กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภท เงินอุดหนุนทั่วไป/เงินรายได้ ประจาปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

นายเอกรัฐ เดชศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
คำย่อและสัญลักษณ์	XIV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี	4
2.2 ซิลเวอร์นาโน (Silver nano)	7
2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conductive Polymer)	10
2.4 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน	18
2.4.1 การพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค	18
2.4.2 สังเคราะห์ด้วยวิธีดิสเพอร์ชันพอลิเมอไรเซชัน	19
2.4.3 วิธีอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน	19
2.5 เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer)	19
2.6 ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัด (Sensing Application)	22
2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	23
2.7.1 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)	23
2.7.2 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ; FT-IR	25
2.7.3 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM)	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) 28

2.7.5 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer) 30

2.7.6 เครื่องวัด Zeta potential analysis 32

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33

2.8.1 พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดิสเพอร์ชันพอลิเมอไรเซชัน 33

2.8.2 การทำตัวรับรู้แก๊ส NH_3 และ HCl ด้วยพอลิอะนิลีนที่เคลือบบนพื้นผิวของเซรามิกซ์โดยวิธี Interfacial polymerization 34

2.8.3 การสังเคราะห์และการวิเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ล้อมรอบไปด้วยพอลิอะนิลีนที่อยู่ในรูปของผงเคมี 34

2.8.4 การสังเคราะห์ซิลเวอร์ที่มีเสถียรภาพสูงด้วยสารละลายซัลโฟเนตพอลิอะนิลีน 35

2.8.5 การสังเคราะห์และอธิบายลักษณะของอนุภาคเงิน ที่ล้อมรอบด้วยพอลิอะนิลีนในระดับนาโน 36

2.8.6 การสังเคราะห์อนุภาคเงินขนาดนาโนที่ล้อมรอบไปด้วยพอลิอะนิลีนโดยวิธี interfacial polymerization และการศึกษาการประยุกต์ใช้ออกซิเดชันทางเคมีไฟฟ้าของไฮดราซีน 36

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 37

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ 37

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย 39

3.4.1 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนแบบระหว่างวัฏภาค 39

3.4.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน (silver nanoparticle) ด้วยCo-PSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน 41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 44

3.4.4 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกด้วยเทคนิค LbL 47

3.4.5 การเลือกค่าความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ใช้สังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่เหมาะสม 48

3.4.6 การศึกษากลศาสตร์การดูดซับ ของการเคลือบฟิล์มด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 49

3.4.7 วิธีการทดสอบความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มที่เคลือบด้วยสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลายพอลิอะนิลีน 50

3.4.8 การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลาย แอมโนเนีย 51

3.4.9 การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน 53

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่ละลายน้ำได้โดยใช้เทคนิค Interfacial polymerization 54

4.2 สภาวะในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วยเทคนิค Interfacial polymerization 57

4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS ที่มีผลต่อการพอลิเมอไรเซชัน 58

4.4 คุณสมบัติการเป็นตัวรับรู้ของสารละลาย PANi-CoPSS 63

4.5 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน 67

4.5.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน 67

4.5.2 การศึกษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโน 69

4.6 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆ 72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 คุณลักษณะลักษณะของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน	74
4.8 การสร้างฟิล์มบางของอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยการใช้เทคนิคเลเยอร์-บาย-เลเยอร์	77
4.8.1 การวิเคราะห์แผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโน	77
4.8.2 ค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษากลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption)	78
4.8.3 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบฟิล์มที่มีต่อการสร้างฟิล์มบางอนุภาคเงิน ในระดับนาโน	82
4.9 คุณลักษณะของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สร้างโดยใช้ เทคนิคเลเยอร์-บาย-เลเยอร์	84
4.9.1 ความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง AFM	84
4.9.2 การวิเคราะห์สัณฐานของฟิล์มบางจากวัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง XRD	87
4.10 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย	89
4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน	92
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	94
5.1 สรุปผลการวิจัย	94
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	97
ภาคผนวก ก	101
ภาคผนวก ข	106
ประวัติผู้วิจัย	117
สรุปการใช้จ่ายเงิน	120
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	121

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบขนาดตามหน่วยวัดทางคณิตศาสตร์	6
2.2 ตัวอย่างโมเลกุลที่มีคุณสมบัติเป็น Soft Base และ Soft Acid	9
2.3 ตัวอย่างพอลิเมอร์นำไฟฟ้า	11
2.4 พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในการเตรียม PE-PE	20
3.1 อัตราส่วนสารเคมีของการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วย CoPSS	39
3.2 อัตราส่วนในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 1 wt%	45
3.3 อัตราส่วนในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.50 weight%	45
4.1 สภาวะที่ดีที่สุดที่ใช้ในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS	57
4.2 เปรียบเทียบระหว่างค่า pH กับ λ_{max} ของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน	68
4.3 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ที่ค่า pH แตกต่างกัน ก่อนและหลังจากทำการ Centrifuge	71
4.4 เปรียบเทียบค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λmax) ของการดูดกลืนแสงอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS มีความเข้มข้นต่างๆ	73
4.5 อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ความเข้มข้น PANi-CoPSS 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ด้วยกล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาค	74
4.6 ภาพ AFM และ ค่าR_{RMS} ของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่จำนวนชั้นที่แตกต่างกัน	85

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคต่างๆ	5
2.2	กระบวนการสั่นของพลาสมอน (Plasmon oscillation) ของอนุภาคทรงกลม	7
2.3	เครื่องหมาย สีของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีขนาดต่างๆกัน	8
2.4	แสดงอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อเกิดอันตรกิริยากับหมู่ซัลฟิวริก เพื่อหยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์ในเชื้อแบคทีเรีย	10
2.5	อลัน จีแมกไดอาร์มิด, ฮิเดกิ ชิรากาวา และอลัน เจ ฮีเกอร์ ผู้ค้นพบพอลิเมอร์นำไฟฟ้า	11
2.6	สเปคตรัมการดูดกลืนแสงได้ของพอลิอะนิลีน	13
2.7	โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆ และ การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และปฏิกิริยากรด-เบส	14
2.8	การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของอะนิลีนแบบ Head-to-tail	15
2.9	การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง radical cation ของอะนิลีนในแบบ Tail-to-tail	16
2.10	สมการการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะนิลีน	16
2.11	การโด๊ปพอลิอะนิลีนในรูป EBให้เป็น ES	17
2.12	การควบแน่นระหว่างชั้นน้ำกับชั้นสารละลายและการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการ Interfacial polymerization	18
2.13	การประดิษฐ์ฟิล์มบางด้วยเทคนิคเลเยอร์-บาย-เลเยอร์	22
2.14	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของ Bragg's Law	24
2.15	Infrared spectrum ของ Aniline	25
2.16	การทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม	26
2.17	เครื่องAtomic force microscope	27
2.18	พื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM	28
2.19	ส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.20	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของอนุภาคนาโน	29
2.21	ส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer	31
2.22	สเปคตรัมของ UV-Vis Spectrophotometer เมื่อความเข้มข้นแตกต่างกัน	31
2.23	สร้างกราฟมาตรฐานจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้	31
2.24	ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วบนผิวของอนุภาคสารแขวนลอย	33
3.1	แผนผังวิธีการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วย Co-PSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	40
3.2	แผนผังวิธีการหา wt% ของสารละลาย PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ได้	41
3.3	แผนผังวิธีการเตรียมสารละลาย PANi-CoPSS ให้มี pH แตกต่างกัน	42
3.4	แผนผังวิธีสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน	43
3.5	แผนผังวิธีการเตรียมสารละลาย PANi-CoPSS 1 wt% และ 0.5 wt% ให้มี pH 5	44
3.6	แผนผังวิธีสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่ pH 5 ให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	46
3.7	การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกด้วยสารละลาย PDAD และสารละลาย PSS	47
3.8	แผนผังวิธีการเลือกค่าความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS	48
3.9	วิธีการศึกษากลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption)	49
3.10	วิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนให้จำนวนชั้นของฟิล์มแตกต่างกัน	50
3.11	การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายแอมโนเนีย	52
3.12	การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน	53
4.1	แผนภาพการสังเคราะห์ PANi-CoPSS	55
4.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ PANi-CoPSS	56
4.3	ค่าการดูกลืนแสงของ PANi-CoPSS	56
4.4	ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS แตกต่างกัน	58

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS แตกต่างกันที่ความยาวคลื่นสูงสุด	59
4.6	สเปคตรัม FTIR ของ PANi-CoPSS, Co-PSS และ PANi	60
4.7	แสดงค่าศักย์เซต้าของ PANi-CoPSS ที่ค่า pH ต่างๆ	62
4.8	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ของ PANi-CoPSS	63
4.9	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH แตกต่างกัน	64
4.10	สีของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH แตกต่างกัน	64
4.11	ค่าเปรียบเทียบระหว่าง λ_{max} กับ pH ของสารละลาย PANi-CoPSS	65
4.12	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละ pH ที่ 575 นาโนเมตร และ 800 นาโนเมตร	66
4.13	สีของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH แตกต่างกัน	67
4.14	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ที่ pH แตกต่างกัน	68
4.15	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนหลังจาก Centrifuge แล้ว	69
4.16	การเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ก่อนและหลังจากทำการ Centrifuge	70
4.17	ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS มีความเข้มข้นต่างๆ	72
4.18	ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อไอออนของ PANi-CoPSS เข้าทำปฏิกิริยา	76
4.19	ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโน ที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆ	77
4.20	ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.005 wt%	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.21 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.10 wt% 80

4.22 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.80 wt% 82

4.23 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่มีจำนวนชั้นการเคลือบที่แตกต่างกัน 83

4.24 กราฟมาตรฐานเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} กับจำนวนชั้นการเคลือบฟิล์ม 83

4.25 รูปแบบของ XRD ในอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ความเข้มข้นของ PANi-CoPSS เท่ากับ 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ตามลำดับ 88

4.26 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 89

4.27 ภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนจากเครื่อง AFM 91

4.28 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายที่มี ค่า pH แตกต่างกัน 93