

Ing. Iva Králová, Ph.D
ČeMeBo s.r.o.
Poříčí 2396/42, 678 01 Blansko

Posudek doktorské disertační práce

Doktorand: Ing. Martin Buršík

Název práce: Nové oblasti aplikace ultrazvuku v mikroelektronických technologiích

Obor: Mikroelektronika a technologie

Oponent: Ing. Iva Králová, Ph.D.; ČeMeBo s.r.o.

1) Aktuálnost zvoleného tématu a soulad s oborem disertace

Miniaturizace a snižování objemových množství při nanášení tixotropních materiálů je klíčovou záležitostí pro tisk takových výrobků, kde hustota cest a mezer dosahuje hodnot menších než 100 μm . V této oblasti se ještě více klade důraz na kvalitu bez zásadního navyšování nákladů (například použití speciálních médií nebo substrátů), neboť trendy udávají požadavek na vyšší rozlišení při tisku standardních materiálů. Disertační práce se zabývá problematikou nanášení tixotropních materiálů s využitím ultrazvukové energie, čímž velice dobře prezentuje aplikační výzkum, kde hlavním výstupem je konkrétní UZD hlavice dispensního přístroje s unikátním rozlišením tisku tlustovrstvových (TLV) past pod 75 μm , která je schopna ovlivňovat reologické vlastnosti nanášeného média.

2) Přínos a originalita práce, splnění cíle disertace

Předložená práce se zabývá optimalizací nanášení tixotropních materiálů s využitím ultrazvukové energie založené na studiu chování tixotropních látek v transportních kapilárách, návrhu a konstrukci disperzní hlavice s ultrazvukovou optimalizací, která umožní regulaci tokových vlastností nanášeného média.

Cíle disertační práce byly definovány v kapitole 2.5, kdy hlavním cílem je:

- ***Optimalizace nanášení tixotropních materiálů s využitím ultrazvukové energie***

Tento cíle byl rozdělen na 5 dílčích cílů:

- Výzkum vlivu ultrazvukového působení na chování tixotropních materiálů,
- Návrh a konstrukce dispensní hlavice s ultrazvukovou optimalizací,
- Aplikace ultrazvukového principu pro soustředění přídavné energie v místě dávkovací kapiláry,
- Optimalizace tokové křivky nanášeného materiálu uvnitř dispensní jehly,
- Simulace parametrického modelu proudění média kapilárou.

Dílčí cíle byly jednoznačně definovány a systematicky realizovány a vedly k vývoji UZD hlavice, která umožňuje tisknout motiv pomocí TLV past s rozlišením pod 75 μm rychlostí 1,2 mm/s, což je zcela unikátní a originální řešení zvláště, když přihlídneme k nesporným faktům, že pro tento tisk není potřeba žádných speciálních materiálů ani substrátů, a výsledné zařízení patří spíše mezi nízkonákladová zařízení. Tento přínos a originalita byla potvrzena i přiznaným patentem číslo 303451. Vyvinuté zařízení umožňuje regulovat reologické vlastnosti použitých materiálů v dávkovacím médiu ultrazvukem, což znamená zásadní pokrok pro technologie dispensního tisku. Tímto způsobem doktorand dosáhl optimalizaci tokových křivek a prezentoval porozumění problematiky regulace toku tixotropního média transportní kapilárou.

Splnění dílčích cílů je v práci postupně popsáno a hlavní přínosy lze zejména vidět v:

- Vytvoření pracoviště pro dispensní tisk s poloautomatickým robotem FisnarF4200N optimalizovaný pro tisk s vysokým rozlišením,
- Návrh nové metody pro ultrazvukovou optimalizaci s využitím piezokeramickým materiálů jako zdrojů mechanických kmitů,
- Konstrukce UZD hlavice, kde třetí vývojový stupeň vedl k tisku TLV past s rozlišením pod 100 μm pro standardní dispensní systémy.

Uvedené přínosy jsou výsledkem metodické práce a dle mého názoru v některých bodech tyto stanovené cíle přesáhly. Originálnost práce spatřuji ve vysoké kvalitě tisku ve smyslu velmi dobré shody tištěného motivu s návrhem i při rozlišení pod 75 μm , neboť současné sítotiskové technologie stejné kvality dosahují v rozlišeních okolo 250 μm a „*jet dispensing*“ technologie zase při těchto kvalitách a rozlišení tisku nedosahují takové rovnoměrnosti a tloušťky nánosu pasty, a navíc vyžadují speciální materiály (tedy jsou dražší co do provozních nákladů).

3) Souvislost publikací s jádrem disertace a publikační činnost uchazeče

Autor v kapitole 2 vymezil přehledně oblast procesů pro depozice viskózních materiálů a zevrubně shrnul výhody a nevýhody jednotlivých technik nevakuových procesů. Doktorand se příliš soustředil na návrh a ověření své tiskové metody a přístup ostatních autorů a firem popisuje příliš stručně. Především mi chybí metodický přístup k řešerši na úrovni doktorského studia, tedy jednoznačné zmapování všech oblastí, které budou vstupovat či nějak přispívat finálnímu výzkumu včetně širšího záběru na citovanou literaturu a popisu experimentálních technik. Jen těžko se mi věří, že nebylo nalezeno více jak 28 publikací (u 6 z nich je doktorand sám autorem, či spoluautorem), které by vymezily dosavadní vývoj, pravděpodobně se obával citovat firemní prospekty a informace z internetových stránek firem, i když je zná a vychází z nich. Například autor se zmiňuje o nevakuových procesech, ale již chybí vakuové procesy, jejich přehled, výhody, nevýhody a aplikace. Klíčové kapitoly týkající se přímo náplně práce jsou zmíněny, ale autor se mohl více do hloubky vyjádřit k reologickým parametrům dispensního tisku, převážně reologie kapalin a principy kapilárních jevů v úzkých trubicích, neboť těchto principů následně autor v kapitole 3 úspěšně využívá pro konstrukci UZD hlavice. Podobně obecné je popsání principů ultrazvuku a jeho dosavadních aplikací.

Kapitolu 3 považuji za jádro celé disertační práce. Zde je systematický experimentální postup, kde autor popisuje jednotlivé experimenty od prvotního testování vlivu ultrazvuku na chování

pasty a tixotropních materiálů až po konstrukční experimenty vývoje UZD hlavice pro dispensní tisk s vysokou rozlišovací schopností tisku.

4) Vědecká erudice a osobnost uchazeče

Doktorand prokázal svoji vědeckou erudici při sledu jednotlivých experimentálních technik a postupů, práce kombinuje mezioborové znalosti reologických vlastností materiálů (převážně tixotropních materiálů, kde autor prvně stanovil klíčové parametry pro nanášení tixotropních past) a technologie pro depozici viskózních materiálů a následně využil znalosti přenosu mechanických kmitů a rezonančních charakteristik při konstrukci ultrazvukové hlavice pro dispensní tisk (autor unikátním způsobem využívá ultrazvuku pro ovlivňování reologických parametrů dávkovaného média).

O značné vědecké erudici jednoznačně mluví i množství bodů za vědecko-výzkumnou činnost. O jeho osobnosti „technika-inovátora“ mluví nemalé množství patentů, užitných vzorů a produktů. Doktorand je spoluautorem 28 publikací, 5 patentů a 6 užitných vzorů a z přehledu publikační činnosti mohu konstatovat, že výsledky práce byly dostatečně publikovány v širokém spektru národních i mezinárodních konferencí.

5) Shrnutí

Navzdory připomínkám je zvolené téma práce velmi aktuální s vysokým potenciálem pro uplatnění v praxi a plně odpovídá moderním trendům v oboru, neboť doktorand svojí prací přináší nové poznatky v oboru a zásadní inovaci v procesu nanášení tlustovrstvých past, což dokazuje i udělený patent. Práce je na vysoké úrovni nejen pro svůj inovační potenciál, ale i originalitu řešení dané tematiky s jednoznačně dokladovaným praktickým využitím jednotlivých výstupů.

Doktorand prokázal znalost problematiky jak v rovině teoretické, tak i experimentální. Výsledky práce jsou prezentovány srozumitelně a systematicky a dle mého názoru splňuje disertační práce podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce, a tedy **doporučuji** disertační práci Ing. Buršíka k obhajobě.

V Brně: 02.12.2014



Ing. Iva Králová, Ph.D.

Dotazy a připomínky

- 1) Jaký je poslední vývoj v oblasti výroby produktů (senzory, čipy,...), kde je požadavek na vysokou hustotu cest a mezer (rozlišení pod 100 μm)? Jsou nevakuové procesy jedinou možnou cestou pro výrobu? Při obhajobě prosím krátce shrňte současné možnosti.
- 2) Autor v práci zmiňuje pojmy viskozita a tokové křivky. Vysvětlíte blíže pojem viskozita a její vztah k newtonským a nenewtonským kapalinám. Definujte typy nenewtonských kapalin a popište blíže jejich tokové křivky a specifikujte, jak jste těchto poznatků využil ve vaší práci pro finální konstrukci UZD hlavice?
- 3) Jaké jsou limity UZD3 hlavice a které jsou klíčové parametry pro dosažení nižších rozlišení například 50 μm ?

- 4) V kapitole 3.6.1 autor uvádí, že byl proveden průzkum vlastností jednotlivých materiálů a nakonec byl zvolen materiál Noliac NCE 80. Můžete blíže prezentovat tento průzkum? Proč jiné materiály nevyhovovaly?
- 5) V kapitole 3.6.3 je zmíněn kontaktní test rezonance. Uveďte podstatu a princip tohoto testu. Bylo pořízeno i vizuální srovnání výstupů pro hlavici UZD1, UZD2 a UZD3 (například tisk pasty jednotlivými modely)? Prosím o prezentaci při obhajobě.
- 6) Obrázek 3.38 zobrazuje strukturu tištěného motivu. Na jakém přístroji byl obrázek pořízen a jaké je zvětšení zobrazeného motivu?
- 7) Na straně 64 odkazuje autor rozložení tokových křivek na kapitolu 3.4.4, ale tato kapitola se zabývá výpočtem prodloužení v piezokeramických rezonátorech. Předpokládám, že jde o tiskovou chybu a autor měl na mysli odkaz na kapitolu 3.4.5.