

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Materiály pro rezistory integrované ve flexibilních
propojovacích strukturách**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr KAČÍREK**
Osobní číslo: **E12B0107P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Materiály pro rezistory integrované ve flexibilních propojovacích strukturách**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište aktuální stav vývoje v oblasti realizace tištěných rezistorů pro aplikace ve flexibilní elektronice.
2. Zpracujte rešerši materiálů pro tištěné rezistory realizované na flexibilních substrátech (nízkoteplotní zpracování do 200 C, depozice tiskovými metodami).
3. Zmapujte výrobce a zpracujte přehled technických parametrů a cen dostupných rezistivních materiálů.
4. U vybraných materiálů prakticky ověřte základní elektrické parametry na experimentálně připravených odporových elementech.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. KANG, Byung Ju, Chang Kyu LEE and Je Hoon OH. All-inkjet-printed electrical components and circuit fabrication on a plastic substrate. *Microelectronic Engineering* [online]. 2012, vol. 97, no. 4023, pp. 251?254. ISSN 01679317. Doi:10.1016/j.mee.2012.03.032
2. STĘPLEWSKI, Wojciech, Tomasz SERZYSKO, Grażyna KOZIOŹ and Andrzej DZIEDZIC. Preliminary assessment of the stability of thin- and polymer thick-film resistors embedded into printed wiring boards. *Microelectronics Reliability* [online]. 2012, vol. 52, no. 8, pp. 1719?1725. ISSN 00262714. Doi:10.1016/j.microrel.2012.03.026
3. Paulsen, J. A., Renn, M. J. Maskless Printing of Miniature Polymer Thick Film Resistors for Embedded Applications. Optomec, Inc. 2010. Dostupné z: http://www.optomec.com/downloads/Optomec_Maskless_Printing_of_Resistors_for
4. CHENG, P. L., Stanley Y. Y. LEUNG, T. W. LAW, C. K. LIU, Jones I. T. CHONG and David C. C. LAM. Quantitative Analysis of Resistance Tolerance of Polymer Thick Film Printed Resistors. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies* [online]. 2007, vol. 30, no. 2, pp. 269?274. ISSN 1521-3331. Doi:10.1109/TCAPT.2007.897968
5. Elektronické informační zdroje (ScienceDirect, IEEE Xplore, AIP Scitation, ...), katalogové listy a technické specifikace výrobců materiálů.
dupont.com - Materials for Printed Electronics
electrapolymers.com - CARBON, SILVER & DIELECTRIC MATERIALS

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Silvan Pretl
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na materiály pro rezistory integrované ve flexibilních propojovacích strukturách.

Klíčová slova

Flexibilní elektronika, tištěná elektronika, technologie tisku, odporové inkousty a pasty.

Abstract

This bachelor thesis is focused on materials for resistors integrated in the flexible interconnect structures.

Key words

Flexible electronics, printed electronics, printing technology, resistive inks and pastes.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/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/diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 8.6.2015

Petr Kačírek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Silvanu Pretlovi za profesionální rady, cenné připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM ZKRATEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ	9
ÚVOD	10
1 FLEXIBILNÍ ELEKTRONIKA	11
1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O FLEXIBILNÍ ELEKTRONICE	11
1.2 ZÁKLADNÍ INFORMACE O TIŠTĚNÉ ELEKTRONICE	12
1.3 APLIKACE FLEXIBILNÍ ELEKTRONIKY	13
1.4 VÝVOJ FLEXIBILNÍ ELEKTRONIKY	14
1.5 VÝVOJ DESEK PLOŠNÉHO SPOJE	15
2 MATERIÁLY PRO FLEXIBILNÍ ELEKTRONIKU	17
2.1 ORGANICKÉ MATERIÁLY	17
2.2 ANORGANICKÉ MATERIÁLY	18
2.3 SUBSTRÁTY PRO FLEXIBILNÍ ELEKTRONIKU	19
2.3.1 <i>Materiály pro flexibilní substrát</i>	20
2.4 SUBSTRÁTY PRO TIŠTĚNOU ELEKTRONIKU	20
2.5 DEPOZICE FUNKČNÍCH PAST	22
2.6 TYPY MATERIÁLŮ PŘI REZISTIVNÍ INKOSTOVÝ TISK	23
2.6.1 <i>Formy uhlíku</i>	23
2.7 METODY TISKU	25
2.7.1 <i>Inkoustový tisk (inkjet printing)</i>	25
2.7.2 <i>Aerosol Jet Printing</i>	27
3 ODPOROVÉ MATERIÁLY PRO FLEXIBILNÍ ELEKTRONIKU	29
3.1 PŘEHLED VÝROBCŮ NA TRHU	29
3.2 REŠERŠE ODPOROVÝCH MATERIÁLŮ	31
3.2.1 <i>Metodika zpracování rešerše</i>	31
3.3 TECHNICKÉ PARAMETRY ODPOROVÝCH TISKOVÝCH MATERIÁLŮ	32
4 CHARAKTERIZACE TIŠTĚNÝCH ODPORŮ	33
4.1 MĚŘENÍ TIŠTĚNÝCH ODPORŮ	33
4.1.1 <i>Příprava tištěných rezistorů</i>	33
4.1.2 <i>Měřicí metoda</i>	34
4.1.3 <i>Postup</i>	35
4.1.4 <i>Použité přístroje</i>	35
4.1.5 <i>Diskuze výsledků</i>	36
ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	40
PŘÍLOHY	1

Seznam zkratek

AJP.....	Tisk proudem aerosolu (Aerosol Jet Printing)
CNT	Uhlíkové nanotrubičky (carbon nanotubes)
DOD.....	Metoda bezkontaktního dizpenzingu (Drop on demand)
DPS	Deska plošného spoje
IR	Infračervené záření (infra red)
LCD	Displej z tekutých krystalů (liquid crystal display)
Nm	Newton metr
OLED.....	Organická elektroluminiscenční dioda (Organic light-emitting diode)
PTF.....	Polymerní silná vrstva (Polymer thick film)
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci (Radio Frequency Identification)
TFT	Tenkovrstvé tranzistory (Thin Film Transistor)

Seznam symbolů

D.....	Tuhost substrátu
E.....	Youngův modul
ITO.....	Cín dotovaný oxidem india
NiCr	Nikl-Chrom
NiP	Fosfid niklu
PET	Polyethylentereftalát
t	Tloušťka substrátu
t'	Tloušťka vrstvy
ρ'	Rezistivita vrstvy

Úvod

Cílem této bakalářské práce je seznámení s materiály pro rezistory integrované ve flexibilních propojovacích strukturách. Předmětem této práce bude seznámení s flexibilní a tištěnou elektronikou, depozičními technologiemi a vhodnými materiály pro tyto typy elektroniky. Tato práce se však poté bude spíše zaměřovat na vhodné materiály a sice rezistivní pro flexibilní elektroniku způsoby a druhy depozice funkčních materiálů, zmapování výrobců a přehled technických parametrů a cen dostupných rezistivních materiálů, kde na konci celé této práce je i praktické ověření základních elektrických parametrů na experimentálně připravených odporových elementech.

Flexibilní elektronice se dostává v posledních letech větší pozornosti na trhu s elektronikou než kdy dříve. Tato elektronika má řadu výhod, jimiž se liší od klasické křemíkové elektroniky. Výhodou flexibilní elektroniky je cena při výrobě (např. využitím výrobní technologie „Inkoustového tisku“), která je v podstatě nižší než u obyčejné křemíkové elektroniky, dále její nezměrnou výhodou oproti běžné elektronice je její vysoká flexibilita (ohebnost) a její nízká váha, díky těmto vlastnostem je flexibilní elektronika kandidátem na příští generaci spotřební elektroniky, kde hlavní cílem jsou nízké náklady přenosnost, ohebnost a lehkost.

V dnešní době má flexibilní elektronika otevřené pole působnosti téměř ve všech oborech elektroniky. [1]

1 Flexibilní elektronika

V této části bakalářské práce bude shrnuta flexibilní elektronika jako taková, následně se zde dozvíme základní informace o tištěné elektronice, oblasti použití obou typů, poté se dozvíme vývoj flexibilní elektroniky a desek plošného spoje od rigidních až po flexibilní, na které se na konci kapitoly více zaměříme.

1.1 Základní informace o flexibilní elektronice

Flexibilní elektronická zařízení mohou být vyrobena depozicí jedné či více funkčních vrstev. Tyto vrstvy mohou být vodivé, odporové, polovodivé a jsou dále nanášeny na flexibilní substrát. V současné době existuje celá škála materiálů vhodná pro flexibilní elektroniku, zde však rozhoduje i cena za použité materiály a k tomu odpovídající kvalita za tyto ceny.

Metody, které jsou zde využívány jsou dvojího typu, dělí se na takzvanou metodu naprašování a metodu rotačního nanášení. Díky nim můžeme dosáhnout hladké funkční vrstvy. Při těchto metodách je kladen vysoký nárok na stálou teplotu a bezprašné prostředí. Metody jsou velice nákladné a není v nich kladen důraz na rychlost depozice. Na druhou stranu existuje i levnější tisk, který s sebou ale mnohdy přináší i negativní dopad v podobě nižší kvality. Tyto nevýhody však plnohodnotně vyváží fakt, že levnější tisk nám zajistí i levnější náklady a s tím spojené další věci, jako například odpad při výrobě a zpracování. Dále nám levnější tisk dovoluje použít širší škálu substrátů, ať už flexibilních, nebo pevných. U těchto substrátů hledíme na vlastnosti, které nám určují kvalitu substrátu, jako například stlačitelnost, pórovitost, hladkost, smáčivost. U past hledíme zase na jiné vlastnosti, a sice viskozitu, odpařování, sušení a tak dále. [2,3] Tištěná elektronika, která svůj největší rozmach zažívá od počátku 21. století., se čím dál víc dostává do hledáčku firem, které v ní vidí velký potenciál v podobě nízkonákladové elektroniky. Možnost tisku nízkonákladové flexibilní elektroniky lze výrazně využít například u ohebných displejů, inteligentních obalů, nebo například v oblasti fotovoltaických panelů. Tištěná elektronika by mohla být definována jako tisk elektronických zařízení na flexibilní substrát, též znám jako polymerní silná vrstva z anglického názvu polymer thick film (PTF).[4]

1.2 Základní informace o tištěné elektronice

Tištěná elektronika je nově vznikající odvětví, ve kterém vidíme efektivní kombinaci dvou dříve samostatných odvětví: polygrafického průmyslu a elektrotechnického průmyslu. To znamená, že konvenční metody tisku jsou integrované do výroby elektronických obvodů. Podle Mary Bellis *"tištěná elektronika otevírá dveře do budoucnosti elektronických inovací, které jsou lehké, pružné, a mohla by vzniknout z levných materiálů jako je papír nebo flexibilní film."* [5]

Elektrické funkční pasty jsou tištěny na různé druhy substrátů, které následně slouží k výrobě aktivních, či pasivních obvodů, tranzistorů, anebo odporů. [6] Pasivní komponenty jako jsou lineární a nelineární rezistory, kondenzátory, cívky atd., jsou základní součástí každého elektrického zařízení a zabírají poměrně významný prostor na povrchu desky plošného spoje. Současně jejich malá velikost může způsobovat problém při automatické montáži, nebo při kontrole kvality pájeného spoje. Technologie vkládání pasivních komponentů uvnitř vícevrstvé desky plošného spoje nám umožňuje překonat některé problémy spojené s high-end komponenty (produkt, který je jedním z nejdražších nebo pokročilejších v sortimentu firmy). V dnešní době se s trendem zmenšování komponentů výrobci začínají potýkat s čtenějšími problémy, jako je připojení, kontrola, manipulace a náklady spojené s tímto zařízením. Pasivní tištěná elektronika nám zajišťuje spolehlivější eliminaci pájených spojů a zlepšují elektrický výkon a funkčnost elektrického zařízení. [7,8,9]

Ačkoliv tištěná pasivní elektronika má mnoho výhod, mohou zde vzniknout problémy spojené s prasklinami, rozvrstvením atd. Každá unikátní součástka tištěná na desku plošného spoje může požadovat rozdílné substráty, které poté mohou hrát roli například při tepelném či mechanickém namáhání a mohou zde nastat rozdílné koeficienty tepelné roztažnosti. Na rozdíl od diskretních součástek vadné tištěné rezistory nelze vyměnit, což má za následek to, že jeden chybný komponent může způsobit vyřazení celé desky. Z toho vyplývá, že dlouhodobá životnost a stabilita jsou hlavním cílem dnešních firem při implementaci této technologie. [9]

Koncept vkládání pasivních součástek mezi vnitřní vrstvy desky plošného spoje byl zaveden na konci šedesátých let minulého století. Na počátku sedmdesátých let se začaly používat NiP a NiCr vrstvy pro výrobu tenkých vrstev rezistorů. [7,8,10] Do současnosti byly

vyvinuty řady dalších materiálů, které jsou vhodné pro použití v této technologii. Firmy jako jsou CTS, OakMitsui, 3M se aktivně podílely na vývoji materiálů a součástek, které byly vhodné pro tuto technologii. Jako jejich nástupci v tomto oboru jsou firmy DuPont, Ohmega, Ticker, Sheldahl, Optomec.[11] Ale tato takzvaná embedding technology (technologie vkládáním) se stále používá v malém rozsahu, a to zejména v armádní elektronice a v kosmickém inženýrství. V současné době tato technologie zažívá největší rozmach a očekává se, že bude stěžejní pro technologii DPS.[12]

Předchozí výzkumy téměř výhradně studovaly buď tenké filmy, nebo pouze polymerní tlustovrstvé odpory. Kombinace tenkovrstvé a tlustovrstvé technologie umožňuje výrobu odporů v celém svém rozsahu. A dále umožňuje získat přesnou geometrii odporů s vysokou mírou miniaturizace díky tenkovrstvé technologii a zároveň také získat vysokou odolnost při vysoké toleranci za pomoci tlustovrstvé technologie (thick-film technology). Polymerové tlustovrstvé odpory, jak už z názvu napovídá, jsou odpory z polymerních odporových inkoustů, které jsou kompatibilní s různými základními materiály v DPS. Většinou jsou tyto materiály složeny z uhlíku (grafit, saze) nebo ze stříbra, které slouží jako plnivo ve směsi s polymerovou pryskyřicí s přídatnými rozpouštědly a zřed'ovadly, popřípadě se zde může vyskytnout i izolační práškové plnivo. Teplota vytvrzování PTF inkoustů pro desky plošných spojů by neměla být vyšší než 180 °C, ale někteří výrobci nabízejí pasty, které mají vytvrzovací teploty až 220 °C. [13]

1.3 Aplikace flexibilní elektroniky

Technologie tištěné elektroniky byla úspěšně implementována pro aplikaci typu membránové spínače, elektroluminiscenční lampy, biomedicíny a RFID antény. V období mezi lety 1980 a 1990 byla tištěná elektronika (PE) z anglického názvu „printed electronics“ založena na principu sítotisku. Tato technologie tvořila stavební kámen současných i nově vznikajících technologií. Polymerní tlusté vrstvy (PTF) z vodivých nebo dielektrických past byly úspěšně použity na vytvoření obvodů na plasty a flexibilní substráty právě pomocí sítotiskové techniky. PTF ve formě husté filmové pasty je vytištěn a poté se vytvrzuje při nízkých teplotách mezi -150 °C až 0 °C. [14]

Flexibilní obvody mohou být využity v mnoha různých oblastech, ať už jsou to konektory, kde je flexibilita velice důležitá například pro úsporu místa, nebo při výrobě, kde

jsme limitováni velikostí součástky, například u základních desek. Dále můžeme najít uplatnění flexibilních obvodů například v klávesnici nebo u LCD obrazovek, kde je sklo použito jako substrát, ale může být snadno nahrazeno právě flexibilním plastem nebo kovem namísto skla. Nejvíce flexibilních obvodů tvoří pasivní propojovací struktury, které jsou využívány k propojení elektrických součástek, jako jsou kondenzátory, integrované obvody, rezistory, někdy jsou využívány pouze k propojení jednotlivých sestav elektrických obvodů. Dále se tyto obvody nachází ve zdravotnických zařízeních, v automobilovém průmyslu, u solárních článků nebo u mobilních telefonů. [15]

Flexibilní elektronika v praxi. [15]

- Tištěný polymerový snímač teplot,
- Monitorovací náramky pro sledování tělesných funkcí,
- Ohebné fotovoltaické články,
- Tištěné baterie,
- OLED,
- Elektronické čtečky,
- Dotykové senzory,
- Flexibilní displej,

1.4 Vývoj flexibilní elektroniky

Flexibilní elektronika má dlouhou historii, její počátky se datují k roku 1970, kdy Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid a Hideki Shirakawa dostali Nobelovu cenu v oblasti chemie za vývoj vysoce vodivých polymerů. Kolem roku 1980 byly vyrobeny první solární články na flexibilním podkladu. První flexibilní TFT (tenkovrstvý tranzistor) byl vyroben v roce 1968. Roku 1980 byl v Japonsku sestaven první displej na vodní bázi tekutých krystalů s aktivní maticí. V roce 1996 byl zkonstruován první TFT na bázi hydrogenovaného amorfního křemíku. A v roce 1997 byly TFT na bázi polykrystalického křemíku nanášeny na flexibilní polymerní substrát pomocí laserového žihání. V roce 2005 zhotovila firma Samsung první 7“ palcový flexibilní LCD a v roce 2013 byl vyvinut zcela nový materiál, který je díky kombinaci polyuretanu s nanočásticemi zlata extrémně flexibilní i vysoce vodivý. [16,17] Další fází u vývoje této elektroniky bude zvyšování její flexibility, která dále umožní zmenšit velikost a současně také navýšit použitelnost nových materiálů. V nedávné době dosahovaly počítače nebo mobilní telefony enormních rozměrů, vývoj v segmentu této elektroniky jde tak

rychle dopředu, že již dnes máme například ohebné displeje. Dalším příkladem přímé aplikace flexibilní elektroniky je kreditní karta, která odolává tlaku i ohnutí, a přitom je stále zcela funkční. V dnešní době je hlavním kladem této flexibilní elektroniky velký tržní potenciál, již zmíněná ohebnost, elasticita a nízká hmotnost. [17]

1.5 Vývoj desek plošného spoje

První zmínky o deskách plošných spojů sahají do počátku 20. století, vynálezcem se stal roku 1903 Albert Hanson. Desky plošných spojů (DPS) ve 20. letech 20. století byly nejčastěji vyráběny z materiálů jako bakelit, vrstvené lepenky nebo jako tenká dřevěná prkna. Otvory byly vyvrtány do materiálu, poté byly ploché mosazné dráty přinýtovány nebo přišroubovány k desce. Tyto typy DPS byly použity v rádiích a gramofonech v roce 1920. Poté se do počátku 60. let hojně využívalo laminátů s použitím různých druhů pryskyřice smíchané s nejrůznějšími materiály, zde se však ještě jedná o jednostranné desky plošných spojů (obvod byl na jedné straně a součástky na druhé). Roku 1956 byl vyvinut postup, při kterém deska DPS měla měď na stěnách vrtaného otvoru, což dovolovalo osazení součástek z obou stran. Dále byla mosaz vyměněna za měď, protože měď má lepší schopnost vést elektrický proud. K prvnímu použití vícevrstevných desek plošných spojů došlo v USA v roce 1961. Obě tyto předešlé varianty mají označení jako „rigidní“ nebo-li tuhé, ale v dnešní době existují i DPS ohebné, takzvané pružné, a ohebné plošné spoje (flexibilní DPS), které, jak už z názvu vyplývá, mají tu vlastnost, že jsou ohebné, lze je aplikovat na nepájivou masku a jsou schopny opakovaných ohybů dosahujících 90 °. [18,19] V dnešní době je základním materiálem pro rigidní desky plošných spojů laminát ze skelné tkaniny sycený epoxidovou pryskyřicí, naopak u flexibilních desek (ohebných desek) tento koncept vypadá tak, že je pole vodičů, které jsou uspořádány na tenkém dielektrickém filmu.

Teplotní a mechanické vlastnosti ohebných DPS

Tyto ohebné desky se hodí do různých elektrických, teplotních a mechanických prostředí nebo do speciálních aplikací. Například pohyblivé připojení IR snímače, který pracuje při extrémně nízkých teplotách, k elektronice pracující při běžných teplotách, kde rozdíl kryogenní a normální teploty může dosahovat až 240 °C a tento rozdíl teplot spoj musí zvládnout. Pro minimalizaci vlivu rozdílných teplot a snížení tepelné vodivosti spoje se používá na vodivou vrstvu konstantan ve spojení se standardním polyamidovým filmem. Dále

může nastat problém, kdy spoje přechází z vakua do normálního prostředí a naopak, zde vzniká problém s vlhkostí a odplynováním. Musíme tedy použít jiné základní materiály s lepšími chemickými a mechanickými vlastnostmi, než má běžný polyamidový film. Tyto materiály jsou však dražší a náročnější na výrobu. [20]

2 Materiály pro flexibilní elektroniku

Tato kapitola bude zahrnovat základní používané materiály ve flexibilní a tištěné elektronice. První část bude zaměřena na elektricky aktivní součástky, následně se zaměří na materiály pro výrobu substrátů pro flexibilní elektroniku a tištěnou elektroniku. Poté bude shrnuta depozice funkčních past, typy materiálů a metody tisku, které jsou použité právě při tisku flexibilní elektroniky.

2.1 Organické materiály

Organické materiály nebyly dříve moc známé a spíše se využívaly jako tepelné nebo elektrické izolanty díky svým dobrým mechanickým a elektroizolačním vlastnostem. A až kolem roku 1980 se teprve začaly využívat pro vedení elektrického proudu. Tyto organické materiály se mohou dělit podle charakteru na vodiče, polovodiče, luminescenty, dielektrika, elektrochromní a zapouzdřovací materiály. Dále mohou být děleny podle jejich molekulární struktury. První skupinou jsou polymery, které se většinou vyskytují v podobě čistě amorfnní látky. Druhou skupinou jsou nízkomolekulární látky, které mají většinou krystalickou strukturu, v této skupině mají zastoupení monomery a oligomery. [21,22]

Nízkomolekulární látky [22] :

- **Oligoaceny,**

Tyto materiály se spíše využívaly v počátečních výroбах elektronických organických součástek.

- **Triarylaminy,**

Tento materiál se nejvíce využívá v organických světlo-emitujících diodách. Při výrobě těchto materiálů se využívá vakuová technika.

- **Fullereny,**

Tento materiál vykazuje vysokou supravodivost a připravuje se pyrolýzou organických sloučenin.

- **Oligomery a nízkomolekulární látky,**

Tyto látky mají tu vlastnost, že jejich vodivost zprostředkovávají jak elektrony, tak díry. Jejich nevýhodou je nestabilita na vzduchu.

- **Organo-metalické komplexy,**

Tyto kovové komplexy mají velkou část polovodičů typu N. Jejich využití nalezneme například ve fotovoltaice a například v OLED

- **Polyacetylen,**

U těchto látek se zlepšují vlastnosti například dopováním parami jódu pro zlepšení vodivosti. Nevýhodou této látky je její nestálost na vzduchu, a proto je četnost využití velmi malá.

- **Polyaniliny,**

Polyaniliny patří mezi nejstarší organické polymery. Tyto polymery vynikají dobrou stálostí při skladování.

- **Polythiofeny,**

Tyto polymery mají výborné fyzikální vlastnosti, naproti tomu jejich vodivost není tak velká na rozdíl od jiných organických polymerů.

2.2 Anorganické materiály

Mezi anorganické materiály patří mikrokrytalický křemík a transparentní vodivé oxidy.

- **Mikrokrytalický křemík**

Tenké vrstvy křemíku a oxidu křemičitého se připravují pyrolytickým rozkládáním silanu nebo jeho chlórovaných derivátů. Jestliže tento proces probíhá v inertní atmosféře, je produktem této rozkladné reakce křemík. Při přítomnosti kyslíku poté vzniká oxid křemičitý [23].

- **Transparentní oxidy**

Pro výrobu solárních článků nebo displejů jsou potřeba materiály, které jsou průhledné a zároveň elektricky aktivní. Tyto podmínky nejvíce splňují oxidy kovů. Nejrozšířenějším vodivým oxidem je cín dotovaný oxidem india (ITO). [17]

2.3 Substráty pro flexibilní elektroniku

Flexibilita substrátu je dána tuhostí, která vzniká v důsledku ohybu a je popsána vzorcem $D = (E \cdot t^3) / [12(1 - \nu^2)]$, kde „E“ je Youngův modul, „t“ je tloušťka substrátu a „ν“ je Poissonovo číslo. Tento substrát je náhradou za pevné a neohebné substráty a musí splňovat určité požadavky. [17]

- **Tepelné a termomechanické vlastnosti**

Zde se uvádí pracovní teplota substrátu při maximálním zatížení, při této teplotní zátěži však nesmí dojít k rozdílu hodnot teploty mezi filmem a substrátem, kdyby se tak stalo, došlo by k nevratnému poškození filmu.[17]

- **Optické vlastnosti**

Tyto vlastnosti jsou zejména potřebné pro LCD technologii, a to díky tomu, že elektroluminiscenční displeje potřebují opticky velmi jasný substrát.[17]

- **Drsnost a nerovnost povrchu**

Při nerovnosti povrchu u tenkovrstvých zařízení mohou být ovlivněny jejich elektrické vlastnosti. Proto se musíme do značné míry vyhýbat nerovnostem na krátké vzdálenosti a brát ohled na kvalitu malých a tenkovrstvých flexibilních zařízení.[17]

- **Chemické vlastnosti**

Flexibilní substráty by neměly samovolně uvolňovat nečistoty a měly by být chemicky neutrální. Nejvyšší kvalita substrátů jsou ty, které brání pronikání atmosférickým plynům.[17]

- **Mechanické vlastnosti**

Flexibilní substrát by měl mít vysokou pružnost a zároveň tvrdý povrch, který zajišťuje ochranu při nárazu či jiném mechanickém poškození.[17]

- **Elektrické a magnetické vlastnosti**

Zde může sloužit vodivost substrátu například jako elektromagnetické stínění. Magnetické substráty zase mohou sloužit jako upevnění při výrobě elektrických zařízení.[17]

2.3.1 Materiály pro flexibilní substrát

Flexibilní substráty mohou být rozděleny do tří větších skupin: tenkovrstvé skelné substráty, polymerní substráty a tenkovrstvé kovové substráty.

Sklo je nepoužívanějším materiálem pro substráty u panelů zobrazovací techniky. Tento skelný substrát se stává flexibilním, když jeho tloušťka klesne pod 100 μm . Další výhodou skelných substrátů je jejich vysoká optická propustnost, nízký dvojlom a nízký součinitel tepelné roztažnosti. Je nepropustný vůči vodě a kyslíku a je odolný vůči mnoha chemikáliím.[17]

Dalším materiálem pro výrobu substrátu je plast. Jeho největší výhodou je vysoká flexibilita, nízká cena a opět vysoká optická propustnost. Na rozdíl od skelného substrátu má tento substrát, nižší koeficient tepelné a rozměrové stálosti a je méně odolný vůči vodě a kyslíku.[17]

Kov je další materiál, který se využívá pro výrobu substrátů. Abychom docílili flexibility kovu, musí jeho tloušťka být menší než 125 μm . Nejpoužívanějším kovem je nerezová ocel, která dominuje nad ostatními kovy díky svým unikátním vlastnostem, jako je vysoká odolnost proti korozi, chemická odolnost, vysoká teplotní stálost a vysoká teplotní houževnatost. Další kov, který se používá jako substrát, je oxid hlinitý, tento substrát se vyznačuje vysokou tepelnou odolností a odolností vůči oděrům, mechanickou pevností a malými dielektrickými ztrátami. Další kov, který zde nachází své uplatnění, je oxid zirkoničitý. V porovnání s oxidem hlinitým má tento substrát vyšší mechanickou pevnost a stejně jako předchozí oxid i tento je vysoce odolný vůči oděrům. [17]

2.4 Substráty pro tištěnou elektroniku

Další klíčovou součástí každého prvku tištěné elektroniky je použití substrátu. Pro substráty jsou klíčovými vlastnostmi drsnost, pórovitost a povrchová energie. Pro většinu aplikací v tištěné elektronice je výhodné mít vhodné parametry substrátu jako hladkost, nízká

pórovitost a vysoká povrchová energie. Různé substráty, jako je papír a polymerní filmy (polyester, polyethylen a polyamid), mohou být použity pro grafické tištěné aplikace. Vysokou čistotou se vyznačují polymerní filmy. Tyto filmy splňují všechny požadavky pro tištěnou elektroniku, ale jejich hlavní nevýhodou je špatná tepelná stabilita a často vyžadují určité povrchové úpravy, ať už plazmové nebo korónové, tyto úpravy mají za následek zlepšení inkoustového zvlhčování a adhezivních vlastností. Papír je na druhé straně teplotně více stabilní a recyklovatelný a lze modifikovat jeho smáčecí a povrchové vlastnosti pomocí různých povlaků. Oba tyto substráty mají své výhody i nevýhody, v tabulce č. 1 můžete vidět jejich porovnání. [24,25]

Tab. 1 Porovnání papíru a polymerního filmu

	<i>Papír</i>	<i>Polymerní film</i>
<i>Mechanická odolnost</i>	<i>Nízká</i>	<i>Vysoká</i>
<i>Hladkost povrchu</i>	<i>Nízká</i>	<i>Velmi vysoká</i>
<i>Absorpce</i>	<i>Velmi vysoká</i>	<i>Nízká</i>
<i>Tvrдость</i>	<i>Vysoká</i>	<i>Nízká</i>
<i>Chemická stabilita</i>	<i>Nízká</i>	<i>Vysoká</i>

Ve specializovaných oborech tištěné elektroniky se zejména zaměřujeme na inkoustové (pastové) formulace. Materiály pro tyto účely volíme tak, abychom splňovali všechny požadavky pro daný proces tisku. Základními složkami jsou plnivo, pojivo a rozpouštědlo a dodatečné přísady.[26] Plnivo obvykle tvoří pigmenty, které odlišují grafickou pastu od funkční. U grafického inkoustu nám danou barvu mohou poskytnout pigmenty, zatímco u funkční pasty nám tuto funkci převezme funkční materiál.[27] Vodivé pasty, které mohou být na vodní bázi, se skládají z nosičů (voda nebo organické rozpouštědlo) a tyto nosiče určují základní vlastnosti barvy či rozpouštědla. Tyto pasty jsou smíchány pomocí nanočástic či prekurzováním kovových částic, které jsou vysoce vodivé (stříbro, měď, zinek, uhlík).[28,29,30]. Stříbro je nejrozšířenější vodivý materiál z důvodu jeho vysoké elektrické vodivosti, ale pro tyto účely můžeme do této kategorie zařadit i uhlík a měď.[31] Vodivost ať už jakékoliv směsi v podstatě záleží na procesu tisku, následných vysoušecích metodách a substrátu. Měřená vodivost je obecně analyzována z hlediska takzvaného „sheet resistance“. Ve zkratce by se dalo říci, že je definován jako:

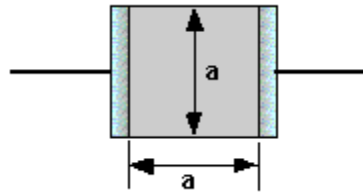
$$\rho = \frac{\rho'}{t}$$

Kde

ρ je rezistivita vrstvy;

t je tloušťka vrstvy

Sheet resistivity je obvykle vyjádřena jako Ohm / čtverec nebo Ω / \square .



Obr. 1 Sheet resistivity [převzato z (26)]

Zde vlastně můžeme vidět, že odpor čtvercové vodivé vrstvy je stejný bez ohledu na to, jakou velikost má.[32] Vodivost inkoustu do značné míry závisí na množství vodivého plniva, vloženého do inkoustu, velikosti částic plniva, podílu pojiva a kontinuitě tištěné vrstvy a v neposlední řadě sušení.[33] Kromě toho by jakýkoliv druh inkoustu měl být vysoce kompatibilní se substráty a měl by poskytovat dokonalou potiskovatelnost, stejně je to i u nevodivých inkoustů.[30]

2.5 Depozice funkčních past.

Metoda nanášení tlustých vrstev ať už vodivých či rezistivních je známa více než 40 let. Tato metoda nanášení vrstev na bázi inkoustové pasty byla přímo zhotovena pro rychle rostoucí trh s tištěnou elektronikou. V dnešní době jsme schopni nanášet rezistivní nebo vodivou pastu na obě strany substrátu. Dále tato technologie nabízí možnost pracovat při nízkých teplotách. Výhodou této technologie je zejména ušetření peněz, popřípadě životního prostředí. Dále je zde zvýšená spolehlivost komponentů a s touto technologií jde i ruku v ruce lehčí váha, lepší rozložení teplot v provozu. V dnešní době se tato technologie uplatňuje zejména v těchto oblastech:

- Dotykové membrány na klávesnici,
- Inteligentní štítky (RFID systém),
- Elektromagnetické stínění.

Tyto pasty obsahují tvrditelné syntetické pryskyřice, které na rozdíl od skleněných či keramických past mají nižší vytvrzovací teploty při vypalovacím procesu. Elektrické parametry v těchto pastách jsou stanoveny prostřednictvím různých aktivních složek. Polymerní pasty se většinou objevují u sítotisku, kde se nanášejí skrze otvory, a dále probíhá depozice na substrát. Zde už jsou parametry ovlivňující tisk, to je například rychlost stěrky, popřípadě síla přitlačení při stěru. [34,35,36].

2.6 Typy materiálů při rezistivní inkoustový tisk

V dnešní době se používá řada materiálů, pro vodivé i odporové inkousty, či pasty. Hlavními zástupci vodivých inkoustů, či past je zlato, nebo stříbro. V této části práce se však budeme zaměřovat na materiály a modifikace těchto materiálů pro rezistory, díky nimž dokážeme vyrobit odporové pasty a inkousty.

2.6.1 Formy uhlíku

- **Uhlík**

Uhlík je jeden z nejužitečnějších prvků, který lze využít v tištěné elektronice. Existují dvě formy uhlíku, a sice grafit a saze. Jednou z nejdůležitějších a nejpozoruhodnějších vlastností uhlíkové pasty je ta, že může být zpracována na různé hodnoty odporu. Tyto pasty jsou rozděleny do kategorií podle závislosti na použité pryskyřici, typu uhlíku a odporových vlastnostech. Dále mohou být kategorizovány podle jejich využití: tištěná elektronika, vodiče, nebo jako ochranný povlak pro jiné vodiče v elektronice. Další jeho nezměrná výhoda je taková, že odolává téměř jakýmkoliv plynům a kapalině a je snáze kompatibilnější, než například stříbro nebo jiné typy kovů, a nemá sklony k elektromigraci. Elektromigrace je postupný pohyb atomů v polovodiči. To nastane, když hustota proudu je dostatečně vysoká, aby způsobila posun iontů ve směru toku elektronů a je charakterizována hustotou toku iontů, vůči tomuto efektu je však uhlík "imunní" a díky této vlastnosti se uhlík spojuje například s vodiči, díky čemuž jsou poté vodiče stále v čase a chemicky odolné.[25,37,38,39]

- **Grafit**

Grafit je nerost, který je výhradně složen z uhlíku. Grafit má stejné chemické složení jako diamant, avšak molekulární struktura grafitu a diamantu je zcela odlišná. Grafit je poměrně běžný minerál, ale krystaly grafitu jsou poměrně vzácné.[40]

- **Grafen**

Grafen je další forma uhlíku s podobnou strukturou jako grafit, jeho hlavními atributy jsou vysoká hustota, tepelná vodivost, pružnost, vysoká tvrdost, možnost chemické interakce s jinými látkami. Tento materiál byl poprvé izolován v roce 2004 a jeho komercializace prudce vzrostla v posledních dvou letech.[41] Vlastnosti grafenu by se daly rozdělit do dvou

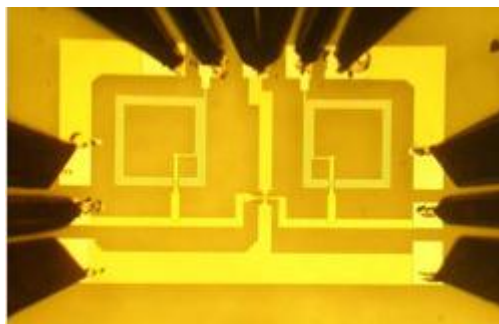
samostatných kategorií, jedna kategorie obsahuje elektrické vlastnosti a druhá mechanické vlastnosti.

Elektrické vlastnosti

Grafen se liší od ostatních konvenčních materiálů trojrozměrnou dimenzí. Atomy uhlíku mají celkem 6 elektronů, z nichž jsou 2 ve vnitřním plášti a 4 ve vnějším, tyto 4 elektrony jsou k dispozici pro chemickou vazbu. V grafenu je každý atom spojen s třemi dalšími atomy uhlíku na dvojrozměrné rovině, přičemž 1 elektron je vždy volně k dispozici ve třetí dimenzi pro elektrické vedení. Tyto vysoce pohyblivé elektrony se nazývají pí (π) elektrony.[43]

Mechanické vlastnosti

Jedna z vlastností grafenu, díky které se tak zásadně odlišuje od ostatních forem uhlíku je taková, že má enormní vlastní sílu. Vzhledem k síle jeho 0,142 Nm dlouhým uhlíkovým vazbám, je grafen považován za nejsilnější materiál, který byl objeven. Nejen, že je grafen mimořádně silný a elastický, je také velice lehký: 0,77 miligramů na čtvereční metr.[44]



Obr. 2 Grafénový integrovaný obvod [převzato z (42)]

Výhody kombinace grafen-uhlíkového inkoustu

Inkousty založené na grafenové podstatě nabízí vysokou vodivost, flexibilitu a nízkou teplotu vytvrzování, zároveň grafen není toxický a může být snadno rozptýlený v roztoku. Grafenové inkousty vytvářejí silný film, který nepraská, nedochází k delaminaci ani při opakovaném ohýbání. To umožňuje širokou škálu flexibilních aplikací, kde ohýbání ani skládání neporušuje tištěný obvod.[45] Nemusí však jít jen o inkousty na bázi grafenu, mohou být i inkousty na bázi stříbra, tento inkoust je také vysoce vodivý, taktéž i jeho oxidy jsou vysoce vodivé, a proto si dokáže udržet vysokou vodivost po dlouhou dobu. Nicméně inkousty na bázi stříbra vyžadují delší dobu vytvrzování při vyšších teplotách. Během spékání pojiva a stabilizačního činidla může v důsledku smršťování při těchto vysokých teplotách dojít k narušení (popraskání) stříbrného filmu a tím de facto poškodit vodivost. Následně mohou

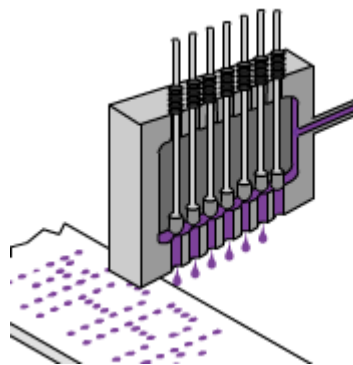
být i inkousty na bázi mědi, tyto inkousty jsou jakousi alternativou k stříbrnému inkoustu, jsou však levnější. V porovnání se stříbrnou bází má měděná báze nevýhodu v tom, že odpor je sice podobný stříbrnému, avšak oxid mědi má izolační charakter, což má za následek snížení vodivosti v průběhu času. Dále měděné inkousty potřebují vysokou teplotu při spékání, což omezuje jejich použití s tepelně citlivými substráty. [44,45] V neposlední řadě nesmíme opomenout uhlíkové nanotrubičky (CNT) z anglického názvu carbon nanotubes, tyto nanotrubičky mají opět vysokou vodivost, ale vykazují malou stabilitu disperze a jsou hůře zpracovatelné. Další nevýhoda CNT je její karcinogenní a toxická podstata. [45]

2.7 Metody tisku

Mnoho funkčních materiálů může být konstruováno pro tekutý stav inkoustu na výrobu elektroluminiscenční, polovodičové nebo kovové vrstvy s využitím tradičních metod tisku. Tiskařské procesy mohou být klasifikovány do dvou kategorií v závislosti na jejich pracovním principu. V jednom dochází k přímému styku substrátu a nosiče obrazu pod tlakem. Tento tisk obsahuje litografii, gumotisk, hlubotisk a sítotiskový proces. A u druhého principu se obraz nepřenáší přímým dotykem, ale přenáší se pomocí jiné techniky, například digitální tiskové techniky (inkoustové tiskárny, laserový tisk). Oba tyto postupy mají své vlastní odlišné výhody a nevýhody. [46] Dále se však budeme věnovat pouze bezdotykové depozici materiálu. Zejména pak Aerosol Jet Printing, jelikož tato technologie bude využita v praktické části této bakalářské práce pro přípravu vzorků tištěných rezistorů.

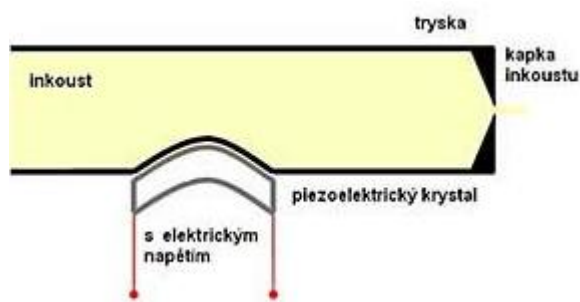
2.7.1 Inkoustový tisk (inkjet printing)

Tento tisk je druh tisku bez dopadu, takzvaný non-impact printing, který byl používán po celé desetiletí. Dříve se inkoustového tisku převážně využívalo v kancelářích, doma atd., dnes se však tisk mění z konvenčních tiskových procesů (hlubotisk) na inkoustový tisk s pokročilou technologií jako je flexibilita a rychlost tisku na substrát, kterým dříve bránila právě nepokročilá technologie v tomto oboru. V inkoustovém tisku jsou vytvořeny kapky inkoustu ze zásobníku a dochází k přímé interakci inkoustu se substrátem prostřednictvím tiskové hlavy. Existuje celá řada tiskařských technik inkoustu na substrát, ale nejčastěji se využívá právě technologie Drop on Demand (DOD). [47]



Obr. 3 Technologie Drop on Demand [převzato z (48)]

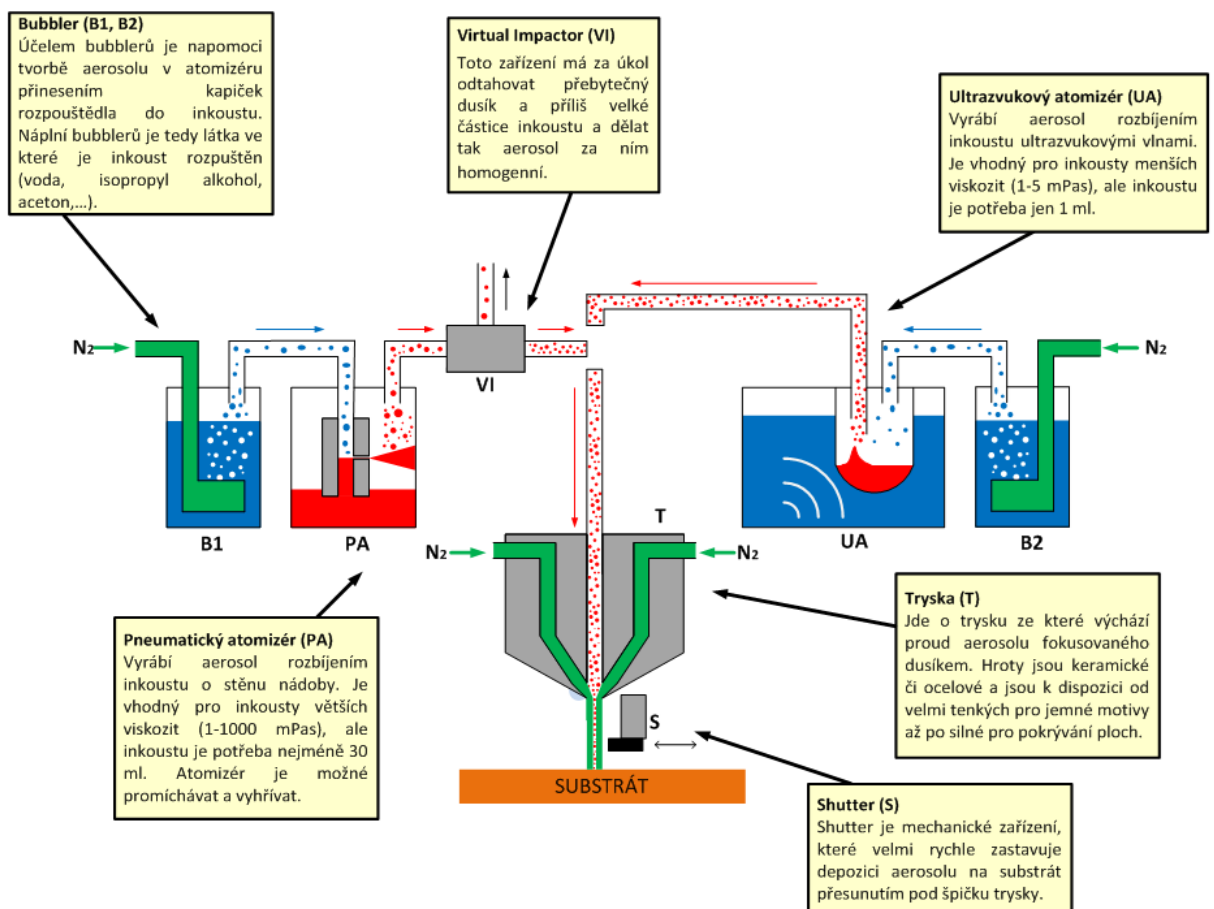
V takzvaném Drop on Demand tisku, v češtině bychom to mohli nazvat jako kapka na vyžádání, spočívá princip v bezkontaktním tisknutí, kde tato technologie obsahuje snímač a tryskovou hlavu. Ve chvíli, kdy snímač zaregistruje výrobek, spustí se tryskové pole na tiskové hlavě, které je ovládáno elektromagnetickým uzavíráním trysek. [49] V zásadě existují dva typy tisku, tepelný a piezoelektrický. Tepelný tisk je jednoduchá forma inkoustového tisku. Tento tisk obsahuje tiskovou hlavu s několika tryskami a ohřívacími komorami, které slouží k ohřevu inkoustu, v této komoře je inkoust uložen. Ohříváč se skládá z mnoha malých odporů, přes které prochází elektrický proud, což vede ke zvýšení teploty uvnitř komory. Tento nárůst teploty vytvoří jakési bubliny páry, které vytlačí inkoust skrz otvor. Dále se vytvoří podtlak, který způsobí proudění inkoustu ze zásobníku do komory, což způsobí "restart" celého systému. [49,50] Piezoelektrický tisk je další forma inkoustového tisku. Stejně jako u předchozího tisku zde opět máme jednotlivé trysky. Každá tryska má otvor a piezoelektrický materiál umístěn v zadní části zásobníku. Z důvodu bezpečnosti je membrána umístěna mezi piezoelektrický materiál a tiskovou hlavu. Při vzniku elektrického náboje se pružný piezoelektrický materiál a membrána ohýbají směrem dovnitř. To má za následek vytrysknutí inkoustu na substrát. Po odstranění elektrického náboje se piezoelektrický materiál ohne směrem ven. To má za následek vrácení inkoustu zpět do zásobníku a začíná tento proces od začátku. [50]



Obr. 4 Technologie Drop on Demand (Piezoelektrický tisk) [převzato z (51)]

2.7.2 Aerosol Jet Printing

Tato technologie přináší jedinečnou schopnost tisknout jemnou elektroniku, strukturální i biologické vzorky na téměř jakýkoliv substrát. Tento proces je zcela odlišný od inkoustové technologie, zde se využívá aerodynamického zaměření pro přesnou depozici. Tento proces začíná generátorem mlhy, který rozpraší výchozí materiál. Tento materiál je poté zaměřen pomocí naváděcího průtoku nanášející hlavy, která následně vytvoří prstencový tok aerosolního plynu. Tento tok má koaxiální charakter proudění a vystupuje z navádějící hlavy přes trysky, které směřují k podkladu, tyto trysky slouží k zaostření podkladu. Dále se substrát uchytí na desku, která je řízena počítačem. Když je vše potřebné splněno, může dojít k tepelné či chemické úpravě a tím lze dosáhnout konečných elektrických a mechanických vlastností a přilnavosti substrátu. Dále tato technologie nabízí depozici laserem, což umožňuje použití substrátů s nízkou teplotní tolerancí, jako jsou polymery. Konečným výsledkem je vysoce kvalitní tenký film s vynikající ostrotí okrajů. [52]



Obr. 5 Schéma systému AJP [převzato z (53)]

Výhody této technologie[52]:

- Nanomateriálová depozice,
- Nízká teplota zpracování,
- Mnoho materiálů a substrátů,
- Tenké depoziční vrstvy 100nm.

3 Odporové materiály pro flexibilní elektroniku

Tato část bakalářské práce se bude zaměřovat na výrobce odporových materiálů, kteří se pohybují na trhu po celém světě, a následně zde budou shrnuty rešeršní odporové materiály a jejich základní parametry.

3.1 Přehled výrobců na trhu

- **Optomec**

Tato firma se zabývá aditivní výrobou s unikátní 3D technologií tisku Aerosol Jet Printing. Firma byla založena v roce 1997 a do současné doby provedla stovky inovací, designů a produktů v oblastech jako je elektronika, energetika, protivzdušná obrana. Firma Optomec poskytuje jedinečné výhody oproti tradičním výrobním postupům a přináší konkrétní zaměření na klíčové oblasti použití rozvíjejícího se světa 3D tisku. [54]

- **Asahi Kogaku**

Celý název této firmy je Asahi Chemical Research Laboratory Co.,Ltd. Tato firma byla založena roku 1967. Firma se zabývá výrobou izolačních směsí, vodivými pastami a v malé míře i odporovými pastami, dále firma nabízí různé typy adheziv a různé snímatelné masky.[55]

- **Conductive compounds**

Tato firma už od roku 1994 poskytuje funkční inkousty, nátěry a sloučeniny po celém světě. Tato firma poskytuje výrobky v oblasti tištěné elektroniky, a to jak pro pevné, tak flexibilní obvody. Mezi její produktové řady patří vodivé inkousty vyrobené ze stříbra, uhlí, zlata či platiny, avšak i u této firmy jsme našli škálu odporových past, kterými se však firma výhradně nezabývá. [56]

- **Elektrapolymer**

Po více než dvě desetiletí byla firma Elektrapolymer lídrem ve vývoji pokročilých speciálních polymerních produktů pro globální DPS, membránové spínače a elektroluminiscenční lampy. Tato firma klade vysoký důraz na inovace a vývoj v oblastech

tištěné elektroniky, zabývá se výrobou polymerních směsí, její působnost spadá i do oblasti automobilové elektroniky či aplikací pasivních součástek. Pro zajímavost tato firma dodává své produkty například do BMW, Siemens, Ericsson, Nokia atd. [57]

- **Henkel**

Společnost Henkel nabízí na celém světě své přední značky a technologie ve třech oblastech: Laundry & Home Care (Prací a čisticí prostředky), Beauty Care a Adhesive Technologies (Lepidla a technologie). Společnost založená v roce 1876 zaujímá se svými celosvětově známými značkami jako Persil, Schwarzkopf a Loctite čelní tržní pozice jak v oblasti spotřebního zboží, tak zboží pro průmyslové aplikace. [58]

- **Acheson**

Tato firma byla založena roku 1908 a spadá pod firmu Henkel a je předním světovým poskytovatelem inovativních speciálních povlaků, barev a provozních mazadel či tištěné elektroniky, dále se zabývá i zařízeními pro aplikaci v letectví, lékařství, kovoobrábění a tlakovém lití. [59]

- **Method electronics**

Method Electronics je jedna z předních firem, která se zabývá vývojem v oblasti aplikačních specifických produktů s využitím nejmodernějších technologií. Od biometrické identifikace až po dotykové přepínače v dnešních přístrojích v automobilech. Tato firma má své sídla v Severní a Jižní Americe, Evropě a Asii, aby přinášela celkové obchodní řešení pro zákazníky po celém světě v těchto oblastech: uživatelská rozhraní, sensory a přepínače a napájení a tištěná elektronika. [60]

- **Lord**

Tato firma celým názvem LORD Ask Us How byla založena roku 1924. Firma se zabývá vývojem vysoce spolehlivých adheziv, nátěrů, zařízení pro řízení pohybu a snímání technologií, které významně snižují riziko poruch a zlepšují výkon produktu. Tato firma přináší dále inovace do oblasti protivzdušné obrany, letectví, automobilového průmyslu a jiná průmyslová řešení. Tato firma má pobočky ve více než 26 zemích. [61]

3.2 Rešerše odporových materiálů

Cílem této části práce je zpracování rešerše materiálů pro tištěné rezistory realizované na flexibilních substrátech.

3.2.1 Metodika zpracování rešerše

Metodika byla zvolena taková, že se oslovovali dané firmy, které ve svém portfoliu nabízely většinou vodivé pasty a v malé škále i odporové. Těmto firmám byl následně odeslán e-mail s prosbou o poskytnutí technických parametrů o daných materiálech a dále tento e-mail obsahoval dotaz na cenu a lhůtu dodání.

Kritérium pro výběr materiálu bylo nízkoteplotní zpracování do 200 °C a depozice tiskovými metodami.

Celkem bylo osloveno 12 firem, tyto firmy měly ve svém portfoliu zařazené odporové materiály pro tištěnou elektroniku.

3.2.2 Výsledné zpracování rešerše

Po odeslání daných e-mailů, jsem u některých firem čekal maximálně 3 dny, jiné firmy se neozvali doteď, některým firmám zrušily stránky viz. Electrapolymer. Nejlépe se spolupracovalo s firmou Conductive compounds, jež reagovala na e-maily během 2 dnů. Profesionální přístup byl také předveden firmou Methode electronics, jež zaslala jako jediná firma i ceník odporových materiálů, který byl opakovaně žádán u všech firem. Celkově bylo nalezeno 18 odporových materiálů, které jsou podrobně rozepsány v přehledné tabulce (viz příloha).

Nepodařilo se mi však zkompletovat veškeré informace o daných materiálech, u některých chybí viskozita materiálu, například u Conductive compounds, kde v tabulce technických parametrů viskozitu mají pouze u C-200 a C-774 viz příloha. A například u firmy LORD se v technických parametrech pod kolonkou solvent (rozpuštědlo) dočtete pouze unavailable (nedostupné) opět viz příloha.

3.3 Technické parametry odporových tiskových materiálů

Rezistivní inkousty mají řadu parametrů, které výrobci uvádějí u daného typu. Stěžejní parametry u těchto inkoustů jsou:

- Plošná rezistivita,
- Čas a vytvrzovací teplota,
- Použití,
- Doba sušení.
- Viskozita materiálu,
- Typ rozpouštědla.
- Skladovatelnost

Následují parametry, které se také mohou objevovat u daného typu materiálu, a však tyto parametry se za stěžejní nepovažují:

- Ekologické informace,
- Informace o toxicitě,
- Náhodné chyby při měření,
- Teplota vzplanutí,
- Poměr materiálů v kompozici,
- Rozsah odporů,
- Stabilita a reaktivita,
- Maximálně přípustná teplota,
- Cena.

4 Charakterizace tištěných odporů

Tato závěrečná část bakalářské práce se bude věnovat experimentálnímu měření základních elektrických parametrů na připravených odporových elementech.

4.1 Měření tištěných odporů

V této části bakalářské práce prakticky ověříme základní elektrické parametry na připravených odporových elementech. Tyto elementy byly tištěny pomocí aerosolové disperze a jako substrát zde byla použita PET fólie. Vzorků bylo celkem 9, první tři vzorky obsahovaly 4 vrstvy, následné tři vzorky obsahovaly 8 a poslední 12 vrstev.

4.1.1 Příprava tištěných rezistorů

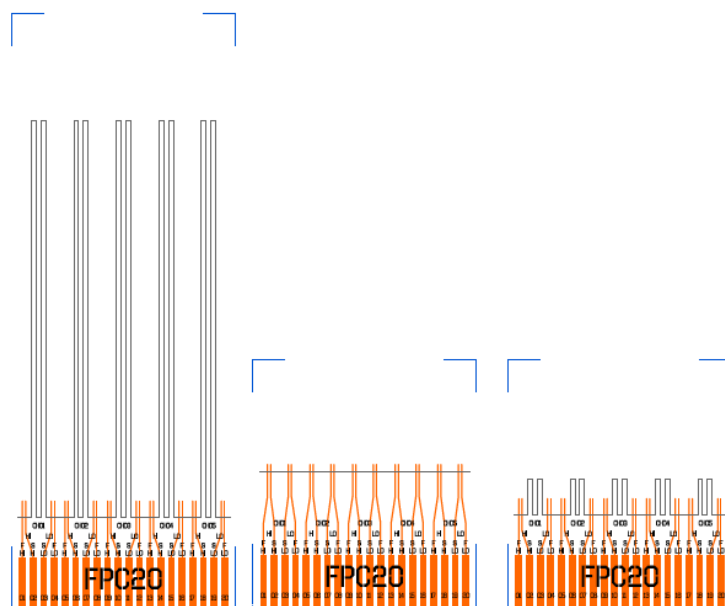
Tištěné rezistorové layouty, které byly předem zhotoveny z uhlíkových a stříbrných inkoustů pomocí AJP technologie a následně deponovány na PET substrát, jsme museli nejprve rozstříhat na 9 samostatných layoutů, každý tento layout jsme poté popsali čísly 4.1, 4.2, 4.3, 8.1, 8.2, 8.3, 12.1, 12.2, 12.3.

Tab. 2 Tabulka s označenými vzorky tištěných rezistorů

	Počet čtverců odporové dráhy	počet vrstev	počet odporových drah
4.1	10	4	5
4.2	100	4	5
4.3	1000	4	5
8.1	10	8	5
8.2	100	8	5
8.3	1000	8	5
12.1	10	12	5
12.2	100	12	5
12.3	1000	12	5

Koncept přípravy pro měření spočíval v tom, že byl nejprve navržen systém s kontaktními ploškami pro plošný konektor typu FPC s 20-ti kontaktními piny. Ve vodivém layoutu byly vyvedeny přírodní terminály pro 4-bodové připojení měřených odporových drah, vždy se samotným přívodem pro měřicí proud a snímací napětí na každém pólu rezistivní dráhy. 20-ti vývodová elektrodová struktura tedy umožňovala kontaktování 5-ti rezistivních drah. Následně byly s využitím těchto elektrodových struktur navrženy celkem 3

sady vzorků se stejnou šířkou odporové dráhy, ale odlišnými délkami, tzn. odlišným počtem čtverců. Zvoleny byly varianty pro 10, 100 a 1000 čtverců.



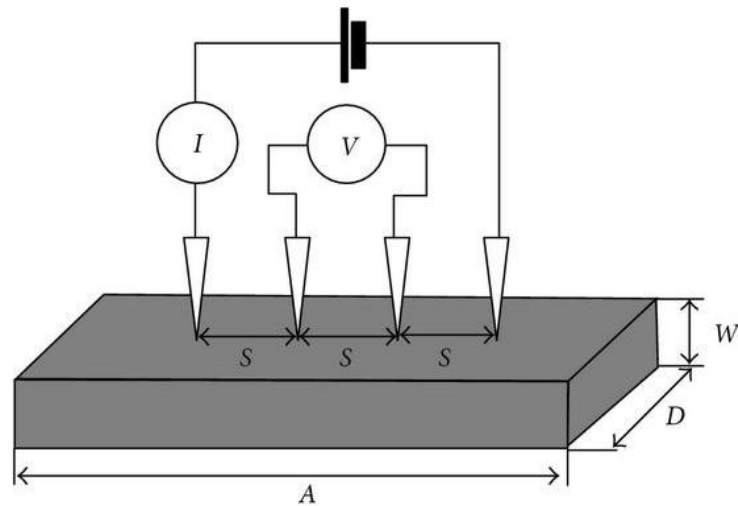
Obr. 3.1 Layouty připravené pomocí AJP technologie

4.1.2 Měřicí metoda

U toho měření byla použita 4-bodová metoda měření povrchové rezistivity namísto běžné 2-bodové metody z toho důvodu, že jsme díky 2 zásuvným oboustranným kartám byli schopni připojit 4 layouty najednou. Každý layout měl své označení na kartě 1-5 a 6 až 10 tyto karty byly následně připojeny do digitálního multimetru a jednotlivé piny na kartě (1-20,21-40) odpovídaly právě jednomu vývodu na layoutu a díky multiplexové kartě jsme tedy mohli zaznamenat 20 hodnot 4 rozdílných layoutů.

4.1.2.1 4 - bodová metoda

V této metodě je použita sonda se 4 vývody, které připojíme na daný vzorek. Sonda obsahuje svorky pro + (HI) a svorky pro - (LO), přičemž vnější svorky slouží pro přivedení proudu na vzorek a vnitřní slouží pro měření napětí na daném prvku, jejichž hodnoty se zanáší do multimetru skrze GPIB rozhraní a výsledné hodnoty se zobrazují na displeji počítače.



Měření povrchové rezistivity pomocí 4-bodové metody [převzato z (62)]

4.1.3 Postup

V první řadě jsme si museli navléci rukavice, aby při manipulaci se vzorky došlo k co možná nejčistšímu kontaktu mezi námi a tištěnými vzorky. Opatrně jsme je nastříhali dle stříhových značek na velikosti, odpovídající kontaktorům FPC, označili je danými čísly 4.1,4.2,8.2 až 12.3 (první čísla značila počet tištěných vrstev) a díky těmto kartám jsme prvky spojili s digitálním multiplexem. Poté jsme spustili na počítači program, který slouží právě k měření 4-bodové metody a výsledné hodnoty jsme poté exportovali do excelu.

4.1.4 Použité přístroje

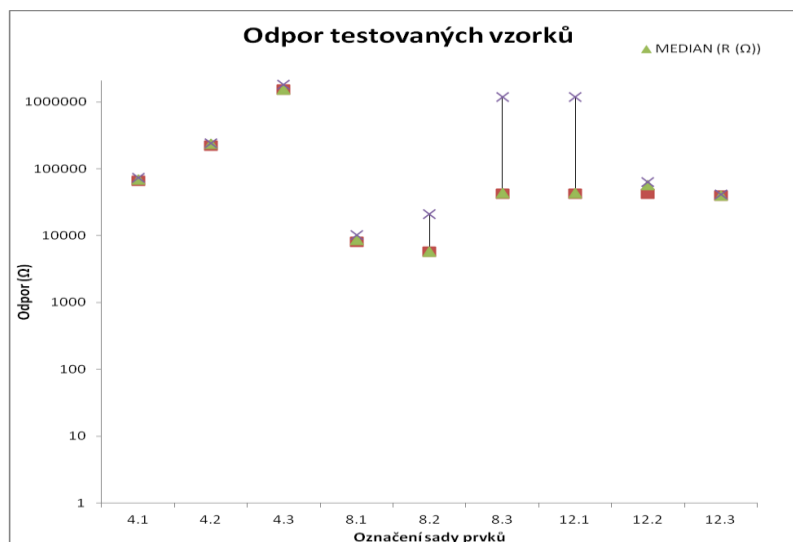
<i>Digitální multimetr Keithley 2700</i>
<i>Multiplexová karta Keithley 7702</i>
<i>Konektrová karta</i>

4.1.5 Diskuze výsledků

Tab. 2 Naměřené hodnoty layoutů s výslednými plošnými rezistivitami

Vzorky	Naměřené hodnoty odporů					Výsledný průměr hodnot odporu	Výsledný Rsheet
4.1	65954,84	69636,67	76217,17	73605,7	59037,79	68890,434	6889,044
4.2	260714,6	238182,3	243167,3	222951,8	220388,1	237080,82	2370,808
4.3	1529289	1471792	1818024	9,90E+37	1560698	1594950,75	1594,951
8.1	10185,34	8605,244	8442,166	7300,497	9,90E+37	8633,31175	863,3313
8.2	21197,61	5178,538	9,90E+37	5740,724	5779,292	9474,041	94,74042
8.3	1196939	43090,45	9,90E+37	41076,15	42813,89	330979,8725	330,9798
12.1	1196939	43090,45	9,90E+37	41076,15	42813,89	330979,8725	33097,98
12.2	1358,501	77538,02	58359,45	56232,29	9,90E+37	48372,06525	483,7206
12.3	42352,51	38922,36	41600,61	39346,88	39779,21	40100,24	40,40031

Podle teoretických předpokladů by hodnoty odporů měly stoupat dekadicky, dle poměru počtu čtverců, které byly dány. Pro vzorky s označením 1, byl počet čtverců 10, pro vzorky s označením 2 byl počet čtverců 100 a pro vzorky s označením 3, byl počet čtverců 1000. Hodnoty v zeleném rámečku jsou průměry jednotlivých sad layoutů vydělené počtem čtverců.



Obr 3 Výstupní naměřené hodnoty zanesené do excelu

Při pohledu na obrázek vidíme, že dekadický růst jsme zaznamenali pouze u první sady tištěných vzorků. Zbylé dvě sady vůbec neodpovídají geometrickému předpokladu, tzn. nenarůstá jejich hodnota. Tyto odchylky mohl způsobit dodatečný sériový kontaktní odpor na

rozhraní vodivých elektrod a odporového materiálu, který nám způsobuje relativně vyšší hodnotu R_{sheet} pro kratší odporové dráhy (tzn. přidaná chyba tohoto sériového odporu je relativně vyšší než pro delší dráhy), nebo výrazná variabilita geometrie vodivých drah. Již z letmé vizuální kontroly vzorků byla patrná relativně vysoká četnost kapkovitých shluků odporového materiálu, které lokálně podstatně zvětšují šířku dráhy a dá se rovněž předpokládat vyšší tloušťka. Takováto místa v odporové dráze tedy představují "ostrůvky" s podstatně větším průřezem, tzn. nižším odporem. V náhradním elektrickém schématu je tedy celá dráha tvořena segmenty, které reprezentují skutečnou návrhovou geometrii s odpovídajícím plošným odporem, v sérii s těmito nízkoodporovými "ostrůvkami". Tento efekt nám tedy snižuje celkový specifický odpor dráhy oproti návrhu, což se naopak relativně více projevuje u nejdelších drah. Dále odchylky mohly nastat při neopatrné manipulaci, kdy se s jednotlivými vzorky manipulovalo ručně a při neopatrném zacházení mohlo dojít k dotyku prstů s tištěnými drahami, což výrazně ovlivní celkovou hodnotu odporu. Dále se nepracovalo v bezprašném prostředí, což mohlo mít také možný vliv na celkový výsledek, a v neposlední řadě zde svůj faktor mohla hrát i vlhkost vzduchu.

Pro celkové zlepšení této metody měření bych doporučoval layouty předem nastříhané, například pomocí řezačky na plasty namísto nůžek, kdy opakovaně docházelo k nezaviněným dotykům s tištěnou plochou

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení s odvětvím flexibilní a tištěné elektroniky. První část této práce byla zaměřena na základní informace o tištěné a flexibilní elektronice. Tyto obory elektroniky jsou poměrně v raném začátku a můžeme tedy předpokládat jejich další vývoj a nové inovace v následujících letech. V další části jsem se zaměřil na oblast použití flexibilní a tištěné elektroniky. Zde opět můžeme vidět, že flexibilní a tištěná elektronika bude v nejbližších letech konkurence schopná právě díky svým nezměrným výhodám, které dnešní elektronika nemá, jako je pružnost ohebnost a elasticita a nízké náklady na výrobu. Další část práce seznamuje s vývojem flexibilní elektroniky, kde je představena chronologická cesta flexibilní elektroniky od počátků až do současnosti. Následuje vývoj desek plošného spoje, kde budete seznámeni s prvními jednostrannými rigidními deskami plošných spojů, následně vám budou představeny oboustranné desky a ve finální fázi této kapitoly vám budou představeny flexibilní desky plošných spojů.

Další kapitola byla zaměřena na materiály pro flexibilní elektroniku, kde se nejprve představily organické a anorganické materiály, které se využívají ve flexibilní elektronice, následně byly představeny materiály pro flexibilní a tištěné substráty. A poté se začala práce více zužovat na dané téma bakalářské práce, kde jsme byli nejdříve seznámeni s depozicí funkčních past a jejím stručným vývojem až do současnosti, dále jsme se zde dozvěděli oblasti, kde má tato technologie své uplatnění a dále jsme se zde mohli dočíst stručné porovnání různých typů past. V další části této kapitoly jsme dočetli o typech materiálů pro výrobu vodivých i nevodivých past, kde jsme se poté zaměřili pouze na materiály pro výrobu rezistivních materiálů. V poslední části této kapitoly jsme se dočetli o metodách tisku, kde byl opět stručně shrnut vývoj metod tisku od tradičních metod, kdy dochází k přímému styku substrátu a nosiče obrazu pod tlakem, až po princip, kdy nedochází k přímému dotyku a obraz se přenáší pomocí jiné techniky. Na konci této části se poté dočteme o dvou metodách bezodpadového tisku, a sice o inkoustovém tisku a aerosolové metodě tisku. Druhá jmenovaná metoda byla poté použita při praktickém měření charakteristiky tištěných odporů.

Třetí kapitola se zabývala výrobci odporových materiálů, kde jsme si mohli všimnout, že firem, které nabízejí odporové materiály, není mnoho, řádově jednotky, to je způsobeno především raným vývojem flexibilní a tištěné elektroniky, přičemž hlavní problém byl ve

shánění dat od daných výrobců, kde občas prodlevy mezi komunikací byly řádově týdny. Poslední část poté byla zaměřena na technické parametry, které výrobci uvádějí u daného typu materiálu, kde opět byly problémy se sháněním dat do rešeršní práce s odporovými materiály pro flexibilní elektroniku. Některá potřebná data nebyla k dohledání a někteří výrobci nereagovali ani na opakované tázání na zaslání potřebných základních dat.

Čtvrtá a poslední část práce byla ryze praktická, byly zde ověřovány základní elektrické parametry na experimentálně připravených odporových elementech. K dispozici byly 3 sady odporových elementů a každá sada obsahovala 3 odporové prvky. Tyto sady měly rozdílný počet tištěných vrstev: 4, 8 a 12. Při tomto měření jsme si měli ověřit teoretické předpoklady chování odporových elementů v závislosti na dekadickém počtu čtverců a rozdílných délkách drah. Z měřených sad se hodnoty reálně jevily pouze u sady 4, kde skutečně hodnota odporů dekadicky stoupala. Zbylé dvě sady se ani z daleka nepřibližovaly teoretickým předpokladům. Tyto odchylky mohly vzniknout při neopatrné manipulaci, chybné depozici nebo dodatečným sériovým kontaktním odporem na rozhraní vodivých elektrod a odporového materiálu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TSUNG-CHING, Huang. *What is flexible electronics* [online]. [cit. 2013-5-12].
- [2] EMERSON, NEFF, Joel. Investigation of the Effects of Process on Performnace of Gravure Printed ITO on Flexible Substrate.2009.
- [3] T C Jewell, E, Davies, G and Vigne, The Effect of speed and Viscosity on Line Quality in Rotogravure Printing with Reference to Printed Electronics. Porvoo, Finland : IARIGAI's 32nd International Research Conference on Digitalization and Print Media. Gravure Printability of Conducting Polymer Inks. 2005.
- [4] Scott E. Gordon, Jay R. Dorfman, Daniel Kirk, Kerry Adams. Advances in Conductive Inks across Multiple Applications and Deposition. DuPont Microcircuit Materials. 2011
- [5] Bellis, Mary. Printed Electronics. Dostupné také z: about.com.
- [6] Overview of flexible electronics from ITRI's viewpoint. Dostupné také z ieeexplore.ieee.org
- [7] Jillek W Yung WKC. Preliminary assessment of the stability of thin- and polymer thick-film resistors embedded into printed wiring boards.Materials and construction of resistors. Dostupné také z:
http://www.researchgate.net/profile/Andrzej_Dziedzic/publication/256815556_Preliminary_assessment_of_the_stability_of_thin-_and_polymer_thick-film_resistors_embedded_into_printed_wiring_boards/links/0046352daf3ef07b88000000.pdf
- [8] O'Reilly S, Duffy M, O'Donnell T, McCluskey P, Ó Mathúna SC. Integrated passives in advanced printed wiring boards. Circuit World. 2001
- [9] Bruce Mahler. The design and use of NiP embedded thin-film resistive materials for series and parallel termination. 2011
- [10] Brandler D. The performance of embedded resistors by alloy type and film thickness
- [11] La L, Sun R, Zhao T, Zeng XL, YU S. Processing technology of embedded thin-film resistor materials. 2011.
- [12] Harvey Miller. How embedded passives will re-invent electronic manufacturing, create new component markets and destroy old ones. 2011.
- [13] Dziedzic A. Carbon/polyesterimide thick-film resistive composites – experimental characterization and theoretical analysis of physicochemical, electrical and stability properties.2007.
- [14] Gordon, Scott E., Jay R. Dorfman, Daniel Kirk, and Kerry Adams. "Advances in Conductive Inks across Multiple Applications and Deposition Platforms."DuPont Microcircuit Materials.2011.
- [15] Flexible electronics. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-06-05]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Flexible_electronics.
- [16] Printed electronics. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-06-05]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Printed_electronics
- [17] WONG, William S.; SALLEO, Alberto. Flexible Electronics: Materials and Applications. 2009.
- [18] Plošné spoje: obecné informace. 2009. Dostupné také z <http://www.a3.cz/plosne-spoje-informace.php>
- [19] The History of the PCB: PCB Fabrication of the Printed Wiring Board - A Brief History:.. 2015

- [20] Co jsou ohebné plošné spoje a k čemu se hodí: Teplotní a mechanické vlastnosti. [cit. 2006-02-9].
- [21] SVOBODA, Václav. Současný stav vývoje v oblasti organické elektroniky. Plzeň 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření. [cit. 2015-05-27]
- [22] DŽUGAN, Tomáš. Senzory par a plynů na bázi ftalocyaninů. Plzeň 2012. Dizertační práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření. [cit. 2015-05-27].
- [23] EKRT, Ondřej. Technologie a vlastnosti tenkých vrstev, tenkovrstvé sensor. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [cit. 2015-05-27].
- [24] Mahajan, Abhinay. "Master's Thesis." "The Impact of Humidity and Temperature on the Performance of Printed Conductive Inks. Kalamazoo. 2008.
- [25] Kattumenu, Ramesh Chandra. "PhD Dissertation." "Flexography Printing of Silver Based Conductive Inks on Packaging Substrates Kalamazoo. 2008.
- [26] Laden, P. Chemistry and Technology of Water Based Inks
- [27] Laden, P. Chemistry and Technology of Water Based Inks. 1st ed. London: Blackie Academic & Professional. 1997.
- [28] Shlomo Magdassi. "Ink requirements and formulations guidelines". 2010.
- [29] Kamyshny, Alexander, Joachim Steinke, and Shlomo Magdassi. "Metal-based Inkjet Inks for Printed Electronics." "The Open Applied Physics Journal. 2011.
- [30] Hrehorova, Erika, Marian Rebros, Alexandra Pekarovicova, Bradley Bauin, Amrith Ranganathan, Sean Garner, Gary Merz, John Tosch, and Robert Baudreau. "Gravure Printing of Conductive Ink on Glass Substrates for Application in Printed Electronics." Journal of Display Technology, 2011
- [31] Scott E. Gordon, Jay R. Dorfman, Daniel Kirk, Kerry Adams. Advances in Conductive Inks across Multiple Applications and Deposition, DuPont Microcircuit Materials, 2011
- [32] Base resistance: Sheet Resistivity. Dostupné také z <http://www.pveducation.org/pvcdrom/design/sheet-resistivity>
- [33] Joshi, Sagar. Evaluation of Silver/Graphite Ink Blend for Use in Printed Electronics, 2011.
- [34] Printed Electronics, including Polymer Thick. Polymer thick film. 2014.
- [35] Conductive & Resistive Inks. Sensors & Switches: Conductive & Resistive Inks. 2014.
- [36] LUNIAK, Marco a Klaus-Jiirgen WOLTER. New Developments for highest integration density in Polymer Thick-film Technology. 2005
- [37] Gurner, George. Carbon nanonets spark new electronics. 2007.
- [38] Sankir, Nurdan Demirci. Flexible Electronics: Materials and Device. 2005.
- [39] ELEKTROMIGRACE. 2011. Dostupné také z <http://encyklopedie.vseved.cz/elektromigrace>
- [40] The Mineral Graphite: Complete Information Guide to Rocks, Minerals, & Gemstone. Dostupné také z <http://www.minerals.net/mineral/graphite.aspx>
- [41] SPASENOVIC, Marco. Graphen for printed electronics. 2014.
- [42] JEŽEK, David. HW novinky: Grafenový integrovaný obvod v podání IBM. 8.7.2011
- [43] Neff, Joel Emerson. "Master's Thesis." "Investigation of the Effects of Process Parameters on Performance of Gravure Printed ITO on Flexible Substrates. 2009.
- [44] "Vor-ink™ Conductive Graphene Inks and Coatings." 2014. Dostupné také z <http://vorbeck.com/products/vor-ink>
- [45] Kamyshny, Alexander, Joachim Steinke, and Shlomo Magdassi. "Metal-based Inkjet Inks for Printed Electronics." "The Open Applied Physics Journal. 2011.

- [46] Joshi, Sagar. Evaluation of Silver/Graphite Ink Blend for Use in Printed Electronics. 2011.
- [47] Alexander Kamyshny, Joachim Steinke and Shlomo Magdassi. Metal-based Inkjet Inks for Printed Electronics. INKS BASED ON METAL COMPLEXES, SALTS AND ORGANO-METALLIC PRECURSORS: PREPARATION AND PROCESSING. 2011. Dostupné také z: http://www.academia.edu/9787670/Metal-based_Inkjet_Inks_for_Printed_Electronics
- [48] ONDRÁŠEK INK - JET SYSTEM spol. s r.o. Technologie DOD. Dostupné také z: <http://www.ondrasek.cz/technologie/dod/>
- [49] SCHOVANEC, Ivo. Inkoustový tisk velkých znaků: Na jakém principu funguje tato inkjetová technologie - DOD (Drop on Demand). 2012, s. 1
- [50] Hila, Mohamed. Understanding and development of Manufacturable Screen Printed Contacts on High Resistnce Emitter for Low Cost Silicon Solar cell. 2005.
- [51] <http://www.fotoaparát.cz/images/0104/010490.jpg>
- [52] Printed electronics. Aerosol Jet Technology. <http://www.optomec.com/additive-manufacturing/printed-electronics/aerosol-jet-technology/>
- [53] <http://www.hw.cz/trendy/aerosol-jet-printing-aneb-kdyz-tranzistor-prochazi-tryskou.html>
- [54] Company Overview. Optomec.
- [55] Asahi Chemical Research Laboratory Co.,Ltd. Company profile.
- [56] Conductive compounds, Company profile.
- [57] ElectraPolymer, company profile
- [58] Henkel, company profile
- [59] Acheson, company profile
- [60] Methode electronics, INC., About Methode
- [61] Lord Ask Us How, about LORD
- [62] Deposition of PEDOT. Schematic diagram of test circuit for measuring bar specimen resistivity with the four-point probe method.

Přílohy

Název firmy	Název	Plošná rezistivita	čas a vytvrzovací teplota	Skladovatelnost
Asahi Kagaku	TU-○○-8	x	x	x
	BTU-○○-10	x	x	x
Conductive compounds	C-200	< 50 Ω/sq/25 μm	5 min.130 °C	6 měsíců
	C-740	<75 Ω/sq/25 μm	5 min.130 °C	6 měsíců
	C-774	< 50 Ω/sq/25 μm	10-15min. 140 °C	6 měsíců
Elektrapolymer	ED9000	x	30min. 100 °C	6 měsíců
Henkel(Acheson)	LOCTITE M 2013RS MOD2	5Ω/sq/25 μm	x	12 měsíců
	MINICO 3000 series	10,000Ω/sq/25 μm	30min.120 °C	12 měsíců
	Electrodag™ PM-404	50Ω/sq/25 μm	15min.120 °C	12 měsíců
	LOCTITE M 2016RS E&C	>5 x 105 Ω/sq/25 μm	5-10min.120°C	12 měsíců
Methode electronis	Ink #3800 series			
	3801 nebo 3804	3000Ω/sq/25 μm	x	x
Lord	8600 Serie Polymer resistor composition			
	8601	0,9-1,1Ω/sq/25 μm	5-10min120-150°C	12 měsíců
	8611	9-11Ω/sq/25 μm	5-10min120-150°C	12 měsíců
	8621	90-110Ω/sq/25 μm	5-10min120-150°C	12 měsíců
	8631	900-1100Ω/sq/25 μm	5-10min120-150°C	12 měsíců
	8641	9k-11kΩ/sq/25 μm	5-10min120-150°C	12 měsíců
	8651	90k-110kΩ/sq/25 μm	5-10min120-150°C	12 měsíců
	8661	900k-1.1MΩ/sq/25 μm	5-10min120-150°C	12 měsíců

Příloha 1 : Výstupní materiály od daných firem včetně technických parametrů

Název firmy	Použití	aplikační technologie	viskozita materiálu (25 °C)	typ rozpouštědla
Asahi Kagaku	x	AJP(Aerosol Jet printing)	x	x
	x	AJP(Aerosol Jet printing)	x	x
Conductive compounds	Flexibilní obvody, membránové spínače	sítotisk	40 cps	Nerozpustný ve vodě
	Flexibilní obvody	sítotisk	x	Nerozpustný ve vodě
	Flexibilní obvody, membránové spínače	sítotisk	22 cps	Nerozpustný ve vodě
Elektrapolymer	Polyamidové, polycarbonové substráty	x	x	x
Henkel(Acheson)	Tisk potenciometrů, odporů na DPS	x	x	x
	Tištěné rezistory	x	x	x
	Tištěné rezistory	x	x	x
	Tištěné rezistory, potenciometry	x	x	x
Methode electronis	piezo tiskováhlava	Pizeo Inkjet printing	6.0 cps	x
Lord	Tištění na flexibilní substráty	AJP(Aerosol Jet printing)	20-40 cps	x
	Tištění na flexibilní substráty	AJP(Aerosol Jet printing)	20-40 cps	x
	Tištění na flexibilní substráty	AJP(Aerosol Jet printing)	20-40 cps	x
	Tištění na flexibilní substráty	AJP(Aerosol Jet printing)	20-40 cps	x
	Tištění na flexibilní substráty	AJP(Aerosol Jet printing)	20-40 cps	x
	Tištění na flexibilní substráty	AJP(Aerosol Jet printing)	20-40 cps	x
	Tištění na flexibilní substráty	AJP(Aerosol Jet printing)	20-40 cps	x

Příloha 2 : Výstupní materiály od daných firem včetně technických parametrů



**Conductive Inks & Substrates
May 1, 2015**

Part	Package	Price
Conductive Inks		
9101 or 9102	10 ml Cartridge	\$ 300.00
9101 or 9102	10 ml Container	\$ 250.00
9101 or 9102	25 ml Container	\$ 450.00
9101 or 9102	50 ml Container	\$ 750.00
9101 or 9102	100 ml Container	\$ 1200.00
9101 or 9102	500 ml Container	\$ 5,250.00
9101 or 9102	1000 ml Container	\$10,000.00
9103 or 9104	10 ml Container	\$ 275.00
9103 or 9104	25 ml Container	\$ 500.00
9103 or 9104	50 ml Container	\$ 800.00
9103 or 9104	100 ml Container	\$ 1300.00
9103 or 9104	500 ml Container	\$ 5,500.00
9103 or 9104	1000 ml Container	\$10,250.00
Resistive Inks		
3801 or 3804	10 ml Cartridge	\$ 50.00
3801 or 3804	25 ml Container	\$ 65.00
3801 or 3804	50 ml Container	\$ 125.00
3801 or 3804	100 ml Container	\$ 200.00
3801 or 3804	250 ml Container	\$ 450.00
3801 or 3804	500 ml Container	\$ 750.00
3801 or 3804	1000 ml Container	\$ 1250.00
9101INKKIT-04	One Pack of coated premium paper – 25 sheets	\$ 30.00
9101INKKIT-08	One Pack of coated clear polyester – 10 sheets	\$ 35.00
9101INKKIT-10	One Pack of coated opaque polyester – 10 sheets	\$ 35.00
9101INKKIT-12	One Pack of coated white polyester – 10 sheets	\$ 30.00
Cleaning Solution	100 ml bottle	\$ 20.00

*Prices valid for 30 Days – Minimum Order \$250.00

**Shipment Five Business Days on Ink & Substrate Orders

Terms: Credit Card or Wire Transfer – NET 30 Days with prior Credit Approval – EX Works Methode

Příloha 3 : Ceník induktivních a rezistivních inkoustů od firmy Methode Electronics