

Použití laseru při výrobě microvia substrátů

Ing. František STEINER, Ph.D., Ing. Aleš HAMÁČEK, Ph.D., Ing. Jiří TUPA

Oddělení technologie elektroniky, Katedra technologií a měření, Fakulta elektrotechnická, Západočeská univerzita v Plzni

Anotace: *Trendem dnešní doby je výroba stále menších elektronických zařízení. Dosahovat menších rozměrů umožňuje jednak vyšší integrace elektronických součástek a dále také speciální substráty. Tyto substráty jednak umožňují propojit zmiňované součástky a také lépe využívají místo na desce plošného spoje. Nazývají se microvia substráty. Technologických postupů výroby těchto substrátů je několik. Jedna z možností je výroba microvia za pomoci laseru. Vzhledem k tomu, že existuje několik typů laserů, existují i různé postupy výroby microvia využitím laseru. V příspěvku bude podán přehled možností laseru při výrobě microvia spolu s výhodami a nevýhodami.*

1 Úvod

Ačkoliv jsou lasery ve výrobě plošných spojů používány mnoho let, teprve od roku 1995 se lasery začaly používat pro vrtání v hromadné výrobě. Začátkem roku 1999 bylo odhadováno, že celkový počet používaných systémů překročil 400 linek. Počet instalací, který byl o více než 50 % procent vyšší než v předchozím roce, jasně naznačuje rychlé zavedení této technologie ve výrobě organických substrátů. Toto zvýšení oblíbenosti laseru, coby nástroje pro vytváření prokovek, je částečně způsobeno flexibilitou procesu a částečně širokým okruhem materiálů plošných spojů, u kterých je možné laser využít. To zajišťuje výrobce desek s vysokou hustotou propojení (HDI – high-density interconnect) s nejnižšími vstupními náklady ze všech dnes dostupných způsobů výroby. Rychlý nárůst produktivity zaručuje, že laserová technologie směřuje k zavádění ve velkovýrobě.

Zatímco klasické vrtání je dominantní při vytváření průchozích otvorů velkých průměrů, vytváření otvorů pomocí laseru je více příznivé pro tvorbu slepých a microvia prokovek. Na konci roku 1999 bylo vytváření prokovek pomocí laseru stále omezeno jen na několik málo produktů. Celosvětově bylo ve výrobě instalováno 400 laserových systémů, ze kterých bylo 300 v Japonsku. V dalších letech byla očekávána dramatická změna. Například v průběhu 3 let se předpokládá požadavek na 350 milionů mobilních telefonů. Tuto výrobu by bylo možné zajistit za pomoci 2000 laserových systémů. Při tom nebyly zahrnuty další aplikace jako například osobní počítače, GPS a další zařízení.

2 Mechanismy laserového vrtání

Existují dva mechanismy pomocí nichž laser odstraňuje dielektrický materiál během procesu vrtání. Je to fototepelná ablace a fotochemická ablace.

2.1 Fototepelná ablace

Jak již napovídá název, fototepelná ablace je proces ohřívání a vypařování. Využívá se laseru, který pracuje ve viditelném nebo infračerveném (IR) spektru, tj. mezi 500 nm a 10,6 μm . Absorbovaná energie laseru ohřívá materiál, který se taví a odpařuje. Ovšem plocha kolem otvoru je teplotou procesu také ovlivněna. Boční stěny jsou často zuhelnatělé a to samozřejmě vyžaduje před pokovením očištění agresivnějšími roztoky.

2.2 Fotochemická ablace

Tento mechanismus je možné pozorovat pouze u laserů s vlnovou délkou v ultrafialovém (UV) spektru (pod 400 nm) pracujících s foto energií překračující hodnotu 2eV. Tyto vysoce energetické fotony mohou překonat vazbu v molekulární úrovni organických materiálů s dlouhými řetězci. Vzniklé částice zabírají větší objem než jejich původní molekuly. To způsobí násilné vytlačení z otvorů a částice obvykle zůstanou na povrchu substrátu coby prach, který je následně odstraněn. Tento proces je někdy znám jako „studený“ proces, protože postrádá známky tepelného poškození v okolí otvoru. Proces čištění je používán volitelně a není tak agresivní jako u fototepelného procesu.

2.3 Kombinace procesů

Ve skutečnosti nehomogenní povaha desek plošných spojů, skládajících se jak z organických tak i anorganických materiálů, často vyžaduje, že proces vytváření otvorů pomocí UV laserů je kombinace fototepelného a fotochemického procesu. Výsledky signalizují, že UV ablace anorganických materiálů (měď a sklo) je tepelný proces. Malá hloubka vniku, vysoká absorpce energie a krátký puls laseru přispívají k vysoké rychlosti obrábění s minimálním vedlejším poškozením okolního materiálu.

2.4 Křivky absorpce

Klíč k účinné laserové ablaci je výrazná absorpce v cílovém materiálu při vybrané vlnové délce laseru. Absorpce pryskyřic velmi závisí na přísadách použitých při jejich výrobě. Silně absorbují v ultrafialovém spektru, ale ve viditelném nebo infračerveném spektru mohou mít rozdílné vlastnosti., kdy mohou absorbovat nebo propouštět. Měděná folie je nad 600 nm velmi výrazné zrcadlo. Její absorpce v ultrafialovém spektru neustále vzrůstá.

3 Typy laserů pro microvia

3.1 CO₂ laser

Většina ze starších laserových systémů je vybaveno pouze CO₂ laserem, které pracují s vlnovými délkami 9,6 až 10,6 μm. Tyto laserové systémy využívají proces první generace vynalezený v Japonsku, kdy je CO₂ laser používán pro vrtání dielektrického materiálu. Laserový paprsek je jednoduše zaostřen na povrch substrátu skrze masku vytvořenou pomocí projekčních čoček.

Jedna z variant procesu první generace je CO₂ ablace neplátovaného pevného nebo RigiFlex (kombinace pevného a flexibilního substrátu) substrátu. Masky je zobrazena pomocí projekčních čoček na povrch materiálu. Průměr otvoru je potom definován velikostí předlohy na masce. Díky dlouhé vlnové délce CO₂ laseru je minimální velikost otvoru omezena přibližně na 100 μm. Výsledná přesnost je díky tendenci neplátovaného materiálu k roztažení/sražení během procesu laminace více omezena než je tomu u plátovaného materiálu.

K překonání některých omezení může být použito zoxidovaného mědi plátovaného materiálu, aby byla umožněna absorpce CO₂ laseru. Vrchní vrstva mědi musí být přibližně 5 μm odleptána a pak se na povrchu nechá vytvořit černý oxid. Po procesu vytvoření otvoru CO₂ laserem je oxid odstraněn a následně je otvor pokoven. Tento proces zahrnuje další operace leptání, oxidace a pozdějšího odstranění oxidu. Přesto je dosažitelný průměr pouze 100 μm.

U RF-excited (buzený vysokou frekvencí) CO₂ laseru je plynná plasma buzena vysokofrekvenčním elektrickým pulsem. Tyto lasery jsou typicky hermeticky uzavřené

jednotky, které nevyžadují externí zdroj plynu. Doba náběhu nezměněného pulsu je okolo 50 až 100 μs . Z důvodu minimalizace tepelného poškození je k dosažení kratšího pulsu nutné použít externí modulace paprsku. To omezuje maximální rychlost pulsů na 3 až 4 tisíce pulsů za sekundu.

Příčně excitovaný atmosférický (TEA-transverse excited atmospheric) CO_2 laser využívá vysokonapěťový (12 kV) stejnosměrný puls k vybuzení plynné plasmy, která generuje jeden velký laserový puls. Tyto lasery jsou mnoho let používány k označování. Systémy vyžadují externí zdroj plynu a rychleprůtokové verze těchto laserů mohou fungovat mezi 300 a 600 pulsů za sekundu. Délka pulsu se pohybuje mezi 100 a 1000 ns v závislosti na směsi plynu. Pravidelná údržba těchto laserů zahrnuje výměnu elektrod a optických komponent, což dělá tyto systémy dražší než hermeticky uzavřené CO_2 jednotky.

CO_2 lasery mají významně vyšší produktivitu pro otvory větší než 70 μm . Mohou v dielektriku o tloušťce 50 μm vytvořit více než 15 000 otvorů (průměr 100 μm) za minutu. Obvykle jsou CO_2 lasery používány pro vrtání dielektrických vrstev a nikoliv mědi, protože viditelná vlnová délka CO_2 je příliš velká, aby mohla poskytnout dostatek energie k provrtání mědi vysokou rychlostí. Z tohoto důvodu jsou nutné další operace předcházející vrtání. Například musí být v měděné folii selektivně předleptány otvory a následně se v těchto místech vytvoří otvory v dielektriku.

3.2 UV : YAG laser

UV:YAG laser s menší vlnovou délkou (255 až 365 nm) a mnohem větší energií je používán k vrtání otvorů v měděné folii i dielektriku mnohem menší rychlostí. UV:YAG lasery vykazují skvělé schopnosti při vrtání dielektrických a měděných vrstev. Čas ablace je přitom úměrný velikosti otvoru, proto je vhodný pro otvory o velikosti kolem 100 μm . Také proto jsou YAG lasery preferovány pro vrtání velmi malých otvorů (50 μm). Vzhledem k tomu, že YAG laser odstraňuje i měď, je mnohem složitější řídit tvorbu slepých otvorů, kdy se měď používá jako „zastavovací“ podložka. Přestože rychlost YAG laseru je desetkrát menší než u CO_2 laseru (při vyvrtání dielektrika), někteří výrobci preferují YAG lasery, protože se nemusí zabývat leptáním mědi.

3.3 Excimer laser

Excimer laser má vlnovou délku 248 nm s fluoridem kryptonu (KrF) nebo 193 nm s fluoridem argonu (ArF). Excimer laser může vytvářet otvory o průměru menším než 50 μm v dielektriku i mědi. Zároveň je možné řídit hloubku vrtání a tím vytvářet slepé otvory. Bohužel jejich nízká rychlost vrtání je činí nepraktické pro výrobu mikrovia spojů. Nicméně může excimer laser vyvrtat 10 000 otvorů za minutu v konformní masce (conformal mask), která definuje tvar otvoru. Bohužel účinná maska může být zhotovena pouze z vybraných materiálů a náklady na ní jsou cenově nedosažitelné pro menší výrobní série.

4 Srovnání jednotlivých laserových systémů

Tabulka 1 představuje srovnání tří laserových procesů výroby mikrovia otvorů. Můžeme vidět, že YAG laser má následující významné výhody.

- Schopnost vrtat měď, která nahrazuje použití procesů chemického leptání nutných pro odkrytí otvorů na vnějších vrstvách.
- Schopnost vytvářet malé mikrovia otvory o průměru kolem 25 μm .
- Schopnost vytvářet vícevrstvé otvory poskytující možnost omezit sekvenční sestavování.

Tab. 1 Srovnání laserových metod výroby microvia spojů

<i>Schopnosti</i>	<i>Excimer</i>	<i>UV:YAG</i>	<i>CO₂</i>
Velikost otvorů (μm)	10 - 100	25 - 100	70 – 250 (50 – 250)
Vrtání mědi	velmi pomalé	pomalé	ne
Vrtání pryskyřice	pomalé	pomalé	rychlé
Vrtání FR4	velmi pomalé	pomalé	dobře
Strmost otvoru	velmi dobrá	dobrá	zkosená
Náklady	vysoké	vysoké	nízké

5 Závěr

Z uvedeného přehledu vyplývá, že nejvhodnější pro výrobu microvia otvorů jsou UV:YAG lasery. Velkou předností je schopnost vrtat měď, čímž se zjednoduší proces výroby microvia otvorů. Bohužel jsou tyto lasery drahé. Hlavně díky nákladům nacházejí své uplatnění i CO₂ lasery, které jsou levnější. Jejich velkou výhodou je rychlost. Bohužel toto je vyváženo nevýhodami, které se týkají velikosti otvorů a nemožnosti vrtat měď. Poslední typ laseru, tj. excimer lasery, jsou díky svým vlastnostem pro microvia otvory spíše nevhodné.

Tento příspěvek vznikl s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci řešení výzkumného záměru č. MSM4977751310 „Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice“.

Literatura

1. Mach P., Skočil V., Urbánek J.: Montáž v elektronice – Pouzdření aktivních součástek, plošné spoje. ISBN 80-01-02392-3. ČVUT Praha 2001.
2. Lau J.H., Ricky Lee S.W.: Microvias for low cost, high density interconnects. ISBN 0-07-136327-0. New York 2001.
3. Skočil V., Hamáček A., Steiner F: Perspektivní technologie a substráty pro mikroelektroniku. Aplikovaná elektronika '99. ISBN 80-7082-544-8. Plzeň 1999.