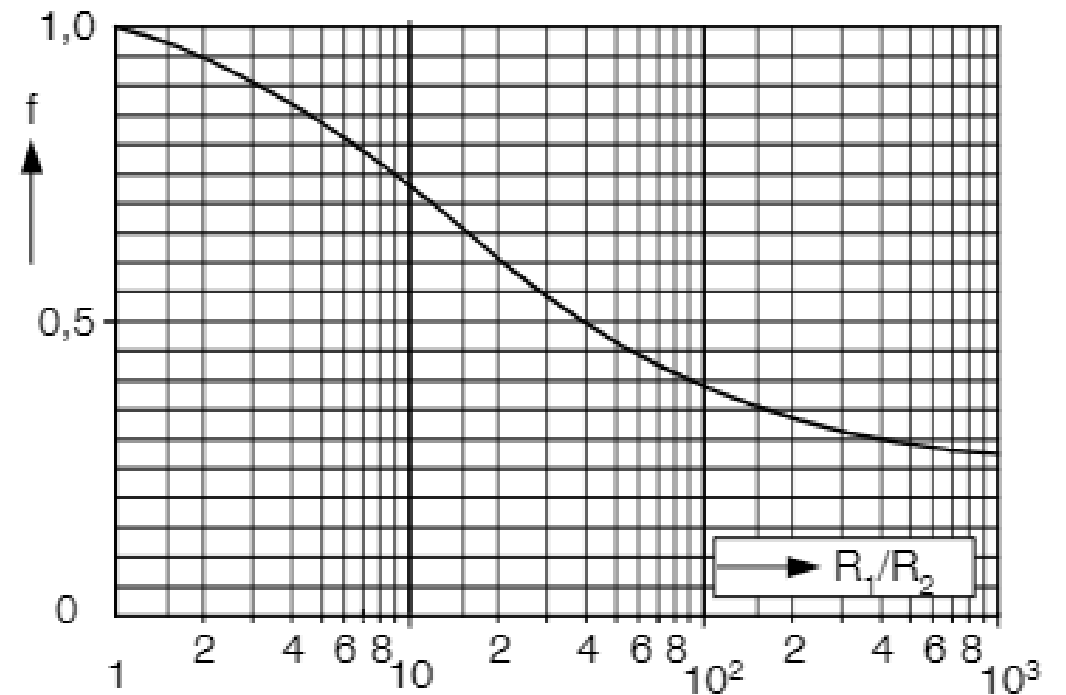
$R2 = U_{da}/I_{bc}$



# Modifikace pro ploché vzorky

A rezistivitu spočteme jako  $\rho = \frac{\pi h}{\ln 2} \frac{R_1 + R_2}{2} f(R_1/R_2)$  [ $\Omega\text{m}$ ]

Pro symetrický kruhový vzorek bude korekce 1

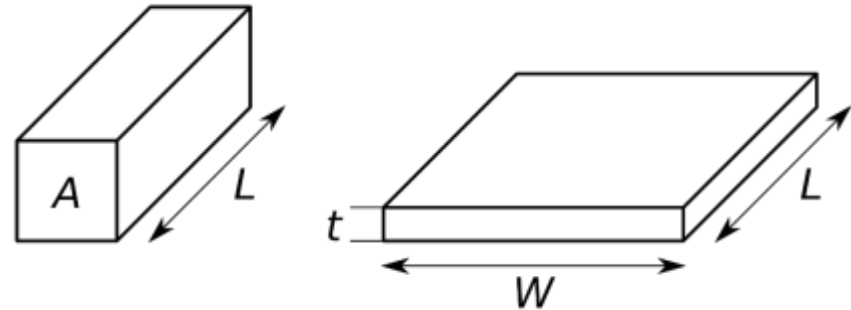


# Plošný odpor

Pro tenké vrstvy je třeba odlišný přístup, mějme dva vzorky, čtverhrannou tyč a tenkou vrstvou. Proud jimi bude protékat ve směru délky  $L$ .

$$\text{Odpor } R = \rho \frac{L}{A} [\Omega] = \rho \frac{L}{Wt} [\Omega]$$

$$\text{Upravíme na } R = \frac{\rho}{t} \frac{L}{W} = R_s \frac{L}{W}$$



Kde  $R_s$  Sheet resistance is a special case of resistivity for a uniform sheet thickness.

Jednotky  $R_s$  jsou  $\Omega\text{sq}$

$$\text{Pro 4bodovou metodu pak platí : } R_s = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{U}{I} = 4.53 \frac{U}{I} [\Omega\text{sq}]$$

# Kontakty - Metody měření odporu polovodičů

Styk polovodiče a kovu = problém

Kov a polovodič jsou materiály rozdílných vlastností a jejich vzájemný kontakt musí být ohmický s lineární závislostí proudu na napětí. Je třeba se vyvarovat usměrňovacímu efektu přechodu.

Kontakty mohou být realizovány různě.

    plošné nebo jsou často bodové (hroty)

Pokud jsou kontakty hrotové, tak je třeba v případě obvodu dodávajícího proud používat proud malý (malou hustotu), aby nedocházelo k injekci nosičů nádoje do polovodiče.

U kontaktů pro měření napětí je pak nutné ze stejného důvodu minimalizovat proud obvodem voltmetru, tj. použít voltmetr s vysokým vnitřním odporem.

# Provedení kontaktu kov – polovodič

Difúzní kontakty – malé předotované oblasti stejného typu vodivosti jako je měřený vzorek (N<sup>+</sup> u N typu a P<sup>+</sup> u P typu). Přechody jsou par strmé a ohmické, stabilní a použitelné v různých teplot. Ale příprava je složitá.

Slitinové kontakty – vytvoření N+N a P+P jako u difúzních, ale pomocí difúze vhodných kovů a ne dopatů. Opět obtížné připravit a už se to nepoužívá

Kontakty z vodivé pasty –

a – suspenze Ag částec se nanese a vypálí

b – kovové galium se vtírá do povrchu a na tomto místě se pak použije kontaktní kovová elektroda

Jednoduché, rychlé, horší vlastnosti a funkční dobře jen při pokojové teplotě.

# Provedení kontaktu kov – polovodič

Přítlačné kovové kontakty – obvykle hrot přitlačovaný na povrch, používají se různé materiály na hroty. Hrozí neohmický kontakt, tj. usměrňovací efekt.

Termokompresní kontakty – tenký drát (Au, Al) se povoží na povrch polovodiče a přitlačí za současného ohřevu (nebo působení mikrovln), tím vznikne eutektická slitina kov – polovodič. Dobré elektrické vlastnosti, ale obtížná příprava

Napařované/Naprašované kontakty – nemusí vzniknou potřebná difúzní oblast na rozhraní kov/polovodič a navíc je problematické spojit vnější část obvodu s tenkou vrstvou.