

Mikroelektronika a technologie součástek Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně			Jméno Jakub Charvot	ID 240844
			Ročník 3.	Obor MET
Spolupracoval –	Měřeno dne 23.10 2023	Odevzdáno dne 19.10. 2023	Hodnocení	
Název zadání Měření vlastností tlustovrstvých rezistorů				Č. úlohy 3

1 Teoretický úvod

1.1 Čtyřbodová metoda

Jedná se o relativně přesnou metodu měření vrstevového odporu. Je možné ji použít jak při kontrole kvality polovodičů, tak i při testování TLV odporů [1]. Metoda je použitelná pouze pro vzorky s podstatně většími rozměry, než je vzdálenost měřících hrotů [2].

Jako měřící prostředek slouží čtveřice hrotů umístěných nejlépe v jedné linii. Mezi krajními hroty necháme protékat definovaný proud a mezi prostředními hroty pak měříme úbytek napětí, který tento proud vyvolá.

Pokud neměříme vzorky s nekonečnou plochou, je potřeba měření kompenzovat různými korekčními faktory. Zejména kompenzujeme geometrické rozměry a tvar vzorku, k tomu je možné využít např. van der Pauwovu metodu [1, 2]. Pro časté tvary a rozměry vzorků pak můžeme vytvořit tabulku kompenzačních koeficientů, stejně tomu bylo zřejmě i při přípravě této úlohy.

1.2 Teplotní koeficient odporu (TKR)

Tento koeficient popisuje změnu odporu (potažmo rezistivity) materiálu v závislosti na změně teploty. Rozlišujeme pozitivní a negativní, při pozitivním TKR hodnota odporu s teplotou roste a naopak.

Výpočet odporu s uvažováním TKR je následující:

$$R = R_0[1 + TKR \cdot (T - T_0)]$$

Po vyjádření TKR získáme:

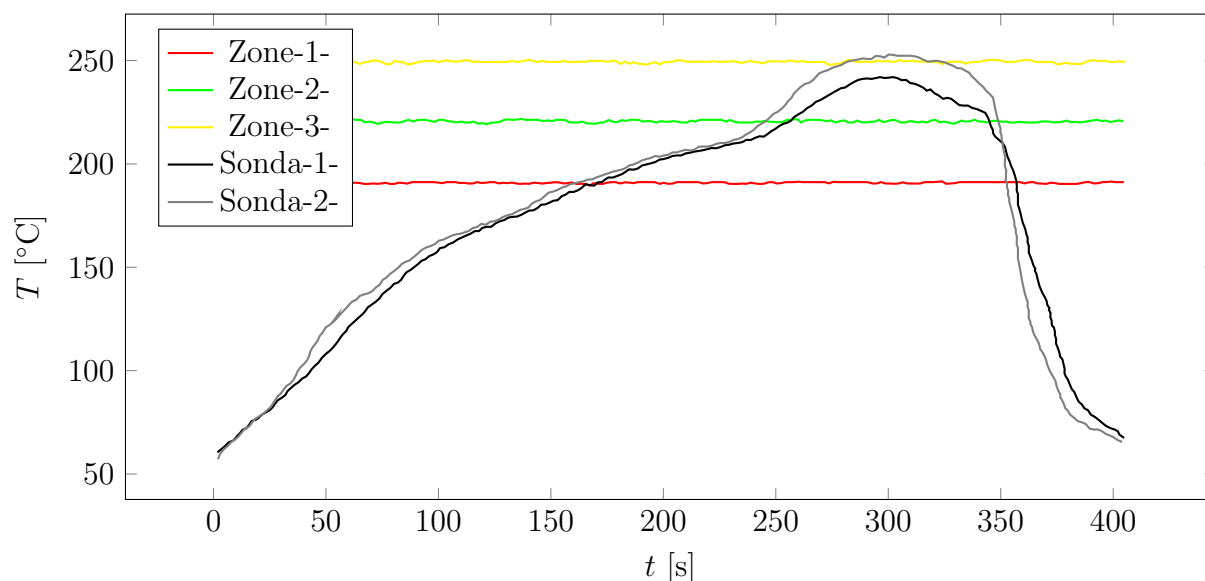
$$TKR = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot (T - T_0)}$$

Zobecněním tohoto vyjádření získáme:

$$TKR = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$$

Tuto změnu rezistivity způsobují různé fyzikální faktory. S rostoucí teplotou se zvyšuje amplituda tepelných kmitů částic, s čímž souvisí zhoršení průchodnosti pro elektrony a zvýšení odporu. Tento jev obvykle převládá u kovů a mají tedy obvykle pozitivní TKR. Naopak u polovodičů dochází s rostoucí teplotou ke zvýšené generaci nosičů náboje a tedy

odpor naopak klesá, TKR je negativní [1]. Složení materiálu je tedy zásadním parametrem. U TLV rezistorů můžeme TKR ovlivnit také dalšími parametry pasty, vliv má např. velikost zrn nebo vnitřní tření [3].



Obr. 1: Závislost na pěkných grafech...

2 Závěr

Na dodaném substrátu (č. 4) jsme za pomoci Čtyřbodové metody měřili vrstvomý odpor různých TLV vzorků. S použitím korekčních koeficientů jsme získali hodnoty v rozsahu přibližně 14 – 21 kΩ/sq. Jestli je rozptyl způsoben skutečně různými hodnotami a nebo nedostatečnou korekcí by bylo nutné ověřit měřením jinou metodou popř. více vzorků. Vzorek 2D nebylo možné stanovit, protože zde již neplatí podmínka geometrických rozměrů – pro použití této metody by měly rozměry vzorků být výrazně větší než rozstup měřících hrotů.

Dále jsme u dvou dodaných TLV rezistorů měřili TKR, pro široký (a krátký) rezistor jsme došli k $TKR_S \doteq -2,404 \cdot 10^{-3} \% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, jedná se tedy o negativní TKR. Pro dlouhý (a úzký) rezistor jsme naopak stanovili $TKR_D \doteq 1,178 \cdot 10^{-2} \% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Protože mě nenapadá žádné odůvodnění toho, proč by měl tvar rezistoru ovlivnit jeho TKR, nabízí se jednoduché vysvětlení – každý z rezistorů byl zřejmě vytvořen jinou pastou.

Při testování výkonové zatížitelnosti rezistorů jsme ověřili náš původní předpoklad a také informace získané simulací na počítačových cvičeních. Čím větší je pouzdro součástky, tím lépe odvádí přebytečné teplo, v případě substrátu FR4 dosáhla menší součástka teploty 91 °C, což je o 6 °C více, než součástka větší. Na keramickém substrátu je teplo obecně odváděno mnohem účinněji a maximální dosažené teploty pro obě součástky byly pouze 44 °C. Pro menší součástku dochází ale k většímu ohřevu substrátu, takže při vyšší zástavbové hustotě by i zde hrála velikost pouzdra roli.

Nakonec jsme destruktivním testem pozorovali změnu SMD rezistoru při přiložení nadměrného napětí. Náš vzorek vydržel (i když už s nevratným poškozením) až do napětí 26,9 V. Bylo by zajímavé vyhledat v datasheetu, pro jaký rozsah zatížení byl rezistor určen, a porovnat je se zjištěními.

Reference

- [1] OTÁHAL, A. *Měření vlastností tlustovrstvých rezistorů* [online]. 2022. [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/788241/mod_resource/content/1/Uloha%20C4%8D.3_2022.pdf.
- [2] HRABOVSKÝ, M. *Výroba nanostruktur na grafitových/grafenových vrstvách a měření jejich transportních vlastností za pokojové teploty* [Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství]. 2012. Vedoucí Ing. Miroslav Bartošík, Ph.D.
- [3] RAO, Y. S. Studies on temperature coefficient of resistance (TCR) of polymer thick film resistors. *Microelectronics International*. 2008, roč. 25, č. 3, s. 33–36. ISBN 13565362. Dostupné také z: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/studies-on-temperature-coefficient-resistance-tcr/docview/216324004/se-2>.