

Vlastnosti měděných a stříbrných tlustých vrstev na keramických substrátech

Jiří Hlína, Jan Řeboun, Aleš Hamáček

Katedra technologií a měření
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
hlina@ket.zcu.cz

Properties of Copper and Silver Thick Films on Ceramic Substrates

Abstract – This paper is focused on comparison of copper (Thick Printed Copper) and silver thick films on alumina substrates properties. Thick film technology is used in many fields of electronic industry. Thick printed copper is a new prospective technology, which is used for power electronics substrate manufacturing. Comparison of adhesion, solderability and other properties of TPC technology and silver thick films are mentioned in this paper.

Keywords – Alumina; Copper; Silver; Thick Film.

I. ÚVOD

Technologie tlustých vrstev se používá k vytváření vodivých, odporových nebo dielektrických vrstev na keramických substrátech. Tlustovrstvé vodivé pasty se skládají ze tří základních složek – funkční složky (vodivý materiál), anorganického pojiva a organické složky. Funkční složka je tvořena kovovými částicemi (měď, zlato, slitiny stříbro-paladium, stříbro-platina atd.). Kovové částice tvoří 50 % až 70 % hmotnosti pasty a velikost a tvar těchto částic mají vliv na fyzikální a elektrické vlastnosti výsledné vrstvy. Anorganické pojivo ve formě oxidů nebo skla zajišťuje sintrování pasty během výpalu a vytváří spojení mezi funkční složkou a substrátem. Organická složka zajišťuje tiskové vlastnosti pasty. Pasty jsou nanášeny síťotiskem, následně jsou zasušeny a vypáleny.

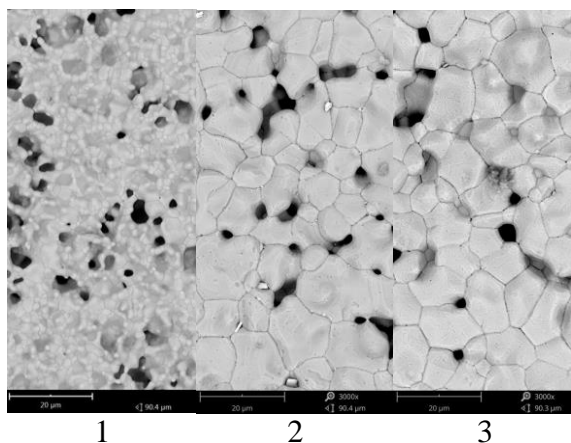
Stříbrné pasty se vypalují v oxidační atmosféře při teplotě kolem 850 °C. Tyto pasty patří mezi nejpoužívanější v hybridní elektronice. Mohou být vypalovány společně s odporovými vrstvami. Měděné pasty se vypalují v dusíkové atmosféře při teplotě kolem 900 °C. Tlusté vrstvy mědi na keramických substrátech se označují jako Thick Printed Copper (TPC). Tato technologie využívá systému dvou past. První pasta je adhezní a slouží k vytvoření adhezní vrstvy na keramickém substrátu. Druhá pasta (build up pasta) slouží k navýšování tloušťky měděné vrstvy až do 300 μm.

II. EXPERIMENT

Adheze natištěných vrstev představuje velmi důležitý parametr pro dosažení vysoké spolehlivosti, životnosti a funkčnosti výsledného zařízení. Pro měření adheze byly použity 3 skupiny vzorků s natištěnými měděnými a stříbrnými vrstvami na korundových (96% Al₂O₃) substrátech. Vzorky 1 byly tvořeny čtyřmi vrstvami stříbrné pasty C2030 a dvakrát vypáleny v oxidační atmosféře. Vzorky 2 obsahovaly čtyři vrstvy měděné pasty C7403 (adhezní pasta) a byly dvakrát vypáleny v dusíkové

atmosféře. Vzorky 3 byly tvořeny čtyřmi vrstvami měděné pasty C7403 (adhezní pasta), čtyřmi vrstvami měděné pasty C7404C (build up pasta) a vypáleny čtyřikrát v dusíkové atmosféře.

Na Obrázku I jsou znázorněny snímky povrchu a velikosti zrn jednotlivých vzorků z elektronového mikroskopu Phenom ProX. Bílé plošky představují skelnou fázi a černá místa póry.



Obrázek I. Porovnání povrchu a velikosti zrn – 1: vzorek 1, 2: vzorek 2, 3: vzorek 3

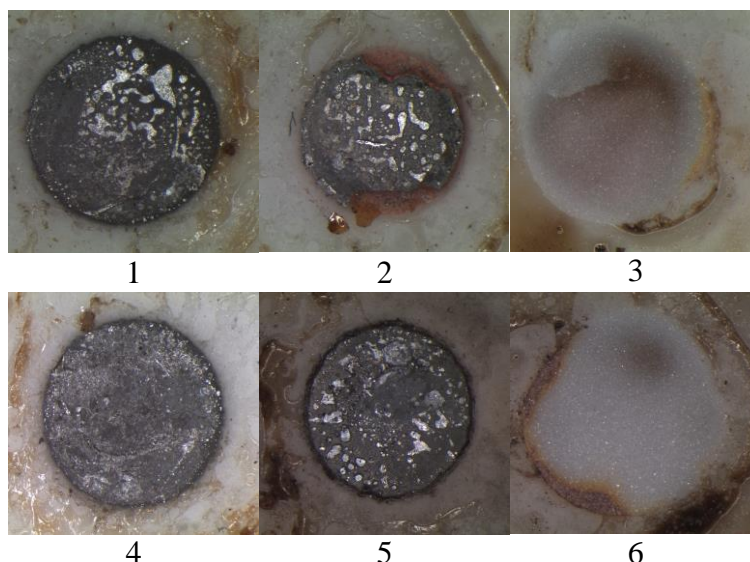
A. Adheze

Adheze byla měřena metodou “Pull off“. Testovací vzorky se skládaly z kruhového stříbrného nebo měděného motivu o průměru 3 mm na horní straně a ze čtvercového motivu o rozměrech 5 mm x 5 mm na spodní straně. K jednotlivým vzorkům byly SnPb pájkou připájeny mosazné šrouby a pomocí nich byly vzorky uchyceny do trhacího zařízení. Výsledky měření adheze jsou uvedeny v Tabulce I. Hodnota adhezní síly byla vypočtena jako průměr z deseti vzorků. Vzorky po odtržení byly pozorovány mikroskopem (Obrázek II). Vzorky 1 se odtrhly v pájce. U vzorků 2 došlo k částečnému odtržení měděné vrstvy. U vzorků 3 došlo k odtržení v keramickém substrátu.

TABULKA I. VÝSLEDKY MĚŘENÍ ADHEZE A PÁJITELNOSTI

Vzorky	Popis	Tloušťka [μm]	Adhezní síla [N/mm ²]	Adhezní síla po stárnutí [N/mm ²]	Smáčecí úhel SnPb / Actiec 5	Smáčecí úhel SAC 305 / SMNA
1	C2030 – 4 vrstvy	40	28,81	24,73	19,3°	4,5°
2	C7403 – 4 vrstvy	70	36,09	27,39	1,0°	43,9°
3	C7403- 4 vrstvy C7404C – 4 vrstvy	292	39,64	37,69	0,6°	46,3°

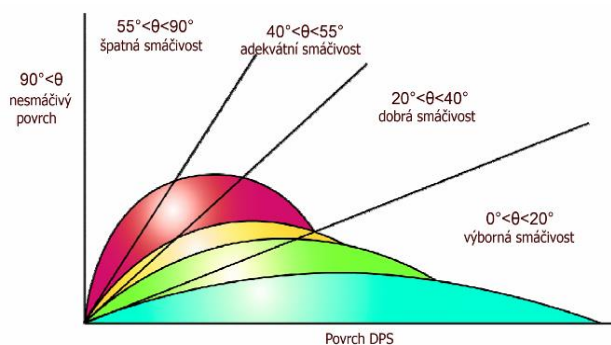
Adheze byla měřena rovněž u vzorků po stárnutí suchým teplem (při 155 °C po dobu 1000 hodin). Povrch těchto vzorků bylo nutné nejprve broušením zbavit vrstvy oxidů. Výsledky měření adheze po stárnutí jsou uvedeny v Tabulce I a snímky vzorků po odtržení na Obrázku II. Vzorky 1 a 2 se odtrhly v pájce a u vzorků 3 došlo opět k odtržení v keramickém substrátu.



Obrázek II. Vzorky po Pull off testu – 1: vzorek 1, 2: vzorek 2, 3: vzorek 3, 4: vzorek 1 po stárnutí, 5: vzorek 2 po stárnutí, 6: vzorek 3 po stárnutí

B. Pájitelnost

Dalším měřeným parametrem byla pájitelnost. Pájitelnost byla měřena z důvodu vysvětlení rozdílného chování vzorků při měření adheze a k jejímu měření byla použita metoda “Spread test“. Tato metoda je založena na přetavení kuličky pájky na testovaném povrchu a následném určení velikosti smáčecího úhlu. Podle velikosti smáčecího úhlu je následně určena kategorie smáčivosti (Obrázek III). Pro každý typ vzorků byly použity dvě rozdílné kombinace tavidla a pájky (bezolovnatá pájka SAC 305 + neaktivní tavidlo SMNA a SnPb pájka + aktivní tavidlo Actiec 5). Výsledky měření pájitelnosti (hodnoty velikosti smáčecích úhlů) jsou uvedeny v Tabulce I.

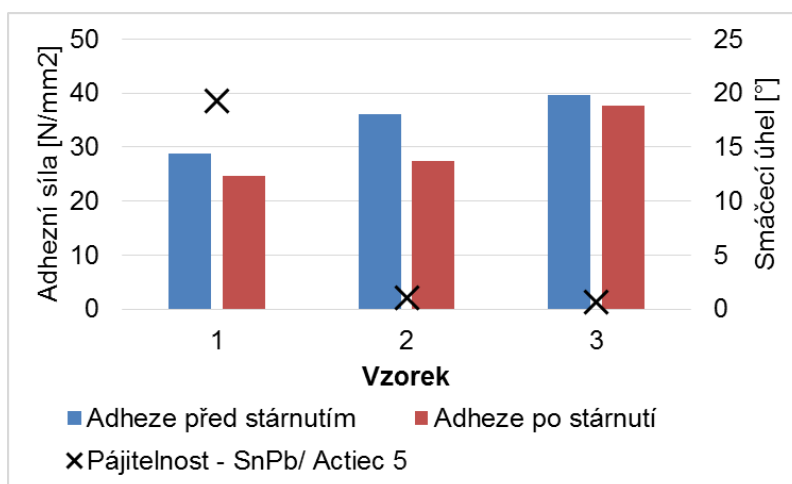


Obrázek III. Vyhodnocení velikosti smáčecího úhlu

III. ZÁVĚR

Bylo provedeno porovnání vlastností tištěných měděných a stříbrných tlustých vrstev. Výsledky měření adheze, měření adheze po testu stárnutím suchým teplem a měření pájitelnosti jsou uvedeny v Tabulce I a na Obrázku IV. U vzorků 1 nebylo možné změřit adhezní sílu, protože u těchto vzorků došlo k odtržení v pájce při síle kolem 29 N/mm². Vzorky 2 se částečně odtrhly v keramice a částečně v pájce při síle kolem 36 N/mm² a u vzorků 3 došlo k odtržení v keramice při síle kolem 40 N/mm². Z naměřených hodnot je patrné, že pevnost pájky v tahu u vzorků 2 a 3 je vyšší než adhezní síla u vzorků 1. To může být způsobeno menší velikostí zrn (Obrázek I) a nižší

pájitelností. Proto bylo u vzorků následně provedeno i měření pájitelnosti. Pájitelnost byla změřena pro dvě kombinace pájecí slitiny a tavidla. Důležitá byla zejména kombinace SnPb pájky a aktivního tavidla Actiec 5, protože při měření adheze byla použita právě tato pájecí slitina. Všechny vzorky měly výbornou smáčivost (dle kategorií smáčecích úhlů na Obrázku III), ale pájitelnost vzorků 1 se stříbrnými vrstvami byla nižší (smáčecí úhel $19,3^\circ$) než u vzorků 2 ($1,0^\circ$) a vzorků 3 ($0,6^\circ$) s měděnými vrstvami.



Obrázek IV. Výsledky měření

Adhezní síla jednotlivých vzorků byla změřena i po testu stárnutí suchým teplem. U všech vzorků došlo k poklesu adhezní síly (Obrázek V). Největší pokles nastal u vzorků 2 (24 %), zatímco u vzorků 1 (14 %) a vzorků 3 (5 %) byl pokles adhezní síly nižší.

Bylo prokázáno, že tištěné měděné vrstvy mají lepší pájitelnost a srovnatelnou adhezi se stříbrnými vrstvami. Proto mohou být měděné vrstvy použity jako jejich náhrada s výhodou možnosti vytváření tlustých vrstev pro výkonovou elektroniku.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-020: Technologické a materiálové systémy v elektrotechnice.

LITERATURA

- [1] HLÍNA, J., HROMADKA, K., ŘEBOUN, J., HIRMAN, M., HAMÁČEK, A. Comparison of Copper and Silver Thick Film on Alumina Substrates. In Proceedings of the International Spring Seminar of Electronics Technology (ISSE 2017). Piscataway: IEEE, 2017. s. 1-5.
- [2] HLÍNA, J., ŘEBOUN, J., HAMÁČEK, A. Adheze a pájitelnost TPC substrátů v závislosti na koncentraci kyslíku ve vypalovacím procesu. In Elektrotechnika a informatika 2016. Elektrotechnika, elektronika, elektroenergetika. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2016. s. 27-30.
- [3] Gupta, T. K. Thick – and Thin – Film Hybrid Microelectronics, John Wiley & Sons Inc., 2003.