

Adheze a pájitelnost TPC substrátů v závislosti na koncentraci kyslíku ve vypalovacím procesu

Jiří Hlína, Jan Řeboun, Aleš Hamáček

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

Adhesion and Solderability of TPC Substrates at Different Oxygen Level in Firing Process

Abstract – This paper is focused on an adhesion and solderability measuring of samples prepared by TPC (Thick Printed Copper) technology. The TPC technology is used for power electronic substrate manufacturing. Copper film is screen printed on alumina substrate and fired in nitrogen atmosphere. Oxygen level dependence on adhesion of copper film to alumina base and copper film solderability was observed in the paper.

Keywords – thick film; copper; alumina; adhesion; solderability.

I. ÚVOD

Jedním z hlavních trendů výkonové elektroniky je neustálá miniaturizace komponentů. Tento trend s sebou přináší problémy týkající se především odvodu tepla ze zatížených elektronických součástek. Z tohoto důvodu se ve výkonové elektronice používají substráty s vysokou tepelnou vodivostí. Do této skupiny patří IMS (Insulated Metal Substrate) a DBC (Direct Bonded Copper) substráty. Dalším typem substrátů, které se začínají ve výkonové elektronice rozšiřovat, jsou TPC (Thick Printed Copper) substráty. Stejně jako u DBC tvoří základ TPC substrátu keramická destička definované tloušťky. Rozdíl mezi DBC a TPC spočívá v principu nanesení měděné vrstvy na keramiku. Tato vrstva je u DBC substrátů tvořena měděnou folií, která je na keramickém substrátu připevněna pomocí intermetalické vrstvy. V této folii je následně vyleptán cílový motiv. U TPC substrátů je tato vrstva nanášena sítotiskem ve formě měděné pasty a následně vysušena a vypálena v peci s dusíkovou atmosférou při teplotě cca 900 °C.

Nanášení měděné vrstvy sítotiskem přináší oproti DBC celou řadu výhod. Mezi ně patří vysoké rozlišení tisku, úsporu materiálu, možnost selektivního tisku vrstev až do tloušťky 300 μm a vzhledem k tomu, že se jedná o aditivní technologii nanášení vrstev, není potřeba technologicky náročného leptání.

II. EXPERIMENT

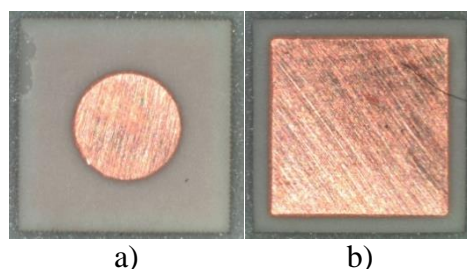
Měděné pasty musí být vypalovány v dusíkové atmosféře s určitou koncentrací kyslíku zejména v první části vypalovacího procesu (do 400 °C). V této části vypalovacího procesu dochází k odstranění organických pojiv z pasty chemickou reakcí s kyslíkem. Vysoká koncentrace kyslíku v peci zhoršuje pájitelnost a elektrickou vodivost, naopak příliš nízká koncentrace kyslíku zhoršuje adhezi měděné vrstvy

na keramice. Proto je důležité stanovit optimální koncentraci kyslíku v první části vypalovacího procesu.

Na testovacích vzorcích byla použita měděná pasta Heraeus C7403, která tvoří adhezní vrstvu ve dvoupastovém systému. Testovací vzorky se skládaly z motivů pro měření adheze a pájitelnosti. Tyto vzorky byly vypáleny při osmi různých koncentracích kyslíku v první části vypalovacího procesu (25 °C až 400 °C). Koncentrace kyslíku se pohybovala v rozmezí 1000 ppm až 2000 ppm. Po dosažení teploty 450 °C byla atmosféra v peci vyčerpána a následně byl do pece vháněn dusík až do konce vypalovacího procesu.

A. Měření adheze

Adheze byla měřena metodou “Pull off“. Motiv pro měření adheze se skládal z kruhového měděného obrazce o průměru 3 mm na horní straně a z čtvercového obrazce o rozměrech 5 mm x 5 mm na spodní straně keramického substrátu (Obrázek I.) Některé vzorky, které byly vypáleny při vysoké koncentraci kyslíku, byly pokryty vrstvou oxidu a tato vrstva zhoršovala pájitelnost. Proto bylo nutné z těchto vzorků broušením vrstvu oxidu odstranit.



Obrázek I. Testovací motivy pro měření adheze a) horní strana, b) spodní strana

Ke vzorkům byly z obou stran připájeny měděné válečky a pomocí ocelových lanek byly připevněny do zkušebního zařízení. Výsledky “Pull off“ testu jsou uvedeny v Tabulce I., kde uvedená síla je průměrnou hodnotou ze šesti vzorků. Vzorky, u kterých došlo k odtržení v pájce, byly z výsledků vyřazeny.

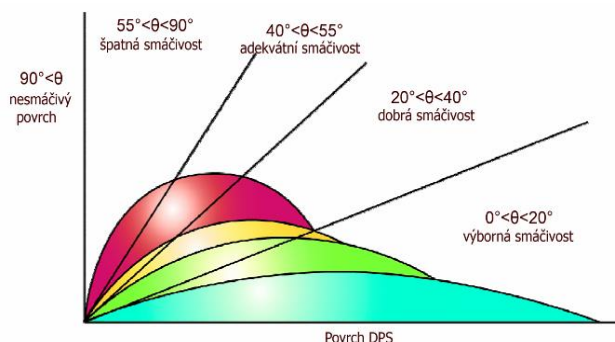
TABULKA I. VÝSLEDKY MĚŘENÍ ADHEZE

Vzorek	F [N/mm ²]
1	31,64
2	27,84
3	23,30
4	29,86
5	30,20
6	35,28
7	20,38
8	16,97

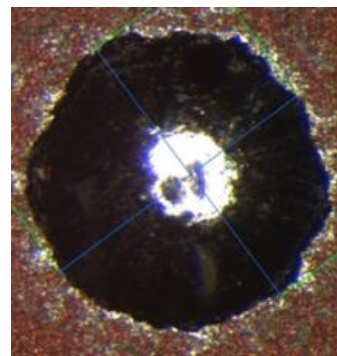
B. Měření pájitelnosti

Pájitelnost byla měřena metodou “Spread test“, která byla vyhodnocena pomocí měření velikosti smáčecího úhlu. Kategorie smáčivosti povrchu v závislosti na velikosti

smáčecího úhlu jsou zobrazeny na Obrázku II. Na vzorky bylo aplikováno aktivní tavidlo Actiec 5 a na každý vzorek 5 kuliček SnPb pájky. Následně byly vzorky s kuličkami pájky přetaveny v peci. Po přetavení byly ze vzorků odstraněny zbytky tavidla v ultrazvukové lázni se 100% isopropanolem. K 3D měření smáčecího úhlu byl použit laserový konfokální mikroskop Olympus LEXT 3000. Výsledky měření jsou uvedeny v Tabulce II.



Obrázek II. Vyhodnocení velikosti smáčecího úhlu



Obrázek III. Vzorek s výbornou smáčivostí povrchu

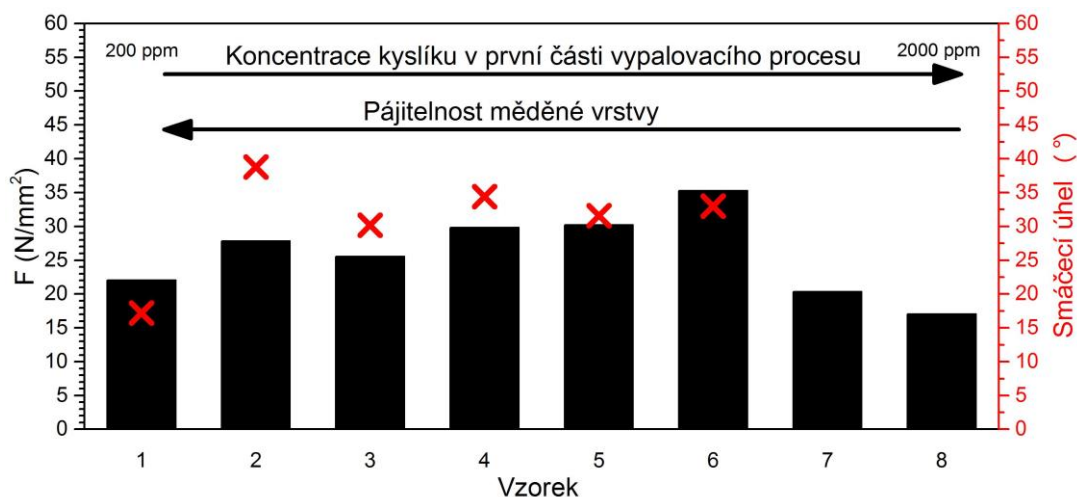
TABULKA II. VÝSLEDKY MĚŘENÍ PÁJITELNOSTI

Vzorek	Smáčecí úhel [°]
1	17,2
2	38,8
3	30,2
4	34,4
5	31,6
6	33,0
7	-
8	-

III. ZÁVĚR

Koncentrace kyslíku v první části vypalovacího procesu výrazně ovlivňuje adhezi i pájitelnost vypálených měděných vrstev. Nejlepší adhezi vykazuje vzorek číslo 6, ale jeho povrch je pokryt značnou vrstvou oxidů. Z grafu na Obrázku IV je patrné, že se zvyšující se koncentrací kyslíku adheze roste, ale po dosažení určité koncentrace kyslíku se adheze naopak zhoršuje. To je zřejmé u vzorků číslo 7 a 8, které mají nejhůrší adhezi.

Během měření pájtelnosti došlo u vzorků číslo 7 a 8 k odpadnutí kuličky pájky. Povrch těchto vzorků je tedy nesmáčivý. Nejlepší pájtelnost vykazuje vzorek číslo 1, jehož smáčecí úhel je 17,2° (Obrázek III) a podle klasifikace smáčivosti povrchu (Obrázek II) má tento vzorek výbornou smáčivost, ale zároveň nižší adhezi. Pro dosažení co nejlepších výsledků byla použita kombinace aktivního tavidla a kuliček SnPb pájky.



Obrázek IV. Adheze a pájitelnost vzorků při různých podmínkách výpalu

Jako optimální se jeví vzorky číslo 4, 5 a 6. Kompromisem mezi dobrou adhezí a pájitelností je vzorek číslo 4, který obsahuje minimální množství oxidů na povrchu a jeho adheze a pájitelnost je dostatečná. Z výsledků testování vyplývá, že je potřeba nalézt optimální podmínky výpalu, aby byla zajištěna přijatelná adheze i pájitelnost.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006, projektu SGS-2015-020: Technologické a materiálové systém v elektrotechnice a projektu MŠMT ASESII LF15021: Chytrý solární alternativní zdroj o vysoké účinnosti II – pokročilý modul měď-izolant-měď a technologie jeho výroby.

LITERATURA

- [1] J. Hlina, K. Hromadka, J. Reboun, M. Hirman, A. Hamacek, Adhesion Improvement of Thick Printed Copper Film on Alumina Substrates by Controlling of Oxygen Level in Furnace", Electronics Technology (ISSE), Proceeding of the 2016 39th International Spring Seminar on, pp. 22-26, 2016
- [2] F. Rotman, D. Navarro, S. Mellul, Optimised Nitrogen-based Atmospheres for Copper Thick Film Manufacture: Part 1: Monitoring of Oxygen Doping in Nitrogen, Microelectronics International, Vol. 8 Iss 2, pp. 5-15, 1991
- [3] K. Hromadka, J. Stulík, J. Reboun, Thick Printed Copper Conductors on Alumina Substrates", Electronics Technology (ISSE), Proceeding of the 2014 37th International Spring Seminar on, pp. 95-98, 2014