

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Pasty určené pro sintrování

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal ŠVEHLA**
Osobní číslo: **E13B0154P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Pasty určené pro sintrování**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou montáže polovodičových čipů na vodivé vrstvy keramických substrátů.
2. Zmapujte trh vodivých sintrovacích past.
3. Zpracujte podrobný přehled sintrovacích past, srovnání jejich parametrů a ceny.
4. Proveďte cenovou kalkulaci a porovnání parametrů vybraných sintrovacích past a dalších metod montáže polovodičových čipů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. MACH, Pavel, SKOČIL, Vlastimil a URBÁNEK, Jan. Montáž v elektronice: pouzdření aktivních součástek, plošné spoje. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001.
2. Datasheety výrobců (Heraeus, Dupont apod.)
3. Elektronické informační zdroje

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Bystřický

Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena především na pasty určené pro sintrování. V této práci se budeme zabývat problematikou montáže polovodičových čipů na vodivé vrstvy keramických substrátů. Dále si rozebereme trh vodivých sintrovacích past a popíšeme jejich vlastnosti, srovnáme parametry a ceny. Jako poslední věc je cenová kalkulace využití jedné z metod montáže polovodičových čipů a použité pasty a porovnání s ostatními pastami a metodami.

Klíčová slova

Sintrování, sintrovací pasty, metody připojování čipů, porovnání metod připojování, porovnání parametrů past

Abstract

This bachelor theses is primarily focused on pastes designed for sintering. In this bachelor theses we will deal with an isme of mounting semiconductor chips on a conductive layer ceramic substrates. Furthermore we will analyze market sintering conductive pastes and describe their characteristics, parametrs and compare prices. As the last thing is pricing the use of a method of assembly of semiconductor chips and used paste and compared with other methods and pastes.

Key words

Sintering, sintering pastes, methods of connecting chips, comparing methods of connecting chips, comparasion pastes parameters

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 2.6.2016

Michal Švehla

(Nepovinná část)

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Bystřickému. Za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 TECHNIKY MONTÁŽE A PŘIPOJOVÁNÍ ČIPŮ	11
1.1 MONTÁŽ ČIPŮ EUTEKTICKÝMI SLITINAMI	12
1.2 MONTÁŽ ČIPŮ ORGANICKÝMI ADHESIVY	12
1.3 MONTÁŽ ČIPŮ ANORGANICKÝMI ADHESIVY	12
1.4 PŘIPOJOVÁNÍ ČIPŮ MIKRODRÁTKY	13
1.4.1 Připojování na kuličku	15
1.4.2 Kontaktování hranou	16
1.4.3 Termokomprese	18
1.4.4 Ultrazvukové připojování	19
1.4.5 Termosonické připojování	20
1.5 TECHNOLOGIE „FLIP CHIP“ A C4 (CONTROLLED COLLAPSE CHIP CONNECTION)	21
1.5.1 Příprava poduškových kontaktů vakuovým napařováním	23
1.5.2 Výroba poduškových vývodů fotalitograficky	23
1.6 MONTÁŽ ČIPU PŘÍMO NA PROPOJOVACÍ DESKU (COB – CHIP-ON-BOARD)	24
1.7 PŘÍMÉ PŘIPOJENÍ ČIPU	25
1.8 LEPENÍ ČIPŮ VODIVÝMI LEPIDLY	25
1.9 TECHNOLOGIE SINTROVÁNÍ	26
1.9.1 Sintrování v elektrotechnice	26
1.9.2 Složení sintrovací pasty	27
1.9.3 Výhody	28
1.9.4 Nevýhody	28
2 PASTY PRO SINTROVÁNÍ	28
2.1 HERAEUS ELECTRONICS	28
2.1.1 Obecné technické parametry past od výrobce Heraeus	28
2.1.2 mAgic Paste Microbond ASP295	29
2.1.3 mAgic Paste Microbond ASP131	30
2.1.4 mAgic Paste Microbond ASP043	31
2.2 NBE TECH, LLC	32
2.2.1 NBE nanoTach®	32
2.3 KYOCERA	33
2.3.1 Kyocera XT2773R7S	33
2.4 ALPHA ASSEMBLY SOLUTIONS	34
2.4.1 ALPHA® Argomax® 2000 Series	34
2.4.2 ALPHA® Argomax® 5000 Series	34
3 SROVNÁNÍ SINTROVÁNÍ S LEPENÍM ELEKTRICKY VODIVÝMI LEPIDLY	35
4 SROVNÁNÍ PAST PRO SINTROVÁNÍ	37
ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	40

Úvod

V dnešní době, kdy elektronika je součástí našeho života, je snaha ze strany výrobců dodávat kvalitní a spolehlivou elektroniku s ohledem na cenu. V oblasti elektroniky se neustále vyvíjí nové metody a technologie, jak ve výrobě integrovaných obvodů, tak v jejich připojování. K tomu je třeba nových objevů a pokroků v dalších oblastech.

Jedna z oblastí se zaměřuje na připojování čipů na substráty a pouzdra. Samotné připojování čipů je možné provádět několika metodami. Zde je důležité, kam je čip připojován, jestli na pouzdro, nebo přímo na plošný spoj. Důležité je, aby čip byl připojen za co nejkratší možnou dobu a správně fungoval. Toto je požadavek při velké sériové výrobě

Techniky připojení se zdokonalují již pár let a vývoj se ani teď nezastaví. Ve vývoji se zdokonalují stávající metody nebo se vyvíjejí nové. Hlavním důvodem je zvětšující se integrace a maximalizace prostoru na desce plošného spoje a umístit na něj co nejvíce součástek.

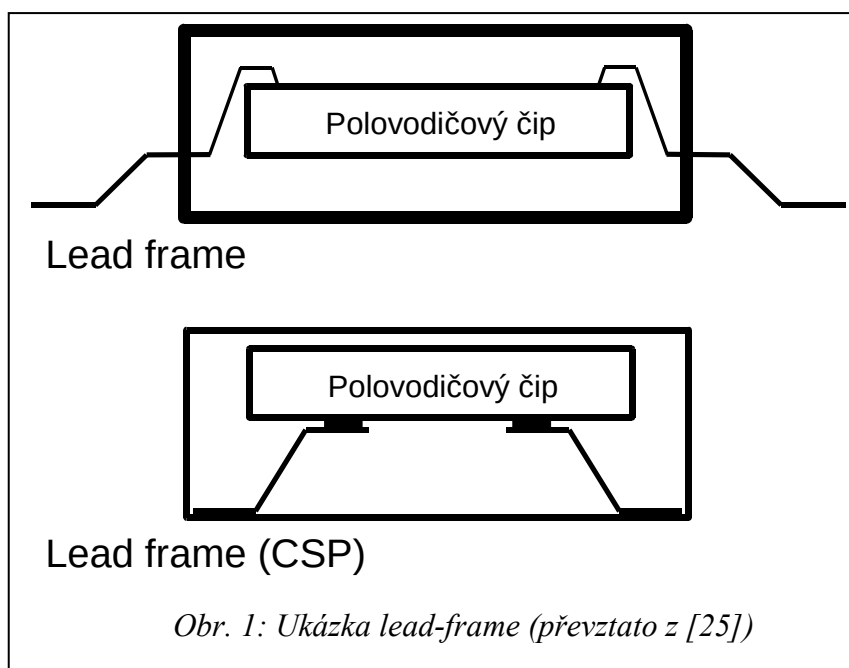
Předkládaná práce se zabývá přehledem metod pro připojování čipů na substrát. Se zaměřením na sintrovací pasty. V práci je uvedeno několik výrobců sintrovacích past s jejich parametry, které jsou uvedeny na stránkách výrobců. Dále práce obsahuje kapitolu zaměřenou na porovnání metody sintrování a metody lepení pomocí vodivého lepidla.

Seznam symbolů a zkratk

- ® označení registrované značky
- C4.....jiný název pro technologii flip chip
- Ca..... chemická značka pro Vápník
- CCB zkratka pro controlled collapse boxing, jiné označení metody flip chip
- CER-DIP..... zkratka pro ceramic dual-in package označující keramické pouzdro s vývody po obou stranách součástky
- CERQUAD..... zkratka pro ceramic quad flat package, ploché čtvercové nebo obdélníkové pouzdro s vývody po všech stranách součástky
- COB..... zkratka pro chip on board, metoda pro připojování čipů přímo na propojovací desku
- IGBT zkratka pro insulated-gate bipolar transistor, bipolární transistor s izolovaným hradlem
- Pb37Sn63 slitina olova a cínu, kde olovo zastupuje 37% obsahu a cín zastupuje 63% obsahu, druh pájky
- Pb95Sn5 slitina olova a cínu, kde olovo zastupuje 95% obsahu a cín zastupuje 5% obsahu, druh pájky
- Pb97Sn3 slitina olova a cínu, kde olovo zastupuje 97% obsahu a cín zastupuje 3% obsahu, druh pájky
- UV..... zkratka pro ultra violet, druh světelného záření označovaného jako ultrafialové

1 Techniky montáže a připojování čipů

K montáži lze použít jak řádně zapouzdražený čip tak i holý čip. Ten lze připojit k substrátu, na který bude čip umístěn [1],[2]. Pouzdro slouží jako ochrana před vnějšími vlivy a zajišťuje správný chod čipu. Čip může být upevněn na základnu pouzdra a poté jsou jeho vývody spojeny s vývody pouzdra nebo připevněn přímo na propojovací desku. Pro montáž čipů k základně se využívá mechanických, tepelných a elektrických spojení mezi čipem a základnou. U řady vývodových součástek je běžné, že základna obsahuje příslušnou část systému vývodů tzv. lead-frame [1].



S vyvíjející se dobou jde především o to, aby se na co nejmenší plochu umístilo co nejvíce součástek. Zmenšovat součástky lze jen douvitých mezí a tak se dostávají určitá omezení, která spočívají v nemožnosti zmenšit některé součástky tak, jak by bylo potřeba. S rostoucím počtem prvků na čipu tak roste rozměr a funkce, které je čip schopen vykonávat. Rostou i nároky na kvalitu, spolehlivost, mechanické připojení k základně pouzdra a také nároky na elektrické připojení vývodu čipů k základně. Čím větší je rozměr čipu, tím větší je riziko mechanického poškození, kvůli teplotnímu rozdílu mezi čipem a základnou pouzdra. Velikost čipu hraje roli ve volbě způsobu kontaktování, následného zapouzdražení čipu a kontrole [1].

Jedna z mnoha možností montáže, je využívání kovových slitin, organických a anorganických adhesiv [1]. Neexistuje universální metoda montáže pro všechny typy

pouzder a čipů, ale pro určité typy pouzder a čipů je vždy volena metoda, která je pro danou volbu vhodnější [1, 2].

1.1 Montáž čipů eutektickými slitinami

Pomocí této techniky je možné připojit čip na keramickou základnu s vysokou pevností ve stříhu. Při připojování je důležité co nejvíce se přiblížit teplotnímu koeficientu roztažnosti Si. Proto pro čipy větších rozměrů je využíváno keramických pouzder ze slitin AlN a SiC, které mají teplotní koeficient roztažnosti přibližně stejný jako Si. Při ohřátí pouzdra dochází k mechanickému napětí, které ovlivňuje spolehlivost čipu. Toto napětí vzniká mezi čipem a základnou v důsledku rozdílných roztažností materiálů. Tato montáž má jednu velkou nevýhodu a to takovou, že čip je vystaven vysoké teplotě při připojování. Hlavní nevýhoda procesu spočívá v obtížné automatizaci procesu [1].

1.2 Montáž čipů organickými adhesivy

Pokud jde o připojení čipů, jejichž pouzdra nebudou tepelně namáhány, tato metoda nabízí lepší řešení, než metoda pro montáž čipů eutektickými slitinami. Pro zajištění lepší tepelné a elektrické vodivosti se používají stříbrné částice, které jsou obsaženy v epoxidovém lepidle. Proces montáže je velmi přesný. Umístění čipu na základnu je stále stejné, tudíž je možné využít průmyslový stroj, který je naprogramován za účelem kontaktování mikrodrátků k základně. Tím je omezen počet poruch na minimum a zvýší se efektivita pracovního procesu [1]. Rozsah teplot, při kterých je lepidlo vytvrzováno v rozsahu 100 - 150 °C. Doba vytvrzování je závislá na typu lepidla a probíhá od několika jednotek minut do 120 minut [7]. U některých typů lepidel trvá vytvrzování mnohem déle, například 48 hodin, protože teplota vytvrzování je stanovena jako normální teplota [1].

1.3 Montáž čipů anorganickými adhesivy

Metoda je vhodná pro pouzdra typu CER-DIP a CERQUAD. CER-DIP má vývody po obou stranách základny a pouzdro je tvořené keramikou. CERQUAD má vývody na všech stranách keramické základny a pouzdro je většinou čtvercového tvaru. Jako připojovací médium zde slouží pasta, která se skládá ze stříbra, skla, pryskyřice a ředidla. Jednotlivé složky jsou v pastě obsaženy v poměru: Stříbro 66,4%, sklo 16,6%,

1% pryskyřice a 16% ředidlo. Výroba pasty spočívá v rozdrcení skla a stříbrných částic. Následně se do rozdrcených částic skla a stříbra přidá pryskyřice s ředidla a tím je vytvořena pasta. Vypálení jak pasty, tak i keramiky probíhá v jednom kroku. Po dokončení vypalování vznikne spoj, který je složen z 80 % stříbra a 20 % skla. Aby byla zlepšena schopnost materiálů lépe k sobě přilnout, vytvoříme vrstvu SiO_2 tam, kam bude čip připojován. Tím, že sklo difunduje do keramiky, je zajištěna lepší přilnavost mezi keramickou základnou pouzdra a samotným materiálem sloužícím k zlepšení přilnutí. Přední vlastnost tohoto spojení je vysoká tepelná stabilita, z toho plyne, že metodu lze označit jako za spolehlivou. Další vlastnost tohoto připojení je, že je výrazně cenově dostupnější než metoda pro montáž čipů eutektickými slitinami. Metoda najde využití především u hermetických pouzder s vysokými nároky na spolehlivost [1].

Metody, které se používají pro připojení vývodů čipu k vývodům základny, jsou následující. Jako první se využívá metoda „wire bonding“, v překladu znamená kontaktování mikrodrátky (Svařovaný spoj je vytvořen jak na čipu, tak i na základně respektive přímo na propojovací desce.). Dále se používá metoda „flip-chip“ (Čip je umístěn do opačné polohy než je běžně) [1].

Výběr metody připojení kontaktů je ovlivněn roztečí vývodů čipu, počtem čipů a v poslední řadě i cena, za kterou bude výsledný obvod nabízen [1].

V následujících odstavcích budou rozebrány různé možnosti kontaktování.

1.4 Připojování čipů mikrodrátky

Tato metoda byla prvně použita v roce 1957 Bellovými laboratořemi a tím se řadí mezi průkopníky metod, které se používají pro připojení vývodů čipu k vývodům pouzdra. Mezi kontaktní ploškou na čipu a kontaktní ploškou na pouzdře se vytvoří svár za pomoci mikrodrátku. Tím vzniká vodivý spoj mezi kontakty [1],[3]. Vzhledem k tomu, že tato metoda byla průkopníkem, nebyla bezchybná. Hlavní nedostatek této metody je nízká spolehlivost způsobena vysokým ohřevem čipu a to až na 350°C . Při rychlých změnách teplot součástky docházelo k jejím poruchám. Ty byly způsobeny nežádoucí slitinou, která vznikla při vytváření sváru a svou křehkou povahou narušila spoj. Spoj se vytvářel za pomoci, zlatého drátu, který byl připojován na hliníkové plošky. Celý proces byl prováděn ručně [1].

Novější technologie byla vyvinuta až kolem roku 1970. Její přednost je výrazné snížení teploty na 150°C – 200°C . Díky snížení teploty ohřevu součástky se eliminovala tvorba nežádoucích slitin a tím i křehkost spoje při teplotních změnách. Z toho plyne

zvýšení spolehlivosti spoje. Po odstranění nedostatků bylo možné tuto metodu přesunout z laboratorního výzkumu do výrobní oblasti [1].

Materiály pro výrobu mikrodrátků musí splňovat dva požadavky. První je, že materiál musí být možné vytáhnout jej do požadovaného průměru a mít dobrou svařitelnost. Pro představu, průměr mikrodrátků je přibližně 50 μm a menší. [1],[3].

Materiály používané pro mikrodrátky jsou Al s 1% Si, Al s 0,5 – 1% Mg, Au a náhrady Au. [1]

Jako první je materiál Al s 1% Si. Samotný Al nebylo možné vytáhnout do takto malých průměrů. Pro zlepšení tohoto nedostatku se přidává Si, to dělá z této slitiny standardní materiál pro kontaktování. S přidavkem Si není možnost přimíchání dalšího prvku do slitiny při kontaktování na Si čipy [1],[3].

U následujícího materiálu byl Si nahrazen prvkem Mg, které je přidáno v množství 0,5% – 1 %, pro odstranění stejných nedostatků jako se objevily u prvního materiálu. Záměnou prvku Mg za prvek Si nebyla ovlivněna poruchovost čipů. Tímto byl odstraněn nedostatek Al a slitina vykazuje dvě kladné vlastnosti. Výrazně lepší mechanické vlastnosti za zvýšené teploty a značně nižší měrný odpor než slitina AlSi 1%. Jeden parametr mají obě slitiny společné a to je cena, která je srovnatelná u obou slitin [1],[3].

Dalším prvkem je Au. Samotné Au však má stejný nedostatek jako Al, při menších průměrech je zlato příliš měkké. Zlepšení vlastností Au, je dosaženo využitím různých příměsí. Příměsí, které se používají, jsou například Pt nebo La pro možnost vytvářet dlouhé smyčky. V koncentraci 5-10 ppm, je využíváno nejčastěji prvků Be a Ca jako dopanty Au [1],[3]. Aby měl tažený mikrodrátek lepší povrch, používá se lubrikant. Ovšem aby se předešlo poruchám, které může způsobit lubrikant, je třeba mikrodrátek řádně očistit. Při kontaktování by mohl způsobovat mechanické a elektrické nedokonalosti spoje. Na vytvoření kvalitního spoje je na mikrodrátek při kontaktování kladeno několik požadavků. Po vytvoření spoje musí být drátkem vytvořená smyčka schopná zachovat si svůj tvar. Při vytváření spoje tak musí být mikrodrátek ohebný aby bylo možné ho tvarovat ale zároveň dostatečně pevný aby se při tvarování nepřetrhl [1]. Při využití termokomprese je Au dotován Pt pro snadnější vytváření kuliček jiskrovým výbojem[3].

Kvůli vysoké ceně zlata byla snaha nalézt různé náhrady za tento cenný kov. Používá se malé množství zlata na kontaktování pomocí mikrodrátků. Postupným zkoumáním a testováním se došlo ke dvěma prvkům jako náhradám. K čistému Al a

čisté Cu. V průběhu testů a zkoumání se objevily nedostatky těchto prvků. Bylo zjištěno, že díky porézности kuliček vytvořených Al při kontaktování na kuličku nelze využít Al. Jedna negativní vlastnost plyne přímo z prvku Cu a to je koroze prvku na vzduchu. Proto se Cu jako materiál na kontaktování používá především v hermeticky uzavřených pouzdrech [1],[3]. Využití Cu s sebou ale přináší mnoho pozitivních vlastností v porovnání s Au drátkem pro kontaktování například výhodnější cenu, lepší mechanickou pevnost, elektrickou a tepelnou vodivost [1].

Existují tři technologie, které jsou používány pro připojování mikrodrátků. První technologie je temokomprese, která se používá u Au mikrodrátků. Ultrazvukové sváření využívané pro AlSi a AlMg mikrodrátků a poslední technologie je termosonické sváření pro Au a Cu mikrodrátky [1],[3].

Volba metody připojení mikrodrátku k substrátu je určena tvarem připojovacího nástroje a zakončením mikrodrátku. Procesy, kterými jsou připojovány mikrodrátky k substrátu jsou dvě a to připojování na kuličku nebo hranou. Převážná část čipů, což tvoří 93% z celkového množství připojovaných čipů, je připojována procesem připojování na kuličku. Jako další metoda je připojování klínem a ta pokrývá 5% a ostatní metody porývají 2% ze všech připojovaných čipů [1].

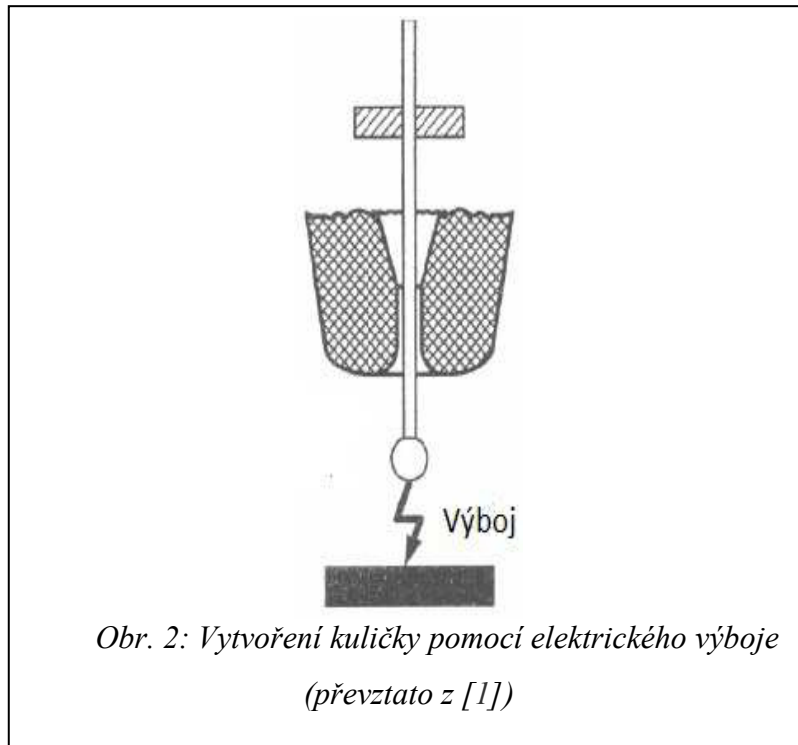
1.4.1 Připojování na kuličku

Pro vytvoření kuličky na konci mikrodrátku je využíváno dvou způsobů. Jako prvním vyvinutým způsobem je vytvoření pomocí vodíkového plamene, dále následoval vývoj metody elektrického výboje [1]. U vytváření kuličky vodivým plamenem se postupným testováním se odhalila negativní vlastnost v podobě nepřesných rozměrů kuliček při jejich opakované výrobě [3]. Pokud je kontaktován čip s vysokým počtem vývodů a malou roztečí vývodů narazíme na velkou nevýhodu této metody. Časem se ukázalo, že z hlediska přesnosti a opakovatelnosti je mnohem výhodnější metoda využívající elektrického výboje. V následujících větách zde bude přiblížen postup této metody [1].

Pro vytvoření smyčky a následně spoje je potřeba mikrodrátek, ten je uchopen skřípcem. Mikrodrátek prochází skrz kontaktní hlavu. Skřípec provádí pohyb společně s kontaktní hlavou. Pracovní část kontaktní hlavy může být vyrobena z SiO₂, Al₂O₃ nebo WC aby vydržela vysoké teploty vytvářené elektrickým výbojem. Pomocí elektrického výboje je vytvořena kulička na konci mikrodrážku a skřípec je v tuto chvíli rozevřen. Celé zařízení se pak přisune ke kontaktní plošce čipu, tím se

vytvoří kontakt mezi drátkem a čipem. Kontaktovací hlava se vysune kolmo vzhůru a přesune se nad místo, kde se nachází kontaktovací ploška pouzdra. Hlava se přiblíží ke kontaktovací plošce pouzdra a tím se vytvoří kontakt mezi čipem a pouzdrem. Poté se skřípec sevře a mikrodrátek se od kontaktovací plošky odtrhává [1],[3],[6].

Celý proces probíhá velmi rychle, proto kulička na konci drátu, která je vytvořena elektrickým výbojem je schopna udělat smyčku mezi kontaktovacími ploškami čipu a pouzdra. Elektrický výboj probíhá mezi kontaktovací ploškou a drátkem [1].



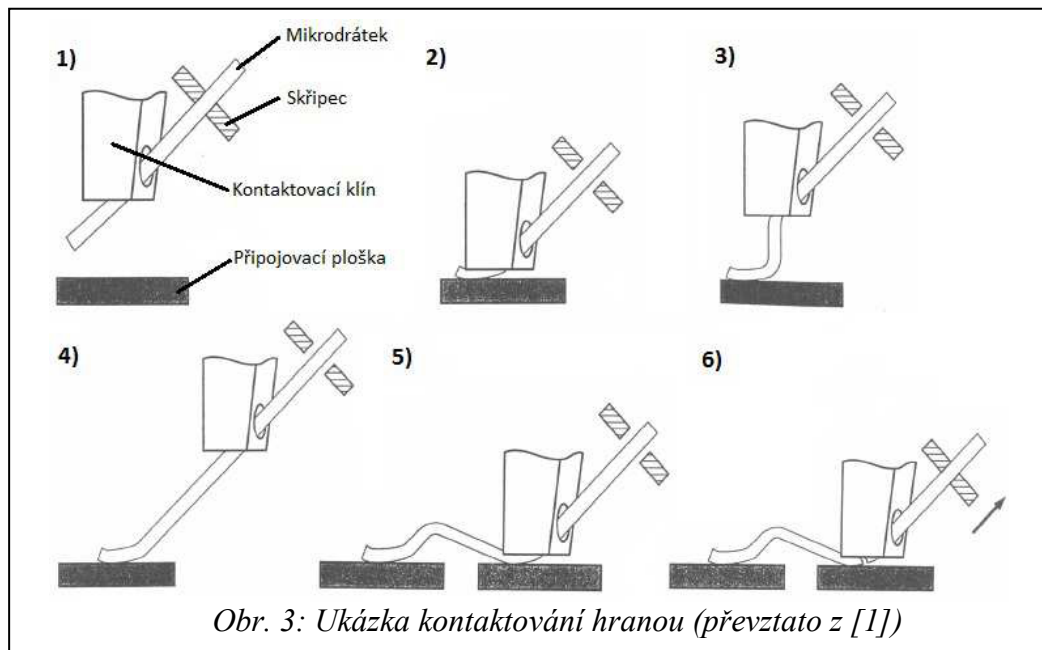
1.4.2 Kontaktování hranou

Metoda pro vytvoření kontaktu je třeba mikrodrátku, skřípce, kontaktovacího klínu a v neposlední řadě kontaktovací plošky [1].

V kontaktovacím klínu se nachází otvor, kterým prochází mikrodrátek. Ten je přichycen skřípcem a uvolňuje se ve chvíli kdy, je drátek kontaktován k plošce a svírá se při odtrhávání drátku po dokončení kontaktování. Před započítím kontaktování je potřeba drátek povysunout na požadovanou délku. Kontakt je vytvořen pouhým sjetím kontaktovací hlavy dolů k plošce, následuje uvolnění skřípce. Uvolnění skřípce umožní hlavě vyjet opět nahoru a přemístit se na další kontaktovací plošku. Nad místem kde se nachází další kontaktovací ploška, hlava opět sjede dolů a vytvoří se tak kontakt. V této chvíli musí dojít k sevření skřípce a při vysouvání kontaktovací hlavy se odtrhne

mikrodrátek. K zopakování tohoto procesu, musí být zajištěno povytažení mikrodrátku na požadovanou délku. To je zprostředkováno sevřením mikrodrátku ve skřípci a přisunutím skřípce blíže k hlavě, dokud není mikrodrátek požadované délky [1],[3].

Musí být dbáno i na výběr materiálu, mezi kterými se bude vytvářet kontakt. Z tohoto důvodu byla vypracována tabulka materiálů, které lze vzájemně kontaktovat. Tloušťka mikrodrátku a materiálové hledisko s sebou přináší omezení. Veškeré tyto parametry jsou uvedeny v tabulce č.: 1 [1].

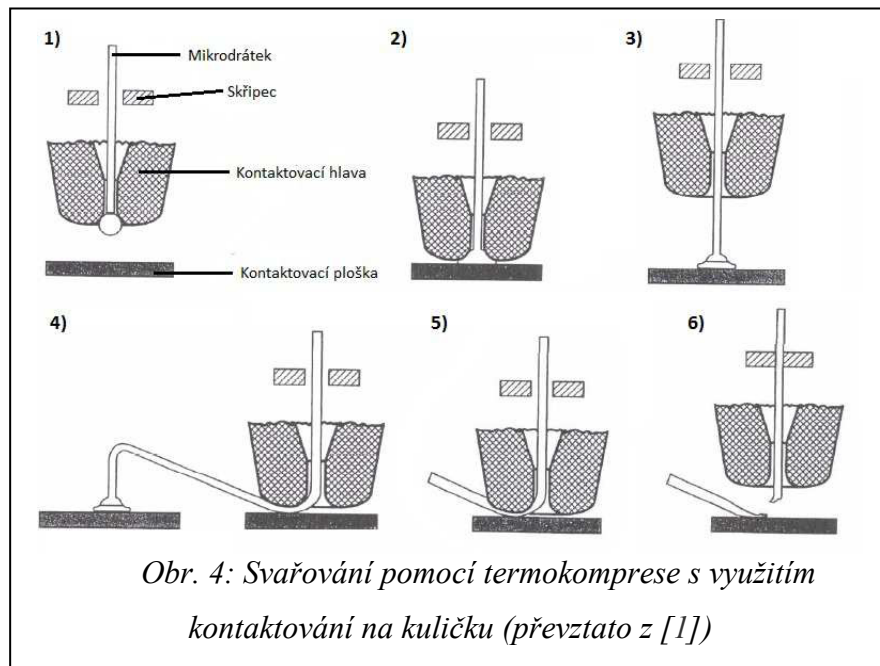


1.4.3 Termokomprese

Za kombinace teploty a tlaku se pomocí mikrodrátku vytvoří svar mezi kontaktní ploškou substrátu a čipu. Ke vzniku svaru jsou potřeba dvě energie, tepelná a tlaková. Jako první je dodána tepelná energie kontaktní plošce i mikrodrátku. Obě části se ohřejí na teplotu nižší, než je teplota tavení použitých materiálů. Tlaková energie je dodána jako druhá. Vzájemnou difuzí krystalových mřížek při současném působení teploty a tlaku vzniká svar mezi mikrodrátkem a kontaktní ploškou [1],[3].

Tato technika je užívána méně často, kvůli potřebě poměrně vysoké teploty od 250°C do 380°C a sekundu dlouhé době vytvoření svaru. Takto dlouhá doba nevyhovuje dnešním požadavkům na kontaktování integrovaných obvodů, které mají mnoho vývodů. Docházelo by ke zpomalování a sizení efektivity kontaktovacího zařízení [1],[3].

Metoda má i své omezení v použití mikrodrátku z materiálu Al. Ten na vzduchu oxiduje a pokrývá se vrstvou Al_2O_3 , která zhoršuje difundování krystalových mřížek mikrodrátku a kontaktní plošky. Pro tuto metodu se výhradně používá Au mikrodrátek [1].



1.4.4 Ultrazvukové připojování

Výhoda této metody oproti ostatním je, že pro připojení mikrodrátku postačuje pokojová teplota, tím je omezeno tepelné namáhání kontaktovací plošky[1]. Metoda je hojně využívána především pro připojování mikrodrátků z Al materiálu[3]. Povrchy, ke kterým lze připojovat jsou vyjmenovány v této tabulce [1].

Tabulka 1: Příklad kombinací vhodných materiálů pro kontaktování mikrodrátky (mikropásky) na různé vrstvy vytvořené na některých typech podložek [1]

Podložka	Sklo		Korund (Al ₂ O ₃)		Si	
	Materiál vrstvy	Materiál/ průměr mikrodrátku (mm)	Materiál vrstvy	Materiál/ průměr mikrodrátku (*tloušťka mikropásky) (mm)	Materiál vrstvy	Materiál/ průměr mikrodrátku (mm)
	Al	Al, Au /50-250	Au na Mo-Li	*Ni /50	Al	Al /250-500 Au /50
	Ni	Al /50-500	Mo	*Al /75-125		
		Au /50-250	Ag na Mo-Mn	*Ni /50		
	Cu	Al /50-250	Cu	*Ni /50		
	Au	Al /50-250	Au-Pt	Al /250		
		Au /75				
	Ag	Al /250				
	Pt	Al /250				
	Pd	Al /250				

*využití mikropásky místo mikrodrátku

Teplo pro vytvoření kontaktu je vytvořeno rozkmitáním mikrodrátku a jeho tisknutím ke kontaktovací plošce. Vzájemným přitlačováním těchto částí je způsobeno ohřívání a měknutí obou materiálů. Povrchové nečistoty jsou díky kmitání a současnému přitlačování vytlačovány na okraj spoje anebo uzavřeny v jeho středu. Zůstatek případných nečistot způsobuje nepřipojení střední části. To ovšem nesnižuje kvalitu spoje, protože mikrodrátek a kontaktovací ploška je spojena na okrajích, kde dojde k prodifundování jejich krystalových mřížek a vzniká dokonalý svar. Na kvalitě spoje se podílí i oxidy, například Al₂O₃ (při použití Al mikrodrátku), NiO nebo Cu_xO_y.

Jsou dva druhy oxidů měkké a tvrdé. Druh feritů ovlivňuje kvalitu spoje, ale nelze obecně tvrdit, že tvrdé ohrožují kvalitu spoje a měkké ji zlepšují a naopak. Spojované materiály nám určují kvalitu spoje a jeho vlastnosti [1].

Kontaktovací hlava musí být rozkmitána v rozmezí od 30 kHz – 120 kHz. V průběhu kontaktování je snaha dodržet přítlačnou sílu na konstantní úrovni. O to se stará kontaktovací hlava, která kompenzuje měknutí mikrodrátku, a postupně se přibližuje ke kontaktovací plošce. Oproti termokompresi je tento proces 50x rychlejší, protože je schopen vytvořit jeden spoj přibližně za 25 ms [1],[4].

Schopnost vytvářet spoj rychleji než u termokompresní metody není jediná výhoda této metody. Spoj lze nazývat dokonalým, protože částice Al_2O_3 jsou vytěsněny na okraj, kde dojde k prolnutí krystalových mřížek mikrodrátku a kontaktovací plošky. Částice Al_2O_3 tvoří na povrchu tenkou vrstvu, to při kmitání kontaktovací hlavy slouží k čištění povrchu kontaktovací plošky [1].

Měnič elektrické energie na mechanickou, upínací část, kuželový nástavec a pracovní nástroj dohromady tvoří kontaktovací hlavu jako celek. Měnič elektrické energie na mechanickou je většinou využíván piezoelektrický měnič. O propojení mezi měničem a kuželovým nástavcem se stará upínací část. Změnu amplitudy ultrazvukové vlny, která vychází z kuželového nástavce a pracovního nástroje, umožňuje kuželový nástavec. Pracovní nástroj nám přestavuje kontaktovací klín a bývá vyroben z vysoce pevných a tepelně odolných materiálů. Například z karbidu wolframu, jinak nazývaného také jako karbid [1].

Před započítím využívání této technologie je důležité, aby bylo zodpovězeno několik otázek. Ty předpoví jak kvalitní a spolehlivý bude spoj. Otázky jsou následující.

Je – li kvalita spoje ovlivněna negativním způsobem dopanty, které obsahují spojované materiály. Jaký druh oxidů se vytvoří kombinací spojovaných materiálů, buď tvrdé, nebo měkké. Existuje – li možnost tvorby intermetalických slitin při spojování. Zda – li materiály, které jsou spojovány snadno vytváří sloučeniny s halogenidy a sírou. Jak moc jsou spojované materiály náchylné ke korozi a jejich tvrdost. Jako poslední je důležité, jestli kombinace spojovaných materiálů je možné využít v sériové výrobě [1].

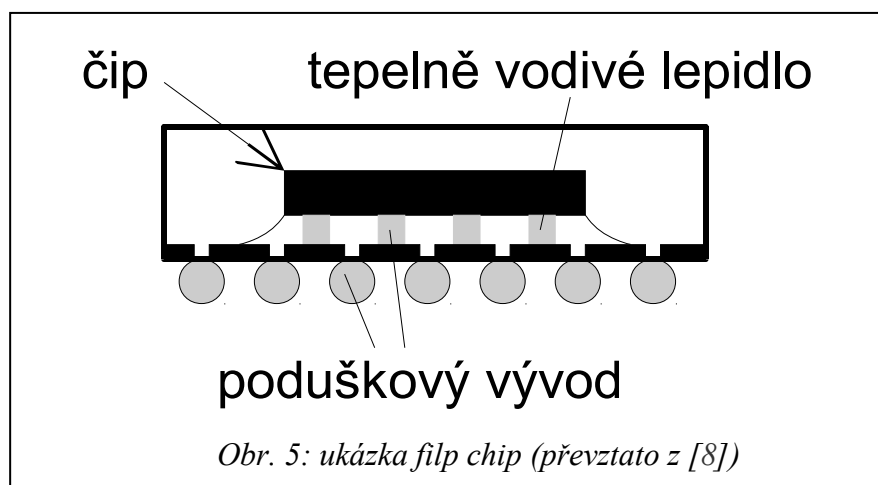
1.4.5 Termosonické připojování

Využívá se buď Au nebo Cu mikrodrátku a spojením metody termokompresí a ultrazvukového připojování vzniká metoda s názvem termosonické připojování. Jelikož je tato metoda kombinací ultrazvukového připojování kde využíváme kmitání

kontaktovací hlavy a termokompresní metody, kde využíváme vnější zdroj tepla. Důležité je aby abrazivní kysličník nebyl přítomen na povrchu mikrodrátku. Vytváření spoje za pokojové teploty není dosaženo při použití Au nebo Cu mikrodrátků dostatečné spolehlivosti a rychlosti tvorby spoje. K vytvoření svaru a rozpoutání difuze mezi mikrodrátkem a kontaktovací ploškou je třeba dodáním zvýšené teploty, kterou se dosáhne na úroveň aktivační energie pro začátek difuze. Teplota, která je dodávána vnějším zdrojem a zároveň je aktivátorem difuze, se pohybuje v rozmezí od 150 °C – 200 °C. Kontakt je vytvořen v intervalu mezi 5 – 20 ms ale musí zde být přítomna síla rovnající se přibližně 100g. Difuzi mezi mikrodrátkem a kontaktovací ploškou ovlivňují následující faktory, teplota, energie, kterou dodáme ultrazvukovými vlnami, čas a čistotou spojovaných materiálů. Tyto faktory ovlivňují míru prodifundování mikrodrátku a kontaktovací plošky. Vzájemná difuze a její rychlost je určena velikostí energie, kterou dodáme ultrazvukovými vlnami. Dále také ovlivňuje pohyblivost a hustotu rozmístění krystalových mřížek materiálů, které jsou spojovány. Je nutné, dodat přesné množství ultrazvukové energie. Vystavení spoje větší ultrazvukové energii po dobu větší než je doba potřebná k vytvoření kontaktu vede k interdifuzi. Ta negativním způsobem ovlivňuje kvalitu spoje [1].

1.5 Technologie „flip chip“ a C4 (Controlled collapse chip connection)

Existence této metody se datuje přibližně od poloviny 60. let. Metoda spočívá v připojování čipů v převrácené poloze, tedy lícní stranou dolů. Čipy, které jsou připojovány, jsou opatřeny poduškovými vývody. Pro metodu jsou zavedena různá označení, nejčastěji C4, C4 ale i CCB jako zkratka pro controlled collapse bonding [1].



Princip metody spočívá v připojování čipu na základnu pouzdra. Na základně

pouzdra jsou připojovací plošky, které jsou pokryty vrstvou pájky. Čip je v pozici převrácen hlavou dolů. Poduškové vývody se přikládají na připojovací plošky, poté následuje vložení do pece, která je vyhřátá na požadovanou teplotu. Tím je dosaženo připojením všech kontaktů čipu najednou. Místa, kde se nachází připojovací plošky, jsou ohraničena pomocí tlusté skleněné vrstvy, která slouží jako zábrana proti roztečení pájky do nežádoucích míst [1],[8].

Parametr, který rozhoduje, jaká pájka bude použita pro poduškový kontakt, je bod tání pájky. Připojování čipu na keramickou základnu pouzdra vyžaduje pájku s vyšším obsahem Pb, například Pb95Sn5 nebo Pb97Sn3. Řadí se tak mezi pájky s vyšším bodem tání, jelikož jejich bod tání je okolo 315 °C. To lze považovat za výhodu, která se využívá při připojování integrovaných obvodů nebo modulů na desky plošných spojů za pomoci pájek s nižším bodem tání. V tomto případě nedojde k tavení spojů, mezi čipem a základnou pouzdra [1].

Při opačném postupu montáže je nutné použít pájku s nejnižším bodem tání pro připojení čipu, protože je montován jako poslední. Další způsob vytváření spoje je kombinací pájky s vyšším bodem tání (např. Pb95Sn5) a s nižším bodem tání (např. eutektické Pb37Sn63). Pájka s vyšším bodem tání je použita pro poduškové kontakty čipu a pájka s nižším bodem tání je použita pro pokrytí kontaktovacích plošek. Po vložení do pece, která je vyhřátá na 250°C, se bude tavit pájka s nižším bodem tání. K roztavení pájky s vyšším bodem tání nedojde. Díky velmi dobré smáčivosti pájky s nižším bodem tání dojde k dokonalému připojení mezi poduškovými vývody a roztavenou pájkou [1].

Druh použité pájky ovlivňuje materiál, který je použit na připojovací plošky na základně pouzdra, kam je připojován čip. Například není vhodné použít PbSn pájku a připojovací materiál z Au. Dochází k rozpouštění Au v pájce. Au se ovšem využívá jen v menším množství a to jako tenká vrstva chránící připojovací plošky. Ty bývají z materiálů Cu, Pd, Ni nebo Pt. PbSn je nejčastěji využívaná pájka a využití ochranné vrstvy zlata zaručí dokonalou smáčivost. Pokud není jiná možnost než použít materiál Au pro připojovací plošky, je nutné použít jiný druh pájky, např. InSb [1].

Počet poduškových vývodů na jednom čipu je přibližně 700 a více. Rozměry poduškových vývodů jsou od 100 mm do 250 mm [1].

Nevýhod metody flip-chip je hned několik. Po montáži čipu na základnu pouzdra není možné kontrola kvality připájení čipu. Je vysoký požadavek na rovinnost povrchu základny pouzdra a na rozměr poduškového vývodu, především na jeho výšku. Je

obtížné opravovat jakékoliv chyby v připájení čipu. Další nevýhoda spočívá chlazení čipu. Převážná část odvodu tepla se děje přes vývody a malá část se odvádí sáláním. Z tohoto důvodu se využívá tepelně vodivým lepidlem, které umožňuje účinnější chlazení čipu [1].

1.5.1 Příprava poduškových kontaktů vakuovým napařováním

Metoda, která se nepoužívá v takovém rozsahu kvůli finanční náročnosti. Substrát je pokryt pasivační vrstvou, ve které jsou vyleptány díry nad vrstvou Al, která kontaktuje aktivní oblast čipu. Na to je přichycena kovová maska převážně tvořena Mo planžetou, která má na příslušných místech vyleptané otvory. Prvním krokem, je zbavit se nečistot na povrchu. Nečistot je povrch zbaven čištěním v Ar plasmě. Odstraněny jsou kysličníky a případně další nečistoty. Aby bylo dosaženo co nejnižšího odporu poduškového vývodu, je třeba využít čištění v Ar plasmě. Po dokončení tohoto procesu následuje napařování dalších vrstev ve vakuu [1].

Pro zajištění dobré adheze poduškového vývodu se na Al vrstvu, která kontaktuje aktivní oblast čipu, napaří vrstva Cr. Aby byla zlepšena smáčitelnost Cu vrstvy a PbSn pájky, je na povrch Cu vrstvy nanášena bleskovým odpařením tenká vrstva Au. Tato vrstva současně chrání Cu před oxidací. Jelikož každá vrstva je napařována v jiném zařízení, je nutné chránit Cu vrstvu před působením vzduchu. Proto se provádí tato ochrana Cu vrstvy. Dále je napařena PbSn pájka a jako poslední krok je přetavení v atmosféře H_2 , což zajišťuje kulový tvar poduškových vývodů [1],[3].

1.5.2 Výroba poduškových vývodů fotolitograficky

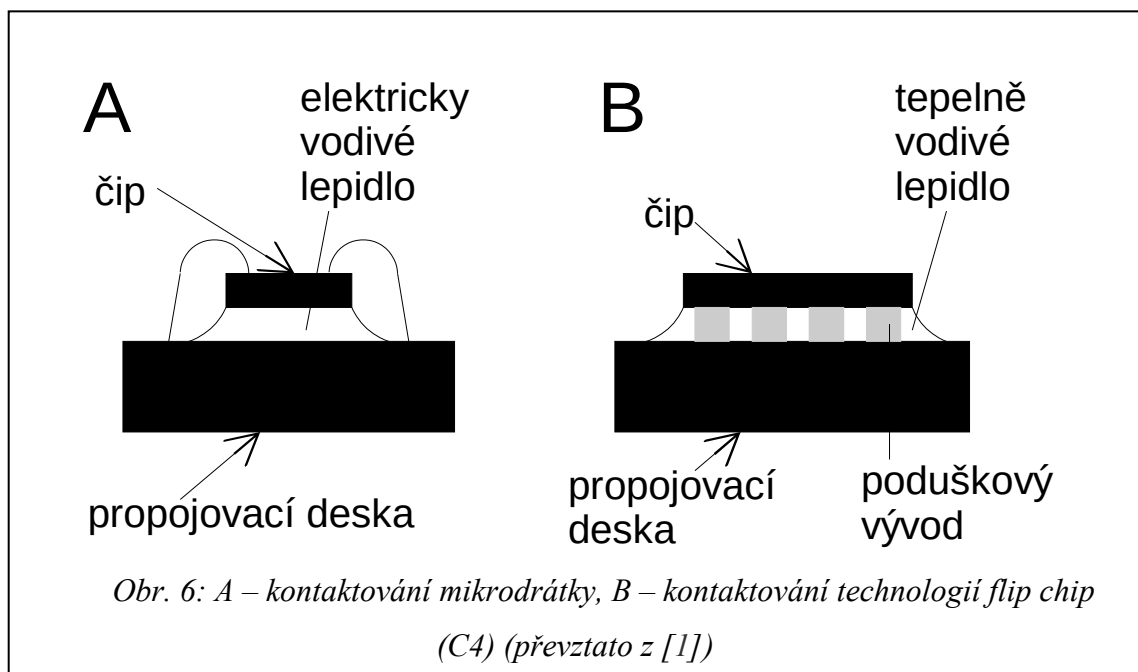
K vyhledání dostupnější metody vedly dva důvody. Finanční náročnost a zároveň požadavky na menší rozměry poduškových vývodů a roztečí vakuového napařování. S vyvíjející se dobou je potřeba zmenšovat rozměry čipů a také rozměry poduškových vývodů a roztečí. Na požadované malé rozměry však nestačí použití nepřímých masek tvořených kokovými planžetami. Výzkumem se dospělo k této metodě, která je velice rozšířená a má mnoho variant. Základním principem této metody je využití přímé fotorezistové masky. Ty jsou vytvořeny z fotorezistu přímo na substrátu. Požadovaná tloušťka kovových vrstev se vytváří galvanickým nanášením. K vytváření poduškových vývodů se v některých variantách používá napařování [1],[3].

1.6 Montáž čipu přímo na propojovací desku (COB – chip-on-board)

Pro dosažení ještě větší integrace se při připojování využívá nezapouzdřených čipů. Jako základna pro připojení čipu použita deska plošného spoje místo pouzdra [1],[12]. Možnosti jak připojit čip k desce plošného spoje jsou tři. První je přilepení čipu k desce plošného spoje a kontakt jsou elektricky připojeny pomocí mikrodrátků. Další možnost je pro připojení čipů a propojení kontaktů použita technologie „flip-chip“ [1].

Postup připojování pro technologii mikrodrátků je následující. V prvním kroku se na požadovaná místa na desce nanese elektricky vodivé lepidlo, které je složené z pryskyřice naplněná stříbrnými částicemi, pomocí sítotisku nebo dávkování. Poté se na nanesené lepidlo osadí čipy pomocí zařízení „pick and place“. Po osazení se deska vytvrzuje při teplotách 120 – 150 °C po dobu 30 – 120 minut. Teplota a doba je určena druhem použitého lepidla [1]. Jako poslední kroky jsou elektrické připojení vývodů čipu pomocí mikrodrátků a následné zakápnutí čipu pomocí lepidla nebo plastické hmoty [12].

U technologie „flip-chip“ se nevyužívá lepidla, protože čip je společně s elektrickým připojením připojen i mechanicky. Lepidlo má za účel vyplnit prostor mezi čipem a deskou a také slouží pro lepší odvod tepla [1].



1.7 Přímé připojení čipu

Je technologie připojování nepouzdrěných čipů, která stále častěji nachází uplatnění ve výrobě elektroniky přesněji v telekomunikaci a spotřební elektronice [13]. Pouzdrění se provádí jak na základnu pouzdra tak i přímo na propojovací desku, což je mnohem častěji používaný způsob [1]. Dvě hlavní formy této metody jsou zahrnuty chip on board, kde jsou kontakty připojeny mikrodrátky a kontakty jsou hlavou vzhůru. Jako druhá forma je flip chip on board, kde jsou pomocí kuliček pájky propojeny aktivní stranou přímo na levný organický substrát [13]. Pro připojování čipů se zde využívá stejných metod jako v metodě chip on board. Někdy dochází k záměně pojmů chip on board a direct chip attach ovšem jejich princip je rozdílný, direct chip attach je montáž čipů na základnu pouzdra, která může být i keramická a chip on board je montáž čipů bez pouzdra na propojovací desku [1].

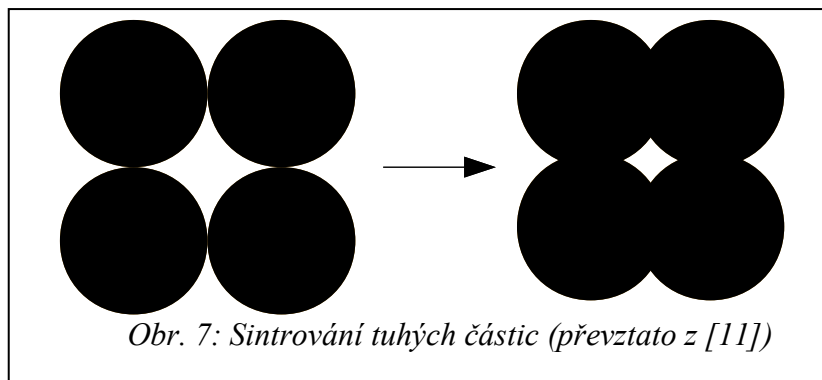
1.8 Lepení čipů vodivými lepidly

Princip připojování čipů elektricky vodivými lepidly spočívá v nanesení vodivého lepidla na kontaktovací plošku pomocí dávkování, tisknutí nebo hrotem. Poté je na nanesené vodivé lepidlo umístěn čip a následuje jeho vytvrzení. Proces vytvrzení probíhá v rozsahu od 100 do 150 °C. Vyšší teplota se používá pro lepidla s vyšší mechanickou pevností a nižší teplota pro lepidla s nižší mechanickou pevností [1],[7]. Vytvrzování se může provádět jak teplem, tak UV zářením [26]. Doba vytvrzení se pohybuje od 30 minut do 2 hodin, avšak jsou známy i druhy lepidel, které se vytvrzují při normální teplotě. Bohužel vytvrzování při normální teplotě výrazně prodlužuje dobu potřebná pro vytvrzení lepidla a to až na 140 i více hodin [1].

Lepidlo se skládá ze dvou složek, z vodivostní a vazební složky. Vodivostní složka je zastoupena 60 – 80 % kokovým plnidlem. Plnidlo je tvořené drahými kovy například částicemi stříbra, zlata, paladia, niklu nebo měděnými pocínovanými částicemi. Drahé kovy bohužel navyšují cenu lepidla. Cenu lze snížit použitím mědi nebo niklu, ovšem za cenu zhoršení vodivosti [1],[7]. Další složka je vazební, která může být jednosložková nebo dvousložková [1]. Jako vazební složky mohou být reaktoplastické nebo termoplastické. Termoplastické se využívají méně, ale mají výhodu při opravách spojů tvořených elektricky vodivými lepidly. Nejčastěji se používají epoxidové pryskyřice, dále také existují lepidla využívající polyimidových, akrylátových, silikonových a dalších pryskyřic [7].

1.9 Technologie sinterování

K průběhu tohoto procesu, je důležité splnit podmínku, že teplota, při které proces probíhá, nesmí přesáhnout teplotu tání. Ovšem je potřeba dosáhnout teplot, které umožní difuzi mezi částicemi. Tím je dosaženo, že menší částice se spojují do jednoho většího celku, což se nazývá koalescence [9],[11].



Další spoluúčast na průběhu procesu má tlak, kterým se zhutňují práškové částice před procesem koalescence [11]. V práškové metalurgii se sinterování využívá ke zvětšení soudržnosti práškových částic [10]. Zvětšení soudržnosti částic probíhá tak, že na práškové částice působí tlak, ty se deformují tak, že mají snahu vyplnit co nejvíce volného prostoru[9]. Z práškových částic pomocí procesu sinterování vzniká kovové těleso. Pokud má výrobek určitou poréznost, která je vyhodnocena jako přípustná, sinterování se provádí jen jednou. Některé požadavky můžou být náročnější na poréznost materiálu. Pokud požadavek není splněn po první sintraci, provádí se sintrace vícekrát, nejčastěji však dvakrát. To se nazývá předsinování. Proces sinterování probíhá difuzí několika částic do jedné, kde jsou dva hlavní faktory a ty jsou teplota a čas [10].

Průběh sinterování je takový, že práškové částice, které jsou vedle sebe, po zahřátí mají tendenci se k sobě přibližovat, až se dotýkají. Dojde ke snížení povrchového napětí částic. Následně se mezi částicemi vytvoří krček, který sníží povrchové napětí částic. Tlak par napomáhá k formování krčku a postupně nám vzniká nová částice [9].

1.9.1 Sinterování v elektrotechnice

Obdobným způsobem, jak je popsáno výše, je toho využito u sinterování v elektrotechnice [9]. Proces sinterování je rozvržen do čtyř kroků. Jako první krok je potřeba pastu nanést na substrát metodou, pro kterou je určena. Metody, kterými se pasty nanášejí, jsou sítotisk, nebo dávkování. Po nanesení pasty následuje krok druhý, její

sušení. To se provádí v běžné troubě na vzduchu, po dobu 10 minut při 120 °C. Třetím krokem je umístění součástek nebo čipů na desku, kde je nanesena pasta při teplotě 120 °C. Doba, která je potřebná pro umístění součástky je 50 ms. O tento krok se stará přístroj, který je k tomu určen. Posledním čtvrtým krokem je samotné sintrování pasty. Podle typu pasty se využívá buď beztlaké sintrování nebo sintrování za pomoci přítlaku. Ten je vytvořen v přístroji, který je schopen vyvinout potřebný tlak v prostoru kam je deska s pastou a umístěným čipem vložena. Rozsah tlaků, které je přístroj schopen vyvinout je od 10 do 30 MPa. Tento tlak je vyvinut před tím, než se teplota zvýší na teplotu potřebnou k sintrování, měla by však přesáhnout minimálně 200 °C. Doba, která je potřebná k sintrování ve vzduchu, je přibližně jednu až dvě minuty [15].

K sintrování se používá pasty, které jsou určeny přímo pro sintrování. Pasty budou rozebrány v další kapitole.

1.9.2 Složení sintrovací pasty

Sintrovací pasta, se skládá ze čtyř složek. První je funkční složka, ta určuje, jaký charakter bude pasta mít. Například u vodivých past se vyskytují částice drahých kovů Ag, Au, Pt, Pd a další. V dielektrických pastách jsou dielektrické materiály jako například Al_2O_3 , BaTiO_3 , sklo olovnatoboritokřemičité a jiné. Odporové pasty obsahují kovy nebo oxidy například Pd, RuO_2 [1],[5].

Další, druhá složka, je pojivová, ta obsahuje skleněnou fritu, což jsou malé části skla, například olovnatoboritokřemičité, vizumutitokřemičité, nebo hlinitokřemičité sklo, aby se vytvořila vazba na substrát při celém procesu. Její podíl v celé pastě tvoří 2 – 3 % [1],[5].

Třetí složka pasty je organická, a slouží jako nosič pro složky pasty. Skládá se z polymerní a rozpustidlové části. Polymerní část zastupují například polyvinylalkohol, ctylcelulóza a další. Rozpustidlovou část je tvořena například xenylénem nebo terpentýnem. Organické materiály se při sušení a počátku sintrace odpaří [1],[5].

Čtvrtá složka pasty je takzvaná modifikující složka, která se stará o udržení potřebné viskozity pasty při skladování a nanášení. Z pasty se také vytrácí při procesu vysoušení a na počátku sintrace. Materiály upravující viskozitu jsou například terpeneol a jeho izotopy, borovicový olej, butylkarbizolacetát a podobné [1].

1.9.3 Výhody sintrování

Jednou z mnoha výhod této metody je její rychlost. Samotné sintrování totiž probíhá přibližně jednu až dvě minuty. Dále není třeba použití lepidla, protože po vysušení pasty se umísťují součástky již na mírně tuhou pastu, tudíž si čipy lépe zachovají svoji pozici po umístění. Oproti pájkám má sintrování je životnost téměř desetkrát vyšší. Zvýšená je také tepelná vodivost, která je vyšší než u pájek [15].

1.9.4 Nevýhody sintrování

Pokud se srovná metoda sintrování s lepením vodivými lepidly, u sintrování je potřeba vyšší teploty. S vyšší teplotou také nastává omezení ve výběru substrátů, musí snést minimálně teplotu 200 °C, která je potřebná k sintrování past. Substrát by neměl být ohebný, protože je možnost, že zahřáním změní svůj tvar a čip nebude správně usazen [15].

2 Pasty pro sintrování

2.1 Heraeus electronics

Je jeden z předních výrobců montážních materiálů pro polovodičovou montáž nebo pouzdření a tištěné spoje. Firma se zaměřuje na 3 odlišné ale vzájemně příbuzné odvětví. První je automobilový průmysl a průmyslová oblast. Pro tuto oblast dodává materiály pro montáž desek plošných spojů s vysokou spolehlivostí. Druhá oblast je výkonové prvky, pro které dodává materiály pro montáž a pouzdření polovodičových prvků a příbuzných technologií. Třetí a poslední oblast je oblast prášková. Kde se provádí integrace výroby za pomoci pájecích prášků pro mnoho aplikací [14].

2.1.1 Obecné technické parametry past od výrobce Heraeus

Provozní teplota past je od 200 – 280 °C a nejvyšší provozní teplota je více než 250°C. Jejich elektrický odpor je menší než 0,008 mΩ*cm. Tepelná vodivost past je více než 100 W/mK. Koeficient tepelné roztažnosti je do 23 ppm/K. Parametr E-modulus (modul pružnosti) je vztah mezi stresem (síla na jednotku plochy) a napětí (proporcionální deformace) v materiálu. Jeho hodnota je udávána při 25 °C a hodnota pro pasty je minimálně 35 GPa [14].

2.1.2 mAgic Paste Microbond ASP295

Tento typ pasty je možné použít na umístění čipu na desku. U této pasty je možnost výběru procesu nanášení. Lze nanášet jak tisknutím, tak dávkováním. Tato pasta je bez halogenu a bez olova. Doporučený sintrovací tlak je 0 MPa, tudíž tato pasta je určena pro beztlaké sintrování, které lze provádět jak ve vzduchu, tak v dusíku. Po dokončení procesu je kovový obsah stoprocentní. Tato pasta je vhodná pro povrchy zlata, stříbra a paladia [14].

Tabulka 2: Přehled parametrů sintrovací pasty od firmy Heraeus [14]

mAgic Paste Microbond	ASP295-Series No Pressure
Sintrovací teplota	200 - 280 °C
Maximální provozní teplota	> 250
Elektrický odpor	$\leq 0,008 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$
Tepelná vodivost	> 100 W/mK
Koeficient tepelné roztažnosti	$\leq 23 \text{ ppm/K}$
Modul pružnosti	> 35
Aplikace	Die Attach, Component Attach
Proces nanášení	Dávkování, Tisknutí
Bez obsahu Halogenu	Ano
Bezolovnaté	Ano
Doporučený sintrovací tlak	0 MPa
Sintrování ve vzduchu	Ano
Sintrování v Dusíku	Ano
Čištění	Není potřebné
Obsah kovových částic po procesu	100%
Kompatibilní povrchové úpravy	Ag, Au, Pd

2.1.3 mAgic Paste Microbond ASP131

Další typ pasty je odlišný v možnosti připojení, která je používaná pro uchycení čipu na desku. Proces nanesení už není možné volit, ale musí se použít jen metoda tisku. Tato pasta je opět bez halogenu a olova. Odlišnost od předchozí pasty je v doporučeném sintrovacím tlaku, který je 10 MPa. Proces sintrování lze provádět jen ve vzduchu. Po proběhnutí procesu je opět stoprocentní kovový obsah. Tato pasta je vhodná pro povrchy zlata, stříbra a paladia [14].

Tabulka 3: Přehled parametrů sintrovací pasty od firmy Heraeus [14]

mAgic Paste Microbond	ASP131-Series Low Pressure
Sintrovací teplota	200 - 280 °C
Maximální provozní teplota	> 250
Elektrický odpor	≤ 0,008 mΩ*cm
Tepelná vodivost	> 100 W/mK
Koeficient tepelné roztažnosti	≤ 23 ppm/K
Modul pružnosti	> 35
Aplikace	Die Attach
Proces nanášení	Tisknutí
Bez obsahu Halogenu	Ano
Bezolovnaté	Ano
Doporučený sintrovací tlak	10 Mpa
Sintrování ve vzduchu	Ano
Sintrování v Dusíku	Ano
Čištění	Není potřebné
Obsah kovových částic po procesu	100%
Kompatibilní povrchové úpravy	Ag, Au, Pd

2.1.4 mAgic Paste Microbond ASP043

Poslední ze sintrovacích past má stejnou možnost připojení jako typ ASP043. Což je připojení čipu k desce. Proces nanášení je jen pomocí tisknutí. Opět je tento typ pasty bez halogenu a olova. Odlišnost je opět v doporučeném sintrovacím tlaku, který je u této pasty 10 – 20 MPa. Tento typ pasty vyžaduje sintrování ve vzduchu. Kovový obsah po sintrování je stoprocentní. Tato pasta je vhodná pro povrchy zlata, stříbra a paladia [14].

Tabulka 4: Přehled parametrů sintrovací pasty od firmy Heraeus [14]

mAgic Paste Microbond	ASP043-Series Pressure Assisted
Sintrovací teplota	200 - 280 °C
Maximální provozní teplota	> 250
Elektrický odpor	≤ 0,008 mΩ*cm
Tepelná vodivost	> 100 W/mK
Koeficient tepelné roztažnosti	≤ 23 ppm/K
Modul pružnosti	> 35
Aplikace	Die Attach
Proces nanášení	Tisknutí
Bez obsahu Halogenu	Ano
Bezolovnaté	Ano
Doporučený sintrovací tlak	20 Mpa
Sintrování ve vzduchu	Ano
Sintrování v Dusíku	Ano
Čištění	Není potřebné
Obsah kovových částic po procesu	100%
Kompatibilní povrchové úpravy	Ag, Au, Pd

2.2 NBE Tech, LLC.

NBE bylo založeno 10. února 2005 a vlastní výhradní právo prodávat produkt nanoTech® na všech trzích. Licencovaná technologie byla vyvinuta na základě výzkumného úsilí uskutečněného zakladatelem NBE ve Virginia Tech. NBE má vysokoobjemové výrobní zařízení u Virginia Tech Corporate Research Center v Blacksburgu, Virginii [16].

2.2.1 NBE nanoTach®

Jedná se o hustou pastu s nanočásticemi stříbrného prášku, určenou pro beztlaké sintrování. Pasta je v organickém pojivu, které může být použito jako alternativa k pájce nebo lepidlu v nejmodernějších polovodičových zařízeních s individuálním obalem nebo vícečipových silových modulech. Uchycení pomocí NBE, což je bezolovnatý nanomateriál, který má lepší tepelné, mechanické a elektrické vlastnosti než pájení nebo lepidlové alternativy. Připojovací proces je kompatibilní s existujícím vybavením a se zařízeními, které využívají pájky nebo lepidla. Specifické aplikace mohou zahrnovat připojování velkých čipů, silových zařízení nebo modulů, vysoko výkonových a vysoko jasové LED lampy [18].

Tabulka 5: Přehled parametrů sintrovací pasty od firmy NBE [17, 18]

Fyzikální data před sintrováním	
Barva	Tmavě šedá
Obsah pevných látek	71 - 91%
Hustota	> 3,0 g/cm ³
Viskozita	150 000 - 600 000 cps
Sintrovací teplota	< 260 °C
Doporučený sintrovací tlak	0 MPa
Skladovatelnost	přibližně 12 měsíců
Fyzikální data po sintrováním	
Pórovitost	< 30 %
Hustota	> 7.90 g/cc
Teplotní součinitel roztažnosti	19,6 μm/m°C
Bod tání	961 °C
Modul pružnosti	10,0 - 30,0 GPa
Elektrický odpor	0,00000260 Ω/cm
Tepelná vodivost	> 2,00 W/mK
Síla lepidivého připojení	> 25 MPa

2.3 Kyocera

Produkty a služby firmy Kyocera jsou distribuovány celosvětově. Vytváří a vyrábí a obchoduje v rozsáhlých oblastech v kombinaci s rozmanitě síly Kyocera Group. Jeden prvek, který je společný pro byznys firmy Kyocera je schopnost vytvářet vysoce pokročilé technologie skrz neustálé kreativní úsilí. Firma je zavázána k vývoji nových produktů, nápadů a řešení, která překračují očekávání zákazníků [19].

2.3.1 Kyocera XT2773R7S

Jedna z jejích mnoha předností je silná přilnavost díky spékání kovu. Dále vysoká tepelná vodivost 200W/mK. Vynikající spolehlivost rozhraní vzhledem k disperznímu systému pryskyřice. Vysoká spolehlivost i při teplotách kolem 250 °C. Sintrovací mechanismus spočívá ve spečení stříbrných částic, které si díky fyzickému kontaktu předávají teplo. Má možnost spékání bez pomoci tlaku, je nanositelná, má vysokou životnost. Použití jako alternativa k olovnatým pájkám. Pro IGBT moduly s vysokým elektrickým napětím. Pro další generaci vysokovýkonových zařízení (SiC, GaN). Její cena se pohybuje zhruba kolem dvou až tří eur za gram podle sdělení výrobce [20],[21].

Tabulka 6: Přehled parametrů sintrovací pasty XT2773R7s od firmy Kyocera[20]

Podmínka vytvrzení	200°C po dobu 90 min
Viskozita	25 Pa*s
Modul pružnosti při 25°C	21,6 Gpa
Koeficient tepelné roztažnosti	20 ppm
Tepelná vodivost	200 W/mK
Odpor	6 mΩ
Pevnost ve smyku při 260°C	> 30 Mpa
Použitelné povrchy	Ag, Au, bare Cu
Doporučený sintrovací tlak	0MPa

2.4 Alpha Assembly Solutions

Přední světový vůdce v montáži elektronických materiálů. Alpha Assembly Solutions má dlouhou historii vynikajících výrobků a procesů. S největším výzkumnou a vývojovou výrobní kapacitou v průmyslu, jejich globální přítomnost jim umožňuje přinášet proaktivní řešení na míru přímo výrobcům elektroniky [22].

2.4.1 ALPHA® Argomax® 2000 Series

Řada AGROMAX® 2000 byla vyvinuta speciálně pro nízkotlaké připojování za pomoci sinterování. Je vyrobena s použitím vysoce technicky navržených částic stříbra, vyrobených společností ALPHA. Řada AGROMAX® 2000 poskytuje vysokou tepelnou a elektrickou vodivost díky vazbě stříbra mezi maticí a substrátem, dobrou přilnavost a širokou flexibilní vazbu. AGROMAX® 2000 byla navržena s vynikající trvanlivostí a reprodukovatelnými charakteristikami tisku [23].

Tabulka 7: Přehled parametrů sinterovací pasty od firmy Alpha Assembly Solutions [23]

Aplikace	tisk nebo dávkování
Sinterovací teplota	200 - 300°C
Tepelná vodivost	200 - 300 W/mK
Běžné substráty	DBC, Měděné substráty pro výkonové moduly
Kompatibilita povrchových úprav	Ag, Au
Doporučený sinterovací tlak	5-10 Mpa a nebo vyšší

2.4.2 ALPHA® Argomax® 5000 Series

Řada Argomax® 5000 byla vyvinuta specificky pro nízkotlaké sinterování matrice pro připojení na měděném substrátu. Je vyrobena s použitím vysoce technicky navržených částic stříbra, vyrobených společností ALPHA, která poskytuje zlepšenou spolehlivost připevnění díky DBC, aniž by bylo třeba povrchovou úpravu zlatem nebo stříbrem. Řada Argomax 5000 poskytuje vysokou tepelnou a elektrickou vodivost stříbrné vazby mezi maticí a substrátem, dobrou přilnavost a flexibilní tloušťku spoje. AGROMAX® 5000 byla navržena s vynikající trvanlivostí a reprodukovatelnými charakteristikami tisku [24].

Tabulka 8: Přehled parametrů sintrovací pasty od firmy Alpha Assembly Solutions [24]

Aplikace	tisk nebo dávkování
Sintrovací teplota	200 - 300°C
Tepelná vodivost	200 - 300 W/mK
Běžné substráty	DBC (Direct Bonded Copper)
Kompatibilita povrchových úprav	Cu
Doporučený sintrovací tlak	5-10 Mpa a nebo vyšší

3 Srovnání sintrování s lepením elektricky vodivými lepidly

Tato kapitola bude zaměřena na srovnání metody sintrování s metodou připojování elektricky vodivými lepidly. Obě metody, jak metoda sintrování, tak metoda lepení elektricky vodivými lepidly už zde byly rozebrány.

K výrobnímu procesu lepení elektricky vodivými lepidly je potřeba nanášecího zařízení pro sítotisk, dávkování nebo nanášení hrotem. Dále je potřeba stroj na osazování čipů a v poslední řadě je potřeba vypalovací pec, která se bude starat o vytvrzení lepidel. Sintrovací proces potřebuje stejné vybavení, ale vypalovací pec slouží pouze k vysušení pasty, aby čip neměl možnost posunout se z pozice. Následně je třeba stroj na osazování, který je schopen osazovat při teplotě, při které je pasta vysoušena. Jako poslední přístroj, je potřeba stroj na sintrování, který umožňuje vyvinout tlak a zároveň vytvořit teplotu, kterou pasta požaduje pro správné vytvrzení [7],[15].

Princip připojování čipů elektricky vodivými lepidly se výrazně liší od metody sintrování v používaných teplotách. Samozřejmě záleží na použitých materiálech ve vodivém lepidle. Teplota slouží k vytvrzení pájky a vzájemnému propojení kovových částic lepidla a ne ke sjednocení několika složek sintrovací pasty v jeden celek. Teplota se stejně jako u vodivých past tak u sintrovacích past liší dle pasty. Pro každou pastu je určena teplota, kterou je vytvrzena. Pro lepení se používají teploty do 150 °C a pro sintrování se používají teploty od 200 °C a výše [7],[15].

Dalším rozdílem těchto metod je, že lepení elektricky vodivým lepidlem nevyužívá tlak, oproti tomu sintrování může být jak beztlaké, tak s využitím tlaku. Tlak je vyvíjen v přístroji, ve kterém je vložena deska s nanesenou pastou a umístěným čipem a působí na všechny části. [7],[15].

Můžeme také porovnat i dobu vytvrzování u jednotlivých metod. Pasta určená pro elektricky vodivé lepení potřebuje určitou teplotu a čas. Minimální doba vytvrzování pro lepení elektricky vodivými lepidly je 30 minut a může trvat až několik hodin v závislosti na použité teplotě. U sintrování závisí na více parametrech. Na tlaku, teplotě a času. Použití tlaku závisí na druhu sintrovací pasty, zda-li ho vyžaduje, nebo ne. Doba vytvrzení u sintrování je přibližně v řádu jednotek minut. Při ohřívání sintrovací pasty, se postupně odpařují pojiva a vzniká vodivý spoj ihned po vyjmutí propojovací desky s upevněným čipem ze sintrovacího přístroje [7],[15].

Další rozdíl je ve složení past a vytváření vodivého spojení po vytvrzení. U lepidlových past je základ epoxidová pryskyřice, která zajišťuje lepivé připojení čipu a substrátu, dále obsahuje kokové části, které se pouze spojují. Kovové částice v lepidlových pastách mají tvar lístků, které se při vytvrzení spojují. U sintrovacích past je základem pojivo nesoucí kovové částice v práškové podobě, které se v sintrovacím přístroji spékají dohromady a vzniká tak celokovový spoj [7],[15].

Tabulka 9: Porovnání parametrů lepidel a sintrovacích past [14]

	Lepidlo	Pasta
Teplota procesu [°C]	180 - 200	200 - 280
Maximální pracovní teplota [°C]	200 °C	> 250 °C
Elektrický odpor [mΩ*cm]	≤ 0,05	≤ 0,008
Tepelná vodivost [W/mK]	> 30	> 100
Koeficient tepelné roztažnosti [ppm/K]	50 / 110	≤ 23
Modul pružnosti při 25 °C [GPa]	4	> 35

4 Srovnání past pro sintrování

Tabulka 10: Přehled parametrů sintrovacích past [14],[17],[18],[20],[21],[23],[24]

Výrobce	Heraeus			Kyocera	Alpha Assembly Solutions		NBEtech,LLC.
Typ	ASP043-Series	ASP131-Series	ASP295-Series	XT2773R7	Argomax® 2000 Series	Argomax® 5000 Series	Nanosilver paste: Xseries
Kompatibilní povrchy	Ag, Au, Pd	Ag, Au, Pd	Ag, Au, Pd	Ag, Au, bare Cu	Ag, Au	Cu	neuveďeno
Doporučený sintrovací tlak [MPa]	20	10	0	0	5 - 10	5 - 10	0
Sintrovací teplota [°C]	200 - 280	200 - 280	200 - 280	200	200 - 300	200 - 300	< 260
Tepelná vodivost [W/mK]	> 100	> 100	> 100	200	200 - 300	200 - 300	> 2,00
Elektrický odpor	≤ 0,008 mΩ*cm	≤ 0,008 mΩ*cm	≤ 0,008 mΩ*cm	6 mΩ	neuveďeno	neuveďeno	0,0026 mΩ/cm

Ve výše uvedené tabulce jsou srovnány jednotlivé parametry různých past a v následujících odstavcích bude rozebráno co a jak by mohli jednotlivé parametry ovlivnit nebo co na nich závisí. V tabulce jsou uvedeny parametry, které byly od výrobce dostupné.

Pro použití sintrovací pasty je důležité, aby bylo jednoznačně určeno, na jaký povrch chceme čip připojovat. Ne každá pasta je vhodná pro všechny povrchy a tak je potřeba pečlivě vybírat. Povrchy, na které lze pasty nanášet jsou následující. Nejvíce rozšířený povrch je měděný, jako další lze pasty nanést na Ag povrch. Dále lze nanášet pasty na Au povrch a v některých případech i na Pd povrch. Přehled povrchů, na které je možné nanášet pasty, jsou uvedeny v tabulce 10.

Sintrovací proces může proběhnout bez použití tlaku, ovšem teplota musí být přítomná vždy. Pro různé druhy past jsou různé teploty vytvrzení. U některých jsou určeny rozsahy, které je doporučeno nepřekračovat. Při překročení rozsahu je možné poškodit organickou složku pojiva a tím může dojít ke zhoršení kvality spoje, zvětšení pórovitosti vytvrzené pasty. Z tabulky lze vyčíst, že u většiny past je nejnižší teplota pro sintrování je 200°C a u většiny past jsou dány rozsahy. Přístroje, které provádí sintrování, jsou schopny vyvinout potřebnou teplotu.

Parametr sintrovací tlak je důležitý pro přístroj, který bude tlak vyvíjet. Většina přístrojů zvládá rozsahy od 10 – 30 MPa [15]. Je důležitý ke správnému sintrování past

a také pro průběh sintrování. Doporučený sintrovací tlak je u pasty uváděn pro správné vytvrzení pasty. Jistý vliv bude mít na spotřebu sintrovacího přístroje, který sintrování provádí.

Parametr tepelné vodivosti nám udává, jak dobře je pasta schopná vést teplo. Čím vyšší hodnota, tím více je schopna přenést respektive odvést teplo. To je důležité pro přenos tepla od čipu, tudíž jeho chlazení. Tím lze snížit opotřebení čipu a také oddálit jeho poškození nadměrným tepelným namáháním, způsobené špatným odvodem tepla.

Jako další parametr pasty je elektrický odpor. Ovlivňovat může například teplotu čipu, pokud je hodnota odporu pasty vyšší. Dále také ovlivňuje průchod proudu. Jeho hodnota se může zvýšit větší pórovitostí pasty, což může být důsledek nekvalitního vytvrzení pasty. Nejvýhodnější pro spoj a čip je, když je hodnota elektrického odporu co nejnižší.

Závěr

Zadáním této bakalářské práce bylo obeznámení s montáží polovodičových čipů na vodivé vrstvy keramických substrátů. Dalším bodem bylo zmapování trhu sintrovacích past a zpracovat přehled a srovnání jejich parametrů. Srovnání bylo provedeno i pro metodu lepení elektricky vodivými lepidly s metodou sintrování. Posledním krokem bylo zpracování cenové kalkulace pro vybranou sintrovací pastu a metodu připojování.

Cenová kalkulace v práci není vypracována, protože výrobci, až na jednoho, neodpověděli na dotaz na ceny a podrobnější specifikace past. Veškeré parametry jsou z dostupných zdrojů, které jsou uvedeny na stránkách výrobců. Ozvala se pouze firma Kyocera, která cenu uvedla 2 – 3 € za gram při velké spotřebě. U strojů, které jsou potřeba k sintrování, ani v dostupných dokumentech firem není uvedena spotřeba pasty, není tak možné vypočítat přibližnou spotřebu stroje při průměrné spotřebě past. Při dalších dotazech na ohledně sintrování a pasty se firma Kyocera již neozvala.

Pro připojování čipů existuje několik metod. Například nejstarší je metoda připojování čipů pomocí mikrodrátků a s postupem doby, vývojem i zvyšujícími se požadavky, bylo potřebné vyvíjet nové metody, které splňují náročnější požadavky a jsou šetrnější vůči čipu. Novější metody jsou například lepení vodivými lepidly nebo metoda sintrování, kterou je nutné zmínit, jelikož se práce zaměřuje na sintrovací pasty.

Sintrovací pasty jsou jedním z mnoha připojovacích médií, kterými je možné připojit čip k substrátu. Další možnosti jsou například poduškové vývody v technologii

flip chip nebo elektricky vodivé lepidlo a další. Trh sintrovacích past se stále rozvíjí a roste počet výrobců, kteří se touto metodou chtějí zabývat. Výrobci past dodávají na trh výrobky, které se v jistých parametrech mohou lišit. Aby bylo možné parametry porovnat, záleží také na datasheetu firmy. Každá firma vytváří vlastní datasheet a nelze jednoznačně určit parametry podle, kterých se pasty srovnávají. Datasheety, pokud jsou výrobcem zveřejněny, je nutné projít a porovnat parametry, které jsou důležité pro výrobu. Odlišnost parametrů především záleží na účelu, pro který je pasta určena. Hlavní odlišnost pasty je v použití tlaku, protože některé pasty ho vyžadují a jiné zase ne. Pasty se neliší jen v tomto parametru, ale i v jiných. Ty hlavní, v kterých se můžou pasty lišit, jsou v teplotě, při které se provádí proces sintrování, elektrickém odporu, tepelné vodivosti, koeficientu tepelné roztažnosti a dalších. Převážně záleží, jaké parametry výrobce uvede. O cenu pasty je nutné si požádat na obchodním oddělení firmy, jelikož není součástí datasheetů.

Porovnání lepení vodivým lepidlem a sintrování slouží k zobrazení rozdílů mezi metodami a lepšímu rozhodnutí, kterou metodu zvolit pro výrobu. Také záleží na požadavcích, které by spoj měl splňovat.

Postupem jsou metody mírně odlišné, jelikož každá z metod používá jiné vybavení. Zatímco vodivé lepidlo se po nanesení a následném umístění čipu pouze vytvrdí v peci. U sintrování se pasta nanese, následně se vysuší a až poté se umístí čip a následuje proces sintrování. Lze tvrdit, že lepení elektricky vodivým lepidlem je postupově jednodušší ovšem nedosahuje takových kvalit jako technologie sintrování, která vyniká především v tepelnou a elektrickou vodivostí oproti lepení. Kontakty vytvořené sintrováním tak snesou vyšší pracovní teplotu než lepidla, díky stříbrným částicím obsažených v pastách. Dále je spoj značně pevnější než u spoje vytvořeným lepením.

Závěrem je důležité říct, že výrobce musí jasně dáno, co bude chtít vyrábět, aby zvolil správnou metodu. Pokud by chtěl vyrábět čipy, které snesou vyšší teploty, a zároveň by bylo potřeba vysoké vodivosti, je metoda sintrování správná volba. Pro méně náročné použití, lze použít metodu lepení elektricky vodivým lepidlem.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MACH, Pavel, SKOČIL, Vlastimil, a URBÁNEK, Jan. Montáž v elektronice: pouzdření aktivních součástek, plošné spoje. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001.
- [2] NEŠPOR, Dušan, Moderní způsoby připojování čipů, Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. [online]. [cit. 2016-02-07] . Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/1304/Moderni_zpusoby_pripojovani_cipu_Nespor.pdf?sequence=1
- [3] Martin Kubec. Bakalářská práce. Digitální knihovna Západočeské univerzity v Plzni. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/4738/BP%20Martin%20Kubec.pdf?sequence=1>
- [4] Ústav mikroelektroniky. Multimediální výukový systém. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~vasko/virtualni-laborator/ultrazvukove-kontaktovani/technologie/>
- [5] Doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc. Ústav mikroelektroniky. Tlusté vrstvy. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-02A-tluste%20vrstvy\(Bc\).pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-02A-tluste%20vrstvy(Bc).pdf)
- [6] Doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.. Ústav mikroelektroniky. Polovodičové čipy a integrované obvody. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-04A-Polovodičové%20čipy\(Bc\).pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-04A-Polovodičové%20čipy(Bc).pdf)
- [7] Doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc. Ústav mikroelektroniky. Propojování v elektronice – elektrické spoje a jejich realizace. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-06A-Propojování%20v%20elektronice%20-%20elektrické%20spoje\(Bc\).pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/2012-06A-Propojování%20v%20elektronice%20-%20elektrické%20spoje(Bc).pdf)
- [8] Flip Chip. The Free dicitonary. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Flip-chip>
- [9] Jakub Zálešák. Bakalářská práce. Informační systém Masarykovy Univerzity. [online]. 26. 5. 2010 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/211116/prif_b/Bakalarska_prace.txt
- [10] Prášková metalurgie. Oddělení povrchového inženýrství. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf

- [11] Sintrování. Vydavatelství VŠCHT. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/sintrovani.html
- [12] Encyclopedia. Definition of: chip on board. PCMAG. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/39643/chip-on-board>
- [13] Thermal Management in Direct Chip Attach Assemblies. The American society of mechanical engineers. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://electronicpackaging.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1405723>
- [14] Product Overview. Heraeus Electronics – Assembly Materials. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: http://heraeus-contactmaterials.de/media/webmedia_local/media/downloads/documents_am/broschures/Brochure_Power_and_Discrete_201602.pdf
- [15] Industrial sintering process. Heraeus Electronics. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: http://heraeus-contactmaterials.com/media/webmedia_local/media/downloads/documents_am/broschures/Brochure_Industrial_Sintering_Process_201602.pdf
- [16] About NBE Tech, LLC. NBE Tech, LLC. [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.nbetech.com/about.shtml>
- [17] NanoTach® (nanosilver paste): X Series. NBE Tech, LLC. [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.nbetech.com/products.shtml>
- [18] NBE nanoTach® Nano-Silver Paste. MatWeb. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=69b3f2f666e94095b9d45396a992d970>
- [19] About the Kyocera Group. Kyocera Corporation. [online]. [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: http://global.kyocera.com/company/download/pdf/05-06_en.pdf
- [20] High Thermal Silver Sintering Paste. Kyocera Fine ceramics GmbH. [online]. [cit. 2015-12-07]. Dostupné z: http://www.kyocera.eu/index/products/electronica_2014.-cps-15051-files-60621-File.cpsdownload.tmp/High%20Thermal%20Silver%20Sintering%20Paste_V1_2.3.pdf
- [21] KYOCERA Brings Low-Temp, High-Thermal-Conductivity Silver Sinter Paste to U.S. Semiconductor Market. Business wire. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.businesswire.com/news/home/20150518006334/en/KYOCERA->

Brings-Low-Temp-High-Thermal-Conductivity-Silver-Sinter-Paste

- [22] About Us. Alpha Assembly Solutions™. [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://alphaassembly.com/About-Us>
- [23] ALPHA® Argomax® 2000 Series. Alpha Assembly Solutions™. [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://alphaassembly.com/Products/Sinter-Technology/Argomax/Argomax-2000-Series>
- [24] ALPHA® Argomax® 5000 Series. Alpha Assembly Solutions™. [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://alphaassembly.com/Products/Sinter-Technology/Argomax/Argomax-5000-Series>
- [25] Encyclopedia. Definition of: lead frame . PCMAG. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/45990/lead-frame>
- [26] Marek Lauko. Degradace elektricky vodivých lepidel. Bakalářská práce. [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61495/F3-BP-2015-Lauko-Marek-BP_Lauko_Marek.pdf?sequence=1&isAllowed=y