

3D štruktúry na báze LTCC keramiky pre oblasť mikrosystémov a hybridných senzorov

Stanislav Slosarčík, Miroslav Dovica, Reinhard Bauer, Igor Vehec, Pavol Cabúk

Abstrakt

Článok sa zaoberá realizáciou a aplikáciou 3D štruktúr na báze LTCC keramiky. Je popísaný zjednodušený technologický postup realizácie MCM modulov na báze LTCC keramiky, aplikačné možnosti LTCC keramiky. Technologické problémy pri realizácii 3D štruktúr sú opísané v druhej časti článku. V závere článku je popísaná realizácia 3D tvarovaného modulu s integrovaným senzorom tlaku.

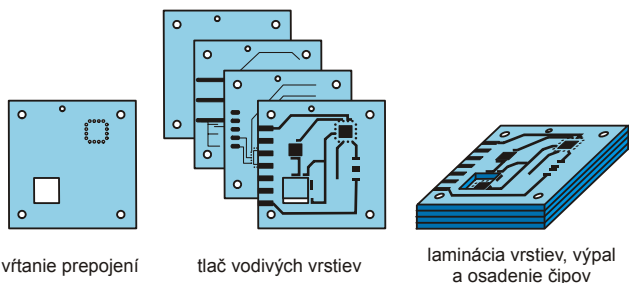
Kľúčové slová: nízкотеплотне vypaľovaná keramika, technológia multičipových modulov (MCM), 3D tvarovaný modul s integrovaným tlakovým senzorom

Úvod

Nízкотеплотне vypaľovaná keramika LTCC (Low Temperature Cofired Ceramics) sa vyznačuje dobrými mechanickými a elektrickými vlastnosťami. Prednosťou týchto materiálov je ich flexibilita, ktorá umožňuje ich využitie v multičipových moduloch, v senzorových aplikáciách ako aj v nekonvenčne tvarovaných viacvrstvových aplikáciách pre oblasť elektroniky.

Technológia multičipových modulov (MCM – Multi-Chip Modules) poskytuje väčšinu potrebných atribútov pre prepájanie výkonných čipov až do veľmi vysokých frekvencií.

MCM-C (Ceramic) – tieto moduly sú založené na aplikácii technológie prepájania a vytvárania izolačných vrstiev na báze keramických materiálov tak, ako je to známe z technológie hrubých vrstiev. Možno ich získať aplikáciou viacvrstvej štruktúry zloženej z LTCC, HTCC (High Temperature Cofired Ceramics), alebo hrubých vodivých a izolačných vrstiev, nanesených metódou sieťotlač a následným výpalom.



Obr.1 Zjednodušený technologický postup realizácie MCM modulov na báze LTCC

Fig.1 Simplified technological proceeding of MCM modules realization based on LTCC

3D štruktúry

V elektronických aplikáciách sa využívajú rôzne tvarové dutiny, kanály ako aj tvarované 3D štruktúry (Tab.1).

Pojem	Príklad štruktúry	Technológia	Požiadavky na materiálové vlastnosti
Dutiny na povrchu		- izostatická laminácia	- spracovateľnosť razením, alebo laserom
Vnútrovrstvové dutiny		- vyrezávané a spojené vrstvy v niekoľkých krokoch	- stabilita tvaru počas laminácie
Tvarovanie povrchu		- proces razenia a kvalita raziacej matrice - ryhovanie frézou, alebo laserom	- tvarovateľnosť - malá elasticita
Ohýbané, alebo ťahané lamináty		- tvar a kvalita formy - formovacia sila a teplota - tvar podložky pri výpale	- pevnosť v ťahu - stabilita tvaru po natvarovaní a počas výpalu - spoluvýpal všetkých vrstiev
Lisované lamináty		- kvalita tvaru lisu - formovacia sila a teplota	- tvarovateľnosť - malá elasticita
3D moduly pre oblasť elektroniky		- rovinná laminácia - relaminácia v tvarovacom prípravku	- stabilita tvaru počas laminácie

Tab.1 Aplikačné možnosti LTCC keramiky [1]

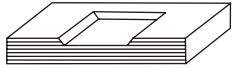
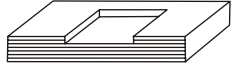

Tab.1 Application possibilities of LTCC ceramics

Najjednoduchšie dutiny sú povrchové, ktoré slúžia pre osadzovanie čipov na viacvrstvej štruktúre, resp. v oblasti senzorov.

Najnovší rozvoj dutín, kanálov a rôznych kapilár si vyžadujú mikrofluidné aplikácie, alebo rozvoj v MST (Micro-System Technology) a MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems) technológiách.

Povrchové dutiny

Povrchové dutiny nachádzajú uplatnenie pri montáži čipov a v oblasti senzorov (Tab.2). Tvoria ich spodné vrstvy na ktoré sú naskladané vrchné vrstvy s vyrezanými otvormi, tvoriace samotnú dutinu, pričom nad nimi sa nenachádzajú žiadne ďalšie vrstvy, ktoré by ich prekryvali. Najdôležitejšou požiadavkou je predovšetkým kvalita hrán.

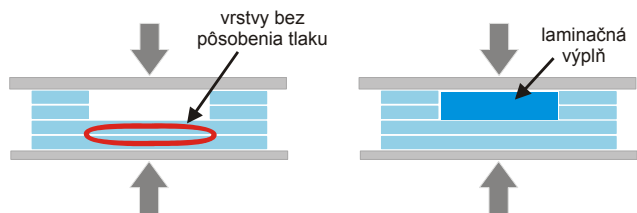
Požiadavky na dutinu	Príklad použitia	Ukážka usporiadania štruktúry
Bez zvláštnych požiadaviek	- nosič senzora - osadzovanie čipov	
Vysoká kvalita hrán	- nosič senzora - tlakový senzor - základ pre vnútorné medzivrstvomé dutiny	
Tenka membrána pod/nad dutinou	- tlakový senzor	

Tab.2 Povrchové dutiny [2]

Tab.2 Top layer cavities

Tvorba povrchových dutín

Použitie jednoosej laminácie pri vytváraní povrchových dutín vyžaduje špeciálnu výplň s presnými rozmermi. Bez toho nie je na dno dutiny vyvíjaný žiadny tlak a preto nedôjde k laminácii vrstiev nachádzajúcich sa pod dutinou (Obr.2).



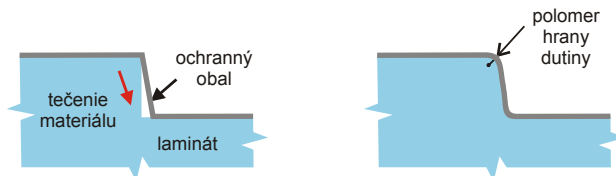
Obr.2 Použitie laminačnej výplne pri jednoosej laminácii
Fig.2 lamination filler using during lamination

Pri izostatickej laminácii nemusí byť problém nedostatočného, alebo žiadneho tlaku na dno povrchovej dutiny riešený pomocou laminačnej výplne, nakoľko pri tomto procese dochádza k rovnomernému rozloženiu tlaku a tlak pôsobí aj na dno dutiny.

Vyskytuje sa tu však nový problém spôsobený tým, že laminát musí byť v procese laminácie uzavretý v ochrannom plastickom obale, ktorý zabraňuje kontaktu substrátu s kvapalinou, vplyvom čoho dochádza k zmene ostroty hrán, ktoré sa menia na oblúky (Obr.3).

Polomer oblúka v podstatnej miere závisí na výbere materiálu pre ochranný obal, materiálu vrstiev a parametrov laminácie. Pevnejší materiál ochranného plastického obalu zvyšuje deformáciu hrán. Lepšie pokrytie hrán dutiny ochranným plastickým obalom môže byť zabezpečené vyšším tlakom.

Pre vyššiu presnosť a väčšiu stupňovitost' povrchovej dutiny sa odporúča rovnako ako pri jednoosej laminácii použiť aj pri izostatickej laminácii dočasnú výplň.

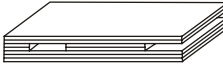




Obr.3 Zakrivenie hrán pri izostatickej laminácii pred (vľavo) a po (vpravo) laminácii [2]

Fig.3 Edge deformation before (left) and after (right) isostatic lamination

Vnútorné dutiny

Vnútorné dutiny sa používajú napr. pre výrobu senzorov, chladienie a pre mikrofluidné aplikácie (Tab.3). Základ vnútorných dutín v podstate tvorí štruktúra s povrchovou dutinou, na ktorú sú naskladané ďalšie vrstvy, ktoré ju prekryvajú buď úplne, alebo čiastočne.

Požiadavky na dutinu	Príklad použitia	Ukážka usporiadania štruktúry
Jednoduché otvory (v smere osy x, alebo y)	- senzory prietoku - chladiace systémy	
Malé kapilárne rúrky, kapilárne systémy	- chemický senzor - chladiace systémy - mikrofluidné systémy	
Rozšírené vnútorné medzivrstvomé dutiny	- tlakový senzor - chemický senzor	

Tab.3 Vnútorné dutiny [2]

Tab.3 Inner layer cavities

Pri vytváraní kanálov a dutín v štruktúrach je laminácia zložitejšia, nakoľko dochádza k prehybaniu pásov nad a pod dutinami. Nadmerným prehybaním je narušená plochosť vrchnej a spodnej vrstvy substrátu, čo môže spôsobovať problémy pri ďalšom spracovaní (prípájanie súčiastok, povrchové pokovovanie). Rovnako môže dochádzať k praskaniu vzoriek počas výpalu.

Na odstránenie problému ohýbania bolo vyvinutých niekoľko modifikácií procesu laminácie.

Použitie laminačných výplní

Typickou metódou je metóda vkladania dočasnej výplne, ktorá vyplnía dutinu počas laminačného procesu, vďaka čomu sú všetky vrstvy stláčané rovnomerne.

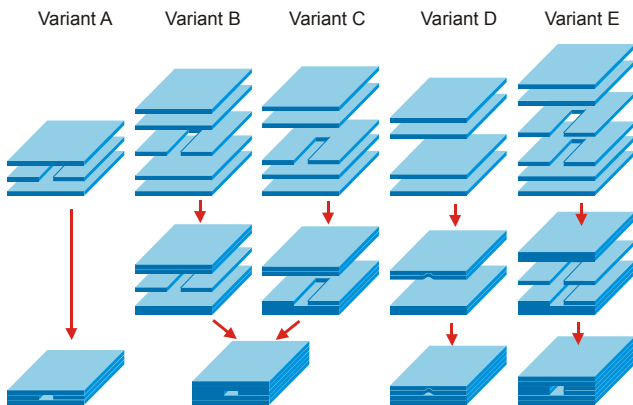
Pred výpalom sú tieto výplne odstránené, čo umožňuje použitie tejto metódy len pre otvorené dutiny so šírkou menšou ako 3 mm, z ktorej je možné výplň odstrániť. Pre vnútorné uzavreté dutiny nie je táto metóda vhodná.

Okrem toho existuje možnosť vzniku trhlin na stenách dutiny spôsobených pohybom dočasnej výplne. Mikrotrhliny, alebo čiastočne neodstránená výplň, vedú k menšej rozmerovej presnosti dutiny. Rovnako nepresnosti samotnej dočasnej výplne môžu spôsobiť v procese laminácie nerovnosti na povrchu štruktúry [4].

Viacstupňové laminovanie

Ďalšou možnosťou minimalizovania ohybu je laminovanie jednotlivých častí a potom zlamovanie týchto častí do finálnej štruktúry. Štruktúra môže byť rozdelená do troch skupín: vrchné vrstvy (nad dutinou), spodné vrstvy (pod dutinou) a vrstvy tvoriace dutinu, ktoré môžu byť laminované tiež oddelene, aby vytvorili jednotnú časť. Nakoniec sú vrchné, stredné a spodné vrstvy spolu zlamované. Ak je to potrebné, vrchné vrstvy môžu byť po výpale dodatočne vybrúsené pre ich lepšiu rovinnosť.

Rovnako je možné použiť dočasné prídavné vrstvy keramiky, ktoré sú zlamované nad vrchnými a pod spodnými vrstvami. Prídavné vrstvy zvyšujú pevnosť a odolnosť voči ohýbaniu vrchných a spodných vrstiev. Po výpale sú dočasné prídavné vrstvy zbrúsené pre dosiahnutie požadovanej hrúbky [5].



Obr.4 Možné spôsoby laminovania umožňujúce vytváranie dutín [2].

Fig.4 Lamination possibilities enables the cavity realizations

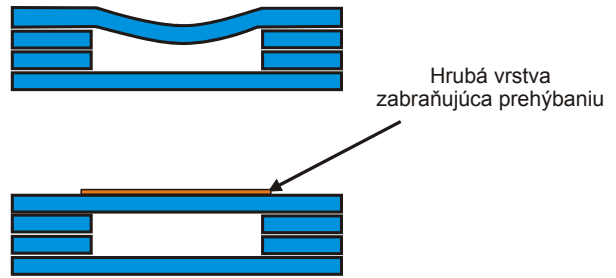
Niekoľko spôsobov použitia tejto metódy je uvedených na Obr.4. Pre malé dutiny môže byť použitý variant A s jednoduchou uniaxiálnou, alebo izostatickou lamináciou. Pre tvorbu väčšiny dutín je potrebný viacstupňový proces, kde vrstvy s vyrezanými otvormi, ktoré budú tvoriť dutinu, sú vložené medzi pripravené vopred zlamované vrstvy v druhom kroku laminácie (variant B). Pre izostatickú lamináciu je možné použiť variant C, D a E. Vo variante D je vnútorná dutina realizovaná razením vopred zlamovaných vrstiev.

Eliminácia ohýbania v procese výpalu

Existuje niekoľko možností technologických postupov, ktoré zabraňujú ohýbaniu vrstiev nad dutinami počas výpalu:

Depozícia hrubej vrstvy na kompenzáciu prehýbania

Pri premostených štruktúrach môže byť efekt prehýbania kompenzovaný nanosením hrubej vrstvy pomocou sieťotlačce (Obr.5). Nanosená pasta má vyšší koeficient tepelnej rozťažnosti ako sklo-keramický pás a počas spekania uplatňuje svoju vnútornú ťahovú silu na styčnej ploche štruktúry. Pri tejto metóde je potrebné použiť pastu s vhodnou ťahovou silou, odpovedajúcou sile prehýbania.



Obr.5 Eliminácia ohýbania vrstiev nad dutinou pomocou nanesej vrstvy s vhodným koeficientom tepelnej rozťažnosti [4]

Fig.5 Sagging layers elimination above the cavity with using deposited film with suitable thermal coefficient of expansion

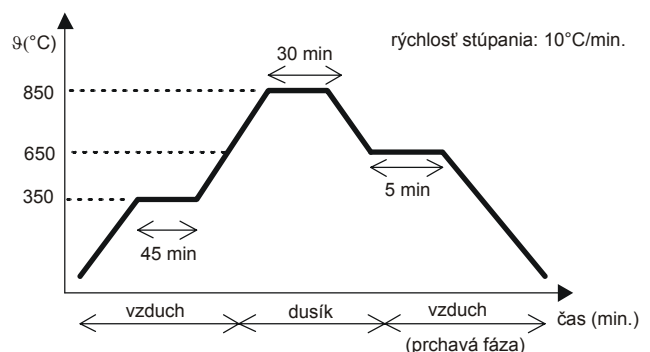
Použitie dočasných materiálov

Ako dočasný materiál môže byť použitá olovnato-kremičitá fritá. Po depozícii a výpale je olovnato-kremičité sklo odstránené pomocou nasýtenej kyseliny fluorovodíkovej, čím dôjde k jeho odstráneniu spod premostujúcich štruktúr.

Táto metóda má niekoľko nevýhod. Medzi najzávažnejšie patrí hlavne to, že rýchlosť leptania vo vnútri dutín a v otvorenom priestore je rozdielna, ďalej to, že sklenená fritá má obmedzenú rozpustnosť a preto je ťažké odstrániť všetok materiál, a v neposlednom rade spôsobuje problémy zloženie LTCC keramiky, ktorá pri vystavení pôsobeniu nasýtenej kyseliny fluorovodíkovej môže byť leptaná rovnakou rýchlosťou ako olovnato-kremičité sklo, ktoré dočasne vyplnía dutinu [4].

Použitie prchavej látky

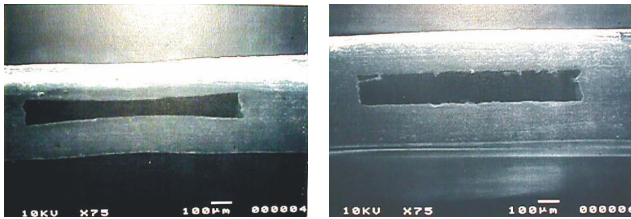
Ďalším riešením je použitie zmesi grafitového prášku s organickým nosičom s vysokou viskozitou. V ľahko oxidujúcej atmosfére táto zmes slabo oxiduje počas cyklu spekania. Reakcia grafitu s kyslíkom je pomalá a preto pred stuhnutím premostovacích štruktúr väčšina grafitu ostáva vo vnútri dutín. Po tomto bode je v peci otvorený prívod vzduchu, pričom dochádza k vypaleniu grafitového uhlíka (prchavá fáza) (Obr.6).



Obr.6 Teplotný profil výpalu s použitím prchavej fázy [4]

Fig.6 Temperature sintering profile using fugitive phase [4]

Na Obr.7 je možné vidieť tvar kanálu, po výpale bez použitia a s použitím materiálu s prchavou fázou.



Obr.7 Vnútrné dutiny s použitím (vpravo) a bez použitia (vľavo) grafitového prášku [4]

Fig.7 Inner cavities with (right) and without (left) using graphite powder [4]

Táto metóda je dobrým riešením pre tvorbu štruktúr ako sú kanály, dutiny a pod. Pec používaná pre LTCC technológiu môže byť pre túto metódu ľahko modifikovaná [4].

Technologické problémy, ktoré môžu vzniknúť pri realizácii viacvrstvových štruktúrach, a ich príčiny sú zhrnuté v Tab.4.

	Dôvody problémov	Ukážka problému
Kvalita natlačenej vrstvy a pozícia na rozdielnych vrstvách vo vnútri štruktúry	- zlá kvalita sieťotlače - pozícia sieťotlačového vzoru na páse - pozícia jednotlivých vrstvy v procese naskladania a laminácie	
Kvalita úplného vyplnenia prekovovacích otvorov	- neúplné vyplnenie otvorov v procese sieťotlače - vyššia zrážavosť pasty vyplňajúcej otvory ako keramiky počas procesu výpalu	
Neúplná laminácia, alebo delaminácia keramických vrstiev	- nízky tlak, alebo teplota počas procesu laminácie - znížené adhézne vlastnosti keramiky (vysychanie, skladovanie)	
Pozícia a kvalita dutín (dutých miest) vo vnútri laminátu	- vzory dutín, ich pozícia a kvalita na keramike - pozícia jednotlivých vrstvy v procese naskladania a laminácie - tečenie keramiky pri teplote a tlaku laminácie	

Tab.4 Technologické problémy pri realizácii 3D štruktúr [3]

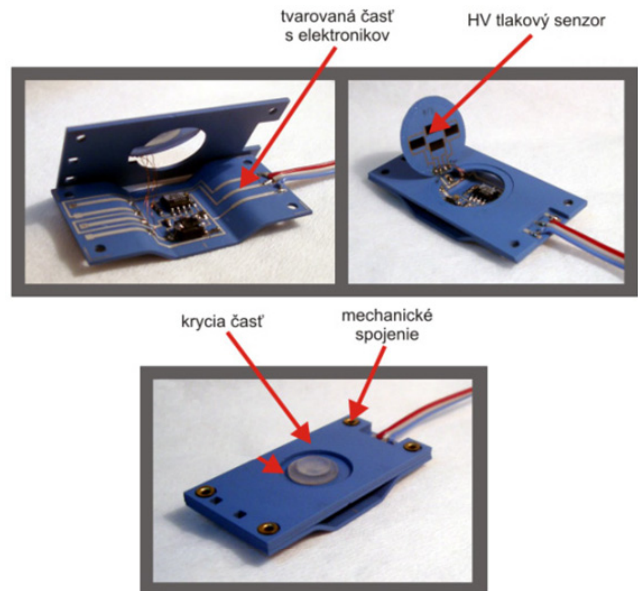
Tab.4 Technological issues during 3D structures realization [3]

3D tvarovaný modul s integrovaným senzorom

Pri realizácii 3D tvarovaného modulu s integrovaným tlakovým senzorom, boli využité poznatky z experimentálnych prác [7]. Technológia realizácie je dominantná v procese laminácie (VEGA 1/3138/06 a 1/3159/06).

V prvej etape je realizovaná izostatická rovinná laminácia pripravených častí modulu, potom nasleduje ohyb a relaminácia spodnej časti modulu v tvarovacom prípravku s definovaným tvarom a výpal. Spodná tvarovaná časť je osadená elektronikou (Obr.8) a prepojená s hornou časťou, v ktorej je uložený hrubovrstvový tlakový senzor na membráne z LTCC keramiky [8].

Aplikačná možnosť realizovaného modulu je v oblasti medicíny pre neinvazívne meranie vnútrokanivového tlaku.



Obr.8 3D tvarovaný modul s integrovaným senzorom
Fig.8 3D formed module with integrated sensor

Záver

Vysoká flexibilita LTCC materiálov umožňuje realizáciu 3D tvarových štruktúr pre rôzne aplikácie v oblasti elektroniky, prepájacích technológií, hybridných senzorov, ale aj v technológiách MEMS systémov.

Literatúra

- [1] BAUER, R., WOLTER, J., SAUER, W.: Three Dimensionally Formed Thick Film Devices with LTCC Multilayer Technology, Proceedings, IMAPS, Los Angeles, USA, 2000
- [2] BAUER, R., LUNIAK, M., REBENKLAU, L., WOLTER, K., SAUER, W.: Realization of LTCC-multilayer with special cavities, In: 30th International Symposium on Microelectronics. Proceedings, ISHM'97, Philadelphia, Oktober 1997, s. 659-665
- [3] HERENZ, A., BAUER, R., WOLTER, K., J.: Characterization of ceramic devices by ultrasonic microscopy. In: 2nd International Acoustic Micro Imaging Symposium. Proceedings, Anaheim, California, February 1997
- [4] GONGORA-RUBIO, M. R., ESPINOZA-VALLEJOS, P., SOLA-LAGUNA, L., SANTIAGO-AVILÉS, J.J.: Overview of low temperature co-fired ceramics tape technology for me-so-system technology (MsST), Sensors and Actuators A 89, Amsterdam 2001, pp. 222 – 241
- [5] ZAMPINO, M.A.: Embedded Heat Pipes in Cofired Ceramic Substrates for Enhanced Thermal Management of Electronics (dissertation), Florida International University Miami, Florida 2001
- [6] www.ltcc.de
- [7] SLOSARČÍK, S., URBANČÍK, J., PIETRIKOVÁ, A., BANSKÝ, J., BAUER, R.: LTCC based technology for 3D formed modules. Journal of Electrical Engineering, vol. 55 No. 9-10, 2004, pp. 265-268.
- [8] MRÁŽIK, M., SLOSARČÍK, S., ŽIVČÁK, J., BANSKÝ, J., DOVICA, M.: „Hrubovrstvové tlakové senzory pre oblasť medicíny“, Lekar a technika, Vol.5 – 6, pp.171-182, 2003

Abstract

The paper deals with realization and application of 3D structured based on LTCC ceramic. There is described simplified technological process of realization MCM modules based on LTCC ceramic and LTCC ceramic application possibilities. The technological issues that may arise during 3D structures realization are described in the second part. Realization of 3D formed module with integrated pressure sensor is described in the final part of the paper.

prof. Ing. Stanislav Slosarčík, PhD.

Technická Univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra technológií v elektronike
Letná 9
041 87 Košice

Doc. Ing. Miroslav Dovica, PhD.

Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva
Letná 9
041 87 Košice
tel.: 055 602 3220
miroslav.dovica@tuke.sk

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Bauer

Hochschule für Technik und Wirtschaft
Fachgebiet Elektronik
Friedrich-List-Platz 1
Dresden

Ing. Igor Vehec

Technická Univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra technológií v elektronike
Letná 9
041 87 Košice

Ing. Pavol Cabúk

Technická Univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra technológií v elektronike
Letná 9
041 87 Košice