



## Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

**APVV-14-0085****Vývoj novej generácie spojov výkonovej elektroniky s použitím neštandardných zliatin na báze cínu**Zodpovedný riešiteľ **prof., Ing. Alena Pietriková, CSc.**

Príjemca

**Technická univerzita v Košiciach - Fakulta elektrotechniky a informatiky**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach

Ústav materiálového výskumu Slovenskej akadémie vied (spoluriešiteľská organizácia)

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Projekt nemal zahraničného partnera.

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Prihláška vynálezu č. 80-2017 (16.8. 2017)

Názov: Spôsob spojitého riadenia teplotného profilu pretavovania spájkovacej pasty v prostredí nasýtených pár vriacej kvapaliny:

Pôvodcovia: Ing. Livovský Ľubomír, PhD, prof. Ing. Pietriková Alena, CSc.

Prihlasovateľ: Technická univerzita v Košiciach; Letná 9, 040 01 Košice; SK

<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/Patent/Detail/80-2017>

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. LIVOVSÝ, Ľubomír - PIETRIKOVÁ, Alena: Real-time profiling of reflow process in VPS chamber / - 2017. In: Soldering and Surface Mount Technology. Vol. 29, no. 1 (2017), p. 42-48. - ISSN 0954-0911 (15 SCI citácií)

2. PIETRIKOVÁ, Alena - LUKÁCS, Peter - JAKUBECZYOVA, Dagmar - BALLOKOVA, Beata - POTENCKI, Jerzy - TOMASZEWSKI, Grzegorz - PEKAREK, Jan - PRIKRYLOVA, Katerina - FIDES, Martin: Surface analysis of polymeric substrates used for inkjet printing technology / - 2016. In: Circuit World. Vol. 42, no. 1 (2016), p. 9-16. - ISSN 0305-6120  
Spôsob prístupu: <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/CW-10-2015-0047>. (15 citácií)

3. ĎURIŠIN, Martin - PIETRIKOVÁ, Alena - ĎURIŠIN, Juraj - SAKSL, Karel: Structure and thermal behavior of lead-free solders prepared by rapid solidification of their melt / - 2017. In: Soldering and Surface Mount Technology. Vol. 29, no. 1 (2017), p. 49-53. - ISSN 0954-0911

4. LUKÁCS, Peter - PIETRIKOVÁ, Alena - CABÚK, Pavol: Dependence of electrical resistivity on sintering conditions of silver layers printed by InkJet printing technology / - 2017. In: Circuit World. Vol. 43, no. 2 (2017), p. 80-87. - ISSN 0305-6120

5. LUKACS Peter, PIETRIKOVÁ, Alena & KOVAC Ondrej (2018) Improvement of the evaluation of inkjet printed silver based layers' adhesion, Journal of Adhesion Science and Technology, Print ISSN: 0169-4243 Online ISSN: 1568-5616, DOI: 10.1080/01694243.2018.1516502
6. Lubomir Livovsky, Alena Pietrikova, (2019) "Measurement and regulation of saturated vapour height level in VPS chamber", Soldering & Surface Mount Technology, <https://doi.org/10.1108/SSMT-10-2018-0040>
7. PIETRIKOVA, Alena – GIRASEK Tomas - LIVOVSKY, Ľubomír - DURISIN Juraj – SAKSL Karel: (2018): Joints realized by sintering of pressureless Ag paste, Circuit World, ISSN: 0305-6120, Publikácia v tlači po akceptácii: Decision on Manuscript ID CW-11-2018-0078.R1

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

- Bola experimentálne verifikovaná možnosť zníženia maximálnej teploty v procese pretavovania spájkovacích zliatin na báze SnAgCu dnes štandardne používaných vo firmách z 330°C na 260°C, a to na základe správne nastaveného pretavovacieho profilu. Zníženie max. teploty znamená zlepšenie kvality spojov a tiež zníženie prevádzkových nákladov vo výrobe.
- V prípade použitia kovových skiel na báze cínu sa ako najvhodnejšia javí zliatina na báze SnCu3In0,5. Použitie týchto nových materiálov znamená novú kvalitu spájkovaných spojov vo výkonovej elektronike. Z pohľadu aplikácie v praxi však stojí za zváženie cena zariadenia pre výrobu týchto rýchlochladených kovov.
- Nový typ spojov na báze spekaných nanočastíc striebra a to beztlakovým spôsobom priniesol novú kvalitu spoja, ktorého teplotná odolnosť prekračuje 200°C. Teplota spracovania 175°C alebo 200°C znamená vznik spoja dlhodobu odolného do 350°C. Pri výrobe je však dôležité zvážiť kvalitu povrchu, na ktorý sa nano-pasta nanáša. Ako najvhodnejší sa javí povrch na báze Cu event. AgPt. Nevhodný povrch, ktorý môže znamenať degradáciu spojov, je povrchová úprava na báze čistého Ag.
- Zvýšenie kvality modulov výkonovej elektroniky je možné dosiahnuť aj použitím viacvrstvových keramických substrátov so zabudovanými chladiacimi kanálkami. Pre dosiahnutie vysokej efektivity chladenia výkonových modulov bol realizovaný hybridný substrát na báze LTCC s vnútornými kanálkami a implementovanými tepelnými mostami.
- Zavedenie vakuu v procese pretavovania výrazným spôsobom eliminuje prítomnosť voidov v spájkovanom spoji.
- Zavedením procesu spájkovania v parách nasýtenej kvapaliny je možné znížiť max. teplotu spracovania aj u veľkoplošných čipov a to aj pri zachovaní podmienky eliminácie prítomnosti voidov v spájkovanom spoji.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Cieľom projektu bol príspevok k vývoju novej generácie spojov výkonovej elektroniky. Projekt detailne analyzoval spoje pre oblasť výkonovej elektroniky z pohľadu štandardného spracovania v priemysle, aplikácie neštandardného spájkovania v parách ako aj vývoja a aplikácie nových typov zliatin na báze kovových skiel. Pre vývoj novej generácie spojov výkonovej elektroniky bola v projekte analyzovaná možnosť aplikácie nového typu spoja, ktorý bol vytvorený na princípe beztlakového spekania nano-častíc striebra. Cieľom projektu bol aj vývoj nového typu hybridného substrátu na báze nízkoteplotnej vypaľovanej keramiky s aktívnym chladením pomocou vnútorných kanálikov s využitím pokročilých metód integrovania prekovených otvorov pre zvýšenie tepelnej vodivosti substrátu.

Charakterizácia vplyvu technologického postupu (priebežná pec, vákuová pec, VPS) na výskyt a početnosť voidov v spájkovanom spoji pod výkonovým čipom ukázala na možnosť použitia VPS procesu, ktorý je analogický k procesu vo vákuu a to bez použitia ochrannéj atmosféry a pri nižšej teplote. Týmto postupom je možné aj opravovať zle vytvorené spoje a tým šetriť náklady vo výrobe.

Nový typ spoja na báze beztlakového sintrovania nanočastíc striebra sa vyznačuje vysokou stabilitou jednotlivých vlastností spekaných spojov, tiež vysokou teplotnou odolnosťou aj pri teplote 300 °C a to aj po zrýchlenom starnutí. Elektrická vodivosť a mikroštruktúra spekaného spoja na báze nanočastíc striebra výrazne závisia od použitého kontaktného materiálu (striebro ako povrchová úprava je nevhodné). Spekací profil ovplyvňuje výrazným

spôsobom mechanické vlastnosti spekaných spojov. V prípade využitia spekacej pasty Unimec XH9890-6A je najvhodnejší spekací profil 200°C 60 min.

Implementácia tepelných vodivých mostov a kanálikov do viacvrstvého keramického substrátu, cez ktoré môže prúdiť chladiace médium, výrazne podporuje efektivitu chladenia výkonových čipov umiestených na substráte.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

The aim of project was contribution to development of new generation joints in power electronics. The project has analyzed in detail the joints for the power electronics field from the point of industry standard processing, non-standard vapour phase soldering applications as well as the development and application of new types of alloys based on metallic glass. For the development of a new generation of power electronics joints, the project analyzed the possibility of applying a new type of joint, which was created based on pressure less sintering of nanoparticles of silver. The aim of the project was also to develop a new type of hybrid substrate on the basis of low-temperature co-fired ceramics with using micro channels and thermal vias integrated into the substrate which improve distribution of heat. Characterization of the influence of the process (continuous furnace, vacuum furnace, VPS) on the occurrence and frequency of the voids in the soldered joint under the power chip showed the possibility of using a VPS process that is analogous to the vacuum process without the use of a protective atmosphere and at a lower temperature. By doing so, it is also possible to repair bad joints and thus save costs in production.

The new type of joint based on the pressure-less sintering of silver nanoparticles is characterized by high stability of individual properties of sintered joints, also with high temperature resistance even at 300°C, even after aging. The electrical conductivity and microstructure of the sintered joints based on silver nanoparticles strongly depend on the contact material used (silver as the surface treatment is inappropriate). The sintering profile significantly influences the mechanical properties of the sintered joints. If the Unimec XH9890-6A is used, the most suitable sintering profile is 200°C 60 min.

The implementation of thermal conductive bridges and channels into multilayer ceramic substrate through which the cooling medium can flow greatly supports the cooling efficiency of the power chips placed on the substrate.