

Diagnostika pokovených otvorů a vícevrstevných struktur realizovaných technologií TPC

22130-VZ001-2017

Realizováno za podpory projektu SGS-2015-20 Technologické a materiálové systémy v elektrotechnice

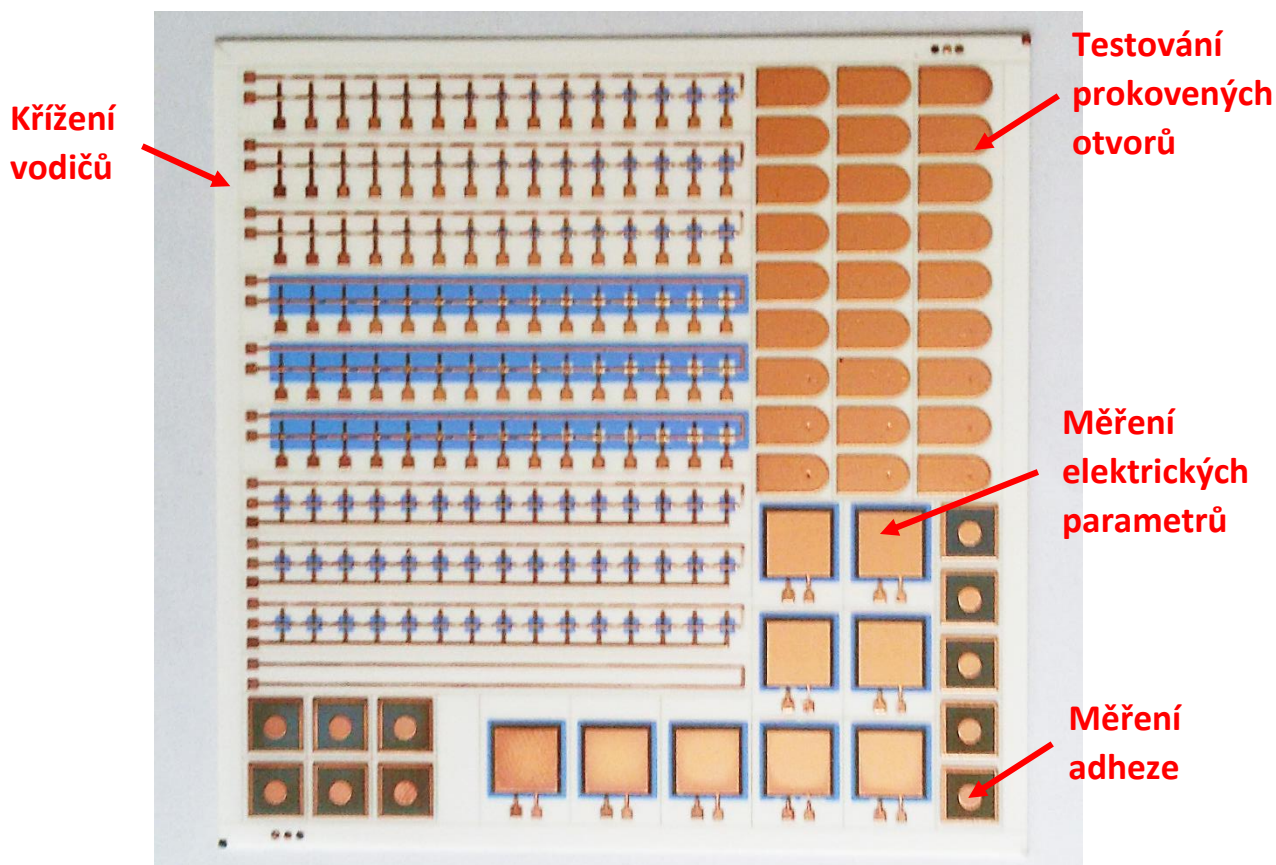
	Jméno	Společnost	Datum
Autoři	Ing. Jiří Hlína	ZČU	12/12/2017
	Ing. Jan Řeboun, Ph.D.	ZČU	
	Ing. Tomáš Džugan, Ph.D.	ZČU	
	Ing. Marek Šimonovský	ELCERAM	

1. Úvod a cíle

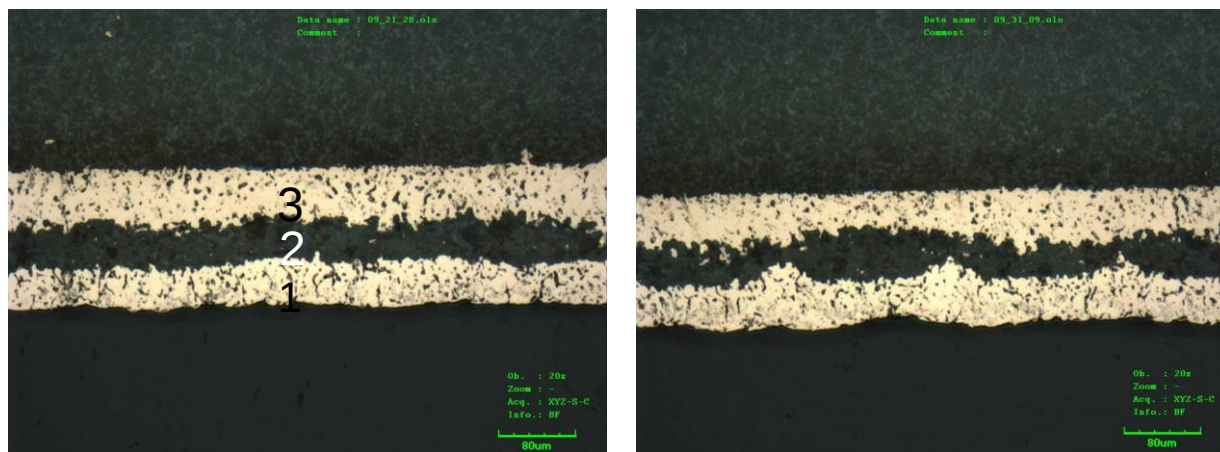
Cílem provedených experimentů je zjištění mechanických (měření adheze metodou Pull off) a elektrických (permitivity, rezistivity a elektrické pevnosti) parametrů vícevrstvých TPC substrátů. Dále byla testována spolehlivost prokovených otvorů.

2. Testované vzorky

Testovací motiv je zobrazen na Obr. 1. Skládá se z motivů pro měření adheze, motivů pro měření elektrických parametrů, motivů pro testování prokovených otvorů a motivů pro testování křížení vodičů. Základem je 96 % Al_2O_3 substrát o tloušťce 0,3 mm na kterém jsou sítotiskem natištěny vrstvy v následujícím pořadí: první měděná vrstva, dielektrická vrstva, druhá měděná vrstva. Motivy pro měření adheze a motivy pro testování prokovených otvorů mají natištěnou měděnou vrstvu i na spodní straně substrátu. Použité pasty, tloušťky jednotlivých vrstev a rozměry motivů pro měření adheze a elektrických parametrů jsou uvedeny v Tab. 1. Tloušťka vrstev byla změřena na materiálografickém výbrusu (Obr. 2). Na povrchu dielektrické vrstvy byly znát otlaky síta (Obr. 3).



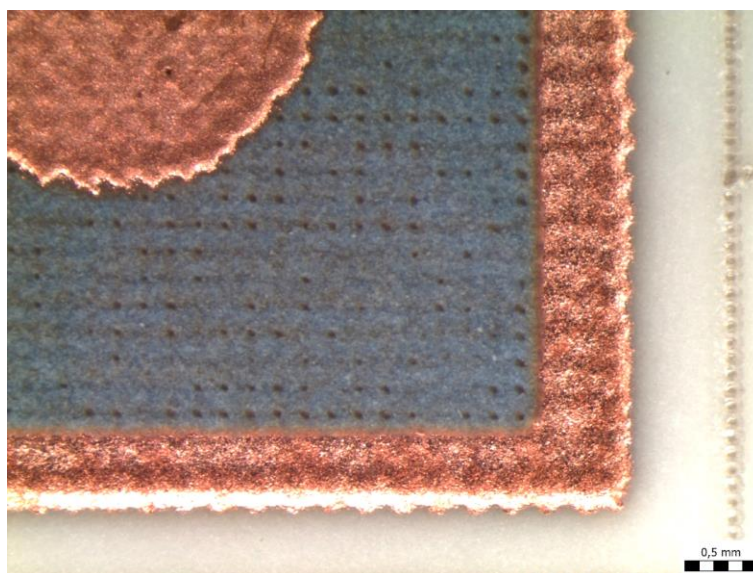
Obr. 1 Testovací motiv



Obr. 2 Výbrusy vícevrstvého TPC substrátu – 1: První vrstva mědi, 2: Dielektrická vrstva, 3: Druhá vrstva mědi

Tab. 1 Specifikace testovaných vzorků

Vrstva	Pasta	Tloušťka [μm]	Rozměry a tvary vzorků	
			Měření el. parametrů	Měření adheze
1. Cu	Heraeus C7403	58	Čtverec, 8 x 8 mm	Čtverec, 7 x 7 mm
Dielektrikum	Heraeus IP9319D	42	Čtverec, 10 x 10 mm	Čtverec, 6 x 6 mm
2. Cu	Heraeus C7403	44	Čtverec, 8 x 8 mm	Kruh, ø 3 mm



Obr. 3 Otlaky od síta na dielektrické vrstvě

3. Měření elektrických parametrů

Elektrické parametry byly měřeny na celkem 12 vzorcích. Nejprve byla RLC metrem měřena kapacita C , ze které byla dopočítána relativní permitivita ε_r podle vzorce

$$\varepsilon_r = \frac{d \cdot C}{\varepsilon_0 \cdot S},$$

kde d je tloušťka dielektrické vrstvy, ε_0 je permitivita vakua a S je obsah měděného čtverce natištěného na dielektrické vrstvě. Dále byl elektrometrem změřen protékající proud skrz dielektrickou vrstvu při napětí 200 V a z těchto hodnot byla vypočítána rezistivita podle vzorce

$$\rho = \frac{\frac{U}{I} \cdot S}{d},$$

kde I je protékající proud při napětí U , S je opět obsah měděného čtverce a d je tloušťka dielektrické vrstvy. Posledním měřeným parametrem bylo průrazné napětí U_p , ze kterého byla vypočtena elektrická pevnost E_p podle vzorce

$$E_p = \frac{U_p}{d},$$

kde d je opět tloušťka dielektrické vrstvy. Všechny změřené a vypočtené parametry jsou uvedeny v Tab. 2. Parametry udávané výrobcem dielektrické pasty jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 2 Elektrické parametry

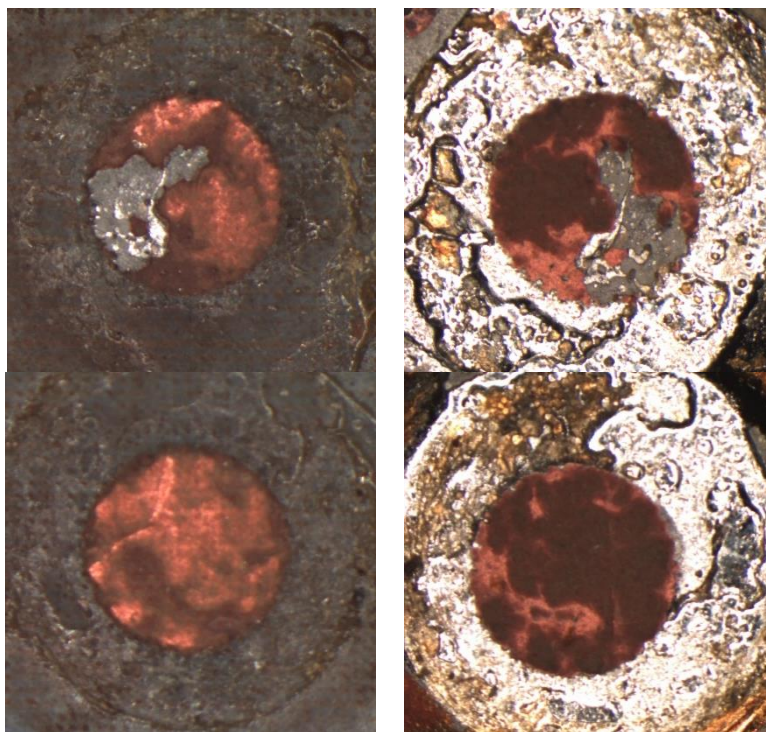
Vzorek	C při 100 kHz [pF]	Relativní permitivita ε_r [-]	Rezistivita ρ [$10^9 \Omega \cdot m$]	Průrazné napětí U_p [kV]	Elektrická pevnost E_p [kV/mm]
1	68,73	5,10	11,90	0,317	7,55
2	78,76	5,84	0,52	0,341	8,12
3	76,35	5,66	0,86	0,325	7,74
4	68,47	5,08	5,40	0,398	9,48
5	63,36	4,70	3,76	0,313	7,45
6	72,96	5,41	2,01	0,376	8,95
7	62,37	4,62	4,13	0,362	8,62
8	74,57	5,53	1,30	0,380	9,05
9	68,69	5,09	5,92	0,335	7,98
10	63,64	4,72	3,62	0,435	10,36
11	75,38	5,59	3,82	0,354	8,43
12	71,69	5,32	0,29	0,348	8,29
Průměr	70,41	5,22	3,63	0,357	8,50

Tab. 3 Parametry udávané výrobcem dielektrické pasty

Parametr	Hodnota udaná výrobcem diel. pasty
Elektrická pevnost E_p [kV/mm]	≥ 14
Relativní permitivita ϵ_r [-]	6-8

4. Měření adheze

Adheze byla měřena na 10 vzorcích metodou Pull off. Ke vzorkům byly z obou stran připájeny mosazné šrouby při teplotě 350 °C. Takto připravené vzorky byly upnuty do trhacího zařízení. Při testu se čelisti pohybovaly od sebe rychlostí 50 mm/min. Počítačem byl zaznamenán průběh síly v čase, kterou byly vzorky namáhány. Výsledky měření jsou uvedeny v Tab. 4. Vzorky po Pull off testu jsou zobrazeny na Obr. 4. Adheze byla rovněž měřena i na 6 vzorcích po testování teplotními cykly (1000 cyklů, -40 °C až 125 °C, 10 min/10 min). Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v Tab. 5.



Obr. 4 Vzorky po Pull off testu

Tab. 4 Výsledky měření adheze

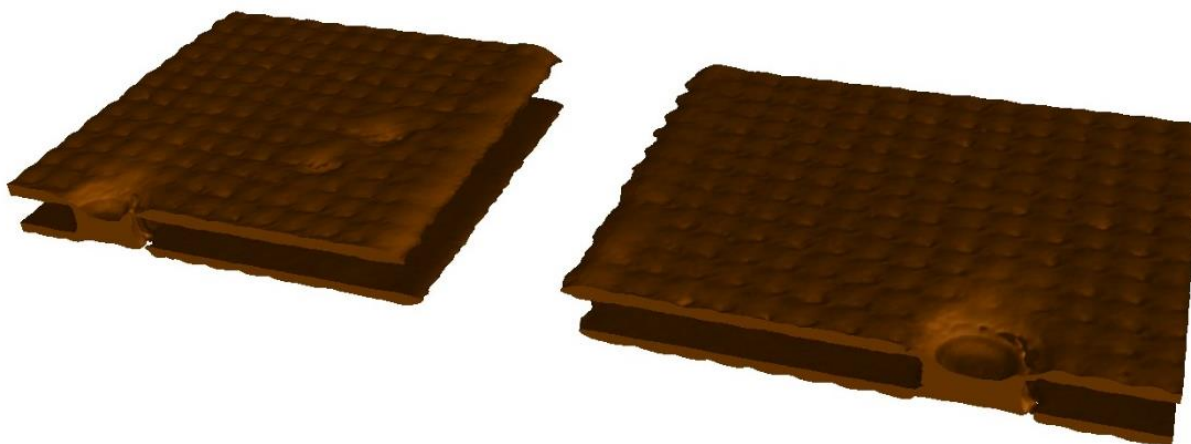
Vzorek	F [N]	F _{AVG} [N]	F _{AVG} [N/mm ²]
1	183,45	205,76	29,11
2	223,51		
3	197,10		
4	190,65		
5	182,81		
6	246,97		
7	231,70		
8	214,51		
9	199,57		
10	187,53		

Tab. 5 Výsledky měření adheze po teplotních cyklech

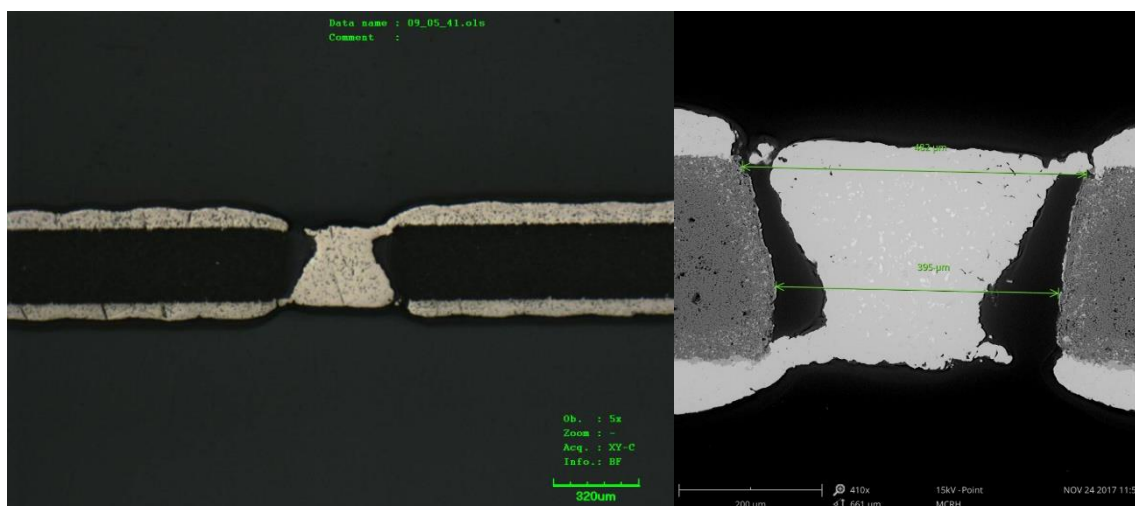
Vzorek	F [N]	F _{AVG} [N]	F _{AVG} [N/mm ²]
1	130,58	176,69	24,99
2	191,38		
3	158,93		
4	160,54		
5	224,21		
6	194,49		

5. Testování prokovených otvorů

Prokovené otvory na TPC substrátech jsou tvořeny měděnou pastou. Pasta je zatlačena do vyvrtaného otvoru během tisku měděné vrstvy. Celkem bylo testováno šest vzorků, každý vzorek se skládal z 9 prokovených otvorů s průměry 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 a 500 μm . Na Obr. 5 je zobrazen 3D CT snímek dvou prokovených otvorů. Rovněž byl realizován i materiálografický výbrus prokoveného otvoru o průměru 400 μm (Obr. 6). U všech testovaných vzorků byl měřen odpor čtyřbodovou metodou před, v průběhu a po testování teplotními cykly (1000 cyklů, -40 °C až 125 °C, 10 min/10 min). Hodnoty odporů jsou uvedeny v Tab. 6 a Tab. 7.



Obr. 5 3D CT snímek prokovených otvorů



Obr. 6 Materiálografický výbrus

Tab. 6 Odpor prokovených otvorů před teplotními šoky

Vzorek	R [mΩ]					
	1	2	3	4	5	6
Ø 100 μm	4,6	6,7	7,5	1,5	1,2	5,5
Ø 150 μm	5,2	7,2	7,6	1,8	2,0	5,4
Ø 200 μm	6,8	6,3	6,4	1,6	1,7	6,0
Ø 250 μm	6,6	7,3	7,2	1,0	1,3	6,7
Ø 300 μm	7,0	6,4	6,8	1,3	2,2	7,0
Ø 350 μm	5,5	6,5	7,0	1,7	2,5	6,5
Ø 400 μm	6,3	8,4	11,2	2,1	3,1	6,1
Ø 450 μm	5,8	7,8	8,6	2,2	3,6	6,4
Ø 500 μm	5,4	6,9	9,6	2,0	3,7	6,7

Tab. 7 Odpor prokovených otvorů po 1000 teplotních šocích

Vzorek	R [mΩ]					
	1	2	3	4	5	6
Ø 100 μm	6,5	5,6	6,2	1,6	1,9	6,1
Ø 150 μm	5,6	5,0	6,3	2,9	1,7	6,6
Ø 200 μm	7,2	7,5	7,9	2,2	1,8	5,9
Ø 250 μm	8,2	8,1	X*	2,4	2,4	6,5
Ø 300 μm	6,1	7,5	6,1	1,9	1,1	5,1
Ø 350 μm	4,6	7,9	7,0	2,1	2,5	5,8
Ø 400 μm	4,2	6,7	6,9	1,8	2,2	6,5
Ø 450 μm	5,4	6,1	7,4	1,9	2,6	7,1
Ø 500 μm	7,7	5,9	6,5	1,3	2,1	7,5

* selhání po 428 teplotních šocích

6. Zhodnocení

Byly změřeny mechanické a elektrické parametry vícevrstvého TPC substrátu. Změřené hodnoty elektrické pevnosti a relativní permitivity jsou nižší, než udává výrobce dielektrické pasty (Tab 2). Tloušťka natištěné dielektrické vrstvy není rovnoměrná a v některých místech je značně zeslabena (viz Obr. 3 a materiálografický výbrus na Obr. 2).

Při měření adheze docházelo k odtržení druhé měděné vrstvy společně s dielektrickou vrstvou (Obr. 3). Velikost adhezí síly je dostatečná pro spolehlivou funkci vícevrstvého TPC substrátu. Adheze byla změřena i na vzorcích po testu teplotními cykly. Adhezí síla se v tomto případě zmenšila přibližně o 16 %.

Dále byly testovány prokovené otvory s různým průměrem. S výjimkou jednoho prokoveného otvoru byly všechny vzorky funkční i po 1000 teplotních cyklech. Na materiálografickém výbrusu (Obr. 6) je patrné, že měděná pasta, která vyplňuje otvor v keramickém substrátu, se během výpalu smršťuje a po výpalu je spojena s vrstvami na povrchu substrátu jen na některých místech.

Na základě těchto výsledků budou vyrobeny další vzorky s novou dielektrickou pastou, u kterých bude kladen větší důraz na kvalitu tisku.