

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



E47309

การฉีกกระดาษที่โอบห่อฉีกโรตที่ล้มโดยขอซื้อกระดาษห่อฉีกโอบห่อ

นางสาวกัญญา ตปนียากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การสังเคราะห์โคปโพลีโพรพิลีนโดยเอซีพลาสมาพอลิเมอไรเซชัน



นางสาวกัญญา คปนิยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



SYNTHESIS OF DOPED POLYPYRROLE FILM BY AC PLASMA POLYMERIZATION

Mrs. Kanya Tapaneeyakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

กัญญา ตปนียากร: การสังเคราะห์โคปพอลิไพร์โรลฟิล์มโดยเอซีพลาสมาพอลิเมอไรเซชัน (SYNTHESIS OF DOPED POLYPYRROLE FILM BY AC PLASMA POLYMERIZATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.วรวรรณ พันธุมนาวิน : อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ชัยรยง; 99 หน้า

E47309

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างระบบเอซีพลาสมาขึ้นเพื่อใช้ในการสังเคราะห์พอลิไพร์โรลฟิล์มโดยเอซีพลาสมาพอลิเมอไรเซชัน โดยตัวแปรที่ศึกษาในการเกิดพลาสมาพอลิเมอไรเซชันคือความต่างศักย์และเวลาในการสังเคราะห์ในช่วง 800-1500 โวลต์ และ 30-90 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโครงสร้างฟิล์มพอลิไพร์โรลด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่าพอลิไพร์โรลฟิล์มที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีหมู่ฟังก์ชันสอดคล้องกับสารที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี ผลของยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีแสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ได้มีระบบคอนจูเกตที่สั้นลงเมื่อใช้ความต่างศักย์และเวลาในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปีพบว่าผิวฟิล์มมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอที่ความต่างศักย์ต่ำกว่า 1100 โวลต์ นอกจากนี้เมื่อความต่างศักย์สูงกว่า 1100 โวลต์ จะพบเม็ดเล็กๆ บนพื้นผิวฟิล์ม ผลจากเทคนิคเอนเนอร์จิสเปกโทรสโกปี พบว่าอัตราส่วนอะตอมระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 4/1 ถึง 5/1 เมื่อเทียบกับพอลิไพร์โรลในอุดมคติซึ่งมีค่า 4/1 อัตราส่วนอะตอมระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของพลาสมาพอลิไพร์โรลฟิล์มค่อนข้างสูงกว่าพอลิไพร์โรลในอุดมคติ สิ่งนี้สอดคล้องกับความน่าจะเป็นไปได้ที่จะเกิดการแตกของพันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนและคาร์บอนกับคาร์บอนของวงไพร์โรลในระหว่างเกิดพลาสมาพอลิเมอไรเซชัน การวัดค่าการนำไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าฟิล์มพอลิไพร์โรลที่ยังไม่ได้เปีย (3.4×10⁻⁸ ถึง 67.2×10⁻⁸ ซีเมนส์ต่อเซนติเมตร) จะมีค่าสูงกว่าการสังเคราะห์พอลิไพร์โรลด้วยวิธีทางเคมีและวิธีเคมีไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของพอลิไพร์โรลฟิล์มที่ได้เปียภายใน พบว่าพอลิไพร์โรลฟิล์มที่ได้เปียภายนอกจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่ได้เปียภายนอกจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าใกล้เคียงกับตอนที่ยังไม่ได้เปียภายในเวลาสั้น (5 ชั่วโมง) ส่วนการได้เปียแบบภายในค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไป (นานกว่า 120 ชั่วโมง)

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ลายมือชื่อนิสิต..... *กัญญา ตปนียากร*
ปีการศึกษา 2551ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872218223: MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE
 KEYWORDS : CONDUCTIVE POLYMER / POLYPYRROLE / *IN SITU* DOPED / AC
 PLASMA POLYMERIZATION

KANYA TAPANEYAKORN: SYNTHESIS OF DOPED POLYPYRROLE FILM
 BY AC PLASMA POLYMERIZATION. THESIS ADVISOR: ASST. PROF.
 WORAWAN BHANTHUMNAVIN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: ASST. PROF.
 BOONCHOAT PAOSAWATYANYONG, Ph.D., 99 pp

E 47309

This research designed and assembled an AC plasma system for the synthesis of polypyrrole films by AC plasma polymerization. Plasma polymerization parameters studied were voltage and reaction time in the range of 800-1500 V and 30-90 minutes, respectively. Polypyrrole films were characterized by various spectrophotometric methods. Infrared analyses showed absorption frequencies of important functional groups similar to observed in the case of chemically-synthesized materials. UV-Vis spectra of fabricated polypyrrole films suggested that the conjugative systems were decreased as increased the AC voltage and reaction time. Surface analysis by Scanning Electron Microscopy revealed a smooth surface at the voltage less than 1100 V. In addition, when the voltage is higher than 1100 V, there are grains appearing in it. Results from Energy-dispersive x-ray spectroscopy analysis were suggestive of the atomic ratio of carbon to nitrogen (C/N) of these films in the range of 4/1 to 5/1, comparing to the ideal C/N of polypyrrole at 4/1. The C/N ratio of plasma-polymerized polypyrrole films is somewhat higher than the ideal polypyrrole. This is in good agreement with a possibility of partial cleavage of a C-N and a C-C bond in the pyrrole rings during plasma polymerization. Electrical conductive measurements revealed that the undoped polypyrrole films exhibit higher conductivity (67.2×10^{-8} to 3.4×10^{-8} S/cm) than polypyrrole typically prepared from chemical and electrochemical methods. Compared to *in situ* doped polypyrrole films, the conductivities of polypyrrole films synthesized by *ex situ* doped were higher. However, it drastically decreased and reached undoped values in a short time (5 hours) whereas the conductivity of the one synthesized by *in situ* doped method could sustained for a long period of time (more than 120 hours).

Field of study Petrochemistry and polymer science Student's signature Kanya Tap
 Academic year 2008 Advisor's signature W. Bhanthumnavin
 Co-advisor's signature B. Paosawatyanong

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere appreciation and gratitude to my advisor, Assistant Professor Dr. Worawan Bhanthumnavin, and my co-advisor, Assistant Professor Dr. Boonchoat Paosawatyanong for supporting me both in science and life, and encouraging me throughout the course of my study. I am sincerely grateful to the members of the thesis committee, Professor Dr. Pattarapan Prasassarakich, Assistant Professor Dr. Warinthorn Chavasiri, and Assistant Professor Dr. Voravee P. Hoven for their helpful comments, and suggestions.

I am grateful to Associate Professor Dr. Sanong Ekgasit, and Miss Duangta Tongsakul for ATR-FTIR facility, and Assistant Professor Dr. Oravan Sanguanruang for giving me the opportunity to use the solid-state UV-Vis spectrophotometer.

My thanks go to Dr. Dusit Ngamrunroj and Miss Kanchaya Honglertkongsakul and Plasma lab members for the invaluable guidance, comments, and suggestions during my thesis work.

Another gratitude is given to Mr. Anusorn Adirekkittikun of Naretlohasupply Ltd. and Mr. Hunsa Boonhao for suggestion in construction of AC reactor.

Finally, I would like to express my deepest appreciation to my family, and all my friends for their entire care, love, patience and encouragement.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT (THAI)	iv
ABSTRACT (ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENTS	vii
LIST OF TABLES.....	x
LIST OF FIGURES	xii
LIST OF ABBREVIATIONS.....	xvii
LIST OF SYMBOLS	xviii
CHAPTER I INTRODUCTION.....	1
1.1 Statement of problem.....	1
1.2 Objectives	2
1.3 Research plan and the scope of investigation	2
CHAPTER II THEORY AND LITTERATURE REVIEW	4
2.1 Introduction to conjugated polymers	4
2.2 Classification of conjugated polymers	4
2.3 Conjugated polymers: organic semiconductors.....	6
2.4 Applications of conducting polymers.....	8
2.5 Effect of doping	9
2.6 Mechanism of conductivity	10
2.7 Polypyrrole	11
2.8 Synthesis of polypyrrole	14
2.7 Chemical polymerization o polypyrrole	14
2.8 Electrochemical polymerization of polypyrrole	16
2.9 Conductivity measurement by two point probe technique	18
2.10 Plasma.....	20
2.11 Plasma polymerization.....	23

CHAPTER III AC PLASMA SYSTEM AND EXPERIMENTAL	32
3.1 AC plasma system	32
3.1.1 The design and construction of the AC plasma system	32
3.1.1.1 Vacuum chamber	34
3.1.1.2 Power supply	34
3.1.1.3 Monomer vessel.....	35
3.1.1.4 Cold trap	35
3.1.2 Testing of the AC plasma system	37
3.1.2.1 Testing of the assembly under vacuum	37
3.1.2.2 Testing of chemical recovery by cold trapping	38
3.1.2.3 Testing of power supply	39
3.1.2.4 Determination of plasma temperature	41
3.2 Experimental.....	44
3.2.1 Materials	44
3.2.2 Equipment.....	44
3.2.2.1 Attenuated total reflection-Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy	44
3.2.2.2 Solid-state UV-Visible spectroscopy.....	44
3.2.2.3 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	44
3.2.2.4 Energy-dispersive x-ray spectroscopy (EDS).....	45
3.2.2.2 Electrical conductivity measurements	45
3.2.3 Preparation of glass substrates.....	45
3.2.4 Plasma polymerization of polypyrrole.....	46
3.2.5 Plasma polymerization of polypyrrole and <i>in situ</i> doping with iodine	47
3.2.6 Chemical synthesis of polypyrrole	48
CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSIONS	49
4.1 Plasma-polymerization pyrrole.....	49
4.1.1 Characterization of plasma-polymerized polypyrrole	50
4.1.1 Functional groups and chemical characteristics	50
4.1.2 Elemental composition of the films.....	53

4.1.3	Film morphology	55
4.1.4	Optical characteristics of the films	58
4.1.5	Electrical conductivity	60
4.2	<i>In situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole.....	61
4.2.1	Characterization of <i>in situ</i> iodine-doped plasma- polymerized polypyrrole.....	61
4.2.1.1	Functional groups and chemical characteristics	61
4.2.1.2	Elemental composition of the films.....	64
4.2.1.3	Film morphology	65
4.2.1.4	Optical characteristics of the films	67
4.2.1.5	Electrical conductivity	70
CHAPTER V CONCLUSION AND SUGGESTIONS		75
REFERENCES		78
APPENDICES		84
APPENDIX A.....		85
APPENDIX B.....		86
APPENDIX C.....		90
APPENDIX D.....		93
APPENDIX E.....		94
VITAE		99

LIST OF TABLES

Table	Page
2.1 Application of conducting polymers	9
3.1 The current of step up circuit..	40
3.2 Nitrogen spectroscopic data at 0.4 torr for 1000 V.....	42
4.1 ATR FT-IR band assignments of chemically-synthesized polypyrrole and plasma-polymerized polypyrrole	50
4.2 The AC voltages versus C/N ratio of plasma-polymerized polypyrrole	53
4.3 The film thickness at various AC voltages and reaction times	55
4.4 The conclusion of UV-Vis maximum absorption (λ_{\max}) of plasma- polymerized polypyrrole	58
4.5 The electrical conductivity of AC plasma-polymerized polypyrrole.....	61
4.6 The AC voltages versus C/N ratio (a) and I/N ratio (b) of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole	64
4.7 The film thickness of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at various AC voltages and reaction times.	65
4.8 The summation of UV-Vis maximum absorption (λ_{\max}) of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole	68
4.9 The electrical conductivity of <i>in situ</i> iodine-doped plasma- polymerized polypyrrole films.....	70
4.10 Compare the electrical conductivity of iodine-doped polypyrrole by conventional and different plasma polymerization method	73
C.1 The elemental composition of plasma-polymerized polypyrrole.....	90
C.2 The elemental composition of <i>in situ</i> iodine-doped plasma- polymerized polypyrrole	92
E.1 Electrical conductivity of AC plasma-polymerized polypyrrole	94
E.2 Electrical conductivity of iodine-doped AC plasma- polymerized polypyrrole (<i>in situ</i> doping).....	95
E.3 Electrical conductivity of iodine-doped AC plasma- polymerized polypyrrole (<i>in situ</i> doping) at 800 V for 30 minute	96

Table	Page
E.4 Electrical conductivity of iodine-doped AC plasma-polymerized polypyrrole (<i>in situ</i> doping) at 800 V for 60 minute	96
E.5 Electrical conductivity of iodine-doped AC plasma-polymerized polypyrrole (<i>in situ</i> doping) at 800 V for 90 minute	97
E.6 Electrical conductivity of AC plasma-polymerized polypyrrole at 800 V for 30 minute and iodine <i>ex situ</i> doping for 24 hours.....	97
E.7 Electrical conductivity of AC plasma-polymerized polypyrrole at 800 V for 60 minute and iodine <i>ex situ</i> doping for 24 hours.....	98
E.8 Electrical conductivity of AC plasma-polymerized polypyrrole at 800 V for 90 minute and iodine <i>ex situ</i> doping for 24 hours.....	98

LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 Conductivity of different materials.....	4
2.2 Molecular structures of examples of conjugated polymers.....	5
2.3 Classification of conducting polymers.....	6
2.4 Energy band gaps in materials	7
2.5 Proposed chemical structures for the growth of polypyrrole. (a. α - α' linkages; b. α - β' linkages).....	12
2.6 Neutral state, polaron and bipolaron structures for lightly and heavily doped polypyrrole, respectively, with their corresponding schematic band structures and the allowed electronic transitions	13
2.7 Mechanism of chemical polymerization of polypyrrole	16
2.8 Mechanism of electrochemical polymerization	18
2.9 (a) two-point probe method for measuring the sheet resistance of thin film; (b) a depicted model of the conductor film with length L , width w , and thickness d	19
2.10 The four states of matter; plasma is sometimes referred to as the fourth state.....	20
2.11 General mechanism of gas discharge polymerization.....	23
2.12 Polymer prepared from chemical polymerization compared to that from plasma polymerization method	25
3.1 The drawing of AC plasma system by AutoCAD program version 2007	33
3.2 The photograph of AC plasma system..	33
3.3 (a) Schematic diagrams of vacuum chamber by AutoCAD program version 2007 and (b) photographs of the actual vacuum chamber.....	34
3.4 Diagram of step up circuit.....	35
3.5 The photograph of the transformer box.....	35
3.6 (a) The design of monomer vessel by AutoCAD program version 2007 in millimeter unit and (b) the photograph of the monomer vessel	36

Figure	Page
3.7 Illustration of the cold trap by AutoCAD program version 2007(millimeter unit) (a) and the cold trap used in this study (b).....	36
3.8 The graph of the decrease pressure versus times	37
3.9 The graph of the increase pressure versus times	38
3.10 The cold trap showing region I for residues passing through the inside tube and region II for dry ice and acetone.	38
3.11 The linear graph showing the calibration of voltage for multimeter with voltmeter.	39
3.12 The linear graph showing the calibration of current for multimeter with ammeter	40
3.13 Position of OES probe during plasma temperature measurement.	41
3.14 Optical emission spectrum of nitrogen plasma in the range of 500 to 1500 nm at 0.4 Torr for 1000 V.	43
3.15 The peak intensity ratio versus electron temperature.....	43
3.16 The substrate preparation for measurement of electrical conductivity.....	46
3.17 Schematic representation of the clean glass substrate in the chamber.	46
3.18 OES spectrum of iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole.	47
4.1 Example of plasma-polymerized polypyrrole films by AC plasma polymerization.....	49
4.2 FTIR spectrum of liquid pyrrole, and ATR-FTIR spectra of chemically-synthesized, and plasma-polymerized polypyrrole at different AC voltage at 30 minute reaction time	51
4.3 Proposed structures of plasma-polymerized polypyrrole.....	54
4.4 Morphology of plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 30 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V	56
4.5 Morphology of plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 60 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V	56

Figure	Page
4.6 Morphology of plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 90 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V	57
4.7 Cross-sectional analysis of plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 30 min and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V	57
4.8 UV-Vis absorbance spectra of plasma-polymerized polypyrrole at different AC voltage at 30 minute reaction time.	59
4.9 UV-Vis absorbance spectra of plasma-polymerized polypyrrole at different AC voltage at 60 minute reaction time.	59
4.10 UV-Vis absorbance spectra of plasma-polymerized polypyrrole at different AC voltage at 90 minute reaction time	60
4.11 The plot of current versus voltage at room temperature	61
4.12 FTIR spectrum of liquid pyrrole, and ATR-FTIR spectra of undoped at 800 V for 30 minute and <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at different AC voltages at 30 minute reaction time	63
4.13 Morphology of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 30 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V	66
4.14 Morphology of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 60 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V	66
4.15 Morphology of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 90 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V	67

Figure	Page
4.16 UV-Vis spectra of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at 30 minute and various voltages.....	68
4.17 UV-Vis spectra of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at 60 minute and various voltages.....	69
4.18 UV-Vis spectra of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at 90 minute and various voltages.....	69
4.19 The conductivity of undoped and <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at 30 minute and various voltages.....	71
4.20 The conductivity of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole and <i>ex situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at various reaction times for 800 V as a function of exposure times.....	72
A.1 Dimension of standard NW 16 flange	85
A.2 Dimension of standard NW 40 flange	85
B.1 FTIR spectrum of liquid pyrrole, and ATR-FTIR spectra of chemically-synthesized, and plasma-polymerized polypyrrole at different AC voltage at 60 minute reaction time	86
B.2 FTIR spectrum of liquid pyrrole, and ATR-FTIR spectra of chemically-synthesized, and plasma-polymerized polypyrrole at different AC voltage at 90 minute reaction time	87
B.3 FTIR spectrum of liquid pyrrole, and ATR-FTIR spectra of undoped at 800 V for 60 minute and <i>in situ</i> iodine-doped plasma- polymerized polypyrrole at different AC voltages at 60 minute reaction time	88
B.4 FTIR spectrum of liquid pyrrole, and ATR-FTIR spectra of undoped at 800 V for 90 minute and <i>in situ</i> iodine-doped plasma- polymerized polypyrrole at different AC voltages at 90 minute reaction time	89
C.1 EDS spectrum of plasma-polymerized polypyrrole at 1000 V at 30 minute reaction time	91
C.2 EDS spectrum of <i>in situ</i> iodine-doped plasma-polymerized polypyrrole at 1000 V at 30 minute reaction time	91

D.1	Cross-sectional analysis of plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 60 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V.....	93
D.2	Cross-sectional analysis of plasma-polymerized polypyrrole films on the glass substrate determined by scanning electron microscopic technique at 90 minute and various voltages; (a) 800 V, (b) 900 V, (c) 1000 V, (d) 1100 V, (e) 1300 V, and (f) 1500 V.....	93

LIST OF ABBREVIATIONS

sccm	: Standard Cubic Centimeters per Minute
DC	: Direct Current
AC	: Alternating Current
W	: watt
S	: siemen
μm	: micrometer
min	: minute
mL	: milliliter
cm	: centimeter
nm	: nanometer
mm	: millimeter
m	: meter
V	: voltage
A	: ampere
I	: current
MHz	: Mega Hertz
ATR-FTIR	: Attenuated total reflection-Fourier transform infrared
UV	: Ultraviolet
SEM	: Scanning electron microscope
EDS	: Energy-dispersive x-ray spectroscopy
OES	: Optical emission spectroscopy
E_g	: band gap
VB	: valence band
CB	: conduction band
R	: resistance
eV	: electron volt

LIST OF SYMBOLS

σ	: conductivity
ρ	: resistivity
Ω	: ohms
λ	: wavelength
I	: intensity
A	: transition probability
g	: statistical weight
E	: Energy level
L	: length
w	: width
n	: negative
p	: positive
$^{\circ}\text{C}$: degree celsius