

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ญ
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	5
2.2 ตัวรับแสง (Photo Sensitizer)	7
2.3 ฟิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสง	8
2.4 ความหมายของพลาสมา	9
2.5 กระบวนการเกิดพลาสมา	10
2.5.1 Ionization	10
2.5.2 Excitation	10
2.5.3 Dissociation	10
2.6 ระบบพลาสมา Chemical Vapor Deposition (CVD)	11
2.6.1 Plasma-Enhanced Chemical-Vapor Deposition (PECVD)	12
2.6.2 การออกแบบระบบ (System Design)	13
2.7 วิธีการเคลือบโดยการระเหยสาร (Evaporation)	20
2.7.1 การระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ (Thermal Evaporation in Vacuum)	21

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
2.7.2	ระบบการทำงานของเครื่องเคลือบสุญญากาศแบบระเหยสารเคลือบ	22
2.8	การเคลือบแบบใช้ไอออนช่วย	22
2.9	การเคลือบด้วย Cold Plasma	23
2.10	สภาพชอบน้ำ (Hydrophilic)	25
2.10.1	พลังงานผิว (Surface energy)	27
2.10.2	การคำนวณหาค่าพลังงานพื้นผิว	28
2.10.3	เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle)	29
2.11	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope (SEM))	30
2.11.1	อันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับวัสดุ	31
2.11.2	ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง SEM	32
2.11.3	กระบวนการทำให้เกิดภาพของ SEM	33
2.11.4	วัสดุที่สามารถตรวจสอบได้โดย SEM	34
2.11.5	วัสดุที่ไม่สามารถตรวจสอบได้โดยเครื่อง SEM	35
2.12	สเปกโทรสโคปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)	36
2.13	X-RAY PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY (XPS)	37
2.13.1	ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ XPS	38
2.13.2	สเปกตรัม XPS และการวิเคราะห์	39
2.14	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
3.	วิธีการดำเนินการวิจัย	45
3.1	ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัย	45
3.2	การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	45
3.2.1	กระบวนการเคลือบฟิล์มโดยวิธีต่างๆ	45
3.2.2	ศึกษาการหลักทำงานของเครื่องมือชนิดต่างๆ	47
3.3	การออกแบบการดำเนินการทดลอง	47
3.3.1	วัสดุที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง	47
3.3.2	สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง	47

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง	48
3.4 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง	50
3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการเคลือบผิวโดยใช้เทคนิค Naturatron Sputtering และ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition	50
3.4.2 ขั้นตอนกระบวนการเคลือบผิว	51
3.4.3 ขั้นตอนการทดสอบ	56
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	62
4.1 การสร้างฟิล์ม อินเดียม ทิน ออกไซด์ (Indium Tin Oxide : ITO) ลงบนพลาสติก	62
4.1.1 การทดสอบชิ้นงานด้วย SEM จากกระบวนการสร้างฟิล์มบาง ITO	62
4.1.2 การทดสอบชิ้นงานด้วย EDX จากกระบวนการสร้างฟิล์มบาง ITO	63
4.2 การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้พลาสมา ลงพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำ	66
4.2.1 การทดสอบชิ้นงานด้วย Contact angle meter จากการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ของพื้นผิว SiO ₂	67
4.2.2 การทดสอบชิ้นงานด้วย XPS จากการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ของพื้นผิว SiO ₂	76
4.3 การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้พลาสมา ลงพื้นผิวของ PEN	80
4.3.1 การทดสอบชิ้นงานด้วย Contact angle meter จากการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ของพื้นผิว PEN	80
4.3.2 การทดสอบชิ้นงานด้วย XPS จากการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ของพื้นผิวพลาสติก PEN	90
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	95
5.1 สรุปผลการทดลอง	95
5.1.1 การสร้างฟิล์มบาง ITO ลงบนวัสดุที่เป็นพลาสติกชนิด PEN โดยใช้เทคนิค Naturatron Sputtering	95

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.2 การปรับปรุงสมบัติพื้นผิว SiO ₂ โดยใช้เทคนิค Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition	96
5.1.3 การปรับปรุงสมบัติพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้เทคนิค Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition	97
5.2 ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารอ้างอิง	102
ภาคผนวก	
บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	107
ประวัติผู้วิจัย	127

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 โลหะและอัลลอยด์ที่ถูก Nitride ด้วย Cold plasma	24
2.2 กลุ่มของธาตุทรานซิชันและแรเอิร์ทที่มีสมบัติ Paramagnetic และ Diamagnetic	41
2.3 ค่าของพลังงานยึดเหนี่ยวที่ตำแหน่งพิกต่างๆ	43
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้กระบวนการพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering	53
3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้กระบวนการทริตเมนต์พื้นผิว	55
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO ₂) โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว	68
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทริตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์ กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO ₂) โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว	69
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์ กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO ₂) โดยใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน	70
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทริตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์ กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO ₂) โดยใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน	71
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนกับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์ กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO ₂)	72
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว	81
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการทริตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว	82
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้การผสมกันของแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจน	83
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทริตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้การผสมกันของแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจน	85
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนกับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์ กับพื้นผิวพลาสติก PEN	86
5.1 ร้อยละของธาตุที่อยู่บนพื้นผิวในชั้นของ PEN กับชั้นของ ITO	96

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า	
1.1	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง	2
2.1	โครงสร้างชั้นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	5
2.2	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	6
2.3	ระดับพลังงานของ Eosin Y และ ZnO	7
2.4	โครงสร้างผลึกของ ITO	8
2.5	โครงสร้างทางระดับพลังงานของ ITO	9
2.6	กระบวนการของปฏิกิริยา Plasma-Enhanced CVD (PECVD)	12
2.7	Parallel-plate reactor ที่ reaction gas ไหลแบบ radially	14
2.8	ชุด Reactor แบบ Inductively ของ PECVD	15
2.9	Tubular reactor ที่มี Electrodes หลายตัว (Multi-electrodes)	16
2.10	Reactor ของ PECVD ที่ใช้ Cathode ที่วางในแนวตั้งสองข้างและ Substrate holder ทั้งสองข้าง	16
2.11	Reactor ของ Microwave PECVD	17
2.12	โครงแบบของ PECVD reactor	19
2.13	การเคลื่อนที่โดยวิธีการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนแบบใช้ไอออนช่วย	20
2.14	อุปกรณ์ Large-area plasma treatment 2 แบบ สำหรับ polymer surface	25
2.15	Wetting State จากแนวคิดของ Young	26
2.16	มุมสัมผัสค่าต่างๆ บนพื้นผิววัสดุ	27
2.17	ลักษณะพลังงานพื้นผิว	28
2.18	องค์ประกอบหลักของเครื่องวัดมุมสัมผัส	29
2.19	ชนิดของอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับวัสดุที่บริเวณผิวหน้าของชิ้นงาน	32
2.20	ระดับชั้นพลังงานในอะตอม	32
2.21	ระดับชั้นพลังงานในอะตอม	33
2.22	องค์ประกอบของเครื่องเอ็กซ์เรย์แบบกระจายพลังงาน	36
2.23	การเปลี่ยนชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมส่งผลให้เกิดรังสีเอ็กซ์	36

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
2.24	แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ XPS	38
2.25	สเปกตรัม XPS ของโลหะ Palladium	39
2.26	ตัวอย่างของพีคที่เกิดจาก X-ray Satellites จากข้อัวแโนดที่เป็นแมกนีเซียม	40
2.27	Multiplet splitting ที่พีค 3s ในสเปกตรัม XPS ของโครเมียม	42
2.28	Spin-orbit splitting ที่พีค 3d ในสเปกตรัม XPS ของโลหะ Palladium	42
2.29	ตัวอย่างสเปกตรัม XPS ของทองแดงบริสุทธิ์ (Cu)	42
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	46
3.2	แผ่นซิลิกอน กับ PEN	47
3.3	เครื่องล้างความถี่สูง	48
3.4	เครื่องพลาสมาแบบไอระเหยเคมี	48
3.5	เครื่อง Contact angle meter	49
3.6	เครื่อง X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)	49
3.7	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	50
3.8	เครื่องล้างความถี่สูงสำหรับการทดสอบ	51
3.9	การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเมทานอล	51
3.10	อิเล็กโตรดด้านล่างของเครื่องพลาสมา	52
3.11	อิเล็กโตรดด้านบนของเครื่องพลาสมา	52
3.12	ไอโซแกรมของระบบพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering	53
3.13	การเกิดพลาสมาขณะทำการเคลือบ	54
3.14	ระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition	54
3.15	ไอโซแกรมของระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition	55
3.16	การเกิดพลาสมาขณะทำการกระบวนการทรีตเมนต์พื้นผิว	56
3.17	เข็มที่ใช้ทำหยดน้ำในการทดสอบ	57
3.18	ส่วนแสดงผลของโปรแกรม Famas	57
3.19	การทดสอบสมบัติการชอบน้ำ	58

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.20	ชิ้นงานที่อยู่บน Substrate	58
3.21	ชิ้นงานขณะอยู่ในเครื่อง XPS	59
3.22	ค่าความดันเครื่อง XPS	59
3.23	ผลการวิเคราะห์ขณะกำลังวิเคราะห์ผล	60
3.24	แท่นวางชิ้นงานสำหรับทดสอบด้วยเครื่อง SEM/EDS	60
3.25	การนำชิ้นงานเข้าสู่เครื่อง SEM/EDS	61
3.26	การวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง SEM/EDS	61
4.1	ภาพตัดของฟิล์มบาง ITO ที่สร้างขึ้นบนพื้นผิวของพลาสติกชนิด PEN	63
4.2	สเปกตรัมของ Ti-U ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO	63
4.3	สเปกตรัมของ Na-Sc ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO	64
4.4	สเปกตรัมของ Pd-Cd ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO	65
4.5	สเปกตรัมของ Cl ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO	65
4.6	สเปกตรัมของ Cr-Fe ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO	66
4.7	มุมสัมผัสที่ 35.8 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	67
4.8	มุมสัมผัสที่ 8.3 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	68
4.9	มุมสัมผัสที่ 8.6 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	69
4.10	มุมสัมผัสที่ 9.6 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	70
4.11	มุมสัมผัสที่ 8.4 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	71
4.12	มุมสัมผัสที่ 5.9 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	73
4.13	เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยน RF-Power กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	73
4.14	เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนเวลาในการทรีตเมนต์กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	74
4.15	มุมสัมผัสเมื่อทำการปรับอัตราการใช้แก๊สออกซิเจน กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO_2)	75
4.16	สเปกตรัมของ wide scan ในพื้นผิวของซิลิกอน (SiO_2)	76

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
4.17	การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ wide scan บนพื้นผิวของซิลิกอน (SiO_2) เมื่อได้รับการ ทริตเมนต์ด้วยแก๊สอาร์กอนและการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน	77
4.18	สเปกตรัมของ O1s scan ในพื้นผิวของซิลิกอน (SiO_2)	78
4.19	การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ O1s scan บนพื้นผิวของซิลิกอน (SiO_2) เมื่อได้รับการ ทริตเมนต์ด้วยแก๊สอาร์กอนและการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน	78
4.20	สเปกตรัมของ C1s scan ในพื้นผิวของซิลิกอน (SiO_2)	79
4.21	การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ C1s scan บนพื้นผิวของซิลิกอน (SiO_2) เมื่อได้รับการ ทริตเมนต์ด้วยแก๊สอาร์กอนและการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน	80
4.22	มุมสัมผัสที่ 51.5 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN	81
4.23	มุมสัมผัสที่ 36 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN	82
4.24	มุมสัมผัสที่ 38.4 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN	83
4.25	มุมสัมผัสที่ 6.4 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN	84
4.26	มุมสัมผัสที่ 9.1 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN	85
4.27	มุมสัมผัสที่ 6.3 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN	86
4.28	เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊ส อาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยน RF-Power กับพื้นผิวพลาสติก PEN	87
4.29	เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊ส อาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนเวลาในการทริตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN	88
4.30	มุมสัมผัสเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนบนพื้นผิวพลาสติก PEN	89
4.31	สเปกตรัมของ wide scan ในพื้นผิวของพลาสติก PEN	90
4.32	การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ wide scan บนพื้นผิวพลาสติก PEN เมื่อไม่ได้รับการ ทริตเมนต์กับการทริตเมนต์ด้วยผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน	91
4.33	สเปกตรัมของ O1s scan ในพื้นผิวของพลาสติก PEN	92
4.34	การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ O1s scan บนพื้นผิวพลาสติก PEN เมื่อไม่ได้รับการ ทริตเมนต์กับการทริตเมนต์ด้วยผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน	92
4.35	สเปกตรัมของ wide scan ในพื้นผิวของพลาสติก PEN	93

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.36 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ C1s scan บนพื้นผิวพลาสติก PEN เมื่อไม่ได้รับการ ทรีตเมนต์กับการการทรีตเมนต์ด้วยผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน	94
5.1 กลไกของระบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition บนพื้นผิว SiO ₂	97
5.2 ร้อยละอัตราการเปลี่ยนแปลงพันธะในการทรีตเมนต์ด้วยแก๊สอาร์กอนและออกซิเจน ผสมกันกับไม่ได้รับการทรีตเมนต์	98
5.3 อัตราส่วนของ C-H/C-O และ C-H/O=C-O เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของ ออกซิเจนบนพื้นผิวพลาสติก PEN	99
5.4 กลไกและโครงสร้างทางเคมีของแผ่นพลาสติก PEN	100