

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektricky vodivé organické sloučeniny

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub KOTAS**
Osobní číslo: **E11B0113K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Elektricky vodivé organické sloučeniny**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Stručně popište historii vývoje organických elektroaktivních sloučenin.
2. Popište základní principy a mechanismy vodivosti v organických elektroaktivních sloučeninách.
3. Zpracujte přehled hlavních skupin organických elektroaktivních sloučenin.
4. Uveďte nejrozšířenější praktické aplikace organických elektroaktivních sloučenin.

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


1. Petty, M. C.: **Molecular Electronics: From Principles to Practice.** Wiley, 2007.
2. Meller, G.; Grasser, T.: **Organic Electronics - Advances in Polymer Sciences.** Springer, 2010.
3. **PEDOT - Principles and Applications of an Intrinsically Conductive Polymer.** CRC Press, 2011.
4. Bao, Z. Locklin, J. **Organic Field-Effect Transistors.** CRC Press, 2007.
5. **Organic Electronic Chemicals, LLC.** (<http://www.oe-chemicals.com>)

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

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Tato práce je úvodem do organických elektroaktivních materiálů. Jde o rešerši současné odborné literatury, která pojednává o historickém pozadí a popisuje mechanismy elektrické vodivosti v organických materiálech. Dále jsou zde uvedeni základní zástupci organických molekulárních sloučenin, polymerů a organických dielektrik. Současně jsou v této práci také popsány základní elektronické aplikace, využívající organické materiály, jako jsou OLED zobrazovače nebo OFET polem řízené tranzistory.

Klíčová slova

Organická elektronika, konjugovaný polymer, vazba σ , vazba π , OLED, OFET, FeFET, pentacen, PEDOT.

Abstract

This thesis is introduction to organic electroactive materials. It is based on nowadays literature review. Thesis describes historical background and mechanism of electric conductivity. Furthermore in this thesis can be seen main groups of polymers, small molecules and dielectric materials. As well as basic applications based on organic platform like are OLEDs, OFETs or sensors.

Key words

Organics electronics, conjugated polymer, σ band, π band, OLED, OFET, FeFET, pentacen, PEDOT.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....
Podpis

V Plzni dne 1. 6. 2013

Jakub Kotas

Poděkování

Poděkování za věnovaný čas, ochotu, poskytnutí odborných materiálů a za pomoc při korekci si zaslouží vedoucí práce Ing. Silvan Pretl.

Obsah

OBSAH	8
POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY	10
ÚVOD	11
1 HISTORIE A VÝVOJ ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ	12
1.1 VÝVOJ ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ	12
1.2 STRUČNÝ PŘEHLED VÝVOJE APLIKACÍ NA BÁZI ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ	13
2 ZÁKLADNÍ PRINCIPY A MECHANISMY VODIVOSTI	14
2.1 ATOMOVÁ A MOLEKULOVÁ STRUKTURA	14
2.1.1 Atomová struktura uhlíku.....	15
2.1.2 Molekulová struktura uhlíku, vazby σ a π	15
2.1.3 Elektronové konfigurace vybraných forem uhlíku	16
2.2 PŘENOS NÁBOJE.....	18
2.2.1 Excitované stavy	18
2.2.2 Exciton, polaron.....	19
2.3 ELEKTRICKÁ VODIVOST	21
2.3.1 Elektronový přenos	21
2.3.2 Energetický přenos přeskokem	22
3 MATERIÁLY PRO ORGANICKOU ELEKTRONIKU	23
3.1 ORGANICKÉ POLOVODIČE	23
3.1.1 Malé molekuly.....	23
3.1.2 Konjugované polymery	26
3.2 DIELEKTRICKÉ MATERIÁLY	27
4 POUŽITÍ ORGANICKÝCH MATERIÁLŮ V ELEKTRONICE	29
4.1 ORGANICKÉ SVĚTLO EMITUJÍCÍ DIODY (OLED).....	29
4.1.1 Struktura OLED.....	29
4.1.2 Výrobní proces.....	31
4.1.3 Degradace a stárnutí	31
4.2 POLYMEROVÉ SVĚTLO EMITUJÍCÍ DIODY (PLED)	31
4.2.1 Struktura PLED	32
4.2.2 Výroba PLED.....	33

4.3	ORGANICKÉ POLOVODIČOVÉ LASERY	33
4.3.1	<i>Struktura organických laserů</i>	33
4.4	ORGANICKÉ FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY	34
4.4.1	<i>Struktura organických PV článků</i>	34
4.4.2	<i>Optimalizace organických materiálů pro použití v PV člancích</i>	34
4.4.3	<i>Organické fotodetektory</i>	35
4.5	ORGANICKÉ POLEM ŘÍZENÉ TRANZISTORY (OFET)	35
4.5.1	<i>Struktura OFET</i>	36
4.5.2	<i>Pracovní režimy</i>	36
4.6	ORGANICKÉ SENZORY NA BÁZI OFET	37
4.6.1	<i>Detektory tahu a tlaku</i>	37
4.7	ORGANICKÁ ELEKTRONIKA V PAMĚTÍCH	38
4.7.1	<i>EFET</i>	38
4.7.2	<i>FeFET</i>	38
4.8	ORGANICKÁ VODIVÁ VLÁKNA	39
4.8.1	<i>E-textilie</i>	40
	ZÁVĚR	41
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	43

Použité zkratky a symboly

AO	Atomový orbital
As	Chemická značka pro arsen
FET	Field emitted tranzistor (polem řízený tranzistor)
Ga	Chemická zkratka pro germanium
HAO	Hybridizovaný atomový orbital
HOMO	Highest Occupied Molecular Orbital (Nejvyšší obsazený molekulový orbital)
ITO	Indium tin oxide
LCD	Liquid Crystal Display (Display z tekutých krystalů)
LUMO	Lowest Unoccupied Molecular Orbital (Nejnižší neobsazený molekulový orbital)
MO	Molekulový orbital
OFET	Organic field effect tranzistor (Organický polem řízený tranzistor)
OLED	Organic light-emitting diode (Organická světlo-emitující dioda)
P/N	Přechod na rozhraní P a N polovodiče
PA	Polyacetylen
PEDOT	Poly(3,4-ethylenedioxythiofen)
PLED	Polymer light-emitting diode (Polymerová světlo-emitující dioda)
PPV	Poly(p-fenylen vinyl)
PPy	Polypyrrol
PS	Polystyren
PT	Polythiofen
PV Cell	Photovoltaic cell (Fotovoltaická buňka)
TFT	Thin film transistor liquid crystal display (Zobrazovací jednotky na bázi tenkovrstvých tranzistorů)
Ω	Ohm, jednotka elektrického odporu

Úvod

Vývoj elektricky vodivých organických materiálů je v současné době velice rychle se rozvíjícím odvětvím s velkým množstvím aplikací a s vysokým komerčním potenciálem. Současný výzkum v této oblasti je založen na rozsáhlé spolupráci chemického průmyslu, teoretické fyziky a výrobců spotřební elektroniky.

Organické materiály jako polymery či tenké filmy nacházejí čím dál větší uplatnění pro svoje dobré vlastnosti. Prakticky bychom si už současný styl života bez nich těžko dokázali představit. Pro vývoj nových elektronických zařízení na bázi organiky nebo vylepšení funkčnosti stávajících aplikací hraje základní roli vhodně zvolený materiál. Stěžejní jsou především složky, které umožňují sestavit zcela nové typy zařízení s nízkou hmotností, s dobrými mechanickými vlastnostmi a s vysokou flexibilitou použití. Kromě již zmíněných dobrých mechanických vlastností je další pozitivum při použití organických materiálů snadná výroba předmětů na jejich bázi. Mnoho druhů zařízení tak může být vyrobeno například pomocí tiskových metod, které zjednodušují a zrychlují výrobní proces, a tak lze tyto předměty snadněji uvést na trh. S objevem schopností vést proud ve vybraných organických látkách a polymerech, který byl učiněn v 70. letech minulého století, se výrazně zvýšila oblast možného použití. Ke stávajícím vlastnostem tak přibyly další, dosud vyhrazené pouze pro anorganické polovodiče. U některých organických materiálů se vlastnosti i přibližují horším kovovým vodičům. Kromě samotné elektrické vodivosti lze také pomocí vhodných organických materiálů využívat reakci fotonů (světla) s organickým materiálem. Ať už ve formě zdroje světla, kdy mluvíme o organických světlo emitujících diodách (OLED), nebo ve formě fotosenzoru, kdy je světelná energie dopadající na organický materiál (fungující jako fototranzistor) přeměněna na energii elektrickou.

V současném stavu vývoje však bohužel nelze nahradit některé stávající aplikace organickými materiály. Je to způsobeno především rychlou změnou vlastností vlivem okolního prostředí během používání, kdy mluvíme o tzv. stárnutí materiálu. A proto zařízení jako například OLED zobrazovače mají pouze omezenou životnost v porovnání s TFT nebo PDP panely.



Obr. 1: První komerční použití OLED zobrazovače firmou KODAK © 2003

1 Historie a vývoj organických materiálů

1.1 Vývoj organických materiálů

Organická chemie jako taková nepatří mezi úplně nové obory. Již v polovině 18. století proběhly první pokusy a podařilo se vyrobit první polymer. Pravděpodobně jako první se podařilo objevit polyanilin. Tato látka zelené barvy, vznikající oxidací anilinu



Obr 2.: A. G. MacDiarmid, Alan J. Heeger a Hideki Shirakawa - držitelé Nobelovy ceny za chemii⁹

(látky též zvané jako anilinová čern), byla objevena v roce 1840 J. Fritchsem. A v roce 1860 byla elektrochemická reakce anilinu popsána profesorem H. Lethbym.¹⁰ Další rozvoj v této oblasti nastal počátkem dvacátého století. V roce 1920 přišel H. Staundinger, pozdější laureát Nobelovy ceny za chemii, s konceptem makromolekul - polymerů, který boural tehdejší zažité teorie. A dále pak v roce 1935 Wallace Carothers z firmy Dupont vyvinul první syntetický polymer, pod komerčním názvem Nilon, a ukázal tak velký potenciál těchto materiálů. V padesátých letech minulého století směr výzkumu syntetických polymerů udávali především Karl Ziegler, Giulio Natta a Paul Flory, další pozdější laureáti Nobelovy ceny za chemii. Jejich bádání se týkalo především saturevaných polymerů, kde na rozdíl od konjugovaných, jsou elektrony uhlíku pevně vázány kovalentní vazbou a nelze je proto využít jako vodiče elektrického proudu.⁹

Přestože teoreticky již byla známa schopnost organických materiálů vést elektrický náboj, první pokusy s konjugovanými polymery se uskutečnily až v šedesátých letech dvacátého století. A to v návaznosti na tehdejší rozmach vývoje elektronických zařízení.

Z počátku se jednalo o převážně elektroniku na bázi kovových materiálů, jako jsou například vakuové elektronky. V padesátých letech byly elektronky postupně nahrazovány, v té době nově vyvíjenými tranzistory. Kov nahradily materiály jako As nebo Ga. Byl to obrovský skok kupředu umožňující dosud nové nevídané možnosti v elektronice.

A právě v této době, s prvními reálnými pokusy na poli organické elektroniky, přišli pánové Hideo Akamatu a Hiroo Inokuči, kteří ukázali, že za pomoci malých molekul lze vytvořit syntézou z organických materiálů vodič. Vzhledem k výrobním obtížím při syntéze se

pozornost badatelů přesunula k jednodušším konjugovaným polymerům, jako je polyacetylen. V dalším výzkumu pak pokračovali Hideki Shirakawa, Alan J. Heeger a A. G. MacDiarmid. V roce 1976 experimentovali s možností silného dotování konjugovaných polymerů, jako je polyacetylen, kovy a dalšími látkami. A za tento výzkum byli v roce 2000 odměněni Nobelovou cenou za chemii. V 80. letech minulého století začal prudký vývoj nových optoelektrických zařízení, jako jsou mobilní telefony, ploché zobrazovače nebo optické snímače a nastala další éra miniaturizace. Současně se začalo i s vývojem praktických aplikací pomocí organických látek, který započal v průběhu 80. let výrobou první organické LED diody.⁹

1.2 Stručný přehled vývoje aplikací na bázi organických materiálů

Organické materiály přes svou krátkou historii vykazují mnoho podob. S tím jak rostlo poznání a technologické možnosti výroby byla vyvinuta řada funkčních aplikací. V počátcích vývoje se experimentovalo s roztoky a později s tenkými filmy. Poslední vývoj nám představil i složité struktury, funkčně obdobou anorganickým polovodičovým součástkám.

1907 – První hlášená luminiscence z organického materiálu²

1963 - První elektroluminiscentní zařízení na bázi tenkých organických vrstev²

1977 - Organický materiál použit jako polovodičové médium pro tenké tranzistory¹¹

1986 - Fotovoltaický organický článek na skleněném substrátu¹¹

1987 - Organické světlo emitující dioda (OLED) na skleněném substrátu²

1989 - Tenkovrstvý organický tranzistor¹¹

1992 - Světlo emitující dioda na bázi organických polymerů¹¹

1997 - Organický laser¹¹

1998 - Nekovová transparentní světlo emitující materiálová struktura¹¹

1998 - Elektroluminiscenční displej vyrobený tiskovou technologií¹¹

2000 - Vysokorychlostní fotodetektor¹¹

2 Základní principy a mechanismy vodivosti

2.1 Atomová a molekulová struktura

Každá látka je složena z molekul a molekuly z jednotlivých atomů. Samotný atom prvku se skládá z jádra tvořeného neutrony a kladně nabitými protony. Těmto částicím se říká nukleony. Jádro pak obklopují nezávisle se na sobě pohybující elektrony, nesoucí záporný náboj a tvořící elektronový obal atomu, a jejichž množství je stejné jako protonů v jádru. Protože nelze díky Heisenbergově teorii neurčitosti přesně určit lokaci elektronu v daném okamžiku, prostor kolem atomu, v němž se s vysokou pravděpodobností vyskytuje či pohybuje elektron, nazýváme atomový orbital (AO). Tyto orbitaly obepínají atomové jádro v jednotlivých vrstvách-slupkách a mohou být vytvarovány do různých křivek. AO popisujeme a definujeme pomocí vlnové funkce a čtveřicí kvantových čísel: ³

n – hlavní kvantové číslo určuje energetickou hladinu, ($n=1, 2, 3\dots$)

l – vedlejší kvantové číslo určuje tvar orbitalu, ($0 \leq l \leq n-1$)

m – magnetické kvantové číslo vyjadřuje prostorovou orientaci orbitalu vůči ose, ($-1 \leq m \leq 1$)

a – spinové kvantové číslo vyjadřuje smysl rotace elektronu kolem vlastní osy, ($a = -1/2, 1/2$)

V jednom konkrétním atomu nemohou být dle Pauliho principu výlučnosti dva různé elektrony se stejnými kvantovými čísly. A nemohou mít stejnou energetickou hladinu v jednom okamžiku. ³ Každý jednotlivý elektron v atomu je tak unikátní. AO pojme maximálně dva elektrony s rozdílným spinovým číslem a podle Hundova pravidla ¹ elektrony nejprve zaplní nejnižší energetickou hladinu a každý další orbital po jednom elektronu. Teprve v okamžiku, kdy všechny orbitaly mají svůj vlastní elektron, se začnou doplňovat o druhý elektron s opačnou spinovou rotací. Největší hustota elektronů je tak kolem atomového jádra a s přibývajícím vzdáleností slábne. ³ Nejvyšší kompletně zaplněný orbital (tedy s nejvyšší energií) se nazývá HOMO. Naopak nejnižší orbital, který neobsahuje žádný elektron, je označen jako - LUMO. Orbital pouze s jedním elektronem se nazývá SOMO. ¹

Vlastnosti látek, jejich schopnost se vázat na další prvky a vytvářet s nimi vazby nám udává právě jejich elektronová konfigurace. Pouze vzácné plyny mají plně obsazenou valenční sféru osmi elektrony, tvořící jejich elektronový obal (vnější HOMO slupku) a dodávající jim jejich stabilitu. Prvky, které nemají plně obsazenou valenční sféru, se proto snaží doplnit potřebný počet elektronů a jsou proto nestabilní. K tomuto doplnění dochází při slučování s jiným prvkem pomocí chemické vazby. Z prvků, které při tomto procesu přijdou o elektrony, se

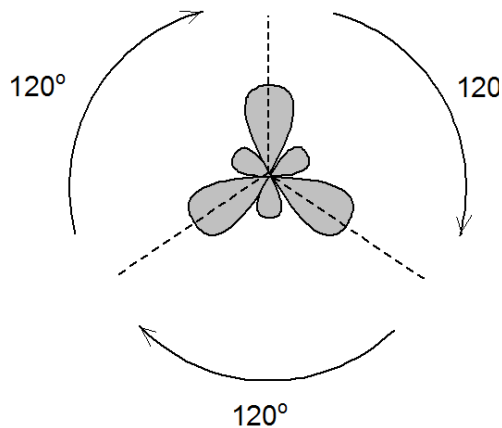
stávají kladné částice kationty. A z prvků, které elektrony přijmou, se stávají aniontové částice se záporným nábojem.¹

2.1.1 Atomová struktura uhlíku

Základním stavebním kamenem organických materiálů je uhlík. V organických vodivých sloučeninách se s ním nejčastěji setkáme ve formě nízkomolekulárních látek nebo polymerů vytvářející řetězce či kruhy uhlíkových atomů spojených vzájemnými silnými vazbami. Jiné často užití prvky tvořící s uhlíkem sloučeniny jsou kyslík nebo vodík, a další prvky s nízkým atomovým číslem.³

Uhlík je prvek se šesti elektrony. Dva elektrony jsou na orbitalech kolem atomového jádra a označujeme jako $1s^2$ a se čtyřmi valenčními elektrony nacházející se v orbitalech, značící se $2s^2$ a $2p^2$. Uhlík tak může s dalšími prvky vytvářet čtyři jednoduché vazby, dvě dvojně nebo jednu trojnou vazbu a jednu jednoduchou. Všechny vazby jsou si vzájemně rovnocenné.³

Pro zjednodušení a vysvětlení vazeb mezi dvěma molekulami se v chemii používá pojem hybridní orbital. Předpokládáme ho jako mix stávajících atomových p a s orbitalů podobných si tvary a energií, a následný vznik nových ekvivalentních hybridních orbitalů pomocí lineární kombinace jejich vlnových funkcí. Tento proces tak umožňuje lepší popis vlastností vazeb mezi atomy. Hybridizací $2s$ orbitalu se třemi $2p$ orbitaly získáme čtyři hybridní ekvivalentní sp^3 orbitaly vzájemně na sebe natočené o $109,5^\circ$. Jiný druh hybridizace využije jednoho s AO se dvěma p AO. Vzniknou tři hybridní sp^2 orbitaly vzájemně symetricky natočené o 120° .³

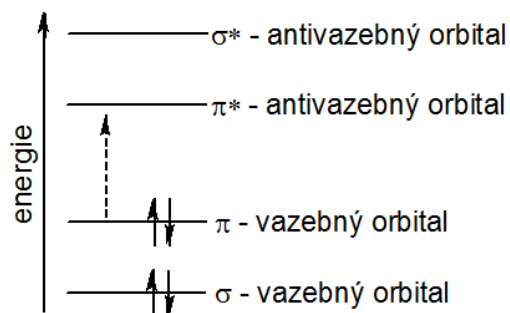


Obr. 3: Atom uhlíku v hybridizované sp^2 konfiguraci se třemi orbitaly

2.1.2 Molekulová struktura uhlíku, vazby σ a π

Molekulové orbitály (MO) vzniknou, pokud se dva atomy k sobě dostatečně přiblíží tak, aby došlo k překrytí jejich atomových orbitalů. AO přitom musí obsahovat pouze jeden elektron. Vzniklé MO tak mají po jednom elektronovém páru. Tyto elektrony však již nebudou

určovány prostřednictvím svých starým AO, ale pomocí nově vzniklých MO. Pokud má MO menší energii než původní AO, nazýváme ho jako vazební MO a jde o stabilní formu. V případě, že nový orbital má energii vyšší než původní AO, jde o antivazební MO a nestabilní formu. Ostatní orbitály, které se nepodílejí na vzniku MO, se nazývají nevazební orbitály a obsahují nevazební elektrony.¹



Obr. 4: Znázrnění energetických úrovní v konjugované molekule. Excitace je zobrazena čárkovanou šipkou.

Rozlišujeme i samotné vazby molekulových orbitalů, a to podle původních AO, které se podílely na vzniku MO. Jde o vazby σ a π a liší se od sebe svojí silou a rovinou symetrie. Vazby σ jsou symetrické kolem osy spojující dva nukleony vázaných atomů. Umožňují rotaci molekuly kolem této osy. Vazba π vzniká díky elektronům z nehybridizovaných p_z orbitalů a geometricky je kolmá na osu mezi dvěma nukleony. Pokud jsou dva atomu uhlíku vázány pomocí dvojně vazby, tedy oběma vazbami σ a π současně, je zabráněno jejich případné rotaci.³

Pokud se překryjí dva s orbitály s elektrony vzájemně ve fázi, vzniká MO s elektronovým párem vázaným vazbou σ . Naopak v případě, kdy jsou tyto elektrony rotací vzájemně v protifázi, vzniká antivazební MO vázaný vazbou σ^* s vyšší energií než jeho vazební protějšek. Energie bude mít přesně o tolik více, o kolik jí má méně vazební MO oproti původnímu AO. Stejně tak to platí i pro AO typu p . Zde ovšem vazby vzniklé jsou typu π pro vazební a π^* pro antivazební MO. A přesně stejný princip lze užít i pro hybridní AO typu sp^2 a další.¹

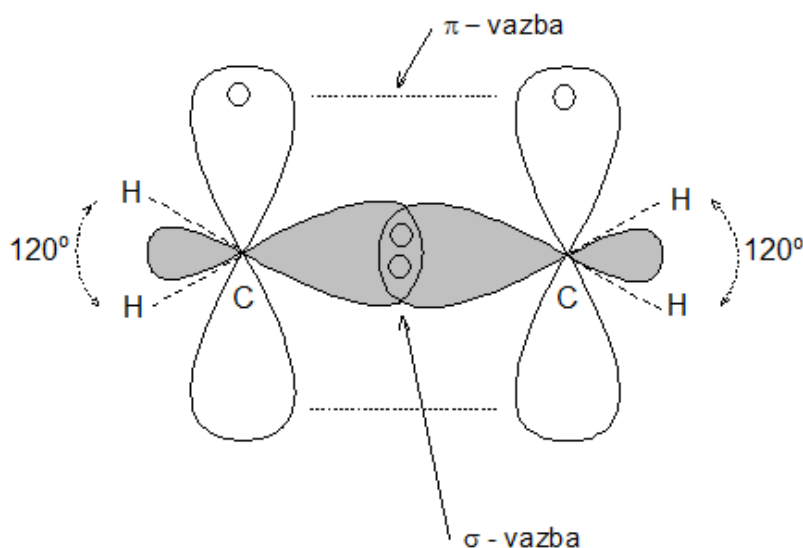
Přítomnost jednoduchých, dvojných nebo trojných vazeb přímo odpovídá druhu hybridních orbitalů během vytváření molekuly či polymeru. A s tím koresponduje jiná prostorová struktura.

2.1.3 Elektronové konfigurace vybraných forem uhlíku

U polymerů či molekul formovaných skrz hybridní orbitály o jejich elektrických vlastnostech rozhoduje druh hybridizace. Mohou tak vzniknout jednoduché, dvojně nebo trojně vazby. V případě sp^3 hybridizace uhlíkových atomů je přítomna pouze vazba typu σ . Protože zde nejsou takřka přítomny volné elektrony, je mezi orbitály σ a σ^* (tedy jakoby mezi valenčním a

vodivostním pásmem) velká energetická mezera (nad 3eV) a dodává tak těmto látkám jejich izolační schopnosti. Jako typický příklad je diamant se svou specifickou strukturou. Tato struktura je formována pomocí čtyř HAO vytvořených sp^3 hybridizací. Díky tomu jsou u každého atomu uhlíku přítomny čtyři jednoduché σ vazby, kterými jsou sousední atomy vzájemně spojeny, a vzniká tak 3-D síť vzájemně spojených atomů uhlíku.¹

Jiný druh uhlíkatých polymerů je postaven skrz sp^2 hybridizaci. Při této konfiguraci jsou zároveň přítomny vazby σ a π . Jejich polovodičové vlastnosti jim dodává právě přítomnost π vazeb. Zatímco sousední atomy uhlíky jsou vzájemně propojeny pomocí σ vazeb do souvislého řetězce tvořícího kostru celého polymeru. Konkrétně v případě nejjednoduššího konjugovaného polymeru polyacetyleny obsahuje tento polymer uhlíkové atomy, každý se třemi HAO vytvořenými pomocí sp^2 hybridizace. Pomocí těchto HAO se vytvoří dva páry



Obr. 5: Druhy vazeb v organických vodivých sloučeninách. Bílou barvou jsou znázorněny nehybridizované p_z orbitaly a šedou hybridizované sp^2 orbitaly.

atomů C-H a pár s dalším atomem uhlíku C-C. U každého atomu uhlíku zbude jeden p_z orbital, který vytvoří se sousedním p_z orbitalem π vazbu. Elektronů σ vazbách jsou pevně vázány a tak energetické hladiny představují vazební orbitály π (HOMO) a antivazební π^* (LUMO). Obvykle se udávají hodnoty mezi 1,5-3eV.¹

Kvůli překrývajícím se π orbitalům u sousedních atomů uhlíku jsou tyto elektrony relativně rozprostřeny v přiléhajícím prostoru. Mluvíme pak o tzv. elektronových oblacích. Pokud budeme uvažovat o stavební kostře molekul rozprostřené po ose x, tato oblaka budou umístěna ve směru osy y nad a pod touto osou, a budou tak vytvářet 1-D elektrickou

strukturu. Elektrické vlastnosti těchto struktur budou záviset na vzdálenosti jednotlivých atomů uhlíku mezi sebou.¹ Hustota π elektronových oblaků bude také záviset na druhu vazby mezi atomy uhlíku. Dvojná vazba přináší hustější oblaka a naopak.² V ideálním polymerovém či molekulovém řetězci, kde jsou molekuly stejně velké a jsou natočeny ve stejném směru, řetězec není narušen a za pokojové teploty je elektronový oblak přítomen po celé jeho délce. V reálných polymerech je však často řetězec narušen či úplně přerušen a obvyklá délka souvislého článku je mezi 5 a 15 jednotkami (jednotlivými molekulami či molekulovými skupinami.)² Energetická mezera mezi valenční (HOMO) a vodivostní (LUMO) vrstvou dramaticky narůstá po spojení zhruba deseti jednotek. Dopady těchto defektů jsou i na šířku pásma přenášeného světelného spektra a díky chybám ve struktuře se může narušit mobilita nosičů náboje, či úplně změnit charakter přenosu.¹ Pokud uvažujeme o konjugovaném materiálu jako o jednotlivých spojených segmentech, pak délka řetězců je závislá na náhodném uspořádání a nepravidelnostech. K vyjádření hustoty nosičů a charakteristikám přenosu náboje proto zavádíme pojem Density Of States (DOS), udávající počet energetických hladin, volných pro obsazení elektronem. V případě žádné dostupné energetické hladiny je DOS rovno nule.²

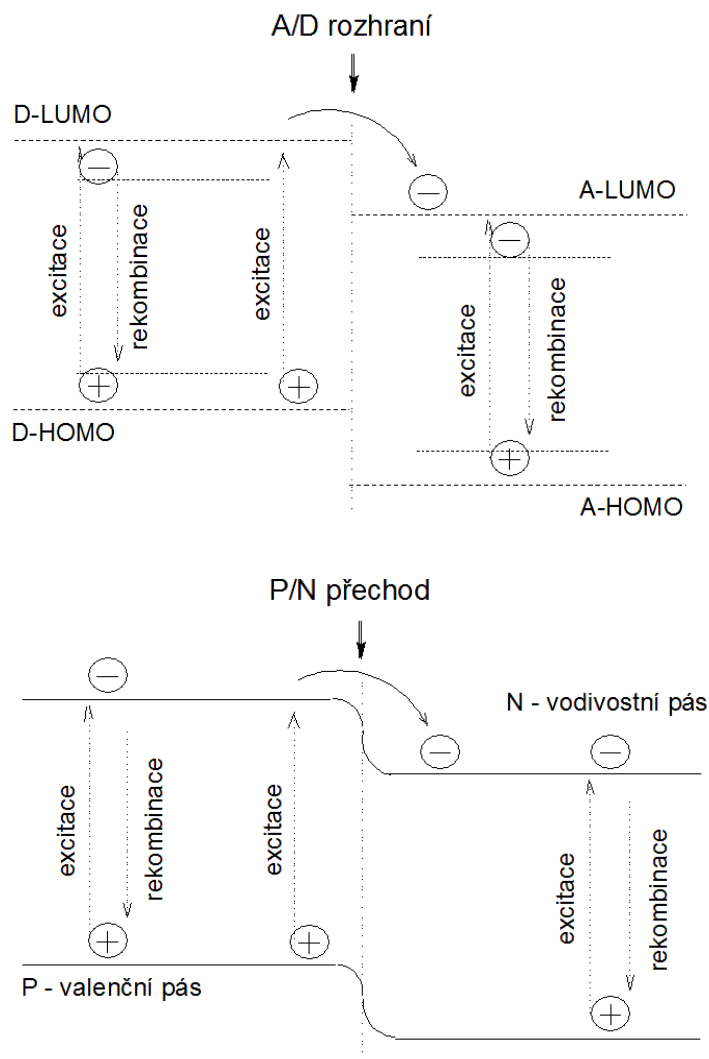
2.2 Přenos náboje

2.2.1 Excitované stavy

Pokud existují v AO elektrony s navzájem opačnou rotací, vznikne singletová konfigurace nebo stav s výsledným nulovým momentem rotace. Pokud elektrony mají rotaci ve fázi, jde o triplet (T_1), který nemůže dosáhnout, na rozdíl od singletu, na zemní stav. Základní stav izolované organické molekuly je takzvaný singletový vibrační stav (S_0). Absorpcí fotonu se molekula přesune do prvního excitovaného stavu (S_1). Na tomto stavu vydrží molekula pouze velmi krátkou dobu (1-10ns), než dojde přechodu zpět na stav S_0 doprovázený fluorescentním vyzářením energie do okolí. Z excitovaného singletového stavu je malá šance na změnu vnitřního systému molekuly na tripletový stav (T_1), z kterého může být energie uvolněna fosforescencí. Protože k této změně dochází zřídka, trvá tento stav delší dobu (ms).

2.2.2 Exciton, polaron

V polovodičích energetický rozdíl mezi valenčním a vodivostním pásem odpovídá energii infračerveného nebo viditelného světla ve formě dopadající fotonu. Pokud je tato energie větší než tento energetický rozdíl mezi pásy, dochází k tzv. excitaci elektronu z valenčního do



Obr. 5: Rozdíl mezi Donor/Akceptor rozhraním a P/N přechodem.

vodivostního pásu. Ve valenčním pásmu po uniklém elektronu vzniká jeho imaginární komplementární částice, tzv. díra s opačným nábojem. Pro volné nosiče náboje jednotlivých molekul v organických sloučeninách se používá označení polaron.¹

Dále pokud molekula předá elektron sousední molekule, nazýváme jí donor, a podobně akceptor je naopak molekula přijímající elektrony. Orbitalové hladiny HOMO a LUMO jsou stejné jako u původní molekuly. Polarony se pohybují v organickém materiálu pomocí přeskoků mezi jednotlivými molekulami či články polymeru. V okamžiku, kdy se dva stejně

nabité polarony potkají u stejné molekuly, mohou se vzájemně pohltit a uvolnit při tom tepelnou či světelnou energii-fotony.^{1,5}

Páry vzájemně vázaných elektronů-děr nazýváme excitony či jinak neutrálními polarony. Excitony jako takové nenesou žádný náboj, pouze přenáší excitovanou energii svým pohybem mezi molekulami a mění jejich excitované stavy. Takto vázané páry elektron-díra mají nižší celkovou energii než ionizovaný volný pár elektron-díra.⁵

Rozlišujeme dva druhy excitonů dle vzdálenosti nosičů od sebe a dle velikosti vazební energie. První je Wannier-Mottův typ excitonu, charakterizující tradiční polovodiče s krystalickou mřížkou a se slabými Coulombovskými silami ($\sim 1\text{meV}$) mezi elektronem a dírou. Elektrony se zde volně pohybují ve vodivostním pásu a volné díry se naopak pohybují v pásu valenčním. Tyto nosiče náboje se vzájemně pohybují nezávisle na sobě a mohou tak být snadno generovány ionizací pomocí působení světelné energie, tepelné energie nebo magnetickým polem a dalšími.¹

V organických polo- a vodičích se naproti tomu převážně vyskytuje Frenkelův exciton. Jeho vznik je důsledkem mnohem silnějších Coulombovských sil mezi elektronem a dírou (cca 1eV). Je také mnohem menší než Wannier-Mottův exciton, protože nosiče okupují stejný atom nebo molekulu. Kvůli větším vazebním silám mezi dírou a elektronem je k jejich uvolnění na nosiče náboje potřeba mnohem větší energie a samotný vliv světla nebo tepla nebude dostatečný. Dodaná energie, například formou dopadajícího fotonu, potřebná k excitaci musí překonat energetickou mezeru mezi HOMO-LUMO, je tak často potřeba dalších přídatných sil k uvolnění nosičů. Mohou to být externí síly nebo energie jako je elektrické pole, tepelná energie nebo nejčastěji rozdíl energetických hladin mezi donorem a akceptorem δE .¹

Tento poslední případ je podobný procesům probíhajícím v rozhraní P/N přechodu v klasických polovodičích. V tomto případě se pak generované nosiče náboje v A/D přechodu vytvořeném skrz rozdílnou chemickou dotaci materiálu či osvětlením mohou rozptýlit na obě oddělené strany. Tento rozptyl bude záviset na chemickém potenciálovém gradientu. Rozdíl oproti klasickému P/N přechodu je ten, že nosiče se generují pouze ve vymezeném prostoru přechodu.¹

Vzniklé volné nosiče-polarony pak mohou vzájemně utvářet vazebné páry. Navzájem opačně nabité polarony, ale se stejnou vlastní rotací, vytvoří přiblížením se k sobě exciton. Následný samovolný rozpad doprovázený přechodem na jeho nižší energetický stav vede ke vzniku fotoemise fotonu. Stejně nabité polarony pak můžou při přiblížení se k sobě vytvořit částici bipolaron.⁵ Opět o ní uvažujeme jako o imaginární částici schopné rozptýlit se v objemu

materiálu s nábojem. Charakter náboje závisí na náboji původních polaronů. Energetické hladiny jsou opět závislé na původních HOMO-LUMO úrovních materiálu. Protože po spojení dvou polaronů celková energie poklesne, obvyklá energetická hladina je zhruba uprostřed mezi HOMO-LUMO úrovněmi.¹

2.3 Elektrická vodivost

Elektrická vodivost materiálů σ (Sm^{-1}) závisí především na koncentraci nosičů náboje a jejich schopnost pohybu. Existují dva hlavní druhy přenosu náboje v látkách, a to skrze vodivostní pás látky a přenos přeskokem mezi jednotlivými nosiči náboje. Protože samotný pohyb volných nosičů náboje v nedotovaných organických sloučeninách je malý, důležitá je tak i schopnost přenosu energie přeskokem skrze molekuly napříč materiálem.¹

2.3.1 Elektronový přenos

Elektronovým přenosem rozumíme pohyb nosičů náboje po vodivostním resp. valenčním pásu. Elektronový přenos zajišťují kladně a záporně nabitě polarony koherentním pohybem z jedné molekuly na vedlejší molekulu (či skupinu molekul). V anorganických polovodičích nebo silně dotovaných konjugovaných organických polovodičích je tento přenos rychlý a plynulý. Závisí to ovšem také na okolní teplotě, která může v organických materiálech zcela změnit charakter vodivosti.⁶

Avšak v nedotovaných organických materiálech existuje pouze slabý mezi-molekulový přenos. Je to způsobeno slabými Van der Waalsovými silami mezi molekulami a vysokou nepravidelností v struktuře materiálu, kde se volné nosiče náboje koncentrují pouze v lokálních místech narušení struktury řetězce. Může zde tak vzniknout nový stav nazývaný soliton. Princip přenosu viz níže jako Dexterův přenos.^{1,5}

	Konduktivita σ (Scm^{-1})	Materiál	
Vodiče	10^{10}		Organika
	10^8		
	10^6	Měď	
	10^4	Rtuť	
Polovodiče	10^2	Grafit	
	10^0		
	10^{-2}		
	10^{-4}	Silikon	
	10^{-6}	GaAs	
	10^{-8}		
Izolanty	10^{-10}	Sklo	
	10^{-12}	SiO_2	
	10^{-14}	Guma	
	10^{-16}		
	10^{-18}	Dřevo	
	10^{-20}	Křemen	

Tab 1.: Porovnání elektrické vodivosti běžných materiálů s organickými

2.3.2 Energetický přenos přeskokem

Další častý typ transferu náboje v organických materiálech je proces přenosu náboje přeskokem mezi molekulami nebo skupinami molekul materiálu. Známý jsou dva druhy tohoto přenosu náboje přeskokem, a to Forsterův a Dexterův.

Forsterův rezonanční energetický přenos popisuje mechanismus přenosu mezi dvěma fluorescentními molekulami. Excitováním fluorescentní molekuly typu donor na její fluorescentní vlnovou délku dojde díky dipól-dipól mechanismu, k přenosu singletového excitonu (její excitované hladiny) na jinou vzdálenější molekulu – akceptor.¹ Donor se poté vrátí zpět, na svojí počáteční energetickou úroveň. Efektivnost tohoto procesu závisí na vzdálenosti molekul od sebe, překrytí vlnových délek a na natočení dipólového momentu. Ideální je stav, kdy energetická mezera akceptoru není příliš rozměrná oproti excitované energii fotonu přijímaného z akceptoru. Energii lze takto převést mezi místy až kolem 10nm.⁵ Pokud není možné uskutečnit Forsterovo přenos díky porušení některé z uvedených podmínek, stále může dojít v materiálu k přenosu Dexterovým druhem přeskoku. Dexterova forma elektronového přenosu se projevuje u molekul sousedících těsně u sebe - ne dále než 1nm. Při tomto typu dochází k simultánnímu převodu elektronu z donoru směrem k akceptoru a zároveň s přesunem díry z akceptoru do donoru. Je také důležité, aby HOMO-LUMO úrovně donoru a akceptoru byly přibližně stejné.^{1,5}

3 Materiály pro organickou elektroniku

V této kapitole se seznámíme s hlavními skupinami organických materiálů vhodných pro použití v elektrotechnickém průmyslu. Základní skupinu tvoří organické polovodiče na molekulární bázi spolu s konjugovanými materiály. Kromě vodivých a případně i transparentních polymerů, se můžeme setkat i se strukturálně specifickými uhlíkovými látkami jako jsou fulleren C_{60} nebo uhlíkové nanotrubičky.

3.1 Organické vodiče a polovodiče

Přestože organické polovodiče byly objeveny již v polovině minulého století, skutečný pokrok ve vývoji organických světlo-emitujících diod (OLED) nebo fotovoltaických článků (PV) nastal až v 80. letech.

V současné chvíli vývoj již natolik pokročil, že lze uvažovat i o komerčním použití. Velký potenciál má nahrazení současných plochých zobrazovačů (TFT) zobrazovači na bázi OLED. Další slibnou oblastí jsou senzory a detektory s vysokou citlivostí a nízkou výrobní cenou. Díky nízkým výrobním nákladům lze uvažovat i o využití inteligentních čipových karet s uloženou bezdrátovou identifikací (RFID).

3.1.1 Malé molekuly

Významným zástupcem malých organických molekul použitých pro výrobu polovodičů je pentacen. Díky vysoké mobilitě nábojů pod elektrickým polem je vhodným kandidátem pro použití v aktivní vrstvě v OLED zobrazovačích. Jeho základní molekula vychází ze skupiny polyacetylenů, které byly vyvíjeny v 60. a 70. letech. Jiná důležitá skupina polovodičů jsou oligothiopheny. Jejich schopnost uspořádat se do pravidelné polykrystalické struktury jim dodává velmi dobré vlastnosti. Skupina derivátů benzenu, jako jsou cyaniny, zase vykazuje velice dobré světelně-absorbční charakteristiky. A další skupina materiálů založených na derivátech perylenu nám umožňuje využít široký rozsah světelné emise při jejich použití v OLED.¹

3.1.1.1 Oligoaceny

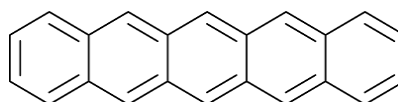
Jedním z nejdůležitějších oligoacenu a organických materiálů vůbec je pentacen. Jeho využití najdeme v mnoha polovodičových strukturách s vodivostí typu P. Díky svým vlastnostem je velice vhodný pro aktivní vrstvy v OLED a OFET.

Oligoaceny patří mezi polycyklické aromatické hydrouhlíky, jejichž základ je tvořen spojenými benzenovými kruhy. Vývoj těchto materiálů již trvá několik desetiletí, a jsou proto

dobře prozkoumány jejich klíčové vlastnosti.¹

Pentacen vykazuje vysokou mobilitu nosiče náboje díky svojí lineární struktuře. Případnou doplňující π konjugací lze dosáhnout mobility nosičů náboje blížíci se křemíkovým polovodičům ($0,5\text{cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$).¹

Díky svojí špatné rozpustnosti, a tím složitější výrobě, je však jeho použití limitováno. Použitím rozpouštědel totiž ztrácí pentacen svojí vysokou mobilitu nosičů náboje, a to díky narušení a rozleptání svojí struktury ($0,1\text{cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$).¹



Obr. 6: Nejčastější zástupce oligoacenu – pentacen

3.1.1.2 Cyaniny

Cyaniny jsou vysoce jasné barevné pigmentové sloučeniny ve formě konjugovaných řetězců uhlíku a vodíku spojených s dalšími prvky jako křemík, olovo nebo cín. Konce řetězců pak vždy uzavírají molekuly dusíku. Díky svým dobrým spektrálním a absorpčním vlastnostem jsou cyaniny vhodné pro použití jako polovodiče v citlivých snímačích fotoaparátů, solárních článcích nebo laserových materiálech. Krátká doba odezvy a vysoká polarizovatelnost, tvoří cyaniny ideálními látkami vhodné také pro optické konvertory, lasery nebo jako modulátory v přenosové technice.^{1,3}

Díky snadné rozpustnosti je jejich výroba poměrně jednoduchá a lze také dosáhnout širokého spektra barevných odstínů v závislosti na přísadách.

Ve fotovoltaice se využívá vysoká absorpce cyaninů díky množství rozprostřených excitonů po povrchu materiálu. Spojení s TiO_2 substrátem pak umožňuje vytvořit relativně výkonné a citlivé fotovoltaické články. Efektivita konverze na elektrický proud je však v porovnání s křemíkovými články stále nízká, v současné době to je maximálně $\sim 3,4\%$.¹

3.1.1.3 Porfyriny

Porfyriny patří mezi důležité chemické pigmenty nejen v organické elektronice. Asi nejnámější taková látka je chlorofyl, dodávající zelenou barvu rostlinám. Základ porfyrinů tvoří čtyři kroužky pyrrolu spojené čtyřmi metylovými můstky. Tyto molekuly pak mohou vázat ionty různých kovů jako je železo nebo hořčík, a to díky prázdným pozicím v jejich molekulární struktuře. Pro následně vzniklou plně π konjugovanou makromolekulární

soustavu se porfyriny stávají předmětem výzkumu v mnoha oblastech.¹

Jako i jiné makromolekulární organické látky vykazují porfyriny schopnost oddělit náboj, po dopadu světla, na jednotlivé nosiče. Ve spojení s fullereny, které jsou dobré elektronové donory, pak porfyrinové pigmenty nanesené na skleněný substrát naleznou využití v efektivních fotovoltaických člancích. Efektivita přeměny je kolem ~1,5%.¹

Díky vysoce zářivé červené světelné emisi naleznou porfyriny s příměsí prvků platiny využití i ve světlo emitující vrstvě v OLED.¹

3.1.1.4 Ftalocyaniny

Mezi další významné pigmenty patří i ftalocyaniny. Ftalocyaniny dokáží tvořit sloučeniny takřka se všemi kovy. Tyto sloučeniny obsahují vysoce stabilní π konjugovaný systém. A také vykazují velmi dobrou optickou absorpci. V závislosti na použitém vmíchaném kovovém prvku se mění barva celého pigmentu. Protože je jejich struktura podobná soli, nejde je rozpustit a po zahřátí vytváří krystalky.³

Ftalocyaniny díky svým vlastnostem nalézají uplatnění především ve fotovoltaice. Celky tvořené ftalocyaniny a fullereny vnořené do tenkých filmů TiO_2 vykazují velmi dobré vlastnosti, co se týče oddělení náboje. Bylo dosaženo efektivnosti konverze až ~4,3%.¹

3.1.1.5 Peryleny

Peryleny patří mezi aromatické karbonyly. Protože pohyb elektronů je v perylenech mnohem větší než pohyb děr, patří tak k hlavním zástupcům organických polovodičů typu N. Jde o mimořádně stabilní sloučeniny, dobře odolávající vlivu tepla nebo světla a s velkou chemickou inertností.¹

Díky dobrým absorpčním vlastnostem a dobrému vedení elektronů jsou také peryleny vhodným materiálem k výrobě fotovoltaických článků. Ve FC člancích typu Gratzel jsou využity jako fotosenzitivní vrstva mezi pláty substrátů TiO_2 a SnO_2 přičemž efektivita konverze byla zaznamenána až 14%.¹

Jako polovodiče typu N mají peryleny svoje zastoupení také v organických polem řízených tranzistorech. Při použití s pentacenovou vrstvou typu P se udává mobilita náboje kolem $1,7\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ a to při napětí ~15V.¹

3.1.1.6 Oxadiazoly

Oxadiazoly patří mezi aromatické heterocyklické sloučeniny. Jde o kruh pěti spojených prvků (dva atomy uhlíku, dva atomy dusíku a atom kyslíku). Využití najdou, díky chybějícím

elektronům ve své struktuře, především v elektronové transportní vrstvě ETL v OLED.¹

3.1.2 Konjugované polymery

Konjugované polymery díky svým vlastnostem nalézají využití v mnoha oblastech, nejen v elektronice. Uplatňují se jako elektrody, transparentní vrstvy, jako polovodičové vrstvy v OFET a PLED nebo jako fotosenzitivní vrstvy ve fotovoltaických člancích. Výhodou konjugovaných polymerů je, že na rozdíl od molekulárních látek můžeme při výrobě rozhodnout o typu charakteristické vodivosti. A to prostřednictvím chemických dotací při oxidaci či redukcí. Oxidací docílíme vodivosti typu P a redukcí zase typu N.¹

Mobilita nosičů náboje v organických polymerech je však stále o řád nižší než u malých molekul. Je to způsobeno především díky nižší pravidelnosti v jejich struktuře, která byla vytvořena během výroby.⁴

Konjugovaný polymer	Stabilní fáze	Syntetizační metoda	Rozpustnost	Forma použití	Příklad použití
Polyacetylen	Nestabilní	Chemická polymerizace	Ne	Film	Studie vzniku přenosu náboje v polymerech.
Polypyrrol	Vodivost typu P	Elektrochemická polymerizace	Ne	Film	Vodivé polymerové filmy, elektrody.
Polyanilin	Vodivost typu P	Elektrochemická polymerizace	Ano	Prášek	Elektrody, mikrovlnný absorbční materiál, anti-statický materiál.
PEDOT	Vodivost typu P	Chemická polymerizace	Ano	Prášek	Transparentní vodivé elektrody, pomocné vrstvy na ITO elektrodách.
Poly-fenylen-vinyl	Neutrální	Chemická polymerizace	Ano	Prášek	Transparentní luminiscenční materiál pro PLED.

Tab. 2: Nejpoužívanější konjugované polymery¹

3.1.2.1 Vodivé polymery

Vodivými polymery nazýváme ty, které prošly procesem chemické dotace. Do této podoby můžeme přeměnit takřka všechny známé polymery, ale pouze několik z nich bude vykazovat

stabilní formu. Pro P dotaci se používají akceptory I_2 , Br_2 nebo AsF_5 . Pro N dotaci jsou používány donory Na nebo $Na^+(C_{10}H_8)^-$.¹

Vodivé polymery charakterizují důležité parametry jako měrná elektrická vodivost, absorpční spektrum, rozpustnost a elektrochemické vlastnosti.

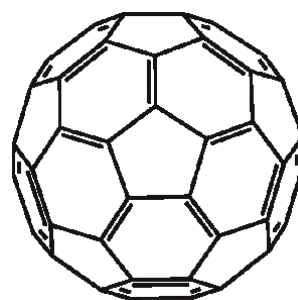
3.1.2.2 Transparentní polymery

Nová generace konjugovaných polymerů umožňuje jejich použití v mnoha optoelektrických zařízeních, jako jsou OLED, fotovoltaické články, senzory a další. Je to především díky jejich optickým a elektrickým vlastnostem. Tyto polymery jde vyrobit rovnou jako polovodiče či vodiče bez nutnosti jejich pozdější chemické úpravy. Případná chemická dotace pouze stabilizuje polymer či změní jeho barvu. Jako příklad slouží oblíbený transparentní polymer poly(3,4-ethyldioxythiofen) (PEDOT), kdy základní žluto-oranžovou barvu můžeme změnit na modrou.¹

3.1.2.3 Uhlíkové nanotrubičky, fulleren C_{60}

Mezi další konjugované materiály patří i uhlíkové nanotrubičky a fulleren C_{60} . Fulleren C_{60} představuje uhlíkovou konjugovanou makromolekulu ve tvaru míče s 12 symetrickými pětiúhelníky a 20 šestiúhelníky. Díky elektronové struktuře se C_{60} chová jako kationt alkenů.

Naproti tomu uhlíkové nanotrubičky můžeme brát jako srolovaný plát grafenu. Grafen se svými vlastnostmi blíží spíše kovům než ostatním organickým polovodičovým materiálům.¹



Obr. 7: Fulleren C_{60} ¹

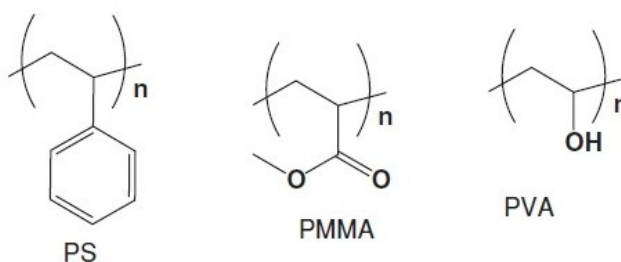
Tyto materiály naleznou využití v schotkyho diodách, polem řízených tranzistorech nebo v displejích. Stejně tak je lze použít i jako fotosenzitivní vrstvu ve fotovoltaických panelech s dosaženou efektivitou konverze až 5,2% pro fulleren C_{60} a 9,3% pro uhlíkové nanotrubičky.¹

3.2 Dielektrické materiály

Výkon organických polovodičů je ovlivňován přenosem nosičů náboje proudících z rozhraní mezi aktivní vrstvou a vrstvou dielektrika. Je proto nutné zvolit vhodný dielektrický materiál, který dokáže příznivě ovlivnit výsledné vlastnosti. Důležité je i použité pracovní napětí, které

přímo závisí na tloušťce a permitivitě dielektrické vrstvy. Zvýšením permitivity materiálů, nebo ztenčením dielektrické vrstvy, dosáhneme zvýšení kapacity C . Není proto nutné použít, tak vysoké napětí.¹

Jako dielektrikum může být využito díky dobrým izolačním vlastnostem velké množství materiálů, jako jsou polyvinylalkohol (PVA), polyvinylfenol (PVP) a polystyren (PS). Izolant jako je polymetaakrylát (PMMA) taktéž zaručuje dobré výsledné vlastnosti polovodiče. Navíc tento polymer obsahuje volné radikály, které mohou vstupovat do přiléhající organické aktivní vrstvy a tím tak pozitivně ovlivňovat pravidelnost v její struktuře.^{1,4}



Obr. 8: Dielektrické materiály - polystyren (PS), Poly(methyl metakrylát) a Polyvinyl alkohol.

4 Použití organických materiálů v elektronice

Oblast použití organických materiálů je poměrně široká. Zahrnuje polovodičové světlo emitující diody na bázi organických molekul (OLED) či na bázi polymerů (PLED, organické fotovoltaické články, lasery, vysoce citlivé senzory, paměťové články nebo organické polem řízené tranzistory. Setkat se lze i čistě s elektricky vodivými organickými látkami. Vzhledem k obecným výhodám výrobků z organických materiálů, jako jsou nízké výrobní náklady nebo vysoká flexibilita, lze očekávat jejich zvyšující se množství v komerčních produktech.

V této kapitole si nejdůležitější aplikace představíme.

4.1 Organické světlo emitující diody (OLED)

V posledních letech, s narůstajícím množstvím vložených prostředků do vývoje a výzkumu, jsou do OLED vkládány velké naděje. Zejména kvůli jejich přednostem, jako jsou nízké náklady na výrobu, flexibilita a nebo možnost použití průhledných materiálů. Na rozdíl od LCD zobrazovačů se jedná o aktivní zdroj světla. Je tak pravděpodobné, že jednou nahradí anorganické LED technologie. ¹

OLED založené na molekulárních látkách patří mezi nejvýznamnější skupiny organických sloučenin. Díky neustálé snaze o vylepšení životnosti a efektivnosti se stále více objevují v komerčních aplikacích, jako jsou mobilní displeje či ploché obrazovky v TV.

První funkční OLED byl zkonstruován v roce 1963 a ke svému provozu potřeboval značně vysoké napětí. Jako materiál byly použity krystaly antracenu dotované tetracenem, které byly umístěné mezi dvě elektrody. ² Velkého skoku ve vývoji pak bylo dosaženo až v 80. letech minulého století, kdy byly vyvinuty nízkonapěťové vícevrstvé OLED. ²

4.1.1 Struktura OLED

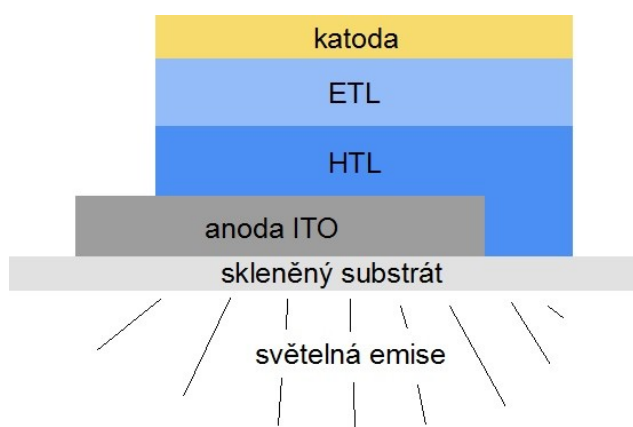
Typická struktura stejnosměrných několikavrstvých OLED zobrazovačů je znázorněna na obrázku 6. Základem je skleněný substrát, na kterém je nanášena transparentní anoda. Použitý materiál anody může být na bázi oxidů india, dotovaného polyanilinu nebo PEDOTu. ²

Na anodě je pak jako tenký film nanášena jedna, nebo i více vrstev z malých organických molekul či polymerových filmů. Použitím více (čtyř až pěti) odpovídajících vrstev docílíme snížení bariéry bránící přechodu děr z anody a tím dosáhneme zlepšení funkce. Empirickými výzkumy bylo zjištěno, že ideální šířka vrstvy by měla být okolo 50nm pro dosažení co nejvyšší efektivnosti a odolnosti. ²

Přitom je použit koncept, kdy každý typ nosiče náboje využívá svojí vrstvu, materiálově uzpůsobenou pro lepší mobilitu daného náboje. Dle typu přenosu rozlišujeme vrstvy HTL (*hole transport layer*), zajišťující přenos děr (a zároveň zabraňující pohybu elektronů), a ETL (*elektron transport layer*), které naopak umožňují přenos elektronů. Celek uzavírá katoda, obvykle tvořená kovem jako je Ca, AL či Mg.²

Pokud tedy máme tenké organické fluorescentní vrstvy uzavřené elektrodami, po přiložení stejnosměrného napětí dojde ke vzniku elektrického pole a k přesunu elektronů a děr z rozhraní elektrod do vnitřních organických vrstev. Zde dochází k rekombinaci doprovázenou excitací energie ve formě světelné emise.¹

Na rozdíl od klasických anorganických polovodičů je elektronová struktura materiálu založena na HOMO / LUMO hladinách každé jednotlivé molekuly v tenkém filmu. Detailněji je princip popsán v kapitole 2.¹



Obr. 9: Typická struktura dvouvrstvého OLED⁴

V procesu rekombinace a přeměny nosičů náboje na fotony nás nejvíce zajímá efektivita této přeměny. Za dobrou lze považovat 40% rekombinaci párů díra-elektron na fotony. Čím více máme transportních vrstev, tím častěji může na jejich rozhraní docházet k rekombinaci nosičů a tím dosáhneme celkové zefektivnění celého procesu.²

K dosažení maximální efektivity OLED je potřeba nastolit rovnováhu mezi rekombinujícími nosiči náboje. V ideálním případě obě elektrody dodávají stejný počet nosičů do elektroluminiscenční vrstvy, kde pak uprostřed rekombinují a emitují tak světlo. V reálných organických materiálech bohužel dochází k rozdílné mobilitě děr a elektronů díky dané struktuře materiálu, a dochází tak k jejich nerovnoměrnému rozložení. V první řadě je tak nutno použít odpovídající materiál pro elektrody, obstarávající vyváženou dodávku nosičů

náboje. Další faktor je šíře vrstvy, přičemž čím tenčí použitá vrstva, tím menší je nutné operační napětí. A poslední klíč k efektivní přeměně elektrické energie na světelnou je použití více organických vrstev. ²

4.1.2 Výrobní proces

Pro výrobu je v současné době možné použít dvě technologie. Použití je dáno druhem zvoleného materiálu, a to jsou buď polymery, anebo malé molekuly. Pro materiály na bázi malých molekul se používá procesu vakuového napařování. Pomocí tohoto postupu lze dosáhnout výroby tenkostěnných mnohvrstevných zařízení, přičemž můžeme zaručit, že každá jednotlivá vrstva bude mít stejnou šířku. Výhodou je, že lze použít stávající zařízení pro zpracování polovodičových anorganických materiálů. ²

Protože plastové polymery vlivem tepla ztrácejí svoje vlastnosti, předchozí technologii vakuového nanášení použít nemůžeme. Vyvinut byl proto proces známý jako rotační nanášení. Základní podmínkou pro jeho použití je možná rozpustnost polymeru. Tloušťku nanesené vrstvy pak právě ovlivňuje koncentrace rozpuštěného polymeru v použité kapalině. Ovšem je obtížné kontrolovat a dosáhnout stejné tloušťky jednotlivých nanesených vrstviček. ²

4.1.3 Degradace a stárnutí

Díky chemickému stárnutí materiálu a jeho následnou degradací se setkáváme s obtížemi při provozování OLED. Známy problém spočívá především v neschopnosti udržet požadovanou světelnou hladinu po delší dobu. Stejně tak může dojít k selhání i při použití při vyšších teplotách (okolo 60-80st. C) či vlivem vnějšího prostředí, kdy pak dochází k rychlé chemické nebo elektrochemické degradaci materiálu. K poškození OLED může dojít i připojením k vyššímu napájecímu napětí. ²

Vady v materiálu mohou vzniknout již při nedokonalé výrobě, kdy se můžeme setkat s nedostatečnou přilnavostí organického materiálu k elektrodám. Nebo mohou vzniknout při výrobě drobné nepravidelnosti v tenkých filmech, a výsledkem mohou být lokální zkraty. ²

4.2 Polymerové světlo emitující diody (PLED)

Samostatnou kapitolou organických LED jsou jednovrstvé zobrazovače na bázi PPV. První pokusy s konjugovanými polymery byly zaznamenány v roce 1977 (dotovaný polyacetylen.) Dalším skokem ve vývoji bylo vyvinutí elektroluminiscenčního konjugovaného polymeru

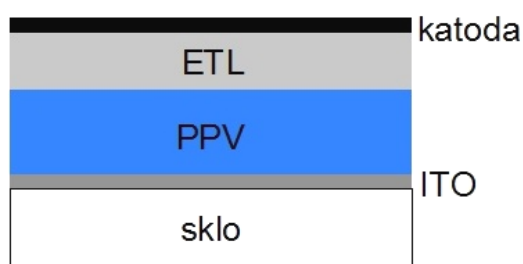
polyfenylenvinylu (PPV). Jeho první použití jako světlo emitující diody bylo uskutečněno v roce 1990. Vzhledem k relativně krátké době je tato oblast stále předmětem usilovného výzkumu. P-LED skýtají velké možnosti pro velkoformátové displeje, fotodetektory nebo lasery.²

4.2.1 Struktura PLED

Jak již bylo řečeno, základní materiál je u PLED konjugovaný polymer. U jednoduchých PLED je tenký film z organického polymeru uzavřen mezi dvě elektrody. Jedna z nich je polo-transparentní (typicky oxid india na skleněném substrátu).² Přiložením elektrického napětí (několik V) na elektrody se z nich začnou uvolňovat nosiče náboje - elektrony a díry. Následný drift těchto nosičů do rekombinační zóny je řízen působením přiloženého elektrického pole.²

Jako nosiče náboje zde slouží kvazi částice polarony, avšak pro zjednodušení se užívají výrazy „elektron“ a „díra“, známé z ostatních polovodičů. K rekombinaci pak dochází přímo na molekule, na které se setkají obě tyto kvazi částice.¹

Elektrony a díry poté vzájemně rekombinují uprostřed polymerové vrstvy v excitonové formě. Během fáze sestavení excitonu vzniká světelná emise. Ta se díky průhledné elektrodě šíří dále do okolí. Barva světla pak závisí na velikosti mezery mezi valenčním a vodivostním (resp. HOMO-LUMO hladinou) pásem zvoleného polymeru. Tato mezera závisí na použitém materiálu a lze ji měnit a ovlivnit různou chemickou dotací polymeru.¹



Obr. 10: Typická struktura PLED⁴

Protože na rozdíl od anorganických polovodičů je samotná vlastní vodivost polymerů slabá, transport nosičů při přiloženém napětí obstarává tzv. mechanismus přeskočení. Tento přeskok funguje dobře mezi jednotlivými články jednoho řetězce, ale hůře mezi jednotlivými sousedními řetězci. Je proto nutné použít 1-D polymerový systém.¹

4.2.2 Výroba PLED

Při výrobě je se používá technologie známá jako rotační nanášení. Kapalina, nejčastěji to bývá metanol, obsahující rozpuštěný polymer je postupně nanášena na substrát. Následným ohřátím při teplotách kolem 220st. C dojde k odpaření kapaliny a na substrátu zůstane pouze polymer v pevném skupenství. Pro vylepšení elektrických vlastností lze do kapaliny rozpustit doplňkové nekonjugované polymery či monomery.²

4.3 Organické polovodičové lasery

Organické lasery patří mezi speciální typy organických LED. Dokáží vygenerovat vysoce směrový monochromatický paprsek světla. Vlnovou délku ovlivníme zvoleným materiálem, přičemž dokážeme pokrýt celé viditelné spektrum.⁴ Při jejich výrobě opět můžeme využít nízkonákladových metod, tím se z nich stává zajímavá alternativa v optických sensorových systémech ve zdravotnictví nebo při ochraně osob a majetku. Také je možná jejich integrace přímo do elektronických obvodů, což oproti klasickým laserům znamená značnou flexibilitu.⁴

4.3.1 Struktura organických laserů

Organický laser je obvykle tvořen dvěma elektrodami, mezi nimiž je vložena deska organického vlnovodu - rezonátoru, do kterého jsou přenášeny nosiče náboje z elektrod. K zamezení optických ztrát je nutno použít masivnější organickou vrstvu (obvykle jde o rozmezí 130-400nm). To má však za následek nutnost použití většího operačního napětí.⁴

Princip laseru spočívá ve vygenerování množství identických fotonů o stejné vlnové délce a fázovému natočení. Díky spojení těchto shodných fotonů dojde k velkému světelnému zesílení. Tato stimulovaná emise proběhne pouze při existenci většího množství elektronů ve vodivostním (HOMO) pásu.¹

Po dopadu fotonu na pár díra-elektron dojde k vytvoření nového identického fotonu. Je proto nutné, aby větší část fotonů zůstala uvnitř laserové diody a ven ve formě laserového paprsku unikla pouze menší část. K tomuto zpětnému odražení slouží optické rezonátory.¹



Obr. 11: Struktura organického polovodičového laseru s optickým rezonátorem⁴

4.4 Organické fotovoltaické články

Solární energie patří mezi nejvýznamnější obnovitelné zdroje energie. S blížícím se koncem zásob surovin pro tradiční zdroje energie je otázka obnovitelnosti stále důležitější. Slunce, jako největší zdroj energie v okolí Země, nám svým dopadajícím elektromagnetickým zářením poskytuje zhruba 1366W/m^2 . Tuto energii lze využít mnoha způsoby, jako je přímý ohřev vody, osvětlení v objektech nebo její přeměny na elektrickou energii.¹

První pokusy o tuto přeměnu byly uskutečněny v 50. letech minulého století. Kdy byly vytvořeny první fotosenzitivní články z tradičních polovodičových materiálů, jako jsou Ga, As, Si apod. Avšak až do nedávné doby vysoká výrobní ceny bránila masivnějšímu použití. A právě prudký rozvoj organické elektrotechnologie v posledních letech nám přináší možnost využít levné fotovoltaické články (PV), a masivněji tak zužitkovat sluneční energii.¹

4.4.1 Struktura organických PV článků

Organický PV článek sestává z organické nebo polymerové vrstvy vložené mezi jednu transparentní a jednu kovovou elektrodu.¹

Funkce PV článků je zajištěna na obdobném principu jako u organických světlo emitujících diod, avšak jednotlivé kroky jdou v opačném pořadí. Nejprve je dopadající foton zachycen na povrchu článku, a vede tak ke vzniku excitonu na jedné z organických molekul. Následuje difuze tohoto excitonu, rozdělení excitonu na jednotlivé nosiče náboje a rozptylu těchto nosičů směrem k anodě či katodě v závislosti na jejich polaritě. V tomto okamžiku vznikne uvnitř materiálu náboj, který můžeme odebrat připojením elektrod.¹

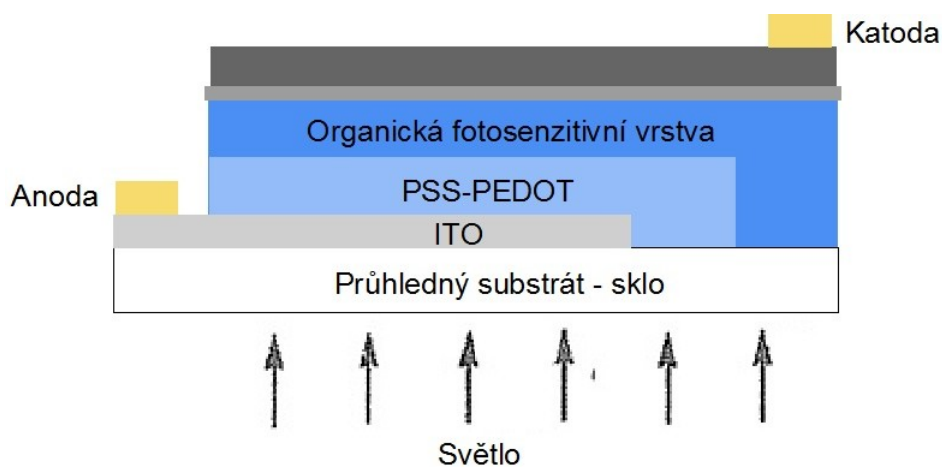
Na rozdíl od anorganických PV článků je však schopnost organických PV zachycovat fotony mnohem slabší. Dále, protože exciton je vázán mnohem většími silami než klasický pár elektron-díra, je k jeho rozložení potřeba mnohem větší energie. A nakonec životnost excitonu během difuze je pouze několik piko-sekund, což k velkému uvolnění nosičů náboje nestačí. Z těchto důvodů je proto zřejmé, že výsledný fotovoltaický efekt bude mnohem menší než u klasických PV článků a je nutné přizpůsobení organických materiálů.^{1, 10}

4.4.2 Optimalizace organických materiálů pro použití v PV člancích

V první řadě je nutno minimalizovat počet nezachycených dopadajících fotonů. K zachycení se tak používá vždy několik propojených PV buněk, přičemž každá je přizpůsobena k zachycení jiné části slunečního spektra (rozsah UV-IR).¹

Dále je možno vhodnou dotací materiálu vytvořit rozdíl (offset) mezi HOMO-LUMO

hladinami donorů a akceptorů. Tímto ofsetem se pak dá řídit délka difuze excitonů a tím můžeme ovlivnit a vylepšit výsledný PV efekt.¹



Obr. 12: Struktura organického PV článku¹

4.4.3 Organické fotodetektory

Na podobném principu jako PV články fungují i optické detektory. Optické detektory patří mezi význačné vynálezy moderní doby. Hrají důležitou roli v komunikačních technologiích, detekci pohybu, při chemické analýze a dalších.

Světlo přitom můžeme využít buď k přenosu samotné informace a tuto informaci pak detektorem zachytit. Nebo můžeme také porovnávat jednotlivé parametry světla a ty poté po zachycení detektorem vyhodnotit. V průmyslu pak foto-detekce hraje důležitou roli při kontrole výrobních procesů, jako je například správné osazení součástek.⁴

Většina organických fotodetektorů funguje na principu fotodiody, podobně jako PV články. Avšak s mnohem většími nároky na spektrální charakteristiku, šum nebo doby odezvy.⁴

4.5 Organické plem řízené tranzistory (OFET)

Další rozsáhlou skupinou využívající organické materiály jsou plem řízené tranzistory. Původní idea použít elektrické pole k řízení tranzistoru byla dále rozvinuta v 60. letech 20. století. První takovýto tranzistor, konkrétně MOSFET (metal-oxide-semiconductor), byl sestaven v roce 1964. Řízení plem v tranzistorech na organické bázi se prvně použilo až na sklonku let 80.¹¹

Princip FET spočívá v naindukování nosičů náboje ve vodivém kanále mezi katodou (source) a anodou (drain) pomocí elektrického pole. Kanál je na rozdíl od anorganických tranzistorů

tvořen majoritními nosiči. Elektrické pole je pak vyvolané přiloženým napětím U_G na třetí elektrodě (gate). Změnou U_G řídíme šířku vodivého kanálu a tím počet nosičů v něm. Na rozdíl od diody se tak jedná o 2D systém, kdy se vzájemně ovlivňují dvě současně působící napětí (U_D a U_G).¹¹

Pro správnou funkci je nutné, aby elektrické pole vytvořené napětím U_G bylo mnohem vyšší než pole vytvořené kolem elektrod S a D. Zároveň je nutné, aby nosiče ve vodivém kanálu dosahovaly v celém jeho objemu stejné mobility. Avšak u organických materiálů je dosažení této rovnoměrné mobility kvůli nejrůznějším defektům a nerovnoměrnosti struktury velice obtížné. Velikost U_G při kterém se začnou pohybovat náboje v kanálu, označujeme jako prahové napětí.¹¹

4.5.1 Struktura OFET

Tenkovrstvý organický tranzistor se skládá ze tří částí podobně jako klasické MOSFETy. Z vrstvy organického polovodiče obklopující dvě elektrody S a D. Dále je elektroda G umístěna na substrátu a oddělena dielektrikem od organické vrstvy. Organická polovodičová vrstva je obvykle tvořena p-typem organického polovodiče, jako je třeba pentacen. Používá se především kvůli lepšímu přenosu nosičů náboje. Dle umístění elektrod S a D rozlišujeme jejich rozestavení jako bottom-contact a top-contact.¹¹



Obr. 13: Typické konfigurace OFET tranzistoru - top-contact, bottom contact¹

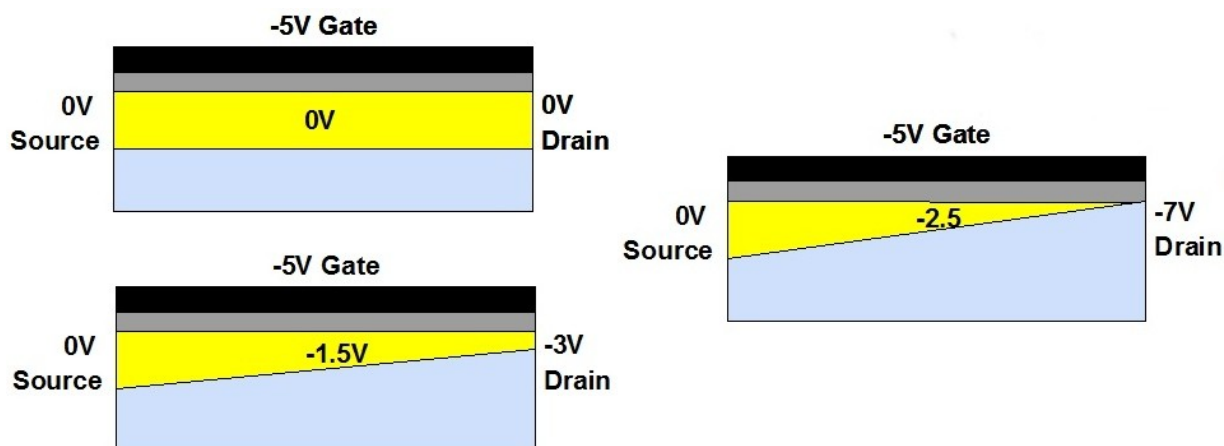
V případě přiložení záporného napětí na G dojde k přitažení nosičů náboje (díry) k rozhraní dielektrika-polovodiče, kde se zkoncentrují a vytvoří tak vodivý kanál. Přiložením záporného napětí na drain se poté nosiče začnou pohybovat v kanálu, a to ve směru od source k drain.¹¹ Důležitý parametr pro provozování OFET tranzistorů je mobilita nosičů pod přiloženým elektrickým polem. Tuto mobilitu výrazně mění rostoucí teplota (od ideální-pokojevé).¹¹

4.5.2 Pracovní režimy

Pokud je absolutní velikost napětí U_{DS} mnohem menší než U_G , říkáme, že tranzistor pracuje

v lineárním režimu. Je důležitý pro pochopení závislosti proudu mezi S a D na napětí U_{GS} . Velikost tohoto proudu závisí na množství nosičů náboje v kanálu, které zde byly nahromaděny a vytvořily tak náboj Q , a na rozměrech (šířka - W a délka - L).¹¹

Naopak při zavedení konstantního napětí U_G a U_S pak můžeme změnou napětí U_D tranzistor, resp. jeho vodivý kanál ovládat. Tomuto režimu říkáme nelineární.¹¹



Obr. 14: Pracovní režimy OFET: Nahoře lineární režim, uprostřed – OFF, dole – sepnuto¹¹

4.6 Organické senzory na bázi OFET

Senzory na bázi OFET fungují na myšlence využít snímanou veličinu ke zpětnému ovlivnění procházejícího proudu ve vodivém kanálu tranzistoru. A to při zachování konstantního napětí přivedeného na elektrodách source a drain. Změnou procházejícího proudu tak můžeme zjistit sledovanou veličinu.

Běžný OFET tranzistor nelze použít a je nutno ho přizpůsobit specifické sledované veličině. Jako detektor chemických látek, mechanismus detekce spočívá v ovlivnění pohybu nosiče náboje sledovanou chemikálií. Naopak při sledování fyzikálních veličin jako je tlak nebo tah, pak změna probíhá skrze fyzickou změnu šíře vodivého kanálu jedné z vrstev.⁴

4.6.1 Detektory tahu a tlaku

Díky vysoké flexibilitě organických materiálů se jejich použití v těchto senzorech zdá být velice vhodné. První tlakový senzor vyrobený z plastických hmot byl realizován v roce 2003 pány Somyeu a Sakuraiem.⁴

Základ tvoří tenký film polyamidu o tloušťce 50 μ m s měděnou elektrodou jako gate. Následuje polovodičová vrstva na bázi pentacenu taktéž o tloušťce 50nm nanesená na

substrát za pokojové teploty. Navrch přijdou zlaté elektrody source a drain. Celý tranzistor je pak obklopen vrstvou vodivé na tlak reagující gumy vložené mezi tenké napájecí vodiče. Mnoho těchto senzorů je rovnoměrně rozprostřeno v prostoru a společně tvoří tlakově citlivou matici. Umožňuje zaregistrovat tlaky okolo desítek kPa. ⁴

Další vývoj přinesl senzory na bázi OFET bez použití substrátu, který je problematickou částí. Působením měřeného tlaku totiž může dojít k jeho nevratnému poškození. Vývoj těchto senzorů je zatím v počátcích.

Základní struktura obsahuje vrstvu pentacenu s připojenými zlatými elektrodami source a drain ve formátu bottom-contact. Tenká PET fólie je použita jako gate izolant a zároveň jako mechanický podklad celého senzoru. Senzor ohraničuje plastový rám, na kterém je připevněna membrána. ⁴

4.7 Organická elektronika v pamětech

Netočivá paměťová média na bázi polovodičů, sloužící k uchování informací, nachází v současné době velké využití ve spotřební elektronice, jako jsou mobilní telefony, digitální kamery nebo jako náhrada za HDD v počítačích.

S rostoucím trendem využití organické elektroniky v těchto přístrojích je na pořadu dne úvaha o její využití i v oblasti paměťových médií. V současné době se tak můžeme setkat s dvěma konkrétními paměťovými strukturami, a to EFET a FeFET.

4.7.1 EFET

Jednou ze skupin polem řízených tranzistorů jsou i EFETy. Jde o variantu FET tranzistoru s elektrolytem umístěným u elektrody gate jako dielektrikum. Elektrické pole kolem nabitěho elektrolytu pak nahrazuje vodivý kanál mezi elektrodami *source* a *drain*. Po přivedení napětí na gate (~80V) dojde k nabití elektrolytu. Závěrným napětím pak lze elektrolytovou vrstvu vybit a buňku tak zresetovat. ⁴

Použití technologie tenkých filmů pro výrobu elektrolytu umožňuje dosáhnout zmenšení na úroveň křemíkových pamětí, avšak operační napětí nutné k provozu je pro praktické využití stále příliš vysoké. ⁴

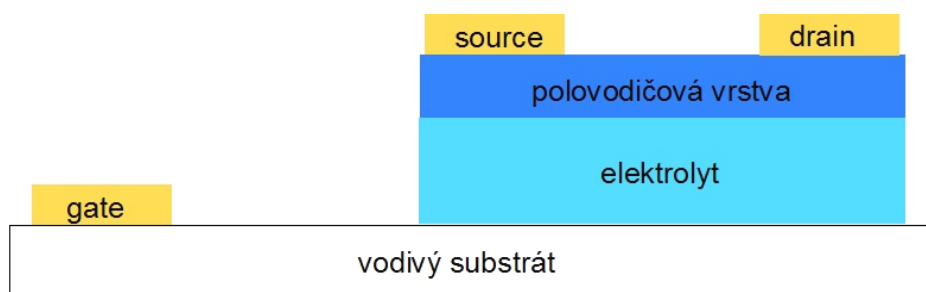
4.7.2 FeFET

U FeFET je analogicky jako u EFET pro dielektrikum použita vrstva ferroelektrického izolantu. Paměťový efekt zde tvoří hystereze polarizace ferroelektrického kondenzátoru, která

ovlivňuje hustotu nosičů náboje v kanále v bistabilním organickém polovodiči. Schopnost udržet náboj je až 1 týden. Avšak nevýhodou je poměrně pomalá rychlost změny stavu.⁴

Aktivní vrstva se obvykle skládá z tenké vrstvičky konjugovaného polymeru dotýkající se na jedné straně kovových nanočástic. Obvykle jde o mikroskopické částice o velikosti několika nano m na bázi zlata získaného z roztoku AuCl_4 . Tato nanočástice má specifickou strukturu, kdy náboj je uvnitř zachycen ve vodivém jádře, zatímco izolant, tvořící obal jádra, zabraňuje vstupu dalšího náboje do jádra.¹

Typickou strukturou je polystyrenový film (tloušťka~50nm) vložený mezi dvě zlaté elektrody. Film je obvykle vyroben pomocí technologie rotačního nanášení za pomoci 8-hydroxid-quinolinu.⁴



Obr. 15: Typická struktura organických pamětí⁴

Díky této technologii může být operační napětí $\sim 1\text{V}$. Pracovní režim pak osciluje mezi vysoce vodivým stavem a nevodivým stavem, přičemž je tato změna řízena velikostí přivedeného napětí mezi zlatými elektrodami a gate. Přivedeným záporným napěťovým pulsem dojde k přechodu k nevodivému stavu, a tedy k zapsání informace logické „0“ nebo analogicky k zapsání logické „1“ při pulzu kladném. Délka pulzu je přibližně 25ns při $U=5\text{V}$. Toto přepínání mezi dvěma polohami lze u podobných bistabilních obvodů provádět často.¹

Spojováním těchto paměťových buněk do rozsáhlého pole lze docílit i poměrně vysoké dosažené kapacity. Přičemž díky jednoduché struktuře každé jednotlivé buňky může být dosaženo značné hustoty zápisu informace.⁴

4.8 Organická vodivá vlákna

Vodivá vlákna na organické bázi jsou hojně využívána pro svoje vlastnosti ve vysoce sofistikovaných materiálech v letectví, v přepravě nebo v armádě. Látky vhodné pro toto

použití musí dosahovat vysoké elektrické vodivosti, což splňují konjugované polymery a také některé formy uhlíku, jako jsou grafity.¹²

Elektrická vodivost u karbonových vláken dosahuje úrovně kovů (10^4 – 10^6 S/cm.) Specifické vlastnosti grafitu jako je vysoká pevnost, odolnost, nízká váha a další, však oproti kovovým vláknům a vodičům přináší mnohé výhody.¹

Konjugované polymery také díky své elektronové konfiguraci relativně dobře vedou elektrický proud. Řádově je to však mnohem méně než u grafitu (pro PEDOT 150–250 S/cm), zároveň mají poměrně slabé mechanické vlastnosti, proto se mnoho nevyužívají.¹²

Určitý kompromis přináší organické kompozity, kdy se k původně elektricky nevodivému polymeru, jako je PS nebo PE, přidávají kovové nebo grafitové prvky pro zajištění elektrické vodivosti. Využívá se většinou rotačního nanášení, vakuového napařování nebo tiskových metod, a to v závislosti na požadovaných mechanických parametrech.¹²

4.8.1 E-textilie

S rostoucím počtem inteligentních zařízení a s jejich pokračující miniaturizací vyvstala potřeba je integrovat do co nejvíce předmětů. Inteligentní přístroje jako jsou senzory, komunikační zařízení nebo datové úložiště integrované například do oděvů tak přináší další uspokojení lidských potřeb. Ve zdravotnictví pak naleznou místo integrované senzory srdečního rytmu a další snímače lidského těla, které integrovány do oblečení nijak nebrání lidské činnosti. Senzory obvykle využívají piezo efekt, kdy je tlakem na senzor ovlivňován vodivý kanál v integrovaném tranzistoru, a následně tím dojde ke změně sledovaných hodnot.

V poslední řadě je pak třeba zmínit i integrovanou antistatickou ochranu například do obuvi, a tím zabránění poškození náchylných výrobků při manipulaci.¹²



Obr. 16: Integrovaný snímač srdečního tepu do oblečení. © 2008 Textronics

Závěr

Cílem této práce bylo stručně přiblížit historii a základní principy a mechanismy elektricky vodivých organických sloučenin a zabývat se jejich praktickým využitím.

Vývoj materiálů na bázi organických sloučenin je v současné době velice rychle se rozvíjejícím odvětvím s velkým množstvím aplikací a s vysokým komerčním potenciálem. Současný výzkum v této oblasti je založen na rozsáhlé spolupráci chemického průmyslu, teoretické fyziky a výrobců spotřební elektroniky.

V organické elektronice je vývoj cílený především na zlepšení přenosu náboje a snížení potřebného provozního napětí, a to především při použití v prostředích s běžnou pokojovou teplotou.

Oblast použití organických materiálů je dnes poměrně široká a život bez produktů na jejich bázi bychom si při současném stylu asi jen stěží dokázali představit. Polovodičové světlo emitující diody OLED pro mobilní telefony, ploché TV, lasery nebo fotodetektory, dále pak fotovoltaické články, senzory či organické polem řízené tranzistory a řada dalších, to vše je jen základní výčet možné aplikace těchto materiálů.

V dnešní době, kdy svět prahne po snižování energií všeho druhu, hrají obnovitelné zdroje velkou roli. Jedním z klíčových, možná vůbec nejdůležitějších zdrojů, je sluneční energie a s ní související možnosti využití slunečního záření pro vytápění objektů, ohřev teplé vody, osvětlení a především pro výrobu elektrické energie. A i zde jsou to organické sloučeniny, které mají nezanedbatelný význam. První pokusy využití solární energie se datují do 50. let minulého století a od té doby došlo v této oblasti k významným pokrokům, vývoji různých typů článků a také ke snížení finanční náročnosti těchto technologií, a tedy možnost jejich masivnějšího rozšíření a využití. Vývoj jistě bude pokračovat i nadále, v případě fotovoltaických článků na bázi organických sloučenin je především ještě potřeba zlepšit efektivitu konverze dopadající světelné energie na elektrický proud, aby se dokázaly svou účinností vyrovnat klasickým anorganickým PV článkům.

Další významnou úlohu mají i senzory a optické detektory, které patří mezi význačné vynálezy moderní doby. Hrají důležitou roli v komunikačních technologiích, detekci pohybu, při chemické analýze, kontrole výrobních a jiných procesů.

Především však lze díky organickým materiálům sestrojít výrobky zcela nové, plně využívající flexibilitu, které pomocí klasických křemíkových polovodičů ani není možné vyrobit. Zároveň lze pro jejich výrobu s výhodou využít levné technologie, jako je litografický tisk. Vzhledem k obecným výhodám výrobků z organických materiálů, jako jsou

nízké výrobní náklady nebo vysoká flexibilita, lze očekávat jejich zvyšující se zastoupení v komerčních produktech. Stěžejní úkol u organických materiálů je pro rozumné komerční využití vývoj takových materiálů, u kterých nedojde k rychlé degradaci během krátké doby.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SUN, Sam-Shajing a Larry R DALTON. *Introduction to organic electronic and optoelectronic materials and devices*. Boca Raton: CRC Press, 2008. ISBN 08-493-9284-5.
- [2] SHINAR, Joseph. *Organic light-emitting devices: a survey*. New York: Springer, 2004. ISBN 03-879-5343-4.
- [3] WADE, L a Chang-Sik HA. *Organic chemistry. 7th ed.* Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2010. ISBN 03-215-9231-X.
- [4] SHINAR, Ruth a Joseph SHINAR. *Organic electronics in sensors and biotechnology. 7th ed.* New York: McGraw-Hill, 2009. ISBN 00-715-9675-5.
- [5] AGRANOVICH, V. M a Joseph SHINAR. *Electronic excitations in organic based nanostructures*. Amsterdam: Elsevier Acad. Press, 2003. ISBN 01-253-3031-6.
- [6] GRUNDMANN, Marius a Joseph SHINAR. *The physics of semiconductors: an introduction including nanophysics and applications*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-364-2138-836.
- [7] SHINAR, Ruth a Joseph SHINAR. *Organic electronics in sensors and biotechnology*. New York: McGraw-Hill, 2009. ISBN 00-715-9675-5
- [8] *Nobel Prize Laureates: Heeger*. [online][cit. 2013-01-16]. Dostupné z: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/heeger-lecture.pdf
- [9] STEJSKAL, Jaroslav. *Polyanilin: vodivý polymer*. [online][cit. 2013-01-21]. Dostupné z: <http://archiv.otevrenaveda.cz/users/Image/default/C1Kurzy/NH2006pdf/16.pdf>
- [10] BALDO, Marc. *The Electronic And Optical Properties Of Amorphous Organic Semiconductors*, PRINCETON UNIVERSITY. [online][cit. 2013-01-21]. Dostupné z: <http://softsemi.mit.edu/teaching/thesis.pdf>
- [11] BAO, Zhenan a Jason John LOCKLIN. *Organic field-effect transistors*. Boca Raton: CRC Press, 2007. ISBN 08-493-8080-4.
- [12] BASHIR, Tariq. *Conjugated Polymer-based Conductive Fibers for Smart Textile* CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2013, ISBN 978-91-7385-814-4 [online][cit. 2013-06-01]. Dostupné z: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/173652/173652.pdf>