

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 vrstvového 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 krajiními 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 tatulku kompenzačních koeficientů.

2 Praktická část

2.1 Měření odporů čtyřbodovou metodou

Čtyřbodovou metodou jsme měřili substrát č. 4. K napájení soustavy byl použit laboratorní zdroj (MATRIX MPS-3005L-3) a nastavovali jsme proud 1 mA, který jsme měřili a kontrolovali za pomoci digitálního multimetru (KEYSIGHT 34465A). Pro některá měření rozsah zdroje nestačil pro vytvoření tohoto proudu, měřili jsme tedy s proudem menším. Po nastavení proudu jsme měřili napětí druhým digitálním multimetrem (UNI-T UT804).

Plošky 1A a 1B jsou ohrazené (s kontaktními ploškami), zbytek je pak neohrazený. Tomuto faktu je potřeba přizúšobit výpočet vrstvového odporu.

Pro ohrazené vzorky vyjdeme ze vztahu:

$$R_V = \frac{U_{23}}{I_{14}K_1} [\Omega/\text{sq}]$$

Pro neohrazené pak:

$$R_V = \frac{U_{23}}{I_{14}} C [\Omega/\text{sq}]$$

Změřené a vypočtené hodnoty se nachází v Tab. 1.

Tabulka 1: Měřené a vypočtené hodnoty pro čtyřbodové měření.

Č. plošky	K_1	C	I_{14} [mA]	U_{23} [V]	R_V [Ω/sq]
1A	0,44	2,270	1	6,447	14 652,27
1B	0,44	2,270	1	6,430	14 613,64
2A	0,285	3,500	0,962	4,778	17 383,58
2B	1/3	3,000	0,818	5,661	20 761,61
2C	0,7	1,425	0,532	7,459	19 979,46
2D	-	-	0,200	7,6825	-

2.2 Měření teplotního koeficientu odporů – TKR

Měřili jsme teplotní závislost odporu dvou tlustovrstvých rezistorů v teplotním rozsahu 25 až 140 °C. Odpor byl měřen dvojicí digitálních multimetrů (UNI-T UT805A) a teplota termočlánkem typu K. Naměřené hodnoty odporu širokého (R_S) a dlouhého (R_D) rezistoru se nachází v Tab. 2, zobrazeny jsou pak v grafu na Obr. 1, kde jsou také proloženy regresními přímkami. Rovnice vypočtených přímek jsou následující:

$$R_S = 2,13097 - 0,0000512435 \cdot t$$

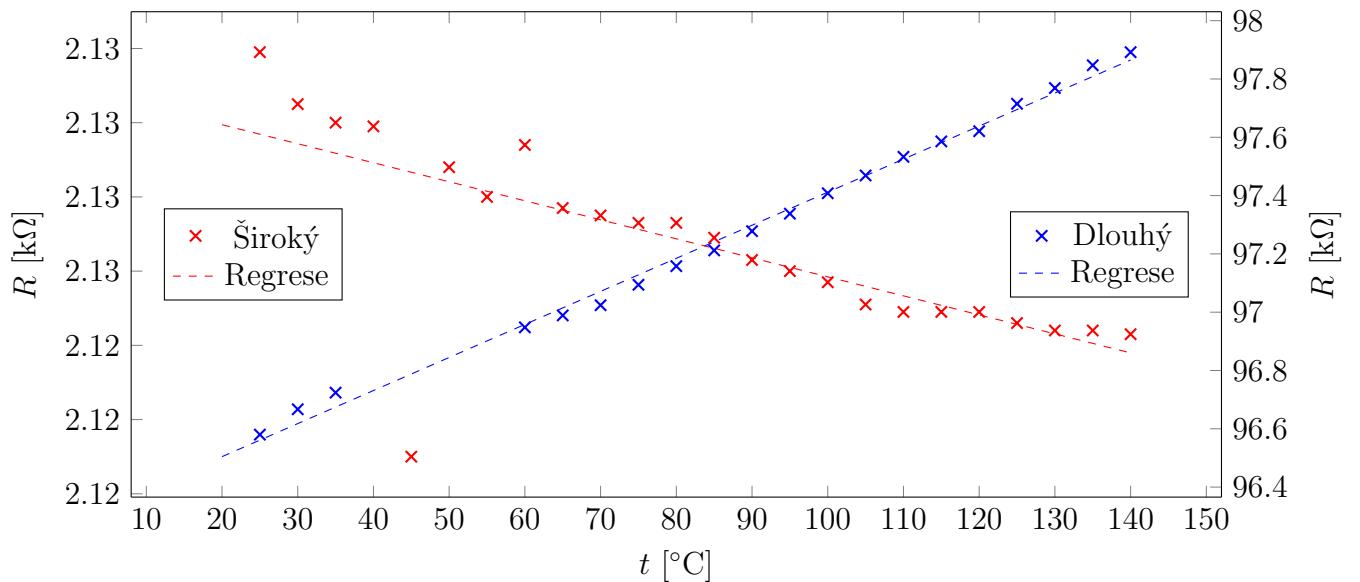
$$R_D = 0,0113403 \cdot t + 96,2776$$

TKR pak můžeme z těchto rovnic vyčítat následovně:

$$TKR_S = \frac{-0,0000512435}{2,13097} \cdot 100 \doteq -2,404 \cdot 10^{-3} \%$$

$$TKR_D = \frac{0,0113403}{96,2776} \cdot 100 \doteq 1,178 \cdot 10^{-2} \%$$

Pro široký rezistor nám vyšel TKR negativní a naopak pro dlouhý rezistor vyšel TKR pozitivní.



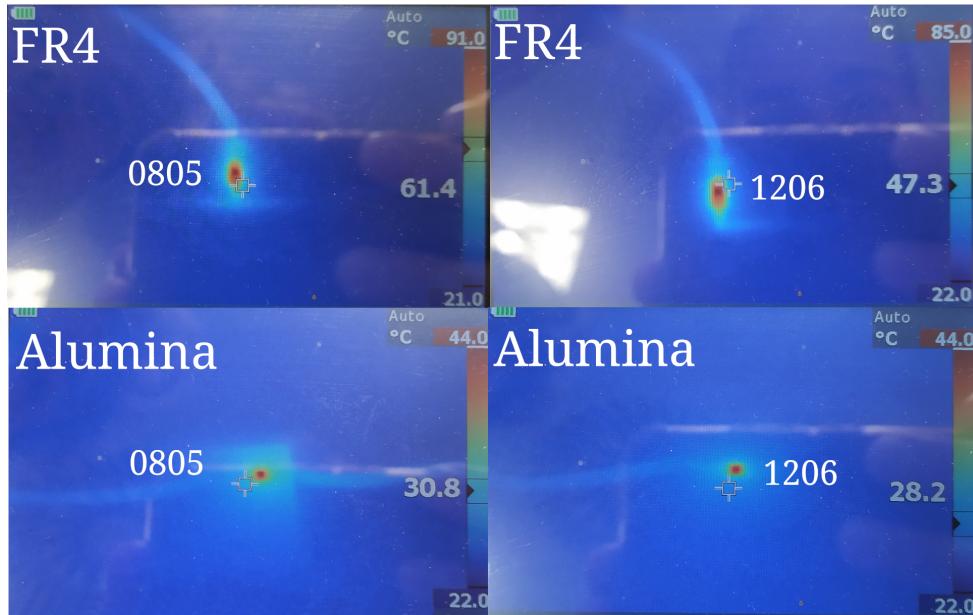
Obr. 1: Teplotní závislost dvou TLV rezistorů.

Tabulka 2: Naměřené hodnoty odporů pro rostoucí teploty.

t [°C]	R_S [kΩ]	R_D [kΩ]
25	2,1319	96,580
30	2,1305	96,667
35	2,1300	96,724
40	2,1299	-
45	2,1210	-
50	2,1288	-
55	2,1280	-
60	2,1294	96,948
65	2,1277	96,989
70	2,1275	97,024
75	2,1273	97,094
80	2,1273	97,158
85	2,1269	97,212
90	2,1263	97,278
95	2,1260	97,338
100	2,1257	97,408
105	2,1251	97,469
110	2,1249	97,533
115	2,1249	97,586
120	2,1249	97,621
125	2,1246	97,715
130	2,1244	97,769
135	2,1244	97,847
140	2,1243	97,892

2.3 Výkonové zatížení odporu

Postupně jsme testovali čtyři vzorky rezistorů a to konkrétně jejich výkonovou zatížitelnost v závislosti na použitém substrátu. Na laboratorním zdroji (TTi QPX1200SP) jsme nastavili napětí 7 V a přibližně odečetli také odebíraný proud, pro všechny vzorky to bylo 0,06 A. Vzorky pokryté termoemisní barvou jsme následně pozorovali termokamerou (FLUKE) a po ustálení stavu, tedy při maximální dosažené teplotě, jsme hodnoty zaznamenali. Porovnání jednotlivých měření se nachází na Obr. 2.

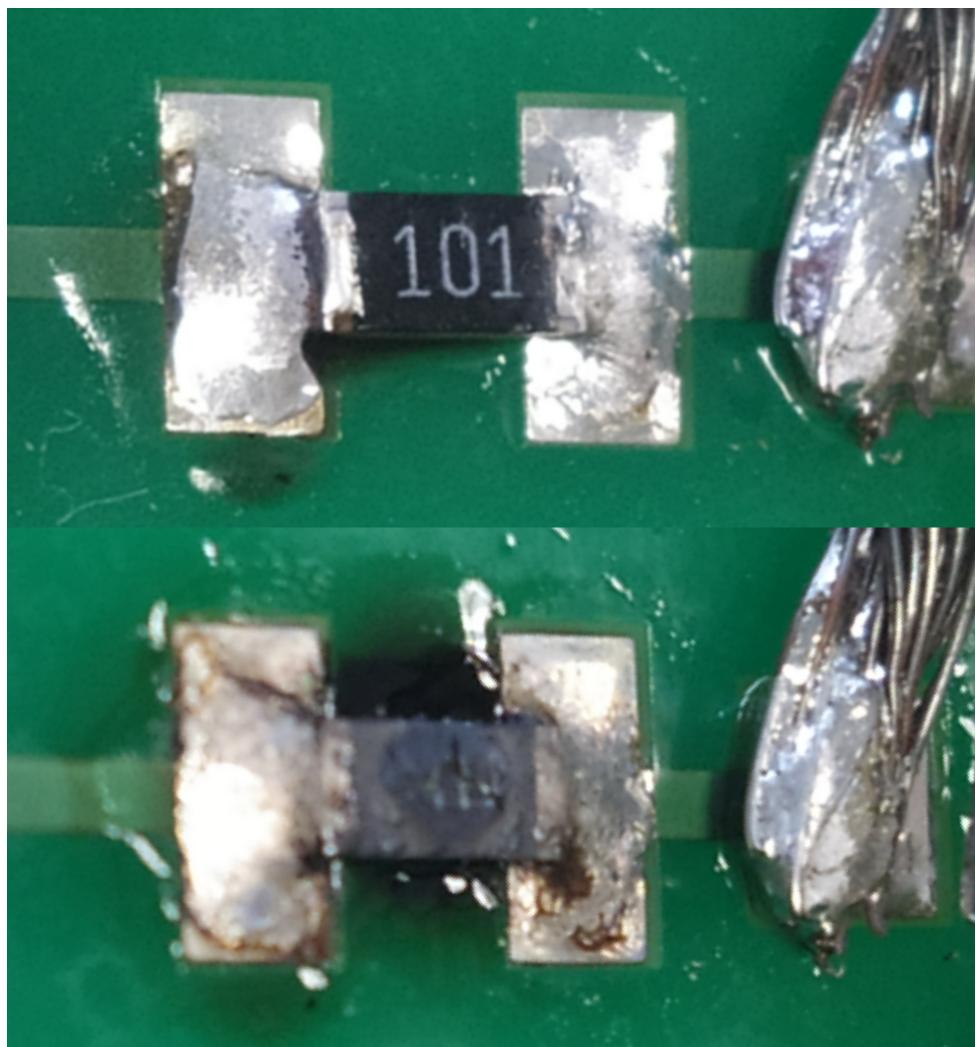


Obr. 2: Porovnání ohřevu SMD rezistorů pouzder 0805 a 1206 na různých substrátech.

Ve druhé části byl proveden destruktivní test SMD rezistoru. Zvyšováním napětí na laboratorním zdroji dochází k nárustu procházejícího proudu, ohřevu rezistoru a následně tepelnému poškození a zničení celé součástky. Výsledek testu je zobrazen na Obr. 3. Průběh zkoušky popisuje Tab. 3.

Tabulka 3: Průběh destruktivního testu SMD rezistoru.

U [V]	Popis situace
12,5	rezistor syčí
14,3	odpařování tavidla
22,2	nečitelný popisek
24,7	zvýšený zápach
25,6	viditelné žhavé místo
26,9	spálení součástky



Obr. 3: Destrukční test SMD rezistoru.

3 Závěr

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%20%C4%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.