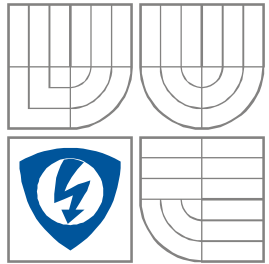


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍ ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ

TECHNOLOGIES USING ORGANIC MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

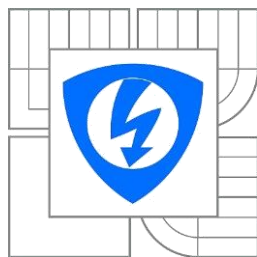
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ GALBIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROMÍR HUBÁLEK, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Bc. Tomáš Galbička

ID: 121020

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Technologie využívající organických materiálů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte moderní flexibilní materiály a technologie pro organickou elektroniku včetně dostupných komerčních systémů a navrhnete hybridní systémy, které by se skládaly jak z organických prvků, tak ze standardních SMD. Popište možnosti využití různých technologií, navrhnete postupy realizace. Vybraný postup, vhodný k využití v našich podmínkách, realizujte do podoby demonstrátoru. Provedte zkoušky spolehlivosti SMD prvků v systému na organické desce. Cílem je v maximální možné míře využít organické materiály.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 29.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Hubálek, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Zadanie

Naštudujte moderné materiály a technológie pre organickú elektroniku vrátane dostupných komerčných systémov a navrhните hybridné systémy, ktoré by sa skladali z organických prvkov, tak aj zo štandardných SMD. Popíšte možnosti využitia rôznych technológií, navrhните postupy realizácie. Vybraný postup, vhodný k použitiu v našich podmienkach, realizujte do podoby demonštrátora. Spravte skúšky spoľahlivosti SMD prvkov v systéme na organickej doske. Cieľom je v maximálnej možnej miere využiť organické materiály.

Abstrakt

V diplomovej práci sú zhrnuté niektoré základné organické materiály pre výrobu organických súčiastok a ohybných substrátov. Predstavené dva typy organických materiálov PPV a PFV a ich deriváty, ktoré upravujú vlastnosti ich výsledných štruktúr v oblasti elektrických, optických, chemických a tepelných parametroch. Je navrhnutý a vyrobený systém pre mechanické testovanie lepených SMD prvkov na flexibilnej doske plošných spojov a porovnané rôzne vodivé lepidlá.

Kľúčové slová

Organické polovodiče, ohybný substrát, vodivé lepidlo, ohýbanie, OLED, PPV, PFV, syntéza, excitón, deriváty, polymér, kopolyméry

Abstract

There are summarized some of the basic organic materials for produce of organic parts. Two types of these materials are introduced PPV and PFV and their derivatives, which tuning their resulting properties in area of electrical, optical, chemical, and thermal parameters. There is designed and created system for mechanical bending of adhesive SMD devies on flexible printed circuit board and compared properties of some conducting adhesives.

Keywords

Organic semiconductors, flexible substrate, conducting adhesive, bending, OLED, PPV, PFV, synthesis, exciton, derivatives, polymer, copolymers

Bibliografická citácia

GALBIČKA, T. *Technologie využívající organických materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 52 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaromír Hubálek, Ph.D.

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému **Technológie využívajúce organické materiály** som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zoznamu literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohto projektu som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomí následkov porušenia ustanoveniach § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestu právnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. mája 2014

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Jaromírovi Hubálkovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní projektu.

V Brně dňa 29. apríla 2014

.....
podpis autora

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072
Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

Obsah

Úvod.....	9
1 Moderné flexibilné materiály a technológie.....	8
1.1 Technológie plochých ohybných obrazoviek	8
1.1.1 Polymérne substráty	9
1.2 Potenciálne polymérne materiály pre ohybné substráty	9
1.2.1 Požadované vlastnosti pre flexibilné substráty	12
1.3 Tenkovrstvové tranzistory TFT	13
2 π -konjugované polyméry pre OLED	15
2.1 Úvod	15
2.2 Syntéza a charakterizácia PPV a PFV derivátov	17
2.3 Optické a elektroluminiscenčné vlastnosti PPV a PFV derivátov.....	20
3 Testovanie spoľahlivosti lepených spojov na flexibilnom substráte.....	23
3.1 Metódy zohýbania a výber vhodnej metódy.....	24
3.2 Návrh testovacej metódy	25
3.2.1 Popis použitého substrátu.....	25
3.2.2 Použité vodivé lepidlá	26
3.3 Popis výroby zariadenia.....	28
3.4 Návrh a výroba testovacieho ohybného substrátu	31
4 Experimentálna časť	35
5 Výsledky meraní	41
6 Záver.....	45
6.1 Zhodnotenie teoretickej časti práce	45
6.2 Zhodnotenie praktickej časti.....	46
7 Použité skratky a symboly.....	48
8 Použitá Literatúra	49

Úvod

Výskum organických polovodičov bol dlhú dobu predmetom vedeckého záujmu pre veľa chemikov. S počiatku fyzici a technici nepovažovali organické polovodiče veľkú technologickú dôležitosť, kvôli veľmi malej čistote materiálov a štrukturálneho usporiadania v porovnaní s anorganickými materiálmi ako kremík a gálium arzenit. Ale skoro pred tridsiatimi rokmi sa svet zmenil a rovnako tak výskumy vedcom, keď nastal vynález organických svetelných diód OLED vedcami Tang a Van Slyke v neskorých 80tich rokoch, tak začal výskum v oblasti organických polovodičov rozkvitať. [1]

V diplomovej práci sú spracované niektoré organické materiály pre výrobu týchto organických svetelných diód. Jedná sa hlavne o organické materiály na bázy PPV a PFV (π -konjugované polyméry) a ich rôzne deriváty, ktoré sa vyznačujú rôznymi vlastnosťami od rozpustnosti v rozpúšťadlách až po elektrické a optické parametre týchto súčiastok.

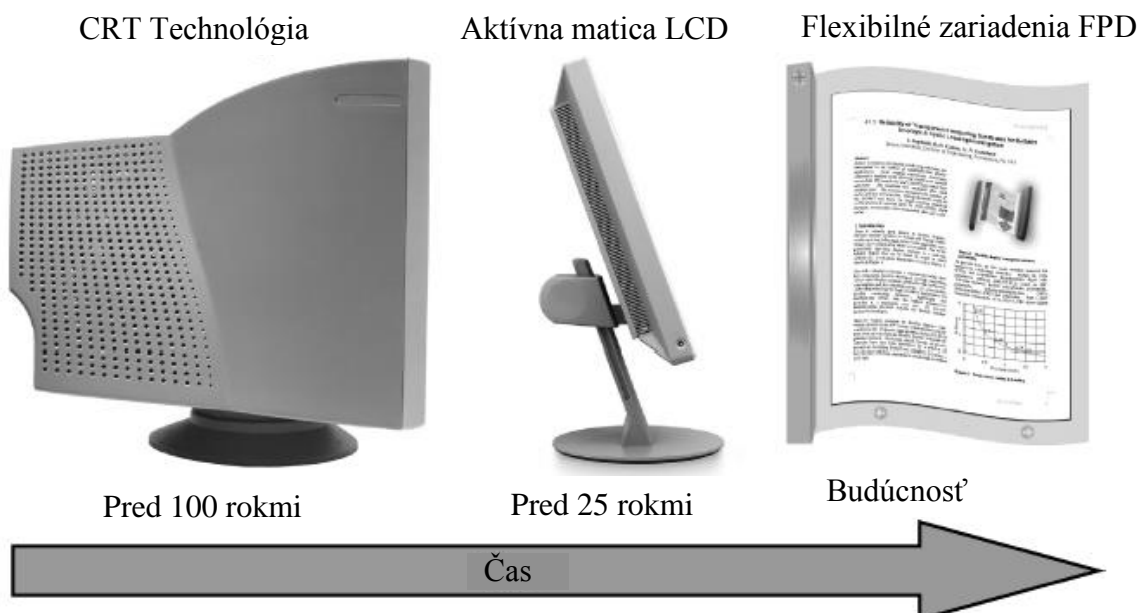
V praktickej časti bude spísaný použitý postup pri výrobe testovacej ohybnej dosky z prilepenými súčiastkami pomocou troch rôznych vodivých lepidiel a ich testovanie ohýbaním a následne výsledky týchto testov. Rovnako bude popísaný postup a výroba zariadenia potrebného na ohýbanie vytvoreného ohybného substrátu.

1 Moderné flexibilné materiály a technológie

1.1 Technológie plochých ohybných obrazoviek

Výroba plochých a tenkých zobrazovacích displejov je veľmi dynamický a neustále narastajúci a zlepšujúci sa priemysel. Vývoj a fungovanie obrazoviek na bázy katódového lúča elektrónov a obrazoviek za použitia tekutých kryštálov už je známych a používaných cez 100 pre CRT a 25 pre LCD rokov. Avšak príchod prenosných zariadení, ktoré majú požiadavky na stále nižšiu a nižšiu spotrebu spôsobil, aby sa zobrazovacie elementy stále zlepšovali a dostávali sa menšie a lepšie úrovne v spotreba a ich veľkosti. [1]

Na Obr. 1.1 je v jednoduchosti zobrazení vývoj zobrazovacích zariadení od zobrazovacích zariadení na bázy katódovej trubice a vychyľovania elektrónov cez tenké aktívne matice LCD zobrazovačov a ďalej predpokladané flexibilné (papierovo tenké) obrazovky do budúcnosti. Pre vytvorenie ohybných zobrazovacích zariadení musí byť použitý flexibilný nosný substrát, ktorý môže byť vyrobený z plastu, alebo veľmi tenkého skla. Technológie flexibilných displejov prinášajú veľa potenciálnych výhod, ako napríklad veľmi tenké profily, menšiu váhu a odolnejšie systémy, schopnosť sa ohýbať, stáčať, rolovať a skladať pre ľahšiu prenositeľnosť, efektívnejšiu vyrobiteľnosť vo veľkých plochách a elektroniku vhodnú na nosenie ako oblečenie, veľká voľnosť v návrhoch displejov.[1]



Obr. 1.1 Vývoj zobrazovacích technológií [1]

1.1.1 Polymérne substráty

V aplikáciách pre flexibilné obrazovky a v iných aplikáciách, kde je potrebná ohybnosť nosného elementu je táto vlastnosť závislá hlavne na použitom substráte. Termín ohybný display môže značiť rôzne veci. Ohybný display môže byť treba ohnutý len raz za celú dobu života, príklad pri výrobe sa priamo vyrobí ohnutý display, ktorý sa už v tomto stave zostane a nie je ho už možné ohýbať. Pre aplikácie, kde ohýbanie displeja bude nutné prevádzať 100 krát za deň je možné lepšie pomenovanie ako rolovateľný display. [1,2]

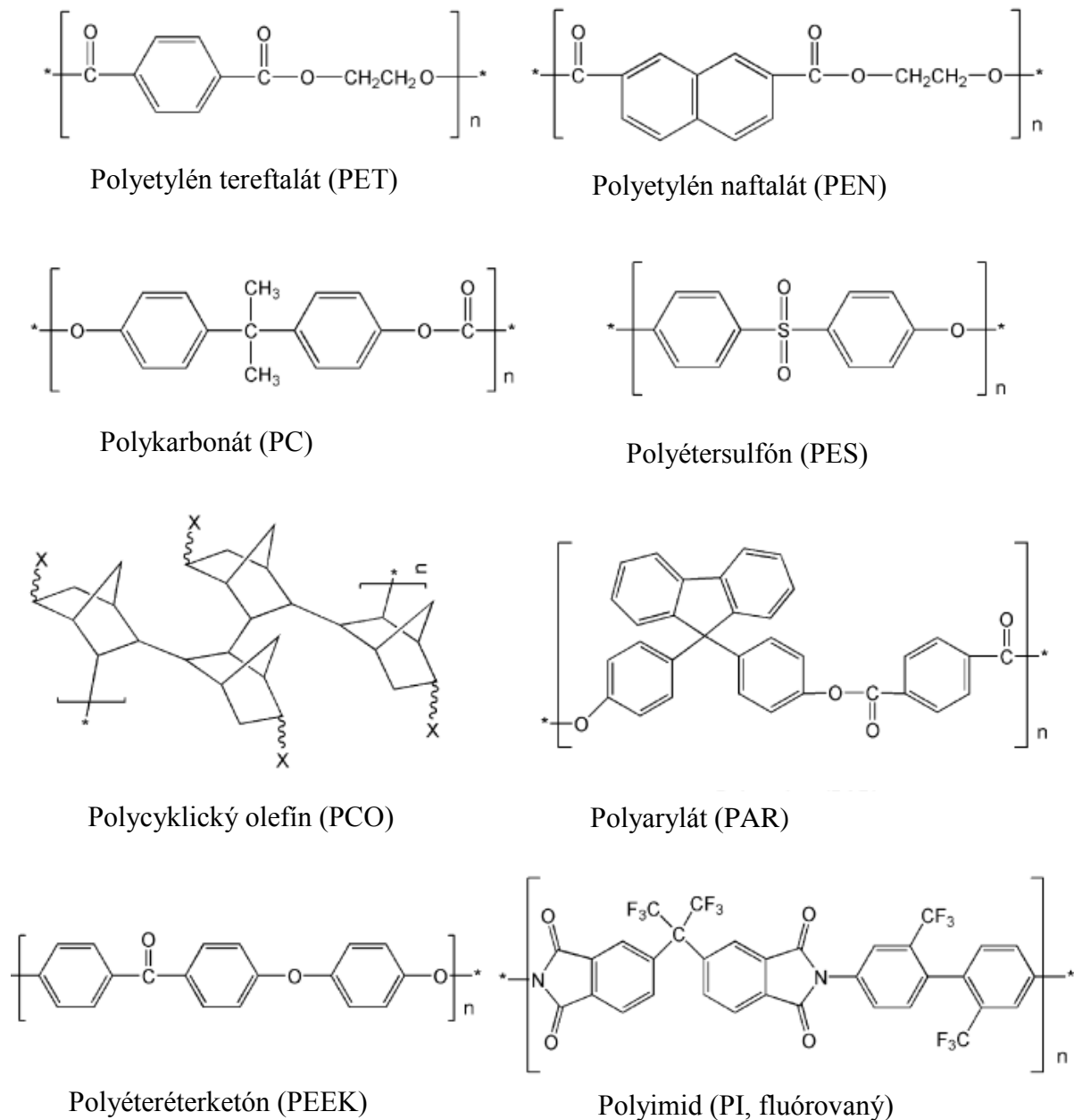
Pre takého požiadavky na ohybné displeje je možné vziať do úvahy tri druhy nosných substrátov: tenké sklo, kovová fólia, a plast. Substráty z tenkého skla sú ohybné a majú veľmi prospešné vlastnosti skla, avšak sú krehké. Táto vlastnosť limituje ich použitie ako ohybné substráty. Kovové fólie môžu rovnako ako fólie z tenkého skla zvládnuť spracovanie pri vysokých teplotách a poskytujú veľmi dobrú odolnosť proti pôsobeniu ovzdušia a vlhkosti, a nie sú tak krehké ako sklo. Ale kovy je možné použiť iba na nepriehľadné obrazovky a mechanicky nezvládnu veľá ohýbania a je to veľmi drahý materiál pri použití na veľkých plochách. Tým pádom sú tieto kovové substráty vhodné na malé a počiatočné použitie. Plasty sú kľúčovým materiálom pre použitie v ohybných technológiách, dovoľujú vhodný kompromis mechanických, optických a chemických vlastností. Je to lacný a užitočný materiál pre spracovanie v rade bez zdržania (in-line) pomocou RTR (z angl. Roll-To-Roll) procesu. [1,2]

1.2 Potenciálne polymérne materiály pre ohybné substráty

Na Obr. 1.2 je zobrazených niekoľko vhodných materiálov pre použitie na ohybné substráty zoradených podľa ich teploty skleneného prechodu (T_g). Tieto polyméry sa dajú zobrazit' do troch kategórií podľa ich štruktúry na kryštalické, amorfné a polyméry nanášané z roztoku v amorfnej forme. [2]

Termoplastické semikryštalické polyméry kam patria, polyetylén tereftalát (PET), polyetylén naftalén (PEN), polyéteréterketón (PEEK). Polymér PEEK, ktorý má teplotu skleneného prechodu T_g 140 °C a maximálnu teplotu T_m 340 °C je známy pre svoj maximálny teplotný limit, pri ktorom môže byť spracovaný pretavením z radu semikryštalických polymérov, pretože polyméry z vyššou teplotou skleneného prechodu než 140 °C budú vykazovať významnú degradáciu materiálu pri pretavovaní. Teplotne stabilizované semikryštalické polyméry poskytujú dobrú rozmerovú stabilitu aj za ich bodom skleneného prechodu T_g , týmto je možné rozšíriť ich použitie aj pri vyšších teplotách. [3,4]

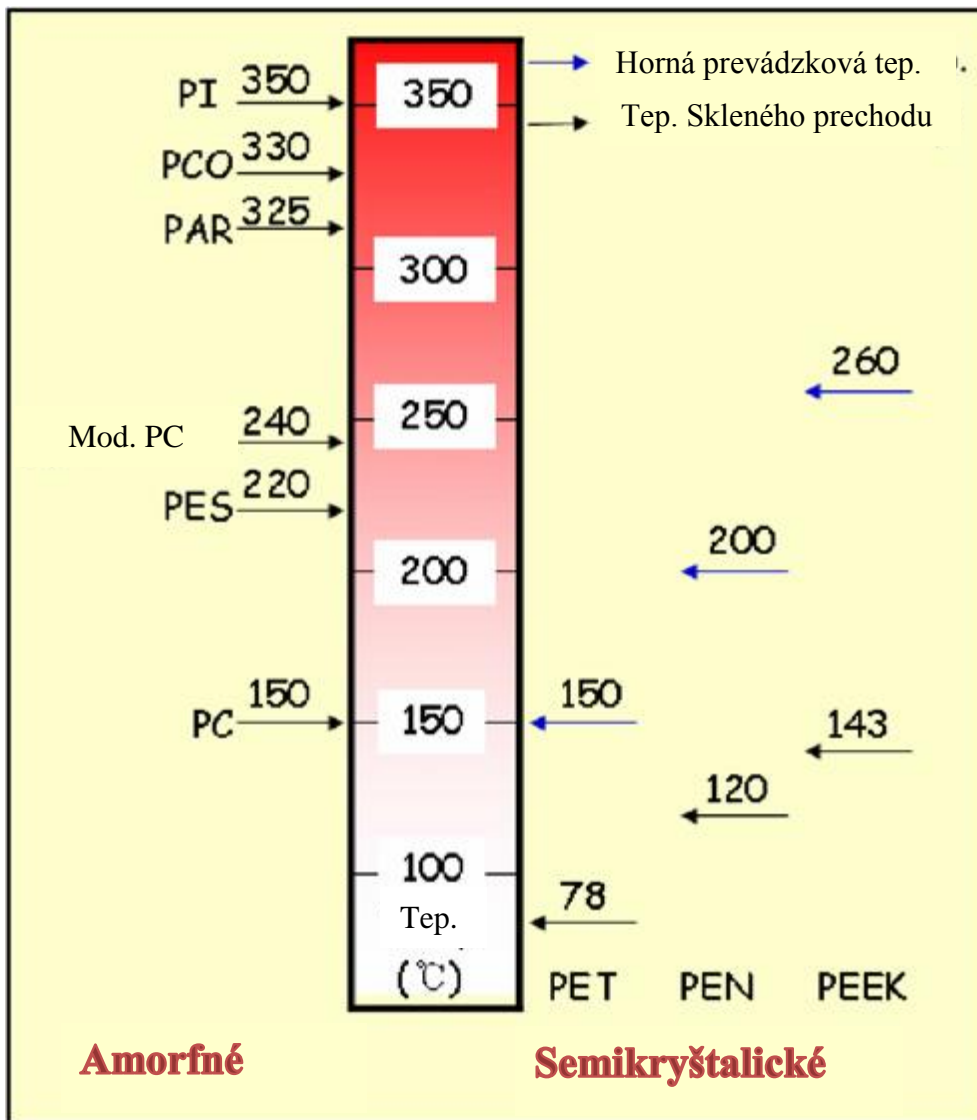
Druhá skupina amorfných polymérov pozostáva z polykarbonátu (PC) a polyétersulfánu (PES). Tieto polyméry sú nekryštalické termoplasty, ktoré môžu byť nanášané pomocou roztoku, alebo taveninou. Posledná skupina pozostáva z amorfných polymérov, ktoré nie je možné nanášať tavené. Sú to modifikovaný PC, polyarylát (PAR), polycyklický olefin (PCO), alebo polynorbonén (PNB) a polyimid (PI). Látkové materiály [3], ultra tenké polymérne filmy [5] a plasty zo sklenenými vláknami [6] boli taktiež použité ako flexibilné substráty. [3]



Obr. 1.2 Potenciálne použiteľné materiály pre ohybné substráty [2]

Na Obr. 1.3 sú zobrazené teploty jednotlivých dostupných polymérnych materiálov.

V tabuľke Tab. 1.1 je zobrazené porovnanie jednotlivých charakteristických vlastností polymérnych materiálov vhodných pre použitie na ohybné substráty. Polyestery ako PET a PEN majú výhody pokiaľ sa jedná o čistú, priehľadnosť materiálu, koeficient teplotnej rozťažnosti (CTE), chemickú odolnosť, absorpciu vlhkosti a ich priaznivú cenu, avšak ich drsnosť povrchu a pracovná teplota nie sú až tak dobré. PET má dobrú čistotu materiálu a vyššie prevádzkové teploty, ale zase na druhú stranu je málo odolný voči roztokom a jeho cena je vysoká. Zase na druhú stranu čo sa týka polyméru PI ten má vysokú teplotnú stabilitu, dobré mechanické a chemické vlastnosti, ale je znova drahý a má oranžové zafarbenie. Sú prevádzané taktiež výskumy na dosiahnutie bezfarebného PI. [2,7]



Obr. 1.3 Teplota skleného prechodu (T_g) u komerčne dostupných polymérov [2]

Tab. 1.1 Porovnanie vlastností polymérnych materiálov pre ohybné substráty [2]

	PET	PEN	PC	PAR	PES	PI
Optická čistota	○	○	□	○	○	x
Horná prevádzková teplota	Δ	○	Δ	□	○	□
Rozmerová stabilita	○	○	Δ	Δ	Δ	○
Drsnosť povrchu	x	x	○	○	○	○
Odolnosť proti roztokom	○	○	x	x	x	○
Absorpcia vlhkosti	○	○	Δ	Δ	x	x
Youngov modulus	○	○	Δ	Δ	Δ	Δ

□: Excelentné, ○: dobré, Δ: dostačujúce, x: slabé

1.2.1 Požadované vlastnosti pre flexibilné substráty

Aktuálne používané OLED (Organické LED diódy), ktoré vyžadujú prísne podmienky pre flexibilné zobrazovacie zariadenia sú hlavne založené na substráte zo skla, ktoré skvele vyhovuje pre aplikácie plochých panelov. Pre nahradenie skla plastický substrát musí spĺňať tieto vlastnosti skla, vrátane jeho čírosti, rozmerovej stability, teplotnej stability, bariérovým vlastnostiam, odolnosti voči roztokom, nízke koeficient teplotnej rozťažnosti CTE, jemný povrch a rovnako aj dobre optické vlastnosti (utlm, prenos svetla a iné). Minimálne požiadavky na vlastnosti substrátov pre použitie v ohybných displejoch sú spísané v Tab. 1.2. [2]

Substrátové materiály ovplyvňujú nasledujúce procesy: nanášanie bariérových povlakov, elektródovú depozíciu, vzorkovanie a výrobu tenkovrstvých tranzistorov TFT. Preto je nutné zvážiť vhodný výber požadovaného nosného substrátového materiálu. [2]

Tab. 1.2 Minimálne požiadavky na vlastnosti polymérnych substrátov pre ohybné displeje [2]

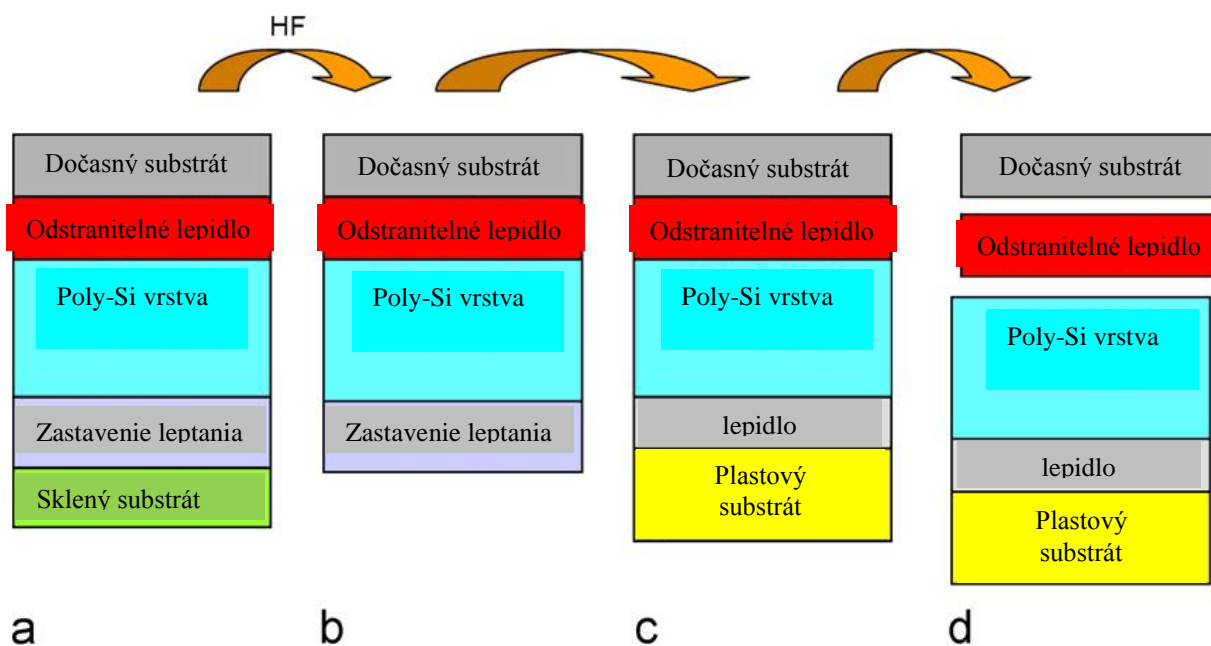
	Vlastnosť	Požiadavok
Polymérne substráty	Celkový prenos svetla cez vlnovú dĺžku 400-800 nm [%]	> 85
	Zahmlenosť [%]	< 0,7
	Horná prevádzková teplota [°C]	> 150
	Koeficient teplotnej rozťažnosti [ppm/°C]	< 20
	Priemerná povrchová drsnosť [nm]	< 5
	Chemická odolnosť	Odolnosť voči kyselinám, alkaloidom a rozpúšťadlám
Barierové substráty	Priepustnosť vodnej pary [g/m ² /deň]	OLED < 10 ⁻⁶
		LCD < 10 ⁻³
		EPD < 10 ⁻²
		TFT < 10 ⁻³
Priehľadný anódový substrát	Odpor [Ω/□]	< 20
	Celková priepustnosť svetla	> 80
	Ohybnosť	Schopnosť ohnúť sa 1000 krát cez priemer 2,54 cm

1.3 Tenkovrstvové tranzistory TFT

Pre použitie vo flexibilných displejoch je zásadné dodržať nízko teplotný technologický proces. TFT technologické procesy pre ploché obrazové panely založené na sklenených substrátoch nie je možné ľahko aplikovať kvôli obmedzeniam teplotného procesu, nedostatku rozmerovej stability a termálneho stresu medzi TFT filmom a substrátom. [2]

Je možné využitie dvoch prístupov k výrobe TFT tranzistorov na plastických ohybných substrátoch. Jedným z týchto prístupov je použitie klasického polykremíku, alebo jedнокryštalického kremíku, ktorý sa spracováva pri vysokých teplotách na skle, kremeňu, alebo kremíkovom substráte a po spracovaní ho preniesť na plastový substrát. Týmto spôsobom je možné dosiahnuť optimálne vlastnosti TFT, pohyblivosť, zvodový prúd (angl. leakage current), stabilita, rovnomernosť. Avšak toto nie je veľmi rentabilný proces, pretože nastáva plytvanie nosného skleneného substrátu a ďalšia cena procesu prenosu na plastový substrát. [2]

Na Obr. 1.4 je znázornený proces prenosu TFT zo skleneného substrátu na plastový. Najskôr je na konvenčnú sklenú vrstvu nanosená leptaniu odolná vrstva. Vrstva pre vytvorenie súčiastok je vytvorená pomocou nízko teplotného polykryštalického kremíkového LTPS procesu a táto vrstva je prilepená na druhý substrát pomocou odstrániteľného vodou nerozpustného lepidla. Obr. 1.4a. V ďalšom kroku je sklený substrát odleptaný pomocou fluorovodíkovej kyseliny (HF) pri izbovej teplote Obr. 1.4b. Leptaniu odolná vrstva je taktiež odstránená iného leptacieho roztoku. Ďalej je priesvitný polymérny substrát prilepený pomocou permanentného lepidla na kremíkovú vrstvu vytvorených súčiastok Obr. 1.4c. A následne je odpojený druhý vrchný substrát Obr. 1.4d. [2]



Obr. 1.4 Schematicky znázornený proces prenosu TFT zo skleneného substrátu na plastový substrát [2,8]

Ďalší vhodnejší prístup je založený na výrobe TFT matíc priamo na plastovom ohybnom substráte pri použití amorfného kremíku (a-Si), nízko teplotný polykryštalický kremík LTPS, alebo organických polovodičov (OTFT). [2]

2 π -konjugované polyméry pre OLED

2.1 Úvod

π -konjugované polyméry sú vhodné pre prípravu emisívnych a vodivých vrstiev transportu náboja organických svetlo emitujúcich diód (OLED), organických batérií a solárnych článkov. π -konjugované elektroluminiscenčné (EL) polyméry sú veľmi výhodné vďaka ich dobrému nanášaniu tenkých filmových vrstiev pomocou rotačného nanášania a ich dobre upraviteľných vlastností, čo ich robí vhodnými kandidátmi pre jedno a viac vrstvové OLED diódy. Efektivita OLED diód je závislá na hustote injekcie nosičov náboja, pravdepodobnosti zachytenia náboja a pomerom medzi vstrekanými elektrónmi a dierami z oboch kontaktov diódy. Najjednoduchšia OLED môže byť zložená emisívnou vrstvou medzi dvoma elektródami. Pri katóde sú elektróny vstrekané do najnižšie neobsadeného molekulárneho orbitálu (LUMO) a pri anóde sú diery vstrekané do najvyššie obsadeného molekulárneho orbitálu (HOMO). Tieto dva náboje sa pohybujú medzi anódou a katódou pod priloženým napätím a ak sa stretnú na rovnakej molekule, spoločne vytvoria excitón, ktorý môže zaniknúť emitovaným svetlom o farbe, ktorá je daná energetickou medzerou materiálu medzi hladinami LUMO a HOMO. [9]

Aby sa dosiahla dobrá efektivita diódy je rozhodujúce dosiahnuť rovnomerného vstrekania a prenosu nosičov náboja, aby sa všetky tieto nosiče zachytili a vytvorili excitóny a ďalej dosiahnuť žiarivého zániku o takto vytvorených excitónov. Použitie kovu s nízkou výstupnou prácou ako katódu, čo môže byť kalcium (Ca), magnézium (Mg), alebo lítium (Li) dokáže znížiť vstrekovaciu hladinu nosičov na katóde vyrovnaním počtu vstrekaných nosičov z oboch kontaktov a tak dosiahnuť zlepšenie svietivej efektivity. Avšak tieto kovy majú zásadné chemické reakcie na vzduchu a na vlhkosť čo znižuje ich použiteľnosť. Čo tiež môže spôsobiť hromadenie priestorového náboja a tunelovanie akumulovaných dier, čo by sa prejavilo zvýšením zapínacieho napätia. [9]

Ďalšia možnosť zvýšenia efektivity je zmiešanie materiálov pre prenos elektrónov a EL polyméru. Najväčšou nevýhodou tohto riešenia by bolo oddeľovanie fáz týchto dvoch rôznych materiálov, čo by mohlo byť spôsobené zvýšenou rýchlosťou rekryštalizácie a celkovom formovaní štruktúry pri tepelnom spracovaní. Preto, k zvýšeniu efektivity vyžarovania PLED veľa výskumných skupín používa kombinácie materiálov pre prenos elektrónov a/alebo dier, alebo sa pripojí zložka materiálov pre prenos elektrónov a/alebo dier na postranný, alebo hlavný reťazec do štruktúry polyméru. [9]

Medzi široko používanými π -konjugovanými polymérmi vystupujú najmä polyméry poly(p-phenylenevinyle) (PPV), poly(dialkylfluore) (PF), polythiophen (PT) a ich deriváty pre PLED aplikácie. Rôzne techniky pre zvýšenie výkonu PLED diód modifikovaním chemickej štruktúry polyméru s veľkými phenylovými skupinami, alebo polyméry založené na PPV meniacimi sa kopolymérmi¹ obsahujúcimi phenylenvinyle a nekonjugujúcimi časťami. Tieto objemné postranné skupiny narušia konjugačnú štruktúru a pôsobia na reťazcovú štruktúru polyméru, z čoho je výsledok amorfný PPV. [9]

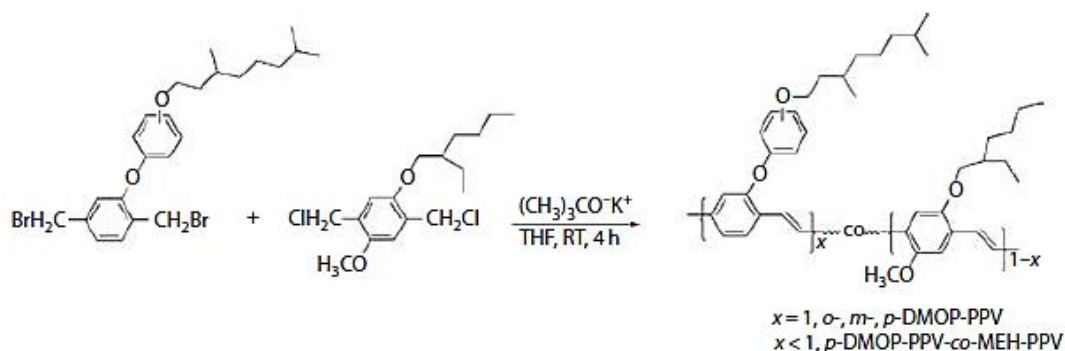
Podobne pre PF, ktorý obsahuje dva planárne benzénové prstence na monomerickú jednotku, sa dosiahne veľa výhod ako napríklad chemická a tepelná stabilita, vysoká fotoluminiscenčná (PL) kvantová efektivita a uľahčené vlastnosti prispôsobenia kopolymerizáciou z rôznymi monomermi. Avšak veľká nevýhoda PF je v ich sklone vytvárať celky, alebo keto defekty pri dlhých vlnových dĺžkach ako dôsledok pri zahrievaní, alebo prechode prúdu počas výroby alebo činnosti zariadenia. Pre vyriešenie týchto problémov veľa skupín predstavilo zavedenie fluórových substituentov do 9. pozície uhlíku v hlavnom reťazci fluóru k vytvoreniu spirobifluórových segmentov. V takomto spiro segmente sú bifluóreny ortogonálne radené a výsledný polymérny reťazec je otočený o uhol 90° v každom spiro centre. [9]

Táto štrukturálna úprava ako sa očakávalo mala obmedziť pravdepodobnosť medzi reťazcových interakcií a zabrániť hromadeniu v polymérnom reťazci. A taktiež spirobifluórový segment mal zvýšiť tuhosť polymérneho reťazca, čo by viedlo k významnému zvýšeniu teploty skelného prechodu a tepelnej stability týchto polymérov. Ale tieto spirobifluórové segmenty vykazujú veľmi slabú rozpustnosť v bežných organických rozpúšťadlách čo zťažuje vyrobiteľnosť prvkov. Riešenie tohto problému je znova, zavedenie dlho reťazcového alkyloxy substituentu do spirobifluórovej jednotky k dosiahnutiu lepšej rozpustnosti výsledných polymérov. Alebo ďalšou možnosťou je zavedenie opakujúcich sa vynilénových jednotiek popri spirobifluórového hlavného reťazca pomocou Gilch polymerizácie k dosiahnutiu zníženie tuhosti a zvýšenie amorfného stupňa. [9]

¹ Kopolymér - je makromolekulárna látka zložená z najmä dvoch rôznych monomérov

2.2 Syntéza a charakterizácia PPV a PFV derivátov

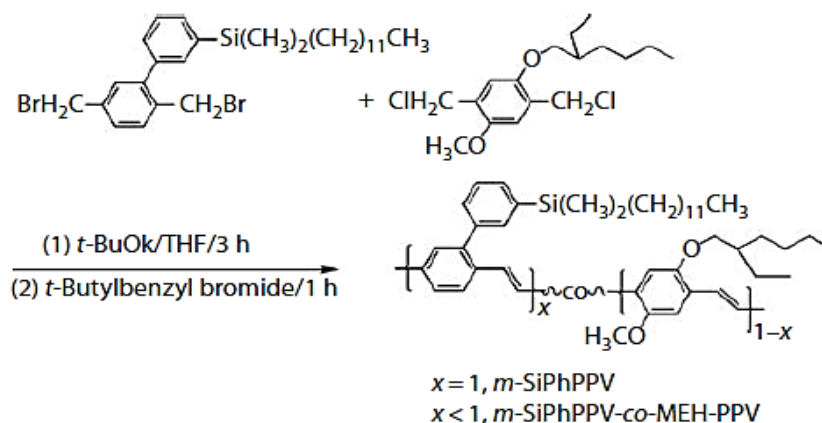
Riadenie emisných farieb 3,7-dimethyloctyloxy skupín, kde boli zavedené do orto-, meta- a para- pozícií reťazca substituentu phenyloxy PPV. Na Obr. 2.1 je znázornená syntéza poly- [2 - { 2- ((3 , 7-dimethyloctyl)oxy)phenoxy}-1,4-phenylenevinylene] (DMOP-PPV) a DMOP-PPVco-MEH-PPV. Polymerizácia bis(bromomethyl)benzenových derivátov bola prevádzaná s prebytkom draslíku tert-butoxid nasucho chladená v N₂ atmosfére. [9]



Obr. 2.1 Syntéza alkyloxyphenoxy-nahradené PPVs [9]

Bola predstavená nová séria Obr. 2-1 asymetrických PPV derivátov s možnosťou úpravy farby vyžarovania vrátane kopolymérov. Pre zlepšenie výkonu PLED diód bola zavedená objebná skupina dimetyldodecylsilylphenylénu do meta-pozície fenylového substituentu, ktorá zabraňuje medzimolekulárnym interakciám medzi výslednými polymérnymi reťazcami. [9]

Obr. 2.2 naznačuje syntézu m-SiPhPPV a kopolymérov m-SiPhPPV-co-MEH-PPV s rôznym pomerom monomérov. Vloženie skupiny s dlhým reťazcom dodecyldimethylsilylphenylu ako postranného reťazca PPV polyméru pridáva dobrú flexibilitu, rozpustnosť, adhéziu k substrátu a elektródam a lepši výkon zariadení. Výsledné m-SiPhPPV a kopolméry, m-SiPhPPV-co-MEH-PPV boli celkovo rozpustné v bežných rozpúšťadlách ako chloroform, chlorobenzén, toluén, THF a xylén. [9]

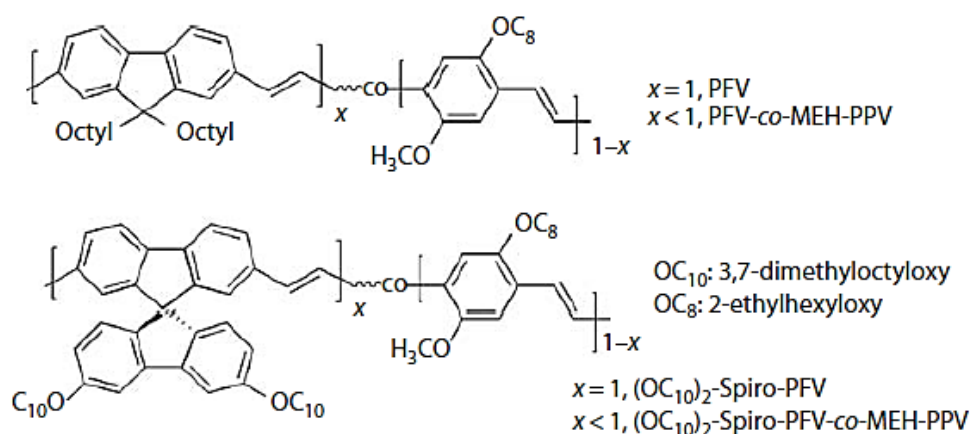


Obr. 2.2 Syntéza silylphenyl-náhrady PPVs [9]

Pridaním zložky pre transport elektrónov a/alebo dier do postranného, alebo hlavného reťazca polyméru sa dosiahlo výrazného zlepšenia jasovej účinnosti. Tak sa dosiahla nová séria multifunkčných vysokojasových a efektívnych EL – elektroluminiscenčných polymérov poly [2- {4- [5- (4- (3,7- dimethyloctyloxy)phenyl)- 1,3,4 -oxadiazol-2-yl]phenyloxy} -1,4-phenylenevinyle] (Oxa-PPV), DMOP-PPV a ich náhodne zodpovedajúcich kopolymérov (Oxa-PPV-co-DMOP-PPV) pomocou polymerizačnej metódy Gilch. [9]

Jedny z najrozšírenejšie používaných zložiek pre prenos elektrónov sú aromatické zlúčeniny 1,3,4-oxadiazolu s vysokými elektrónovými afinitami, ktoré napomáhajú prenosu a vstrekovaniu elektrónov. [9]

EL polyméry založené na floureňu majú veľa dobrých vlastností ako ľahké zavedenie substituentov na pozíciu C-9, vysokú PL – fotoluminiscenčnú a EL – elektroluminiscenčnú efektivitu, tepelná a chemická stabilita a riadenie emisnej farby nastavovaním koplanarity, alebo kopolymérneho systému. Elektrické a optické parametre sa riadia upravovaním chemickej štruktúry reťazca. [9]



Obr. 2.3 Chemické štruktúry polymérov PFV, PFV-co-MEH-PPV, (OC₁₀)₂-Spiro-PFV, and (OC₁₀)₂-Spiro-PFV-co-MEH-PPV. [9]

Na Obr. 2.3 sú zobrazené výsledné chemické štruktúry polymérov PFV, PFV-co-MEH-PPV, (OC₁₀)₂-Spiro-PFV, and (OC₁₀)₂-Spiro-PFV-co-MEH-PPV, ktoré sú úplne rozpustné v bežných rozpúšťadlách. Táto štruktúra zabraňuje hromadeniu sa reťazcov a teda tým minimalizujú $\pi - \pi^*$ medzimolekulárne interakcie. Teplota skelného prechodu týchto PFV derivátov sa pohybuje v rozsahu 169 – 222 °C a tieto hodnoty sú vyššie v porovnaní s PPV derivátmi. [9]

Tab. 2.1 Výsledky polymerizácie, priemerná molekulárna hmotnosť (M_w) a polydisperzita polymérov PDI². [9] [10,11]

Polymér	Zisk (%)	$M_w^a \times 10^4$	PDI ^a
o-DMOP-PPV	70	24	2.81
m-DMOP-PPV	74	25	2.93
p-DMOP-PPV	65	12	2.46
p-DMOP-PPV-co-MEH-PPV (70:30) ^b	71	73	4.28
p-DMOP-PPV-co-MEH-PPV (50:50) ^b	66	26	3.65
p-DMOP-PPV-co-MEH-PPV (30:70) ^b	70	31	2.24
m-SiPhPPV	75	96	3.40
m-SiPhPV-co-MEH-PPV (90:10) ^c	80	27	1.92
m-SiPhPV-co-MEH-PPV (75:25) ^c	82	83	2.0
m-SiPhPV-co-MEH-PPV (20:80) ^c	85	54	1.86
MEH-PPV	80	80	2.67
Oxa-PPV	46	9.7	1.4
Oxa-PPV-co-DMOP-PPV (84:16) ^d	53	69	4.9
Oxa-PPV-co-DMOP-PPV (64:36) ^d	60	38	6.5
Oxa-PPV-co-DMOP-PPV (51:49) ^d	57	35	7.8
Oxa-PPV-co-DMOP-PPV (28:72) ^d	55	59	8.6
Oxa-PPV-co-DMOP-PPV (7:93) ^d	40	39	5.9
PDOT-PPV	59	22.0	5.3
PDOT-PPV-co-m-SiPhPPV (73:27) ^e	75	31.2	5.0
poly(PDOT-PV-co-m-SiPhPPV (53:47) ^e	60	23.2	5.2
poly(PDOT-PV-co-m-SiPhPPV (34:66) ^e	75	36.7	5.8
(OC10)2-Spiro-PFV	70	4.3	2.8
(OC10)2-Spiro-PFV-co-MEH-PPV (95:5) ^f	75	12.6	1.8
(OC10)2-Spiro-PFV-co-MEH-PPV (85:15) ^f	80	12.5	1.9
(OC10)2-Spiro-PFV-co-MEH-PPV (80:20) ^f	80	23.5	2.3
(OC10)2-Spiro-PFV-co-MEH-PPV (40:60) ^f	80	31.9	2.7

^a M_w a PDI boli určované pomocou GPC³ použitím vzorkou polystyrénu [12]

^b Počiatočné monomérmerné pomery

^{c,e,f} Zloženie bolo zistené pomocou H-NMR spektroskopie⁴ [12] [13]

^d Pomer zloženia bol zistený na základe pomeru fenylových protónov 1,3,4-oxadiazolu and methyleny vedľa atómu kyslíka

Tab. 2.1 zhrňuje výsledky polymerizácie, molekulárne hmotnosti a tepelné vlastnosti jednotlivých polymérov. [9]

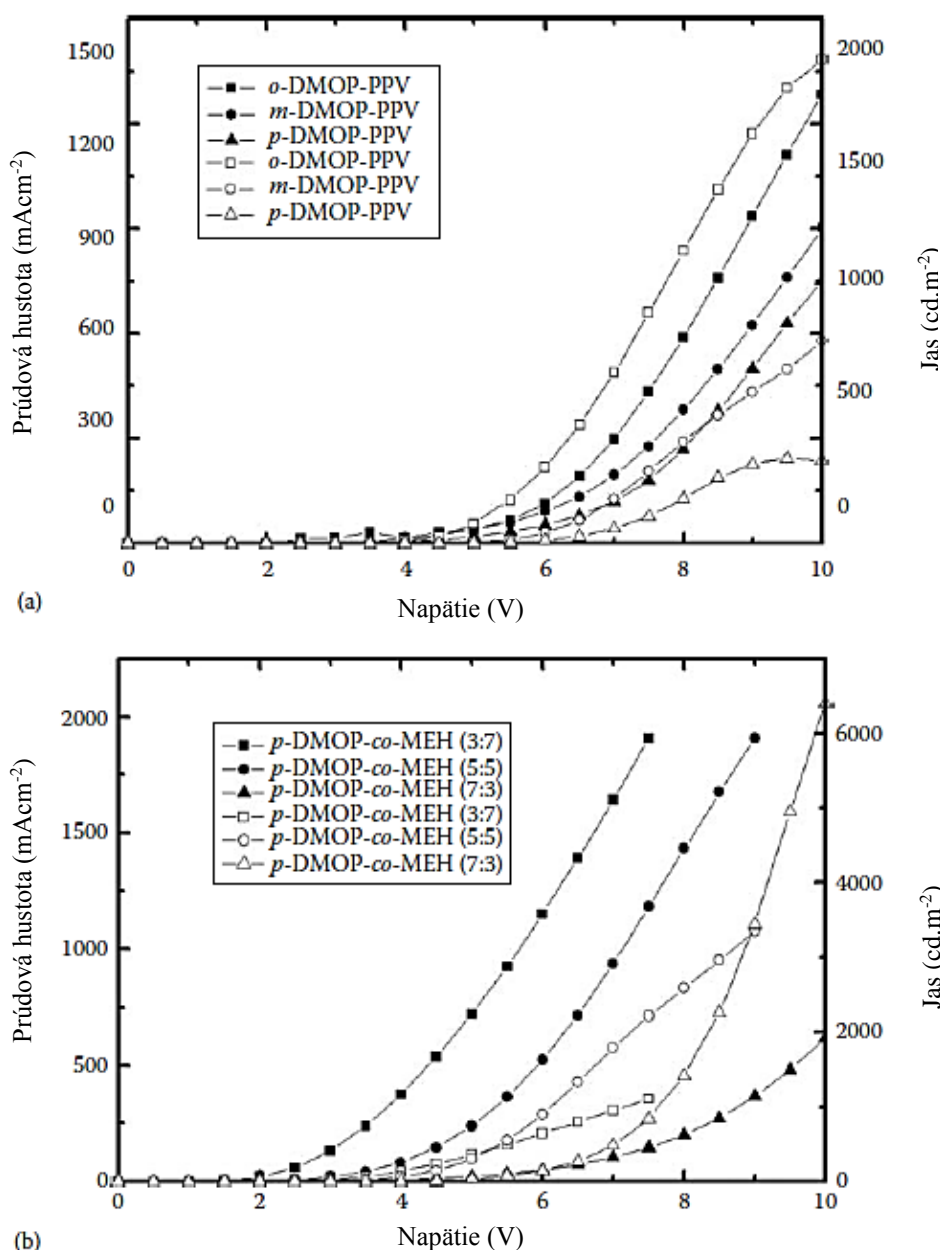
² PDI - polydisperzitný index, udáva mieru rozloženia molekulárnej hmotnosti na danú vzorku polyméru [3]

³ GPC - Gel permeation chromatography, je technika typu chromatografie vylučovanie podľa veľkosti, ktorá oddeľuje skúmané vzorky na základe ich veľkosti

⁴ H-NMP je použitie nukleárnej magnetickej rezonancie s ohľadom na jedno vodíkové jadro v molekulách skúmaného vzorku za účelom zistenia štruktúry tejto molekuly

2.3 Optické a elektroluminiscenčné vlastnosti PPV a PFV derivátov

Homopolyméry⁵ s orto-, meta- a para-pozíciami 3,7-dimethyloctyloxyloveho substituentu vykazujú absorpčné maximum asi pri 451, 455 a 464 nm. Maximálna absorpcia spektra u kopolymérov je viac posunutá k červenému spektru než u o-, m- a p-DMOP-PPV, u ktorého emisné maximá sú širšie a boli pozorované pri 549, 560, a 585 nm respektíve s ohybom asi 518 – 540 nm. [9]

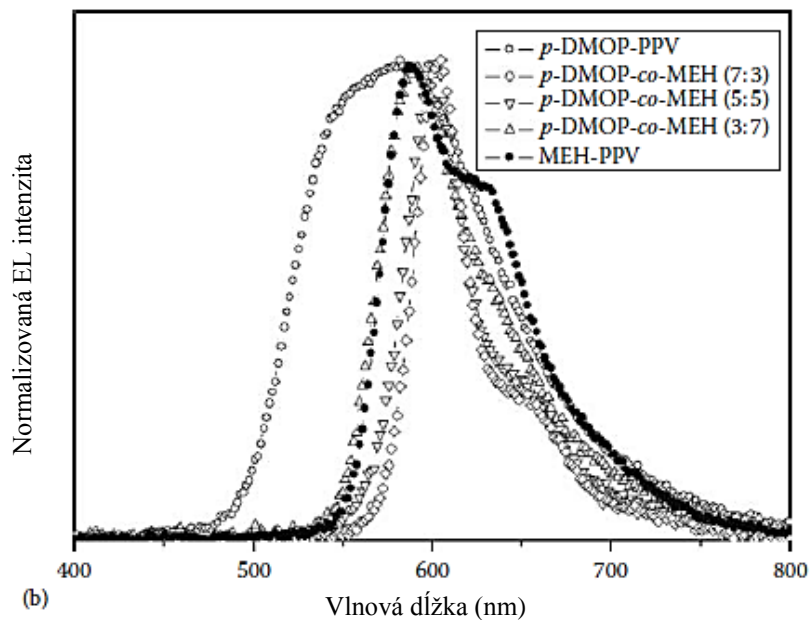
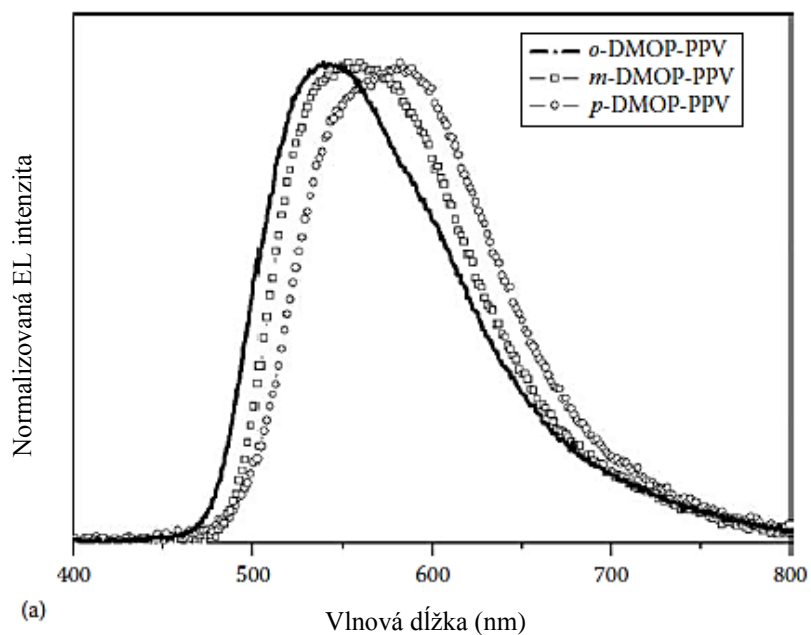


Obr. 2.4 Napät'ovo prúdové (V - A) a napätovo luminiscenčné (V - L) charakteristiky ITO/PEDOT/homopolyméry (a) a kopolyméry (b)/Al štruktúr [9]

⁵ Polymér, ktorý pozostáva len z identických monomérnych jednotiek

Výkon PLED diód o-, m- a p-DMOP-PPV a p-DMOP-PPV-co-m-SiPhPPV, ktoré sú zobrazené na Obr. 2.4 (a) znázorňujú závislosť prúdovej hustoty a jasú na priloženom napätí. (J - V - L) štruktúry ITO/PEDOT:PSS/homopolymér, alebo kopolymér/Al štruktúra Obr. 2.4 (b). PEDOT:PSS bola nanosená ako vyrovnávacie vrstva, ktorá zabezpečuje vysokú svetelnú efektívnosť a nízke prahové napätie. Prahové napätie, pri ktorom začal prvok vyžarovať sa pohybovalo približne od 1,8 V pre p-DMOP-PPV-co-MEH-PPV (3:7) do 4,5 V pre homopolyméry. Jas o-, m-, and p-DMOP-PPV polyméru dosahoval hodnoty okolo 1845, 770 a 316 cd/m² pri 10 V a hodnota jasú u polyméru p-DMOP-PPV-co-MEH-PPV (7:3) bola omnoho vyššia, 7000 cd/m² pri 10 V. Tento vysoký jas bol spôsobený nízkou energetickou hladinou medzi pásmom LUMO a AL elektródou, než u homopolymérov, čo zabezpečilo ľahšie vstrekovanie elektrónov. [9]

EL – elektroluminiscenčné spektrá Obr. 2.5 (a) o-DMOP-PPV, m-DMOP-PPV a p-DMOP-PPV boli prakticky identické s PL – fotoluminiscenčnými spektrami výsledných polymérov. Tento výsledok je dôkazom, že EL a PL v prvku nastávajú v rovnakom emisnom centre vyžarujúcej polymérnej vrstve. Pre plno farebné zobrazovače je dôležitým parametrom, čo najostrejšia emisná farba. V porovnaní s polymérom MEH-PPV vykazuje kopolymér p-DMOP-PPV-co-MEH-PPV Obr. 2.5 (b) oveľa užšiu vyžarovaciu krivku s veľkosťou dosahujúcou 40 nm merané pri polovičnej výške z maxima. Tento jav zodpovedá vysvetleniu vyššej fotoluminiscenčnej (PL) kvantovej efektivity, vďaka prídavku 3,7-dimethyl-octyloxyphenoxynu, ktorý zabráňuje medzimolekulárnym interakciám, takže je emisné spektrum p-DMOP-PPV-co-MEH-PPV oveľa užšie ako pri MEH-PPV. [9]



Obr. 2.5 EL spektra prvkov ITO/PEDOT/homopolymér (a) a kopolymér/Al (b) [9]

3 Testovanie spoľahlivosti lepených spojov na flexibilnom substráte

Ďalším subjektom diplomovej práce je problematika spoľahlivosti lepených spojov na ohybnom, flexibilnom substráte. Cieľom tohto zadania bude vytvoriť vhodné mechanické namáhanie flexibilného substrátu, na ktorom budú prilepené klasické diskkrétne súčiastky za použitia rôznych druhov vodivých lepidiel.

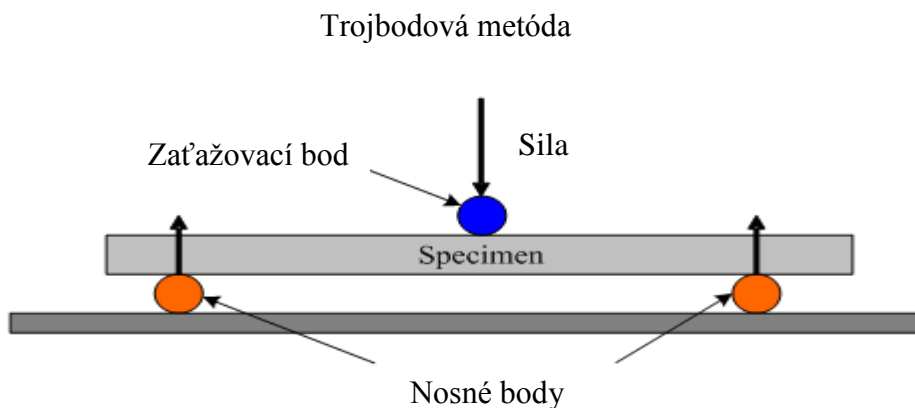
K testovaniu bude použitá kaptonová flexibilná fólie na ktorej je nanosená 35 μm vrstva medzi na oboch stranách. Teplotná odolnosť tejto použitej fólie je max 200 °C pri bežnej prevádzke, z tohto dôvodu nie je vhodné klasické pájanie, ktoré potrebuje teploty od 350 °C do 380 °C. Pre potreby kaptonového substrátu je preto nutné použitie vodivých lepidiel, alebo nízko tavných pájok, ktoré nepresahujú teplotu vytvrdzovania, alebo pretavenia cez 200 °C, inak by prišlo k znehodnoteniu samotného substrátu a zmene jeho stanovených fyzických a štruktúrnych vlastností.

K testovaniu bol navrhnutý layout rozmiestnenia jednotlivých diskrétnych súčiastok, ktoré boli umiestnené do stredu substrátu, kde bude mechanický ohyb najkritickejší. Tieto súčiastky sú taktiež umiestnené v rôznych uhloch v závislosti od smeru ohybu. Lepené súčiastky boli vybrané rezistory pre povrchovú montáž SMD s puzdrom 1206 a o hodnote 1,2 k Ω . Ktoré sa budú premeriavať pomocou štvorbodovej metódy merania odporu, aby bolo eliminované, čo najviac parazitného odporu ciest a prípojov. Kvôli tomuto bolo nutné navrhnuť požadovaný layout flexibilnej dosky, tak aby z jednotlivých pájacích plošiek boli vyvedené štyri vodivé cesty. Dve cesty budú slúžiť na privedenie prúdového zdroja a ďalšie dve budú pripojené na voltmeter, ktorý bude merať presne úbytok napätia na prilepenom rezistore. Ďalší popis testovacieho vzorku je v kapitole 3.4.

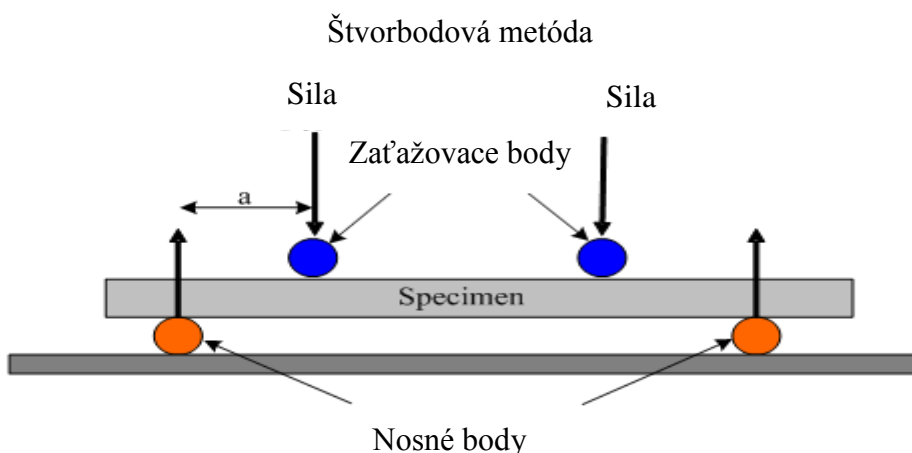
Pre prevedenie mechanického ohýbania testovacieho vzorku bolo nutné zabezpečiť zariadenie, ktoré by bolo vhodné pre zohýbanie takto navrhnutého vzorku. Zariadenie vhodné na prevedenie ohýbacích testov nebolo dostupné tak bolo nutné zostrojiť takého zariadenie. Pri výrobe tohto zariadenia sa postupovalo, tak aby bolo zariadenie jednoducho vyrobiteľné v našich podmienkach, a aby splňovalo zadanie práce, teda bolo ním možné otestovať spoľahlivosť prilepených spojov v závislosti na mechanickom namáhaní pri stanovených podmienkach. Návrh a výroba ohýbacieho zariadenia je popísaná v kapitole 3.2.2.

3.1 Metódy zohýbania a výber vhodnej metódy

V tejto časti sú popísané niektoré používané metódy mechanických ohýbacích testov pre rôzne účely. Najpoužívanejšie metódy zahŕňujú zohýbanie pomocou trojbodovej Obr. 3.1, alebo štvorbodovej Obr. 3.2 metódy. V týchto mechanických testoch je testovací prípravok umiestnený na dva nosné body a z jeho vrchnej časti na neho pôsobí tlak, ktorý má za následok mechanické zohnutie vzorku medzi tieto dva nosné body. Prípadne z vrchnej časti pôsobia dva body, ktoré sú od seba v určitej stanovenej vzdialenosti. Pomocou nastavovania vzdialenosti medzi dvoma nosnými bodmi, a v prípade použitia štvorbodovej metódy rovnako vzdialenosť medzi vrchnými bodmi určujú uhol, cez ktorý bude testovací prípravok ohnutý. V týchto zariadeniach býva meraná vzdialenosť vrchného bodu od nosných bodov a podľa rozteče medzi nosnými bodmi a hĺbkou zohnutia je možné prepočítať priemer zohnutia vzorku. Ďalším meraním parametrom býva akou veľkou silou musíme zohýbať testovací element, aby sa dostal do aktuálneho uhla, kde v prípade zlomenia substrátu sa sila tlačiacia proti zohýbaniu razantne zníži.



Obr. 3.1 Schéma trojbodovej metódy ohýbania [14]



Obr. 3.2 Schéma štvorbodovej metódy ohýbania [14]

Výroba takto špeciálne vybaveného zariadenia s meraním sily a automatickým pohybom zohýbania by bola časovo náročné na presný návrh a výrobu a časovo náročné v našich podmienkach. Pre takto stanovený cieľ určenia spoľahlivosti bolo vytvorené jednoduché zariadenie, ktoré bude spĺňať podobné vlastnosti ako trojbodové ohýbanie. Bude založené na pevnom uchytení testovacieho vzorku na oboch koncoch, kde ohýbanie bude dosiahnuté postupným približovaným jedného konca bližšie ku druhému. Keďže sa bude testovať vzorka na ohybnej fólii, ktorá pre ohnutie nepotrebuje veľmi veľké sily. Parameter, ktorý sa bude sledovať bude vzdialenosť medzi dvoma uchytenými bodmi.

3.2 Návrh testovacej metódy

Testovanie spoľahlivosti lepených spojov bude prevádzané na polyimidovom ohybnom substráte pod obchodným názvom Kapton. Hrúbka fólie je 25,4 μm z obojstranne naplátovanou meďou o hrúbke 35 μm . Na tejto polyimidovej fólii budú vytvorené pájacie plošky pre prilepenie testovacích rezistorov a budú z nej vyvedené cesty pre pripojenie meracieho zariadenie pre meranie odporu štvorbodovou metódou.

3.2.1 Popis použitého substrátu

Použitý substrátový materiál pod názvom Pyralux® AP od firmy DuPont obojstranne plátovaný meďou kompozitný polyimidový film naviazaný na medenú fóliu. Tento materiálový systém je vhodný pre ohybné a polo ohybné aplikácie, ktoré vyžadujú zvýšené materiálové vyhotovenie, teplotnú odolnosť a vysokú spoľahlivosť. [15]

Vlastnosti: [15]

- Nízka teplotná rozťažnosť CTE
- Výborná teplotná odolnosť
- Tenké plátovanie medi z dobrou manipuláciou
- Plne vyplnené jadro pre riadenie impedancie
- Výborné dielektrické a elektrické vlastnosti
- Vysoká adhézia medzi na povrch polyimidu
- Prevádzková teplota do 180 °C
- Teplota skleného prechodu 195 °C
- Pájateľnosť vyhovuje norme IPC-S-804, M. 1
- Dielektrická konštanta pri 1 MHz je 3,4
- Absorpcia vlhkosti 0,8 %

3.2.2 Použité vodivé lepidlá

Pre testovanie boli použité dva druhy vodivých lepidiel a jedna nízko tavná pájacia pasta.

Prvé vodivé lepidlo je od firmy Epoxy Technology z názvom EPO-TEK®H31D. Jedná sa o jednozložkové elektricky vodivé epoxidové lepidlo zo striebrom. Je vyvinuté pre lepenie polovodičových čipov, rezistorov, kondenzátorov, tranzistorov a diód, ktorá môžu byť v optoelektronických puzdrách, alebo v hybridnej mikroelektronike. Je to mäkká a hladká tixotropná pasta. Môže byť nanášané pomocou tlačce, ručne, alebo stierkou. Ideálna na sieťotlač a taktiež je vhodné pre dávkovacie zariadenia z veľkosťou nanášanaj bodky do 8 milov. Teplotná odolnosť je porovnateľná pájanému spojeniu. Vlastnosti sú zobrazené v tabuľke Tab. 3.1 [16]

Druhé použité lepidlo pod názvom Wire Glue od firmy ELCHEMCo je komerčne dostupné vodivé lepidlo pre nenáročnej aplikácie. Je určené pre vývoj, výrobu a opravy elektronických zariadení. Umožňuje tvorbu vodivých ciest, opravy dosiek plošných spojov, vytváranie rezistorov pre napájanie LED. Nanáša sa tenkou tyčinkou, ihlou alebo štetcom. Má dobrú adhéziu na väčšinu povrchov. Je ním možné nahradiť pájanie v nízkonapäťových, alebo nízko prúdových zariadeniach vo vnútornom, alebo vonkajšom použití. Lepidlo obsahuje častice špeciálne vyrobeného uhlíka a spojivo na vodnej báze. Výpis vlastností vodivého lepidla je v tabuľke Tab. 3.2 [17]

Ako tretie lepidlo bola použitá nízkotavná pájacia pasta Bi58-XM5S z obsahom bizmutu, ktorá ma teplotu tavenia 138 °C a vďaka tomu sa hodí pre aplikácie, ktoré nie sú vhodné pre vysoké teploty. Jej nevýhodou je priemerná zmáčavosť a práve aj nízka teplota tavenia. Výrobca použitú pájaciú pastu už nevyrába a nebolo možné k nej nájsť bližšiu dokumentáciu. [18]

EPO-TEK®H31D:

Tab. 3.1 Vlastnosti vodivého lepidla EPO-TEK®H31D [16]

Fyzické vlastnosti			
Farba	Strieborná	Prevádzkové teploty	Trvale: -55 °C – 200 °C Krátkodobo: -55 °C – 300 °C
Viskozita (@ 5RPM/23 °C)	40 000 – 70 000 cPs	Veľkosť častíc	< 20 µm
Tixotropný index	3,9	Koeficient teplotnej rozťažnosti (CTE)	Pod Tg: 42x10 ⁻⁶ in/in/°C Nad Tg: 178x10 ⁻⁶ in/in/°C
Teplota skleného prechodu (T _g)	> 110 °C	Teplota degradácie	350 °C
Elektrické vlastnosti		Teplotné vlastnosti	
Objemový odpor @ 23 °C	< 0,0005 Ω.cm	Tepelná vodivosť	3,48 W/mK
Doporučené vytvrdzovanie lepidla 1 hodina pri 150 °C			

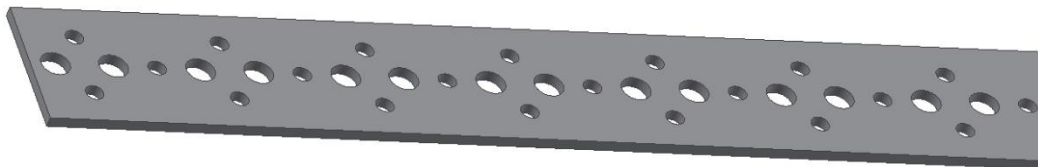
Wire Glue:

Tab. 3.2 Vlastnosti vodivého lepidla Wire Glue

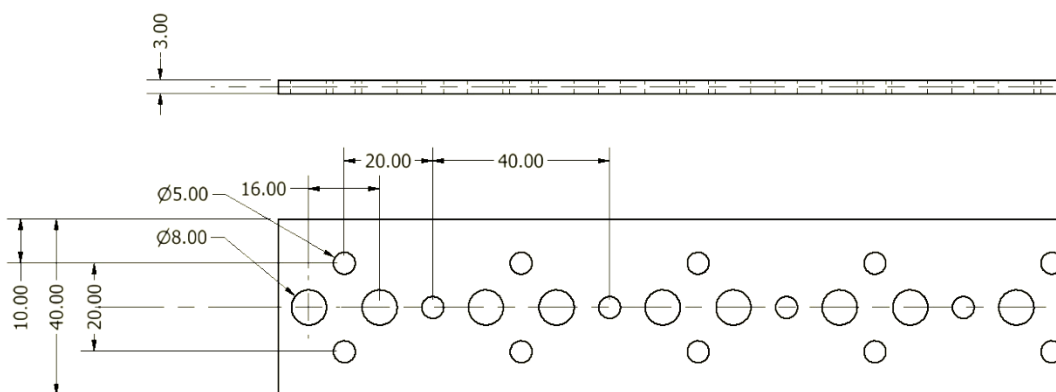
Elektrická vodivosť (ASTM D257)	13,16 Ω.cm ³
Špecifická hmotnosť	0,6 g.cm ⁻³
Farba	čierna
Čas sušenia (ASTM D 1640-69) na dotyk	2 h
Čas sušenia (ASTM D 1640-69) kompletne	12 – 48 h
Aplikačná teplota	4 – 43 °C
Prevádzkové teploty - trvale	-18 – 83 °C
Prevádzkové teploty - krátkodobo	-29 – 93 °C
Horľavosť	Bez vznietenia do bodu varu 100 °C v uzatvorenom pohári (ASTM D 93)

3.3 Popis výroby zariadenia

Bol zvolený postup výroby zariadenia, ktoré by sa dalo najlepšie realizovať v našich podmienkach. Na vyrobenie základnej štruktúry zariadenia bol použitý pevný dierovaný pásový kov vhodný na rôzne univerzálne aplikácie o hrúbke 3 mm Obr. 3.3 a Obr. 3.4. Pomocou tohto vhodne vybraného materiálu bolo možné rýchlejšia realizácia zariadenia. Rovnako týmto spôsobom je možné zariadenie v prípade potreby rýchlo modifikovať, bez nutnosti akejkoľvek výroby nových súčastí, ktoré by bolo potrebné na nejakú zmenu v návrhu v prípade problému.



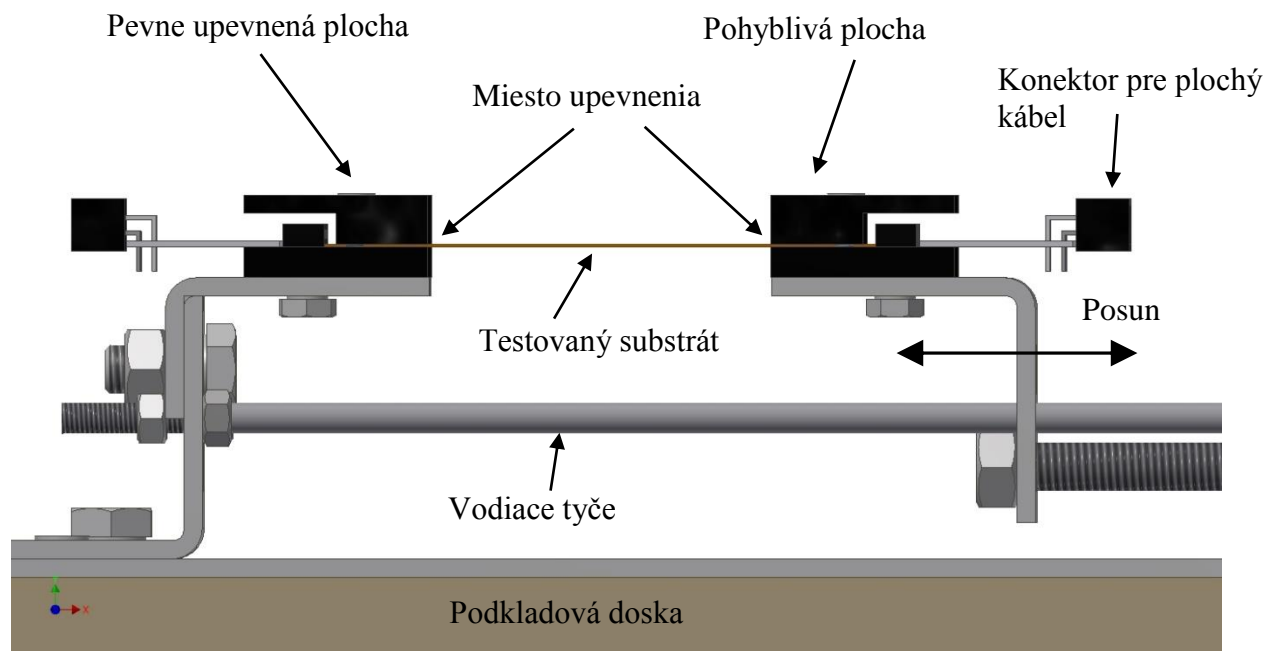
Obr. 3.3 Ukážka použitého základného pásového materiálu na výrobu zariadenia



Obr. 3.4 Zakreslenie použitého pásového kovu

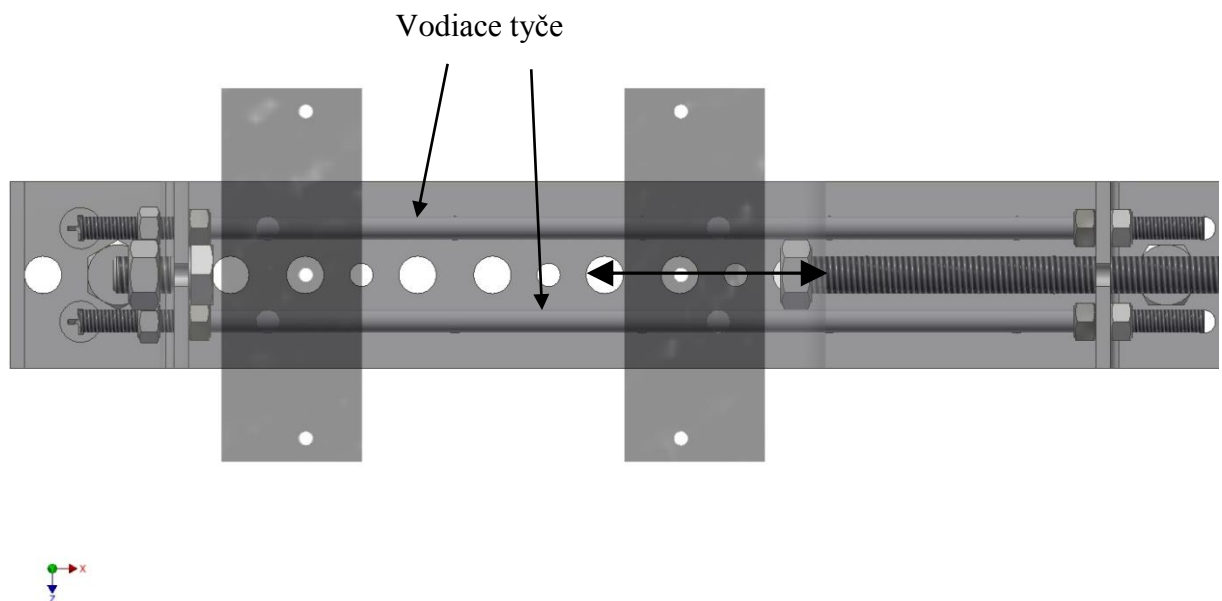
Zariadenie na ohýbanie testovacieho substrátu bolo navrhnuté na princíp jednej pohybujúcej sa plošiny, ktorá sa pohybuje medzi dvoma statickými bodmi. Na týchto koncových bodoch je možné v prípade potreby vytvoriť jednoducho upevňovacie plošiny na ktorých by bol prichytený substrát. Obr. 3.5

V našom návrhu boli vytvorené dve upevňovacie plošiny, na ktorých sa prichytí testovací ohybný substrát. Jedno pevné upevnenie je prevedené na pojazdnej plošine, ktorá sa bude pohybovať smerom k pevnej plošine a tým bude nastávať ohýbanie testovacieho ohybného vzorku o stanovenú dĺžku posunu medzi týmito dvomi plošinami. Obr. 3.5



Obr. 3.5 Znáznornenie pohybu ohýbacieho zariadenia z osadenou flexibilnou testovacou doskou (bočný pohľad)

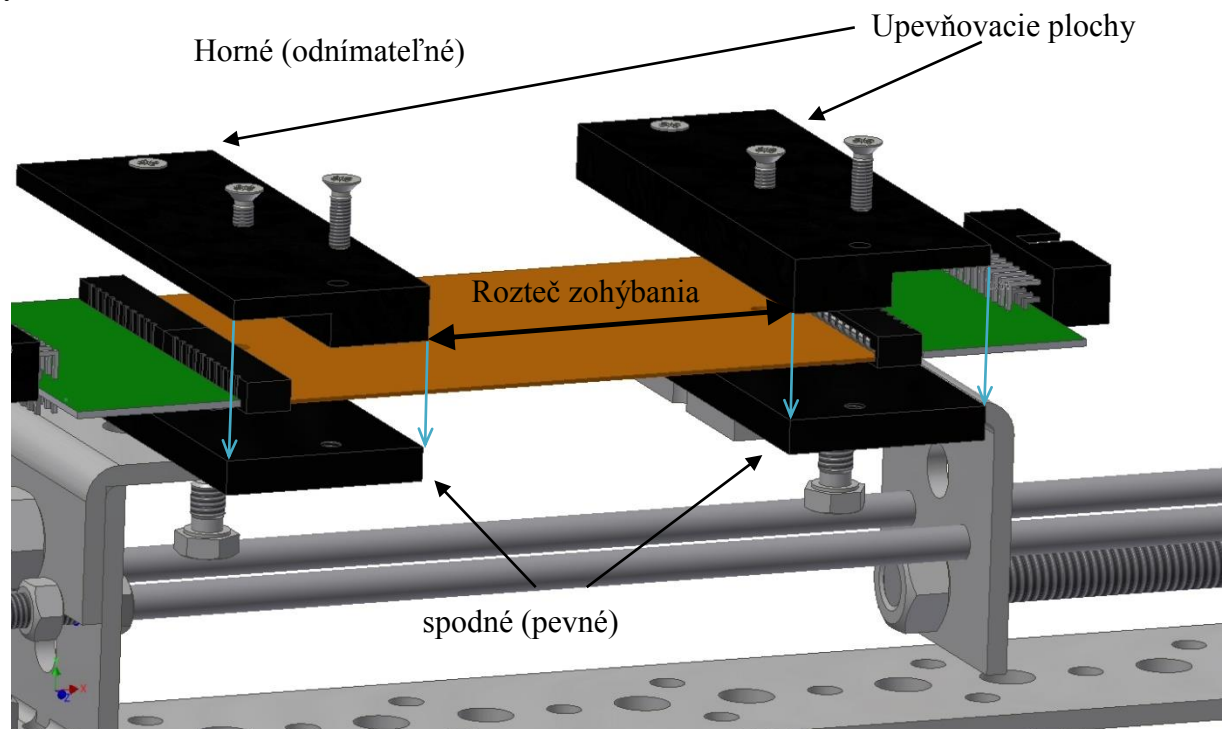
Pojazdná plošina je vedená medzi pevnými bodmi pomocou dvoch vodiacich tyčí, ktoré zabezpečujú rovný posun pohyblivej plošiny. Pre správne paralelné zarovnanie dvoch vodiacich tyčí bolo využité symetrické rozloženie dier použitého univerzálneho pásového materiálu Obr. 3.6. Týmto spôsobom sa dosiahlo jednoduché a rýchle vycentrovanie lineárnej cesty, po ktorej musí pohyblivá plošina jazdiť a je zabezpečený rovný lineárny pohyb bez kolísania plošiny do strán, vytvorená stabilita.



Obr. 3.6 Ohýbacie zariadenia pohľad z hora

Na upevňovacie plochy je pripevnení upínací mechanizmus vytvorený z konštrukčného plastu PVC. Tento plast sa vyznačuje dobrou mechanickou pevnosťou a svojím jednoduchým opracovaním. Do tohto plastu sú vytvorené dve diery zo závitmi M5 a tri ďalšie diery zo závitmi M3. Spodný podkladový plast je pripevnený pomocou dvoch skrutiek na kovovú pohyblivú a jednu statickú časť. Obr. 3.7

Pre vytvorenie pevného uchytenia testovacieho vzorku je použitý ďalší vrchný plast, ktorý sa pomocou skrutiek pripevňuje na spodný pevne pripevnení plast. Je možné vytvorenie diery aj do testovacieho substrátu, aby sa zabezpečilo lepšie uchytenie a predišlo by sa nežiadúcemu pohybu testovacieho vzorku. Obr. 3.7



Obr. 3.7 Znáozornenie uchytenia testovaného ohybného substrátu na upevňovacie plochy

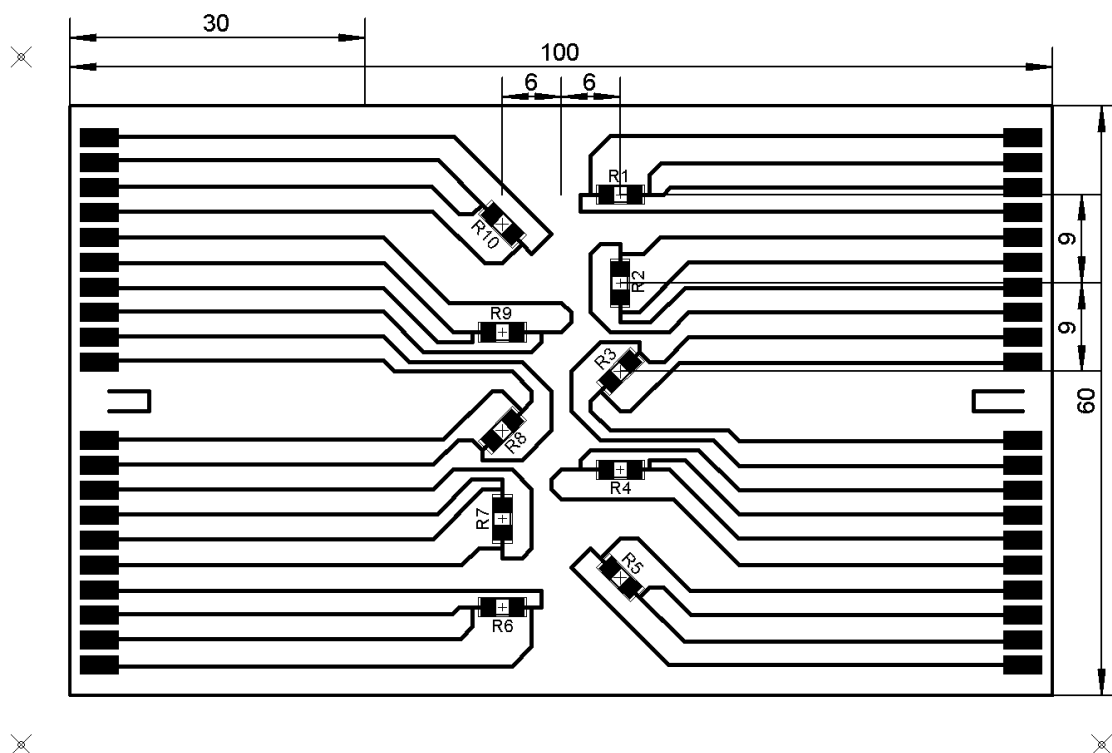
V ohybnom substráte je vytvorená diera o priemeru 3 mm, cez ktorú vedie stredová skrutka, aby nedochádzalo k posúvaniu substrátu. Podľa vzdialenosti tejto diery je možné prispôbiť ako veľká bude rozteč zohýbaného substrátu. Teda vzdialenosť medzi dvomi pevne uchytenými bodmi.

Celé zariadenie je upevnené na základnej drevenej doske pre zvýšenie pevnosti a stability a lepšej manipulácie zo zariadením.

Po pripevnení testovaného ohybného substrátu z prilepenými súčiastkami a zosúladením dĺžky rozteče bola stanovená metrická osa zo začiatkom od pevného bodu posuvnej plošiny.

3.4 Návrh a výroba testovacieho ohybného substrátu

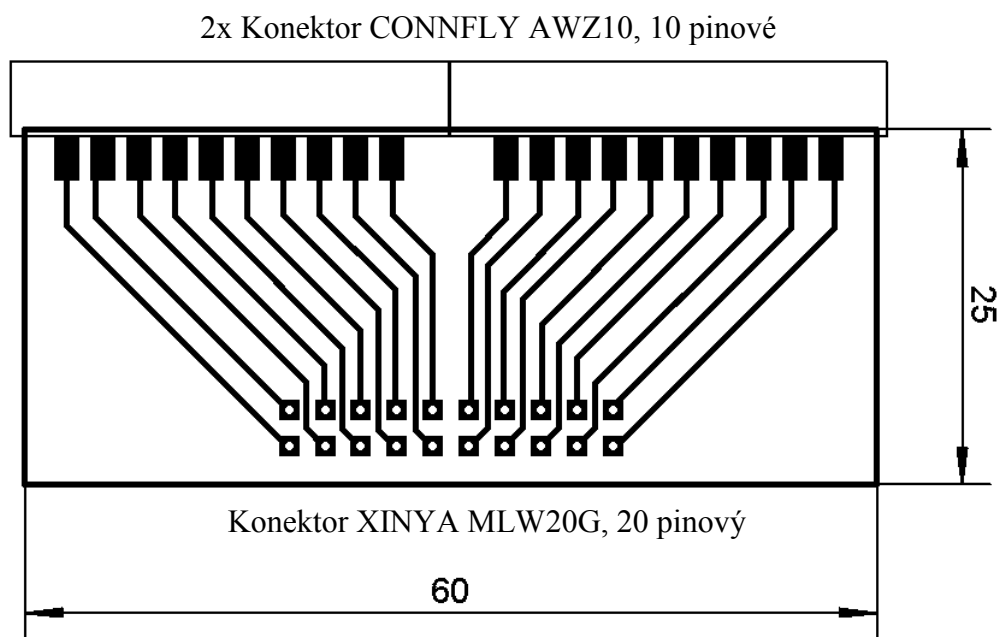
Pre testovanie bol použitý vyššie špecifikovaný 3.2.1 polyimidový ohybný substrát. Rozmery boli stanovené na 100x60 mm. Na tomto substráte bolo vytvorené testovacie zapojenie desiatich rôzne rozmiestnených a otočených rezistorov, aby sa dosiahlo porovnanie ako bude závisieť otočenie mechanicky namáhaných plošiek ku smeru ohýbania. Rezistory. Tieto rezistory sú umiestnené 6 mm od stredu substrátu, kde bude nastávať ohýbanie. Použitý layout je zobrazený na Obr. 3.8.



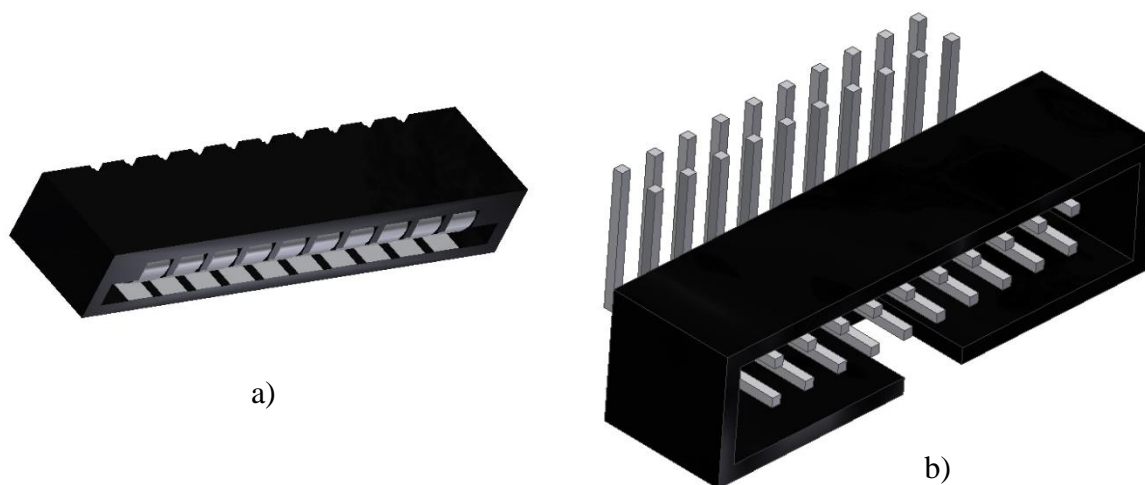
Obr. 3.8 Rozmery a rozmiestnenie testovacích plošiek rezistorov na ohybnom substráte

Na Obr. 3.8 je vidieť, že cesty z jednotlivých rezistorov sú pripojené na kontaktné plošky, ktoré budú následne pripojené do zasúvacieho konektoru pre ploché káble FFC. Tento typ konektoru (Connlfy AWZ10, 10 pinový) Obr. 3.10a) bolo vhodné použiť hlavne kvôli použitej polyimidovej fólie, ktorá je obdobná ako plochý spojovací kábel. Z týchto konektorov budú cesty vyvedené cez ďalšiu konektorovú dosku Obr. 3.9 von na ploché žilové káble, kde bude možné značne zjednodušiť premeriavanie odporu jednotlivých rezistorov.

Na Obr. 3.9 je znázornené rozmiestnenie ciest a konektorov na doske, ktorá je použitá pre vyvedenie jednotlivých ciest von z ohybnej dosky, aby bolo možné pripojenie žilového plochého kábelu cez 20 pinový konektor. Materiál tejto dosky bol FR4. Cez tento plochý kábel bude následne možné oveľa jednoduchšie premeriavanie odporov. Toto vyvedenie je spravené z hlavného dôvodu, aby nedochádzalo k priamemu kontaktu meracích konektorov s testovacím ohybným substrátom, kde by mohlo nastať nežiaduce pokrývanie vzorku.

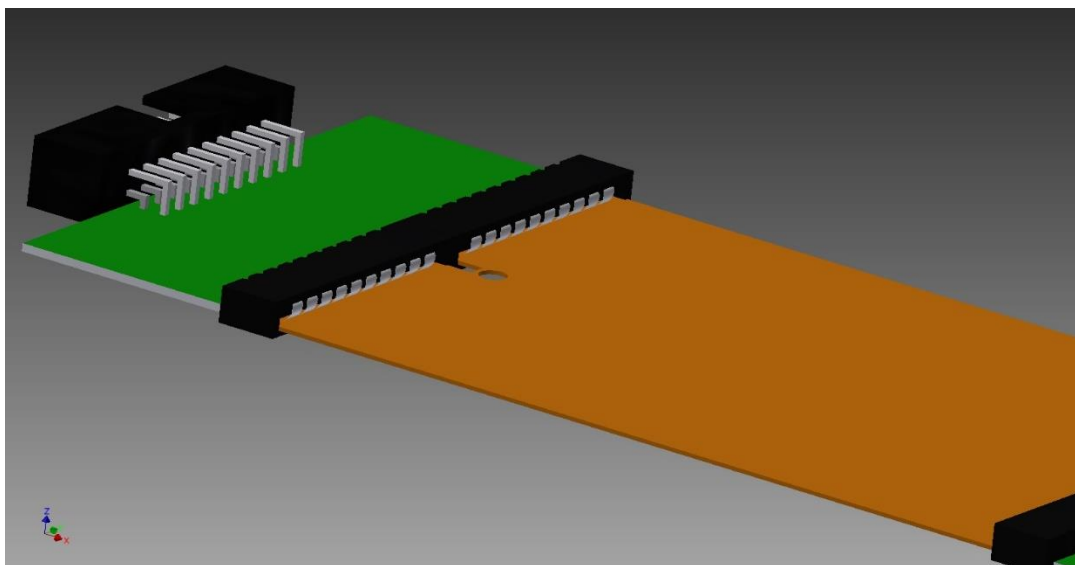


Obr. 3.9 Doska prepojovacieho konektoru pre vyvedenie meracích ciest z ohybného substrátu



Obr. 3.10 Použité konektory na prepojenie kontaktov z testovacej ohybnej dosky, a) CONNFLY AWZ10, b) XINYA MLW20G

Na Obr. 3.11 je možné vidieť poskladanú zostavu z použitých konektorov. Týmto bolo potom možné pomocou plochého kabeľu vyviesť meracie kontakty mimo testovací ohybný substrát.

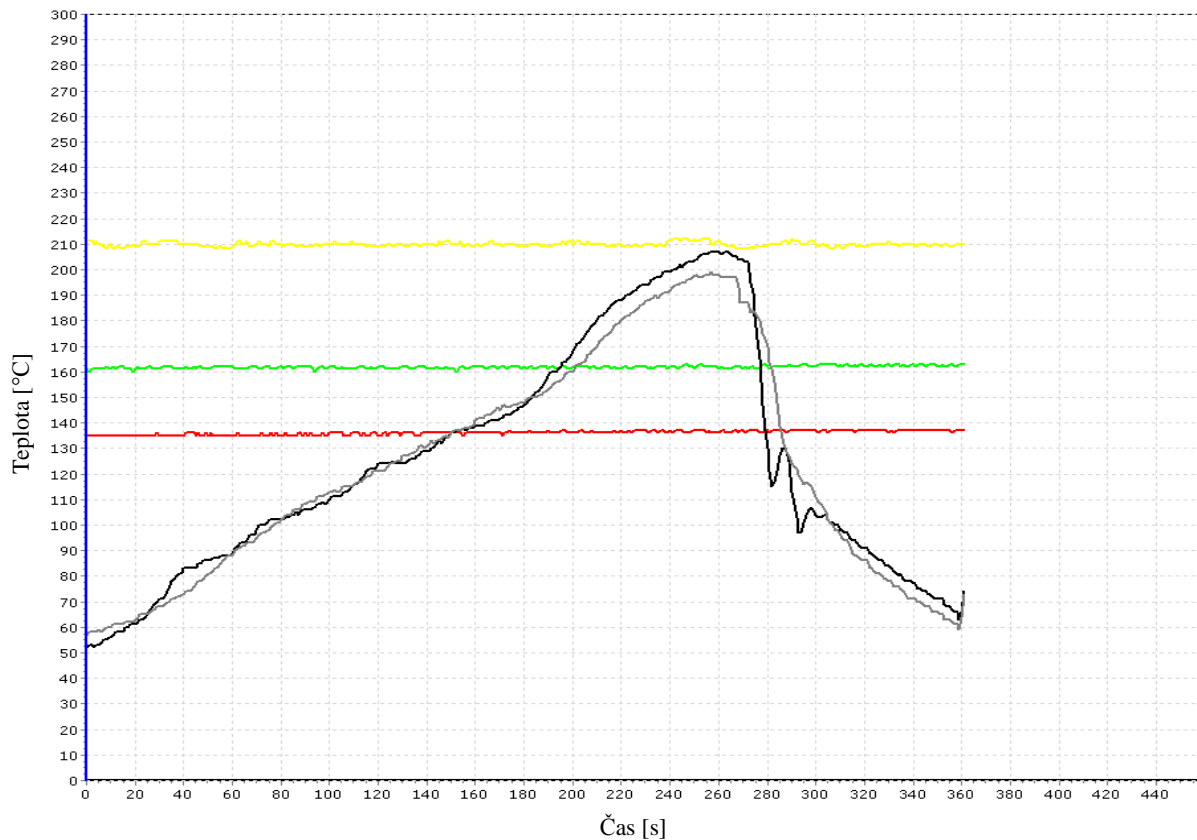


Obr. 3.11 Pohľad na zostavenie jednotlivých konektorov a prepojenia dosiek pre vývod meracích kontaktov

Po vytvorení motívu na testovacej ohybnej doske bolo nutné prilepenie rezistorov na pripravené pájacie plôšky pomocou pripravených vodivých lepidiel a pájacej pasty. Ako prvé bolo na testovaciu dosku použité strieborné epoxidové vodivé lepidlo EPO-TEK H31D, ktoré bolo použité sa štyri rezistory R1, R2, R3 a R10. Týmto lepidlom sme pokryli všetky sledované otočenia súčiastky voči ohýbaniu substrátu. Toto vodivé lepidlo sa použilo ako prvé pretože ako jediné sa muselo vytvrdzovať dlhú dobu, a ak by boli už na doske prilepené aj súčiastky iným lepidlom, u ktorých by došlo týmto dlhodobším pôsobením zvýšenej teploty k degradácii. Vytvrdzovanie lepidla bolo prevádzané pri teplote 100 °C po dobu 2 hodín. Odporúčané vytvrdzovanie výrobcom bolo pri teplote 150 °C po dobu jednej hodiny, ale bolo určené ako lepšia varianta vytvrdzovanie pri nižšej teplote a po dlhšiu dobu z dôvodu že pri dlhšom pôsobení vyššej teploty na testovací ohybný substrát mohlo prísť k jeho degradácii. Toto vodivé lepidlo bolo nanášané pomocou šablónovej tlače za použitia manuálnej stierky. Tento proces nanášania bol použitý z dôvodu, aby sa na každú nanášanú plôšku dostalo rovnaké množstvo lepidla, aby boli prilepené súčiastky totožné.

Ako druhé bola nanášaná nízkotavná pájka Bi58-XM5S, ktorej pretavovací profil bol nastavený na teplotu pretavenia na 183 °C podľa odporúčaného profilu pretavenia tejto pájky. [18] Pájka bola nanášaná na rezistory R4, R8 a R9. Tejto teplote dostatočne vyhovovali teplotné vlastnosti ohybného polyimidového substrátu a aj už vytvrdeného vodivého lepidla EPO-TEK H31D. Na Obr. 3.12 je zmeraný pretavovací profil, ktorým prešiel testovací substrát. Z dôvodu že pri prvej stanovenej teplote 160 °C bolo vizuálne pájka zle pretavená bol prispôbosený pretavovací profil na vyššiu teplotu, aby sa dosiahlo kvalitnejšieho pretavenia pájky. Možná príčina zlého pretavenia pre nižšej, ale odporúčanej teplote tejto pájky, bola pravdepodobne spôsobená životnosťou pájky, ktorej expiračná doba skončila pred piatimi rokmi. Pájka mala

malú zmáčavosť. Pájka bola nanášaná pomocou šablónovej tlačie, manuálnom stierkou, kvôli aby bola nanesená vrstva rovnomerná pre všetky nanášané plôšky.



Obr. 3.12 Pretavovací profil pájky Bi58-XM5S

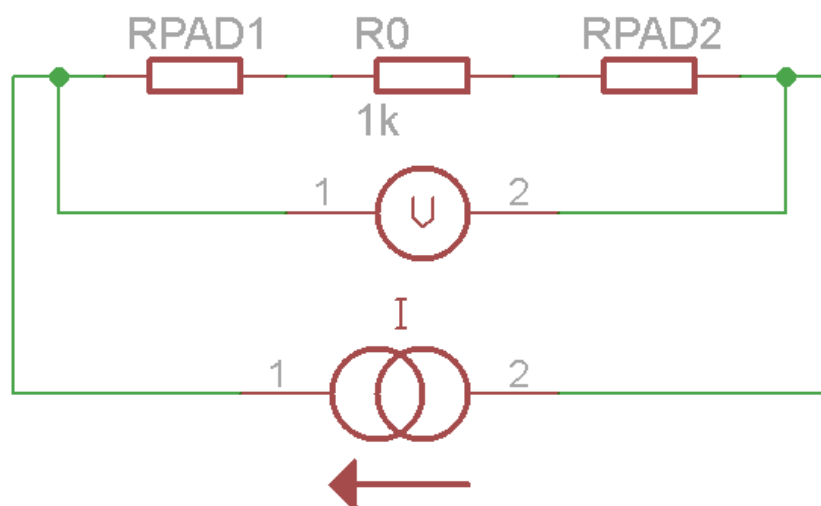
Po nanosení vodivého lepidla EPO-TEK H31D a nízkotavnej pájky Bi58-XM5S bolo ako posledné nanášané vodivé lepidlo Wire Glue. Toto lepidlo vďaka svojej pojivovej zložke na vodnej báze malo nízku viskozitu a roztekalo sa, takže nebolo ho možné nanášať pomocou šablónovej tlačie. K nanoseniu tohto lepidla sa použila tenká ihla, pomocou ktorej sa po kvapkách nanášalo lepidlo na kontaktné plôšky a použil sa rovnaký počet nanášaných kvapiek na každú plôšku, aby bol lepený spoj dobre pokrytý a mal dobrú vodivosť a pevnosť. Vytvrzovanie tohto lepidla sa prevádzalo pri izbovej teplote po dobu presahujúcu 48 hodín, ako uvádza výrobca, takže lepidlo bolo vytvrdené kompletne, podľa parametrov výrobcu. Vodivé lepidlo Wire Glue bolo aplikované na rezistory R5, R6 a R7.

Po tomto kroku bol testovací ohybný substrát pripravený k testovaniu. Na substráte je prilepených desať rezistorov pomocou troch rozdielnych lepidiel z rozličnými vlastnosťami, ktoré sa odlišujú odporom, mechanickou pevnosťou, pracovnou teplotou, a spôsobom vytvrdenia. Použitím viacerých lepidiel na jednom substráte bude možné sledovať ako sa menia sledované vlastnosti pri rovnakých podmienkach pre tri rôzne druhy lepidiel a pre rôzne natočenia vzhľadom ku smeru ohybu pre tieto vodivé lepidlá.

4 Experimentálna časť

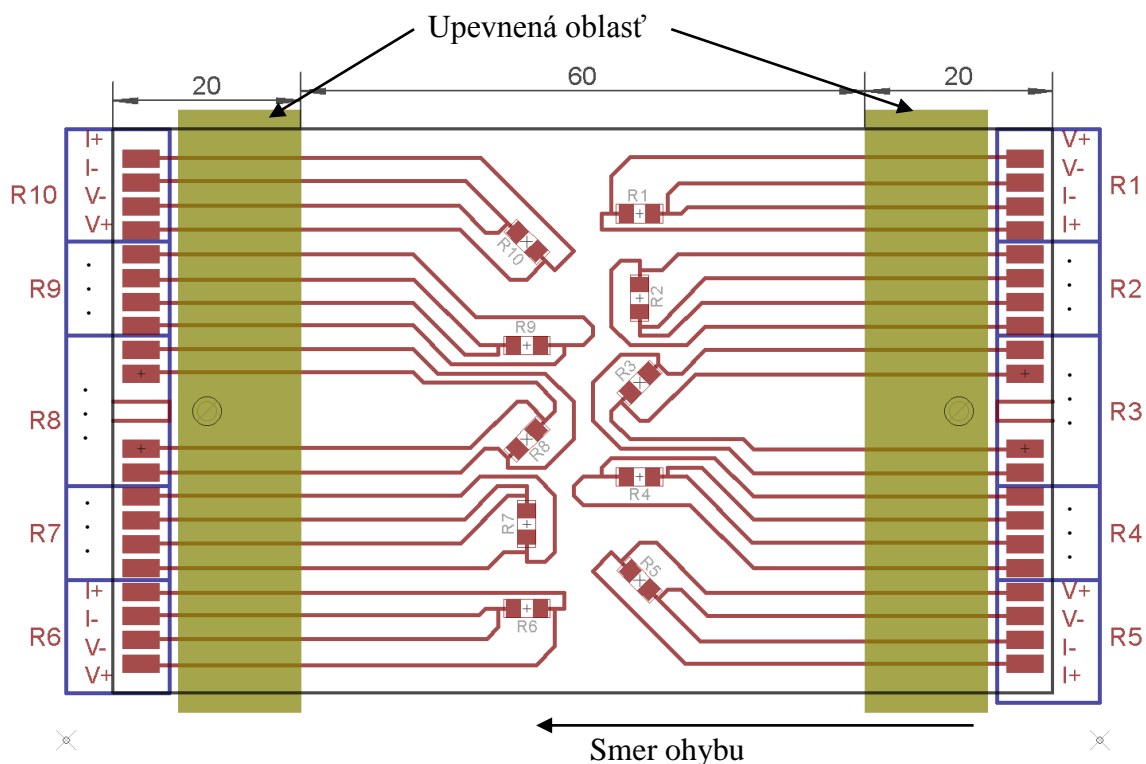
Táto kapitola je venovaná samotnému experimentálnemu premeriavaniu odporov jednotlivých prilepených rezistorov v závislosti na mechanickom namáhaní. Pre meranie odporu plošiek jednotlivých rezistorov je použitá štvorbodová metóda (Kelvinova metóda). Použitá metóda je vhodná hlavne pre eliminovanie odporu prívodov k meraným lepeným spojom. Funguje na princípe pomocou prúdového zdroja je to obvodu púšťaný prúd, ktorý vytvára na meranom odpore istý úbytok napätia a tento úbytok napätia je meraný ďalšími dvomi prívodmi. Kvôli veľkému odporu voltmetra cez napät'ové prívody netečie skoro žiadny prúd, ktorý by vytvoril iné parazitné úbytky napätia, ktoré by ovplyvnili merania. Táto metóda je vhodná pre tento experiment pretože prívody prechádzajú cez veľa kontaktov, ktoré by spôsobili parazitný odpor, ktorý merať nepotrebujeme.

Na Obr. 4.1 je znázornená schéma premeriavania odporu rezistorov. R_0 je priamo odpor diskretného SMD rezistoru v puzdre 1206. Jeho hodnota bude počas mechanického namáhania takmer nemenná. Predpokladá sa, že k poruche samotného rezistoru, ktorý je na keramickom substráte, by musela pôsobiť oveľa vyššia mechanická sila, kde skôr príde k odlepeniu lepidla, prípadne odlepeniu medenej plôšky od polyimidového substrátu. Sledovaná zmena odporu bude spôsobená hlavne oboma prilepenými plôškami a samotným naneseným lepidlom (pájkou). Odpor na plôškach RPAD1 a RPAD2 bude spoločná meraná vlastnosť zmeny odporu v závislosti na mechanickom ohýbaní.



Obr. 4.1 Schéma zapojenia meracieho zariadenia na meranom rezistore

Meranie odporu rezistorov bude prevádzané pomocou multimetra Agilent 34410A nastavený na meranie odporu štvorvodičovou metódou. Z prístroja pomocou štyroch krokosvoriek, ktoré sú pripájané na vodiče plochého výstupného kabeľu z ohýbacieho zariadenia. Vodiče plochého kabeľu sú zoradené od začiatku po štyroch skupinách, prvé dva pre napät'ové vodiče a ďalšie dva pre prúdové vodiče multimetra. Obr. 4.2



Obr. 4.2 Označenie vývodov pre meranie odporu a znázornenie uchytenia substrátu v ohýbacom zariadení (pohľad zhora)

Na Obr. 4.2 je znázornené označenie jednotlivých vývodov z jednotlivých rezistorov. Z každého rezistora vedú štyri vodiče pre meranie odporu. Označenie pripojenia jednotlivých vývodov je rovnaké pre každú stranu, vždy sú dve napäťové V+ a V- vedľa seba a rovnako aj prúdové I+ a I-. Toto usporiadanie je rovnaké aj na konci vyvedenej cesty t.j. na plochom kábli.

Rovnako je na Obr. 4.2 vidieť ako je realizované uchytenie ohýbného substrátu. Označené zelené plochy vyznačujú, že substrát sa bude ohýbať od 20 mm od krajov substrátu a ohýbacia vzdialenosť bude 60 mm.

Použité rezistory: 10 x R1206, 1K2, 1%, SMD.

Na Obr. 4.3 je znázornenie rozloženie testovaných prilepených rezistorov, ich otočenie, a aké vodivé lepidlo, alebo pájacia pasta je aplikovaná. Pri testovaní boli použité názvy premeriavaných odporov podľa použitej pasty a jeho natočenia ku zlomu ohybu (pr. Repo90 – R Epotek 90°, R wgl0 – R WireGlue 0°, Rpast-45 – R pájacia pasta Bi58-XM5S -45°). Obr. 4.3 zobrazuje celkové rozloženie meraných odporov lepidiel a ich názvy a testované natočenia, ktoré budú používané pri spracovaní a porovnávaní výsledkov.

Použité rezistory boli pred prilepením na nosný ohybný substrát jednotlivito premerané, aby bolo možné určiť ich presný odpor. Zmerané hodnoty sú v tabuľke Tab. 4.1. Odchýlky jednotlivých odporov sú v rozmedzí +/- 1% uvádzaného výrobcu pri hodnote 1,2 k Ω .

Tab. 4.1 Zmerané skutočné hodnoty odporu použitých SMD rezistorov 1K2 1206, presnosť 1%

Názov	Označenie	Odpor [k Ω]	Absolútna odchýlka [k Ω]	Relatívna odchýlka [%]	Lepidlo
Repo90	R1	1,19729	-0,00271	0,226	Epotek H31D
Repo0	R2	1,19940	-0,00060	0,050	Epotek H31D
Repo-45	R3	1,19740	-0,00260	0,217	Epotek H31D
Rpast90	R4	1,19890	-0,00110	0,092	BI58-XM5S
Rwgl45	R5	1,19820	-0,00180	0,150	WireGlue
Rwgl90	R6	1,19870	-0,00130	0,108	WireGlue
Rwgl0	R7	1,19620	-0,00380	0,317	WireGlue
Rpast-45	R8	1,19610	-0,00390	0,325	BI58-XM5S
Rpast90	R9	1,19913	-0,00087	0,072	BI58-XM5S
Repo45	R10	1,19940	-0,00060	0,050	Epotek H31D

Po prilepení všetkých rezistorov na testovací ohybný substrát boli znova tieto odpory premerané, tým bolo možné určiť akú zmenu odporu spôsobujú jednotlivé vodivé lepidlá po prilepení. Zmerané hodnoty odporov sú zapísané v tabuľke Tab. 4.2. Tieto hodnoty sú následne porovnané z referenčnými hodnotami odporov, ktoré boli premerané na rezistoroch, ktoré ešte neboli pripojené k substrátu z tabuľky Tab. 4.1. Absolútna a relatívna odchýlka v tabuľke vyjadrujú ako veľká bola zmena odporu po prilepení rezistorov, teda absolútna odchýlka je vlastne nárast odporu ktorý spôsobila použitá pájka. Tento nárast je spôsobený vodivosťou vodivého lepidla, usadením na pájacie plošky, množstvom naneseného lepidla a jeho adhéziou na povrch rezistoru a povrch pájacej plošky.

Tab. 4.2 Zmerané hodnoty odporov po prilepení rezistorov na pájacie plošky substrátu pri nulovom ohnutí

Názov	Označenie	Odpor [k Ω]	Absolútna odchýlka [Ω]	Relatívna odchýlka [%]	Lepidlo
Repo90	R1	1,19905	1,76	0,147	Epotek H31D
Repo0	R2	1,20509	5,69	0,474	Epotek H31D
Repo-45	R3	1,20760	10,20	0,852	Epotek H31D
Rpast90	R4	1,19910	0,20	0,017	BI58-XM5S
Rwgl45	R5	1,26210	63,90	5,333	WireGlue
Rwgl90	R6	1,28940	90,70	7,567	WireGlue
Rwgl0	R7	1,28056	84,36	7,052	WireGlue
Rpast-45	R8	1,19635	0,25	0,021	BI58-XM5S
Rpast90	R9	1,19951	0,38	0,032	BI58-XM5S
Repo45	R10	1,20110	1,70	0,142	Epotek H31D

Namerané hodnoty odporu prilepených súčiastok Tab. 4.2 sa budú ďalej brať ako referenčné hodnoty, od ktorých budú odvodené odchýlky zmeny odporu mi mechanickom ohýbaní substrátu.



Obr. 4.3 Schéma rozloženia testovaných rezistorov podľa uhľa natočenia a rozloženia lepidiel

Po zadefinovaní jednotlivých meraných elementov a zadefinovaní osadenia testovacieho substrátu do ohýbacieho zariadenia bol testovací substrát umiestnený a uchytený do pripravených držiakov v zariadení.

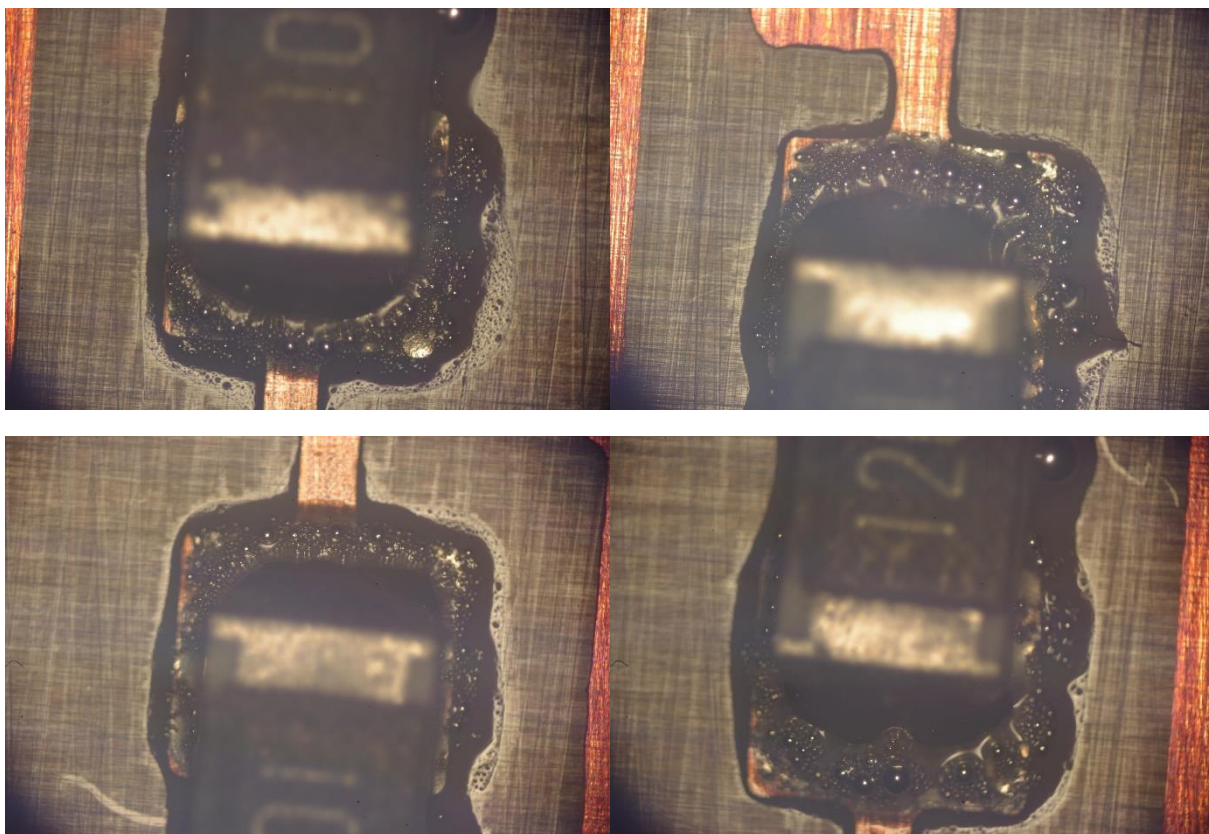
V ďalšom kroku experimentu bude skúmané postupné ohýbanie ohybného substrátu po kroku 5 mm a budú zaznamenávané hodnoty prilepených odporov. Pri posune pohyblivej plochy smerom k pevnej časti zariadenia bude nastávať ohýbanie substrátu. Čím bude menšia vzdialenosť medzi pohyblivou a pevnou časťou, tým menší bude priemer ohnutia substrátu. Ohýbaním substrátu sa začínalo z bodu 5 mm od nulového bodu, z dôvodu menšej nesymetrie zarovnania upevňovacích plôch pre substrát. Od tohto bodu sa postupovalo každých 5 mm postupného posúvania zariadenia a znižovanie vzdialenosti medzi pevnými bodmi a tým pádom znižovaniu priemeru ohybu.

Po jednom ohnutí substrátu bolo zrejmé, že jedno ohnutie substrátu zmenilo elektrické vlastnosti v desiatkach až stotínach percenta od referenčnej hodnoty. Referenčná hodnota je odpor zmeraný pri nulovom ohnutí substrátu. Pre túto skutočnosť bolo možné prejsť ku zaťažovaciemu testu, ktorý bude zhodnocovať zmenu odporu kontaktov v závislosti na počte ohnutí substrátu pri dĺžke rozteče posuvu od 55 mm (najmenší ohyb substrátu) do 5 mm (najväčšie ohnutie substrátu) premeriavanie bude prevádzané po kroku 20 opakovaní ohnutia.



Obr. 4.4 Detail prilepených spojov vodivým lepidlom Epotek H31D po vytvrdení

Na Obr. 4.4 sú zobrazené detaily prilepených kontaktov pomocou lepidla Epotek H31D, kde je možné sledovať, že lepené spoje sú prichytené hlavne na spodnej časti rezistora. Rezistor bol priložený zhora na nanesenú tenkú vrstvu lepidla pomocou šablónovej tlače. Podľa snímku je možné pozorovať, že uchytenie takto prilepených rezistorov sú situované hlavne na spodnú časť rezistorov, kde je adhézia lepidla najlepšia. Na snímku je jasne vidieť, že vrchné a bočné časti pájacej plošky rezistorov nie je vôbec prilepená, čo môže mať za následok zníženú pevnosť prilepenia pri mechanickom namáhaní. Táto nedostatočnosť prilepenia bola vidieť v experimentálnej časti, keď dochádzalo k rozpojeniu lepeného spoja pri ohýbaní.

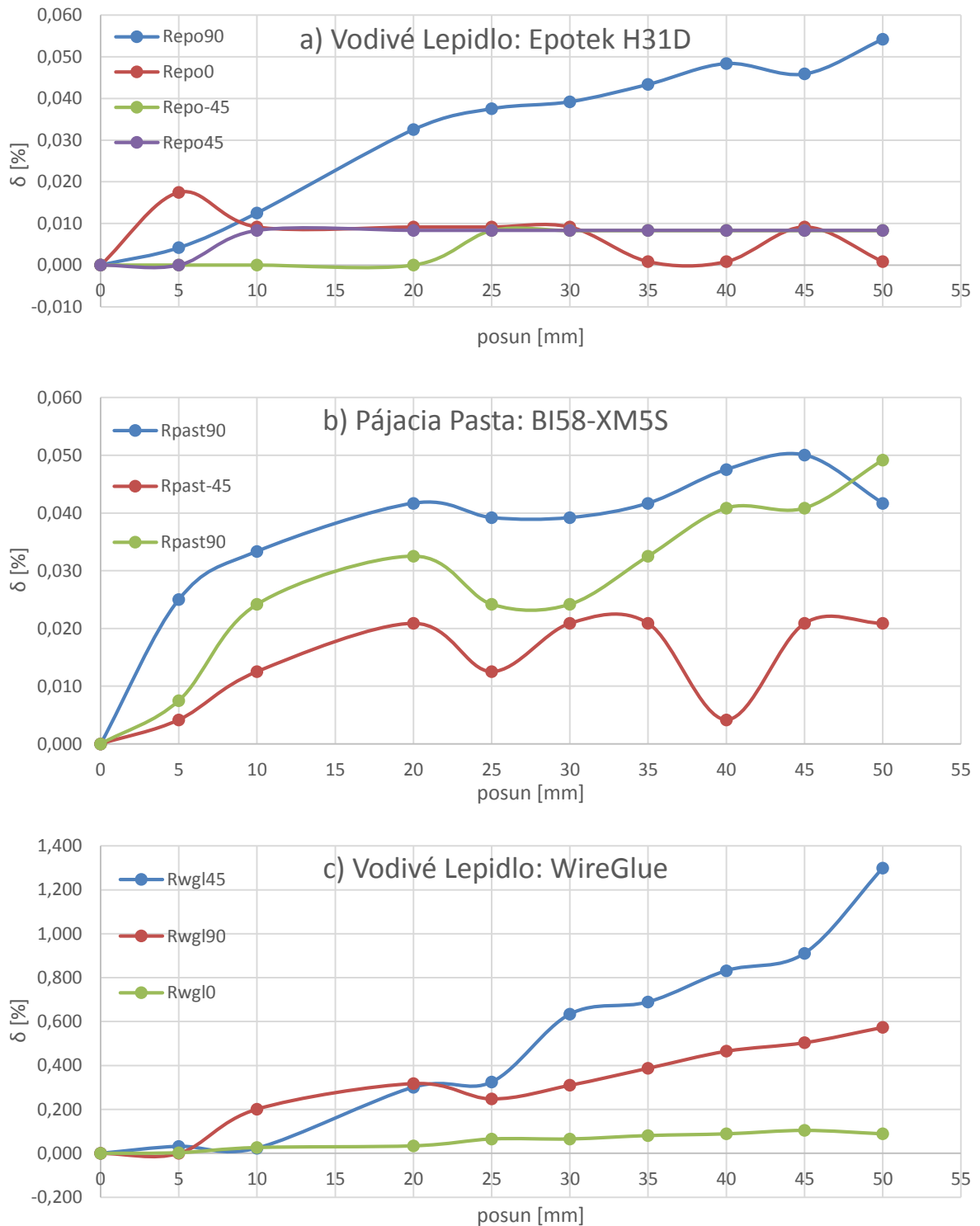


Obr. 4.5 Detail prilepených spojov pájacou pastou BI58-XM5S po pretavení

Na Obr. 4.5 sú zobrazené detaily kontaktov pripájaných pájacou pastou BI58-XM5S. Pájacia pasta vytvorila veľmi dobré pripojenie súčiastky k pájacej plôške. Z obrázkov je vidieť že pasta bola vhodne rozložená po pájacej plôške a dobre kontaktovaná aj na kontakty SMD rezistora. Pájacia pasta má veľmi dobrú mechanickú pevnosť a pri mechanickom namáhaní ohýbaním vykazovala iba veľmi malé nepatrné zmeny odporu pripájaného kontaktu. Výhodou pájacej pasty bol hlavne v obsahu taviacej zložky a tavilda, ktoré vytvorilo dobrú adhéziu na obe kontaktované plochy. U pájacej pasty sa taktiež vyskytli pájacie guľičky, ako je vidieť na obrázkoch. Možná príčina týchto tavných guľičiek mohla byť spôsobená degradáciou pájky časom, kde mohli byť pojivové a tavivové zložky už menej účinné. Pretavenie pájky boli prevedené pri teplote 160 °C, avšak po tomto pretavení neboli pripojenia dostatočné, tak sa potom zvýšila pretavovacia teplota vyššie, pretavovací profil je zobrazený na Obr. 3.12.

5 Výsledky meraní

Zhrnutie výsledkov merania jednotlivých testov ohybu pre závislosť zmeny odporu prilepených kontaktov pre jedno postupné ohnutie a pre zaťažovací test namáhania substrátu počas počtu opakovaní ohýbania pri stanovenej vzdialenosti ohybu.



Obr. 5.1 Zmerané závislosti zmeny odporu kontaktov pri postupnom ohýbaní substrátu pre jednotlivé použité lepidlá a) Epotek H31D, b) BI58-XM5S, c) WireGlue

V grafoch na Obr. 5.1 a), b) a c) sú zobrazené relatívne odchýlky δ zmeraných odporov kontaktov jednotlivých rezistorov porovnané ku referenčnej hodnote zmeraných odporov pri nulovom ohybe (tabuľka Tab. 4.2). Rozdelenie je podľa druhu použitého lepidla a v grafe sú znázornené priebehy závislosti odchýlok od referenčnej hodnoty v percentách.

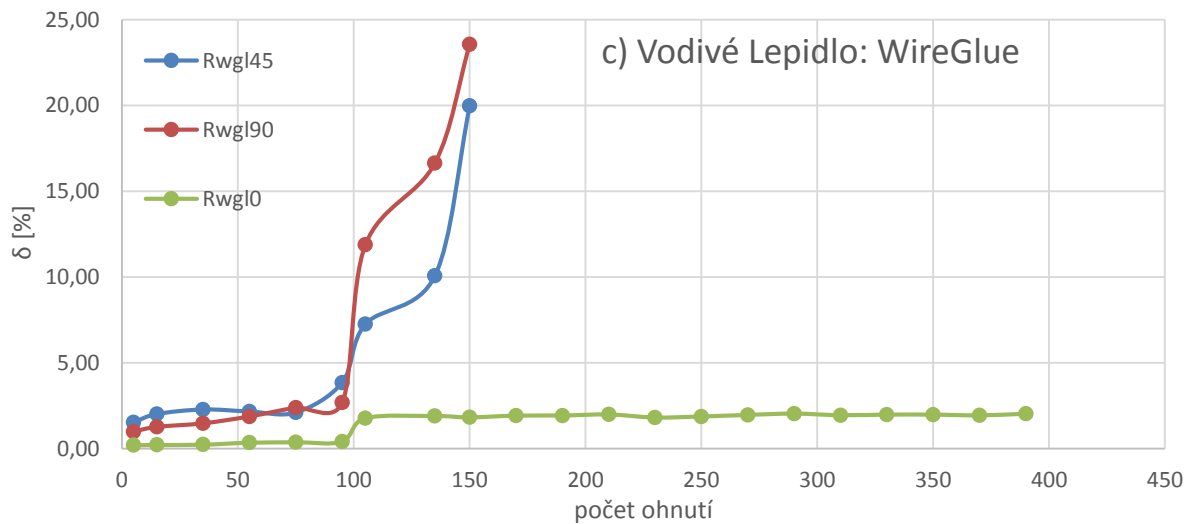
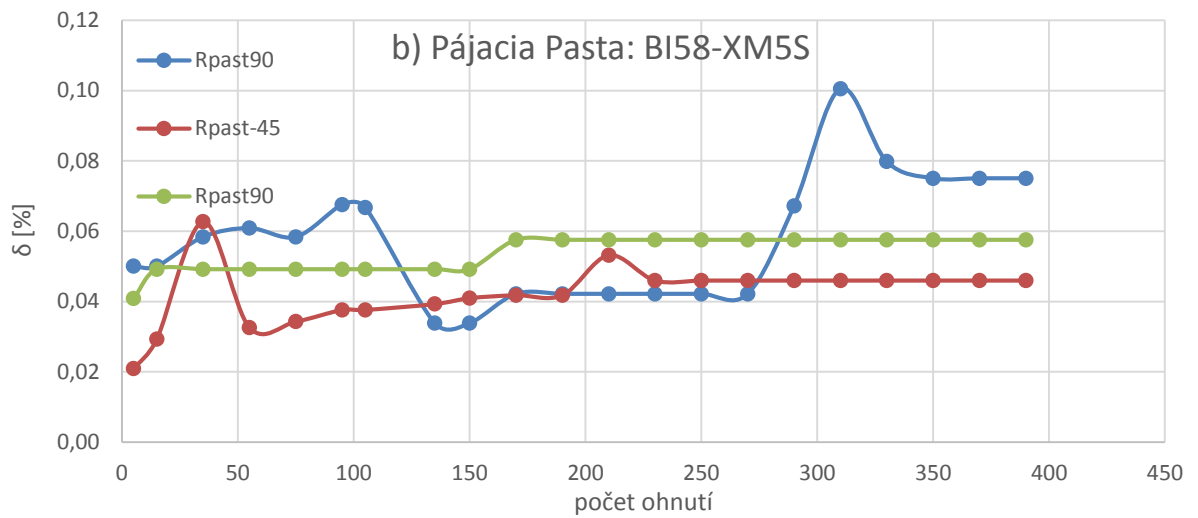
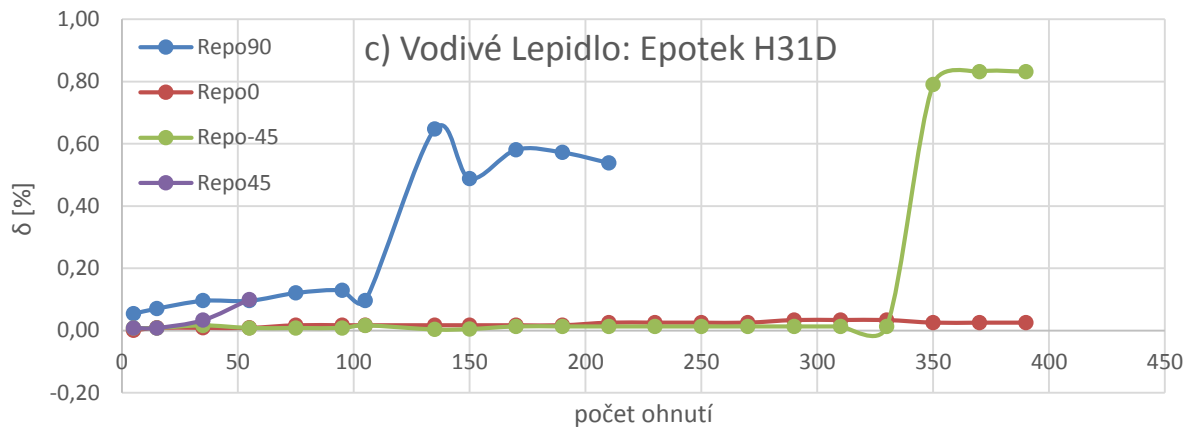
Zo zobrazených priebehov je možné porovnať tieto tri druhy vodivých lepidiel v akom veľkom rozsahu sa zmenili odchýlili odpory kontaktov pri mechanickom ohnutí substrátu. Najmenšie odchýlky do 0,06 % nastali pri vodivom lepidle Epotek H31D a pájacej paste BI58-XM5S a o niečo horšie dopadlo vodivé lepidlo WireGlue. Tieto rozdiely medzi vodivými lepidlami budú spôsobené rozdielnou adhéziou k lepenému povrchu a hlavne ich rozdielnym vytvrdzovaním. Lepidlo WireGlue bolo vytvrdzované pri izbovej teplote, a jeho mechanická pevnosť s porovnaním ku ďalším dvom lepidlám je o niečo horšia. Tieto vodivé lepidlá boli totiž vytvrdzované (pretavované) pri vyšších teplotách, čím sa dosiahla ich lepšia mechanická pevnosť a lepšia adhézia k povrchu.

Zmeny odporov pri tomto ohnutí boli v rozmedzí desiatok ohmov a pre menej kvalitnejšie lepidlo WireGlue nastala zmena odporu v jednotkách ohmov (do 17 Ω). Ako ďalšia časť testovania sa prešlo na zaťažovací test v závislosti na počtu ohnutí v rovnakej miere ohnutia ako bolo prevádzané prvé meranie. Týmto sa bude sledovať koľko krát bude možné ohybný substrát ohnúť než sa začnú meniť elektrické vlastnosti lepených kontaktov, prípadne koľko ohnutí je možné previesť kým príde k poruche jednotlivých kontaktov.

V zobrazených grafoch na Obr. 5.2 a), b) a c) sú zobrazené závislosti o akú veľkú percentuálnu odchýlku odporu sa zmenili hodnoty jednotlivých kontaktov v závislosti na počtu ohnutí ohybného substrátu. Percentuálna odchýlka je stanovená od referenčnej hodnoty zmeranej u nenamáhaného substrátu pri nulovom ohybe (Tab. 4.2).

Z týchto charakteristík je možné porovnať jednotlivé zmeny odporov pre použité lepidlá aký vplyv na lepené kontakty má mechanické ohýbanie substrátu. Najmenšiu zmenu elektrických vlastností vykazuje použitá nízkotavná pájka BI58-XM5S. U tejto pasty sú zaznamenané iba veľmi malé odchýlky v zmene odporu kontaktov. Kde najväčšie zmerané výkyvy sú na rezistore ktorý je natočený na 90 ° na smer ohybu, u ktorého nastáva najväčšie mechanické pnutie. Pájka dosahuje veľkej mechanickej pevnosti a veľmi dobrej vodivosti medzi spojenými spojmi, vďaka tomu, že vo svojom zložení obsahuje aj tavivo pre lepšiu adhéziu a prechádza procesom pretavenia, ktorý jej dodáva jej výborné výsledné vlastnosti.

Vodivé lepidlo Epotek H31D na bázy striebra vykazuje na grafoch dobré vlastnosti elektrickej vodivosti a stability pri mechanickom namáhaní lepených spojov. U tohto lepidla nastalo pri dvoch vzorkách k prerušeniu lepeného spoja. Toto lepidlo bolo nanosené na pájacie plôšky, na ktoré boli potom osadené rezistory a následne bolo vytvrdzované pri teplote 100 °C po dobu 2 hodín. Pevnosť tohto vodivého lepidla veľmi záležala na tom ako vhodne bolo toto lepidlo prichytené na lepený rezistor, pretože pri vytvrdzovaní nedochádzalo k roztečeniu.



Obr. 5.2 Zmerané hodnoty zmeny odporu kontaktov v závislosti na počtu ohnutí substrátu a) Epotek H31D, b) BI58-XM5S, c) WireGlue

Vodivé lepidlo Epotek H31D po vytvrdení si zachovalo rovnakú štruktúru ako pred nanesením, v prípade, keď lepidlo nebolo veľmi dobre prichytené na prilepovaný rezistor nemuselo prísť k veľmi dobrému prilepeniu. Tento aspekt je možné sledovať pri prilepenom rezistore Repo45, ktorý bol otočený 45 °k smeru ohybu. U tohto sledovaného rezistoru nastalo poruchové rozpojenie vodivého spoja už po 50 ohnutí a je možné predpokladať, že spojenie nebolo vhodne prilepené. Možné príčiny málo naneseného lepidla, alebo slabé uchytenie lepidla na kontakt rezistoru, rozpojenie nastalo malou držnou silou na kontakte rezistoru.

Druhý odpojený kontakt nastal pri rezistore, ktorý bol otočený 90 °na smer ohybu, kde nastávalo najväčšie namáhanie spoja pri otočení. Tento kontakt pri 100 ohnutiach substrátu zvýšil svoj odpor, teda nastalo poškodenie spoja a po 200 ohnutiach nastalo odtrhnutie kontaktu. Zvyšné prilepené kontakty týmto vodivým lepidlom, si udržiavali takmer stálu hodnotu svojho odporu, z čoho vyplýva že ich mechanická pevnosť bola dobrá. U tohto lepidla je hlavné dobré nanesenie lepidla, aby ním boli pokryté vhodne obe lepiace plochy pretože pri vytvrdzovaní sa tieto plochy nezmršujú a nastane čisto len vytvrdenie lepidla. Pri mechanickom ohýbaní u tohto lepidla nastávajú praskliny, ktoré potom vedú priamo k odpojeniu tohto lepeného kontaktu. Inak si lepidlo drží svoje elektrické vlastnosti veľmi dobre, ale je háklivé na mechanický ohyb a vytváranie prasklín v spoji.

Tretie sledované vodivé lepidlo WireGlue určené pre nenáročné aplikácie vykazuje najhoršie mechanické a elektrické vlastnosti. Pri vytvrdzovaní pri izbovej teplote nenastáva veľmi dobré vytvorenie spojenia medzi lepenými spojmi. Pri ohýbaní sa toto lepidlo vyznačovalo neustálym nárastom odporu kontaktu, až nakoniec došlo k odpojeniu kontaktu. Postupné zvyšovanie odporu značilo postupnú degradáciu spoje mechanickým namáhaním až sa tento spoj odpojil. V porovnaní s vodivým lepidlom Epotek H31D, u ktorého nastalo prerušenie prakticky okamžite pri vytvorení praskliny, lepidlo WireGlue vykazovala postupné prerušovanie spoja, čo bolo spôsobené, že toto lepidlo malo mäkšiu štruktúru, ktorá sa postupným mechanickým namáhaním postupne odpojovala od lepených kontaktov. U rezistoru, ktorý bol prilepený paralelne ku smeru ohýbania Rwg10 nastávalo minimálne mechanické namáhanie a tak si celý proces zohýbanie zachoval málo meniacu sa hodnotu odporu a nenastalo u neho žiadne poškodenie.

6 Záver

6.1 Zhodnotenie teoretickej časti práce

V práci sú v teoretickej časti zhrnuté niektoré organické materiály vhodné k použitiu ako ohybné flexibilné substráty pre komerčné použitie. Každý z preberaných organických materiálov sa vyznačuje rozličnými vlastnosťami a je vhodný na rôzne aplikácie.

Ďalej v diplomovej práci boli zhrnuté teoretické a z časti praktické vlastnosti určitých organických materiálov, ktoré je možné použiť pre výrobu organických svietivých diód OLED, alebo polymérnych diód PLED. V prvej kapitole sa pojednáva o niektorých materiáloch s π -konjugovanými väzbami, s ktorých je možno tieto organické súčiastky možno zostaviť. Kde v úvode boli popísané určité základné vlastnosti tejto technológie a ako je možné u týchto materiálov dosiahnuť čo najefektívnejšieho prenosu náboja a excitácie nosičov.

V ďalšom bloku sú rozobrané dva základné organické materiály (PPV a PFV) pre tvorbu organických diód OLED. Kde sú ukázané možnosti syntézy týchto dvoch materiálov a vytvorení rôznych derivátov pridávaním ďalších prvkov, ktoré výrazne ovplyvňujú ich vlastnosti. Pridaním ďalších organických zlúčenín, alebo vytváraní kopolymérov je možné v širokej škále upravovať vlastnosti týchto materiálov ako je teplota skleneného prechodu, energetická bariéra medzi hladinami LUMO a HOMO, podľa ktorej je taktiež možné meniť vlnovú dĺžku vyžarujúceho svetla organických diód. Prípadne ďalšie optické a elektrické vlastnosti týchto súčiastok, a taktiež možnosti uľahčenia výroby, aby boli materiály lepšie prilnavé k substrátu, alebo ku kontaktom, rozpustnosť v bežne dostupných rozpúšťadlách, alebo ich tepelnú a chemickú stabilitu.

6.2 Zhodnotenie praktickej časti

.V praktickej časti práce bola požiadavka na testovanie spoľahlivosti lepených spojov na ohybných substrátoch. Pre túto časť bolo nutné vytvoriť testovaciu metódu, ktorou by bolo možné vhodne otestovať mechanické namáhanie lepených spojov ohýbaním. Vytvorenie vhodnej štruktúry uloženia súčiastok na ohybný substrát a taktiež vytvoriť zariadenie, ktoré by bolo schopné prevádzať ohýbanie takto pripraveného substrátu, a aby bolo možné premeriavať jednotlivé skúmané prilepené súčiastky.

Pre tieto účely je nutné použiť zariadenie, ktoré bude schopné prevádzať opakovateľné ohýbanie substrátu. Kvôli nedostupnosti bolo vytvorené jednoduché zariadenie, kde je možné pripevniť ohýbaný substrát a pomocou lineárneho posuvu je dosiahnuté ohýbanie substrátu. Zariadenie je možné posúvať pomocou závitovej tyče, ktorá sa upevní na pevných koncoch zariadenia. Týmto spôsobom je v prípade potreby možné dosiahnuť jemný a presný lineárny pohyb, alebo je možné závitovú tyč pripevniť iba na pohyblivú časť a tým je možné dosiahnuť rýchlejšieho pohybu pre opakovateľné manuálne ohýbanie. Zariadenie je aktuálne prispôbené, iba na ručné ovládanie a lineárny posun podľa mierky umiestnenej na nosnej doske. Zariadením je týmto spôsobom možno dosiahnuť milimetrového kroku lineárneho pohybu, ktorý .dostačuje potrebám testovania. V diplomovej práci bolo zostrojené funkčné zariadenie lineárneho pohybu s ďalšími možnosťami úpravy.

Ako ďalej bolo spracované otestovanie takto navrhnutého ohybného substrátu pomocou ohýbacieho zariadenia. Bolo sledované správanie sa prilepených kontaktov pri postupnom znižovaní ohýbaného priemeru a tieto namerané dáta sú zaznamenané na Obr. 5.1. Po tomto teste bol prevedený ďalší zaťažovací test, kde sa sledovala životnosť a pevnosť jednotlivých prilepených kontaktov ako sa budú meniť ich vlastnosti z počtom ohnutí Obr. 5.2. V meraniach je možné porovnať tri použité vodivé lepidlá. Najlepšie vlastnosti vykazuje pájaci pasta BI58-XM5S, ktorá má najlepšiu pevnosť a vodivosť vďaka pretavovaciemu procesu. Ako druhé vodivé lepidlom bolo z dobrými vlastnosťami Epotek H31D na bázy striebra. Toto lepidlo má dobre vlastnosti pre použitie pre ohybne substráty, pretože je možné ho vytvrdzovať pri nízkych teplotách. Po vytvrdení malo lepidlo veľmi dobré vodivé vlastnosti, ale jeho pevnosť je veľmi závislá na dobrom a správnom nanesení lepidla a presnom prichytení lepenej súčiastky. Mechanická pevnosť lepidla bola dobrá, ale kvôli tvrdej štruktúry nastávalo praskanie lepidla a odpojeniu lepeného spojenia.

Tretie použité lepidlo WireGlue pre nenáročné aplikácie v porovnaní z ostatnými použitými lepidlami vykazovalo najväčšie zvýšenie odporu cesty po prilepení, čo je možné aj sledovať v parametroch, ktoré uvádza výrobca. Pevnosť tohto lepidla rovnako nebola moc vhodná pre použitie na ohybných aplikáciách z dôvodu nízkej pevnosti lepidla, ktoré vykazovalo zmeny v odporu kontaktov a znižovanie vodivosti pri ohýbaní substrátu. Vodivé

lepidlo WireGlue bolo vytvrdzované pri izbovej teplote, a nedosiahlo veľmi pevné prilepenie ako vytvrdzované lepidlo Epotek,

Použitou metódou bolo možné otestovať spoľahlivosť lepených spojov pomocou vodivých lepidiel na ohybnom substráte. Ohýbanie bolo založené na uchytení dvoch bodov a ich približovaniu k sebe, čím nastávalo mechanické ohýbanie substrátu. Pri tomto type ohýbaní bolo ohýbanie ovplyvnené rozložením prilepených súčiastok na substráte, preto boli situované pri stred ohybu, aby oblúk ohybu pôsobil na lepené kontakty. Ďalšou možnou metódou bolo možnosť ohýbanie substrátu pod plnou valcovou plochou, kde by priemer valca bol presne definovaný v každom bode substrátu. Pri tejto metóde by sa predpokladane prejavili väčšie zmeny mechanického namáhania lepených spojov.

Ďalšia úprava testovacieho systému môže byť vytvorením testovacej metódy ohýbania vytvorením trojbodového ohýbania. Kde je možnosť realizovať zariadenie vertikálnym uložením a pridaním dvoch nosných bodov na pevnú časť zariadenia a jedného pohyblivého bodu na pohyblivú časť napojenú na závitovú tyč. A vhodným pridaním elektrického riadeného motora pripojeného na závitovú tyč by bolo možné dosiahnuť riadený lineárny pohyb pojazdnej plošiny.

7 Použité skratky a symboly

PPV - Polyphenylen-Vinylen

PFV - Polyfluoren-Vinylen

OLED – Organic light emitting diode, Organická svetlo emitujúca dióda

PLED – Polymérna dióda

LUMO - najnižšie neobsadený molekulárny orbital

HOMO - najvyššie obsadený molekulárny orbital

PL – Photoluminescent, fotoluminiscenčné

EL – Electroluminescent, elektroluminiscenčné

DMOP-PPV - poly[2-{2-((3,7-dimethyloctyl)oxy)phenoxy}-1,4-phenylenevinylene]

THF - Tetrahydrofuran

8 Použitá Literatura

- [1] CRAWFORD, G. P. Flexible Flat Panel Display Technology. 2005 [cit. 15-3. 2014], s. 10. Dostupné z:<http://media.johnwiley.com.au/product_data/excerpt/86/04708704/0470870486.pdf>.
- [2] CHOI, M.-C. et al. Polymers for flexible displays: From material selection to device applications. *Progress in Polymer Science*, 2008, sv. 33, č. 6, s. 581-630. ISSN 0079-6700.
- [3] SHIYANOVSKAYA, I. et al. Single-substrate encapsulated cholesteric LCDs: Coatable, drapable, and foldable. *Journal of the Society for Information Display*, 2006, sv. 14, č. 2, s. 181-186. ISSN 1938-3657.
- [4] LOGOTHETIDIS, S. Flexible organic electronic devices: Materials, process and applications. *Materials Science and Engineering: B*, 2008, sv. 152, č. 1-3, s. 96-104. ISSN 0921-5107.
- [5] LIN, Y. R. et al. 50.3: Electro-Optical Performance of Bending Ultra-Flexible Film-Like Display. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, sv. 36, č. 1, s. 1565-1567. ISSN 2168-0159.
- [6] HISASHI, I. et al. Plastic Substrates for Flexible Displays. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2006, sv. 45, č. 5S, s. 4325. ISSN 1347-4065.
- [7] LIM, H. et al. Flexible Organic Electroluminescent Devices Based on Fluorine-Containing Colorless Polyimide Substrates. *Advanced Materials*, 2002, sv. 14, č. 18, s. 1275-1279. ISSN 1521-4095.
- [8] ASANO, A. et al. 28.2: A Plastic 3.8-in. Low-Temperature Polycrystalline Silicon TFT Color LCD Panel. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2003, sv. 34, č. 1, s. 988-991. ISSN 2168-0159.
- [9] TAMILVANAN, M. a JIN, S. H. *ORGANIC ELECTRONICS*. USA: Taylor and Francis Group, LLC, 2010. s. ISBN 978-1-4200-7290-7.
- [10] Polydispersity index. [online]. 12 July 2011 [cit. 3-11. 2013]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polydispersity_index>.
- [11] STEPTO, R. F. T. et al. Dispersion in Polymer Science. *Pure Appl. Chem.* 2009, [cit. 3-11 2013], s. 351-353. Dostupné z:<<http://media.iupac.org/publications/pac/2009/pdf/8102x0351.pdf>>.
- [12] Proton NMR. [online]. [cit. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Proton_NMR>.
- [13] GOTTLIEB, H. E. et al. NMR Chemical Shifts of Common Laboratory Solvents as Trace Impurities 1997, s. 62. ISSN 7512-7515.
- [14] KOPELIOVICH, D. Flexural strength tests of ceramics. [online]. [cit. Dostupné z: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=flexural_strength_tests_of_ceramics>.
- [15] COMPAN, D. DuPont™ Pyralux®AP All-Polyimide Flexible Laminate. *A Family of High-Performance Adhesiveless Laminates for Flexible Printed Circuit Applications* [online]. E.I. du Pont de Nemours and Company, [cit. 14-4 2014]. Dostupné z: <http://www.pragoboard.cz/download/pyralux_ap.pdf>.

- [16] EPOXY TECHNOLOGY, I. EPO-TEK®H31D Technical Data Sheet. [online]. EPOXY TECHNOLOGY, INC., [cit. 14-4 2014]. Dostupné z: <http://www.epotek.com/site/administrator/components/com_products/assets/files/Style_Uploads/H31D.pdf>.
- [17] O., E. S. S. R. Elektrovodivé lepidlo Wire Glue pro elektroniku. [online]. Praha: ELCHEMCo spol. s r. o., [cit. 24-4 2014]. Dostupné z: <<http://web.elchemco.cz/elektrovodive-lepidlo-wire-glue.php>>.
- [18] OTÁHAL, A. *OPTIMALIZACE PROCESU PÁJENÍ NA ZAŘÍZENÍ IR-400*. ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY. Brno: VUT Brno, 2010.