

Mikroelektronika a technologie součástek
BPC-MTS
Laboratorní cvičení

Vlastnosti materiálů tlustých vrstev

Garant předmětu:
Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

Autoři textu:
Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.
Ing. Josef Skácel

2. 9. 2023

Obsah

Mikroelektronika a technologie součástek	1
Obsah	2
1 Vlastnosti tlustovrstvých past	3
Test předchozích znalostí	3
Zadání 3	
1.1 Úvod do vlastností tlustovrstvých past.....	3
1.2 Reologie.....	4
1.3 Viskozita.....	4
1.4 Zrnitost	5
1.5 Homogenita past.....	6
1.6 Adheze nanesené vrstvy k substrátu.....	6
1.7 Vlastnosti tlustovrstvých past.....	8
1.7.1 Vodivé pasty	8
1.7.2 Odporové pasty	8
1.7.3 Dielektrické pasty	8
2 Praktická část	8
2.1 Stanoviště č. 1: určení velikostí částic v pastě.....	8
2.2 Stanoviště č. 1: test vazby vrstvy na substrát	9
2.3 Stanoviště č. 2: test hodnoty odporu vytvořeného rezistoru.....	10
2.4 Stanoviště č. 2: test hodnoty kapacity vytvořeného kondenzátoru.....	11
Zpracování úlohy	11
3 Kontrolní otázky	11
4 Doporučené zdroje literatury	11

1 Vlastnosti tlustovrstvých past

Cíle kapitoly: Seznámit se se základními vlastnostmi tlustovrstvých past a jejich měřením. Dále sledovat a stanovit vliv výrobních postupů a procesů na vybrané vlastnosti vlastnostmi tlustovrstvých past.

Test předchozích znalostí

- Vysvětlete pojem „Tlustovrstvá technologie“. Obecně popište základní výrobní procesy, ze kterých se technologie výroby tlustých vrstev skládá.*
- Uveďte základní rozdělení tlustovrstvých past podle využití.*
- Definujte základní vlastnosti substrátu pro výrobu tlustých vrstev.*
- Zkuste odhadnout základní vlastnosti tlustovrstvých past.*

Zadání

- Změřte velikost částic u práškových materiálů pro tlustovrstvé pasty a v pastách pomocí grindometru.
- Seznamte se s hodnocením viskozity a jejím měřením.
- Proveďte vrypový test do pasty polymerní, rezínátové a cermetové. Popište vliv typu pasty na pevnost systému pasta-substrát.
- Změřte elektrický odpor předložených vzorků tlustovrstvých rezistorů a vyhodnoťte jejich vrstvý odpor. Popište, jak a proč se změnil tento parametr s technologií výroby.
- Změřte kapacitu tlustovrstvého kondenzátoru a vypočítejte hodnotu permitivity a měrné kapacity (pF/mm^2). Popište, jak a proč se změnil tento parametr s technologií výroby.

Poznámka

Během práce si poznamenejte všechny použité pájecí pasty a tavidla. Při zpracování vyhledejte a do protokolu uveďte kromě jejich označení také stručně jejich hlavní parametry. Zapište si parametry nastavené na použitých zařízeních (teploty, tlaky atd.)

1.1 Úvod do vlastností tlustovrstvých past

Tlustovrstvá technologie slouží pro výrobu pasivních sítí například pro hybridní integrované obvody, senzory a řadu dalších nekonvenčních aplikací. Materiály jsou dodávány většinou ve formě past, které se nanáší nevakuovými způsoby, nejčastěji sítotiskem, ale také stříkáním, popisem apod. na povrch nosného substrátu, většinou keramiky. Vyrobená tlustovrstvá síť se běžně vyznačuje vysokou odolností proti mechanickým, elektrickým, tepelným a dalším jiným vlivům a také vysokou stabilitou parametrů.

Mezi vnější faktory, které je potřeba sledovat u sítotisku, patří:

- vliv substrátu – drsnost substrátu a rozměrové tolerance,
- vliv síta – materiál, světlost, hustota tkaniny,
- vliv šablony – přímá či nepřímá šablona, tloušťka masky a její přesnost,

- vliv pasty (Inks) – materiál, reologie, viskozita, zrnitost, homogenita,

Z posledního bodu vyplývá, že pasta musí mít určité definované vlastnosti z důvodu dosažení požadovaných parametrů vypálené (vysušené) vrstvy při použitém typu výrobního procesu. Jedněmi z nejdůležitějších jsou tixotropními vlastnostmi umožňující změnu viskozity pasty v závislosti na mechanickém tlaku. Pasty jsou připravovány z práškových materiálů mícháním a roztíráním (rozpracováním) těchto komponent s pojivem (např. terpeneol), které dodá příslušné pastě potřebnou viskozitu.

1.2 Reologie

Řecké slovo rhein znamená téci a reologie/reologie je tedy nauka o toku a plynutí, přesněji řečeno, je to věda o časově závislých tokových a deformačních procesech v různých materiálech.

Za určitých okolností totiž všechny materiály tečou. Ve starozákonním zpěvu prorokyně Debory se vyskytuje verš „skály tekly před Hospodinem“. Podle tohoto Debořina zpěvu bylo v reologii zavedeno takzvané Debořino číslo T:

$$T = T_{\text{rel}} / T_{\text{obs}}$$

T_{rel} - je relaxační doba daného materiálu, která charakterizuje rychlost molekulárních přeskupení (je velice krátká pro tekutou vodu a velmi dlouhá pro tvrdou žulu).

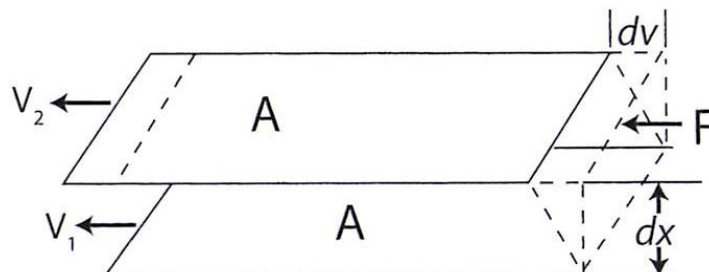
T_{obs} - je doba pozorování.

Čím menší je Debořino číslo, tím tekutější se jeví daný materiál. Pokud je pozorovací doba nekonečně dlouhá, tečou i skály. A také naopak, při velmi krátké pozorovací době např. na samém počátku podmořské exploze se i voda může jevit jako velmi tvrdý a tuhý materiál.

1.3 Viskozita

Všechny kapaliny nejsou dokonale tekuté. Při vzájemném pohybu jejich částí musí překonávat určité vnitřní tření. To je závislé na teplotě, složení a koncentraci roztoku (na přitažlivých silách mezi částicemi). Dynamická viskozita η (též vazkost kapalin) je fyzikální veličina, která udává odpor, jenž kladou dvě sousední vrstvy kapaliny vzájemnému pohybu. Dynamická viskozita η proto charakterizuje základní vlastnost kapalin - vnitřní tření. Převrácená hodnota viskozity je tekutost (též *fluidita*).

Veličina dynamická viskozita η vyjadřuje závislost tečného napětí τ v tekutině na gradientu rychlosti dv . Vztah pro její výpočet je možno odvodit následovně. Máme dvě rovnoběžné desky, mezi kterými se nachází reálná kapalina. Pohybují-li se tyto desky vůči sobě rychlostí v , pak svým pohybem působí i na kapalinu mezi nimi. Částice kapaliny se začnou pohybovat různou rychlostí v závislosti na jejich vzdálenosti od desek tak, jak je naznačeno na obr. 1.



Obr. 1: Výpočet viskozity kapaliny mezi dvěma deskami.

Aby rychlost pohybující se desky zůstala konstantní, je na ni potřeba působit silou o velikosti:

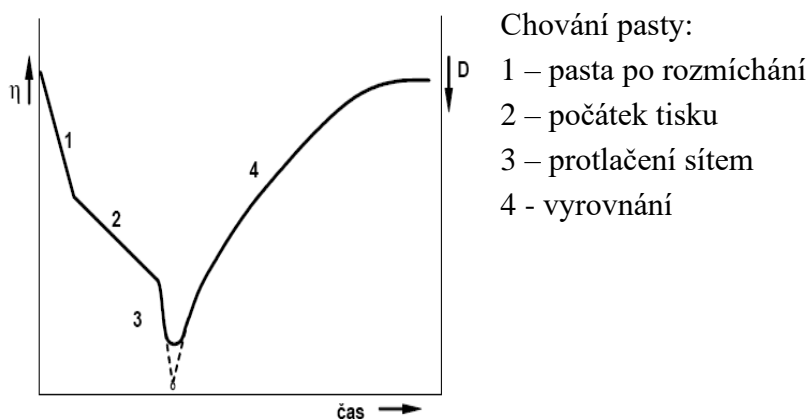
$$F = \tau \cdot S = \eta \cdot v/h \cdot S$$

kde S je plocha pohybující se desky, dx je vzdálenost desek, v je vzájemná rychlost a η je dynamická viskozita kapaliny mezi deskami. Tečné napětí mezi deskami je tedy v tomto případě dáno vztahem:

$$\tau = \eta \cdot dv/dx$$

Základní jednotka viskozity je poise (P) - $1 \text{ P} = 1 \text{ g.cm}^{-1}.\text{s}^{-1}$. Viskozita se ale udává obvykle v jednotkách Pa.s - $1 \text{ Pa.s} = 1 \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1} = 10 \text{ P}$. Voda má při tlaku 1 atmosféry dynamickou viskozitu 10 mP při 20 ° C a 8,9 mP při 25 ° C, tj. 1 a 0,89 mPa · s. Vyšší viskozitu má např. kyselina sírová (25,4 mPa · s), olej ricínový (987 mPa · s) nebo glycerol (1480 mPa · s), naopak menší má např. toluen (0,59 mPa · s), benzín (0,53 mPa · s) nebo aceton (0,33 mPa · s). V technické praxi se často používá tzv. kinematická viskozita, což je podíl dynamické viskozity a hustoty, $\nu = \eta/\rho \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$.

Při nanášení pasty sítotiskem se mění viskozita v závislosti na tlaku stěrky, jak je ukázáno na obr. 2.



Obr. 2: Změna viskozity v závislosti na tlaku stěrky při nanášení pasty sítotiskem.

Pro měření viskozity se používají různé přístroje založené obvykle na principech měření fyzikálních veličin, jejichž hodnota v daném fyzikálním systému souvisí s viskozitou měřené kapaliny. K měření se používají nejčastěji rotační nebo kapilární viskozimetry. Principem rotačních viskozimetrů je měření momentu síly, který musí překonávat rotující těleso ponořené do kapaliny. Kapilární (také výtokové) viskozimetry jsou založeny na měření objemového průtoku měřené kapaliny trubicí s definovanými rozměry. Často se také používají tělískové viskozimetry, které jsou založeny na měření rychlosti pádu zkušebního tělesa ke dnu nebo naopak jeho vystoupení k hladině. Mezi další typy viskozimetrů patří vibrační viskozimetry, ultrazvukové viskozimetry nebo plovákové viskozimetry.

1.4 Zrnitost

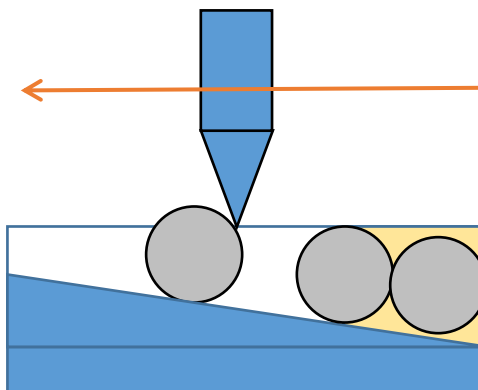
Materiálové kompozice past jsou připravené ve formě práškových frit se zrnitostí prášku od 1 μm do 10 μm (udávaný stření průměr kolem 5 μm), pokud možno s co nejdefinovanějším tvarem jednotlivých částic (kuličky, vločky, oblé struktury) tak, aby byly zaručeny jak dobré tiskové vlastnosti, tak i homogenita pasty při jejím nanášení a následném výpalu.

Pro určení velikosti částic v pastě (zrnitosti) se často využívají grindometry, obr. 3. Grindometry jsou zařízení určené ke stanovení velikosti pevných částic (netěkavých) složek u past, inkoustů, nátěrových hmot, lepidel a pryskyřic nebo dokonce čokolády a jiných produktů. Jedná se o substrát pigmentové a výplňové povahy (např. pevná částice v rozpouštědle), který nám např. určuje minimální tloušťku nátěrového filmu.

Grindometry využívají drážky ve tvaru nakloněné roviny, do jejíž nejspodnější části se dává měřený materiál. Materiál se pak roztře stěrkou. Ve výšce, při které největší částice neprojdou pod stěrkou, jsou tlačeny před ní a začnou vytvářet v roztíraném materiálu rýhu (rýhy). Podle definované stupnice na měřidle se pak odečte velikost největší částice.



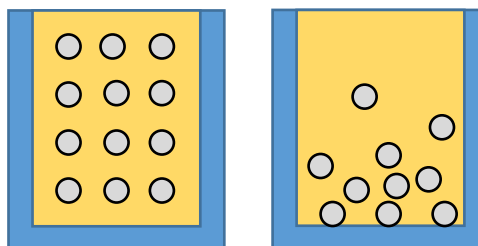
Obr. 3: Příklad grindometru.



Obr. 4: Princip měření.

1.5 Homogenita past

Homogenita je vlastnost směsí, která označuje, jak jsou jednotlivé částice ve směsi rozloženy. Homogenní (též stejnorodá) směs je systém dvou nebo více složek, které jsou v celém objemu směsi rozloženy rovnoměrně. Vlastnosti takovéto směsi (pasty) jsou v celém jejím objemu tedy stejné. Při míchání nebo při dlouhodobém skladování past se může stát, že těžké částice klesnou na dno nádoby. Před použitím pasty je proto nutné pastu dostatečně rozmíchat (homogenizovat). Příklady homogenity směsí jsou ukázány na obr. 5.



Obr. 5: Příklad homogenní a nehomogenní směsi.

1.6 Adheze nanesené vrstvy k substrátu

Americká společnost ASTM (The American Society for Testing and Materials) definuje adhezi jako stav, kdy dva povrchy drží společně vazebnými silami, které působí na rozhraní těchto povrchů. Adheze (též „základní“ adheze) je termín používaný k definování vazebných sil a energie na rozhraní mezi dvěma vrstvami, určené určitou vazbou mezi vrstvami. Z technologického pohledu je pojem adheze synonymem k pojmu pevnost spoje.

Pro hodnocení adheze je proto rozhodující energie nutná k porušení vazeb na rozhraní vrstva – substrát. Metody stanovení adheze vrstev (pevnost spoje) jsou proto založeny na

vytvoření definovaného napětí na rozhraní a stanovení jeho kritické hodnoty, při níž dochází k porušení rozhraní a odloupenutí části vrstvy. Na rozhraní substrát - vrstva může být vazba:

- chemická (několik eV) - vyžaduje, aby atomy byly ve vhodných polohách pro vzájemné sdílení elektronů
- Van der Waalsova (0,1 - 0,4 eV) - vzniká v důsledku polarizace mezi atomy
- elektrostatická - vzniká při vytváření elektrické dvojvrstvy mezi vrstvou a substrátem, u některých rozhraní kov - dielektrikum je srovnatelná s vazbou Van der Waalsovou
- mechanická - v podstatě jde o spojování zapadáním vrstvy do nerovností substrátu ve směru rovnoběžném s rozhraním

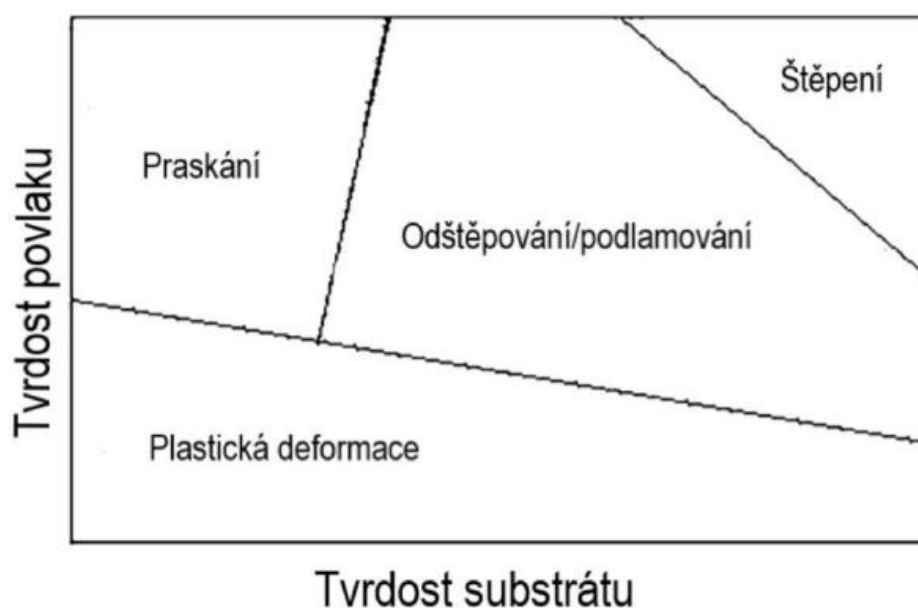
V technologii tlustých vrstev je dobrá vazba mezi substrátem a materiálem vrstvy jedním z důležitých požadavků ve vývoji, vyhodnocování, výrobě a použití tlustých vrstev. Čistota povrchu substrátu, mezikrystalové póry, dutiny a jiné defekty vzniklé během depozice a teplotního zpracování mají za následek v oblasti rozhraní snížení adheze vrstvy k substrátu. To může vést k praskání vrstvy a odlupování vrstvy.

Dokonalá vazba vrstvy k substrátu však nestačí k zajištění dobré adheze, protože na rozhraní může vznikat smykové napětí. Pokud toto smykové napětí dosáhne určité kritické hodnoty, může být adheze vrstvy nedostatečná a vrstva se může poškodit. Příčinou tohoto stavu jsou nejčastěji rozdílné moduly pružnosti a rozdílné koeficienty teplotní roztažnosti substrátu a vrstvy. Další příčinou je vnitřní makropnutí vznikající ve vrstvě během jejího vytváření.

Testování vrypem je metoda při, které se testuje přilnavost neboli adheze povlaků v tomto případě polymerní, rezinátové a tlutovrstve pasty na korundovém substrátu.

Při vrypové zkoušce může dojít k různým mechanismům poškození povrchu. Toto poškození je závislé na vlastnostech substrátu i povrchu, zejména jejich tvrdosti. Nejvýznamnější mechanismus poruchy v závislosti na tvrdosti povlaku i substrátu naznačuje obrázek 6. Pro měkké povlaky, zejména v kombinaci s měkkými substráty, dochází k plastické deformaci povrchu, a tedy k částečnému zotavení dané oblasti po projetí hrotu. To znehodnocuje následnou analýzu vrypu a určuje tak, že pro tyto povrchy je zkouška vrypem nevhodná. [5]

Výsledný vryp se analyzuje pomocí mikroskopu.



Obr. 6: Poruchy při zkoušce tvrdosti

1.7 Vlastnosti tlustovrstvých past

1.7.1 Vodivé pasty

Funkční složku vodivých past představují prášky drahých kovů, jejich směsi nebo slitiny (AgPd, AuPd, AuPt, Au). Přídavek druhého kovu upravuje konečné vlastnosti vrstvy, např. snižuje celkovou rozpustnost v pájce (hlavně u Au), dále může snižovat elektromigraci (hlavně u Ag). Kompozice na bázi Ag jsou charakterizovány velmi dobrou vodivostí a výbornou smáčivostí vrstev pájkou (jsou dobře pájitelné). Vrstvy Au jsou ideální pro eutektické pájení slitinou Au-Si a termokompresní sváření. Speciálně upravené (materiál musí být v pastě ve formě velmi malých částic – zrn o průměru cca několik μm), umožňují tisk velmi tenkých vrstev s vysokou rozlišovací schopností (stovky až desítky μm). Zlaté vrstvy však nelze pájet pájkou s obsahem cínu, v níž se rychle rozpouštějí. Teplota výpalu vodivých past se pohybuje od 760 °C až 1000 °C, podle typu pasty (doporučuje výrobce). V tlustovrstvé technice se vodivé pasty používají pro kontaktní systém rezistorů, propojovací vodivou síť, pájecí plošky, plošky pro lepení polovodičů, dále pro elektrody kondenzátorů a pro senzory a jiné nekonvenční aplikace (také pro stínění a antény).

1.7.2 Odporové pasty

Odporové pasty umožňují realizaci tlustých odporových vrstev typu cermetu, který je založen na kombinaci práškového vodivého pigmentu a skelné boritokřemičité frity. Požadované hodnoty odporu lze dosáhnout volbou koncentrace vodivých částic v heterogenním systému. S ní souvisí i uspořádání vodivých částic ve skelné matrici. Kvalita a reprodukovatelnost vlastností odporových vrstev závisí na dodržení technologických podmínek, především teploty (na ± 1 °C) a doby výpalu. Celková doba výpalu je 60 min při teplotě 850 °C.

1.7.3 Dielektrické pasty

Z hlediska využití u HIO je možné dielektrické pasty rozdělit do tří skupin. První skupinu tvoří pasty pro vytváření kapacitorů, druhou pro izolaci křížicích se vodičů, a třetí pro krytí a pouzdření pasivních sítí, především rezistorů.

Základní materiály používané pro dielektrika kondenzátorů jsou odvozeny z materiálů používaných pro klasické keramické kondenzátory. Je to především stabilit, rutilit a negatit, jež jsou charakterizovány nízkou hodnotou kapacity, nízkým ztrátovým činitelem a minimální teplotní závislostí. V teplotním cyklu používaném při zpracování tlustých vrstev nelze použít teplotu nutnou pro sintraci těchto materiálů ($>1500^\circ\text{C}$) a proto jsou tyto smíchány v pastě s pojivou skelnou složkou vytvářející vazbu s nosným substrátem. Pro takový systém keramika – sklo, platí pro stanovení výsledné permitivity Lichteneckerův vztah :

$$\log \varepsilon = V_1 \cdot \log \varepsilon_1 + V_2 \cdot \log \varepsilon_2,$$

kde V_1 , V_2 jsou objemové části skelné keramické složky ve výsledné vrstvě ($V_1 + V_2$), ε_1 , ε_2 jsou permitivity skelné a keramické složky.

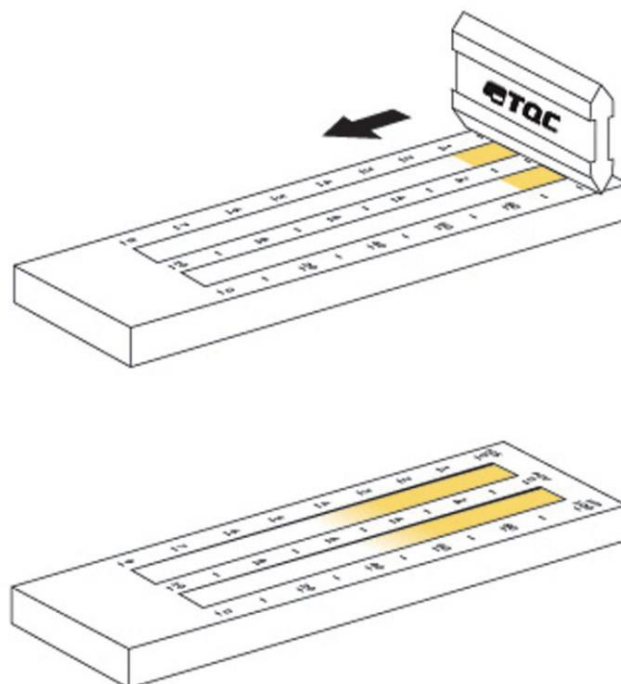
Pro izolaci mezi křížicemi se vodiči se používají materiály na bázi různých sklovin ($\varepsilon_r = 5-10$), jejichž ztrátový činitel závisí na kmitočtu (0,01 – 0,005 pro stovky MHz). Vrstvy určené k ochranným účelům (krycí) jsou vytvořeny na bázi nízkotavných bezalkalických skel. Žádoucí je nízká permitivita a dobrá homogenita.

2 Praktická část

2.1 Stanoviště č. 1: určení velikostí částic v pastě

Pomocí grindometru změřte velikost největších částic u předložených vzorků past a směsí.

1. Naneste špachtlí pastu číslo 1, 2 nebo 3 na začátek grindometru, tzn. do hlubší části drážky.
2. Pomocí třerky držené oběma rukama a umístěné kolmo k ploše měřítka grindometru rozetřete pastu po celé délce (rychlost rozetření by měla být přibližně 1-2 vteřiny), viz obrázek 7.
3. Do 3 vteřin určete místo ± 1 mm, kde dojde k přerušení vrstvy, z měřítka odečtete velikost největší částice.
4. Hodnotu zaznamenejte do protokolu a určete, jestli se hodnota velikosti částic blíží spíše tlustovrstvým pastám (částice $5 \mu\text{m}$) nebo pájecím pastám typu 3 (částice $20\text{-}38 \mu\text{m}$).



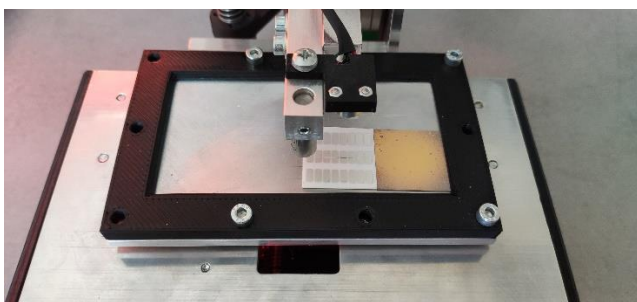
Obr. 7: Směr třerky po nanesení pasty na hlubší konec grindometru (horní obrázek). Ukázka výsledku testu - pasta je žlutou barvou (obrázek dole). [6]

2.2 Stanoviště č. 1: test vazby vrstvy na substrát

Proveďte vrypový test do pasty polymerní, rezinátové a cermetové. Sledujte a popište poškození vrstvy po vrypu hrotem do vrstvy. Zkuste odhadnout vliv typu pasty na pevnost systému pasta-substrát.

1. Pomocí zařízení Scratch Tester postupně proveďte vryp do tří druhů tlustých vrstev (polymerní, cermetová, rezinátová). Postup je následující:
 - a. Prvním krokem je aretace vzorku do zařízení. Zařízení není schopné dělat testování vrypem v rozsahu černého rámečku a je nutné vzorek umístit podle obrázku 8 s odsazením 2,5 cm od pravého kraje.
 - b. Obrázek 9 znázorňuje úvodní menu po zapnutí a automatické kalibraci zařízení. V této části je nutné zkontrolovat připojení SD karty oznámením „SD card mounted“.
 - c. Na obrázku 10 je krokem zmačknutí otočného tlačítka a pokračování na obrazovku výběru testu položkou „Test“ a kliknutím otočného tlačítka.
 - d. Na obrázku 11 vidíme nabídku „Start test“, kterou potvrdíme, a následuje spuštění předvoleného testu. Délka testované rýhy je 24mm a rozsah použité síly je $0 - 10000\text{mN}$ při rychlosti pohybu hrotu 10mm za sekundu.

- e. Po provedení testu jsou data zapsána na SD kartu. Tato data se následně musí zpracovat a porovnat se zjištěními z optické kontroly vrypu.
 - f. Data je nutno otevřít v programu EXCEL a postupovat podle návodu. Přiložená data je rozdělit do sloupců pomocí záložky DATA. Po označení dat klikněte na položku Data a následně na Text do sloupců. Dalším krokem je zakliknout oddělovač a Další. Oddělovač zvolíme čárka a pokračujeme kliknutím na „Další“. V této části je nutno kliknout na „Upřesnit“ a zvolit oddělovač desetinných míst tečku „. “. Potvrdíme Ok a dáme dokončit. Data jsou připravena k dalšímu zpracování a vynesení do grafu. Prvním sloupec je pozice rýhy další sloupec je síla v ose Z. Sloupec třetí je výstup akustických emisí a posledním sloupcem je síla ve směru osy X.
2. Opticky vyhodnoťte poškození vrstvy. Využijte mikroskop Jenavert.
 3. Popište poškození u jednotlivých typů vrstev a porovnejte je mezi sebou.
 4. Zohledněte typ vazby – zkuste odhadnout. (Poznámka: Hledejte odpovědi v odborných publikacích a knihách na internetu – např. thick film resin adhesive, thick film cermet adhesive, thick film polymer adhesive atd.)



Obr. 8: Umístění vzorku pro test s odsazením 2,5 cm (pro toto odsazení slouží keramický substrát 2,5x2,5 cm)



Obr. 9: Menu po zapnutí zařízení Scratch Tester



Obr. 10: Menu po zmáčknutí otočného tlačítka a výběr položky Test



Obr. 11: Menu po zmáčknutí otočného tlačítka na položku Test a výběr položky Start test

2.3 Stanoviště č. 2: test hodnoty odporu vytvořeného rezistoru

Změřte elektrický odpor předložených vzorků tlustovrstvých rezistorů a vyhodnoťte jejich vrstvý odpor. Popište, jak a proč se změnil tento parametr s technologií výroby (jeden výpal pro několik natištěných vrstev vs. výpal vždy po tisku vrstvy).

1. Změřte jednotlivé odpory na dodaných vzorcích desek (postupný výpal, výpal všech vrstev najednou) – porovnejte.

2. Vypočítejte u každého rezistoru odpor na čtverec a porovnejte odpory bez krycí vrstvy a s krycí vrstvou. Dále porovnejte odpory podle použité technologie na jednotlivých deskách. (tloušťka vrstvy je 10 μm).

2.4 Stanoviště č. 2: test hodnoty kapacity vytvořeného kondenzátoru

Změřte kapacitu tlustovrstvého kondenzátoru a vypočítejte hodnotu permitivity a měrné kapacity (pF/mm^2). Popište, jak a proč se změnil tento parametr s technologií výroby.

1. Pomocí RLC metru změřte jednotlivé kapacity na dodaných deskách (postupný výpal, výpal všech vrstev najednou).
2. Vypočítejte kapacitu jednotlivých kondenzátorů ($C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$),
 ϵ_0 – permitivita vakua,
 ϵ_r – relativní permitivita,
 S – plocha kondenzátoru,
 d – vzdálenost mezi elektrodami.
3. Na základě vypočtených kapacit porovnejte jednotlivé výrobní technologie mezi sebou (postupný výpal, výpal všech vrstev najednou).

Zpracování úlohy

Do protokolu popište stručně základní parametry použitých materiálů, postup prací, Vámi provedené úkony a jejich výsledky a vyhodnocení. Dopíšte vlastní stručný závěr shrnující úlohu.

3 Kontrolní otázky

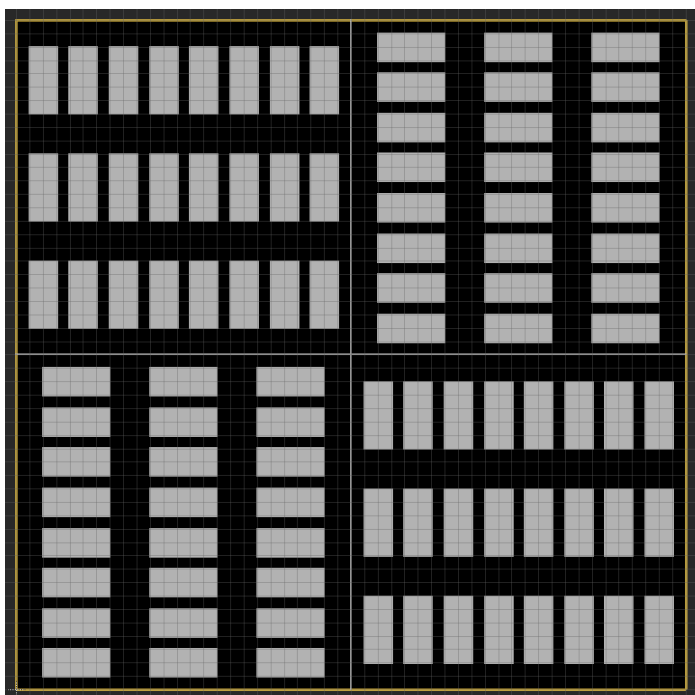
1. *Vysvětlíte co je to pojem reologie a viskozita.*
2. *Pojednejte o složení tlustovrstvé pasty a jejím zpracování.*

4 Doporučené zdroje literatury

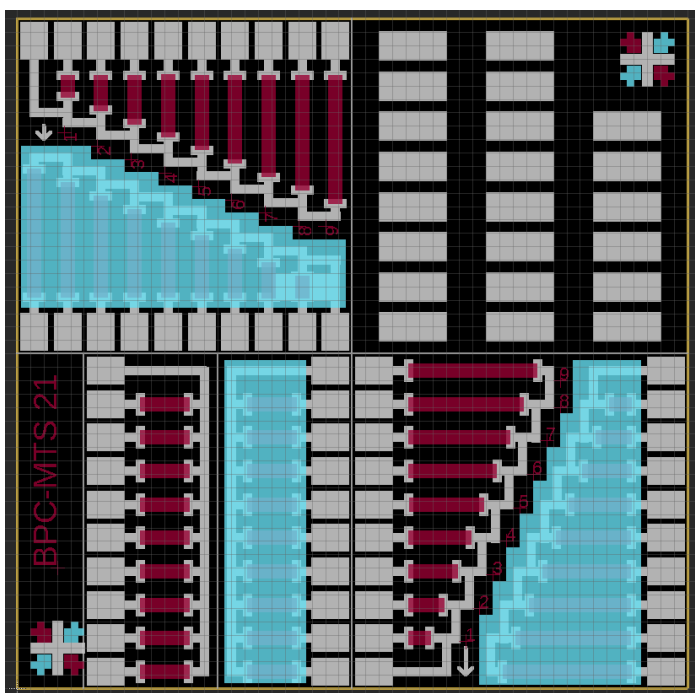
- [1] SZENDIUCH, I. Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů, VUTIUM, Brno, 2006. ISBN: 80-214-3292- 6.
- [2] SZENDIUCH, I. a kol. Technologie elektronických obvodů a systémů. Brno: Nakladatelství VUTIUM, Brno, 2002. 289 s. ISBN: 80-214-2072-3.
- [3] HARPER, Charles A. Handbook of thick film hybrid microelectronics : A practical sourcebook for designersfabricators, and users. . U.S.A. : McGraw-Hill,
- [4] STRAUSS, R., & STRAUSS, R. (1998). SMT soldering handbook. Oxford, Newnes. Pages 371. ISBN: 0750635894
- [5] Adhesion Measurement of Thin Films and Coatings: Relevance to Microelectronics. [online]. 2014 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/287246951_Adhesion_Measurement_of_Thin_Films_and_Coatings_Relevance_to_Microelectronics
- [6] Proinex. The TQC Grindometers or Fineness. 2017. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/en/183-grindometry.html>

Přílohy

1. Motiv pro vrypový test



2. Motiv tlustovrstvých rezistorů



2. Motiv tlustovrstvého kondenzátoru

