

Příprava a charakterizace nanokompozitních tenkých vrstev

Jakub Ševčík

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub ŠEVČÍK**
Osobní číslo: **T10865**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Příprava a charakterizace nanokompozitních tenkých vrstev.**

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše – příprava nanokompozitních tenkých vrstev.
2. Příprava nanokompozitních tenkých vrstev.
3. Charakterizace vlastností připravených nanokompozitních vrstev pomocí dostupných metod.
4. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze.
5. Formulace závěru.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Edited by Skotheim, Reynolds: Handbook of Conducting polymers, Third edition 2007.
JETSON, R., K. Yin, K. Donovan, Z. Zhu, Effects of surface modification on the
fluorescence properties of conjugated polymer/ZnO nanocomposites, Material
Chemistry and Physics, Vol. 124, 2010, pp. 417-421.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Urbánek

Centrum polymerních materiálů

Datum zadání bakalářské práce:

11. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

31. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



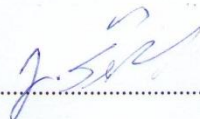

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 29. 5. 2013


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o polymer/anorganických nanokompozitech pro tenké vrstvy. Je zkoumána závislost modifikující látky (ZnO nanočástic) na optoelektronické vlastnosti MEH-PPV. Pozornost je soustředěna také na vliv postupů přípravy nanokompozitu a na topografii povrchů vrstev. Diskutován je také vliv přídavku nanočástic na výslednou tloušťku vrstev.

Klíčová slova: MEH-PPV, ZnO (NP), nanokompozitní tenké vrstvy, optoelektronické vlastnosti

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with polymer/inorganic nanocomposites for thin films. The dependence of modifying agents (ZnO nanoparticles) on optoelectronic properties of MEH-PPV is investigated. The research scope is focused on the effect of dispersing procedures during the preparation of nanocomposite and on surface topography of layers. The influence of the nanoparticles presence in the nanocomposite is discussed in terms of layer thickness.

Keywords: MEH-PPV, ZnO (NP), nanocomposites thin film, optoelectronic properties

Rád bych nyní při této příležitosti následujících pár skutečně od srdce vycházejících slov věnoval výjimečným lidem. A proto bych v první řadě chtěl poděkovat své rodině, jejíž podpora a tolerance se mi během studia dostávala opravdu v koncentrované míře. Poděkování dále patří panu Ing. Pavlu Urbánkovi za cenné rady a profesionální vedení při tvorbě bakalářské práce.

Tato práce byla podpořena interní grantovou agenturou Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně (grant č. IGA/FT/2013/025).

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VODIVÉ POLYMERY	12
1.1 HISTORIE VODIVÝCH POLYMERŮ.....	12
1.2 VYUŽITÍ VODIVÝCH POLYMERŮ.....	14
1.3 KONJUGOVANÝ SYSTÉM DVOJNÝCH VAZEB.....	15
1.3.1 Optoelektronické vlastnosti.....	17
1.4 MODIFIKACE VODIVÝCH POLYMERŮ.....	18
1.4.1 Polymer/anorganické nanokompozity.....	19
1.5 NANOKOMPOZITNÍ TENKÉ VRSTVY.....	19
2 VYBRANÍ ZÁSTUPCI VODIVÝCH POLYMERŮ A VHODNÝCH MODIFIKUJÍCÍCH LÁTEK	21
2.1 PPV A JEHO DERIVÁTY.....	21
2.1.1 MEH-PPV Poly[2-metoxy-5-(2-etyl-hexyloxy)-1,4-fenylen-vinylem].....	22
2.1.2 Příprava PPV a MEH-PPV.....	22
2.1.2.1 Wessling-Zimmermanova syntéza.....	23
2.1.2.2 Syntéza pomocí otevírání kruhů (ROMP – “Ring-opening metathesis polymeration”).....	23
2.1.2.3 Gilchova syntéza MEH-PPV.....	24
2.2 NANOČÁSTICE OXIDU ZINEČNATÉHO (ZNO-NP).....	25
3 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
4.1 PŘÍPRAVA NANOKOMPOZITNÍCH TENKÝCH VRSTEV.....	29
4.1.1 Chemikálie a příslušenství.....	29
4.1.2 Postup práce.....	30
4.1.2.1 Čištění substrátů.....	30
4.1.2.2 Příprava roztoků.....	30
4.1.2.3 Depozice nanokompozitních tenkých vrstev.....	32
4.2 CHARAKTERIZACE NANOKOMPOZITNÍCH TENKÝCH VRSTEV.....	33
5 VÝSLEDKY	34
5.1 TLOUŠŤKY TENKÝCH VRSTEV.....	34
5.1.1 Tenké vrstvy z roztoku MEH-PPV a z disperze MEH-PPV + ZnO (NP) ve směsi CB a DCB na substrátu QG.....	34
5.1.1.1 Tenké vrstvy z roztoku MEH-PPV a z disperze MEH-PPV + ZnO (NP) ve směsi CB a DCB na substrátu ITO.....	34
5.2 UV-VIS ABSORPČNÍ SPEKTRA.....	35
5.3 EMISNÍ A EXCITAČNÍ SPEKTRA.....	36
5.4 TOPOGRAFIE POVRCHŮ VRSTEV.....	39
6 DISKUSE VÝSLEDKŮ	42

6.1	VLIV PŘÍTOMNOSTI NANOČÁSTIC NA TLOUŠŤKY VRSTEV	42
6.2	OPTOELEKTRONICKÉ VLASTNOSTI NANOKOMPOZITU	42
6.3	VLIV PŘÍPRAVY NANOKOMPOZITU NA POVRCH VRSTEV	43
ZÁVĚR		44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		54
SEZNAM OBRÁZKŮ		55
SEZNAM TABULEK		57

ÚVOD

První zmínky o kompozitních materiálech pochází z 12. století, kdy mongolští mistři za vlády Čingischána aplikovali své poznatky a vyzbrojili kočovné pastevce kompozitním reflexním lukem. Tuto zbraň můžeme zařadit na úroveň římského meče či anglického kulometu, protože zásadně ovlivnila chod dějin. Do té doby používaný dlouhý dřevěný luk, jímž byla vyzbrojena většina pěších lukostřelců, se pro jízdu jevil zcela nepoužitelným. Nejprve byly pokusy dřevěný luk zmenšit, aby manévrování jízdy bylo efektivnější, avšak jakákoliv modifikace tvaru této zbraně měla naprosto samodestrukční účinky. A právě tyto poznatky spolu s genialitou mongolských mistrů se staly kolébkou vzniku prvního kompozitního materiálu. Lidé ze stepí měli k dispozici všechny potřebné suroviny – dřevo, zvířecí rohy, šlachy, tmel. Rohovina vysoce odolná tlaku byla připevněna do dřevěného základu (matrice), díky ní byla zformována vnitřní strana těla luku. Vnější strana luku byla potažena šlachami, jejichž dominantní vlastností je odolnost proti natažení. Poslední ingrediencí byla látka sloužící jako pevné pojivo, která byla získávána vyvařením ze šlach či ryb. Takto vyrobený kompozitní luk dosahoval pozoruhodných vlastností.

Snahou této bakalářské práce je zkoumat vlivy nanočástic jednak na výsledné optoelektronické vlastnosti polymeru a dále je zkoumán dopad modifikujícího materiálů na tloušťky vrstev a na topografii povrchů tenkých vrstev připravených z nanokompozitu. Očekávaným může být rozšíření aplikačního potenciálu těchto nanokompozitů, především v oblasti optoelektroniky.

Literární rešerše je rozdělena do dvou stěžejních kapitol. První kapitola seznamuje s vodivými polymery, převážná část je věnována jejich struktuře, historii a způsobům modifikace. Druhá kapitola poskytuje informační základ o materiálech vybraných pro praktickou část.

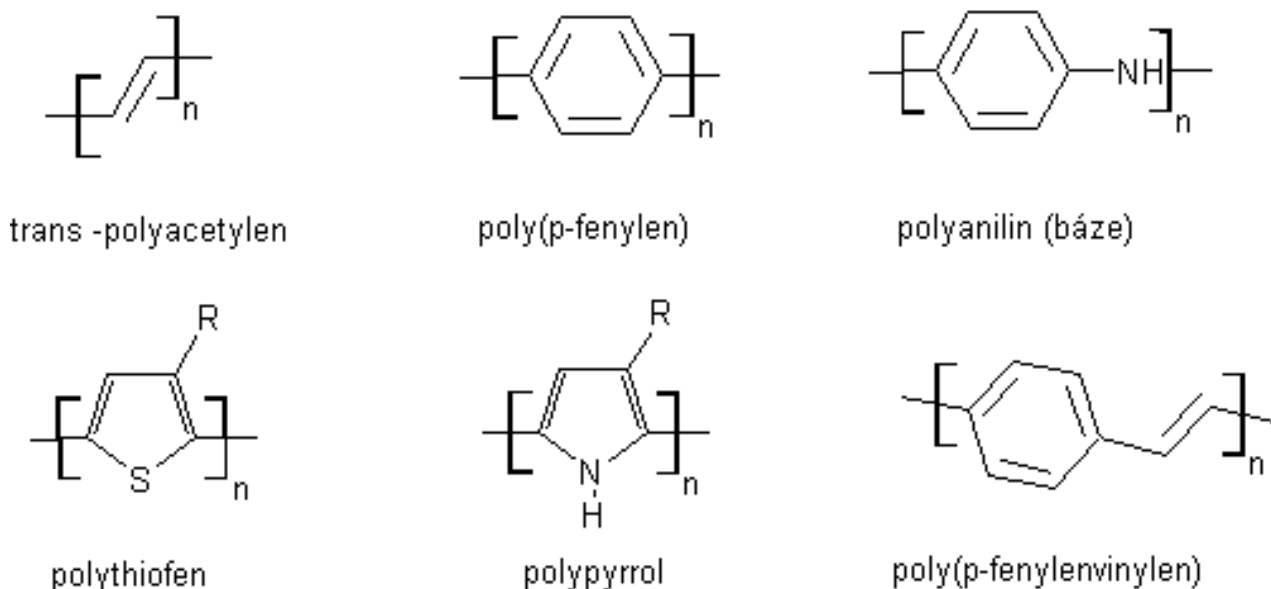
Praktická část je rozdělena na tři hlavní kapitoly. Kdy v první kapitole jsou uvedeny postupy přípravy nanokompozitních tenkých vrstev a metody jejich charakterizace. Druhá kapitola shrnuje naměřené výsledky, které jsou v následující kapitole diskutovány.

V závěru této bakalářské práce je podáno účelné shrnutí celého experimentu a výsledků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VODIVÉ POLYMERY

Znalost vodivosti, veličiny charakterizující elektrické vlastnosti, nám dává možnost rozčlenit látky na vodiče, polovodiče a izolanty [1]. Na základě těchto poznatků polymery obecně řadíme mezi izolující materiály. Jsou známy však dva případy skupin polymerů, které díky své specifické atomární struktuře přenos náboje umožňují. Buď to polymerní řetězec obsahuje konjugovaný systém vícenásobných vazeb (jedná se o tzv. π – konjugované polymery; např. PA, PPV) nebo jsou σ – vazebné elektrony delokalizovány podél řetězce díky interakcím mezi jednotlivými atomy (např. polysilany) [2-3]. Polymery s takto delokalizovanými elektrony pak svými vlastnostmi připomínají polovodiče. Klíčovým předpokladem pro vodivost konjugovaných polymerů je přítomnost nositelů náboje, které pohyb po konjugovaném řetězci zprostředkovávají. Stejně jako u anorganických polovodičů můžeme nositele elektrického náboje vytvořit zavedením nízkomolekulárních látek, jež mají povahu donoru či akceptoru elektronů. Tento proces se nazývá dopování [4].



Obrázek 1 - Nejznámější zástupci π – konjugovaných polymerů, překresleno z [5].

1.1 Historie vodivých polymerů

Již 35 let jsme svědky nevídaného progresu materiálů, které v sobě snoubí výborné zpracovatelské vlastnosti polymerů a elektrické vlastnosti polovodičů či kovů. Kolébkou těmto významným materiálům se stala událost v šedesátých letech 20. století, kdy

výzkumný tým v čele s pány H. A. Pohlem a J. E. Katonem syntetizoval polysulfurnitryl, vykazující vlastnosti polovodiče [6]. Skutečnou vlnu ohlasů však vzbudila v letech 1977 práce trojice vědců G. Macdiarmida, A. J. Heegera a H. Širakawi, jejichž objev týkající se vytvoření nositele náboje v *trans*-polyacetylenu dopováním, byl oceněn Nobelovou cenou za chemii pro rok 2000. Mimořádným zjištěním se tedy stal fakt, že díky dopování můžeme měrnou vodivost polymerů zvýšit o několik řádů a dostat se tak na úroveň některých kovů [7-9].

ALAN G. MacDIARMID

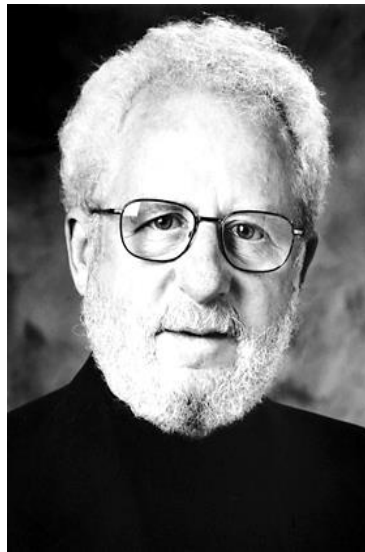
Byl profesorem chemie na Pensylvánské univerzitě. Zkoumá přípravu a vlastnosti polyanilínu i jeho oligomerů, zaměřil se na možnosti jejich využití jako senzory [10].



Obrázek 2 - Alan G. Macdiarmid [10].

ALAN J. HEEGER

Je profesorem fyziky a ředitelem Výzkumného ústavu polymerů a organických pevných látek při Kalifornské univerzitě v Santa Barbaře. Zabývá se studiem transportu v polovodivých polymerních látkách, emisí světla v těchto materiálech a využitím zmíněných vlastností pro konstrukci laserů a diod [11].



Obrázek 3 - Alan J. Heeger [11].

HIDEKI ŠIRAKAWA

Byl profesorem chemie ve Výzkumném ústavu materiálových věd Univerzity v Cukubě, nedávno odešel do důchodu [12].



Obrázek 4 - Hideki Širakawa [12].

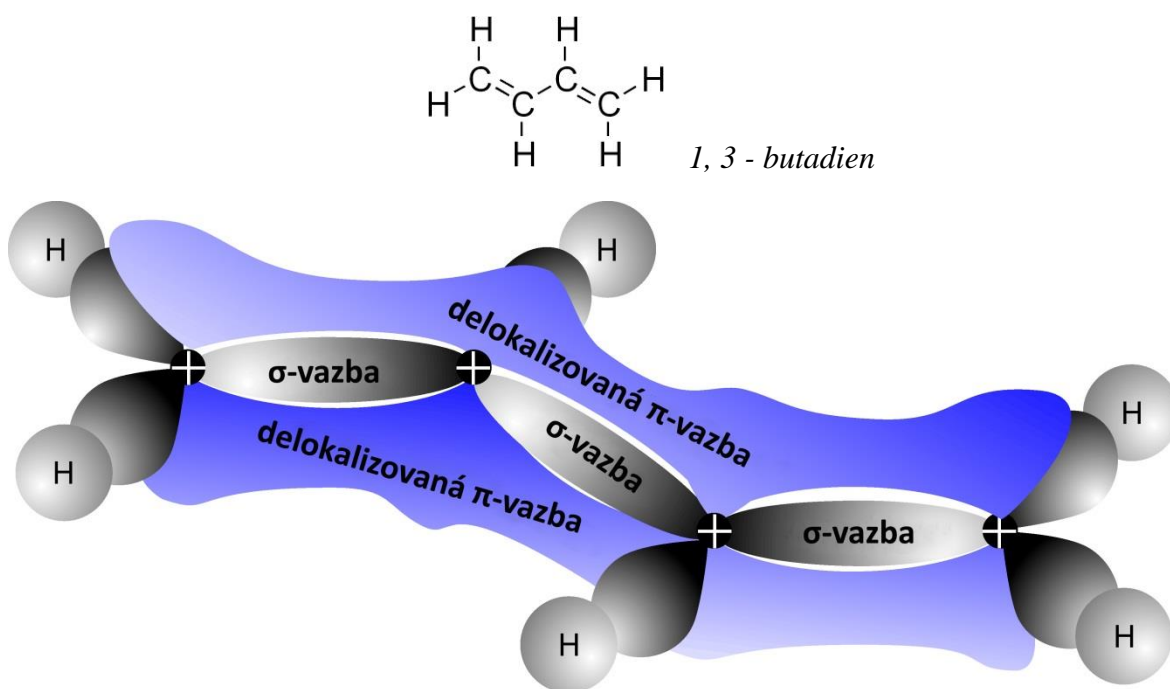
1.2 Využití vodivých polymerů

S objevem materiálů, jejichž mechanické a hlavně elektrické vlastnosti můžeme do jisté míry ovlivňovat, přichází také nové možnosti jejich uplatnění. Mezi hlavní odvětví spadá elektronika, optoelektronika, fotovoltaika. Finální produkty pak mohou mít podobu spínačů, organických tranzistorů, OLED diod (organické LED diody), solárních článků a mnoho dalších zařízení [13-15]. Díky své výborné vodivosti si zpočátku pozornost

vysloužil polyacetylen. Zjistilo se však, že jeho omezená stabilita je pro některé typy aplikací aspektem zcela limitujícím. Proto bylo centrum zájmu přesunuto k stabilnějším vodivým polymerům, jako jsou polyanilin či polypyrrol [16]. Tato skutečnost pak měla za následek velice důležitý zvrat. Začalo se postupně upouštět od myšlenky, která směřovala k nahrazení kovů vodivými polymery. Novou, mnohem realističtější vizí byla snaha rozšířit aplikační potenciál polymerních polovodičů, neboť díky možnosti měnit jejich strukturu i vlastnosti, je lze využít tam, kde jsou vlastnosti anorganických polovodičů nedostačující [17].

1.3 Konjugovaný systém dvojných vazeb

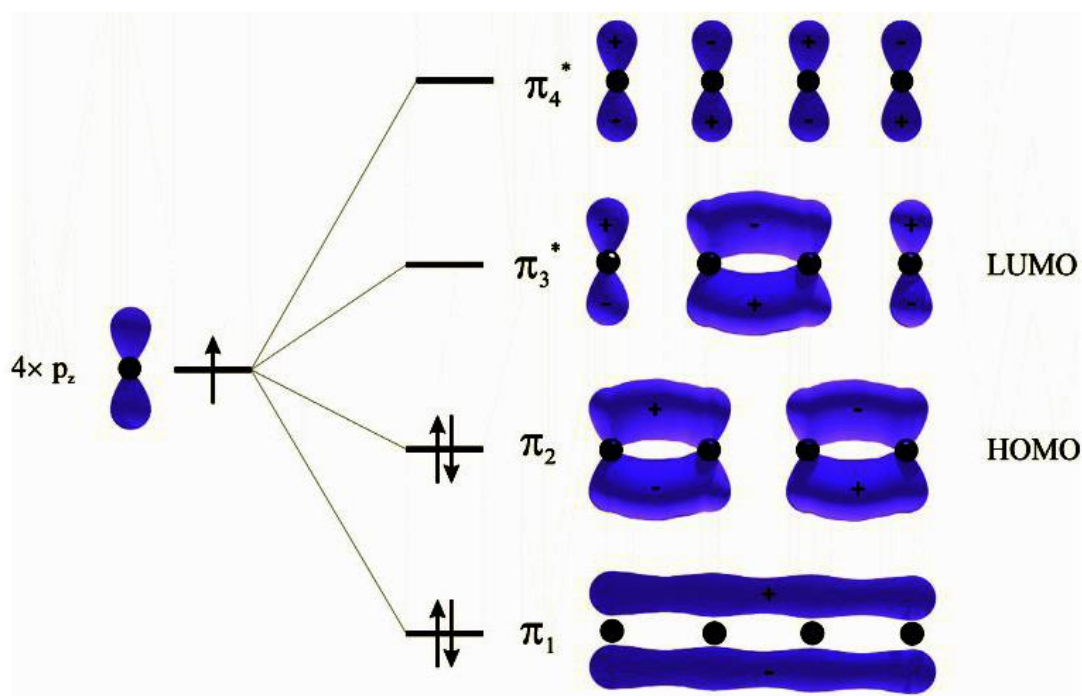
Organické sloučeniny, obsahující systém střídání jednoduchých a dvojných vazeb, disponují významnými vlastnostmi. Příčinou je jejich elektronová struktura.



Obrázek 5 - Atomové orbitály butadienu, které se podílejí na vzniku vazeb. Degenerované sp^2 orbitály dávají svým překryvem vzniknout jednoduchým σ vazbám. Delokalizované p_z orbitály pak tvoří π vazby [18].

Uhlíky vázané dvojnou vazbou mají 3 ze svých 4 valenčních elektronů situovány v sp^2 degenerovaných orbitálech, ležících v jedné rovině a svírajících mezi sebou úhel 120° . Čtvrtý valenční elektron je obsažen v orbitalu p_z , který je postaven kolmo na tuto rovinu. Jednoduchá σ vazba vzniká překryvem sp^2 . K tvorbě dvojných π vazeb pak přispívají

orbitály p_z . Protože k tomu však dochází bočním překryvem π vazba je slabší než σ . S narůstajícím počtem vazeb vznikají také nové tzv. molekulové orbitály. Vezmeme-li v potaz σ vazbu, tak jsou to dva orbitály, vazebný a proti-vazebný. Analogicky je to i u π vazby, kdy k jednomu π vazebnému orbitalu vzniká orbital proti-vazebný. V základním stavu má molekula všechny valenční elektrony umístěny ve vazebných molekulových orbitalech. Energeticky nejbohatší obsazený orbital je označován jako HOMO (akronym z anglického highest occupied molecular orbital). Energeticky nejchudší neobsazený orbital se nazývá, LUMO (lowest unoccupied molecular orbital). Aby se molekula dostala do excitovaného (vzbuzeného) stavu, je zapotřebí dodat energii, jejíž minimální hodnota musí být rovna energetickému rozdílu orbitalů HOMO a LUMO [19].

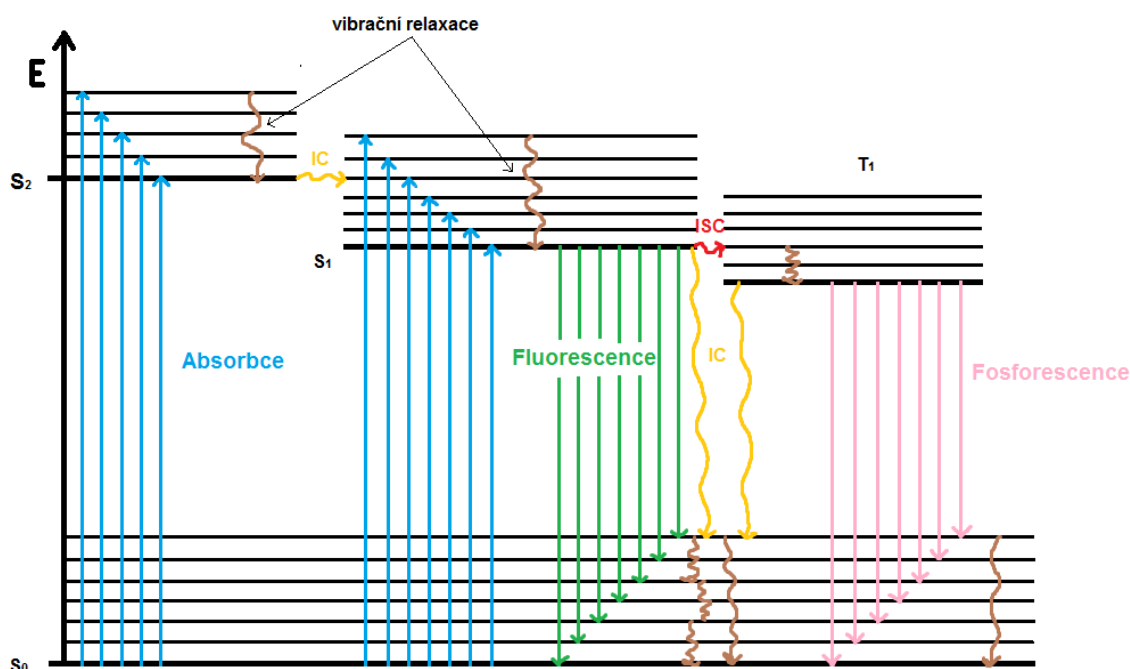


Obrázek 6 - Vazebné orbitály (π_1 , π_2) a proti-vazebné orbitály (π_3 , π_4) v molekule 1, 3 – butadienu. Překresleno podle [19].

V látkách obsahujících konjugovaný systém dvojných vazeb, dochází také k delokalizaci, neboli k rozložení π elektronů podél uhlíkového řetězce. Příčinou jsou interakce π orbitalů znázorněny na obrázku 5, kde se nachází nejjednodušší π konjugovaná molekula 1, 3 – butadienu. Důsledkem je pak usnadněný pohyb π elektronů po konjugovaném úseku molekuly, které se stávají případným zdrojem volných nosičů náboje [19-22].

1.3.1 Optoelektronické vlastnosti

Optoelektronické vlastnosti vykazují látky, které jsou schopny absorbovat UV a viditelné záření a generovat nosiče náboje elektronovými přechody. Další významnou optoelektronickou vlastností je luminiscence (způsobena např. absorpcí elektromagnetického záření nebo elektrickým nábojem). Pro vysvětlení nejlépe poslouží Jabloňského diagram (viz. *Obrázek 7*), ze kterého je patrné, že při relaxaci excitovaných elektronů, čili přechodu z excitovaných hladin zpět na základní energetický stav, může docházet k emisi fotonů [23].



Obrázek 7 - Jabloňského diagram vyobrazující elektronové přechody a jejich relaxace, překresleno podle [23].

Podle způsobu relaxace elektronů pak mohou nastat tyto případy:

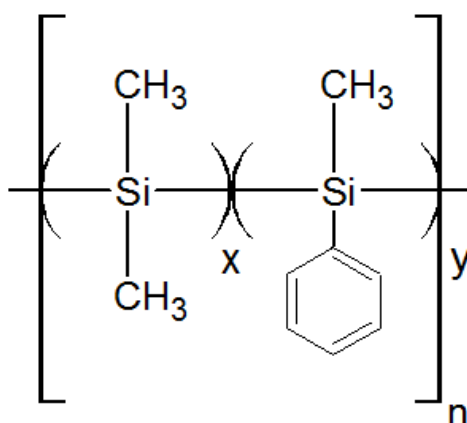
1. Dochází-li k relaxaci přes tzv. zakázané stavy (triplety), hovoříme o fosforescenci.

2. Naopak pokud k relaxaci dochází přes povolené stavy (singlety), jedná se o fluorescenci [23].

1.4 Modifikace vodivých polymerů

Jak už bylo dříve podotknuto, tak vodivé polymery jsou ve své čisté formě přinejlepším polovodiče. K tomu, aby u nich bylo dosaženo požadovaných vlastností (zvýšení vodivosti), je zapotřebí dalších modifikací. Dopování, neboli zavedení nízkomolekulárních látek s povahou donoru či akceptoru, které je obdobné jako u anorganických polovodičů, je jednou z nejdůležitějších metod modifikace vlastností materiálu. Je založeno na fyzikálně-chemickém základu a využívá se především k modifikaci vodivosti materiálu. Jak odhalil Shirakawa ve svých studiích, oxidativním dopováním je možno zvýšit měrnou vodivost látek o několik řádů [4].

Následující neméně důležitou možností, jak modifikovat vodivé polymery je roubování postraních substituentů na jejich hlavní řetězec. Z hlediska zpracovatelských a mechanických vlastností je velice žádaná kombinace dvou a více odlišných polymerních struktur, čehož se docílí přípravou blokového kopolymeru. Pro představu takto roubovaného kopolymeru může být uveden poly (dimethylsilan-methylphenylsilan) [24].



Obrázek 8 – poly (dimethylsilan-methylphenylsilan), překresleno podle [24]

Avšak z hlediska optoelektroniky a solární energie patří do oblasti aktuálního zájmu polymer/anorganické nanokompozity [25].

1.4.1 Polymer/anorganické nanokompozity

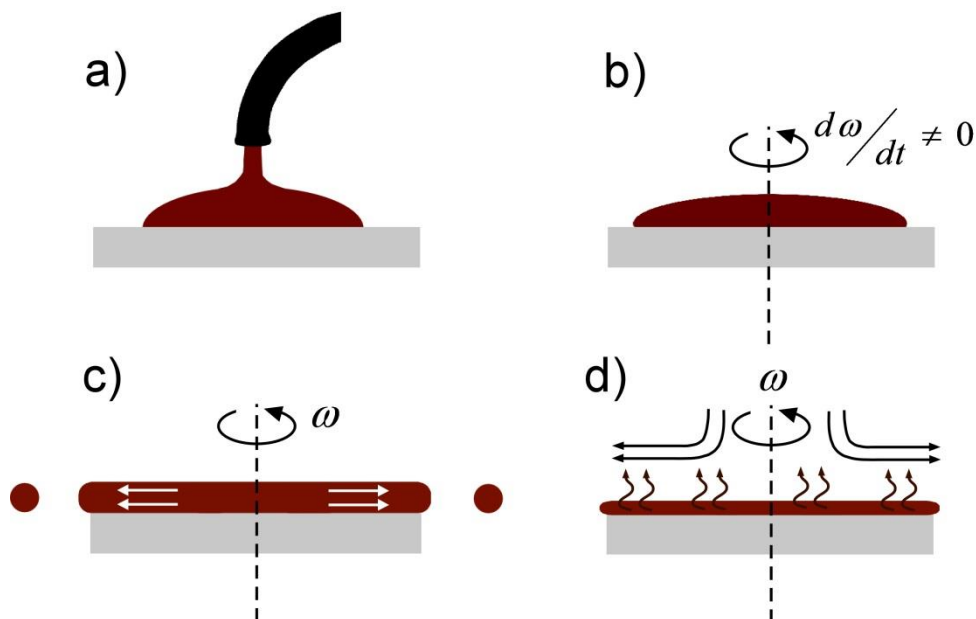
Jedná se o materiály vzniklé začleněním anorganických nanočástic do vodivé polymerní matrice. Tento přístup může využít výhod prospěšných vlastností obou materiálů. Konkrétně se jedná o prvotřídní optoelektronické vlastnosti konjugovaných polymerů a vysokou pohyblivost elektronů anorganických polovodičů [26]. Kromě toho jsou polymery technologicky výhodné vzhledem k snadnému a flexibilnímu zpracování z roztoků. Polymer/anorganické kompozity jsou obvykle připravovány sol – gel procesem, in situ syntézou [26-28], metodou přímého elektrostatického míchání či kombinací jednotlivých metod. Např. přímé elektrostatické míchání poskytuje příležitost k získání jemných kompozitních nanovláken, přičemž hlavními výhodami jsou vysoká rychlost reprodukce, nízké náklady a poměrně jednoduchá příprava [29].

1.5 Nanokompozitní tenké vrstvy

Tenké vrstvy hrají v současnosti důležitou roli ve výzkumných oblastech, jako jsou zobrazovací technologie [30], solární články [31], integrované obvody [32], či technologie ukládání dat [33]. Samotná aplikace pak identifikuje techniku přípravy, fyzikální vlastnosti a výslednou kvalitu vrstev. Příprava tenkých vrstev může být klasifikována dle užití technologie např. kdy je materiál formující vrstvu aplikován z roztoku, nebo kdy není použito rozpouštědlo a materiál je deponován z plynné fáze [34].

Nicméně pokud jsou připravovány tenké vrstvy z koloidní disperze, samotné depozici musí předcházet kvalitní dispergace nanočástic v roztoku polymeru. Nejjednodušším způsobem je mechanické míchání, které bývá doprovázeno ultrazvukovou sonifikací.

Jedna z významných technik depozice tenkých vrstev z roztoku je spin coating. Zde je roztok nanášen na otáčející se substrát, což vede k jeho rozprostření, přičemž je následně odpařeno rozpouštědlo (viz *Obrázek 9*).



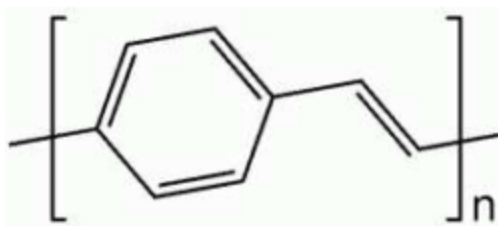
Obrázek 9 - Princip spin coatingu [35].

Po uplynutí potřebného času (několika sekund až minut) je získán pevný uniformní materiál v podobě hladkého filmu na substrátu [36]. Hlavními výhodami spin coatingu jsou vysoká reprodukovatelnost a jednotné formace vrstev na rovinných substrátech o průměru až 30 cm. Reprodukovatelností je myšlena míra shody při měření vzorků v různých místech různými lidmi (homogenita, profil) [37]. Díky této metodě jsme schopni získat vrstvy o tloušťce od několika nanometrů až po jednotky mikrometrů, kdy hlavními parametry procesu přípravy filmů jsou koncentrace materiálu v roztoku, jeho viskozita, rychlost otáčení substrátu a doba rotace substrátu.

Obvyklou metodou přípravy tenkých vrstev bez přítomnosti rozpouštědla je fyzikální depozice z plynné fáze (PVD), při níž je materiál odpařen nebo sublimován ve vysokém vakuu či nosném plynu. Materiál v plynném skupenství poté kondenzuje na substrát a je formován do svazků, molekula za molekulou. Výsledná vrstva je velice čistá, bez nečistot, jako jsou prach či zbytky rozpouštědla. Hlavní nevýhodou PVD je skutečnost, že je tato metoda silně selektivní. Může být tedy použita pouze u látek, které lze odpařit nebo sublimovat bez tepelného rozkladu [38-39].

2 VYBRANÍ ZÁSTUPCI VODIVÝCH POLYMERŮ A VHODNÝCH MODIFIKUJÍCÍCH LÁTEK

Tato kapitola pojednává o materiálech, jejichž použití a užitečnost díky výborným optoelektronickým vlastnostem vedlo až ke konečným aplikacím.



Obrázek 10 – Strukturální vzorec PPV [40]

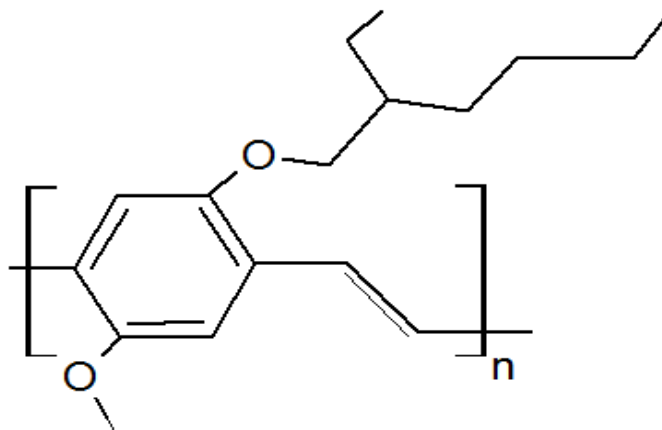
2.1 PPV a jeho deriváty

Poly (p-fenylenvinylen) je jedním ze zástupců π -konjugovaných polymerů. Z obrázku č. 10 je patrné, že PPV je pravidelně alternující kopolymer p – fenylenu a trans – vinylenu. Velký zájem vzbuzuje PPV díky svým jedinečným chemickým a fyzikálním vlastnostem, mezi které patří zejména vodivost, elektroluminiscence a dobrá rozpustnost vybraných derivátů, umožňující jednoduché zpracování elektronických součástek. Dobré filmotvorné vlastnosti, které jsou zejména závislé na morfologii a lokálním strukturálním uspořádáním každého řetězce ve výsledné vrstvě, jsou další zajímavostí materiálů odvozených od PPV.

Konjugovaný homopolymer PPV, bez postraních řetězců, se však neobejde bez limitujících vlivů. Majoritním problémem je jeho špatná rozpustnost a obtížná zpracovatelnost. Tuto negativní skutečnost je možné potlačit zavedením ohebných postraních substituentů na hlavní řetězec. Včetně rozpustnosti můžeme přidáním vhodných substituentů ovlivňovat také délku konjugovaných řetězců, a tím selektovat barevnost polymeru. Naopak díky objemným postranním substituentům vznikají sterické zábrany vedle hlavního řetězce. Což má za následek snížení afinity dvou molekul k interakci a znemožnění tak např. průběhu chemické či fyzikální reakce [41-42].

Deriváty PPV vyžadují velice citlivé zacházení při syntéze a přípravě vzorků, kvůli jejich nízké stabilitě na vzduchu a světle. Během syntézy je potřeba také dbát na to, aby molekulární hmotnost finálního derivátu nebyla příliš vysoká, protože s její rostoucí

hodnotou klesá rozpustnost i v polárních rozpouštědlech jako jsou chloroform či tetrahydrofuran [43-44].



Obrázek 11 – Strukturní vzorec MEH-PPV [40].

2.1.1 MEH-PPV Poly[2-metoxy-5-(2-etyl-hexyloxy)-1,4-fenylene-vinylen]

Mezi velice významné deriváty PPV patří MEH-PPV. Dle chemické struktury, zobrazené na obrázku č. 11, si můžeme povšimnout, že hlavní řetězec je tvořen dokonale alternujícím p – fenylenem a trans – vinylenem. Metoxy a rozvětvené etylhexyloxy postranní substituenty, jejichž zásluhou je polymer dobře rozpustný a zpracovatelný v roztoku, jsou navázány na aromatickém kruhu. V porovnání s PPV je MEH-PPV méně krystalický a má nižší teplotu skelného přechodu. Rozpustnost je silně ovlivněna molekulovou hmotností a krystalinitou, a platí, že s rostoucí molekulovou hmotností rozpustnost polymeru klesá. MEH-PPV dostupný na trhu disponuje relativní molekulovou hmotností okolo 1 000 000. Dobře podléhá účinkům organických polárních rozpouštědel (CHCl_3 , THF). PPV a jeho alkoxy-substituované deriváty jsou velice uznávaná kategorie materiálů pro PLED (polymer light emitting diode) aplikace [45-46], organické fotovoltaické články [47], elektroluminiscenční zařízení [48], optoelektronické aplikace, elektrochromní zařízení a lasery [49-50].

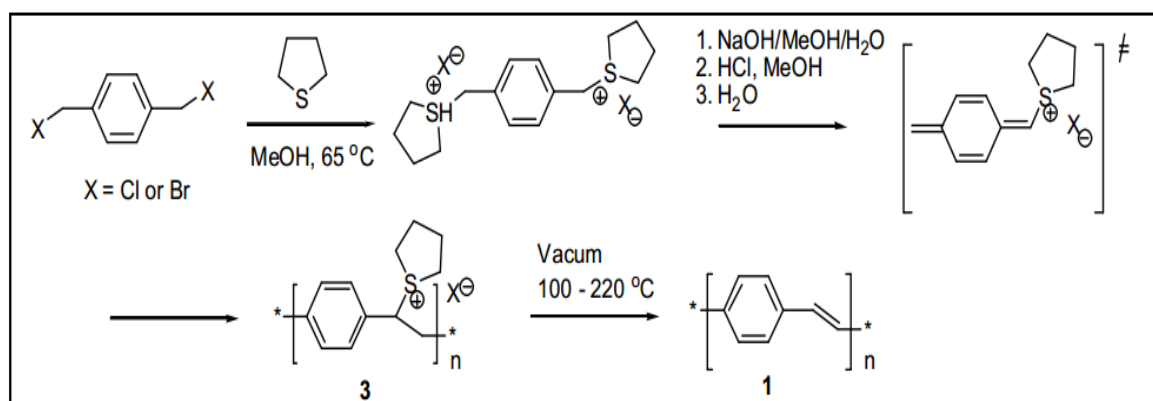
2.1.2 Příprava PPV a MEH-PPV

Homopolymer PPV je připravován převážně dvěma způsoby. V obou případech se jedná o postupy, které umožňují vznik homopolymeru PPV, dobře použitelného pro aplikace

pomocí tenkých vrstev. Jedná se o Wessling – Zimmermannovu syntézu a metodu ROMP (Ring-opening metathesis polymeration). Při přípravě MEH-PPV, tak jako u většiny derivátů PPV převažuje Gilchova syntéza.[51-52]

2.1.2.1 Wessling-Zimmermanova syntéza

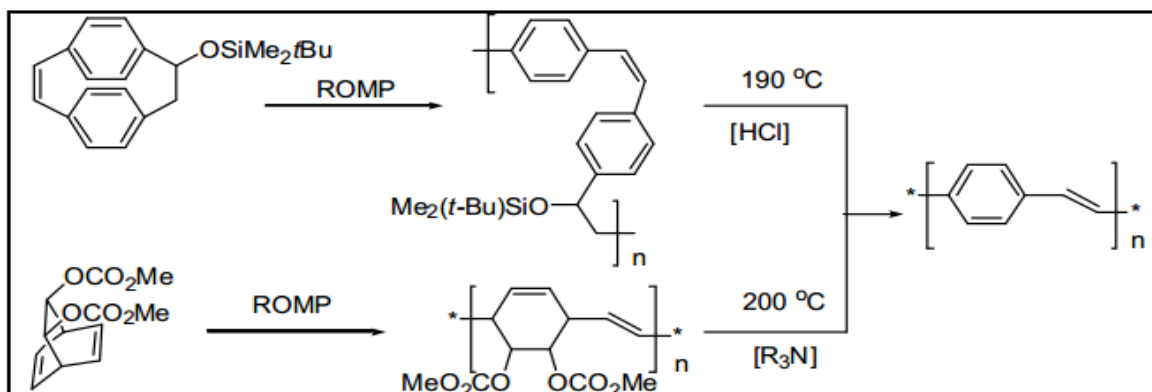
Objev jedné z nejvýznamnějších metod přípravy PPV může být datován na počátek 60. let [52]. Skutečnost, že PPV získaný Wessling-Zimmermannovou syntézou je rozpustný v metanolu, se stává předzvěstí způsobu jeho ideálního zpracování. Je vhodný zejména pro aplikace z roztoku, kam patří např. depozice tenkých vrstev, zejména spin coatingem. Při Wessling-Zimmermannově konverzi dochází k termokonverzi sulfoniového meziprojektu. Podstatou je vytvoření prekurzoru působením ekvimolárního množství zásady na p-xylen sulfoniovou sůl. Následně je prekurzor tepelně ošetřován až do doby vzniku konjugovaného homopolymeru PPV. Celý reakční proces lze vidět na obrázku č. 12 [53].



Obrázek 12 – Wessling-Zimmermanova syntéza [54].

2.1.2.2 Syntéza pomocí otevírání kruhů (ROMP – “Ring-opening metathesis polymeration”)

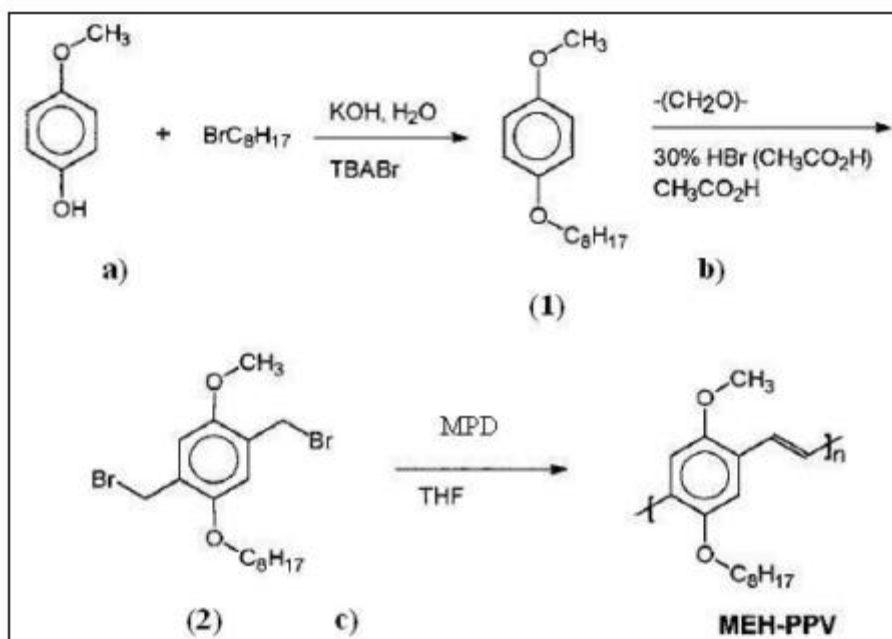
ROMP je založena na katalytickém otevírání cyklických sloučenin (reakce s některými kovy). Reakcí z paracyklofanu či dicyklooktadienu jsou získány rozpustné prekurzory PPV, které lze na PPV přeměnit pomocí katalýzy v kyselém nebo zásaditém prostředí při 200 °C. Kompletní reakční proces ROMP je zobrazen na obrázku č. 13 [55-56].



Obrázek 13 – ROMP reakční cesta k PPV [54].

2.1.2.3 Gilchova syntéza MEH-PPV

Obecná a jedna z nejpoužívanějších syntéz derivátů PPV byla představena panem Gilchem [57]. Charakteristickým rysem Gilchovy syntézy je absence náročných teplotních podmínek. Protože se jedná o reakci drobet složitější, rozdělme si jí do 3 základních kroků.



Obrázek 14 – Gilchova syntéza MEH-PPV [54].

a) Příprava metoxy-4-(2-ethylhexyloxy)benzenu (1)

Nejprve dochází k syntéze metoxy-4-(2-ethylhexyloxy)benzenu. Reakce 4-metoxyfenolu, KOH, tetrabutylamonium bromidu (TBABr) a vody poskytuje roztok, do kterého je přidán 2-ethylhexyl bromid. Vše musí být 3 dny mícháno pod bodem refluxu (zpětný tok)

v netečné atmosféře (N_2). Následně je produkt ochlazen na pokojovou teplotu. K zisku metoxy-4-(2-ethylhexyloxy)benzenu je třeba ochlazenou směs extrahovat a destilací se zbavit nečistot [54, 58].

b) Příprava α,α' -dibromo-2-metoxy-5-(2-ethylhexyloxy)xylenu (2)

V druhém kroku probíhá syntéza α,α' -dibromo-2-metoxy-5-(2-ethylhexyloxy)xylenu, který vzniká reakcí metoxy-4-(2-ethylhexyloxy)benzenu, paraformaldehydu, kyseliny octové a 30% HBr v kyselině octové. Vzniká roztok, který je zahříván po dobu 4 hodin při 70 °C v inertní atmosféře. Následuje chladnutí směsi, extrakce a čištění za vzniku α,α' -dibromo-2-metoxy-5-(2-ethylhexyloxy)xylenu [54, 58].

c) Polymerace α,α' -dibromo-2-metoxy-5-(2-ethylhexyloxy)xylenu

Poslední a samozřejmě veledůležitou součástí Gilchovy syntézy je samotná polymerace MEH-PPV. Výchozími reagensy jsou α,α' -dibromo-2-metoxy-5-(2-ethylhexyloxy)xylenu, tetrahydrofuran, antracen, MPD (potassium 2-methylpropan-2-olate). Po smíchání veškerých komponent, přičemž roztok MPD v THF je pomocí injekční pumpy přidáván rychlostí 20 ml/h, musí být směs 16 hodin míchána. Produkt reakce je následně vysrážen v metanolu a zfiltrován. Poté je výtěžek extrahován v hexanu a toluenu. Pro vyšší čistotu polymeru dochází ještě k opětovnému rozpuštění produktu v THF a vysrážení v metanolu. Finální sraženina je zfiltrována a sušena. Je získán čistý MEH-PPV, jehož molekulová hmotnost může být ovlivňována přidávkou antracenu. Například přidávkou 50 (mol %) antracenu jsme schopni získat polymer s průměrnou číselnou molekulovou hmotností (M_n) 58 000. Pokud je Gilchova syntéza prováděna bez přidávky antracenu, M_n takto získaného polymeru se pohybuje okolo 108 000 [54, 58].

2.2 Nanočástice oxidu zinečnatého (ZnO-NP)

Oxid zinečnatý patří v poslední době mezi velice studované materiály, především v oblasti nanotechnologie. Ve srovnání s ostatními anorganickými nanočásticemi dominuje svou multifunkčností. Popularitu získal hlavně díky jeho specifickým fyzikálním a chemickým vlastnostem, jako jsou chemická stabilita, vysoká luminiscenční propustnost, vysoká katalytická aktivita, účinná antibakteriální a baktericidní funkce, intenzivní ultrafialová a infračervená absorpce [59-63], biokompatibilita, vysoký izoelektrický bod (9,5), vysoká elektronová pohyblivost [64]. Navíc je to materiál, který právě v malém množství vykazuje

své výhodné vlastnosti a nejeví se jako toxický, což je dominantním faktorem při jeho aplikacích do živého organismu [65].

3 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tato bakalářská práce pojednává o přípravě a charakterizaci nanokompozitních tenkých vrstev, její cíle je proto možné shrnout do následujících bodů:

- vypracovat literární rešerši tak, aby byl získán teoretický základ pro vhodnou volbu materiálů pro přípravu tenkých nanokompozitních vrstev s uplatněním v elektronice,
- dále pak samotné materiály vybrat a připravit tenké nanokompozitní vrstvy a charakterizovat je s ohledem na topografii jejich povrchů.
- Posledním cílem bakalářské práce je pokusit se interpretovat získaná data a formulovat patřičné závěry.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této kapitole je popsána příprava materiálů ve formě tenkých vrstev, postupy práce a měření, jakožto i použité chemikálie, materiály, pomůcky a použité přístroje.

4.1 Příprava nanokompozitních tenkých vrstev

4.1.1 Chemikálie a příslušenství

Rozpouštědla:

- Etanol ($M_r = 46,07 \text{ g/mol}$, $\rho = 0,79 \text{ g/cm}^3$)
- Aceton ($M_r = 58,08 \text{ g/mol}$, $\rho = 0,79 \text{ g/cm}^3$)
- Chlorbenzen ($M_r = 112,56 \text{ g/mol}$, $\rho = 1,11 \text{ g/cm}^3$)
- 1,2-Dichlorbenzen ($M_r = 147 \text{ g/mol}$, $\rho = 1,306 \text{ g/cm}^3$)

Výchozí látky:

- MEH-PPV – (Sigma Aldrich, $\bar{M}_n = 40\,000 - 100\,000$, $K = 5 - 6$)
- ZnO nanočástice (Sigma Aldrich, $<50 \text{ nm}$)

Substráty:

- QG (quartz glass, křemenné sklo) – rozměry: 16x12 mm
- QG+ITO (quartz glass + indium tin oxide, $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}_2$ v poměru 9:1) - rozměry 10x10 mm

Pomůcky:

Pro přípravu nanokompozitních tenkých vrstev byly užity následující pomůcky: Odměrné baňky (5ml, 10ml), Petriho misky, kádinky, skleněné Pasterovy pipety, 1 ml a 5 ml pipety, injekční stříkačky, jehly, stojany (na zkumavky a odměrné baňky), pinzety, pravítko, milimetrový papír, alobal, teflonová těsnicí páska, oboustranná lepicí páska, nitrilové rukavice, diamantové pero, nechlupatící ubrousky (Kim-tech).

Přístroje:

Pro přípravu a charakterizaci nanokompozitních tenkých vrstev byly použity tyto přístroje: Analytické váhy, Ultrazvuková lázeň Transsonic, magnetická míchačka Heidolph, spincoater Laurell, vakuová pec Vacucell 111 od firmy BMT. Pro měření tloušťek byl

použit mechanický profilometr Talystep, proměření optických vlastností byl použit UV-VIS spektrometr Cary 300. Luminiscence materiálů byla měřena pomocí fluorescenčního spektrometru FLS 920, Edinburgh Instruments.

4.1.2 Postup práce

Příprava nanokompozitních tenkých vrstev z vodivých polymerů se skládá z několika kroků.

4.1.2.1 Čištění substrátů

První a velice důležitou fází je čištění substrátů. Protože i mastnota či nepatrné prachové částice mohou ovlivnit výslednou kvalitu a reprodukovatelnost naměřených vlastností, byl zvolen tzv. čtyř krokový čistící postup. Jedná se o proces, kdy ve čtyřech krocích jsou substráty podrobeny 10 minutovým účinkům ultrazvuku za použití rozdílných chemikálií.

- 1 krok: destilovaná voda + saponát – 10 minut v ultrazvukové lázni
- 2 krok: destilovaná voda (opláchnutí od zbylého saponátu) – 10 minut v ultrazvukové lázni
- 3 krok: etanol – 10 minut v ultrazvukové lázni
- 4 krok: aceton – 10 minut v ultrazvukové lázni

Mezi jednotlivými kroky byly substráty vždy osušeny pomocí nechlupaticích ubrousků. Po dokončení čistícího procesu byly substráty zabaleny do alobalu a následně zbaveny zbytků těkavých látek při 100 °C účinkem vakuové pece.

4.1.2.2 Příprava roztoků

MEH-PPV

Byly připraveny dva přibližně 0,5% roztoky MEH-PPV. Jeden pro referenční účely a druhý k následné dispergaci ZnO nanočástic. Pomocí analytických vah bylo naváženo 2x přibližně 25 mg práškového MEH-PPV a kvantitativně převedeno do 5ml odměrných baněk. Jako rozpouštědlo byla použita směs chlorbenzenu (dále jen CB) a 1,2-dichlorbenzenu (DCB) v poměru 1:1, které se pomocí pipety doplnilo patřičné množství, aby roztok měl koncentraci přibližně 0,5 %. Kvůli náchylnosti užitého polymeru na světlo, byly roztoky před účinky světla chráněné hliníkovou fólií. Následovalo rozpouštění

polymeru, nejprve 60 minut v ultrazvukové lázni a potom 4 hodiny pomocí magnetické míchačky při 500 ot/min.

Tabulka 1 – Roztok č. 1 MEH-PPV ve směsi CB a DCB (1:1).

Objem roztoku [ml]	5
Skutečná navážka [mg]	25,3

Tabulka 2 – Roztok č. 2 MEH-PPV ve směsi CB a DCB (1:1).

Objem roztoku [ml]	5
Skutečná navážka [mg]	24,9

MEH-PPV + ZnO (NP)

Byly připraveny 3 roztoky MEH-PPV + ZnO nanočástic. K jejich přípravě bylo použito 5 ml 0,5% roztoku MEH-PPV ve směsi CB a DCB (roztok č. 2). Na analytických vahách bylo naváženo 3x1 mg ZnO nanočástic, které byly do těchto odměrných baněk (označených jako 11, 12, 13) převedeny a poté do nich bylo přidáno po 1 ml připraveného roztoku MEH-PPV. Následovala dispergace nanočástic. Vzorek s označením 11 byl ponechán hodinu v ultrazvuku. Disperze 12 byla hodinu míchána pomocí magnetické míchačky a vzorek 13 byl 30 minut v ultrazvukové lázni a 30 minut míchán na magnetické míchačce. Všechny disperze byly chráněny před stykem s UV a viditelným zářením.

Tabulka 3 – Charakterizace roztoků (11, 12, 13).

MEH-PPV + ZnO ve směsi CB a DCB	Způsob dispergace	Čas dispergace
roztok 11	ultrazvuk	60 minut
roztok 12	míchání	60 minut
roztok 13	ultrazvuk+míchání	30minut+30minut

Disperze ZnO (NP)

Bylo připraveno 7 ml disperze ZnO nanočástic ve směsi CB a DCB (1:1). Na analytických vahách bylo naváženo přibližně 7 mg ZnO nanočástic, které byly převedeny do 10ml odměrné baňky.

Tabulka 4 – Roztok č. 3 disperze ZnO nanočástic ve směsi CB a DCB.

Objem roztoku [ml]	7
Skutečná navážka [mg]	7,2

Disperze ZnO (NP) + MEH-PPV

Byly připraveny 3 roztoky ZnO nanočástic + MEH-PPV. Na analytických vahách bylo naváženo 3x5 mg práškového MEH-PPV, které byly následně převedeny do 5ml odměrných baněk. K navážkám polymerů se poté do každé odměrné baňky odpipetoval 1 ml předem připravené disperze ZnO ve směsi CB a DCB a vznikly vzorky 21, 22, 23. Následovala homogenizace vzorků (21, 22, 23).

Tabulka 5 – Charakterizace roztoků (21, 22, 23).

ZnO + MEH-PPV ve směsi CB a DCB	Způsob dispergace	Čas dispergace
roztok 21	ultrazvuk	60 minut
roztok 22	míchání	60 minut
roztok 23	ultrazvuk+míchání	30minut+30minut

4.1.2.3 Depozice nanokompozitních tenkých vrstev

Nanášení veškerých tenkých vrstev bylo provedeno na spin coastru Laurell. Na předem vybrané substráty (ITO a QG) byly nanášeny filmy jak čistého MEH-PPV, tak modifikovaného nanočásticemi ZnO. Na spin coastru byl zvolen program A, který umožňoval aplikaci roztoku na substrát po dobu 30 sekund při 3000 rpm. K nanášení bylo využito skleněných pasterových pipet. Nadeponované vrstvy byly vakuově sušeny při 100 °C a tlaku 0,1 bar.

Přehled připravených vzorků je přehledně uveden v Tabulce 6.

Tabulka 6 – Přehled připravených vzorků

Vzorek	Způsob přípravy	Technologie dispergace	Doba dispergace [min]
1	Roztok polymeru bez ZnO	Ultrazvuk i míchání	60 + 240
11	Roztok polymeru + práškové ZnO	Ultrazvuk	60
12	Roztok polymeru + práškové ZnO	Míchání	60
13	Roztok polymeru + práškové ZnO	Ultrazvuk i míchání	30 + 30
21	Disperze ZnO + práškový polymer	Ultrazvuk	60
22	Disperze ZnO + práškový polymer	Míchání	60
23	Disperze ZnO + práškový polymer	Ultrazvuk i míchání	30 + 30

4.2 Charakterizace nanokompozitních tenkých vrstev

Tenké filmy na substrátech připravené z roztoků čistého MEH-PPV a modifikovaného MEH-PPV nanočásticemi ZnO byly charakterizovány následujícími metodami. Tloušťky vrstev byly měřeny pomocí mechanické profilometrie (přístroj Talystep s rozlišením 1 nm). Absorpční vlastnosti vzorků byly studovány pomocí ultrafialové a viditelné absorpční spektrometrie (přístroj UV-VIS absorpční spektrometr Cary 300). Fotoluminiscence (PL) připravených tenkých vrstev byla zkoumána pomocí fluorimetrie (přístroj fluorimetr FSL 920P). K analýze homogenity povrchů bylo využito mikroskopie atomárních sil (přístroj AFM Nanosurf Easyscan 2).

5 VÝSLEDKY

5.1 Tloušťky tenkých vrstev

5.1.1 Tenké vrstvy z roztoku MEH-PPV a z disperze MEH-PPV + ZnO (NP) ve směsi CB a DCB na substrátu QG

Tabulka 7 – Výsledky měření tloušťky tenkých vrstev QG.

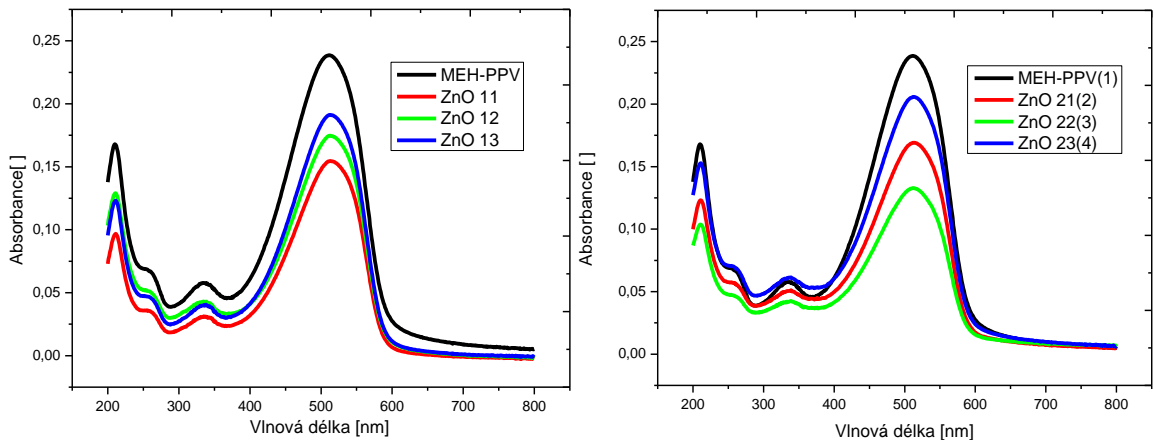
Roztok	Tloušťka vrstev [nm]
MEH-PPV	21
vzorek 11	14
vzorek 12	11
vzorek 13	13
vzorek 21	13
vzorek 22	9
vzorek 23	11

5.1.1.1 Tenké vrstvy z roztoku MEH-PPV a z disperze MEH-PPV + ZnO (NP) ve směsi CB a DCB na substrátu ITO

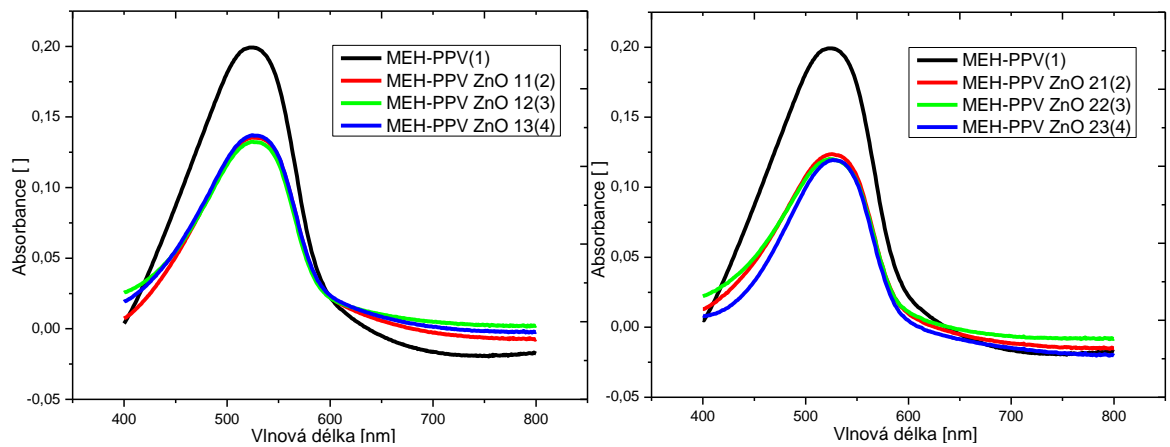
Tabulka 8 – Výsledky měření tloušťky tenkých vrstev ITO.

Roztok	Tloušťka vrstev [nm]
MEH-PPV	17
vzorek 11	10
vzorek 12	11
vzorek 13	11
vzorek 21	12
vzorek 22	11
vzorek 23	11

5.2 UV-VIS absorpční spektra

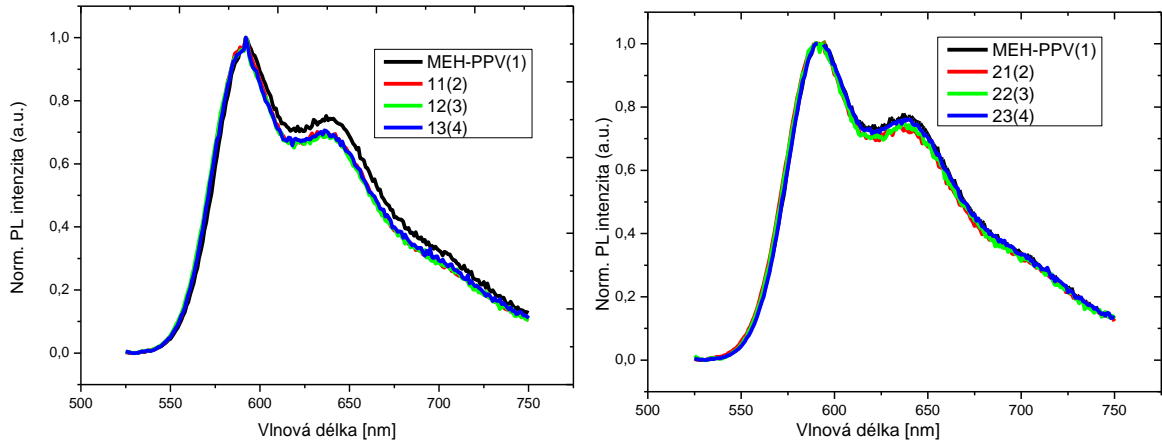


Obrázek 15 – Absorpční spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.

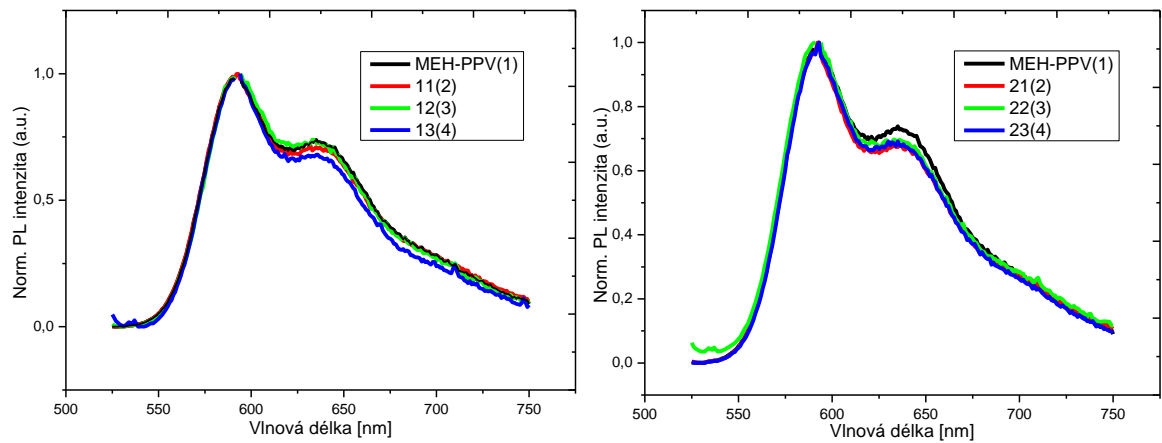


Obrázek 16 – Absorpční spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.

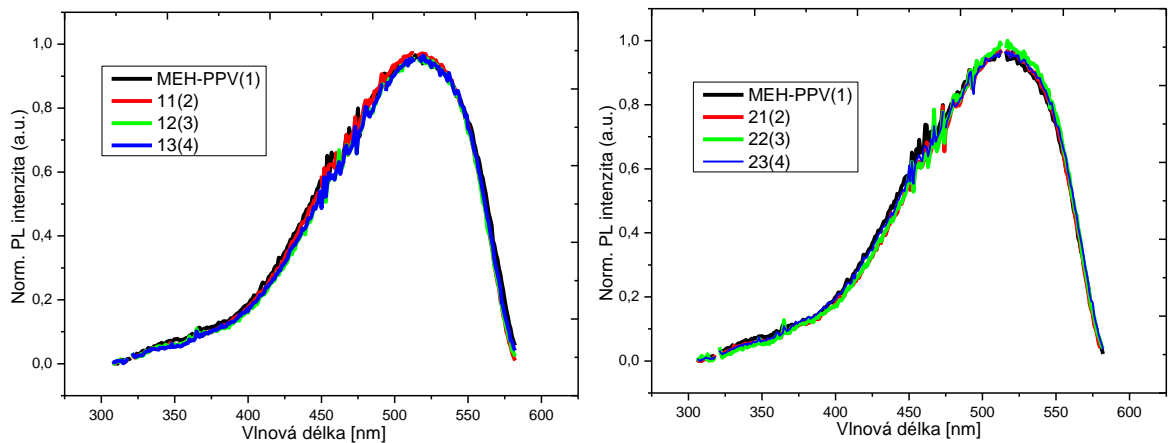
5.3 Emisní a excitační spektra



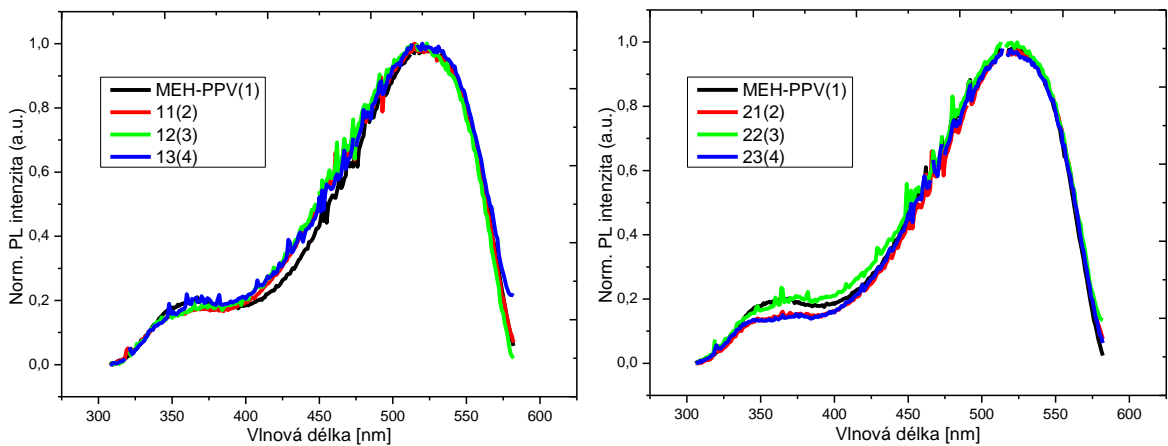
Obrázek 17 - Emisní spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG při $\lambda_{ex} = 515$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.



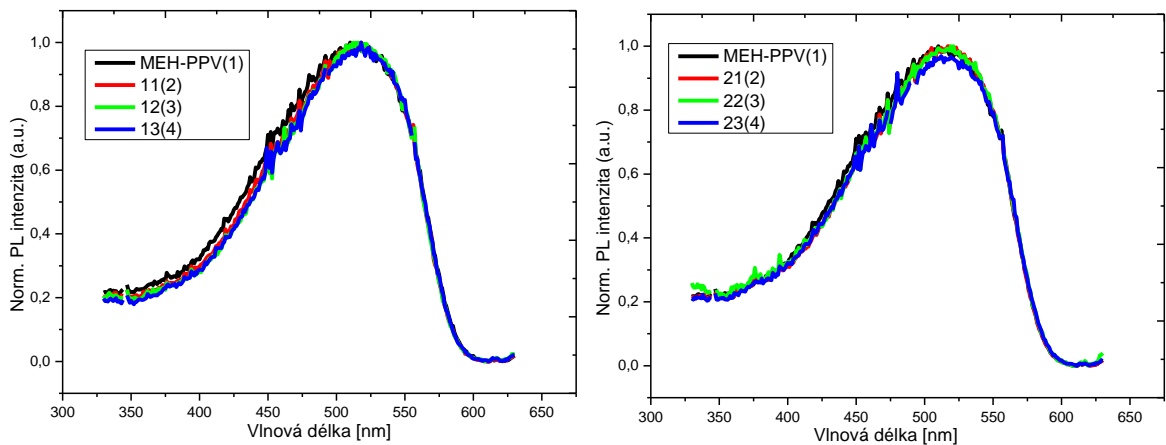
Obrázek 18 - Emisní spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO při $\lambda_{ex} = 515$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.



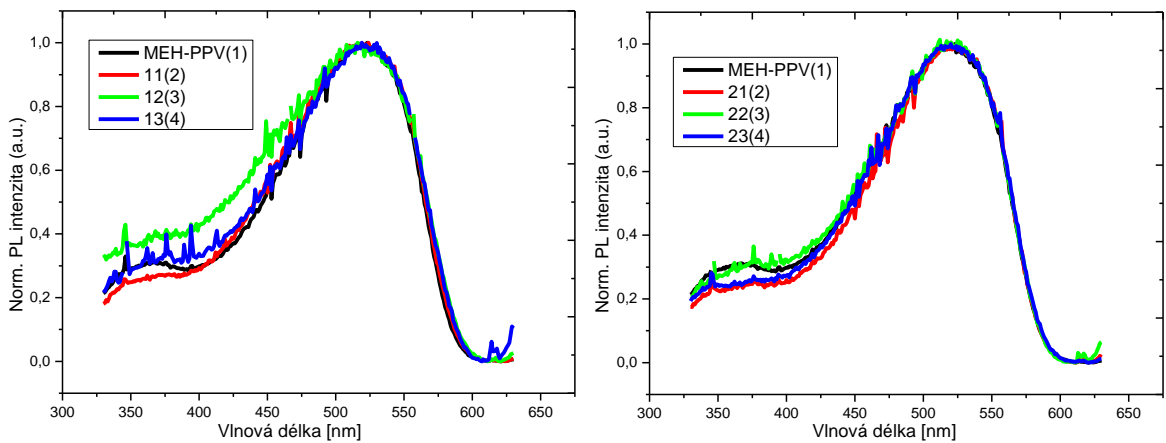
Obrázek 19 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG při $\lambda_{em} = 592$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.



Obrázek 20 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO při $\lambda_{em} = 592$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.

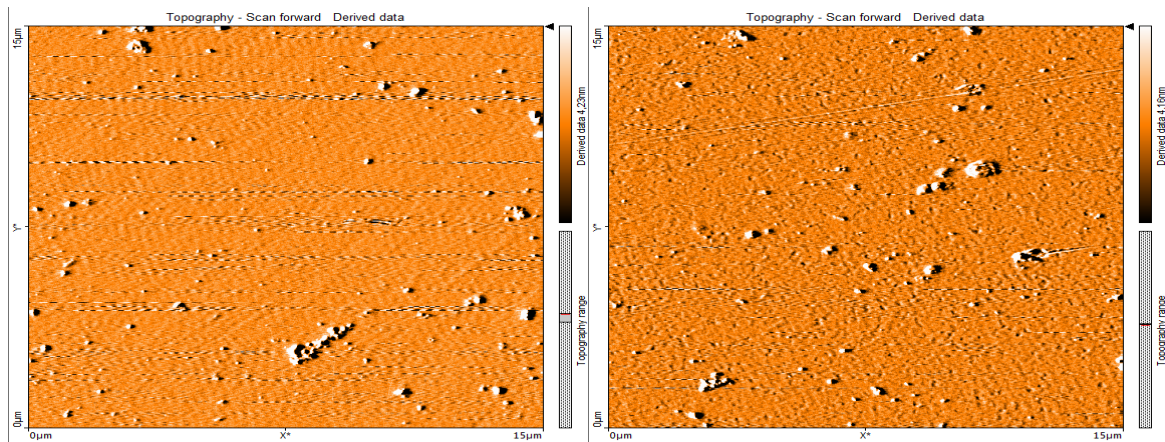


Obrázek 21 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG při $\lambda_{em} = 640$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.

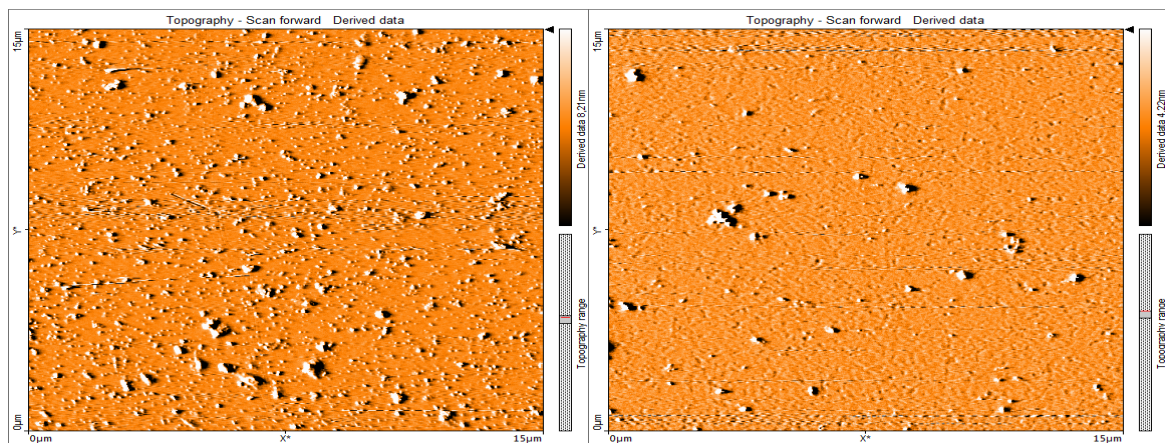


Obrázek 22 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO při $\lambda_{em} = 640$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.

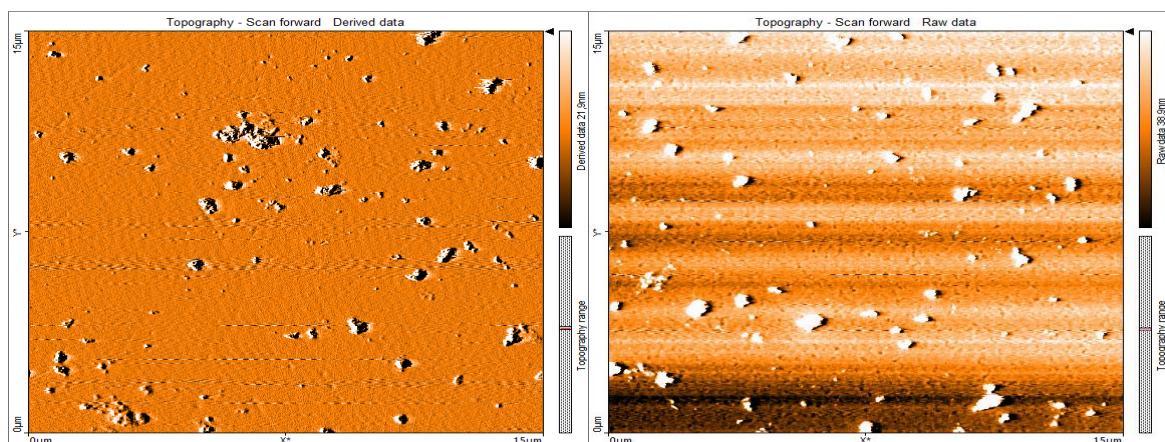
5.4 Topografie povrchů vrstev



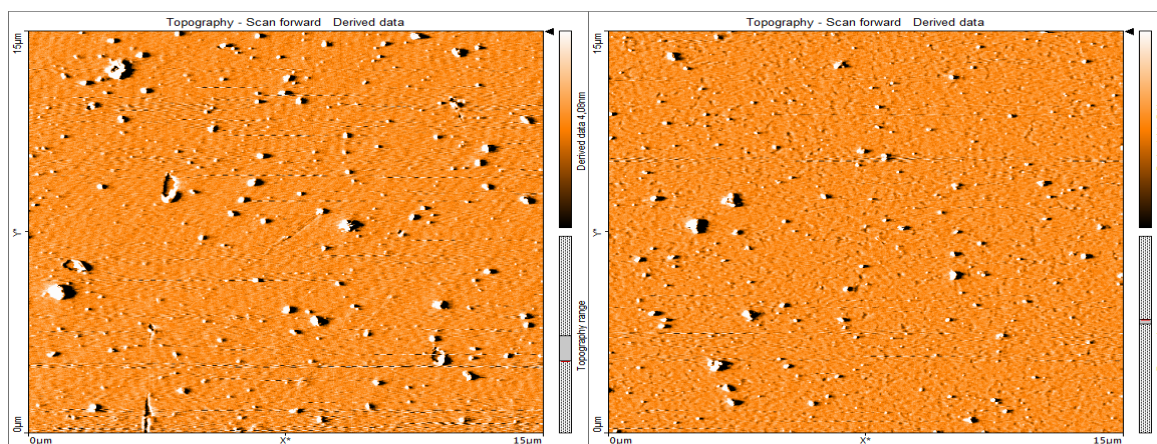
Obrázek 23 - Topografické skeny tenkých vrstev čistého MEH-PPV, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.



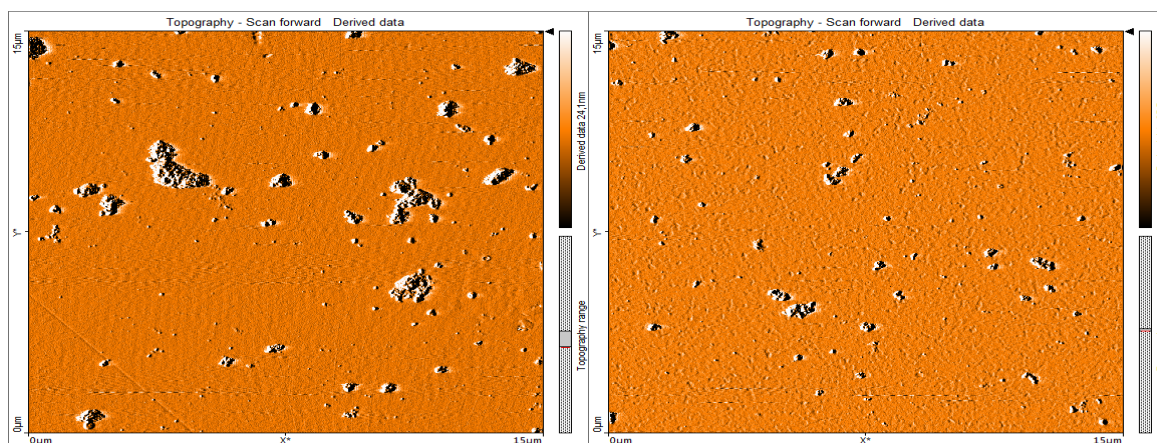
Obrázek 24 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 11, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.



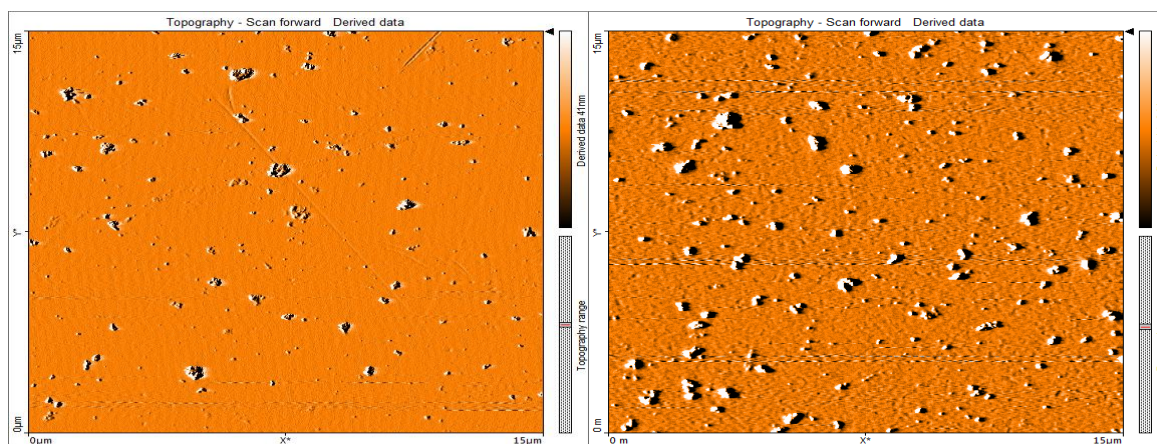
Obrázek 25 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 21, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.



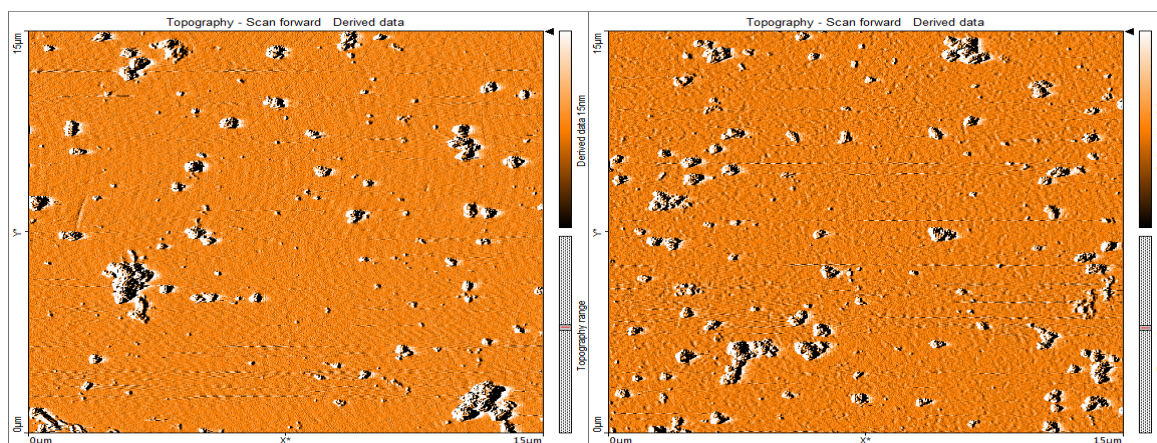
Obrázek 26 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 12, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.



Obrázek 27 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 22, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.



Obrázek 28 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 13, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.



Obrázek 29 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 23, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.

6 DISKUSE VÝSLEDKŮ

6.1 Vliv přítomnosti nanočástic na tloušťky vrstev

Výsledky měření tloušťek vrstev jsou zobrazeny v Tabulkách 7 a 8. Dle naměřených hodnot je zřejmé, že přítomnost nanočástic ZnO má jistý vliv na adhezi nanokompozitu k substrátu, neboť z tabulek vyplývá, že materiály s obsahem nanočástic při depozici vrstvy za stejných procesních podmínek tvoří výrazně tenčí vrstvy (a to až téměř o 10 nm).

6.2 Optoelektronické vlastnosti nanokompozitu

Graficky zpracované výsledky z UV-VIS absorpční spektroskopie (viz. Obrázek 15, Obrázek 16) nám dávají jasnou informaci o vlivu tloušťek vrstev na absorpční vlastnosti. Nejvíce absorbují vzorky z čistého MEH-PPV, jejichž tloušťky vrstev jsou největší, viz Tabulka 7. Dále pak u vrstev o stejných tloušťkách (lišících se jen o jednotku nm) není pozorován žádný trend a spektra jsou uspořádána nahodile. A to jak v případě vrstev deponovaných na QG tak i ITO substrát. Co se týká luminiscenčních spekter, byla změřena emisní spektra při excitační vlnové délce 515 nm. Dále byla měřena excitační spektra při emisi 592 nm a při emisi 640 nm. U emisních spekter vrstev deponovaných na QG i ITO substrát není pozorován žádný vliv nanočástic na průběh spekter. Stejně je tomu tak i u excitačních spekter deponovaných na QG substrát. Naproti tomu u excitačních spekter deponovaných na substrát s oxidem india a cínu byla patrná jistá odlišnost. A to jak pro emisi na 592 nm tak i pro emisi na 640 nm. Jedná se o nárůst PL v oblasti okolo 360 nm. To by se dalo označit za projev obsažených nanočástic v nanokompozitu, ale k podobnému nárůstu dochází i u vrstev z čistého MEH-PPV. Lze tedy předpokládat, že dochází k interakci nosičů náboje (excitonů, excitovaných elektronů) mezi vrstvou ITO a samotným deponovaným materiálem (jak čistým MEH-PPV, tak nanokompozitem), poněvadž ITO je materiál, který je schopen vodit díry a tím zásobit deponovaný materiál novými nosiči, které pak následně rekombinují v energetické oblasti okolo 370 nm, což se projeví nárůstem PL intenzity v této oblasti.

6.3 Vliv přípravy nanokompozitu na povrch vrstev

Dle Obrázků 23 až 29 lze pozorovat vliv přípravy nanokompozitu na kvalitu a topografii vrstev. Z měření pomocí AFM vyplývá, že při přípravě nanokompozitu MEH-PPV/ZnO není dostačující pouze sonifikace připravované disperze. To z toho důvodu, že při sonifikaci se pouze rozbíjejí vzniklé aglomeráty ZnO a ty jsou pak v disperzi dispergovány nahodile, čili dochází k jisté nehomogenitě rozmístění nanočástic v disperzi. Dalším poznatkem vyplývajícím ze skenu povrchů je ten, že pouhé míchání také není dostatečným mechanickým úkonem při přípravě disperze (nanokompozitu). To z toho důvodu, že při míchání se nerozruší aglomeráty nanočástic ZnO a pouze se rovnoměrně distribuují. To je z hlediska zamýšlených aplikací v elektronice nevhodné, neboť na aglomerátech nanočástic by mohlo docházet ke zkratům a tak i průrazům vrstev. Nejlépe se jeví vrstvy připravované ve dvou krocích. V prvním kroku se nejdříve nanokompozit podrobil účinku ultrazvukového pole, ve druhém pak byl míchán. Došlo k tomu, že byly rozrušeny aglomeráty nanočástic a nanočástice pak byly rovnoměrně distribuovány v nanokompozitu. Lze také pozorovat, že určitá část aglomerátů v systému zůstává. Z toho lze soudit, že 30 minut sonifikace není úplně dostačující. Také doba míchání 30 minut se zdá jako krátká. Výše popsaná pozorování byla shodná jak pro postup 1, kdy byl připraven nejdříve roztok polymeru a poté do něj přidány nanočástice, tak i pro postup 2, kdy byla připravena disperze nanočástice a do ní přidán polymer. Z časového hlediska se jako výhodnější jeví postup 2, který vede k rychlejší a stejně efektivní přípravě nanokompozitu, neboť čistý polymer se musí rozpouštět výrazně delší dobu.

ZÁVĚR

Byla vypracována studie o vodivých polymerech a možnostech modifikace jejich vlastností. Byly připraveny nanokompozity na bázi MEH-PPV/ZnO různými způsoby, z nichž se připravily tenké vrstvy. Tyto vrstvy pak byly následně charakterizovány. Provedla se studie jejich optoelektrických vlastností (UV/VIS, fluorimetrie), dále pak byly měřeny tloušťky připravených vrstev (profilometrie) a charakterizoval se povrch připravených vrstev pomocí mikroskopie atomárních sil. Z dosažených výsledků lze usoudit následující:

- nezáleží na postupu přípravy nanokompozitu (při postupu 1 i 2 se obdržely obdobné výsledky), lze ovšem konstatovat, že z technologického hlediska je postup 2 příznivější především kvůli časové úspoře,
- je vhodné při přípravě nanokompozitu využít jak ultrazvuk, tak mechanické míchání disperze
- přidavek nanočástic ZnO k polymeru MEH-PPV snižuje adhezi samotného polymeru k substrátům, což se projeví menšími tloušťkami vrstev při jinak zcela stejných procesních podmínkách depozice.

V práci jsou shrnuty získané poznatky při přípravě a depozici nanokompozitu MEH-PPV/ZnO. Projev modifikace polymeru MEH-PPV pomocí nanočástic ZnO nebyl patrný v oblasti optoelektrických vlastností. Zdánlivě, jako by se nanočástice téměř neprojevíly. Proto pro další výzkum v této oblasti je potřeba zvážit koncentraci nanočástic vzhledem k polymeru a také se pokusit zavést další časové intervaly při přípravě kompozitu, avšak s ohledem na možnou mechanickou degradaci polymeru (např. ultrazvukem).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SEDLÁK, Bedřich. *Elektřina a magnetismus*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2002, 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
- [2] MARK, James E., Harry R. ALLCOCK a Robert WEST. *Inorganic Polymers*. Oxford: Oxford University Press, Inc., 2005 ISBN 13 978-0-19-513119-2 .
- [3] URBÁNEK, P. *Fotodegradace polysilanů*. Zlín, 2010, 50 s., Diplomová práce na fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí diplomové práce Ivo Kuřitka.
- [4] KUMAR, D. Advances in Conductive Polymers. *Eur. Polym. J.* 1998, č. 8, s. 1053-1060.
- [5] BAGHERI, Habib, Zahra AYAZI a Mehrnoush NADERI. Conductive polymer-based microextraction methods: A review. *Analytica Chimica Acta*. 2013, vol. 767, s. 1-13. DOI: 10.1016/j.aca.2012.12.013. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003267012017977>
- [6] STENGER-SMITH, John D. Intrinsically Electrically Conducting Polymers. Synthesis, Characterization and their Application. *Prog. Polym. Sci.* 1998, č. 23, s. 57-79.
- [7] PROKEŠ, J., NEŠPUREK, S., STEJSKAL, J. Vodivé polymery, *inteligentní materiály pro nové století*, Časopis Vesmír 80, 2001, s. 35 – 38.
- [8] PEŘINKA, N. *Vlastnosti elektricky vodivých polymerních vrstev aplikovaných tiskem*, 2010, 124 s., Diplomová práce na fakultě chemicko – technologické Univerzity v Pardubicích. Vedoucí diplomové práce Marie Kaplanová.
- [9] STEJSKAL, J. Polyanilin: vodivý polymer, Článek ve sborníku, Akademie věd České republiky, 2006, s. 173 – 182.
- [10] MACDIARMID, Alan G. - Autobiography". Nobelprize.org. 16 May 2013. Dostupné z: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/macdiarmid-autobio.html
- [11] HEEGER , Alan - Autobiography". Nobelprize.org. 16 May 2013. Dostupné z: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/heeger-autobio.html
- [12] SHIRAKAWA, Hideki - Autobiography". Nobelprize.org. 16 May 2013.

Dostupné z: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/shirakawa.html

- [13] TRUONG, Nguyen Tam Nguyen, Chinho PARK a Jae Hak JUNG. Investigation of the morphology of an MEH-PPV/PCBM active layer and its application to bulk hetero-junction solar cell performance. *Journal of the Korean Physical Society*. 2012, vol. 60, issue 12, s. 2029-2033. DOI: 10.3938/jkps.60.2029.
Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.3938/jkps.60.2029>
- [14] ALESHIN, A. N., I. P. SHCHERBAKOV, F. S. FEDICHKIN a P. E. GUSAKOV. Electrical and optical properties of light-emitting field-effect transistors based on MEH-PPV polymer composite films with ZnO nanoparticles. *Physics of the Solid State*. 2012, vol. 54, issue 12, s. 2508-2513. DOI: 10.1134/S1063783412120025.
Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1134/S1063783412120025>
- [15] MUCUR, Selin Pıravadı, Tülay Aslı TUMAY, Sait Eren SAN a Emine TEKIN. Enhancing effects of nanoparticles on polymer-OLED performances. *Journal of Nanoparticle Research*. 2012, vol. 14, issue 10, s. -. DOI: 10.1007/s11051-012-1214-9.
Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11051-012-1214-9>
- [16] FREUND, Michael S a Bhavana DEORE. *Self-doped conducting polymers*. Hoboken, NJ: John Wiley, c2007, xii, 326 p. ISBN 04-700-2969-2.
- [17] PROKEŠ, J., STEJSKAL, J., OMASTOVÁ, M. *Polyanilin a polypyrrol – dva představitelé vodivých polymerů*, Chem. Listy 95, 2001, s. 484 – 492.
- [18] STROTH, U. *Physik 3*.
Dostupné z: <http://www.ipf.uni-stuttgart.de/lehre/online-skript/physik3.html>
- [19] SVOBODA, Jiří. *Organická chemie I*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 291 s. ISBN 80-708-0561-7.
Dostupný z: <http://uloz.to/xA2VNH4/organicka-chemie-i-svoboda-pdf>
- [20] MILLER, Steven Lawrence. *Towards Room Temperature Processed and Completely Flexible Organic Photovoltaics*. New Jersey, 2008. Doctoral Thesis. Rutgers the State University of New Jersey.
Dostupné z: http://books.google.cz/books/about/Towards_Room_Temperature_Processed_and_C.html?id=41N4pA74_UEC&redir_esc=y

- [21] HEINRICHOVÁ, P. *Studium vlivu fotochromní reakce na optoelektrické vlastnosti organických polovodičů*, 2008, 11 s., Diplomová práce na fakultě chemické VUT v Brně. Vedoucí diplomové práce Martin Vala. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=13580
- [22] HU, Xiaolian, Weifei FU, Lijian ZUO, Hangqi SHI, Meirong CHEN, Shiyong LIU, Junying PAN, Lei FU, Minmin SHI a Hongzheng CHEN. New $-(D-A1-D-A2)_n$ -type conjugated polymers for photovoltaic applications: consensus between low band-gap and low HOMO energy level. *Tetrahedron*. 2013, vol. 69, issue 16, s. 3419-3424. DOI: 10.1016/j.tet.2013.02.074. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040402013003001>
- [23] MONZIR, Adbdel-Latif, Molecular Luminescence Spectroscopy. *Islamic University of Gaza* [online]. 2003 [cit. 2012-05-12]
- [24] JONES, Richard G. *Silicon-Containing Polymers: The Science and technology of Their Synthesis and Applications*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, 768 s. ISBN 04-128-3110-4.
- [25] XIE, Yang, Liguo SUN, Cheng WANG, Shuhong WANG, Guoqiang XU, Jian ZHANG a Eryun YAN. Preparation and photoluminescent characterization of poly(phenylene vinylene)/TiO₂ nanoparticles composite nanofibers by one-step electrospinning. *Journal of Applied Polymer Science*. 2012-11-05, vol. 126, issue 3, s. 1061-1068. DOI: 10.1002/app.36618. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.36618>
- [26] NELSON, Jenny. Organic photovoltaic films. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 2002, roč. 6, č. 1, s. 87-95. ISSN 13590286. DOI: 10.1016/S1359-0286(02)00006-2. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359028602000062>
- [27] WU, J. a J.L. COFFER. Strongly Emissive Erbium-Doped Tin Oxide Nanofibers Derived from Sol Gel/Electrospinning Methods. *Journal of Physical Chemistry C*. 2007-11-08, roč. 111, č. 44, s. 16088-16091. ISSN 1932-7447. DOI: 10.1021/jp076338y. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/cgi-bin/doilookup/?10.1021/jp076338y>
- [28] CHEN, Jinfeng, Peipei YANG, Chunjiao WANG, Sumei ZHAN, Lianji ZHANG, Zonghao HUANG, Wenwen LI, Cheng WANG, Zijiang JIANG a Chen SHAO. Ag nanoparticles/PPV composite nanofibers with high and sensitive opto-

electronic response. *Nanoscale Research Letters*. 2011, vol. 6, issue 1, s. 121-. DOI: 10.1186/1556-276X-6-121.

Dostupné z: <http://www.nanoscalereslett.com/content/6/1/121>

- [29] POL, Vilas G., Elad KOREN a Arie ZABAN. Fabrication of Continuous Conducting Gold Wires by Electrospinning. *Chemistry of Materials*. 2008, vol. 20, issue 9, s. 3055-3062. DOI: 10.1021/cm7036958.

Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cm7036958>

- [30] GEFROY, Bernard, Philippe LE ROY a Christophe PRAT. Organic light-emitting diode (OLED) technology: materials, devices and display technologies. *Polymer International*. 2006, roč. 55, č. 6, s. 572-582. ISSN 0959-8103. DOI: 10.1002/pi.1974.

Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pi.1974>

- [31] KOLB, Tristan, Christian NEUBER, Marie KRYSAK, Christopher K. OBER a Hans-Werner SCHMIDT. Multicomponent Physical Vapor Deposited Films with Homogeneous Molecular Material Distribution Featuring Improved Resist Sensitivity. *Advanced Functional Materials*. 2012-09-25, roč. 22, č. 18, s. 3865-3873. ISSN 1616301x. DOI: 10.1002/adfm.201103130.

Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adfm.201103130>

- [32] MA, Ying, Yongqiang WEN a Yanlin SONG. Ultrahigh density data storage based on organic materials with SPM techniques. *Journal of Materials Chemistry*. 2011, roč. 21, č. 11, s. 3522-. ISSN 0959-9428. DOI: 10.1039/C0JM02471F.

Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=c0jm02471f>

- [33] POPERE, Bhooshan C., Andrea M. Della PELLE, Ambata POE a S. THAYUMANAVAN. Macromolecular architectures for organic photovoltaics. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2012, roč. 14, č. 12, s. 4043-. ISSN 1463-9076. DOI: 10.1039/C2CP23422J.

Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=c2cp23422j>

- [34] SMITS, Edsger C. P., Simon G. J. MATHIJSEN, Paul A. VAN HAL, Sepas SETAYESH, Thomas C. T. GEUNS, Kees A. H. A. MUTSAERS, Eugenio CANTATORE, Harry J. WONDERGEM, Oliver WERZER, Roland RESEL, Martijn KEMERINK, Stephan KIRCHMEYER, Aziz M. MUZAFAROV, Sergei A. PONOMARENKO, Bert DE BOER, Paul W. M. BLOM a Dago M. DE LEEUW. Bottom-up organic integrated circuits. *Nature*. 2008-10-16, roč. 455, č. 7215, s. 956-959. ISSN 0028-0836. DOI: 10.1038/nature07320.

Dostupné z: <http://www.nature.com/doi/finder/10.1038/nature07320>

- [35] HELLSTROM, S. L. *Basic Models of Spin Coating*. 2007.
Dostupné z: <http://large.stanford.edu/courses/2007/ph210/hellstrom1>
- [36] NORRMAN, K., A. GHANBARI-SIAHKALI a N. B. LARSEN. 6Å Å Studies of spin-coated polymer films. *Annual Reports Section "C" (Physical Chemistry)*. 2005, roč. 101, s. 174-. ISSN 0260-1826. DOI: 10.1039/B408857N.
Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=b408857n>
- [37] SCHUBERT, Dirk W. a Thomas DUNKEL. Spin coating from a molecular point of view: its concentration regimes, influence of molar mass and distribution. *Materials Research Innovations*. 2003-10-1, roč. 7, č. 5, s. 314-321. ISSN 1432-8917. DOI: 10.1007/s10019-003-0270-2.
Dostupné z: <http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article>
- [38] NEUBER, Christian, Markus BAÏTE, Mukundan THELAKKAT, Hans-Werner SCHMIDT, Helmut HAÏNSEL, Heiko ZETTL a Georg KRAUSCH. Combinatorial preparation and characterization of thin-film multilayer electro-optical devices. *Review of Scientific Instruments*. 2007, roč. 78, č. 7, s. 072216-. ISSN 00346748. DOI: 10.1063/1.2756993.
Dostupné z: <http://link.aip.org/link/RSINAK/v78/i7/p072216/s1>
- [39] MACK, Chris. *Fundamental principles of optical lithography the science of microfabrication*. [Online-Ausg.]. Hoboken, N.J: Wiley, 2007. ISBN 978-047-0723-876.
- [40] FINK, Johannes Karl. *High performance polymers*. Norwich, NY: William Andrew, c2008, xx, 609 p. ISBN 08-155-1580-4
- [41] KUCHARĚ, Miroslav. *Výzkum a vývoj léčiv: studijní program: syntéza a výroba léčiv*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008, 167 s. ISBN 978-80-7080-677-7.
- [42] LEE, Woo-Sun, Gwon-Woo CHOI a Yong-Jin SEO. CMP properties and fabrication of OLED using MEH-PPV. *Physica status solidi (c)*. 2008, vol. 5, issue 10, s. 3401-3404. DOI: 10.1002/pssc.200778937.

Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pssc.200778937>

- [43] PENG, Zhonghua, Jianheng ZHANG a Bubin XU. New Poly(*p* -phenylene vinylene) Derivatives Exhibiting High Photoluminescence Quantum Efficiencies. *Macromolecules*. 1999, vol. 32, issue 15, s. 5162-5164. DOI: 10.1021/ma990217h.

Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma990217h>

- [44] CHEN, Z.-K., W. HUANG, L.-H. WANG, E.-T. KANG, B. J. CHEN, C. S. LEE a S. T. LEE. *A Family of Electroluminescent Silyl-Substituted Poly(p -phenylenevinylene)s: Synthesis, Characterization, and Structure–Property Relationships*. *Macromolecules*. 2000, vol. 33, issue 24, s. 9015-9025. DOI: 10.1021/ma0005670.

Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma0005670>

- [45] ADAMOVICH, Vadim I., Steven R. CORDERO, Peter I. DJUROVICH, Arnold TAMAYO, Mark E. THOMPSON, Brian W. D'ANDRADE a Stephen R. FORREST. New charge-carrier blocking materials for high efficiency OLEDs. *Organic Electronics*. 2003, vol. 4, 2-3, s. 77-87. DOI: 10.1016/j.orgel.2003.08.003.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1566119903000223>

- [46] JIN, Youngeup, Jaesung JEE, Kwanghyun KIM, Jinwoo KIM, Suhee SONG, Sung Heum PARK, Kwanghee LEE a Hongsuk SUH. Synthesis and electroluminescent properties of copolymers based on PPV with fluoro groups in vinylene units. *Polymer*. 2007, vol. 48, issue 6, s. 1541-1549. DOI: 10.1016/j.polymer.2007.01.060.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0032386107001097>

- [47] PETRELLA, A, M TAMBORRA, P.D COZZOLI, M.L CURRI, M STRICCOLI, P COSMA, G.M FARINOLA, F BABUDRI, F NASO a A AGOSTIANO. TiO₂ nanocrystals – MEH-PPV composite thin films as photoactive material. *Thin Solid Films*. 2004, 451-452, s. 64-68. DOI: 10.1016/j.tsf.2003.10.106.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040609003014950>

- [48] YAKUPHANOGLU, Fahrettin. Electrical conductivity, optical and metal–semiconductor contact properties of organic semiconductor based on MEH-

PPV/fullerene blend. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2008, vol. 69, issue 4, s. 949-954. DOI: 10.1016/j.jpcs.2007.10.021.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022369707006014>

- [49] NAH, Yoon-Chae, Seok-Soon KIM, Jeong-Ho PARK a Dong-Yu KIM. Electrochromic Coloration of MEH-PPV Films by Electrodeposited Au Nanoparticles. *Electrochemical and Solid-State Letters*. 2007, vol. 10, issue 1, J12-. DOI: 10.1149/1.2382261.

Dostupné z: <http://esl.ecsdl.org/cgi/doi/10.1149/1.2382261>

- [50] HOLZER, W, A PENZKOFER, H TILLMANN a H.-H HÖRHOLD. Spectroscopic and travelling-wave lasing characterisation of Gilch-type and Horner-type MEH-PPV. *Synthetic Metals*. 2004, vol. 140, 2-3, s. 155-170. DOI: 10.1016/S0379-6779(03)00356-4.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379677903003564>

- [51] HSIEH, Bing R., Yuan YU, Eric W. FORSYTHE, Gregory M. SCHAAF a William A. FELD. A New Family of Highly Emissive Soluble Poly(p-phenylene vinylene) Derivatives. A Step toward Fully Conjugated Blue-Emitting Poly(p-phenylene vinylenes). *Journal of the American Chemical Society*. 1998, vol. 120, issue 1, s. 231-232. DOI: 10.1021/ja973553r.

Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja973553r>

- [52] SKOTHEIM, A., RENOLDS, J. Handbook of conducting polymers, Volume 4, 2007, Boca Raton: CRC Press, ISBN 978-1-4200-4358-7.

- [53] WESSLING, R., ZIMMERMAN, R. Polyelectrolytes from bis sulfonium salts, 1968, U.S. Patent, Patent No. 3401152.

- [54] PEREPICHKA, I. F., D. F. PEREPICHKA, H. MENG a F. WUDL. Light-Emitting Polythiophenes. *Advanced Materials*. 2005-10-04, vol. 17, issue 19, s. 2281-2305. DOI: 10.1002/adma.200500461.

Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adma.200500461>

- [55] MIAO, Yi-Jun a Guillermo C. BAZAN. Paracyclophene Route to Poly(p-phenylenevinylene). *Journal of the American Chemical Society*. 1994, vol. 116, issue 20, s. 9379-9380. DOI: 10.1021/ja00099a085.
Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja00099a085>
- [56] CONTICELLO, Vincent P., Douglas L. GIN a Robert H. GRUBBS. Ring-opening metathesis polymerization of substituted bicyclo[2.2.2]octadienes: a new precursor route to poly(1,4-phenylenevinylene). *Journal of the American Chemical Society*. 1992, vol. 114, issue 24, s. 9708-9710. DOI: 10.1021/ja00050a088.
Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja00050a088>
- [57] GILCH, H. G. a W. L. WHEELWRIGHT. Polymerization of α -halogenated p-xylenes with base. *Journal of Polymer Science Part A-1: Polymer Chemistry*. vol. 4, issue 6, s. 1337-1349. DOI: 10.1002/pol.1966.150040602.
Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pol.1966.150040602>
- [58] NEEF, C. J. a J. P. FERRARIS. MEH-PPV: Improved Synthetic Procedure and Molecular Weight Control. *Macromolecules*. 2000, vol. 33, issue 7, s. 2311-2314. DOI: 10.1021/ma991521d.
Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma991521d>
- [59] SAWAI, J. Quantitative evaluation of antibacterial activities of metallic oxide powders (ZnO, MgO and CaO) by conductimetric assay. *Journal of Microbiological Methods*. 2003, roč. 54, č. 2, s. 177-182. ISSN 01677012. DOI: 10.1016/S0167-7012(03)00037-X.
Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016770120300037X>
- [60] KAMAT, Prashant V., Rebecca HUEHN a Roxana NICOLAESCU. A "Sense and Shoot" Approach for Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants in Water. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2002, roč. 106, č. 4, s. 788-794. ISSN 1520-6106. DOI: 10.1021/jp013602t.
Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp013602t>
- [61] MALLAKPOUR, Shadpour a Fatemeh ZERAATPISHEH. The nanocomposites of zinc oxide/L-amino acid-based chiral poly(ester-imide) via an ultrasonic route: Synthesis, characterization, and thermal properties. *Journal of Applied Polymer*

Science. 2012-11-15, roč. 126, č. 4, s. 1416-1424. ISSN 00218995. DOI: 10.1002/app.36686.

Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.36686>

- [62] WU, Run a Changsheng XIE. Formation of tetrapod ZnO nanowhiskers and its optical properties. *Materials Research Bulletin*. 2004, roč. 39, 4-5, s. 637-645. ISSN 00255408. DOI: 10.1016/j.materresbull.2003.12.009.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025540803003891>

- [63] KITANO, Motoi a Makoto SHIOJIRI. Benard convection ZnO/resin lacquer coating – a new approach to electrostatic dissipative coating. *Powder Technology*. 1997, roč. 93, č. 3, s. 267-273. ISSN 00325910. DOI: 10.1016/S0032-5910(97)03283-X.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003259109703283X>

- [64] KUMAR, S. Ashok a Shen-Ming CHEN. Nanostructured Zinc Oxide Particles in Chemically Modified Electrodes for Biosensor Applications. *Analytical Letters*. 2008, roč. 41, č. 2, s. 141-158. ISSN 0003-2719. DOI: 10.1080/00032710701792612.

Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00032710701792612>

- [65] WANG, J. X., X. W. SUN, A. WEI, Y. LEI, X. P. CAI, C. M. LI a Z. L. DONG. Zinc oxide nanocomb biosensor for glucose detection. *Applied Physics Letters*. 2006, roč. 88, č. 23, s. 233106-. ISSN 00036951. DOI: 10.1063/1.2210078.

Dostupné z: <http://link.aip.org/link/APPLAB/v88/i23/p233106/s1>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PA	polyacetylen
PPV	poly (p-fenylenvinylem)
OLED	organické světlo emitující diody
HOMO	nejvyšší obsazený molekulový orbital
LUMO	nejnižší neobsazený molekulový orbital
UV-VIS	oblast ultrafialového a viditelného světla
PVD	fyzikální depozice z plynné fáze
MEH-PPV	Poly [2-metoxy-5- (2-etyl-hexyloxy)-1,4-fenylen-vinylem]
CHCl ₃	chloroform
THF	tetrahydrofuran
PLED	polymerní světlo emitující diody
ROMP	polymerace na principu otevírání kruhů
M _r	relativní průměrná molekulová hmotnost
KOH	hydroxid draselný
TBABr	tetrabutylamonium bromid
HBr	bromovodík
MPD	metyl propanolát draselný
M _n	číselná průměrná molekulová hmotnost
ZnO	oxid zinečnatý
NP	nanočástice
QG	křemenné sklo
ITO	směs oxidů india a cínu (In ₂ O ₃ + SnO ₂)
PL	fotoluminiscence
AFM	mikroskopie atomárních sil

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 - Nejznámější zástupci π – konjugovaných polymerů, překresleno z [5].</i>	12
<i>Obrázek 2 - Alan G. Macdiarmid [10].</i>	13
<i>Obrázek 3 - Alan J. Heeger [11].</i>	14
<i>Obrázek 4 - Hideki Širakawa [12].</i>	14
<i>Obrázek 5 - Atomové orbitaly butadienu, které se podílejí na vzniku vazeb. Degenerované sp^2 orbitaly dávají svým překryvem vzniknout jednoduchým σ vazbám. Delokalizované p_z orbitaly pak tvoří π vazby [18].</i>	15
<i>Obrázek 6 - Vazebné orbitaly (π_1, π_2) a proti-vazebné orbitaly (π_3, π_4) v molekule 1, 3 – butadienu. Překresleno podle [19].</i>	16
<i>Obrázek 7 - Jabloňského diagram vyobrazující elektronové přechody a jejich relaxace, překresleno podle [23].</i>	17
<i>Obrázek 8 – poly (dimethylsilan-methylphenylsilan), překresleno podle [24]</i>	18
<i>Obrázek 9 - Princip spin coatingu [35].</i>	20
<i>Obrázek 10 – Strukturní vzorec PPV [40]</i>	21
<i>Obrázek 11 – Strukturní vzorec MEH-PPV [40].</i>	22
<i>Obrázek 12 – Wessling-Zimmermanova syntéza [54].</i>	23
<i>Obrázek 13 – ROMP reakční cesta k PPV [54].</i>	24
<i>Obrázek 14 – Gilchova syntéza MEH-PPV [54].</i>	24
<i>Obrázek 15 – Absorpční spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	35
<i>Obrázek 16 – Absorpční spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	35
<i>Obrázek 17 - Emisní spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG při $\lambda_{ex} = 515$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	36
<i>Obrázek 18 - Emisní spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO při $\lambda_{ex} = 515$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	36

<i>Obrázek 19 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG při $\lambda_{em} = 592$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 20 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO při $\lambda_{em} = 592$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 21 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu QG při $\lambda_{em} = 640$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 22 - Excitační spektra tenkých vrstev MEH-PPV a MEH-PPV + ZnO (NP) z roztoku CB a DCB na substrátu ITO při $\lambda_{em} = 640$ nm, vlevo metoda přípravy 1, vpravo metoda přípravy 2.</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 23 - Topografické skeny tenkých vrstev čistého MEH-PPV, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 24 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 11, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 25 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 21, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 26 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 12, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 27 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 22, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 28 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 13, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 29 - Topografické skeny tenkých vrstev vzorku 23, vlevo na substrátu QG, vpravo na substrátu ITO.</i>	<i>41</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 – Roztok č. 1 MEH-PPV ve směsi CB a DCB (1:1).</i>	31
<i>Tabulka 2 – Roztok č. 2 MEH-PPV ve směsi CB a DCB (1:1).</i>	31
<i>Tabulka 3 – Charakterizace roztoků (11, 12, 13).</i>	31
<i>Tabulka 4 – Roztok č. 3 disperze ZnO nanočástic ve směsi CB a DCB.</i>	32
<i>Tabulka 5 – Charakterizace roztoků (21, 22, 23).</i>	32
<i>Tabulka 6 – Přehled připravených vzorků</i>	33
<i>Tabulka 7 – Výsledky měření tloušťky tenkých vrstev QG.</i>	34
<i>Tabulka 8 – Výsledky měření tloušťky tenkých vrstev ITO.</i>	34