

САДРЖАЈ:

i ПРЕДГОВОР

1 ГЛАВА 1: УВОД

- 1 ОТКТИЋЕ ПРОВОДЉИВОСТИ ПОЛИАЦЕТИЛЕНА
- 3 МОЛЕКУЛСКА СТРУКТУРА И ПРОВОДЉИВОСТ ПОЛИАЦЕТИЛЕНА
- 7 ПРИРОДА ПРЕНОСИОЦА НАЕЛЕКТРИСАЊА У ПОЛИАЦЕТИЛЕНУ

10 ГЛАВА 2: СВОЈСТВА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

- 10 ПРОВОДЉИВОСТ ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА
- 12 КОНЦЕПТ ДОПОВАЊА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА
- 15 ОБЈАШЊЕЊЕ ПРОВОДЉИВОСТИ
- 17 ПОИАНИЛИН
- 20 ПОЛИПИРОЛ
- 23 ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА АКТИВНОСТ
- 27 ОПТИЧКА АКТИВНОСТ

29 ГЛАВА 3: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ТЕХНИКЕ ИЗУЧАВАЊА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

- 30 ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ТЕХНИКЕ
- 30 ЦИКЛИЧНА ВОЛТАМЕТРИЈА
- 35 ХРОНОПОТЕНЦИОМЕТРИЈА
- 38 СПЕКТРОСКОПИЈА ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ИМПЕДАНЦИЈЕ
- 43 НЕЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ТЕХНИКЕ
- 43 СКЕНИРАЈУЋЕ МИКРОСКОПИЈЕ
- 47 СПЕКТРОСКОПСКЕ ТЕХНИКЕ
- 50 КВАРЦ КРИСТАЛ МИКРОГРАВИМЕТРИЈА

52 ГЛАВА 4: ХЕМИЈСКА СИНТЕЗА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

- 52 КЛАСИФИКАЦИЈА РЕАКЦИЈА ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
- 53 СТУПЊЕВИТЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
- 54 ЛАНЧАНЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
- 56 НАЧИНИ ИЗВОЂЕЊА ХЕМИЈСКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
- 57 СТРАТЕГИЈА ХЕМИЈСКЕ СИНТЕЗЕ ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

59	ХЕМИЈСКА СИНТЕЗА ПОЛИАНИЛИНА
62	МЕХАНИЗАМ ХЕМИЈСКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ АНИЛИНА
63	УТИЦАЈ РАЗЛИЧИТИХ ПАРАМЕТАРА НА ХЕМИЈСКУ ПОЛИМАЕРИЗАЦИЈУ АНИЛИНА
63	ИНИЦИЈАТОРИ - ОКСИДАЦИОНА СРЕДСТВА
64	ТЕМПЕРАТУРА
65	РАКЦИОНА СМЕША
66	НАЧИНИ ИЗВОЂЕЊА ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
67	АЛТЕРНАТИВНИ ПОСТУПЦИ СИНТЕЗЕ ПОЛИАНИЛИНА
69	ХЕМИЈСКА СИНТЕЗА ПОЛИПИРОЛА
69	МЕХАНИЗАМ ХЕМИЈСКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ ПИРОЛА
71	УТИЦАЈ РАЗЛИЧИТИХ ПАРАМЕТАРА НА ХЕМИЈСКУ ПОЛИМАЕРИЗАЦИЈУ ПИРОЛА
73	ТЕМПЕРАТУРА
73	РЕАКЦИОНА СМЕША
74	НАЧИНИ ИЗВОЂЕЊА ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
72	АЛТЕРНАТИВНИ ПОСТУПЦИ СИНТЕЗЕ ПОЛИПИРОЛА

76 ГЛАВА 5: ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

77	СЛОЖЕНОСТ МЕХАНИЗМА ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
78	ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКУ СИНТЕЗУ ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА
79	МАТЕРИЈАЛ ЕЛЕКТРОДЕ
79	ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ТЕХНИКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ
81	ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ЂЕЛИЈЕ
84	ЕЛЕКТРОЛИТ
85	ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА ПОЛИМЕРИЗАЦИЈА АНИЛИНА
85	МЕХАНИЗАМ ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ АНИЛИНА
87	ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКУ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈУ АНИЛИНА
87	МАТЕРИЈАЛ ЕЛЕКТРОДЕ
89	ЕЛЕКТРОЛИТ
91	ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА ПОЛИПИРОЛА
91	МЕХАНИЗАМ ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ ПИРОЛА
93	ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКУ ПОЛИМЕРИЗАЦИЈУ ПИРОЛА
93	МАТЕРИЈАЛ ЕЛЕКТРОДЕ
95	ЕЛЕКТРОЛИТ

97 6. ГЛАВА: ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

98	ПРИМЕНА У ЕЛЕКТРОНИЦИ
98	ПОЛИМЕРНЕ СВЕТЛОСНО ЕМИТУЈУЋЕ ДИОДЕ
100	СОЛАРНЕ ЂЕЛИЈЕ

- 101 ПРИМЕНА У ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКИМ ИЗВОРИМА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ
- 106 ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКИ КОНДЕНЗАТОРИ
- 107 ПРИМЕНА У АНАЛИТИЦИ
- 108 ГАСНИ СЕНЗОРИ
- 109 ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКИ СЕНЗОРИ
- 110 ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКИ БИОСЕНЗОРИ
- 112 ОПТИЧКИ СЕНЗОРИ
- 113 ПРИМЕНА У ЗАШТИТИ МЕТАЛА ОД КОРОЗИЈЕ

118 ЛИТЕРАТУРА

131 ИНДЕКС АУТОРА

132 ИНДЕКС ПОЈМОВА

ПРЕДГОВОР

Термином електропроводни полимери обухваћена је велика група полимера, чија се класификација базира на природи преносиоца наелектрисања на: електропроводне полимере са јонском проводљивошћу, тзв. полиелектролите и електропроводне полимере са електронским типом проводљивости. У полимере са електронским типом проводљивости сврставају се једињења чија је проводљивост последица специфичности молекулске структуре, али су, не ретко овим именом обухваћени и електропроводни полимерни композити, тзв. електропроводна пластика, који предствљају смеше електропроводних пуниоца са термопластичним или термореактивним полимерима. У тексту који следи, биће речи искључиво о електропроводним полимерима који своју електричну проводљивост дугују специфичној грађи молекула, а који се обично називају синтетичким металима.

Захвалница

Захваљујем се професору Слободану Јовановићу, пиониру ове области код нас, који ме је, од самог почетка рада на овом тексту, често указивавши на критичне делове, усмеравао и помогао да га уобличим и учиним разумљивијим. Професору Бранимиру Гргуру који ме је, поред исцрпног рецензирања, свих ових година несебично учио и усмеравао у раду. Јасмини Стевановић, научном саветнику, захваљујем на дугогодишњој подршци и сарадњи, корисним коментарима и сугестијама. Колеги Бранимиру Југовићу, дугујем захвалност што ми је, током свих фаза писања овог текста, помагао и утицао на избор грађе појединих поглавља.

Монографија, *Електропроводни полимери*, је резултат мог интересовања за област електропроводних полимера којом се бавим последњих година у оквиру пројекта основних истраживања, *Електрохемијска синтеза и карактеризација наноструктурних функционалних материјала за примену у новим технологијама, ОИ 172046*, финансираног од стране Министарства просвете науке и технолошког развоја републике Србије.

Милица Гвозденовић

ГЛАВА 1: УВОД

Органски полимери се сврставају у најбоље изолаторе, имајући у виду да се њихова електрична проводљивост креће у опсегу од 10^{-12} до $10^{-22} \text{ S m}^{-1}$ [1]. На овом својству базирана је њихова, веома заступљена, практична примена у електроници и електротехници. Поред изолаторских својства, органски полимери поседују малу густину, добру корозиону постојаност и лаку обрадивост.

Традиционално схватање о полимерима као одличним изолаторима измењено је 70-тих година прошлог века када је синтетизован полацетилен са електричном проводљивошћу од $3 \cdot 10^3 \text{ S m}^{-1}$. Чињеница да је могуће синтетизовати органски полимерни материјал са проводивошћу блиској металној не само да је указала на ново својство органских полимерних материјала, него је и успоставила потпуно ново интердисциплинарно научно поље тзв. „синтетичких метала“. Како је полиацетилен први откривени електропроводни полимер, текст који следи биће посвећен открићу проводљивости полиацетилена, мада се он у извесној мери разликује од касније синтетизованих и комерцијализованих електропроводних полимера.

ОТКТИЋЕ ПРОВОДЉИВОСТИ ПОЛИАЦЕТИЛЕНА

Прво откриће полимерног материјала са особинама метала датира од 70-их година прошлог века, када је откривено да је политијазил (полисулфонитрид), $(\text{SN})_n$ супер проводан на екстремно ниским температурама [2,3]. И ако је овај полимер био чист неметални неоргански полимер, без присуства атома метала, његове особине мотивисале су научнике за проналажење органских полимерних

једињења сличних својстава. Полиацетилен је био први полимер који је лансирао ново научно поље електропроводних полимера.

Ната (Natta) и сарадници су још 1958. године синтетизовали полиацетилен полимеризацијом ацетилена у хексану коришћењем $\text{Et}_3\text{Al}/\text{Ti}(\text{OPr})_4$ (3-етил алуминијум/титан изопропоксида), као катализатора. Резултујући материјал био је нестабилан и нерастворан, веома кристалиничне и регуларне структуре. Ширакава (Shirakawa) и сарадници су 1974. године унапредили су овај поступак да би добили добро дефинисане филмове полиацетилена [4]. Установили су да је полимеризацију могуће остварити на површини концентрованог раствора катализаторског система у инертном растварачу. Поступак се састојао у додавању Et_3Al , а потом $\text{Ti}(\text{OBu})_4$ (титан изобутоксид) у малу количину толуена у инертној атмосфери. Раствор је потом остављен да стоји на температури од $20\text{ }^\circ\text{C}$ у трајању од 45 min, а затим је хлађен до температуре од $-78\text{ }^\circ\text{C}$. После евакуације реакционог суда, пропуштан је гасовити ацетилен који је тренутно реаговао са филмом катализатора већ формираном на зидовима суда. Филм полиацетилена је тренутно формиран, а реакција је контролисана евакуацијом непрореаованог ацетилена. На овај начин добијен је филм бакарне боје који се састојао од 95 % *cis*-изомера. И ако је *cis*-изомер термодинамички стабилнији, било га је могуће конвертовати у сребрнасти транс облик загревањем на $150\text{ }^\circ\text{C}$ у *n*-хексану. Добијени материјали имали су полупроводничке особине, *trans*-изомер је имао већу проводљивост око $4,4 \cdot 10^{-3}\text{ S m}^{-1}$, док је проводљивост *cis*-изомера износила $1,7 \cdot 10^{-7}\text{ S m}^{-1}$ [4].

Нешто касније Ширакава и Икеида (Ikeida) уочавају да излагањем полиацетилена дејству брома или хлора на собној температури у трајању од неколико секунди, долази до драстичног смањења трансмисије у инфрацрвеном спектру (са 4000 на 400 cm^{-1}). Међутим, они нису испитивали уочену појаву [5].

Поучени искуством са модификацијом политиазола $(\text{SN})_n$, Мек Диармид (MacDiarmid) и Хигер (Heeger) желели су да исти третман примене и на полиацетилену. На овај начин добијен је *trans*-полиацетилен модификован јодом, чија је проводљивост износила 3000 S m^{-1} , што је било за невероватних седам редова величине већа вредност у односу на нетретиран полимер [6-9]. Пошто је овај поступак драстично увећао проводљивост, иначе полупроводног

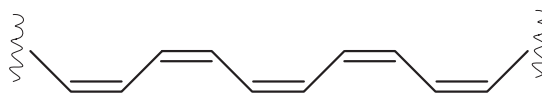
полиацетилена, у складу са полупроводничком терминологијом, назван је доповањем (о чему ће бити речи у даљем тексту) [10].

Даљим експерименталним радом било је могуће контролисати однос *cis/trans* изомера. Закључено је да доповање *cis*-изомера даје још веће вредности проводљивости. Доповањем *cis*-изомера са AsF_5 резултовало је повећањем проводљивости за чак једанаест редова величине [11].

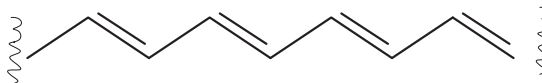
Ова невероватна открића покренула су рад у више лабораторија, развијани су поступци да би се унапредила сама синтеза и добио полиацетилен побољшаних карактеристика. Највећи напредак у смислу побољшања електричних особина полиацетилена постигнут је од стране научног тима у BASF-у. Њихов поступак сличан је Ширакавином, али се одвијао на температури од $150\text{ }^\circ\text{C}$. Доповањем полиацетилена при тим условима постигнуте су проводљивости реда величине од 10^7 S m^{-1} (проводљивост истог реда величине као код бакра) [11].

МОЛЕКУЛСКА СТРУКТУРА И ПРОВОДЉИВОСТ ПОЛИАЦЕТИЛЕНА

Познато је да су особине материјала последица специфичности његове електронске структуре. Кључна особина структуре првог електропроводног полимера, полиацетилена, је присуство коњугованог система двоструких веза, који подразумева наизменично смењивање двоструких и једноструких веза распоређених дуж целог молекула. На слици 1.1. дате су молекулске структуре полиацетилена. Постоје два геометријска изомера полиацетилена, у случају *cis* изомера атоми водоника оријентисани су у истом смеру око фиксираних двоструких веза, док су у случају *trans* изомера оне оријентисане у супротном смеру.



cis – полиацетилен (бакарне боје)



trans – полиацетилен (сребрне боје)

Слика 1.1. Структуре *cis*- и *trans*- полиацетилена.

Свака једнострука веза коњугованог ситета састоји се од локализоване σ везе, док се двострука веза поред σ везе, која је услед већег прекалапања атомских орбитала јача, састоји још и од, због мањег прекалапања, слабије делокализоване π везе. Електрони који припадају π вези, тј. молекулској орбитали, могу се сматрати покретљивим тј. слободно распоређеним дуж полимерног ланаца. Ово практично значи да је постојање коњугованог система двоструких веза предуслов за постојање макроскопске електричне проводљивости полацетилена, односно да би било који ароматични или хетероароматични молекул могао да буде мономерна јединица потенцијално проводног полимера. Нажалост, оваква теоријска предвиђања нису имала експерименталну потврду. Касније је утврђено да је постојање система коњугованих двоструких веза у полимерном ланцу потребан, али не и довољан услов, за макроскопску електричну проводљивост.

У складу са теоријом молекулских орбитала, преклапањем N атомских орбитала, настају N молекулских орбитала, од којих је половина стабилнија (мање енергије), а половина нестабилнија (више енергије), на тај начин преклапањем довољно великог броја атомских орбитала (у чврстом стању тај број је веома велик, типично за метале око 10^{23} у 1 cm^3), настају тзв. електронске траке. Електрони попуњавају енергетске нивое у електронским тракама у складу са Паулијевим (Pauli) принципом искључења. Електронска трака коју заузимају валентни електрони, назива се валентна трака, док је енергетски виша трака у којој нема електрона, тзв. проводна трака. Између ове две траке налази се енергетски процеп који не садржи допуштене енергетске нивое и у коме нема електрона и често се назива забрањена зона. Од попуњености валентне траке и од износа енергије забрањене зоне, зависиће проводљивост чврстог тела.

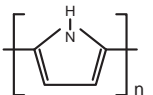
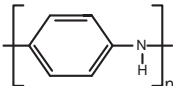
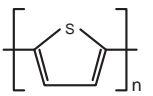
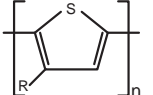
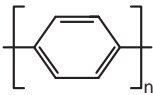
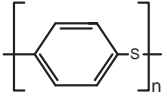
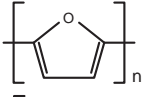
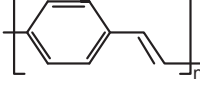
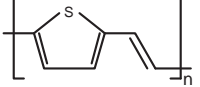
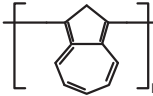
ГЛАВА 2: СВОЈСТВА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

Као што је већ било речи у уводном делу, услов за постојање макроскопске електричне проводљивости полимера је постојање система коњугованих двоструких веза у полимерном ланцу. Ипак, полимер са испуњеним овим условом није проводан, а проводљивост се постиже оксидацијом или ређе редукцијом, а сам поступак, и ако у великој мери различит, назван је доповање, по угледу на терминологију неорганских полупроводника. Присуство велике количине јона допаната у великој мери, поред проводљивости, мења и структуру полазног полимера, доносећи читав низ нових својстава, значајних за потенцијалну практичну примену. Ова глава биће посвећена најзначајнијим својствима електропроводних полимера, а она ће углавном бити разметрана на примеру полианилина и полипирола, као најзначајнијим електропроводним полимерима.

ПРОВОДЉИВОСТ ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

Од открића полупроводничких својстава полиацетилена и касније постизања електричне проводљивости излагањем јодом, до данашњих дана, синтетизован је велики број електропроводних полимера са коњугованим системом двоструких веза, а структуре најзначајнијих, у основном недопованом облику, дате су у табели 2.1.

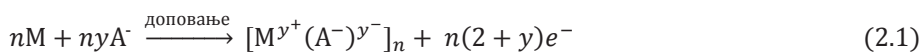
Табела 2.1. Молекулска структура најзначајнијих електропроводних полимера.

полимер	молекулска структура
полипирол	
полианилин	
политиофен	
поли(3-алкилтиофен)	
полифенилен	
полифениленсулфид	
полифуран	
полифенилвинилен	
политиенилвинилен	
полиазулен	

Полимере, дате у табели 2.1., карактерише постојање коњуговног система двоструких веза у молекулској структури. Политиофен, полипирол, полифуран и њихови деривати претстављају полихетероцикличне полимере, док су полианилин и полифенилен сулфид полимери у којима хетероатоми учествују у формирању полимерног ланца [1]. Ови полимери у свом основном, не допованом, стању нису електрично проводљиви, за разлику од *trans*- полиацетилена који поседује полупроводничка својства, а „метална“ проводљивост се постиже доповањем [1,4].

КОНЦЕПТ ДОПОВАЊА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

Термин доповање је први пут употребљен за поступак којим је постигнута метална проводљивост полиацетилена, али се задржао у употреби у литератури и користи се за поступке оксидације или ређе редукције свих електропроводних полимера. И ако преузет из терминологије класичних неорганских полупроводника, појам доповања електропроводних полимера се у знатној мери разликује. Допанти електропроводних полимера су јони, који служе како би се полимеру или „одузели“ или „додали“ електрони. Ако се полмерном ланцу „одузимају“ електрони, он постаје позитиван и реч је о оксидативном доповању, што одговара доповању анјонима у складу са једначином:



Доповање катјонима, чиме се полимерном ланцу „додају“ електрони тј. редуктивно доповање врло је ретко и значајно са теоријског аспекта.

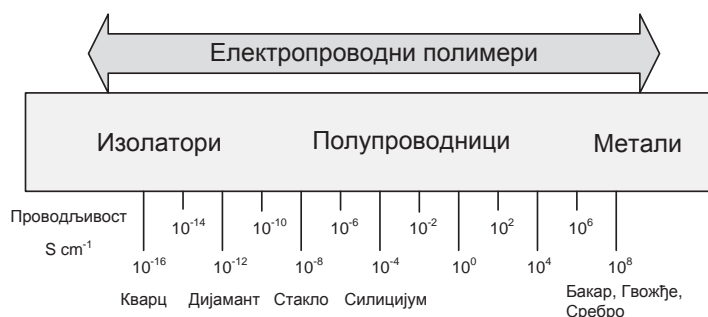
Допован електропроводни полимер је со, а допанти су јони, за разлику од допаната у класичном полупроводнику који су елементи Vb групе периодног система (донори електрона, *n*-доповање), или елементи IIIb групе периодног система (акцептори електрона, *p*-доповање).

Да би се постигла проводљивост електропроводног полимера и одржала електронеутралност потребна је велика концнетрација, на стехиометријском нивоу, допаната, док су концентрације допаната у неорганским полупроводницима свега неколико ppm.

Важна карактеристика доповања електропроводних полимера, је да степен доповања, γ^* , дефинисан као број наелектрисања анјона по мономерној јединици, може да варира, тако да је проводљивост електропроводних полимера, зависно од степена доповања, могуће „подешавати“ унутар опсега од скоро десет редова величина, од изолаторских до вредности проводљивости карактеристичне за метала [1,4,16]. На слици 2.1., приказан је опсег проводљивости, који „покривају“

* у литератури се често користи реципрочна вредност степена доповања, $1/\gamma$, која се дефинише као просечан број мономерних јединица у којима је делокализовано наелектрисање

електропроводни полимери од изолаторке до металне (у литератури, ИМТ-скраћено од енг. *Isolator metal transition*).



Слика 2.1. Опсег електричне различитих материјала.

Структура полазног, непроводног и недопованог полимера је, услед присуства велике количине допанта, у знатној мери промењена у односу на проводан, допован полимер, док је полазна структура неорганских полупроводника практично непромењена. Поред тога, својства допованог полимера у великој мери зависе од саме количине, врсте и структуре јона-допанта. У табели 2.2., дате су вредности проводљивости на најпроучаванијих електропроводних полимера, постигнуте доповањем различитим допантима.

Доповање електропроводних полимера се углавном постиже хемијским или електрохемијским поступцима [1, 4, 10, 12]. Могуће је и фото-доповање, које је карактеристично за примену у фото-напонским ћелијама и доповање „ињекцијом наелектрисања“ (од енг. *charge-injection doping*), значајно за светлосно емитујуће диоде (од енг. *LED-Light Emitting Diodes*)[39].

У случају полианилина, могуће је и тзв. протонско доповање, кога за разлику од објашњеног доповања оксидацијом или редукцијом код кога долази до „додавања“ или „одузимања“ електрона из π система, не прати промена броја електрона у полимерном ланцу [23, 40].

ГЛАВА 3: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ТЕХНИКЕ ИЗУЧАВАЊА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

Традиционално, карактеризација неког новог материјала се остварује *ex situ*, коришћењем експерименталних техника које функционишу у средини (ваздух, вакуум....) које се у многоме разликују од средине у којој би неки електропроводни полимер био коришћен. Пошто се функционисање електропроводних полимера везује за раствор, традиционални *ex situ* приступ не омогућава да се у потпуности добију реалне информације везане за молекулске промене електропроводних полимера које су од виталног значаја за разумевање механизма и природе реакција. Стога су временом развијене многобројне технике које омогућавају *in situ* карактеризацију. Како је постојање проводљивости кључна особина електропроводних полимера, употреба електрохемијских техника се неминовно намеће. Поред драгоцених информација о начинима формирања и механизмима електрохемијског таложења електропроводних полимера, о брзини преноса наелектрисања, коефицијентима дифузије, псеудокапацитивности филма полимера, проводљивости полимера у раствору итд., које могу да се добију коришћењем електрохемијских техника, комбинацијом електрохемијских и неелектрохемијских техника *in situ* карактеризације могуће је боље разумевање природе преноса наелектрисања, доповања/дедоповања, тј. оксидације/редукције, структуре и самог механизма хемијских промена које карактеришу процесе везане за електропроводне полимере.

У тексту који следи, биће дат преглед и једноставна објашњења најзначајнијих електрохемијских као и неелектрохемијских техника коришћених у изучавању електропроводних полимера.

ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКЕ ТЕХНИКЕ

Од великог броја електрохемијских техника у изучавању електропроводних полимера највише се користе: циклична волтаметрија, хроноамперометрија, хронопотенциометрија и спектроскопија електрохемијске импеданције [81].

ЦИКЛИЧНА ВОЛТАМЕТРИЈА

Циклична волтаметрија је вероватно најзаступљенија електрохемијска техника у пручавању електропроводних полимера. Користи се често за карактеризацију, али и за синтезу електропроводних полимера. Уопштено, циклична волтаметрија је обично прва техника којој се прибегава у неком електрохемијском експерименту. Она омогућава брзо сагледавање положаја редокс реакција и увид у реверзibilност процеса преноса наелектрисања.

Улазни сигнал цикличне волтаметрије је потенцијал који се линеарно мења, задати број пута, задатом брзином, у дефинисаном опсегу потенцијала, тако да има изглед једнакокраког троугла. Резултујући одзив електроде је сложени цикловолтамограм, тј. дијаграм зависности струја-потенцијал, који је компликована функција великог броја временски зависних параметара [86]. На слици 3.1. дат је изглед улазног и најопштијег излазног сигнала, у експерименту цикличне волтаметрије.

Излазни сигнал сваког експеримента цикличне волтаметрије карактерише појава пикова струје који се појављују на одређеним потенцијалима, тзв. потенцијалима пика. На основу ових параметара и познатих дијагностичких критеријума, могуће је прикупити низ основних информација везаних за полимеризацију и потенцијале оксидације мономера, редокс понашање полимера,

ГЛАВА 4: ХЕМИЈСКА СИНТЕЗА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

Поред чињенице да интересовање за област електропроводних полимера улази у четврту деценију, тешко се може говорити о универзалном избору поступака синтезе, већ се он прилагођава врсти и потенцијлној примени разматраног електропроводног полимера.

Хемијска синтеза електропроводних полимера је поступак којим се добија већа количина електропроводних полимера, па је перспективна са аспекта комерцијалне примене. Имајући у виду захтев за проводљивошћу и чињеницу да је оксидација, (ређе редукција), неопходна за њено постизање, хемијска синтеза електропроводних полимера подразумева оксидативну (или редуктивну) полимеризацију која се, одиграва према механизму радикалне полимеризације о чему ће бити речи у тексту који следи.

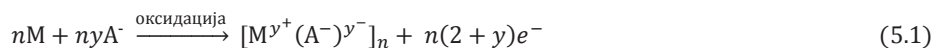
КЛАСИФИКАЦИЈА РЕАКЦИЈА ПОЛИМЕРИЗАЦИЈЕ

Реакције полимеризације су оне којима од малих молекула, специфичне структуре са најмање две функционалне групе (мономери) које омогућавају повезивање ковалентним везама, настају полимери, тј. велики молекули које одликује вишеструко понављање конститутивних јединица. Број конститутивних јединица у полимерима је толико велик да му омогућује непромењена својства, чак уколико се у полимерни молекул угради или од њега „откине“ неколико констекутивних јединица [126].

ГЛАВА 5: ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

На самом почетку развоја области електропроводних полимера за њихову синтезу коришћена је хемијска полимеризација. Растом интересовања за ове материјале и увидом у сам механизам полимеризације који подразумева оксидативну (ређе редуктивну) радикалну полимеризацију, постало је јасно да се електропроводни полимери могу добити и електрохемијским поступцима [1,10,48,81,126-128,162].

Електрохемијска полимеризација подразумева оксидацију мономера и раст полимерног ланца на одговарајућој аноди, ретко катоди. Електрохемијском оксидацијом се избегава примена оксидационог средства, пошто се оксидација остварује применом позитивног потенцијала или струје, на тај начин се постиже већа чистоћа жељеног полимера. Са друге стране, током електрохемијске полимеризације истовремено са изградњом полимерног ланца долази до доповања у складу са уопшетном стехиометријском једначином:



Где се М односи на мономер, а А на уграђени анјон- допант којим се компензује позитивно наелектрисање.

Иако је хемијска синтеза погоднија за добијање веће количине полимера, електрохемијска синтеза поред чистоће насталог полимера, има још неких предности. Чињеница да се електропроводни полимер добија директно, у облику филма, на електроди, олакшава његову даљу карактеризацију применом електрохемијских техника, а уједно предствља и погодност за потенцијалну

6. ГЛАВА: ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА ЕЛЕКТРОПРОВОДНИХ ПОЛИМЕРА

Постојање специфичне молекулске структуре која подразумева коњуговани систем двоструких веза и води делокализацији електронских стања је кључно својство електропроводних полимера. Када се електрон „одузме“ (оксидација, *p*-доповање) или „дода“ (редукција и *n*-доповање) из коњугованог система двоструких веза, било хемијским или електрохемијским поступцима, наелектрисање може слободно да „путује“ кроз коњуговани систем при примени спољног електричног поља. Овако постигнута електрична проводљивост, постигнута специфичним доповањем на стехиометријском нивоу, зависи од природе и количине јона-допаната и покрива практично цео опсег од изолаторског ($< 10^{-8} \text{ S cm}^{-1}$), полупроводничког (од $10^{-8} \text{ S cm}^{-1}$ до око 10^3 S cm^{-1}) до проводног ($> 10^3 \text{ S cm}^{-1}$), а поред својстава самог полимера зависиси и од типа и од концентрације допанта [1,4]. Поред наслеђених својстава полимера, присуство различитих допаната, који доносе полимеру проводљивост која се може „подешавати“ и реверзибилност доповања и дедоповања, чини електропроводне полимере перспективним материјалима за практичну примену у различитим областима: у електроници (полимрне светлосно емитујуће диоде, соларне ћелије, технологија дисплеја), у електрохемијским изворима електричне енергије (батерије, супер кондензатори), заштити метала и легура од корозије, аналитици (сензорима и биосензорима), мембранским технологијама, за израду електромагнетних штитова и материјала за адсорпцију микроталаса и сл. [1,4, 48, 152, 229, 286, 287].

У тексту који следи биће укратко описане најважније области практичне примене електропроводних полимера.

ЛИТЕРАТУРА:

1. S. Jovanović, G. Nestorović, K. Jeremić, *Hem. Ind.* 57 (2003) 511.
2. V. V. Walatka, M. M. Labes, J. H. Perlstein, *Phys. Rev. Lett.* 31 (1973) 1139.
3. C. M. Mikulsk, P. J. Russo, M. S. Saran, A. G. MacDiarmid, A. F. Garito, A. J. Heeger, *J. Am. Chem. Soc.* 97 (1975) 6358.
4. M. Wan, "Conducting Polymers with Micro or Nanometer Structure", Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, 2008.
5. T. Ito, H. Shirakawa, S. Ikeida, *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.* 12 (1974) 11.
6. C. K. Chiang, C. R. Fischer, Y. W. Park, A. J. Heeger, H. Shirakawa, E. J. Louis, S. C. Gau and A. G. MacDiarmid, *Phys. Rev. Letters* 39 (1977) 1098.
7. H. Shirakawa, E. J. Louis, A. G. MacDiarmid, C. K. Chiang and A. J. Heeger, *J. Chem. Soc. Chem. Comm.* 5 (1977) 579.
8. C. K. Chiang, M. A. Druy, S. C. Gau, A. J. Heeger, E. J. Louis, A. G. MacDiarmid, Y. W. Park and H. Shirakawa, *J. Am. Chem. Soc.* 100 (1978) 1013.
9. A. J. Heeger, A. G. MacDiarmid, *Synth. Met.* 1 (1979) 101.
10. "Handbook of Conducting Polymers", Ed. T. A. Skotheim, vol.1., Marcel Dekker, Inc., New York, 1986.
11. "Handbook of Conducting Polymers", Ed. T. A. Skotheim, vol.2., Marcel Dekker, Inc., New York, 1986.
12. S. Roth, H. Bleier, *Adv. in Phys.* 36 (1987) 385.
13. J. Kankare, E.-L. Kupila, *J. Electroanal. Chem.* 322 (1992) 167.
14. E.-L. Kupila, J. Lukkari and J. Kankare, *Synth. Met.* 74 (1995) 207.
15. J. Kankare, *Electrical and optical Polymer Systems*, Ed. by D. Wise, G. E. Wnek, D. J. Trantolo, T. M. Cooper, J. D. Gresser, Marcel Dekker, Inc. New York, 1997.
16. "Conducting Polymers – Theory, Synthesis, Properties and Characterization", Ed. T. A. Skotheim and J. R. Reynolds, CRC-Press Taylor & Francis Group, New York, 2007.
17. J. Tsukamoto, A. Takahashi, K. Kawasaki, *Jap. J. Appl. Phys.* 29 (1990) 125.
18. J. Tsukamoto, *Adv. Phys.* 41 (1992) 509.
19. H. Naarmann, *Synth. Met.* 17 (1987) 223.

20. H. Shirakawa, Y.-X. Zhang, T. Okuda, K. Sakamaki, K. Akagi, *Synth. Met.* 65 (1994) 93.
21. M. Yamura T. Hagiwara, K. Iwata, *Synth. Met.* 26 (1988) 209.
22. P. N. Adams, P. Laughlin, A. P. Monkman, N. Brnhoft, *Solid State Comm.* 91 (1994) 895.
23. J. C. Chiang, A. G. MacDiarmid, *Synth. Met.* 13(1986)193.
24. Y. Cao, P. Smith, J. J. Heeger, *Synth. Met.* 48 (1992) 91.
25. J. Joo, S. Oblakowski, G. Du, J. P. Pouget, A. J. Epstein, *Phys. Rev. B*, 42 (1990) 5411.
26. R. S. Kohlman, J. Joo, Y. Z. Wang, J. P. Pouget, H. Kaneko, T. Ishiguro, A. J. Epstein, *Phys. Rev. Lett.* 74 (1995) 773.
27. K. Sato, M. Yamura, T. Hagiwara, K. Murata, M. Tokumoto, *Synth. Met.* 40 (1991) 35.
28. M. J. Gonzalez-Tejera, E. Sanchez de la Blanca, I. Carrillo, M.I. Redondo, M. A. Raso, J. Tortajada, M.V. Garcia, *Synth. Met.* 151 (2005) 100.
29. A. J. Epstein, H. Rommelman, R. Bigelow, H. W. Gibson, D. M. Hoffman, D. B. Tanner, *Phys. Rev. Lett.* 50 (1983) 1866.
30. Y. Z. Wang, J. Joo, C.-H. Hsu, J. P. Pouget, A. J. Epstein, *Phys. Rev. B.* 50 (1994) 16811.
31. N. R. Chiou, A. J. Epstein, *Adv. Mat.* 17 (2005) 1679.
32. Z. H. Wang, H.H. S. Javadi, A. Ray, A. G. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Phys. Rev. B.* 42 (1990) 5411.
33. J. Yue, J. Epstein, *J. Am. Chem. Soc.* 112 (1990) 2800
34. Z. H. Wang, K. R. Cromack, A. J. Epstein, A. G. MacDiarmid *J. Am. Chem. Soc.* 113 (1991) 2655.
35. A. J. Epstein, H. Rommelmann, M. Abkowitz, H.W. Gibson, *Phys. Rev. Lett.* 47 (1981) 1549.
36. J. C. Scott, P. Pfluger, M. T. Krounbi, G. B. Street, *Phys. Rev. B.* 28 (1983) 2140.
37. J. Epstein, H. Rommelmann, H.W. Gibson, *Phys. Rev. B.* 31 (1985) 2502.
38. F. Zuo, M. Angelopoulos, A. G. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Phys. Rev. B.* 39 (1989) 3570.
39. A. G. MacDiarmid, *Angew. Chem. Int.* 40(2001) 2581.
40. A. G. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Faraday. Discuss. Chem. Soc.* 88 (1989) 317.
41. Y. Furukawa, *J. Phys. Chem.* 100 (1996) 15644.
42. Y. Furukawa, N. Yokonuma, M. Tasumi, M. Kuroda, J. Nakayama, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 256 (1994) 113.
43. N. Yokonuma, Y. Furukawa, M. Tasumi, M. Kuroda, J. Nakayama, *Chem. Phys. Lett.* 255 (1996) 431.

44. K. Fesser, A. R. Bishop, D. K. Campbell, *Phys. Rev. B* 27 (1983) 4804.
45. N. Gospodinova, L. Terlemezyan, *Prog. Polym. Sci.* 23 (1998) 1443.
46. J. Stejskal, I. Sapurina, M. Trachová, *Prog. Polym. Sci.* 35 (2010) 1420.
47. J. Stejskal, I. Sapurina, M. Trachová, E. N. Konyushenko, *Macromol.* 41 (2008) 3530.
48. G. G. Wallace, G. M. Sprinks, L. A. P. Kane-Maguire, P. R. Teasdale, "Conductive Electroactive Polymers – Intelligent Polymer Systems", CRC-Press Teylor & Frenicis Group, New York, 2009.
49. A. J. Epstein, J. M. Ginder, F. Zuo, R. E. Biegelow, H. S. Wou, D. B. Tanner, A. F. Fichter, A. F. Huang, A. G. MacDiarmid, *Synth. Met.* 18 (1987) 303.
50. A. Watanabe, K. Mori, M. Mikuni, Y. Nakamura, M. Matsuda, *Macromolecules*, 22 (1989) 3323.
51. A. V. Kulikov, V. R. Bogatyrenko, O. V. Belonogova, L. S. Fokeeva, A. V. Lebedev, T. A. Echmaeva, I. G. Shunina, *Russ. Chem. Bull. Int. Ed.* 51 (2002) 2216.
52. T. Nakajima, T. Kawagoe, *Synth. Met.* 28 (1989) 629.
53. A. J. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Synth. Met.* 24 (1988) 628.
54. J. K. Avlyanar, Y. Min, A. J. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Synth. Met.* 72(1995) 65.
55. J. Tanaka, N. Mashita, J. Mizoguchi, K. Kume, *Synth. Met.* 29 (1989) E175.
56. D. E. Stiwel, S. M. Park, *J. Electrochem. Soc.* 136 (1989) 688.
57. Y. Cao, P. Smith, *Polymer* 34 (1993) 3139.
58. A. G. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Synth. Met.* 65 (1994) 103.
59. Y. Xia, A. G. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Macromolecules* 27 (1994) 7212.
60. K. Lee, S. Cho, S. H. Park, A. J. Heeger, C. -W. Lee, S.-H. Lee, *Nature* 441 (2006) 65.
61. J.L. Bredas, B. Themans, J.M. Andre, R.R. Chance, R. Silbey, *Synth. Met.* 9 (1984) 265.
62. G. R. Mitchell, F. J. Davis, C. H. Lagge, *Synth. Met.* 26 (1988) 247.
63. Y. Nogami, J. Pouget, T. Ishiguro, *Synth. Met.* 62 (1994) 257.
64. A. Malinauskas, J. Malinauskienė, A. Ramanavičius, *Nanotechnology* 16 (2005) R51.
65. B.N. Grgur, M.M. Gvozdenović, J. Stevanović, B.Z. Jugović and V.M. Marinović , *Electrochim. Acta*, 53 (2008) 4627.
66. B. N. Grgur, V. Ristić, M. M. Gvozdenović, M. M. Maksimović, B. Z. Jugović, *J. Power Sources*, 180 (2008) 635.
67. B. Jugović, M. Gvozdenović, J. Stevanović, T. Trišović, B. Grgur, *Mat. Chem. Phys.* 114 (2009) 939.

68. B. Jugović, T. Trišović, J. Stevanović, M. Gvozdenović, B. Grgur, *J. Appl. Elchem.* 39 (2009) 2521.
69. B.Z. Jugović, M.M. Gvozdenović, J.S. Stevanović, T.Trišović, B.N. Grgur, *Zaštita materijala*, 50(1) (2009) 29.
70. M. Sima, T. Visan, M. Buda, *J. Power Sources* 56 (1995)133.
71. J. Kan, H. Xue, S. Mu, *J. Power Sources* 74 (1998) 113.
72. M. S. Rahmanifar, M. F. Mousavi, M. Shamsipur, M. Ghaemia, *J. Power Sources* 132 (2004) 296.
73. H. Karami, M. F. Mousavi, M. Shamsipur, *J. Power Sources* 117 (2003) 255.
74. B. Z. Jugović, T. Lj. Trišović, J. Stevanović, M. Maksimović, B. N. Grgur, *J. Power Sources* 160 (2006) 1447.
75. B. Z. Jugović, T. Lj. Trišović, J. Stevanović, M. Maksimović, B. N. Grgur, *Electrochim. Acta* 51 (2006) 6268.
76. M. S. Rahmanifar, M. F. Mousavi, M. Shamsipur, H. Heli, *Synth. Met.* 155 (2005) 480.
77. A. Mirmohseni, R. Solhjo, *Europ. Polym. J.* 39 (2003) 219.
78. R. Mažeikiene, A. Malinauskas, *Mater. Chem. Phys.* 83 (2004) 184.
79. M. Gvozdenović, B. Jugović, J. Stevanović, T. Trišović, B. Grgur, *Mat. Chem. Phys.* 125 (2011) 601.
80. L. D. Arsov, *J. Solid State Electrochem.* 2 (1998) 266
81. G. Inzelt “ *Conducting Polymers – A New Era in Electrochemistry*”, Springer-Verlag GmbH, Berlin Heilderberg, 2008.
82. S. H. Glarum, J. H. Marshall, *J. Electrochem Soc.* 134 (1987) 2160.
83. G. E. Asturias, G. W. Jang, A. G. MacDiarmid, Z. Doblhofer, C. Zhong, *Ber Bunsenges Phys. Chem.* 95 (1991) 1381.
84. C. Pozo-Gonzalo, J. Pomposo, J. Alduncin, M. Salsamendi, A. Mikhaleva, L. Krivdin, B. Trofimov, *Electrochim. Acta*, 52 (2007) 4784.
85. Y. Pang, X. Li, H. Ding, G. Shi, L. Jin, *Electrochim. Acta*, 52 (2007) 6172.
86. J. Wang, “*Analytical Electrochemistry*” 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2006.
87. M. A. Careem, Y. Velmurugu, S. Skaarup, K. West, *J. Power Sources* 159 (2006) 210.
88. A. Bard, L. Faulkner, “*Electrochemical Methods – Fundamentals and Applications*” 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001.

89. S. Jovanović, R. Stanković, V. Laninović, G. Nestorović, M. Popović, B. Vidić, O. Pavlović, N. Hem. Ind. 54(2000)417.
90. M. M. Popović, N. Krstajić, B. N. Grgur, Zaštita Materijala, 43 (2002) 9.
91. Milica M. Popović, Branimir N. Grgur, Synth. Met. 143 (2004) 191.
92. G. N. Ćiric-Marjanović B. N. Marjanović, M. M. Popović, V. V. Panić, V. B. Mišković-Stanković Rus. J. Electrochem. 42 (2006) 1358.
93. B. N. Grgur, P. Živković, M. M. Gvozdrenović, Prog. Org. Coat. 56 (2006) 240.
94. M. M. Gvozdrenović, B. N. Grgur, Prog. Org. Coat. 65 (2009) 401.
95. M. M. Gvozdrenović, B. Z. Jugović, D. Bezbradica, M. Antov, Z. D. Knežević-Jugović, B. Grgur, Food. Chem. 124 (2011) 396.
96. D. Bezbradica, B. Jugović, M. Gvozdrenović, S. Jakovetić, Z. Knežević-Jugović, Mol.Cat.Enzym. 70 (2011)55.
97. B.N. Grgur, M.M. Gvozdrenović, V.B. Mišković-Stanković, Z. Kačarević-Popović Prog. in Org. Coat, 56 (2006) 214.
98. M. M. Popović, B. N. Grgur, Vesna Mišković-Stanković, Prog. in Org. Coat. 52 (2005) 359.
99. N. V. Krstajić, B. N. Grgur, S. M. Jovanović, M. V. Vojnović, Electrochim. Acta 11 (1997) 1685
100. M. M. Gvozdrenović, B. Z. Jugović, J. Stevanović, B. N. Grgur, T. T. Trišović, Z. Jugović, Synth. Met. 161 (2011) 1313.
101. T. Komura, T. Yamaguti, K. Takahasi, Electrochim. Acta 41 (1996) 2865.
102. G. Lang, G. Inzlet, Electrochim. Acta 36 (1991) 847.
103. G. Lang, M. Ujvari, G. Inzlet, Electrochim. Acta 46 (2001) 4159.
104. G. Lang, J. Bacskai, G. Inzlet, Electrochim. Acta 38 (1993) 773.
105. C. Deslouis, M. M. Musiani, B. Tribolet, J. Electroanal. Chem. 37 (1998) 264.
106. M. Sluyeters-Rehbach, Pure Appl. Chem. 66 (1994) 183.
107. V. D. Jović, B. M. Jović, J. Electroanal. Chem. 541(2003)1.
108. Sh. M. Ebrahim, M. M. Abd-El. Latif, A. M. Gad, M. M. Soliman, Thin Solid films, 518 (2010) 410.
109. R. Coratger, V. Sivel, F. Ajuston, J. Beauvillian, Micron 25 (1994) 371.
110. B. Weslling, Polymers 2 (2010) 786.
111. J. N. Barisci, R. Stella, G. M. Spinks, G. G. Wallace, Electrochim. Acta 46 (2000) 519.
112. J. N. Barisci, R. Stella, G. M. Spinks, G. G. Wallace, Synth. Met. 124 (2001) 407.

113. J. E. Albuquerque, L. H. C. Mattoso, D. T. Balogh, R. M. Faria, J. G. Masters, A. G. MacDiarmid, *Synth. Met.* 113 (2000) 19.
114. K. Koziel, M. Lapkowski, S. Lefrant, *Synth. Met.* 69 (1998) 137.
115. P. Rapta, A. P. L. *Synth. Met.* 119 (2001) 409.
116. H. Okamoto, T. Kotaka, *Polymer* 39 (1998) 4349.
117. R. Ansari, G. G. Wallace, *Polymer* 35 (1994) 2372.
118. A. A. Pud, *Synth. Met.* 66 (1994) 1.
119. H. Nguyen Thi Le, M.C. Bernard, B. Garcia-Renaud, C. Deslouis, *Synth. Met.* 140 (2004) 287.
120. M.C. Bernard, A. Hugot-Le Goff, *Electrochimica Acta*, 52 (2006) 728.
121. A. Pron, F. Genoud, C. Menardo, M. Nechstein, *Synth. Met.* 24 (1988) 193.
122. A. Neudeck, A. P. L. Dunsch, *Synth. Met.* 107 (1999) 143.
123. W. Domagala, B. Pilawa, M. Lapkowski, *Electrochim. Acta*, 53 (2008) 4580.
124. J. Y. Lim, Woon-kie Paik, In-H. Yeo, *Synth. Met.* 69 (1995) 451.
125. A. L. Briseno, A. Baca, Q. Zhou, R. Lai, F. Zhou, *Anal. Chem. Acta*, 441 (2001) 123.
126. S. M. Jovanović, J. Đonlagić, „Hemija Makromolekula“-Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd 2004.
127. George Odian, “Principles of Polymerization”, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004.
128. “Handbook of Radical Polymerization” Ed. K. Matyjaszewski, T. Davys, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2002.
129. Y. Nicolas, P. Blanchard, J. Roncali, M. Allain, N. Mercier, A-L. Deman, J. Tardy, *Org. Lett.* 7 (2005)3513.
130. J. Stejskal, R. G. Gilbert, (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.* 74 (2002) 857.
131. H. Latherby, *J. Chem. Soc.* 15 (1862) 161.
132. A. G. MacDiarmid, J. C. Chiang, M. Halpern, W. S. Huang, S. L. Mu, N. L. Somasiri, W. Wu, S. I. Yaniger, *Mol. Cryst. Lig. Cryst.* 121 (1985) 173.
133. W. S. Huang, B. D. Humphrey, A. G. MacDiarmid, *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1.* (1986) 2385.
134. Y. Ding, A. Padias, H. Hall, *J. Polym. Sci. Pol. Chem.* 37 (1999) 2569.
135. P. N. Adams, D. C. Apperley, A. P. Monkman, *Polymer*, 34 (1993) 328.
136. A. M. Kenwright, W. J. Feast, P. N. Adams, A. J. Milton, A. P. Monkman, B. J. Say, *Polymer*, 33 (1992) 4292.

137. L. H. C. Mattoso, A. G. MacDiarmid, A. J. Epstein, *Synth. Met.* 68 (1994) 1.
138. P. N. Adams, A. P. Monkman, *Synth. Met.* 87 (1997) 165.
139. P. M. Beadle, Y. F. Nikolay, E. Banka, P. Rannou, D. Djuardo, *Synth. Met.* 95 (1998) 29.
140. G. Min, *Synth. Met.* 119 (2001) 273.
141. G. M. Morales, M. C. Miras, C. Barbero, *Synth. Met.* 101 (1999) 686.
142. Y. Fu, R. L. Elsenbaumer, *Chem. Mater.* 6 (1994) 671.
143. J. Stejskal, I. Sapurina, M. Trachová, E. N. Konyushenko, P. Holler, *Polymer*, 47 (2006) 8253.
144. Y. Geng, J. Li, Z. Sun, X. Jing, F. Wang, *Synth. Met.* 96 (1998) 1.
145. N. Kuramoto, A. Tomita, *Synth. Met.* 88 (1997) 147.
146. N. Kuramoto, Y. Takakashi, *React. Funct. Polym.* 37 (1998) 33.
147. W. Liu, J. Kumar, S. K. Tripathy, K. J. Senecal, L. A. Samuelson, *J. American Chem. Soc.* 121 (1999) 71.
148. J-E. Osterholm, Y. Cao, F. Klavetter, P. Smith, *Polymer* 35 (1994) 2902.
149. C. Q. Jin, S. M. Park, *Synth. Met.* 124 (2001) 443.
150. P. J. Kinlen, J. Liu, Y. Ding, C. R. Graham, E. E. Remsen, *Macromolecules.* 31 (1998) 1735.
151. S. H. Lee, D. H. Lee, C. W. Lee, *Adv. Funct. Mater.* 15 (2005) 1495.
152. S. Bhadra, D. Khastgir, N. K. Singha, J. H. Lee, *Prog. Polym. Sci.* 34 (2009) 783.
153. P. K. Khanna, M. Singh, S. Charan, A. K. Viswanth, *Mat. Chem. Phys.* 92 (2005) 214.
154. T. Kobayashi, K. Teshima, R. Hirokashi, *J. Mater. Chem.* 8 (1998) 497.
155. Y. Kim, S. Fukai, N. Kobayashi, *Synth. Met.* 119 (2001) 337.
156. R. A. Barros, W. M. Azevedo, F. M. Aguiar, *Mat. Charact.* 50 (2003) 131.
157. S. Kobayashi, L. Uyama, S. Kimura, *Chem Rev.* 101 (2001) 3793.
158. R. A. Gross, A. Kumar, B. Kalra, *Chem Rev.* 101 (2001) 2097.
159. W. Liu, J. Kumar, K. J. Senecal, L. A. Samuelson, *J. Am. Chem. Soc.* 121 (1999) 71.
160. R. Nagarajan, S. K. Tripathy, J. Kumar, F. F. Bruno, L. A. Samuelson, *Macromolecules* 33 (2000) 9542.
161. N. Toshima, S. Hara, *Prog. Polym. Sci.* 20 (1995) 155.
162. A. F. Diaz, J. Crowley, J. Bargon, G. P. Gardini, J. B. Torrance, *J. Electroanal. Chem* 121 (1981) 355.
163. C. P. Andrieux, P. Audebert, P. Haipot, J. M. Saveant, *J. Phys. Chem.* 95 (1991) 10158.

164. Y. Wei, J. Tian, D. Yang, *Macromol. Rapid Commun.* 12 (1991) 617.
165. Y. Wei, J. Tian, D. Yang, *Chem. Mater.* 3 (1991) 888.
166. T. H. Chao, J. J. March, *Polym. Sci. Part A, Polym. Chem.* 26 (1988) 743.
167. R. Ansari, *E-J. Chem.* 3 (2006) 186.
168. S. Machida, S. Miyata, *Synth. Met.* 31 (1989) 311.
169. S. Rapi, V. Bocchi, G. P. Gardini, *Synth. Met.* 24(1988) 167.
170. T. Yoshikawa, S. Machida, T. Ikegami, A. Teshakumpuch, S. Miyata, *Polym. J.* 22 (1990) 1.
171. E. Kang, K. Neoh, Y. Ong, T. Tan, B. Tan, *Macromolecules* 24 (1991) 2822.
172. E. Kang, C. Tan, K. Neoh, Y. Ong, *Polymer* 27 (1986) 1958.
173. E. Kang, C. Tan, K. Neoh, Y. Ong, *J. Macromol. Sci. Chem.* A24 (1987) 631.
174. K. Neoh, T. Tan, E. Kang, *Polymer* 29 (1998) 553.
175. K. Khulbe, R. Mann, C. Khulbe, *J. Polym. Sci. Polym. Chem.* 20 (1982) 1089.
176. E. Kang, T. Neoh, T. Tan, Y. Ong, *J. Polym. Sci. Polym. Chem.* 25 (1987) 2143.
177. M. Kanatzidis, L. Tonge, T. Marks, H. Marcy, C. Kannerwurf, *J. Am. Chem. Soc.* 109 (1987) 3797.
178. M. Zagorska, A. Pron, *Synth. Met.* 18 (1988) 217.
179. Y. E. Whang, J. H. Han, T. Motobe, T. Watanbe, S. Miyata. *Synth. Met.* 43 (1991) 3043.
180. Y. E. Whang, J. H. Han, T. Motobe, T. Watanbe, S. Miyata. *Synth. Met.* 45 (1991) 151.
181. J. Stejskal, M. Omastová, S. Fedorova, *Polymer*, 44 (2003) 1353.
182. M. Omastová, M. Trchová, J. Kovářová, *Synth. Met.* 138 (2005) 447
183. M. Omastová, J. Pionteck, M. Trchová, 135 (2003) 477.
184. Y. Kudoh, *Synth. Met.* 79 (1996) 17.
185. Y. Kudoh, K. Akami, Y. Matsua, *Synth. Met.* 95 (1998) 191.
186. Y. Shen. M. Wan, *Synth. Met.* 96 (1998) 127.
187. A. Malinauskas, *Polymer* 42 (2001) 3957.
188. M. Saurin, S. P. Armes, *J. Appl. Polym. Chem.* 56 (1995) 41.
189. J. K. Avlyanov, H. H. Khun, J. Y. Josefowich, A. G. MacDiarmid, *Synth. Met.* 84 (1997)153.
190. P. C. Wang, Z. Huang, A. MacDiarmid, *Synth. Met* 101 (1999) 852.
191. P. C. Wang, A. MacDiarmid, *Synth. Met* 119 (2001) 367.

192. Z. Huang, P.C. Wang, A. G. MacDiarmid, Y. Xia, G. Whitesides, *Langmir*, 13 (1997) 6480.
193. K. G. Neoh, H. W. Teo, E. T. Kang, K. L. Tan, *Langmir*, 14 (1998) 2820.
194. S. De Marcos, O. S. Folbies, *Sens. Mater.* 9 (1997) 253.
195. R. V. Gregory, W. C. Kimbrell, H. H. Khun, *Synth. Met.* 28 (1989) C823.
196. C. R. Martin, *Science*, 266 (1984) 1961.
197. S. N. Tan, H. L. Ge, *Polymer*, 37 (1996) 965.
198. B. Winther-Jansen, J. Chen, K. West, G. g. Wallace, *Macromolecules*, 37 (2004) 5930.
199. B. Winther-Jansen, J. Chen, K. West, G. g. Wallace, *Macromolecules*, 46 (2005) 4664.
200. Y. Lu, S. Gaoquan, L. Chun, L. Yingqiu, *J. Appl. Polym. Sci.* 70 (1998) 2169.
201. R. K. John, D. S. Kumar, *J. Appl. Polym. Sci.* 83 (2002) 1856.
202. J. G. Wang, K. G. Neoh, E. T. Kang, *Thin Solid Films*, 446 (2004) 205.
203. J. Morales, M. G. Olayo, G. J. Cruz, *J. Appl. Polym. Sci.* 85 (2002) 52.
204. H. Segawa, T. Shimidzu, K. Honda, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* 88 (1989) 132.
205. J. Heinze, B. Frontana-Urbe, S. Ludwings, *Chem. Rev.* 110 (2010) 4724.
206. P. M. Monk, R. J. Montimer, D. R. Roseinski, "Electrochromism" VCH, Weinheim, 1995.
207. G. Inzlet, K. Casahók, V. Kertész, *Electrochim. Acta* 46 (2001) 3955.
208. T. Yamamoto, T. Okuda, *J. Electroanal. Chem.* 460 (1999) 242.
209. T. Yamamoto, *Synthlett.* 4 (2001) 8.
210. A. A. Sayed, D. K. Dinesan, *Talanta* 38 (1991) 815.
211. L. M. Abrantes, J. P. Correia, M. Savic, G. Jin, *Electrochim. Acta* 46 (2001) 3181.
212. K. Bade, V. Taskova, J. W. Schultze, *Electrochim. Acta* 37 (1992) 2255.
213. G. Horány, G. Inzlet, *J. Electroanal. Chem.* 257 (1988) 311.
214. G. Horány, G. Inzlet, *J. Electroanal. Chem.* 264 (1989) 259.
215. A. Malinauskas, R. Holze, *Electrochim. Acta* 43 (1998) 515.
216. T. Osaka, T. Nakajima, K. Shiota, T. Momma, *J. Electrochem. Soc.* 138 (1991) 2853.
217. S. Pruneanu, E. Csakók, V. Kertész, G. Inzlet, *Electrochim. Acta* 43 (1998) 2305.
218. H. Yang, A. J. Bard, *J. Electroanal. Chem* 339 (1992)423.
219. D. E. Stiwel, S. M. Park, *J. Electrochem. Soc.* 135 (1988) 2491.
220. S. Zhou, T. Wu, J. Kan, *Eur. Polym. J.* 43 (2007) 395.
221. J. Steiskal, R. G. Gilbert, *Pure App. Chem.* 74 (2002) 857.
222. J. Steiskal, I. Sapurina, *Pure App. Chem.* 77 (2005) 815.

223. R. Mažeikienė and A. Malinauskas, *Electrochim. Acta* 41 (1996) 1587.
224. M. Gvozdenović, B. Grgur, Z. Kačarević-Popović, V. Mišković-Stanković, *Hem. Ind.* 59 (2005) 317.
225. J. L. Camalet, J. C. Lacroix, S. Aeiyač, P. C. Lacaze *J. Electroanal. Chem.* 445 (1998) 117.
226. J. L. Camalet, J. C. Lacroix, S. Aeiyač, K. Chane-Ching, P. C. Lacaze, *J. Electroanal. Chem.* 416 (1996) 179.
227. J. L. Camalet, J. C. Lacroix, T. Dung Ngyen, S. Aeiyač, M. C. Pham, J. Petit Jean, P. C. Lacaze, *J. Electroanal. Chem.* 485 (2000) 13.
228. J. L. Camalet, J. C. Lacroix, S. Aeiyač, K. Chane-Ching, P. C. Lacaze, *Synth. Met.* 93 (1998) 133.
229. S. Bialozor, A. Kupniewska, *Synth. Met.* 155 (2005) 443.
230. D. E. Tallman, Y. Pae, G. P. Bierwagen, *Corrosion* 56 (2000) 401.
231. V. Gupta, N. Miura, *Elchem. Comm.* 7 (2005) 995.
232. Z. Tang, S. Liu, Z. Wang, S. Dong, E. Wang, *Elchem. Comm.* 2 (2000) 32.
233. V. Tsakova, A. Milchev, J. Schulze, *J. Electroanal. Chem.* 346 (1993) 85.
234. S. Mu, Y. Yang, *J. Phys. Chem.* 37 (2008) 11558.
235. H. Eisazadeh, G. Spinks, G. Wallace, *Polymer*, 35 (1994) 3501
236. J. Barisci, G. Harper, A. Hodgson, L. Liu, G. Wallace, *Reactive Funct. Polym.* 39 (1999) 269.
237. V. Aboutanos, L. Kane-Maguire, G. Wallace, *Synth. Met.* 114 (2000) 313.
238. R. Guo, J. Barisci, P. Innis, C. Too, D. Zhou, G. Wallace, *Synth. Met.* 114 (2000) 267
239. P. Innis, Y. Cen, R. Ashraf, G. Wallace, *Polymer* 41 (2000) 4065.
240. V. Aboutanos, J. Barisci, L. Kane-Maguire, G. Wallace, *Synth. Met.* 106 (1999) 89.
241. J. Yano, Y. Ota, A. Kitani, *Materials Letters*, 58 (2004) 1934.
242. Y. Şahin, P. Perçin, M. Şahin, G. Özkan, *J. Appl. Polym. Sci.* 90 (2003) 2460.
243. S. Mu, *Electrochim. Acta*, 52 (2007) 7827.
244. M. Li, B. Liu, Z. Jin, *J. Electroanal. Chem.* 7 (2005) 209.
245. J. Pringle, J. Efthimiadis, P. Howlett, J. Efthimiadis, D. MacFarlane, A. Chaplin, C. Hall, D. Officer, G. Wallace, M. Forsyth, *Polymer*, 45 (2004) 1447.
246. J. Pringle, M. Forsyth, G. Wallace, D. MacFarlane, *Macromolecules*, 39 (2006) 7193.
247. Y. Wei, Y. Sun, S. Patel, X. Tang, *Polymer Preprints*, 30 (1989) 228.
248. G. Zotti, S. Cattarin, N. Comisso, *J. Electroanal. Chem.* 177 (1984) 387.

249. E. M. Genies, C. Tsintavis, J. Electroanal. Chem. 195 (1985) 109.
250. G. Zotti, S. Cattarin, N. Comisso, J. Electroanal. Chem. 239 (1988) 382.
251. S. Mu, C. Chen, J. Wang, Synth. Met. 88 (1937) 249.
252. H. Okamoto, T. Kotaka, Polymer 39 (1998) 4349.
253. Jürgen Lippe and Rudolf Holze, J. Electroanal. Chem. 339 (1992) 141.
254. H. Tang, A. Kitani, M. Shiotani, Electrochim. Acta, 41 (1996) 1561.
255. Lj. Duić, Z. Mandić, J. Electroanal. Chem., 335 (1992) 207.
256. H. Okamoto, T. Kotaka, Polymer 40 (1999) 407.
257. P. Nunziante, G. Pistoia, Electrochim. Acta, 43 (1989) 223.
258. S. Pruneanu, E. Csahók, V. Kertész, G. Inzelt, Electrochim. Acta, 43 (1998) 2305.
259. M. Majidi, L. Kane-Maguire, G. Wallace, Polymer 35 (1994) 3113.
260. S. Carquigny, O. Segut, B. Lakard, F. Lallemand, P. Fievet, Synth. Met. 158 (2008) 453.
261. W. Su, J. O. Iroh, J. Appl. Polym. Sci. 65 (1997) 417.
262. W. Su, J. O. Iroh, Synth. Met. 95 (1998) 159.
263. J. O. Iroh, W. Su, J. Appl. Polym. Sci. 71 (1999) 2075.
264. J. O. Iroh, W. Su, Electrochim. Acta, 44 (1996) 2173.
265. J. Petitjean, S. Aeiyaich, J. C. Lacroix, J. Electroanal. Chem. 478 (1999) 92.
266. C. A. Ferreira, S. Aeiyaich, J. J. Aaron, P. C. Lacaze, Electrochim. Acta, 41 (1996) 1801.
267. G. S. Akundy, J. O. Iroh, Polymer, 42 (2001) 9665.
268. I. L. Lehr, S. B. Saidman, Electrochim. Acta 51 (2006) 3249.
269. S. Dong, J. Ding, Synth. Met. 20 (1987) 119.
270. C. S. Visy, J. Lukkari, T. Pajunen, J. Kankare, Synth. Met. 22 (1989) 289.
271. J. Pringle, M. Forsyth, G. G. Wallace, D. R. MacFarlane, Macromolecules, 39 (2006) 7139.
272. W. E. Price, G. G. Wallace, H. Zao, J. Memb. Sci. 87 (1994) 47.
273. M. S. Kiani, G. R. Mitchell, Synth. Met. 48 (1992) 203.
274. M. S. Kiani, N. V. Bhatt, F. J. Davis, G. R. Mitchell, Polymer 33 (1992) 4113.
275. H. Ge, S., A. Asharf, K. Gilmore, C. O. Too, G. G. Wallace, J. Electroanal. Chem. 340 (1992) 41.
276. T. Shimadzu, A. Ohtani, K. Honda, J. Electroanal. Chem. 251 (1998) 323.
277. C. Zhong, K. Doblhofer, Electrochim. Acta 35 (1990) 1971.
278. K. Naoi, M. Lien, W. Smyrl, J. Electrochem. Soc. 138 (1991) 440.

279. D. Barnett, O. A. Sadik, M. J. John, G. G. Wallace, *Analyst* 119 (1994) 1997.
280. O. A. Sadik, J. M. Van Emon, *Biosens. Bioelectronics*, 11 (1996) 1.
281. D. Compagnone, G. Feclerici, J. V. Banister, *Electroanal.* 7 (1995) 1151
282. S. B. Adeljou, S. J. Shaw, G. G. Wallace, *Anal. Chim. Acta*, 341 (1997) 1151.
283. W. Lu, D. Zhou, G. G. Wallace, *Anal. Comm.* 35 (1998) 245.
284. M. D. Imisides, R. John, P. J. Riley, G. G. Wallace, *Electroanalysis* 3 (1991) 789.
285. S. A. Asharf, F. Chen, C. O. Too, G. G. Wallace, *Polymer* 37 (1996) 2811.
286. N. K. Guimard, N. Gomez, C. E. Schmidt, *Prog. Polym. Sci.* 32 (2007) 876.
287. K Gurunathan, A.Vadivel Murugan, R Marimuthu, U.P Mulik, D.P Amalnerka. *Mat. Chem. Phys.* 61 (1999)173.
288. A. Pron, P. Rannou, *Prog. polym. Sci.* 27 (2002) 135.
289. Y. Yang, Q. Pei, *J. Appl. Phys.* 77 (1995) 4807.
290. P. Barta, F. Cacialli, R. Friend, M. Zagorska, *J. Appl. Phys.* 84 (1998) 6279.
291. Y. Cao, G. M. Treacy, P. Smith, A. J. Heeger, *Appl. Phys. Lett.* 60 (1992) 2711.
292. Y. Yang, E. Westerweele, C. Zhang, P. Smith, A. J. Heeger, *J. Appl. Phys.* 77 (1998) 694.
293. A. J. Heeger, *Trends Polym. Sci.* 3 (1995) 37.
294. S. A. Carter, M. Angelopoulos, S. Karg, J. Brock, J. C. Scott, *Appl. Phys. Lett.* 70 (1997) 2067.
295. J. W. Jung, J. U. Lee, W. H. Jo, *J. Phys. Chem. C* 114 (2010) 633.
296. C. Brabec, N. S. Saricifci, J. C. Hummelen, *Adv. Funct. Mater* 11 (2001) 15.
297. W. J. Bae, K. Kim, Y. H. Park, W. H. Jo, *Chem. Comm.* 22 (2003) 2786.
298. W. J. Bae, K. Kim, Y. H. Park, W. H. Jo, *Macromolecules* 38 (2005) 10442.
299. F. Beck, R. Ruetschi, *Electrochim. Acta*, 45 (2000) 2467.
300. A.D. MacDiarmid, L.S. Yang, W.S. Huang, B.D. Humphrey, *Synth. Met.* **18** (1987) 393.
301. E. Genies, P. Hany, C. Santier, *Synth. Met.* 28 (1989) C647.
302. A. Kitani, M. Kaya, K. Sasaki, *J Electrochem. Soc.* 133 (1986) 1069.
303. F. Marchioni, J. Jang, W. Walker, F. Fudl, *J. Phys. Chem. B.* 110 (2006) 22202.
304. G. Xu, W. Wang, X. Qu, Y. Yin, L. Chu, B. He, H.Wu, J. Fang, Y.Bao, L. Liang, *Europ. Polym. J.* 45 (2009) 2701.
305. J. Park, J. Myoun Ko, O. Ok Park, K. Dong-Wen K, *J.Power Sources* 105 (2002) 20.
306. M. Trojanowicz, *Microchim. Acta* 143 (2003) 75.

307. S.A. Waghuley, S.M. Yenorkar, S.S. Yawale, S.P. Yawale, *Sens. Actuators B* 128 (2008) 366.
308. J. Yadong, W. Tao, W. Zhiming, L. Dan, C. Xiangdong, X. Dan, *Sens. Actuators B* 66 (2000) 280.
309. D. Nicolas-Debarnot, F. Poncin-Epaillard, *Anal. Chim. Acta* 475 (2003) 1.
310. D. Xie, Y. Jiang, W. Pan, D. Li, Z. Wu, Y. Li, *Sens. Actuators B* 81 (2002) 158.
311. K. Suri, S. Annapoorni, A.K. Sarkar, R.P. Tandon, *Sens. Actuators B* 81 (2002) 277.
312. M. A. Rahman, P. Kumar, D-S. Park, Y-B. Shim, *Sensors* 8 (2008) 118.
313. L. Zhang, S. Dong, *J. of Electroanal. Chem.* 568 (2004) 189.
314. A. Rahman, D. S. Park, M-S. Won, S-M. Park, Y-B. Shim, *Electroanalysis*, 16 (2004) 1366.
315. D. Wei, A. Ivaska, *Chem. Anal. (Warsaw)* 51 (2006) 839.
316. V. Gade, D. Shirale, P. Gaikwad, P. Savale, K. Kakde, H. Kharat, M. Shirsat, *Reactive and Functional Polymers*, 66 (2006) 1420.
317. P. Gaikwad, V. Gade, D. Shirale, P. Savale, K. Kakde, H. Kharat, M. Shirsat *Int. J. Electrochem. Sci.* 1 (2006) 425.
318. T. Lindfors, A. Ivaska, *J. Electroanal. Chem.* 43 (2002) 531.
319. N. Agbor, J. P. Creswell, M. C. Petty, A. Monkman, *Sens. Actuators B* 41 (1997) 137.
320. Y. Ando, C. Swart, E. Pringsheim, V. M. Mirsky, O. S. Wolfbeis, *Solid State Ionics* 152 (2002) 819.
321. E. Pringsheim, E. Terpetschnig, O. Wolfbeis, *Anal. Chim. Acta* 357 (1997) 247.
322. Z. Jin, Y. Su, Y. Duan, *Sensors and Actuators B* 72 (2001) 75.
323. J. Castrellon-Uribe, M.E. Nicho, G. Reyes-Merino, *Sensors and Actuators B* 141 (2009) 40.
324. A. Elkais, M. Gvozdenović, B. Jugović, J. Stevanović, N. Nikolić, B. Grgur, *Prog. Org. Coat.* 71 (2011) 32.
325. A. Elkais, M. Gvozdenović, B. Jugović, J. Stevanović, N. Nikolić, B. Grgur, *Hem. Ind.* 65 (2011) 15.
326. D. E. Tallman, G. Springs, A. Dominis, G. G. Wallace, *J. Solid State Electrochem.* 8 (2002) 85.
327. F. Beck, *Electrochim. Acta*, 33 (1988) 839.
328. F. Beck, R. Michaelis, F. Scholten and B. Zinger, *Electrochim. Acta.* 39 (1994) 229
329. B. Wessling, *Adv. Mater.* 6 (1994) 226.

ИНДЕКС АУТОРА

Андрио (Andrieux C.) 70, 124
Ванг (Whang Y.) 72, 125
Вей (Wei) 70, 125, 127
Винтер-Јансен (Winther-Jansen) 74, 126
Зоти (Zotti G.) 87, 127, 128
Икеида (Ikeida S.) 2, 3, 118
Котака (Kotaka T.) 89, 123, 130
Ли (Lee K.), 20, 67
Мачида (Machida S.) 73, 125
Мек Диармид (Mac Diarmid A.) 2, 47, 59, 64, 74, 118, 119, 123, 129
Мек Евој (Mc Evoy) 66
Мијата (Miyata S.) 73, 125
Михајлсон (Michaelson) 66
Ната (Natta) 2
Окамото (Okamoto H) 89, 123, 130
Рапи (Rapi S.) 73, 125
Хигер (Heeger A.) 2, 118-120
Ширакава (Shirakawa H.) 2, 3, 118, 119

ИНДЕКС ПОЈМОВА

Анилинијум катјон: 59, 60, 61, 62, 85, 86

Биполарон: 8, 9, 15, 16, 18-22, 50

Доповање: 3, 6, 7, 10-13, 15, 20, 23, 55, 71, 74, 86, 89, 91, 90, 97, 107, 116

дедоповање: 23, 43, 88, 107, 116

допант(и): 9, 12, 13, 17, 23, 71, 74, 76, 84, 89, 90, 96, 97

степен доповања: 19, 20, 24, 27, 47, 73, 74, 87

секундарно: 19

фото: 13

протоновање: 13, 60, 69

депротпновање: 70, 77, 92

Електронска трака: 4, 5

валентна трака: 4, 5, 15, 16

забрањена зона: 4, 5, 15

проводна трака: 4, 5

зонски модел: 5

Електрохемијски извори електричне енергије: 37, 68, 95, 97, 101, 103, 106

електрохемијски кондензатори: 106

Нуклеофилно(ст): 78, 84, 108

Орбитале

атомске: 4

молекулске: 4-6, 23, 99

Поларон: 8, 9, 15, 16, 18 - 22, 49

Полианилин: 10, 11, 13, 14, 17, 18, 32, 33, 35-37, 39, 40, 44, 45, 49, 75

проводљивост: 19, 26, 27

електрохемијска активност: 24, 25

опричка активност: 27-28

синтеза: 59-68, 87, 87-90

примена: 99, 101-106, 110-118
емералдин: 14, 17-19, 24, 33, 47, 59, 62, 64, 65, 67, 87, 87, 98, 116
леукоемералдин: 17, 18, 24, 47, 87, 116
пернингранилин: 17, 18, 24, 33, 47, 62, 87
деградација: 25, 33, 102, 103
производи: 33

Полиацетилен: 1-4, 6-12, 14, 15

Полимеризација: 35, 53-54, 67

електрохемијска: 82, 84-91, 94-96
галваностатска: 36, 79-81, 87-89, 94
потенциодинамичка: 81, 87, 93, 95
само-катализовани процес: 86
ензимски катализована: 68, 78
постполимеризација: 20, 23
хемијска: 61, 63, 66, 69, 73, 76
иницијатори: 54-56, 61, 63, 71, 75

Полимерне светлосно емитујуће диоде: 13, 28, 97-99

Полипирол: 10, 11, 14, 31, 32, 34, 44, 46, 47, 51

проводљивост: 20-23
синтеза: 69-75, 91-96
примена: 100-108, 113, 114, 116
деградација: 32

Полиптофен: 27-28, 58, 110

Радикал(и): 7, 8, 16, 54, 55, 84, 85, 91, 92

анјон: 16
катјон радикал: 8, 9, 16-18, 50, 62, 70, 85-87, 92
анилинијум: 85-87
примарни: 77, 91
пирола: 69, 91
купловање: 77, 91, 92

Реароматизација: 62, 77, 92

Сензори: 97

гасни: 107

електрохемијски: 109

 биоелектрохемијски: 110

оптички: 112

Скенирајуће микроскопије: 43

АФМ: 45, 46

ЕФМ: 46

СЕМ: 43, 66, 89, 90, 95

ТЕМ: 44, 66

Соларне ћелије: 97, 100

Солитон: 7, 8, 15, 16

Спектроскопија/спектри

УВ и видљива: 27, 47, 48, 89

Раманова: 48, 49

електрон спин резонантна: 49

Спектроскопија електрохемијске импеданције: 30, 38, 39-42, 109

 електрично еквивалентно коло: 40-42

 Ренделсово: 40

 Бодеви дијаграми: 39

 Најквистови дијаграми: 39

Спин: 16, 20, 21, 49, 50, 91, 92

Циклични волтамограм(и): 24, 31, 33-35, 51, 88, 93, 95, 103, 104, 110