

Modifikovaná elektricky vodivá lepidla

Mach P.
FEL ČVUT Praha

Anotace

Electrically conductive adhesives are nature friendly joining materials with continuously growing importance in the area of electrical engineering. They are used for electronics assembly of temperature sensitive components, which could be damaged by the temperature used for soldering, for montage of integrated circuits, for fabrication of interconnections in photovoltaic panels, for fast repairs of damaged conductive joints. Electrically conductive adhesives have, in comparison with solders, worst electrical conductivity. Some methods tested for improvement of electrical conductivity of these adhesives including results of these tests are presented in this paper. It has been found that it is possible to improve electrical conductivity of electrically conductive adhesives on a level comparable with electrical conductivity of solders.

ÚVOD

Elektricky vodivá lepidla jsou jednou z možných variant náhrady olovnatých pájek, jejichž užívání není v Evropské unii doporučeno od 1. července 2006 směrnici RoHS. Elektricky vodivá lepidla jsou však jak svou podstatou, tak vlastnostmi, významně odlišná od pájek. Zatímco pájené spoje mohou být vystaveny prostředí se zvýšenou vlhkostí bez nebezpečí porušení spoje a změny jeho vlastností, lepidla jsou k vlhkosti velice citlivá, montáž

LCD displejů, technologie montáže některých typů integrovaných obvodů, rychlé opravy vodivých spojů apod.

Jednou z významných nevýhod lepidel ve srovnání s pájkami, je jejich elektrická vodivost, která je o dva i tři řády nižší. Proto jsou hledány cesty, jak elektrickou vodivost lepidel zvýšit.

STRUKTURA ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL

Základními složkami elektricky vodivých lepidel jsou izolační matrice a vodivé částice. Izolační matrici tvoří většinou reaktoplastické pryskyřice (nejčastěji epoxidové, silikonové či polyamidové), je také ověřováno užití termoplastických pryskyřic.

Jako vodivé částice jsou užívány částice ze stříbra, částice zlaté, niklové, grafitové či polymerové s elektricky vodivým povlakem. Vodivá lepidla se zlatými částicemi mají nejlepší elektrické vlastnosti, ale jsou velmi drahá. Lepidla obsahující jako plnivo stříbrné nebo zlaté částice mají také dobrou tepelnou vodivost, a proto se využívají v aplikacích, kdy je vyžadována nejen dobrá elektrická vodivost lepidla, ale také dobrá tepelná vodivost.

lepidla neumožňují automatické vystředění součástek jako při pájení přetavováním apod.

Je možné nalézt mnoho odlišností v kvalitě lepených a pájených spojů. Obecně je možné konstatovat, že vlastnosti pájených spojů jsou téměř vždy lepší, nebo výrazně lepší, než vlastnosti spojů lepených. Také cena lepidel výrazně převyšuje cenu bezolovnatých pájek. Přesto však existují aplikace, ve kterých je použití elektricky vodivých lepidel nezastupitelné. Těmi jsou např. technologie COG (CHip on Glas) nebo COF (CHip on Foil) užívané pro

ZÁKLADNÍ TEORIE JEJICH VODIVOSTI ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL

Elektricky vodivá lepidla mohou být vyrobena s izotropní elektrickou vodivostí a s anizotropní elektrickou vodivostí.

Elektrická vodivost lepidel s izotropní vodivostí jsou zpravidla plněna vodivými šupinkami s rozměry od několika do 15 μm . Plnění těchto typů lepidel vodivými částicemi bývá v rozmezí 60 až 80 % (váhových). Vodivost mezi částicemi je dána zejména tunelováním. Obecně se odpor lepeného spoje skládá z následujících složek.

1. Odporu částice plníva:

$$R_M = R_{M0} (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (1)$$

Odporu tunelování:

$$R_T = R_{T0} \exp(Bw + E_c / kT) \quad (2)$$

Přeskokového odporu

$$R_H = R_{H0} \exp\left[4(T_0 / T)^{1/4}\right] \quad (3)$$

Zde α ...teplotní koeficient odporu vodivých částic (K⁻¹), $\Delta T = T - T_0$, w ...šířka izolační bariéry mezi vodivými zrny, T ...absolutní teplota, při které je odpor změřen, E_c ...energie náboje nebo aktivační energie $E = e^2/8\pi\epsilon_{\text{izol}}(1/r-1/(r+w))$,

k... Boltzmannova konstanta, r... vzdálenost, T_0 ... Mottův přeskový koeficient a je roven $T_0 = 4vc\alpha^3/pk$, $B = 2(2m^*\psi/h)1/2$, kde m^* je efektivní hmotnost částice, ψ je vlnová funkce a h je Planckova konstanta.

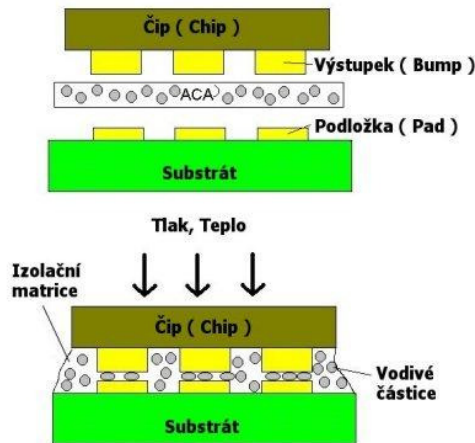
Všechny tyto vodivostní mechanismy se uplatní v celkovém odporu kompozitu, který je pak vyjádřen takto:

$$R_{MTH} = R_M^{Z_M} R_T^{Z_T} R_H^{Z_H} \quad (4)$$

Zde Z_M , Z_T a Z_H jsou statistické váhové koeficienty jednotlivých účastníků. Tyto koeficienty musí splňovat vztah:

$$Z_M + Z_T + Z_H = 1 \quad (5)$$

Elektricky vodivá lepidla s anizotropní elektrickou vodivostí jsou zpravidla plněna kulovými částicemi o rozměrech několika μm . Princip vodivosti anizotropně vodivého lepidla je uveden na obr. 1. U těchto typů lepidla hraje dominantní roli deformace vodivých částic sevřených mezi připojovací plošku a kontakt součástky. Mechanizmy, které se podílejí na výsledné vodivosti spoje vytvořeného elektricky



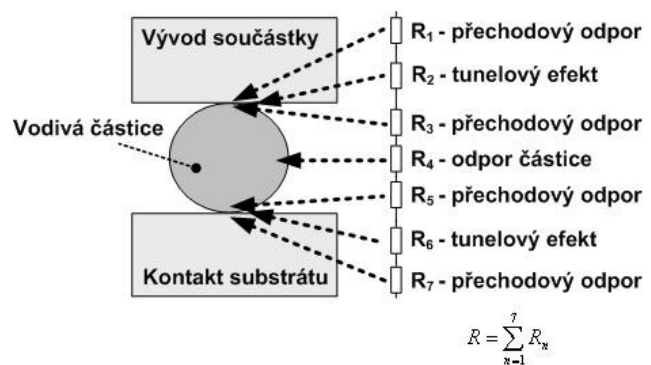
Obr. 1: Princip elektricky vodivého lepidla s anizotropní elektrickou vodivostí

vodivým lepidlem s anizotropní vodivostí jsou uvedeny na obr. 2. Plnění vodivými částicemi zde bývá mezi 8 až 15 % (váhovými).

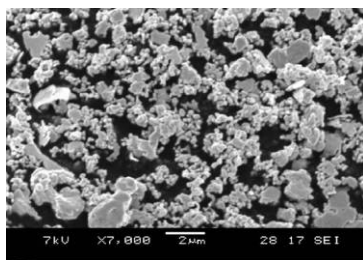
Protože anizotropně vodivých lepidel se také užívá pro montáž integrovaných obvodů s malou roztečí vývodů, jsou tato lepidla dodávána také jako fólie. Fólie se přiloží na desku plošného spoje a integrovaný obvod se namontuje za zvýšené teploty a tlaku. U integrovaných obvodů s malou roztečí vývodů je tato technika daleko efektivnější, protože zde není umožněn vznik spojů mezi vedlejšími vývody integrovaného obvodu.

TECHNIKY ZLEPŠENÍ ELEKTRICKÉ VODIVOSTI LEPIDEL

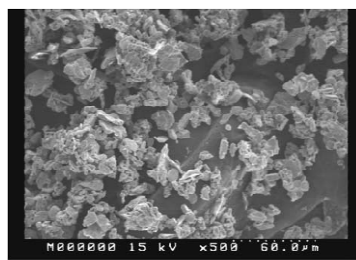
Pro zvýšení elektrické vodivosti lepených spojů realizovaných elektricky vodivými lepidly se užívá různých technik [1]. Jednou z nich je výběr vhodného tvaru vodivých částic. Příklady některých typů vodivých částic jsou na obr. 3 až 5 [2].



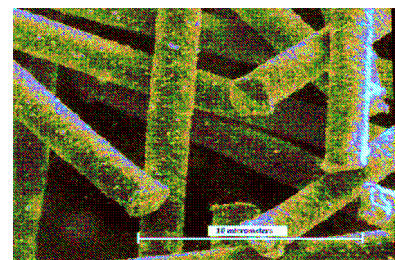
Obr. 2: Mechanizmy podílející se na vodivosti elektricky vodivého lepidla s anizotropní elektrickou vodivostí



Obr. 3: Stříbrné šupinky

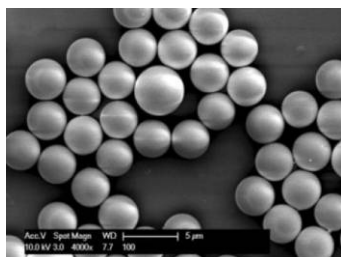


Obr. 4: Pozlacené Cu částice

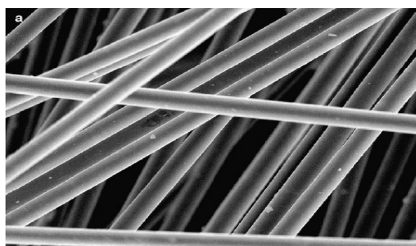


Obr. 5: Bazaltová vlákna pokrytá stříbrem

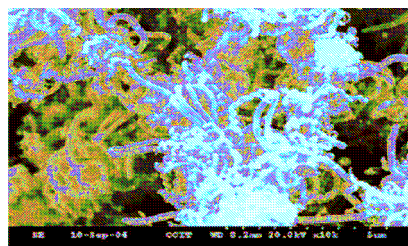
Další technikou je doplňování lepidel nanočásticemi vhodného tvaru (nanokuličkami, nanodrátky, nebo nanotrubičkami), viz obr. 6 až 8 [2]. Hlavní myšlenka zde je ta, že nanočástice vytvoří dodatečné můstky mezi mikročásticemi, tím vzroste hustota vodivé sítě a klesne její elektrický odpor.



Obr. 6: Stříbrné nanokuličky



Obr. 7: Stříbrná nanovláčna

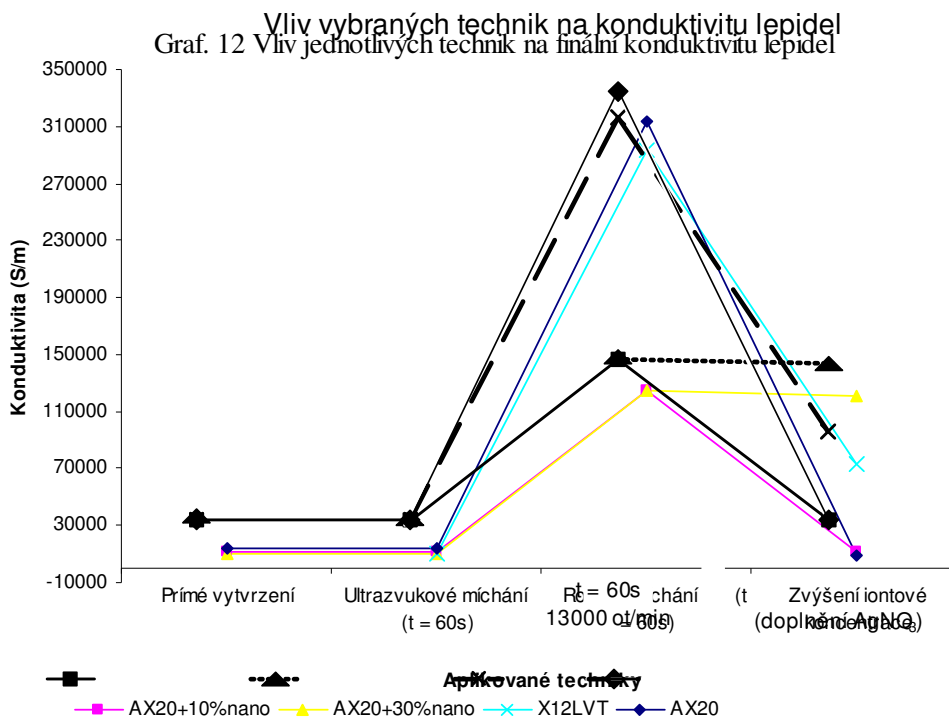


Obr. 8: Uhlíkové nanotrubičky

Další možností, která byla ověřována, je intenzivní míchání lepidel před jejich aplikací. Mícháním vznikají smykové síly, které uvolní ionty rozpouštědla, které obklopují vodivé částice. Tím vzroste pravděpodobnost aglomerace částic. Kromě rotačního míchání (13000 ot./min) bylo ověřováno také míchání ultrazvukové. Podobné účinky mají také Ag⁺ ionty, které vytvoří můstky mezi mikročásticemi a zvýší elektrickou vodivost lepidla.

NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY A ZÁVĚR

Na obr. 9 jsou uvedeny výsledky testování u dvou typů lepidel na bázi bisfenol epoxidové pryskyřice plněné 75 % (váhovými) Ag šupinek, ve dvou případech byla část Ag šupinek nahrazena 10 % a 30% Ag nanočástic (kuličky, průměr 80 nm). Lepidlo AX20 bylo jednosložkové, lepidlo X12LVT dvousložkové.



Obr. 9: Výsledky některých úprav lepidel testovaných pro zvýšení jejich elektrické vodivosti [3]

Výsledky jednotlivých úprav ukazují, že velmi významnou operací pro zvýšení elektrické vodivosti lepidel je rotační míchání před aplikací lepidla. Ultrazvukové míchání nevedlo ke zvýšení vodivosti, doplnění AgNO₃ mělo za následek zlepšení vodivosti u dvou typů lepidel.

Tato práce vznikla za podpory výzkumného záměru „Diagnostika materiálů“ MSM 6840770021.

LITERATURA

1. Heimann, M., Lemm, J., Wolter, K-J.: Experimental Investigation of Karbon Nanotubes/Epoxy Composites for Electronic

Applications. XXXI International Conference of IMAPS Poland, Rzeszów, 2007, pp. 55 – 61, ISBN 978-83-917701-4-6

2. Mach, P., Radev, R.: Fillers Used in Electrically Conductive Adhesives – A Short Review of the State of the Art. SIITME 2008, pp. 267 – 270, ISSN 1843-5122
3. Richter, L.: Diplomová práce. ČVUT FEL Praha, 2007

Autor

doc. Ing. Pavel Mach, CSc.; Katedra elektrotechnologie, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze, Technická 2, 16627 Praha 6, e-mail: *mach@fel.cvut.cz*