

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสติกที่กระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ
เพื่อเคลือบผิวพอลิเมอร์ด้วยโลหะ



T119197

นางสาว ชลธิชา วโรกร

นางสาว ชัชชนก วัฒนวิษ

นาย ชุตติพงศ์ แซ่ซ้อ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119197
วัน,เดือน,ปี.....- 6 S.ค. 2554

b.....122670210
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

**SURFACE MODIFICATION BY MICROWAVE INDUCED PLASMA
FOR METAL ELECTROLESS PLATING ON POLYMER**



**CHOLTHICHA VAROKORN
CHATCHANOK WATTANAWAT
CHUTIPHONG SAE-SUE**

**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญานิพนธ์เรื่อง การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่กระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อเคลือบผิว
พอลิเมอร์ด้วยโลหะ


โดย นางสาว ชลธิชา วโรกร
นางสาว ชัชชนก วัฒนวิษ
นาย ชุตติพงษ์ แซ่ซื่อ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อภิวัฒน์ นัมคณิศรณ
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อภิวัฒน์ นัมคณิศรณ)


.....กรรมการ
(ผศ.รินฤดี เบญจางคประเสริฐ)


.....กรรมการ
(ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่กระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อเคลือบผิวพอลิเมอร์ด้วยโลหะ
โดย	ชลธิชา วโรกร รหัสนักศึกษา 50010317 ชัชชนก วัฒนวิษ รหัสนักศึกษา 50010335 ชุติพงศ์ แซ่ซื่อ รหัสนักศึกษา 50010382
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน	ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมภคสิริสรณ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์เพื่อให้สามารถเคลือบโลหะลงบนผิวโดยลดการใช้กระบวนการแบบเปียกหรือขั้นตอนการดำเนินงานลง ซึ่งพอลิเมอร์และโลหะที่ใช้ คือ กลาสีฟ็อกซีและทองแดง การปรับปรุงสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มความสามารถในการเปียกใช้พลาสมาของก๊าซผสมไฮโดรเจนและไนโตรเจนที่กระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ ผลของการปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาวัดโดยใช้การวัดมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับหยดน้ำ ซึ่งในสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนและไนโตรเจน 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความดัน 1.5 ทอร์ แรงดันแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน 193 โวลต์ และระยะห่างระหว่างขั้วสเตรทกับปลายหลอดแก้ว 2 เซนติเมตร สามารถทำให้มุมสัมผัสหลังปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาลดลงจาก 72 องศา เป็น 17 ถึง 20 องศาเมื่อวัดทันทีหลังจากปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา และ 50 องศาหลังเข้าสู่สมดุล การเคลือบทองแดงลงบนผิวกลาสีฟ็อกซีที่ปรับปรุงสภาพด้วยพลาสมาแล้ว ใช้การชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้า จากการดำเนินงานสามารถสร้างชิ้นตัวเร่งบนพื้นผิวกลาสีฟ็อกซีโดยใช้สารละลายทองแดงแทนการใช้พลาเดียมและสแตนเลสคอลลอยด์ซึ่งเป็นโลหะที่มีราคาแพงได้ นอกจากนี้การสร้างชิ้นตัวเร่งให้ผลดีกว่าการเคลือบผิวทันทีหลังจากปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

Report Title	Surface Modification by Microwave Induced Plasma for Metal Electroless Plating on Polymer		
By	Miss Cholthicha Varokorn	Student ID.50010317	
	Miss Chatchanok Wattanawat	Student ID.50010335	
	Mr. Chutipong Sae-Sue	Student ID.50010382	
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Chemical Engineering		
Year	2010		
Report Advisor	Asst. Prof. Dr. Apinan Namkanisorn		

Abstract

This project involves the surface modification of polymer by microwave induced plasma to enhance the adhesion to thin film metal coating. Plasma treatment offers several advantages such as reduction of wet chemical process during etching and washing and the operation consists of fewer steps than conventional surface pretreatments. On the basis of this work, glass reinforced epoxy (FR-4) and copper were chosen as a studied system. The parameters being investigated in this work were the concentration of nitrogen and hydrogen gas mixture, pressure, power of magnetron, and distance between substrate and plasma torch. After plasma treatment, the glass reinforced epoxy surface was coated with thin film of copper using electroless plating. In this study, the catalytic layer on epoxy substrate was created via copper solution rather than using a more expensive solution of palladium and stannous chloride. The experimental result revealed that the copper catalytic layer was necessary for the resulting bonding of copper on epoxy substrates. The effectiveness of plasma treatment was studied by measuring contact angle and copper – epoxy adhesion evaluated by the Scotch tape test.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิสร์ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือคณะกรรมการระหว่างงานจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ในทุกๆ ด้าน ตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาที่มีคุณค่าและความรู้ที่ดีแก่ทางคณะผู้จัดทำ ตรวจและชี้แนะแนวทางแก้ไขปริญญานิพนธ์ รวมถึงการสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณกรรมการผู้สอบ ดร.พรสวรรค์ อัสวเสงรัตน์ และผศ.เรีนฤติ เบญจางคประเสริฐ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่ดี ทำให้คณะผู้จัดทำได้รับแนวทางในการดำเนินงานเพิ่มเติม

ขอขอบคุณ รศ.วราวุฒิ เถลัดดา อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ และ ขอขอบคุณนายปิติ สิ้นนันทะเสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ปกครองของทางคณะผู้จัดทำและเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด ถ้าโครงการฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ชลธิชา วโรกร

รัชชนก วัฒนวิษ

ชุตติพงศ์ แซ่ซื่อ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
รายการสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กลไกของการยึดติด (Mechanism of Adhesion)	3
2.1.1 การยึดติดที่เกิดจากการประสานเชิงกล (Mechanical Bonding)	3
2.1.2 การยึดติดด้วยพันธะเคมี (Chemical Bonding)	4
2.2 อีพ็อกซีเรซินเสริมด้วยใยแก้ว (Glass Reinforced Epoxy, FR-4)	4
2.3 การเตรียมพื้นผิวของแผ่นพอลิเมอร์ (Polymer Substrate Preparation)	5
2.3.1 การทำความสะอาดด้วยสารซักฟอก (Detergent Cleaning)	
และการล้างด้วยตัวทำละลาย (Solvent Cleaning)	5
2.3.2 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	6
2.4 พลาสมา (Plasma)	7
2.4.1 นิยามของพลาสมา (Definition of Plasma)	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ชนิดของพลาสมา (Plasma Type)	7
2.4.3 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยกระบวนการพลาสมาเย็น (Cold Plasma)	8
2.4.4 การปรับปรุงพื้นผิวของพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา (Surface Modification of Polymer)	8
2.4.5 พลาสมา	9
2.5 การชุบโลหะ (Plating)	10
2.5.1 การชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (electroless plating)	10
2.6 การวัดแรงดึงผิว	14
2.6.1 การวัดแรงดึงผิวโดยใช้มุมสัมผัส	14
2.7 วิธีทดสอบด้วยเทปกาว (Scotch Tape Test) ตามมาตรฐาน ASTM	15
2.7.1 การทดสอบด้วยวิธีกรีดเป็นตารางไขว้ (Cross-cut Tape Test)	16
2.8 การศึกษาสภาพพื้นผิว	18
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	
3.1 ขั้นตอนการทำโครงการและแผนการดำเนินงาน	24
3.2 วิธีการทดลอง	24
3.2.1 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	24
3.2.2 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา จากเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน	37
4.2 การปรับสภาพพื้นผิวพลาสติกฟ็อกซีซัสเตรทด้วยพลาสมา (ที่ความดันสูญญากาศ พร้อมระบบปรับจูนอิมพีแดนซ์ของคลื่น)	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การหาช่วงแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอนที่สามารถกระตุ้นให้เกิดพลาสมา เมื่อปรับความเข้มข้นของก๊าซและความดันในห้องพลาสมา	37
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสระหว่างกลาสีฟ็อกซีและน้ำ เมื่อกลาสีฟ็อกซี ชั้สเตรทสัมผัสกับพลาสมาด้วยระยะเวลาต่างๆ	38
4.2.3 สภาวะของพลาสมาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด	39
4.2.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้รวมของก๊าซที่มีต่อมุมสัมผัส	42
4.2.5 มุมสัมผัสเมื่อกลาสีฟ็อกซีชั้สเตรทเกิดการคืนสภาพ หลังปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาและปล่อยทิ้งไว้ที่สภาพบรรยากาศเป็นระยะเวลาต่างๆ	43
4.3 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	44
4.3.1 สูตรน้ำยาชุบทองแดงที่เหมาะสม	44
4.3.2 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนผิวกลาสีฟ็อกซีชั้สเตรท	44
บทที่ 5 สรุปผล อุปสรรค และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	48
5.1.1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา จากการดัดแปลงเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน	48
5.1.2 การปรับสภาพพื้นผิวกลาสีฟ็อกซีชั้สเตรทด้วยพลาสมา (ที่ความดันสูญญากาศ พร้อมระบบปรับจูนอิมพีแดนซ์ของคลื่น)	48
5.1.3 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	49
5.2 อุปสรรคและข้อเสนอแนะแนวทางการดำเนินงานในอนาคต	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	52

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานพื้นผิวของน้ำ	15
ตารางที่ 2.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การยึดติดของฟิล์มบาง เมื่อใช้วิธีการทดสอบ ด้วยวิธีกรีดเป็นตารางไขว้	17
ตารางที่ 2.3 ช่วงสภาวะการทดลองของแหล่งพลาสมาที่เสถียร	19
ตารางที่ 3.1 สภาวะในการทดลองตอนที่ 1.2	27
ตารางที่ 3.2 สภาวะในการทดลองตอนที่ 2.1	30
ตารางที่ 3.3 สภาวะในการทดลองตอนที่ 2.3	31
ตารางที่ 3.4 สภาวะในการทดลองตอนที่ 2.4	33
ตารางที่ 3.5 สภาวะในการทดลองการชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนผิว กลาสอีพ็อกซีซึบสเตรท	35
ตารางที่ 4.1 แผ่นกลาสอีพ็อกซีที่ผ่านการชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ตามการทดลองหัวข้อที่ 3.2.2 ตอนที่ 2	45

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการยึดติดที่เกิดจากการประสานเชิงกล	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอีพ็อกซีเรซิน	4
รูปที่ 2.3 สถานะของสสารเทียบกับอุณหภูมิ	7
รูปที่ 2.4 กระบวนการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	11
รูปที่ 2.5 ทิศทางของแรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ในรูปเวกเตอร์	14
รูปที่ 2.6 ระบบปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาสำหรับการปรับปรุงพื้นผิว PDMS	22
รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนของजू	23
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	25
รูปที่ 3.2 หลอดแก้วบรรจุก๊าซที่จะถูกกระตุ้นเป็นพลาสมา	25
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle)	27
รูปที่ 3.4 เครื่องปฏิกรณ์พลาสมา ที่ความดันสูญญากาศ	29
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างรูปแสดงมุมสัมผัสระหว่างผิวกลาสอีพ็อกซียับสเตรทกับหยดน้ำ ก่อนและหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	38
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของมุมสัมผัสก่อน – หลังสัมผัสพลาสมา กับระยะเวลาในสัมผัสพลาสมา	39
รูปที่ 4.3 กราฟพาริตีแสดงระดับอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัส	41
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการปรับสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิว ด้วยพลาสมากับค่าเฉลี่ยผลต่างของมุมสัมผัส	41
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของปัจจัย กับค่าเฉลี่ยของผลต่างของมุมสัมผัส	42
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องพลาสมากับค่าผลต่างของมุมสัมผัส ที่อัตราการไหลรวมของก๊าซทำงานค่าต่างๆ	42
รูปที่ 4.7 มุมสัมผัสเมื่อกลาสอีพ็อกซียับสเตรทเกิดการคืนสภาพ หลังจากปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาแล้วปล่อยให้ไว้ในบรรยากาศ	43
รูปที่ 4.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของรอยแยกในระหว่างการทดสอบแรงยึดติดด้วยเทปกาว	47

รายการสัญลักษณ์

- C ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจน
- D ระยะห่างระหว่างชั้นสเตรทกับปลายหลอดแก้วบรรจุพลาสมา
- E แรงดันไฟของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน
- P ความดันภายในห้องพลาสมา
- t ระยะเวลาที่ชั้นสเตรทสัมผัสกับพลาสมา
- γ_{SL} แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง - ของเหลว ณ สภาวะสมดุล
- γ_{SV} แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ไอ ณ สภาวะสมดุล
- γ_L แรงตึงผิวของของเหลว ณ สภาวะสมดุล
- θ มุมสัมผัสที่วัดได้จากหยดของของเหลวบนของแข็ง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันมีการนำพอลิเมอร์มาใช้อย่างกว้างขวางในงานที่หลากหลาย งานบางอย่างเกี่ยวข้องกับการเคลือบโลหะลงบนผิวของพอลิเมอร์ เช่น การเคลือบลายกระจก การพิมพ์ลายวงจบบนแผ่นพอลิเมอร์ แต่เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีพลังงานพื้นผิวดำเป็นผลให้ความสามารถในการยึดติดกับโลหะไม่ดีนัก จึงต้องมีการปรับสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มแรงยึดติดระหว่างโลหะกับผิวพอลิเมอร์ การปรับสภาพผิวพอลิเมอร์ให้สามารถยึดติดกับโลหะได้ดีขึ้น มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการแบบเปียก (Wet chemical methods) ที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายกรด ดังนั้นกระบวนการแบบเปียกจึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากหรือทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัด เนื่องจากมีของเสียที่เป็นสารเคมีและมีการใช้น้ำในปริมาณมาก กระบวนการทางเลือกใหม่ที่จะช่วยลดขั้นตอนในการปรับสภาพพื้นผิวลดการใช้สารเคมี รวมทั้งลดของเสียจากกระบวนการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทางเลือกหนึ่งคือ กระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

โครงการนี้ทำการศึกษาการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ โดยใช้การปรับสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา ซึ่งเป็นการกระตุ้นพื้นผิวให้มีพลังงานสูงขึ้น ทำให้พื้นผิวมีหมู่ฟังก์ชันที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เป็นผลให้พอลิเมอร์จับสเตรทสามารถยึดติดกับโลหะได้ ในการประยุกต์ใช้งานด้านการพิมพ์ลายทองแดงบนแผงวงจร โดยมีฮีฟ็อกซีเสริมด้วยไฮแก้วชนิดไม่ติดไฟ (FR-4) เป็นจับสเตรท การปรับสภาพพื้นผิวนี้จะทำเฉพาะบริเวณที่เป็นลายวงจรเท่านั้น จากนั้นจึงนำกลาสอีพ็อกซีที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาแล้วไปสร้างลายทองแดงด้วยวิธีชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดลายทองแดงที่ต้องการบนแผ่นกลาสอีพ็อกซี โดยไม่ต้องนำแผ่นวงจรไปกัดลายทองแดง หรือการปรับสภาพผิวจับสเตรทด้วยกรด ซึ่งวิธีนี้อาจจะสามารถลดมลพิษที่เกิดจากสารเคมีได้ เพราะก๊าซที่ถูกกระตุ้นให้เกิดเป็นพลาสมาสามารถปล่อยออกสู่อากาศได้โดยตรง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อเคลือบฟิล์มทองแดงบนแผ่นกลาสีฟ็อกซี โดยลดการใช้กระบวนการแบบเปียก (Wet chemistry methods)
- 1.2.2 หาสถานะในกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาและกระบวนการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการยึดติดของกลาสีฟ็อกซีชั้นสเตรทกับฟิล์มทองแดง
- 1.2.3 เพื่อชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าโดยไม่ต้องใช้พลาสมาเคมีและสแตนนัสคลอไรด์เป็นชั้นตัวเร่ง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาชนิดกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้เตอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน
- 1.3.2 ศึกษาตัวแปรในกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่มีผลต่อการยึดติดของฟิล์มทองแดงกับผิวกลาสีฟ็อกซี โดยศึกษา
 - 1.3.2.1 ผลของการใช้ความเข้มข้นและอัตราการไหลต่างๆ ของก๊าซผสมไนโตรเจนและไฮโดรเจนในกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา
 - 1.3.2.2 ผลของระยะเวลาที่ชั้นสเตรทสัมผัสกับก๊าซที่ถูกกระตุ้นเป็นพลาสมา
 - 1.3.2.3 ผลของระยะห่างระหว่างชั้นสเตรทกับปลายหลอดแก้วบรรจุพลาสมา
 - 1.3.2.4 ผลของความดันภายในห้องพลาสมา
 - 1.3.2.5 ผลของแรงดันไฟของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน
- 1.3.3 ทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างทองแดงกับกลาสีฟ็อกซี

บทที่ 2

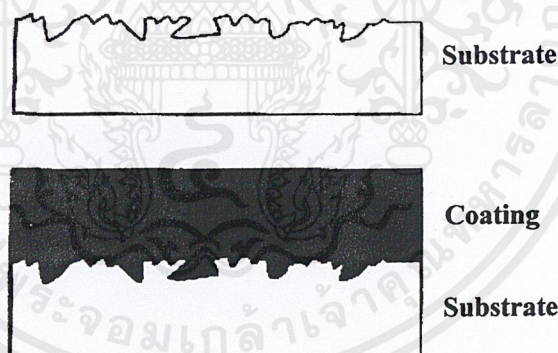
ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลไกของการยึดติด (Mechanism of Adhesion)

ภาวการณ์ยึดติดเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลทางกายภาพและปฏิกิริยาเคมีระหว่างพื้นผิว กลไกในการยึดติดที่เกิดขึ้นยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนักในปัจจุบัน มีความพยายามเสนอทฤษฎีต่างๆ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ของการยึดติด เช่น การติดเชิงกล การติดด้วยไฟฟ้าสถิต การเกิดพันธะเคมี

2.1.1 การยึดติดที่เกิดจากการประสานเชิงกล (Mechanical Bonding)

เมื่อพื้นผิวของซับสเตรทมีรูพรุนหรือช่องว่างจะทำให้เกิดการเคลือบผิว (Coating) ได้ การเคลือบผิวนี้แสดงถึงการยึดติดเชิงกล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยสารเคลือบผิวจะแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุนของพื้นผิว



รูปที่ 2.1 แสดงการยึดติดที่เกิดจากการประสานเชิงกล [10]

โดยทั่วไปก่อนการเคลือบผิวจะต้องมีการเตรียมพื้นผิวของซับสเตรทก่อน เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น เช่น ปรับสภาพพื้นผิวให้เกิดช่องว่างที่สามารถประสานกับสารยึดติดได้ (Interlocking cavities) การเพิ่มความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิว เป็นการเพิ่มพื้นที่ของรูพรุนในการยึดติดของสารเคลือบผิว ถ้าสารเคลือบผิวสามารถแทรกซึมเข้าไปในพื้นที่ที่ไม่สม่ำเสมอได้อย่างสมบูรณ์แสดงว่ามีการยึดติดที่ดีและสมบูรณ์ แต่ถ้าการแทรกซึมของสารยึดติดเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างพื้นผิวของซับสเตรทกับสารเคลือบผิว ซึ่งมีผลทำให้เกิด

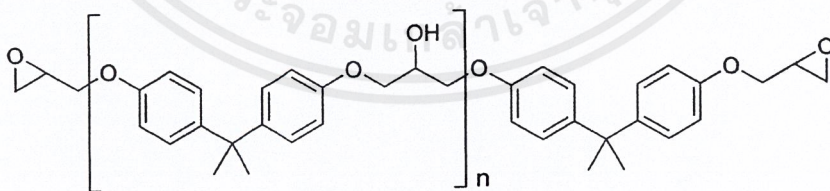
ฟองอากาศ (Trapped air) ระหว่างพื้นผิวได้ ฟองอากาศเหล่านี้จะก่อให้เกิดการสะสมของความชื้น และนำไปสู่การสูญเสียสภาพของการยึดติดในที่สุด

2.1.2 การยึดติดด้วยพันธะเคมี (Chemical Bonding)

การเคลือบผิวของพอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมเซต (Thermosetting) มีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะเกิดพันธะเคมีระหว่างผิวสัมผัสของชั้นเคลือบกับสารยึดติด การยึดติดในลักษณะนี้จำเป็นต้องมีหมู่ฟังก์ชัน (Functional groups) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ คาดกันว่าการเชื่อมติดโดยการสร้างพันธะจะให้การยึดติดที่มีความแข็งแรงทนทานที่สุด พื้นผิวของชั้นเคลือบที่มีการยึดติดกันแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้

2.2 อีพ็อกซีเรซินเสริมด้วยใยแก้ว (Flame Retardant Glass Reinforced Epoxy Resin : FR-4)

อีพ็อกซีเรซินเสริมด้วยใยแก้วเป็นพลาสติกที่สำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเส้นใยแก้วกับอีพ็อกซีเรซินสามารถยึดติดกันได้อย่างเหมาะสม ในการเตรียมอีพ็อกซีใช้ปฏิกิริยาระหว่างอีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และฟีนอล จึงทำให้กลาสอีพ็อกซีมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซีและหมู่เอพอกไซด์ หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ทำให้สามารถนำอีพ็อกซีเรซินซึ่งมีโมเลกุลเป็นโซ่ตรงมาเติมเอมีนทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่างแห (Cross-link) ขึ้นได้โดยการสร้างพันธะของหมู่เอมีนกับหมู่ฟังก์ชันเอพอกไซด์



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอีพ็อกซีเรซิน [15]

ด้วยเหตุที่อีพ็อกซีเรซินมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถสร้างพันธะกับหมู่เอมีนได้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกลาสอีพ็อกซีให้มีการยึดติดกับโลหะดีซึ้น โดยเพิ่มความไวต่อปฏิกิริยาของพื้นผิวกลาสอีพ็อกซีด้วยหมู่ฟังก์ชันเอมีน

FR-4 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดหนึ่งที่เป็นนิยมนมากที่สุด ทำจากใยแก้วยัดด้วยอีพ็อกซีเรซิน ทนต่อความชื้นและอุณหภูมิสูง ความแข็งแรงเชิงกลสูง สามารถใช้งานกับแรงดันสูงได้ดี โดยส่วนใหญ่จะนำ FR-4 มาใช้เป็นฉนวนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ภายในโครงสร้างของกลาสอีพ็อกซีมี โบรมีนซึ่งเป็นหมู่ฮาโลเจนเพื่อให้สมบัติต้านทานการติดไฟ

2.3 การเตรียมพื้นผิวของแผ่นพอลิเมอร์ (Polymer Substrate Preparation)

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีพลังงานพื้นผิวดำซึ่งหมายความว่า จะมีวัสดุเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถติดบนพื้นผิวได้โดยง่าย มีหลายวิธีที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิวของแผ่นพอลิเมอร์เพื่อให้ได้พื้นผิวที่เหมาะสมในการยึดติด วิธีการเตรียมพื้นผิวที่เหมือนกันอาจจะไม่เหมาะสมในกรณีที่ใช้พอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นพอลิเมอร์เพื่อให้มีการยึดติดที่ดีขึ้น ได้แก่

1. กระบวนการกำจัดไขมัน สิ่งสกปรก คราบไขมันต่างๆ ด้วยและการปรับปรุงพลาสติก ไชเซอร์ (Plasticizer)
2. ปรับผิวหน้าของพลาสติกด้วยการปรับความหนืดของสารเคลือบผิว เพื่อปรับปรุงการยึดติดของฟิล์ม
3. เปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพลาสติก เพื่อให้ผิวหน้าทั้งสองสามารถเข้ากันได้หรือยึดติดได้ดีขึ้นด้วยโครงสร้างทางเคมีของสารเคลือบผิว
4. การกระตุ้นให้เกิดออกไซด์ เพื่อให้พื้นผิวมีพลังงานสูงขึ้น
5. ควบคุมการดูดซับน้ำ เนื่องจากน้ำจะทำให้การยึดติดมีประสิทธิภาพลดลง

กระบวนการเตรียมพื้นผิวหลายๆ วิธีมีการใช้สารเคมีที่อันตราย มีฤทธิ์กัดกร่อน เป็นพิษ หรือสามารถติดไฟได้ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมที่เหมาะสมและปลอดภัยที่สุด

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการเตรียมพื้นผิวที่ใช้ใน โครงการนี้เท่านั้น คือ

2.3.1 การทำความสะอาดด้วยสารซักฟอก (Detergent Cleaning) และการล้างด้วยตัวทำละลาย (Solvent Cleaning)

สารซักฟอก (Detergent or soap) สามารถนำมาใช้ในการทำความสะอาดพื้นผิวที่มีสิ่งเจือปนจำพวกไขมัน น้ำมัน หรือเชื้อโรคต่างๆ ได้ เช่น ไตรโซเดียมฟอสเฟต เป็นต้น

การทำความสะอาดพื้นผิวโดยวิธีล้างด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีขจัดสิ่งเจือปนบนพื้นผิวที่ง่ายที่สุด ซึ่งวิธีนี้จะใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์และน้ำ

ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์มีทั้งที่สามารถจุดติดไฟได้และจุดติดไฟไม่ได้ ที่ใช้โดยทั่วไป คือ อะซิโตน เมทิล เอทิล คีโตน โทลูอิน 1,1,1, ไตรคลอโรอีเทน แนฟทา เมทานอล เอทานอล หรือบางครั้งอาจใช้ฟร็อน (Freon, อาจนำไปผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ) หากใช้น้ำซึ่งหาง่ายและราคาถูกในการทำความสะอาด พื้นผิวจะยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่ ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำกลั่นในการล้าง

ตัวทำละลายสามารถนำมาใช้ได้หลายวิธี เช่น เช็ดด้วยผ้าที่เปียกชื้น หรือนำซบสเตรทไปจุ่มในอ่างที่มีการให้ความร้อนแก่สารละลาย เพื่อเร่งการทำปฏิกิริยากับตัวทำละลาย หรือการทำความสะอาดโดยการสเปรย์ ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถกำจัดสิ่งเจือปนได้โดยใช้แรงสเปรย์ หรือนำชิ้นส่วนพลาสติกไปแขวนลอยอยู่ในถัง โดยให้ความร้อนแก่ตัวทำละลายที่จุดเดือด ทำให้ตัวทำละลายกลายเป็นไอ จะสามารถกำจัดคราบไขมัน ซึ่งการกลายเป็นไอของตัวทำละลายนี้มีอัตราการไหลเหนือพื้นผิวคงที่ หรือจะเป็นการใช้คลื่นโซนิกที่มีความถี่สูงในอ่างที่มีตัวทำละลายก็ได้

ก่อนที่จะนำตัวทำละลายมาใช้ในการล้างแผ่นพลาสติกจะต้องตรวจสอบก่อนว่าตัวทำละลายมีสิ่งเจือปนหรือไม่ หากมีให้แยกออกเสียก่อน มิฉะนั้นสิ่งเจือปนอาจจะตกค้างอยู่ที่แผ่นซบสเตรทได้ รวมทั้งเมื่อใช้ความร้อนเพื่อทำให้แผ่นซบสเตรทแห้งหลังจากการล้าง สิ่งที่ควรระวัง คือ ความร้อนสามารถทำให้แผ่นพลาสติกเสียรูปทรงได้

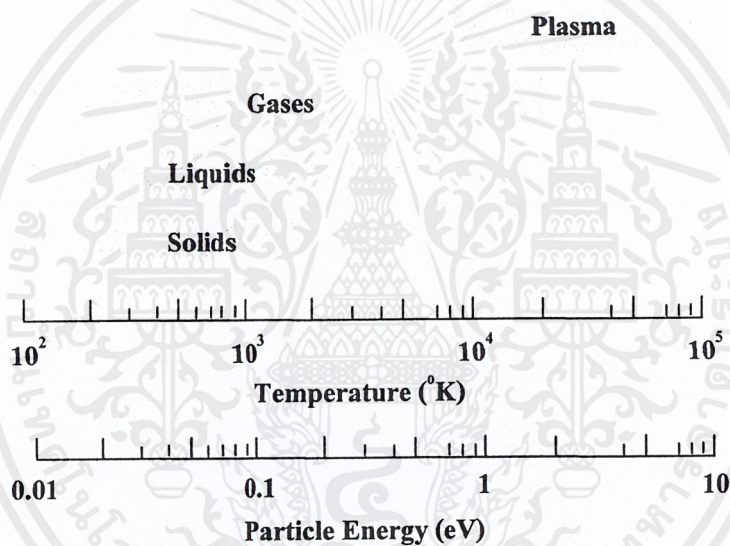
2.3.2 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเป็นการปรับปรุงพื้นผิวอีกวิธีหนึ่งที่ได้ผลกับพลาสติกหลายชนิด ซึ่งจะให้ก๊าซ เช่น ฮีเลียม ออกซิเจน ไออน้ำ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน เป็นต้น ไหลผ่านแผ่นซบสเตรท ก๊าซเหล่านี้จะถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า คลื่นวิทยุ หรือไมโครเวฟทำให้แตกตัวเป็นไอออน วิธีนี้ทำให้กระตุ้นพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดได้อย่างมาก

2.4 พลาสมา (Plasma)

2.4.1 นิยามของพลาสมา (Definition of Plasma)

พลาสมา คือ ก๊าซที่แตกตัวเป็นไอออน เมื่อพิจารณาจากพลังงานของอนุภาคที่ก่อให้เกิดพลาสมา พลาสมาจัดเป็นสถานะที่สี่ของสสาร แยกจากสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ รูปที่ 2.3 แสดงช่วงของอุณหภูมิหรือพลังงานของอนุภาค (Particle energy) ของสสารทั้งสี่สถานะที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ สำหรับช่วงอุณหภูมิของสถานะพลาสมาสะท้อนให้เห็นเพียงพลังงานของอนุภาคหนัก (Heavy particles คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง ไอออน และอนุภาคที่แตกออกจากโมเลกุลที่เป็นกลาง) เท่านั้น ไม่ใช่ของอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.3 สถานะของสสารเทียบกับอุณหภูมิ [9]

2.4.2 ชนิดของพลาสมา (Plasma Type)

กระบวนการพลาสมาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ พลาสมาร้อน (Thermal plasma) และ พลาสมาเย็น (Cold plasma) แต่เนื่องจากพลาสมาร้อน เป็นกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงจึงไม่สามารถนำมาใช้กับกลาสีฟ็อกซ์ซ์สเตอร์ทได้ ในที่นี้จึงจะขอกล่าวถึงพลาสมาเย็น (Cold plasma) เท่านั้น

พลาสมาเย็น (Cold plasma หรือ Low-pressure plasma หรือ Nonequilibrium plasma) เป็นพลาสมาที่ไม่เกิดสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกระหว่างอิเล็กตรอนและอนุภาคหนัก แม้แต่ในบริเวณเฉพาะที่ (Local scale) พลาสมาชนิดนี้เป็นชนิด Non-LTE Plasma (Non-local thermodynamic equilibrium) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

equilibrium) ซึ่งพลาสมาประเภทนี้อุณหภูมิของอิเล็กตรอนจะสูงกว่าอุณหภูมิของอนุภาคหนัก โดยอุณหภูมิของอิเล็กตรอนสามารถสูงถึง $10^4 - 10^5$ K (1 - 10 eV) ขณะที่อุณหภูมิของก๊าซสามารถอยู่ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงเรียกพลาสมาประเภทนี้ว่า พลาสมาเย็น

2.4.3 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยกระบวนการพลาสมาเย็น (Cold Plasma)

การเสริมกระบวนการเคมีด้วยพลาสมา (Plasma enhanced chemical processing, PECP) ใช้ประโยชน์ของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงในการทำให้โมเลกุลของก๊าซแยกออก ทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและไอออนขึ้น เนื่องจากในสภาวะเช่นนี้ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนในการแตกพันธะเคมี ปฏิกิริยาจึงสามารถเกิดที่อุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นข้อดีหลักของกระบวนการที่ใช้พลาสมาเย็น (Cold plasma) ทำให้ซับซ้อนที่นำมาใช้ในกระบวนการไม่จำเป็นต้องมีเสถียรภาพทางความร้อนเพื่อทนต่อกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง

2.4.4 การปรับปรุงพื้นผิวของพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา (Surface Modification of Polymer)

พลาสมาเย็น (Cold plasma) สามารถใช้ในการกระตุ้นพื้นผิวของพอลิเมอร์ ทำให้พื้นผิวของพอลิเมอร์สร้างพันธะได้ดีขึ้น เป็นการเพิ่มการยึดติด วิธีที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา ได้แก่ การกระตุ้นพื้นผิว (Surface activation) การสะสมตัว (Deposition) และการสร้างพันธะ (Grafting)

การใช้ก๊าซที่นำมากระตุ้นเป็นพลาสมาให้เหมาะสมกับชนิดของพอลิเมอร์สามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางฟิสิกส์ของพื้นผิว หรือชั้นใกล้ผิว (Near-surface layers) พอลิเมอร์ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้ผิวมีความว่องไว และมีผลต่อสมบัติการเปียก การเชื่อมต่อกันระหว่างโซ่โมเลกุล (Cross-linking) และน้ำหนักโมเลกุล

การกระตุ้นพื้นผิวของพอลิเมอร์ด้วยพลาสมาเป็นการปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวให้ว่องไวขึ้น โดยใช้พลาสมาที่ไม่ได้มาจากพอลิเมอร์ (Nonpolymer-forming plasma) โดยใช้ไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิดพลาสมาในก๊าซที่ไม่เกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ในพลาสมาเช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ไนโตรเจนออกไซด์ แอมโมเนีย หรือก๊าซเฉื่อย การทำให้เกิดพลาสมาจะได้อนุภาคที่มีพลังงานสูง เมื่ออนุภาคที่มีพลังงานเหล่านี้ชนกับผิวพอลิเมอร์จะทำให้พันธะโควาเลนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนผิวแตกออกแล้วนำไปสู่การเกิดหมู่ฟังก์ชันที่ผิวหมู่ฟังก์ชันที่ผิวเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับสปีชีส์ที่ว่องไวของพลาสมาเพื่อสร้างหมู่ฟังก์ชันที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีบนผิวของซัสเตรท สิ่งเจือปนบนผิวและชั้นพอลิเมอร์ที่ยึดด้วยพันธะที่ไม่แข็งแรงสามารถระเหยหรือถูกกำจัดออกไปโดยการปั๊มออกจากเครื่องปฏิกรณ์

การที่แอตทิฟพลาสมาสปีชีส์เข้าชนผิวพอลิเมอร์จะก่อให้เกิดการรวมตัวกันของหมู่ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) เช่น หมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) และหมู่อะมิโน (Amino group) กับพื้นผิวของพอลิเมอร์ซึ่งหมู่ฟังก์ชันมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงสมบัติชอบน้ำมากกว่าไอออนิกสปีชีส์และอิเล็กตรอน

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาก่อให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วหรือหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ต้องการบนผิวของพอลิเมอร์และการแตกของโซโมเลกุลของพอลิเมอร์ยังทำให้พื้นผิวมีความขรุขระเป็นผลให้การยึดติด (Adhesion) และความสามารถในการเปียก (Wettability) ดีขึ้น นอกจากนี้ซัสเตรทที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาไม่จำเป็นต้องนำมาทำความสะอาดอีก จึงลดค่าใช้จ่ายลงไปได้ และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งมักเกี่ยวข้องกับการทรีทเมนต์ในเฟสของเหลว (Liquid salt) เนื่องจากก๊าซที่ออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาไม่เป็นพิษ ไม่ก่อให้เกิดการระเบิด และสามารถปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยตรง

2.4.5 พลาสมา

2.4.5.1 การสร้างพลาสมา

พลาสมาเกิดขึ้นโดยการทำให้อะตอมที่เป็นกลางเกิดการแตกตัว ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การแตกตัวเป็นไอออนบริเวณผิวหน้า (Surface ionization) การแตกตัวเป็นไอออนโดยแสง (Photo ionization) และการปลดปล่อยอิเล็กตรอนโดยสนามไฟฟ้า (Field emission) แต่วิธีที่ใช้แพร่หลายที่สุดได้แก่ วิธีก๊าซดิสชาร์จ (Gas discharge) เมื่อโมเลกุลของก๊าซได้รับพลังงานเพียงพอจะทำให้ไอเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่า การแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) เมื่ออัตราการเกิดอิเล็กตรอนอิสระเท่ากับหรือมากกว่าอัตราการสูญเสีย แสดงว่ามีการแตกตัวเป็นพลาสมาเกิดขึ้น พลังงานที่น้อยที่สุดทำให้ไอเล็กตรอนตัวนอกสุดหลุดออกจากอะตอมเรียกว่า พลังงานแตกตัวเป็นไอออน (Ionization energy) ในกรณีของแข็งได้รับพลังงานแล้วอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวของของแข็งเรียกกระบวนการนี้ว่า การปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Electron emission) และพลังงานที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไอเล็กตรอนหลุดได้ เรียกว่า ฟังก์ชันงาน (Work function) การแตกตัวเป็นไอออนและการปลดปล่อยอิเล็กตรอนเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญในการสร้างพลาสมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ทั้งสองสามารถแบ่งตามกระบวนการเกิดได้หลายแบบ แต่ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลาสมาสำหรับโครงการนี้มีดังนี้

2.4.5.2 พลาสมาชนิดกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Induced Plasma)

แหล่งกำเนิดพลาสมาด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถออกแบบสร้างได้หลากหลายรูปแบบ แต่จะอาศัยหลักการสำคัญเดียว คือ พลาสมาที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการคิสราร์จของก๊าซ โดยอาศัยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการที่จะรักษาระดับการเกิดพลาสมาให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไปนั้นจะต้องพิจารณาถึงอนุภาคที่มีประจุ และกลไกการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นภายในพลาสมานั้นด้วย

วิธีการกระตุ้นให้เกิดพลาสมาด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave induce plasma) มีข้อดีในส่วนที่พลาสมาที่มีความเข้มข้นของกระแสสูง มีพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ และไม่จำเป็นต้องใช้ขั้วไฟฟ้า (Electroless) เหมือนกับกรณีการป้อนด้วยสนามไฟฟ้าหรือไส้ (Filament) สำหรับการปลดปล่อยอิเล็กตรอนเพื่อก่อให้เกิดพลาสมาซึ่งสะดวกสำหรับการซ่อมบำรุง

2.5 การชุบโลหะ (Plating)

การชุบโลหะแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การชุบผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า (Electroplating) และการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless plating) ซึ่งการชุบผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้าซับซ้อนจำเป็นต้องนำไฟฟ้าได้ แต่พลาสติกไม่นำไฟฟ้า จึงต้องใช้วิธีการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า โดยซับซ้อนนั้นจะต้องผ่านการปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาแล้ว เพื่อให้ผิวมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาและถ้าชั้นฟิล์มโลหะที่ได้จากการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้ามีความหนาไม่เพียงพอ อาจจะไปชุบผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความหนาได้ ในที่นี้จึงจะกล่าวถึงการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในโครงการนี้เท่านั้น

2.5.1 การชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless Plating)

วิธีการนี้สามารถเรียกได้หลายอย่าง เช่น Chemical plating, Auto-catalytic plating, Immersion plating ซึ่งวิธีการชุบผิวโลหะนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยารีดักชันของโลหะไอออนของสารละลาย ให้กลายเป็นอะตอมของโลหะ แล้วจึงเกิดการเคลือบบนผิวของซับซ้อนเป็นชั้นฟิล์มบางๆ กระบวนการเช่นนี้เรียกว่าการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless plating) โดยมีขั้นตอนแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 การเตรียมพื้นผิวของขั้วสเตรท

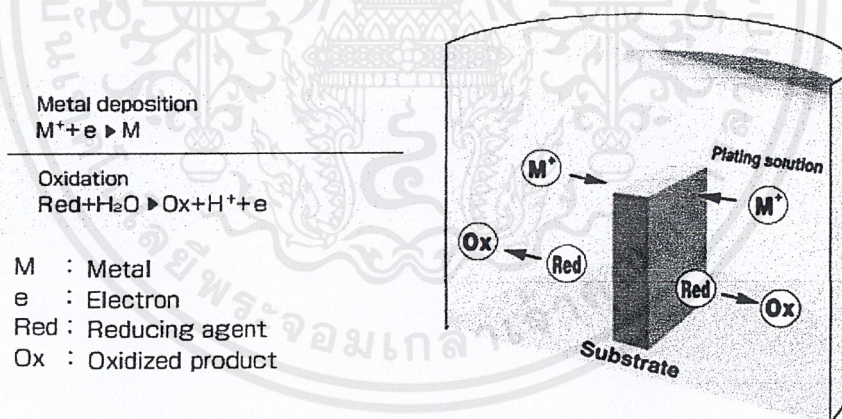
ขั้วสเตรทนั้นจะต้องผ่านการทำให้เกิดความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

2.5.1.2 การเตรียมผิวขั้วสเตรทให้มีลักษณะเป็นตัวเร่ง

ขั้นตอนนี้จะทำการจุ่มขั้วสเตรทลงในสารละลายพลาเดียมคลอไรด์ ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นของพลาเดียมไอออนบนผิวขั้วสเตรท จากนั้นจึงรีดิวซ์ไอออนของพลาเดียมให้กลายเป็นอะตอมของพลาเดียมโดยจุ่มลงในสารละลายโซเดียมไฮโปไฟอสไฟต์

2.5.1.3 การชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

ขั้นตอนนี้จะทำการจุ่มขั้วสเตรทที่ผ่านสองขั้นตอนแรกมาแล้ว ลงในสารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะ ซึ่งในสารละลายจะมีไอออนของโลหะที่จะทำการชุบ ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นอะตอมของโลหะ จากนั้นอะตอมของโลหะก็จะไปเคลือบลงบนขั้วสเตรทซึ่งเป็นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา กลายเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ของโลหะ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า [14]

ในสารละลายนี้จะมีองค์ประกอบของสารทั้งหมด 7 องค์ประกอบ คือ

1. ตัวกำเนิดโลหะในสารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะจะมีไอออนของโลหะที่ต้องการชุบละลายอยู่ในสารละลาย เช่น ในกรณีของโครงการนี้นี้จะมีไอออนของทองแดงอยู่ในสารละลาย ซึ่งได้มาจากการละลายสารประกอบของทองแดง เช่น คอปเปอร์คลอไรด์ คอปเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น

2. สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agents) เป็นสารที่ป้องกันการเกิดตะกอนของเกลือโลหะ ช่วยให้ไอออนของโลหะถูกรีดิวซ์ด้วยตัวรีดิวซ์ได้ดีขึ้น และยังช่วยให้สารละลายเสื่อมสภาพช้าลง โดยสารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะทำปฏิกิริยาหรือเกิดการรวมตัวกับไอออนของโลหะกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายสารที่ใช้โดยทั่วไปเช่น แอมโมเนีย ทาร์เตรต กลีเซอริน อีดีทีเอ เป็นต้น

3. ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) เป็นสารที่เปลี่ยน (ลด) เลขออกซิเดชันไอออนของโลหะให้กลายเป็นอะตอมของโลหะ แล้วจึงไปเคลือบบนผิวของขั้วสเตรท ตัวรีดิวซ์ที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น ฟอรั่มลดีไฮด์ โซเดียมไฮโปไฟต์ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ เป็นต้น

4. สารรักษาสภาพของสารละลาย (Stabilizer) เป็นสารที่ช่วยให้สารละลายเสื่อมสภาพได้ช้าลง สารที่ใช้เช่น 2-เมอร์แคปโทเบนโซไธโอซอล คาร์บอนเนต กรดอัลคาโนลามิโนอะซิติก และไทโอยูเรีย เป็นต้น

5. บัฟเฟอร์ (Buffer) เป็นสารที่สามารถรักษาระดับของค่า pH ให้ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สารที่ใช้โดยทั่วไป เช่น โซเดียมคาร์บอเนต กรดมาลินิก กรดกลูตาริก กรดอะซิติก ไกลซีน กรดโปรปิโอนิก เป็นต้น

6. สารช่วยเพิ่มอัตราการเกาะตัวของโลหะ (Exaltant) เป็นสารที่ช่วยทำให้การยึดติดของโลหะให้สูงขึ้น ซึ่งได้แก่สารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ เช่น เกลือแลคเตต เกลือไฮดรอกซีอะซิเตต เกลือซัคซิเนต เกลืออะซิเตต เกลือมาลิกเนต เกลือฟลูออไรด์ เป็นต้น

7. สารเพิ่มความชื้น (Wetting agent) เป็นสารที่ทำให้แรงตึงผิวของสารละลายลดลง ซึ่งมีผลในการทำให้สารละลายสัมผัสกับผิวของขั้วสเตรทได้ดีขึ้นและยังช่วยในการกำจัดฟองของไฮโดรเจนที่เกิดในปฏิกิริยาการชุบได้ด้วย ตัวอย่างสารนี้เช่น เกลือของกรดซัลโฟนิก เป็นต้น

สิ่งที่บ่งบอกเป็นสิ่งแรกว่ามีการชุบเคลือบเกิดขึ้นสังเกตได้โดยผิวของพลาสติกจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีดำขึ้น จากนั้นจะค่อยๆ เป็นสีดำนแดง และสุดท้ายก็จะกลายเป็นสีทองแดง

กระบวนการนี้สามารถใช้กับโลหะได้มากมายเช่น ทองแดง เงิน โคบอลต์ พอลาเดียม นิกเกิล ทอง โรเดียม แพททินัม สังกะสี ดีบุก เป็นต้น

2.5.1.3.1 ปัจจัยที่ควบคุม (Controlling Factor)

ตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลกับการชุบเคลือบแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless deposition) คือ

1. อุณหภูมิ อัตราการเคลือบโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อัตราการสลายสารประกอบทองแดงเป็น ไอออนของทองแดงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ การพองของชั้นฟิล์มทองแดงเกิดได้ง่าย และเป็นไปได้มากที่จะเกิดจากการที่ไฮโดรเจนถูกกักไว้ได้ ผิวของชั้นทองแดงในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

2. พื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Volume area) การชุบเคลือบทำให้เกิดได้ดีขึ้น โดยการเพิ่มพื้นที่ผิว ต่อปริมาตร เพราะพื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.5.1.3.2 ข้อควรระวัง (Precaution)

1. การรักษาความเข้มข้นของสารละลายเป็นสิ่งสำคัญ โดยควรกำหนดความเข้มข้นของ

1. ความเข้มข้นของโลหะ
2. ปริมาณของตัวรีดิวซ์
3. สารรักษาสภาพของสารละลาย (Stabilizer)

การรักษาระดับของ pH ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะทำให้ได้การชุบเคลือบที่ดี

2. ควรทำในอ่างที่ผลิตจากโพลีเอทิลีน เพราะน้ำเกาะผนังของอ่างได้ยากจึงลดการเกิดการชุบเคลือบที่ผนังของอ่าง

2.5.1.3.3 ข้อดีของการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

1. ชั้นฟิล์มของโลหะมีรูเล็กๆ น้อย
2. ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า
3. ใช้เคลือบโลหะลงบนผิวที่ไม่นำไฟฟ้าได้
4. สร้างชั้นที่มีหมู่ฟังก์ชันเฉพาะได้
5. ได้ผิวโลหะที่เหมือนกันทั้งแผ่นซบสเตรทแม้ว่าซบสเตรทจะมีรูปร่างซับซ้อน
6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าสามารถหาได้ง่าย

2.5.1.3.4 ข้อเสียของการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

1. แพงกว่าการชุบผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า (Electroplating) เพราะตัวรีดิวซ์มีราคาแพงกว่า กระแสไฟฟ้า

2. ได้ความเข้มข้นของชั้นโลหะน้อยกว่า เพราะอัตราการเคลือบผิวถูกจำกัด โดยปริมาณ

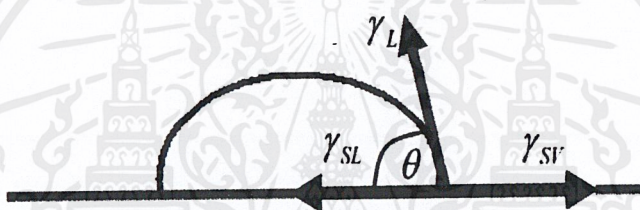
ไอออนในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การวัดแรงตึงผิว

แรงตึงผิวเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของของแข็ง โมเลกุลของของแข็งจะดึงดูดกับโมเลกุลของเหลว แรงของโมเลกุลที่อยู่ในของเหลวจะถูกทำให้สมดุลโดยแรงดึงดูดที่เท่ากันในขณะที่โมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิว (แผ่นพอลิเมอร์) เกิดการไม่สมดุล จากปรากฏการณ์ดังกล่าว คือ เกิดพลังงานอิสระขึ้นบริเวณผิวของของเหลว พลังงานที่มากเกินไปนี้เรียกว่าพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface free energy) ซึ่งพลังงานนี้ถ้าของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในสถานะของเหลว พลังงานที่วัดได้จากผิวของของแข็งจะถูกเรียกว่า แรงตึงผิว การวัดค่าแรงตึงผิวนี้ทำโดยวิธีการวัดมุมสัมผัสที่อุณหภูมิต่ำ การคำนวณค่าแรงตึงผิวของของแข็ง (แผ่นพอลิเมอร์) ดังนี้

Young แสดงสมการความสัมพันธ์ของค่าแรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว โดยสามารถเขียนใน รูปเวกเตอร์ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ทิศทางของแรงตึงผิว ระหว่างของแข็ง-ของเหลว ในรูปเวกเตอร์ [2]

แรงของเวกเตอร์ทั้ง 3 ทิศทาง จะได้ สมการที่ (1)

$$\gamma_{SL} = \gamma_{SV} - \gamma_L \cdot \cos \theta \quad (1)$$

เมื่อ γ_{SL} คือ แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ณ สภาวะสมดุล

γ_{SV} คือ แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ไอ ณ สภาวะสมดุล

γ_L คือ แรงตึงผิวของของเหลว ณ สภาวะสมดุล

θ คือ มุมสัมผัสที่วัดได้จากหยดของของเหลวบนของแข็ง

2.6.1 การวัดแรงตึงผิวโดยใช้มุมสัมผัส

เทคนิค Sessile drop เป็นวิธีที่ใช้สำหรับอธิบายลักษณะของพลังงานพื้นผิวของของแข็ง วิธีนี้จะทำโดยการหยดของเหลวที่ทราบค่าพลังงานพื้นผิว และรูปร่างของหยดของ ของเหลวที่ใช้ในการทดลองเรียกว่า “Probe liquid”

ของเหลวทดสอบ (Probe liquid) ค่าพลังงานของพื้นผิวมีหน่วยเป็นจูลต่อพื้นที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงตึงผิวในกรณีที่เป็นของเหลวที่มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m)

แรงตึงผิวบริเวณระหว่างรอยต่อของผิวของของเหลว (Probe Liquid) กับผิวของของแข็งที่สัมผัสกันมาจากผลของความแตกต่างของแรงระหว่าง โมเลกุล พลังงานพื้นผิวสามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น พลังงานพื้นผิวเนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจน แรงระหว่างขั้ว ปฏิกิริยาของกรด/เบส เป็นต้น

Goniometer method เป็นวิธีการวัดมุมสัมผัสที่ง่ายที่สุด โดยที่หยดของเหลวจะรวมตัวกันอยู่ที่ปลายของหลอดคลีคยาแล้วหยดลงบนแผ่นของแข็งตัวอย่างที่วางอยู่ในแนวตั้งฉากกัน จากนั้นเราจึงถ่ายภาพหยดของเหลวที่อยู่บนแผ่นของแข็ง แล้วนำมาวิเคราะห์โดยเราสามารถทำการวิเคราะห์โดยใช้ตาเปล่าก็ได้หรือจะใช้โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มขนาดหยดของของเหลวได้ตามสัดส่วนที่เหมาะสมซึ่งจะไม่ส่งผลต่อค่าของมุมที่วัดได้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานพื้นผิวของน้ำ [12]

Liquid	Total Surface Tension (mN/m)	Dispersive Component (mN/m)	Polar Component (mN/m)	Acid Component (mN/m)	Base Component (mN/m)
Water	72.8	26.4	46.4	23.2	23.2

2.7 วิธีทดสอบด้วยเทปกาว (Scotch Tape Test) ตามมาตรฐาน ASTM D3359

เทคนิคที่ใช้ในการทดสอบการยึดติดระหว่างโลหะกับแผ่นฉาบสเตรทอย่างง่ายคือการทดสอบโดยใช้เทป เทปที่ใช้จะต้องเป็นเทปที่ไวต่อการกรีด เทปนี้จะถูกติดลงบนแผ่นฉาบสเตรทที่มีโลหะเคลือบอยู่และได้ทำการกรีดให้เกิดรอยบนโลหะแล้ว ซึ่งการทดสอบนี้มีอยู่ 2 วิธี ได้แก่

1. การทดสอบด้วยวิธีกรีดเป็นรูปกากบาท (X-cut tape test) ในโรงงานต่างๆ ส่วนมากแล้วจะใช้วิธีนี้ในการทำให้เกิดรอยบนโลหะ ซึ่งจะใช้มีดโกน มีดผ่าตัด มีด หรือเครื่องมือที่ใช้ในการตัด ในการทำให้เกิดรอย ซึ่งรอยตัดนี้จะมีลักษณะเป็นรูปกากบาทที่ทำมุม 30-45 องศาซึ่งกันและกัน หลังจากนั้นจะติดเทปลงบนกึ่งกลางของรอยตัดแล้วจึงดึงเทปออกอย่างทันที ต่อมาจะทำการ

ตรวจสอบและเปรียบเทียบบริเวณรอยตัดที่เป็นรูปกากบาทบนแผ่นซัสเตรทก่อนและหลังทำการทดสอบ

2. การทดสอบด้วยวิธีกรีดเป็นตารางไขว้ (Cross-cut tape test) วิธีนี้นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการสำหรับการเคลื่อนผิวที่มีความหนาน้อยกว่า 125 ไมครอน รอยตัดจะมีลักษณะเป็นตาราง หลังจากนั้นจะตีเทปลงบนรอยตัดแล้วจึงดึงเทปออก ต่อมาจะทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบบริเวณรอยตัดบนแผ่นซัสเตรทก่อนและหลังทำการทดสอบ

2.7.1 การทดสอบด้วยวิธีกรีดเป็นตารางไขว้ (Cross-cut Tape Test)

ตัวอย่างทดสอบที่มีฟิล์ม โลหะเคลือบอยู่บนผิวจะถูกนำมาทดสอบด้วยวิธีการทดสอบด้วยวิธีกรีดเป็นตารางไขว้ (Cross-cut tape test) ซึ่งพื้นผิวตัวอย่างต้องเรียบและสม่ำเสมอ

วิธีการทดสอบมีดังนี้

1. ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง วางตัวอย่างบนฐานที่แข็งแรง
2. เลือกบริเวณที่ไม่มีรอยตำหนิ
3. ใช้ใบมีดที่มีความคมสำหรับกรีด โลหะที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของซัสเตรทที่มีความหนา 50 ไมโครเมตรหรือน้อยกว่านั้น โดยให้ช่องว่างห่างกัน 1 มิลลิเมตร ถ้าความหนาของโลหะอยู่ระหว่าง 50 ถึง 125 ไมโครเมตร ช่องที่กรีดห่างกัน 1.5 มิลลิเมตร หรือ 2 มิลลิเมตร
4. ใช้มีดกรีดตามแนวยาว โดยกรีดให้ทะลุถึงซัสเตรท
5. ปิดเศษฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น
6. จากนั้นจะทำการกรีดครั้งที่ 2 โดยกรีดตามขวาง ทำมุม 90 องศา ซึ่งจะได้รอยตัดฟิล์มโลหะบางในรูปแบบที่เป็นตาราง
7. ทำการปิดฝุ่นละอองอีกครั้งแล้วตรวจสอบรอยตัดเพื่อให้แน่ใจว่ากรีดทะลุถึงซัสเตรท
8. หลังจากนั้นนำเทปมาติดลงบนฟิล์มโลหะที่กรีดไว้แล้ว ยางลบช่วยทำให้เทปติดกับฟิล์มโลหะได้ดีขึ้น
9. ทิ้งไว้ประมาณ 90 วินาที แล้วจึงดึงเทปออกโดยจับที่ปลายของเทปและดึงออกอย่างรวดเร็ว (ไม่ใช่การกระตุก) โดยทำมุม 180 องศา
10. ใช้ตารางในการเปรียบเทียบการยึดติดของฟิล์ม ซึ่งได้แบ่งออกเป็นหมวดหมู่ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การขีดติดของฟิล์มบางเมื่อใช้วิธีการทดสอบด้วยวิธีกรีดเป็น
ตารางไขว้ (Cross-cut tape test) [13]

Classification for percentage of area removed	Surface of crosscut area (six each horizontal and vertical parallel cuts) where flaking has occurred: adhesion range by percent.*
5B – 0% None	
4B – Less than 5%	
3B – 5% to 15%	
2B – 15% to 35%	
1B – 35% to 65%	
0B – Greater than 65%	

*For illustration purposes only.

2010 Precision Gage and Tool Co.

โดยที่

- 5B ไม่มีแผ่นฟิล์มโลหะที่ถูกกรีดเป็นตารางเหลืออยู่บนซับสเตรท
- 4B มีแผ่นฟิล์มโลหะขนาดเล็กติดอยู่ประมาณไม่เกิน 5%ของพื้นที่ บริเวณมุมของตาราง
- 3B มีแผ่นฟิล์มโลหะขนาดเล็กติดอยู่ประมาณ 5-15%ของพื้นที่ บริเวณมุมและขอบของตาราง
- 2B บริเวณมุมหรือขอบของตารางที่เหลือมีแผ่นฟิล์มโลหะติดอยู่ประมาณ 15-35% ของตาราง
- 1B มีแผ่นฟิล์มโลหะเคลือบตามยาวและมุมของตารางอยู่ประมาณ 35-65%ของตาราง
- 0B มีแผ่นฟิล์มโลหะหลุดออกน้อยกว่าเกรด 1B

2.8 การศึกษาสภาพพื้นผิว

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของแผ่นพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา และหลังจากการชุบโลหะโดยไม่ใช้ไฟฟ้าโดยจะศึกษาความขรุขระของพื้นผิว ความหนาของชั้นโลหะทองแดงจากการตัดขวางของแผ่นพอลิเมอร์

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. Kobayashi, Y. Takao และ K. Komurasaki [6] ได้วิจัยเพื่อพัฒนาแหล่งกำเนิดพลาสมาชนิดกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้ก๊าซอาร์กอนและก๊าซไนโตรเจนก๊าซทำงาน (Working gas) อุปกรณ์ในการกำเนิดพลาสมาประกอบด้วยแหล่งจ่ายคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2.45 GHz กำลังสูงสุดที่ใช้เท่ากับ 600 วัตต์ แหล่งจุดให้เกิดพลาสมา (Plasma torch) จะทำโดยใช้ลวดทั้งสแตนในการก่อให้เกิดพลาสมา ขอบเขตป้องกันไม่ให้เกิดการสะท้อนโดยมีส่วนปรับคลื่นแบบ 3 สดับเพื่อปรับความถี่ให้เกิดการสะท้อน MW น้อยที่สุด และระบบจ่ายก๊าซ จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า

- ที่อัตราการไหลของก๊าซต่ำ พลาสมาที่ความดันบรรยากาศจะไม่เสถียร เพราะการไหลแบบหมุนวน (Swirling flow) ของก๊าซทำงาน (Working gas) ในหลอดแก้วนั้นไม่รุนแรง ที่อัตราการไหลของก๊าซสูงจะไม่สามารถรักษาสภาพพลาสมาได้เพราะกำลังของไมโครเวฟต่ออัตราการไหลทำให้อิเล็กตรอนในพลาสมาถูกเร่งไม่เพียงพอที่จะสามารถแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้จึงทำให้อุณหภูมิที่เป็นกลาง มีมากขึ้นในก๊าซทำงาน (Working gas)
- ความเข้มรังสีที่แผ่ออกมาของไมโครเวฟพลาสมาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซไนโตรเจนในก๊าซทำงาน ซึ่งเกิดจากอนุภาคของไนโตรเจนที่อยู่ในสถานะกระตุ้น
- เมื่อใช้ก๊าซทำงานเป็นก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์หรือไนโตรเจนบริสุทธิ์ จะไม่เกิดการกระตุ้นเป็นพลาสมาขึ้น แต่ถ้าผสมก๊าซไนโตรเจนไปในอาร์กอนเพียงปริมาณเล็กน้อยจะเกิดพลาสมาขึ้น
- ค่าการดูดกลืนไมโครเวฟ (MW absorption factor, η_p) ลดลงเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในก๊าซทำงาน (Working gas) เพิ่มขึ้นและเป็นสัดส่วนกับกำลังไฟที่ป้อนให้กับแมกนีตรอนที่แต่ละความเข้มข้นของไนโตรเจน

- อัตราส่วนการดูดกลืนไมโครเวฟ (MW absorption ratio) ของการปล่อยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในก๊าซทำงาน (Working gas) และเป็นสัดส่วนกำลังไฟที่ป้อนให้กับแมกนีตรอนที่แต่ละความเข้มข้นของไนโตรเจน

- ความหนาแน่นของพลาสมาที่เกิดขึ้น (Radiant intensity) ของการปล่อยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในก๊าซทำงาน (Working gas)

- จากการวิเคราะห์สเปกตรัมโดยใช้สเปกโตรสโคป (Spectroscopic analysis) พบว่าระดับของการแตกตัวเป็นไอออน (Degree of ionization) ในการปล่อยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศต่ำ และการปล่อยพลังงานมาจากอนุภาคของไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ ที่กำลังไฟที่ป้อนให้กับแมกนีตรอน 600 วัตต์

- การปล่อยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศที่เกิดขึ้น มีสิ่งเจือปนอยู่เล็กน้อย เพราะไม่ได้เป็นการใช้ขั้วไฟฟ้าในการกระตุ้นก๊าซให้เกิดเป็นพลาสมา

ดังนั้น กำลังที่ใช้สูงไปจนถึง 600 วัตต์ แหล่งกำเนิดพลาสมาสามารถลดความเสถียรของการปล่อยพลาสมาไว้ได้ภายใต้ความดันบรรยากาศหลังจากการจุดติดพลาสมา โดยใช้ลวดทังสเตนบางๆ และสามารถใช้งานที่ กำลังไฟประมาณ 600 วัตต์ได้ ใช้ก๊าซผสมของอาร์กอนกับไนโตรเจน

ตารางที่ 2.3 ช่วงสภาวะการทดลองของแหล่งพลาสมาที่เสถียร

Microwave Power (w) 0 ~ 600	
Working gas flow rate (l/min)	
Ar	4 ~ 13
N ₂	0.2 ~ 3

จากงานวิจัยของ Brent T. Ginn และ Oliver Steinbock [11] ได้ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาซึ่งส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสภาพของพื้นผิวซึ่งงานวิจัยนี้เป็นจะใช้พอลิไดเมทิลไซโลเซน (PDMS) เป็นซับสเตรท ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยจะทำการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้ออกซิเจนมากระตุ้นให้เกิดเป็นพลาสมาซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สายโซ่บนโมเลกุลแยกออกจากกันและเกิดการเชื่อมโยง (Cross-linking) ออกซิเจนที่ถูกกระตุ้นให้เกิดเป็นพลาสมาทำให้วัสดุมีหมู่ซิลิกอนสามารถยึดติดกับซับสเตรทได้ เครื่องกำเนิดพลาสมานั้นต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีความพิเศษ ดังนั้นเพื่อความประหยัด ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ตามบ้านเรือนและเครื่องแก้วจากห้องทดลองเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่าง PDMS กับซับสเตรทแก้ว

แผ่นซับสเตรตที่เลือกใช้คือ ซิลิกอน และเครื่องดูดความชื้น (Pyrex, เส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร) และก๊าซที่เลือกใช้คือออกซิเจนและเอทานอล (100%) พลาสมาจะเกิดที่กำลัง 1,100 วัตต์ ความถี่ 2.45 GHz เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งใดๆ บนพื้นผิว ชิ้นงานตัวอย่างจะถูกล้างด้วยเอทานอล แล้วทำให้แห้งด้วยอากาศอัด (compressed air) จากนั้นนำตัวอย่างไปใส่ลงในเครื่องดูดความชื้น โดยมีหลอดเหล็กชิ้นเล็กๆ วางไว้ที่ส่วนล่างของเครื่องดูดความชื้นเพื่อใช้เป็นตัวจุดประกายไฟ ระบบถูกล้าง (Purge) ด้วยออกซิเจนเป็นเวลา 2 นาที ก่อนที่จะทำให้อุณหภูมิในเครื่องดูดความชื้นมีความดันประมาณ 10^{-3} ทอร์ แล้วนำเครื่องดูดความชื้นไปวางในเตาไมโครเวฟ ในงานวิจัยนี้ใช้กำลังสูงสุดของเตาไมโครเวฟ

การวัดมุมสัมผัสจะทำโดยหยดน้ำปริมาตร 20 ไมโครลิตรลงบน PDMS จากนั้นจะทำการถ่ายภาพโดยใช้กล้องดิจิทัล ผลที่ได้จากการปรับสภาพพื้นผิวด้วยออกซิเจนที่ถูกกระตุ้นให้เกิดเป็นพลาสมาทำให้สมบัติของพื้นผิว PDMS มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีหมู่ SiO_x เกิดขึ้นบนพื้นผิว การเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสขึ้นกับเวลาที่แผ่นซับสเตรตผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ถ้าสัมผัสกับพลาสมานานก็จะทำให้มุมสัมผัสที่ได้มีค่าลดลงซึ่งมีค่าน้อยกว่า 15 องศา และจากการทดลองถ้าหากไม่ใส่หลอดเหล็กในเครื่องดูดความชื้น นั้นจะพบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสเมื่อเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้น อีกทั้งเมื่อให้ซับสเตรตสัมผัสกับอากาศจะทำให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำกลับมาเป็นเช่นเดิมเมื่อปล่อยให้แห้งประมาณ 2-3 ชั่วโมง จะทำให้มุมสัมผัสที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาจาก $15 \pm 2^\circ$ เพิ่มขึ้นเป็น 79° มุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีค่าต่ำกว่ามุมสัมผัสที่วัดได้ก่อนการปรับสภาพพื้นผิว

ในงานวิจัยของ TOSHIFUMI YUJI, TAKUYA URAYAMA, SHUITSU FUJII, YOSHITOKI IJIMA, YOSHIFUMI SUZAKI และ HIROSHI AKATSUKA [20] เป็นการศึกษากระบวนการเกิดพลาสมาที่ถูกกระตุ้นด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 Hz ที่ความดันบรรยากาศโดยใช้ Plasma Jet Torch Electrode ที่สามารถทำให้เกิดอนุภาคนิวตรอนที่มีความหนาแน่นสูงและมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งประกอบไปด้วยอะลูมิเนียมและใช้หลอดแก้วควอตซ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร ยาว 170 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นท่อที่ใช้ในการปล่อยพลาสมาออกไปให้สัมผัสกับแผ่นฟิล์ม ก๊าซที่ใช้ในการทำให้เกิดพลาสมาคือ ก๊าซผสมระหว่างอาร์กอนและไนโตรเจน โดยในที่นี้อัตราการไหลของอาร์กอนมีค่าคงที่ 8 ลิตรต่อนาที ในการทดลองนี้ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนให้อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.5 ลิตรต่อนาที รวมถึงใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมของอนุภาค

ที่เกิดขึ้นในพลาสมา (Optical emission spectroscopy, OES) ในการศึกษาคุณสมบัติของพลาสมา และหาอุณหภูมิที่เกิดจากการสั่น/หมุน (Vibrational/rotational temperature) ของอะตอมในพลาสมา ที่สภาวะต่างๆ อีกทั้งยังศึกษาลักษณะพื้นผิวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยพลาสมา ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ แผ่นฟิล์ม โพลีเอทิลีนแนฟทาเลท (PEN) ระยะห่างระหว่างแผ่นฟิล์มกับปลายหลอดแก้วเท่ากับ 35 มิลลิเมตร และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพลาสมาเท่ากับ 100 วัตต์ แล้วจะทำการวัดมุมสัมผัสศึกษา การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของแผ่นฟิล์มโดยหยดน้ำภายใน 24 ชั่วโมงลงบนแผ่นฟิล์มนี้หลังจากผ่าน การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

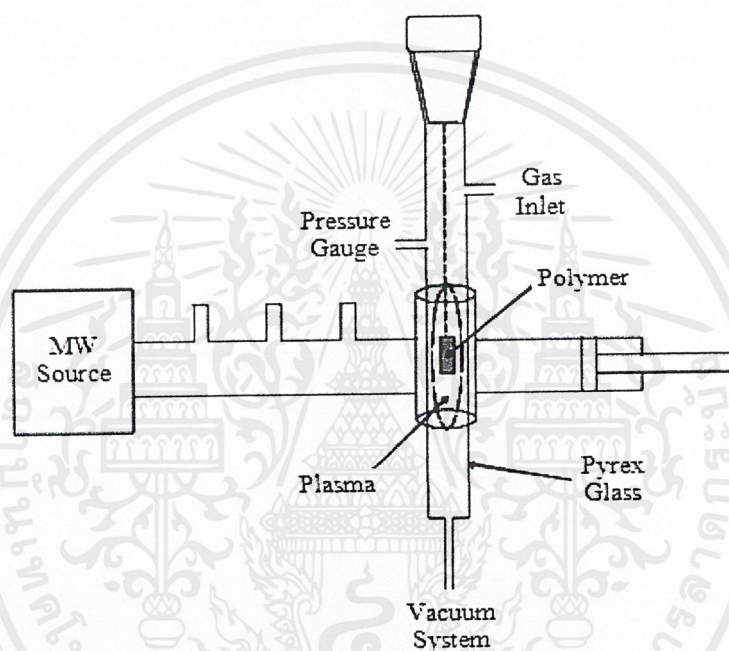
- การศึกษาอุณหภูมิที่เกิดจากการสั่นของพลาสมา 0.18 ถึง 0.22 eV ดังนั้นจึงเป็นพลาสมา ที่มีอุณหภูมิก่อนข้างต่ำ
- การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มนี้ มุมสัมผัสที่วัดได้จะลดลงเมื่ออัตราการไหลของ ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และยังพบอีกว่ามุมสัมผัสถูกควบคุม โดยอุณหภูมิที่เกิดจากการหมุนของอะตอม พลาสมา
- การวิเคราะห์พื้นผิวที่เกิดขึ้นบนผิวของแผ่นฟิล์ม โดยใช้ X-ray photoelectron spectroscopy และผลการวิเคราะห์ได้ยืนยันว่ามีอนุมูลอิสระของไนโตรเจนเกิดขึ้นที่พื้นผิวของ แผ่นฟิล์ม

Mehdi Sharifian, Seyyed Iman Hosseini, Babak Shokri [17] ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของ พอลิไดเมทิลไซโลเซน (PDMS เป็นอีลาสโตเมอร์) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเปียก โดยระบุ ลักษณะสมบัติของพื้นผิวโดยใช้การวัดมุมสัมผัส แก๊สที่นำมากระตุ้นให้เกิดพลาสมา ได้แก่ อาร์กอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน พลาสมาจากแก๊สทั้ง 3 ชนิดทำให้มุมสัมผัสระหว่างน้ำกับ PDMS ลดลงได้ อย่างไรก็ตามพื้นผิวก็กลับคืนสู่สภาพไม่ชอบน้ำอีก และจะเปรียบเทียบกับมุมสัมผัสระหว่าง วัสดุที่ปรับสภาพด้วยพลาสมาแล้วกับยางซิลิโคน (Silicone rubber) ที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึง ผิว (Surfactant) วัสดุทั้งหมดเหล่านี้มีมุมสัมผัสน้อยกว่าวัสดุที่ไม่ผ่านการปรับพื้นผิวอย่างมี นัยสำคัญ

PDMS เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำซึ่งสัมผัสกับออกซิเจนที่ถูกกระตุ้นให้เกิดเป็นพลาสมา นำไปสู่การออกซิเดชันและสายโซ่โมเลกุลถูกตัดให้สั้น นอกจากนี้ยังเกิดการเชื่อม โยง (Cross - linking) ที่พื้นผิวและทำให้พื้นผิวสามารถจับกับหมู่ซิลิกาได้มากยิ่งขึ้น (Silica - like surface)

ในการทดลองจะใช้คลื่นไมโครเวฟในการกระตุ้นก๊าซ ให้เกิดเป็นพลาสมาเพื่อปรับสภาพพื้นผิวของยางซิลิโคน พลาสมาที่ถูกระตุ้นโดยคลื่นไมโครเวฟมีข้อดีเหนือกว่าเทคนิคอื่นๆ ที่เหมือนกับการกระตุ้นก๊าซให้เกิดเป็นพลาสมาด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency glow discharge, RF GD) ในการนำมาใช้ปรับสภาพพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ

พลาสมาที่กระตุ้นโดยคลื่นไมโครเวฟ (MW sources) สามารถดำเนินการที่ความดันต่ำ (10^{-3} ถึง 10^{-1} มิลลิบาร์) ซึ่งลดความเสี่ยงของสิ่งเจือปนในเฟสก๊าซระหว่างกระบวนการ ยิ่งไปกว่านั้น สมบัติของพลาสมาสามารถควบคุมได้อย่างง่ายโดยการปรับกำลังของไมโครเวฟ



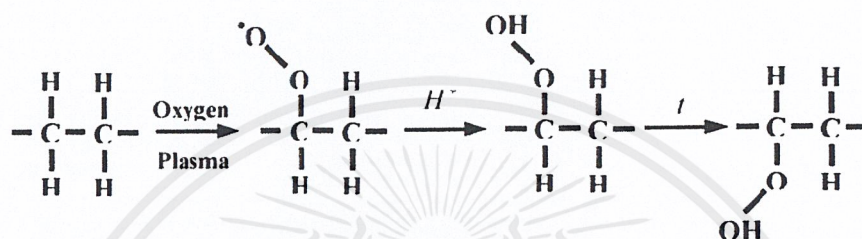
รูปที่ 2.6 ระบบปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาสำหรับการปรับปรุงพื้นผิว PDMS [16]

ในการทดลองนี้ ชุดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.6 พลาสมาที่เกิดขึ้นโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งในการกระตุ้นให้เกิดพลาสมาโดยใช้กำลังไฟฟ้าที่ 100 วัตต์ ความถี่ 2.45 GHz พารามิเตอร์พื้นฐานของความสามารถในการเปียกคือ มุมสัมผัส, θ ของของเหลวกับพื้นผิวของแข็ง ความสามารถในการเปียกของของเหลวถูกนิยามเป็นมุมสัมผัสระหว่างหยดของเหลว (เช่น น้ำ) กับพื้นผิวขั้วลบตรง ซึ่งในที่นี้มุมสัมผัสหาได้โดยหยดของเหลว (10 ไมโครลิตร) แล้วถ่ายรูปทันทีโดยใช้กล้องดิจิทัล จากนั้นนำเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์และหามุมสัมผัส ผลที่ได้จากการทดลองเป็นดังนี้

มุมสัมผัสของน้ำกับ PDMS 10 นาทีหลังสัมผัสกับพลาสมาเป็นเวลา 30 วินาที ใช้กำลัง 100 วัตต์ ไฮโดรเจนพลาสมามีประสิทธิภาพมากในการเพิ่มความชอบน้ำของยางซิลิโคน (silicone

rubber) และในงานวิจัยอื่นทำโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นแหล่งกระตุ้นการเกิดพลาสมา ผลที่ออกมา คือ ออกซิเจนที่ถูกระตุ้นให้เกิดเป็นพลาสมามีประสิทธิภาพในการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำมากกว่า

เมื่อปล่อยขั้วสเตรทที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาไว้ 24 ชั่วโมง มุมสัมผัสจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเหตุผลอย่างน้อย 2 ประการคือการหมุนของขั้วโมเลกุลของพอลิเมอร์และการมีสิ่งเจือปนส่งผลให้มุมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับกรณีนี้น่าจะมีผลมาจากการหมุนของขั้วบริเวณพื้นผิวของขั้วสเตรททำให้กลับไปมีสมบัติไม่ชอบน้ำเช่นเดิม



รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนของขั้ว [17]

รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนของขั้วที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีการชนกันระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนพอลิเมอร์และอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงในการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ซึ่งส่งผลให้พันธะเคมีในพอลิเมอร์เกิดการแตกตัวแล้วมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น ปฏิกิริยาระหว่างอะตอมออกซิเจนและอนุมูลอิสระทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์ (O_2 -radical) ที่พื้นผิวดังแสดงในรูปที่ 2.7

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานและขั้นตอนการทดลอง

3.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิบัติการที่ใช้ในกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา และอุปกรณ์ที่จะใช้ในกระบวนการชุบโลหะ

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลองและประเมินผลการทดลอง ปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 สรุปโครงงานและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน

เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ขั้นตอนที่ 1									
ขั้นตอนที่ 2									
ขั้นตอนที่ 3									
ขั้นตอนที่ 4									

3.2 วิธีการทดลอง

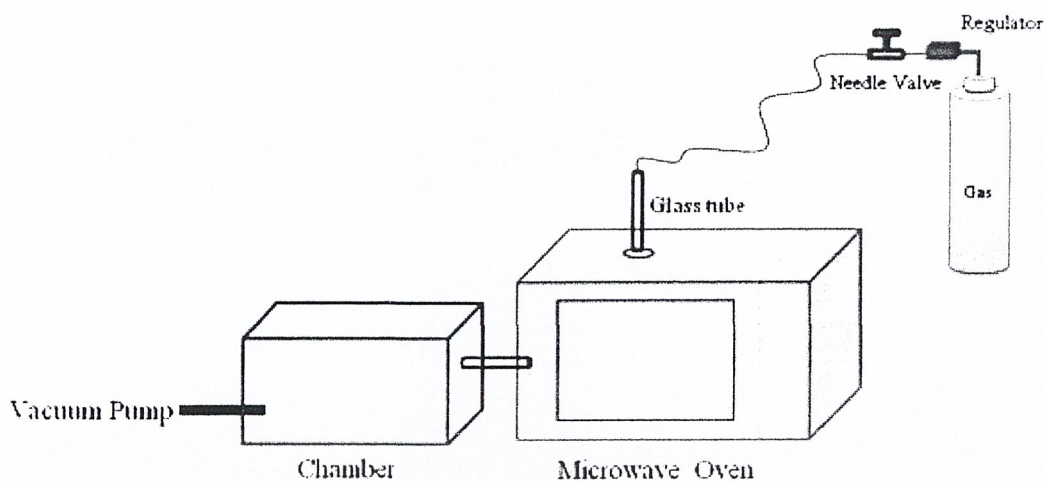
การทดลองแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา และส่วนที่สองเป็นการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

3.2.1 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

ตอนที่ 1 การปรับสภาพพื้นผิวของกลาสีฟ็อกซีโดยเครื่องปฏิบัติการพลาสมา ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้เตาอบไมโครเวฟตามคริวเรือน

ตอนที่ 1.1 การสร้างเครื่องปฏิบัติการสำหรับกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

ส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์สำหรับปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา แสดงในรูปที่ 3.1 และมีรายละเอียด ดังนี้

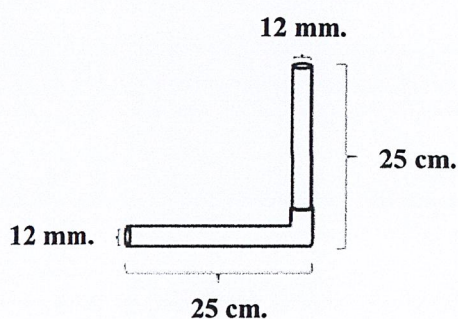
1. เตาอบไมโครเวฟ ความถี่ 2.45 GHz นำมาทำการเจาะรูที่ด้านบนและด้านข้างของไมโครเวฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเจาะให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ (น้อยกว่า 2.12 เซนติเมตร) เพื่อป้องกันการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ

หน้าที่ ใช้เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเพื่อกระตุ้นก๊าซให้เกิดพลาสมา

2. หลอดแก้ว pyrex บรรจุอยู่ในเตาอบไมโครเวฟโดยให้ปลายหลอดแก้วทะลุออกทั้งด้านข้างและด้านบนของเตาอบไมโครเวฟ

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 13 มิลลิเมตร
- ความยาว 25 เซนติเมตร

หน้าที่ ใช้เป็นท่อให้ก๊าซเคลื่อนที่ผ่านเข้าและออกจากเตาอบไมโครเวฟ



รูปที่ 3.2 หลอดแก้วบรรจุก๊าซที่จะถูกกระตุ้นเป็นพลาสมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. *กล่องบรรจุขวดสเตอรท (แชมเบอร์)* วางไว้ด้านข้างของไมโครเวฟโดยให้ปลายหลอดแก้วอยู่ในกล่องบรรจุขวดสเตอรท

- วัสดุ อะคริลิก ขนาด $20 \times 30 \times 22$ ลูกบาศก์เซนติเมตร
- หน้าที่ สำหรับบรรจุขวดสเตอรทที่ต้องการปรับสภาพพื้นผิว

4. *ก๊าซผสมระหว่างไนโตรเจนและไฮโดรเจน* ที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจน 5% และ 15% โดยปริมาตร

หน้าที่ ใช้เป็นก๊าซทำงาน (Working gas) ที่จะถูกกระตุ้นให้เกิดเป็นพลาสมา

5. *ปั๊มสุญญากาศ*

หน้าที่ ลดความดันภายในกล่องบรรจุขวดสเตอรทลงไป 10 ปาสคาล

6. *วาล์วเข็ม (Needle valve)*

หน้าที่ ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

ตอนที่ 1.2 **หาสถานะของกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่ส่งผล**

ต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด

เครื่องมือในการทดลอง

ชุดเครื่องมือการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.1

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. เมทานอล | 2. แผ่นกลาสีฟ็อกซ์ขนาด 14×20 มิลลิเมตร |
| 3. ก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจน | 4. ของเหลวทดสอบ (น้ำกลั่น) |
| 5. หลอดฉีดยา | 6. ขาดึงพร้อมที่จับหลอดฉีดยา |
| 7. ฐานวางขวดสเตอรท | 8. ที่จับขวดสเตอรท |
| 9. ถังถ่ายรูปพร้อมขาตั้งถัง | |

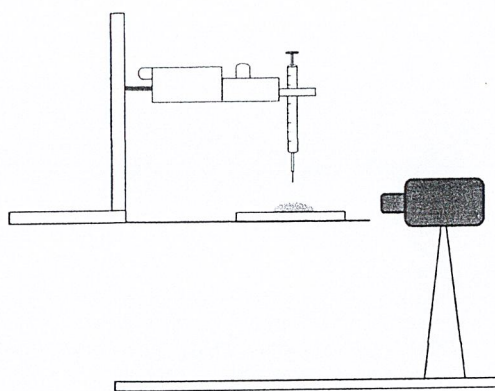
ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1
2. ทำความสะอาดแผ่นกลาสีฟ็อกซ์แล้วปล่อยให้แห้ง จากนั้นเช็ดด้วยเมทานอล

เพื่อกำจัดคราบไขมันบนพื้นผิว

3. ทำการวัดมุมสัมผัสโดยใช้เทคนิค Sessile Drop ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องมือวัดมุมสัมผัส (Contact angle)

3.1 จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3

3.2 หยดน้ำลงบนแผ่นซึบสเตรท 1 หยด ปริมาตร 20 ไมโครลิตร

3.3 ถ่ายภาพแล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD และ Image J

4. วัดอัตราการไหลของก๊าซโดยใช้การแทนที่ด้วยของเหลว

5. ปรับสภาวะตามที่ได้ออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 3.1

โดยใช้ค่าของตัวแปรดังต่อไปนี้

ความดันภายในห้องพลาสมา = 100 450 และ 800 วัตต์

ความเข้มข้นของ H_2 ใน N_2 = 5 และ 15 % โดยปริมาตร

อัตราการไหลรวมของก๊าซทำงาน = 5 10 และ 15 ลิตร/นาที

6. วัดมุมสัมผัสหลังจากผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาทันทีโดยทำตามขั้นตอน

ในข้อที่ 3

7. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลองตอนที่ 1.2

หาสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด

ครั้งที่	กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	ความเข้มข้นของ H_2 ใน N_2 (% โดยปริมาตร)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)
1	850	5	5
2	850	5	10
3	850	5	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สภาวะการทดลองตอนที่ 1.2
หาสภาวะของพลาสมาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด

Run	กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	อัตราส่วนของ H_2 ใน N_2 (% โดยปริมาตร)	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)
4	850	15	5
5	850	15	10
6	850	15	15
7	450	5	5
8	450	5	10
9	450	5	15
10	450	15	5
11	450	15	10
12	450	15	15
13	100	5	5
14	100	5	10
15	100	5	15
16	100	15	5
17	100	15	10
18	100	15	15

**ตอนที่ 2 การปรับสภาพพื้นผิวของกลาสอีพ็อกซีโดยเครื่องพลาสมา
ที่ความดันสูญญากาศ พร้อมระบบปรับอุณหภูมิแผ่นซ์ของคลื่น**

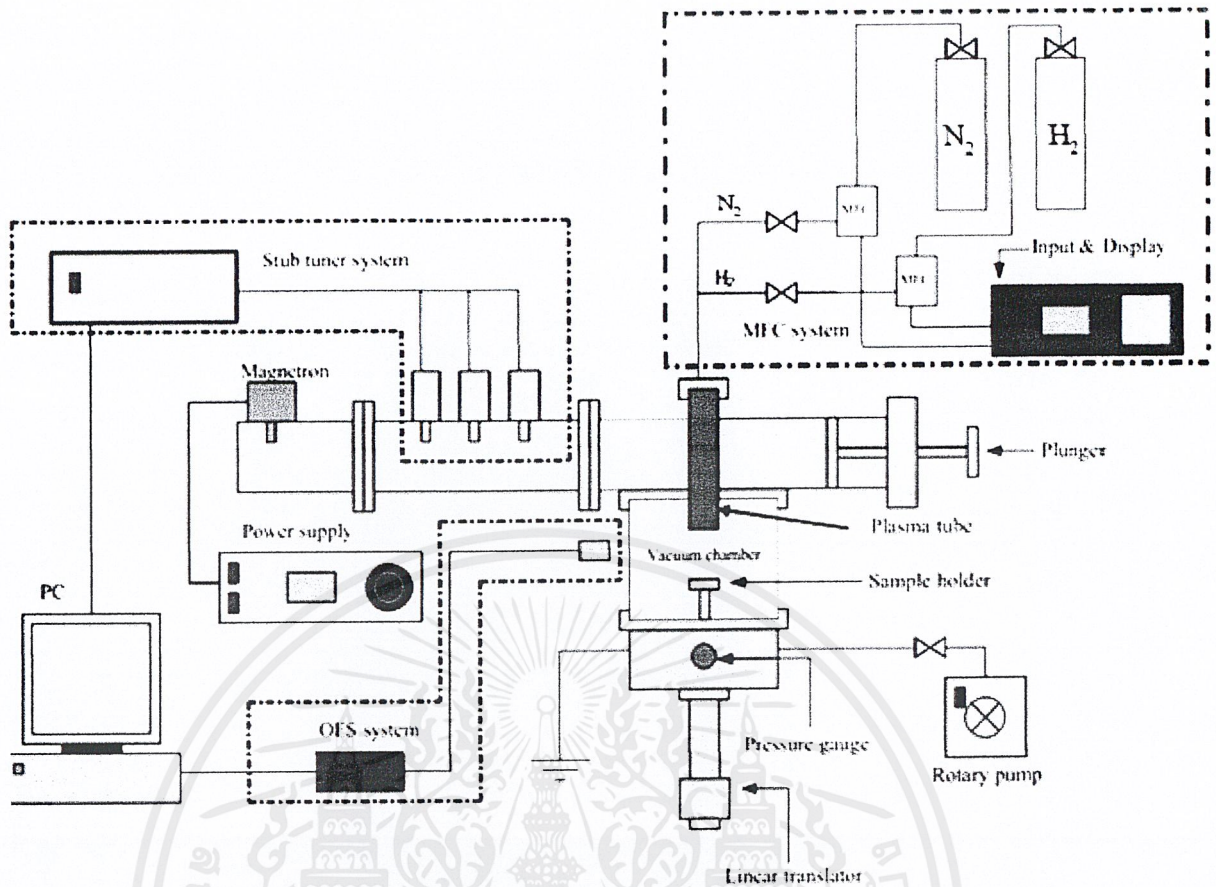
อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

เช่นเดียวกันกับการทดลองในตอน 1.2

ชุดเครื่องมือการทดลอง

ชุดเครื่องมือการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ชุดเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาที่ความดันสุญญากาศ
(ที่มา สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.)

ตอนที่ 2.1 หาช่วงแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอนที่สามารถกระตุ้นให้เกิดพลาสมา เมื่อปรับความเข้มข้นของก๊าซและความดันในห้องพลาสมา

1. ปรับสภาวะของพลาสมาดังแสดงในตารางที่ 3.2

โดยที่ใช้ค่าของตัวแปรดังต่อไปนี้

- อัตราการไหลของก๊าซ

ไฮโดรเจน 6 sccm ไนโตรเจน 34 sccm

ไฮโดรเจน 20 sccm ไนโตรเจน 20 sccm

- ความดันภายในห้องพลาสมา = 0.71 และ 2 ทอร์

2. บันทึกค่าช่วงแรงดันไฟที่ทำให้พลาสมาเสถียร

ตารางที่ 3.2 สถานะในการทดลองตอนที่ 2.1
หาช่วงแรงดันไฟที่สามารถกระตุ้นให้เกิดพลาสมาได้

ครั้งที่	อัตราการไหลของก๊าซ (sccm)		ความดันภายในห้องพลาสมา (ทอร์)
	H ₂	N ₂	
1	6	34	0.7
2	6	34	1
3	6	34	2
4	20	20	0.7
5	20	20	1
6	20	20	2

ตอนที่ 2.2 หากการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสระหว่างกลาสีฟ็อกซีและน้ำ
เมื่อกลาสีฟ็อกซีสัมผัสกับพลาสมาด้วยระยะเวลาต่างๆ

- ทำความสะอาดพื้นผิวขั้วสเตรทด้วยสารซักฟอก และเช็ดด้วยเมทานอล
- วัดมุมสัมผัสระหว่างกลาสีฟ็อกซีขั้วสเตรทและน้ำ ก่อนนำไปผ่านพลาสมา
- ปรับสถานะของพลาสมา ดังนี้
 - ความเข้มข้นของก๊าซ H₂ ใน N₂ = 15% (อัตราการไหลรวม 40 sccm)
 - ความดันภายในห้องพลาสมา = 0.7 ทอร์
 - แรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน = 193 โวลต์
 - ระยะห่างระหว่างปลายหลอดแก้วกับขั้วสเตรท = 2 เซนติเมตร
- ทำการทดลองโดยให้กลาสีฟ็อกซีขั้วสเตรทสัมผัสกับพลาสมาเป็นเวลา 1 นาที
- วัดมุมสัมผัสระหว่างกลาสีฟ็อกซีขั้วสเตรทและน้ำ หลังผ่านพลาสมาแล้ว
- บันทึกค่าและหาผลต่างของมุมสัมผัส
- ทำการทดลองซ้ำ โดยเพิ่มเวลาที่ขั้วสเตรทสัมผัสกับพลาสมา เป็น 2 3 4 นาที ไป

จนกระทั่ง 10 นาที หรือมุมสัมผัสคงที่ หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ตอนที่ 2.3 หาสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด

1. ทำความสะอาดพื้นผิวกระจกสีฟ็อกซีด้วยสารซักฟอก และเช็ดด้วยเมทานอล
2. วัดมุมสัมผัสระหว่างกระจกสีฟ็อกซีกับสเตรทและน้ำ ก่อนนำไปผ่านพลาสมา
3. ปรับสภาวะของพลาสมา ดังแสดงในตารางที่ 3.3

โดยที่ใช้ค่าของตัวแปรดังต่อไปนี้

- อัตราการไหลของก๊าซ

ไฮโดรเจน	6 sccm	ไนโตรเจน	34 sccm
ไฮโดรเจน	12 sccm	ไนโตรเจน	20 sccm
ไฮโดรเจน	20 sccm	ไนโตรเจน	20 sccm
 - ความดันภายในห้องพลาสมา 0.7 และ 1 ทอร์
 - แรงดันไฟ 193 และ 210 โวลต์
 - ระยะห่างระหว่างขั้วสเตรทกับปลายหลอดแก้ว 2 และ 4 เซนติเมตร
4. ทำการทดลอง โดยให้กระจกสีฟ็อกซีกับสเตรทสัมผัสกับพลาสมาเป็นเวลา 5 นาที
 5. วัดมุมสัมผัสระหว่างกระจกสีฟ็อกซีกับสเตรทและน้ำ หลังผ่านพลาสมาแล้ว
 6. บันทึกค่าและหาผลต่างของมุมสัมผัส

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการทดลองตอนที่ 2.3

หาสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด

ครั้งที่	อัตราการไหลก๊าซ (sccm)		ความดันภายในห้องพลาสมา (ทอร์)	แรงดันไฟ (โวลต์)	ระยะห่างระหว่างขั้วสเตรทกับปลายหลอดแก้ว (เซนติเมตร)	เวลาในการสัมผัสพลาสมา (นาที)
	H ₂	N ₂				
1	6	34	0.7	193	2	5
2	6	34	0.7	193	4	5
3	6	34	0.7	210	2	5
4	6	34	0.7	210	4	5
5	6	34	1.5	193	2	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) สภาวะในการทดลองตอนที่ 2.3

หาสภาวะของพลาสมาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด

Run	อัตราการไหลก๊าซ (sccm)		ความดันภายใน ห้องพลาสมา (ทอร์)	แรงดันไฟ (โวลต์)	ระยะห่างระหว่าง ขั้วสเตรทกับ ปลายหลอดแก้ว (เซนติเมตร)	เวลาในการ สัมผัส พลาสมา (นาที)
	H ₂	N ₂				
6	6	34	1.5	193	4	5
7	6	34	1.5	210	2	5
8	6	34	1.5	210	4	5
9	12	28	0.7	193	2	5
10	12	28	0.7	193	4	5
11	12	28	0.7	210	2	5
12	12	28	0.7	210	4	5
13	12	28	1.5	193	2	5
14	12	28	1.5	193	4	5
15	12	28	1.5	210	2	5
16	12	28	1.5	210	4	5
17	20	20	0.7	193	2	5
18	20	20	0.7	193	4	5
19	20	20	0.7	210	2	5
20	20	20	0.7	210	4	5
21	20	20	1.5	193	2	5
22	20	20	1.5	193	4	5
23	20	20	1.5	210	2	5
24	20	20	1.5	210	4	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2.4 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้รวมของก๊าซ ที่มีต่อ
มุลัมผัส เมื่อตัวแปรพลาสมาอื่นๆ มีค่าตามที่กำหนด

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2.3 แต่ปรับสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วย
พลาสมา ดังแสดงในตารางที่ 3.4 โดยที่ใช้ค่าของตัวแปรดังต่อไปนี้

- อัตราการใช้รวมของก๊าซ

ไฮโดรเจน	3 sccm	ไนโตรเจน	17 sccm
ไฮโดรเจน	6 sccm	ไนโตรเจน	34 sccm
ไฮโดรเจน	9 sccm	ไนโตรเจน	51 sccm
- ความดันภายในห้องพลาสมา 0.7 1.5 และ 3 ทอร์
- แรงดันไฟ 193 โวลต์
- ระยะห่างระหว่างขั้วสเตรทกับปลายหลอดแก้ว 2 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.4 สภาวะในการทดลองตอนที่ 2.4

ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้รวมของก๊าซ ที่มีต่อมุลัมผัส

ครั้งที่	อัตราการใช้รวมก๊าซ (sccm)		ความดันภายใน ห้องพลาสมา (ทอร์)	แรงดันไฟ (โวลต์)	ระยะห่างระหว่าง ขั้วสเตรทกับปลาย หลอดแก้ว (เซนติเมตร)	เวลา (min)
	H ₂	N ₂				
1	3	17	0.7	193	2	5
2	3	17	1.5	193	2	5
3	3	17	3	193	2	5
4	6	34	0.7	193	2	5
5	6	34	1.5	193	2	5
6	6	34	3	193	2	5
7	9	51	0.7	193	2	5
8	9	51	1.5	193	2	5
9	9	51	3	193	2	5

ตอนที่ 2.5 หามุมสัมผัสเมื่อกลาสอีพ็อกซีจับสเตรทเกิดการกินสภาพ หลังจากปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา และปล่อยทิ้งไว้ที่สภาพ บรรยากาศเป็นระยะเวลาต่างๆ

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2.3 แต่ปรับสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ดังนี้

- ความเข้มข้นของก๊าซ H_2 ใน N_2 = 50% (อัตราการไหลรวม 40 sccm)
- ความดันภายในห้องพลาสมา = 1.5 ทอร์
- แรงดันไฟ = 193 โวลต์
- ระยะห่างระหว่างปลายหลอดแก้วกับขั้วสเตรท = 2 เซนติเมตร

2. วัดมุมสัมผัสระหว่างกลาสอีพ็อกซีจับสเตรทกับน้ำ หลังจากการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา 0 นาที 1 นาที 2 นาที 3 นาที 5 นาที 10 นาที และ 1 วัน ตามลำดับ

3. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

3.2.2 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

ตอนที่ 1 การทดลองหาสูตรน้ำยาที่เหมาะสม

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชิงงาน (เหล็ก)
2. เครื่องให้ความร้อนและกวนแม่เหล็ก
3. น้ำยาล้างไขมัน
4. น้ำยาคัดพื้นผิว (สารละลายกรดซัลฟิวริก)
5. น้ำยาชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าสูตร 1 และ 2

ขั้นตอนการทดลอง

1. ล้างสิ่งสกปรกหรือฝุ่นที่เกาะอยู่บนผิวของชิงงานด้วยสารซักฟอก
2. ล้างคราบไขมันด้วยน้ำยาล้างไขมัน และกัดด้วยน้ำยาคัดพื้นผิว
3. ชุบในน้ำยาชุบ โดยไม่ใช้ไฟฟ้าสูตร 1
4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1-3 แต่ใช้น้ำยาชุบ โดยไม่ใช้ไฟฟ้าสูตร 2

ตอนที่ 2 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนผิวพลาสติกฟ็อกซีฉาบเซตรท

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชั่งงาน (พลาสติกฟ็อกซีฉาบเซตรท)
2. เครื่องปฏิกรณ์สำหรับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ดังแสดงในรูปที่ 3.4
3. เครื่องให้ความร้อนและกวนแม่เหล็ก
4. น้ำมันไขมัน
5. น้ำยาคัดพื้นผิว (สารละลายกรดซัลฟิวริก)
6. น้ำยาชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าสูตร 1

ขั้นตอนการทดลอง

1. ล้างไขมันและฝุ่นที่เกาะอยู่บนผิวของชิ้นงานด้วยสารซักฟอก และเช็ดด้วยเมทานอล
2. ทำการทดลองดังตารางที่ 3.5
3. ชุบผิวชิ้นงานในน้ำยาชุบทองแดงโดยไม่ใช้ไฟฟ้าสูตร 1

ตารางที่ 3.5 สภาวะในการทดลองการชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนผิวพลาสติกฟ็อกซี

แผ่นที่	Pre-activation	Activation	Reduction after activation
1	-	-	-
2	กัดด้วยน้ำยาคัดพื้นผิว	-	-
3	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	-	-
4	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	1	-
5	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	2	ฟอร์มาลดีไฮด์
6	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	3	ฟอร์มาลดีไฮด์
7	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	1+2	ฟอร์มาลดีไฮด์
8	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	1+3	ฟอร์มาลดีไฮด์
9	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	4	ฟอร์มาลดีไฮด์
10	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา	5	ฟอร์มาลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- *หมายเหตุ 1. ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา (Plasma) เป็นระยะเวลา 5 นาที ใช้สภาวะดังนี้
 C = 50% (อัตราการไหลรวม 40 sccm) P = 1.5 ทอร์ E = 193 โวลต์ และ
 D = 2 เซนติเมตร
2. การกระตุ้นพื้นผิว (Activation) เป็นระยะเวลา 10 นาที หมายเลข 1-5 คือ

หมายเลข	สารที่ใช้
1	aqueous NH ₃
2	CuAc/EtOH
3	CuSO ₄ /EtOH
4	CuAc/NH ₃
5	CuSO ₄ /NH ₃

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการดำเนินงานเพื่อเคลือบโลหะบนผิวพอลิเมอร์ (ในที่นี้ โลหะ คือ ทองแดง และพอลิเมอร์ คือ แผ่นกลาสอีพ็อกซี) ด้วยการปรับสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์โดยใช้พลาสมาชนิดกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่มีก๊าซผสมของไนโตรเจนและไฮโดรเจนเป็นก๊าซทำงาน และตามด้วยการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานและทดลอง ประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ คือ การสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมา การทดลองหาสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่เหมาะสม และการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า สามารถอธิบายผลการดำเนินงานได้ดังนี้

4.1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา จากการดัดแปลงเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน

จากการทดลองตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1 ตอนที่ 1.1 พบว่าเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ตามครัวเรือนไม่สามารถกระตุ้นให้ก๊าซเกิดเป็นพลาสมาที่ความดันบรรยากาศได้ เนื่องจากก๊าซภายในหลอดแก้วได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟที่ส่งออกมาจากแมกนีตรอนไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้ก๊าซผสมแตกตัวเป็นพลาสมา แม้ว่าจะใช้กำลังของแมกนีตรอนที่ค่าสูงสุด คือ 850 วัตต์ และปรับอัตราการไหลของก๊าซจากต่ำจนถึงสูง (ตั้งแต่ 1 ลิตรต่อนาที จนถึง 18 ลิตรต่อนาที เพื่อหาสภาวะที่จำนวนอนุภาคหรืออัตราการไหลของก๊าซเหมาะสมกับความดัน และพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ) แล้วก็ตาม

4.2 การปรับสภาพพื้นผิวกลาสอีพ็อกซีด้วยพลาสมา

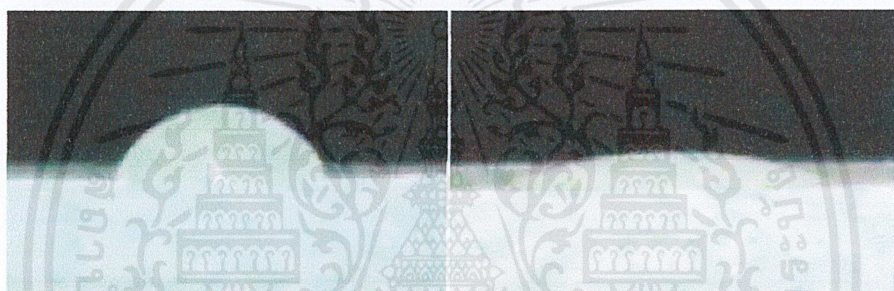
(ที่ความดันสูญญากาศ พร้อมระบบปรับจูนอิมพีแดนซ์ของคลื่น)

4.2.1 การหาช่วงแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอนที่สามารถกระตุ้นให้เกิดพลาสมา เมื่อปรับความเข้มข้นของก๊าซและความดันในห้องพลาสมา

เนื่องจากการปรับค่าของพลาสมาพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจน (C) ความดันภายในห้องพลาสมา (P) แรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน (E) ไป

ที่ระดับต่างๆ กัน จะส่งผลต่อการเกิดพลาสมาและความเสถียรของพลาสมาที่แตกต่างกัน ในการทดลองหัวข้อ 3.2.1 ตอนที่ 2.1 จึงเป็นการทดลองเพื่อหาว่า เมื่อปรับค่าความดันในห้องพลาสมา (ระหว่าง 0.7 – 2 ทอร์) และความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจน (ระหว่าง 15 – 50 % โดยปริมาตร) แล้ว แรงดันไฟของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอนที่ส่งผลต่อค่าพลังงานของคลื่นไมโครเวฟโดยตรงนั้น ควรจะมีค่าอยู่ในช่วงใด ถึงจะทำให้เกิดพลาสมาที่เสถียรขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่า ค่าแรงดันไฟของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอนที่จะใช้ควรอยู่ในช่วง 193 โวลต์ ถึง 210 โวลต์ เพราะค่าแรงดันไฟในช่วงนี้จะทำให้เกิดพลาสมาที่เสถียร (นิ่ง) ในทุกสภาวะที่จะทำการทดลองต่อไป

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสระหว่างกลาสีฟ็อกซีและน้ำ เมื่อกลาสีฟ็อกซีสัมผัสกับพลาสมาด้วยระยะเวลาต่างๆ



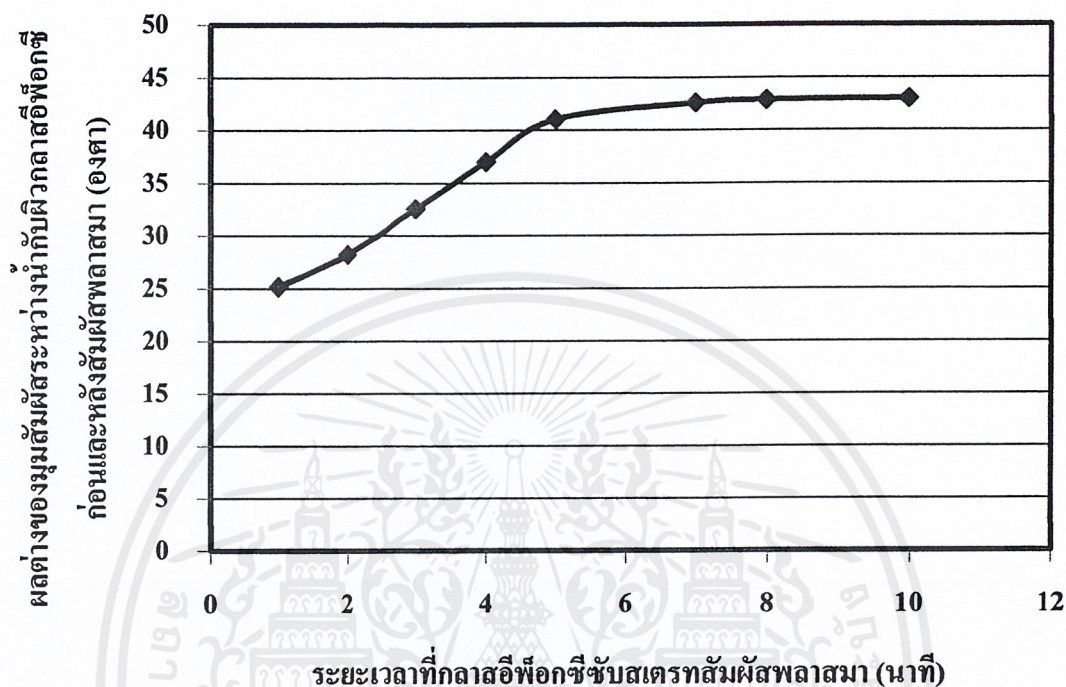
ก่อนปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา หลังปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา (ทันที)

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างรูปแสดงมุมสัมผัสระหว่างผิวกลาสีฟ็อกซีสัมผัสกับหยดน้ำก่อนและหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

เมื่อกลาสีฟ็อกซีสัมผัสกับพลาสมาจะทำให้สมบัติของพื้นผิวกลาสีฟ็อกซีเปลี่ยนแปลงไป คือ ทำให้มุมสัมผัสลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 หมายความว่า กลาสีฟ็อกซีชอบน้ำมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถชุบ โลหะลงบนพื้นผิวได้ง่ายขึ้น

ระยะเวลาที่สัมผัสกับพลาสมา (t) จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งได้มาจากผลการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1 ตอนที่ 2.2 จากกราฟจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่าผลต่างของมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกลาสีฟ็อกซีสัมผัสกับน้ำ ก่อนและหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการสัมผัสมากขึ้น จนกระทั่งนาทีที่ 5 อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสเทียบกับเวลาจะน้อยลงและเกือบคงที่ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสม

ของการปรับสภาพพื้นผิวกลาสีฟ็อกซ์ด้วยพลาสมา คือ 5 นาที อย่างไรก็ตาม ผลต่างของค่ามุมสัมผัสและระยะเวลาสัมผัสที่ทำให้ผลต่างเริ่มคงที่ อาจเปลี่ยนแปลงไปจากนี้ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงในการสร้างพลาสมา



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของมุมสัมผัสก่อน - หลังสัมผัสพลาสมา กับระยะเวลาในการสัมผัสพลาสมา (นาที) โดยใช้สภาวะในการสร้างพลาสมา ดังนี้ $C = 15\%$ โดยปริมาตร (อัตราการไหลรวม 40 sccm) $P = 0.7$ ทอร์ $E = 193$ โวลต์ และระยะห่างระหว่างขั้วสเตรทกับปลายหลอดแก้ว (D) = 2 เซนติเมตร

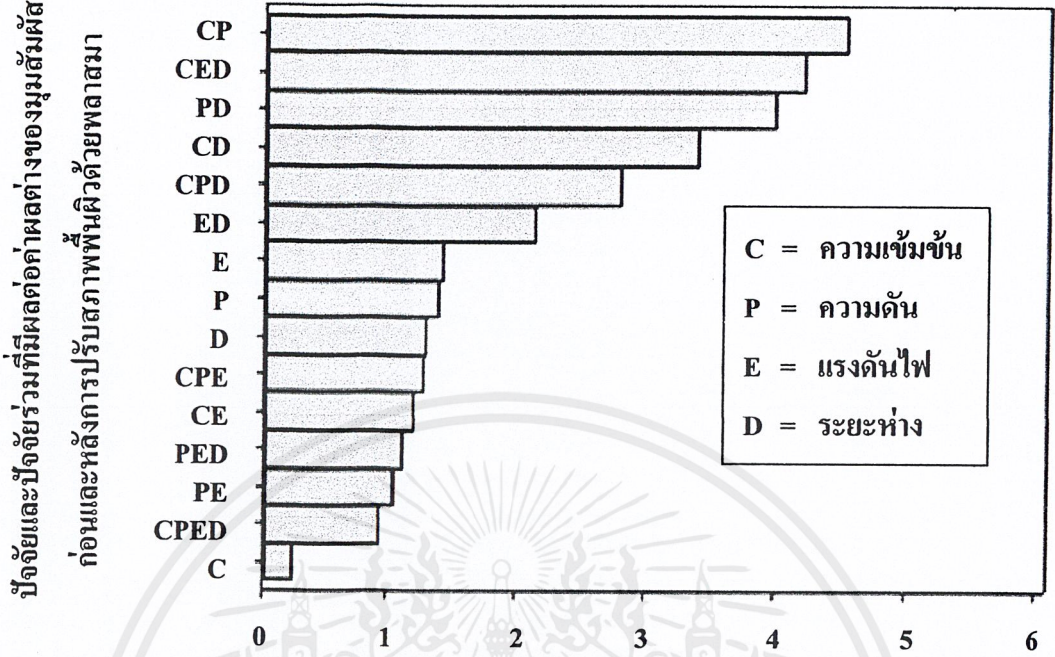
4.2.3 สภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสมากที่สุด

จากการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1 ตอนที่ 3 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจน (C) ความดันในห้องพลาสมา (P) แรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน (E) และระยะห่างระหว่างกลาสีฟ็อกซ์กับปลายหลอดแก้ว (D) ทั้ง 4 ตัวแปรนี้ เรียกว่า ปัจจัยหลัก ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวกลาสีฟ็อกซ์กับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 - รูปที่ 4.5

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับอิทธิพลของแต่ละปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วม (ปัจจัยร่วม คือ ผลที่เกิดจากการรวมกันของปัจจัยหลัก) ที่มีต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัสก่อนและหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ทำได้โดยใช้วิธีการทางสถิติคำนวณหาระดับอิทธิพลของปัจจัย (ใช้โปรแกรมมินิแทปเข้าช่วย) ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิพารेटอ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัสมากที่สุด คือ ปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจนในไนโตรเจนกับความดัน รองลงมา คือ ปัจจัยร่วมของความเข้มข้น แรงดันไฟ และระยะห่าง ระดับของอิทธิพลจะน้อยลงเรื่อยๆ จากด้านบนลงสู่ด้านล่างของกราฟพารेटอ (ความสูงของแท่งกราฟน้อยลงเรื่อยๆ) และปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัสน้อยที่สุด คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจน และจากรูปจะเห็นได้ว่า ผลของปัจจัยร่วม (เช่น CP CED PD CD เป็นต้น) มีอิทธิพลอย่างมากต่อผลต่างของมุมสัมผัส นั่นหมายความว่า การหาสถานะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้มุมสัมผัสเปลี่ยนแปลงมากที่สุดจะต้องมีการปรับค่าตัวแปรหรือปัจจัยหลักมากกว่า 1 ตัวพร้อมกัน ไม่ใช่ปรับทีละตัวแปร โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับค่าผลต่างของมุมสัมผัสถูกสมมติให้มีลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วงที่ศึกษา เพราะเป็นเพียงการทดลองเบื้องต้นเพื่อจะตัดตัวแปรที่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัส หรือเพื่อดูระดับอิทธิพลของแต่ละตัวแปรรวมถึงปัจจัยร่วมเท่านั้น (กล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า การปรับค่าแต่ละตัวแปร หรือปรับค่าหลายตัวแปรพร้อมกัน มีผลอย่างไรต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัส และมีผลมากเพียงใด) ถึงอย่างไรก็ดี ข้อสมมติฐานนี้ได้พิสูจน์แล้วว่าจริงในช่วงที่ศึกษา โดยเพิ่มการทดลองที่ค่ากลางระหว่างค่าสูงและค่าต่ำของตัวแปร

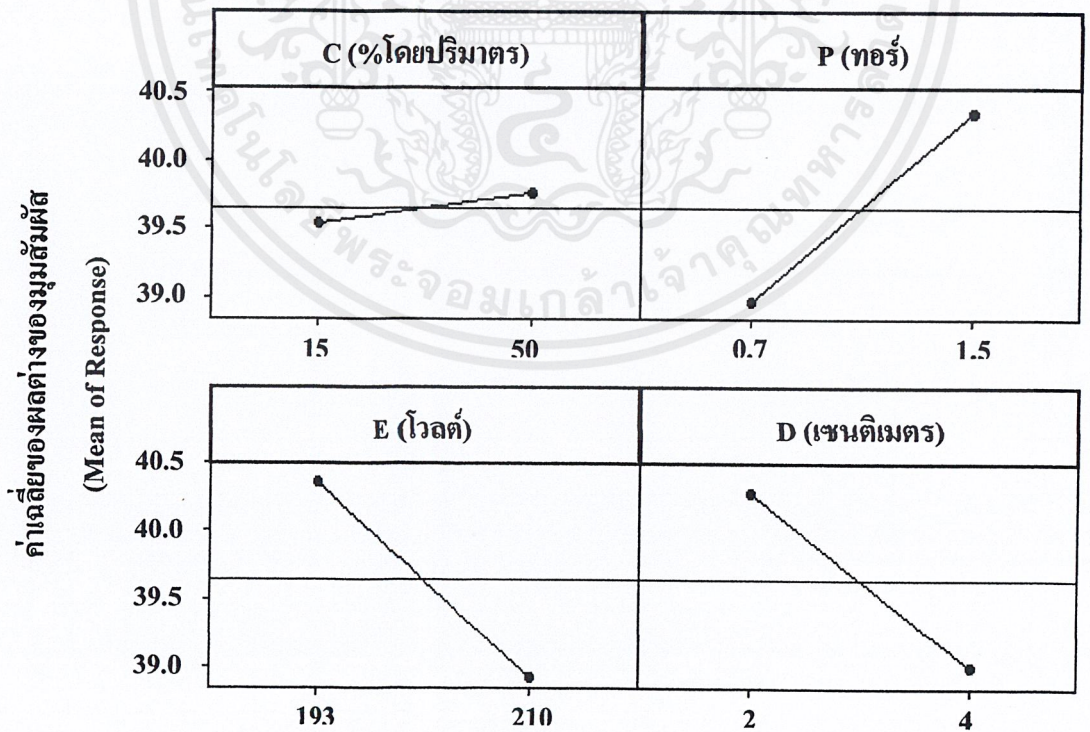
รูปที่ 4.4 แสดงผลของแต่ละปัจจัยหลักที่มีต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัส อย่างไรก็ตาม การกำหนดสถานะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาผลร่วมของปัจจัย ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 ด้วย เพราะจากแผนภูมิพารेटอแสดงให้เห็นแล้วว่า ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลอย่างมากต่อค่ามุมสัมผัสด้วย ดังนั้นจากการพิจารณารูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.5 ร่วมกัน ได้ข้อสรุปว่า สถานะในการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่จะทำให้ค่ามุมสัมผัสเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจน 50% โดยปริมาตร ความดันในห้องพลาสมา 1.5 ทอร์ แรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน 193 โวลต์ ระยะห่างระหว่างขั้วสเตรทกับปลายหลอดแก้ว 2 เซนติเมตร ดังนั้น สถานะดังกล่าวจะถูกนำไปใช้สำหรับการปรับสภาพผิวของกลาสีฟ็อกซี ก่อนกระบวนการชุบทองแดงแบบไม่ใช่ไฟฟ้า

แผนภูมิพารेटอของผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ (Pareto Chart of the Effect)
 (ผลตอบสนอง คือ ผลต่างของมุมสัมผัสก่อนและหลังสัมผัสพลาสมา, Alpha = .05)



รูปที่ 4.3 กราฟพารेटอแสดงระดับอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัส

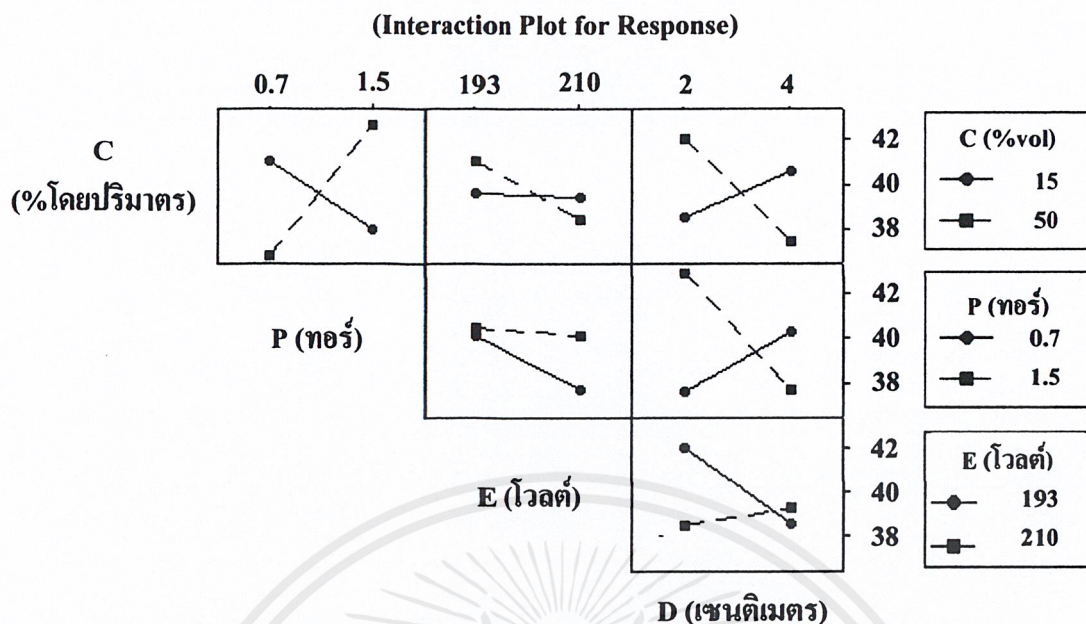
อิทธิพลของปัจจัยหลักที่มีต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัส (Main Effect Plot for Response)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการปรับสภาวะของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา กับค่าเฉลี่ยผลต่างของมุมสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

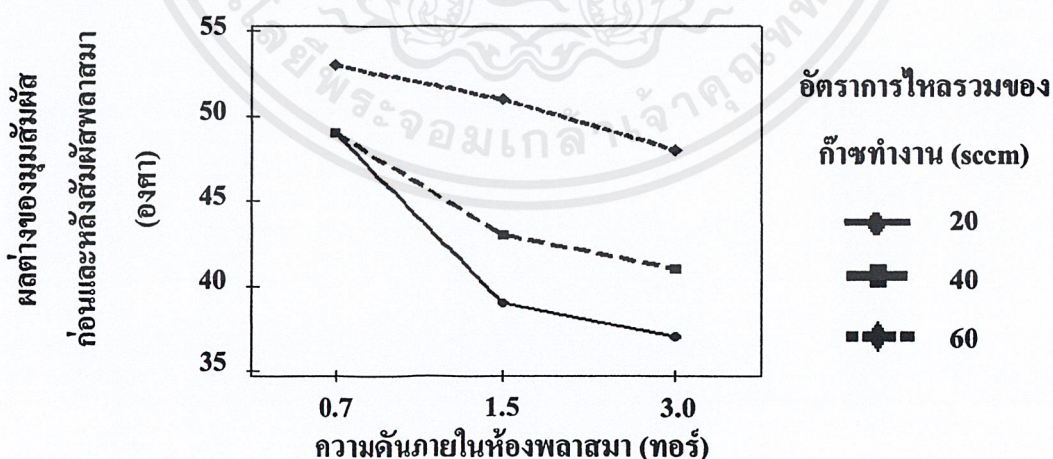
อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่มีต่อค่าผลต่างของมุมสัมผัส



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของปัจจัย กับค่าเฉลี่ยของผลต่างของมุมสัมผัส

4.2.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลรวมของก๊าซ ที่มีต่อมุมสัมผัส

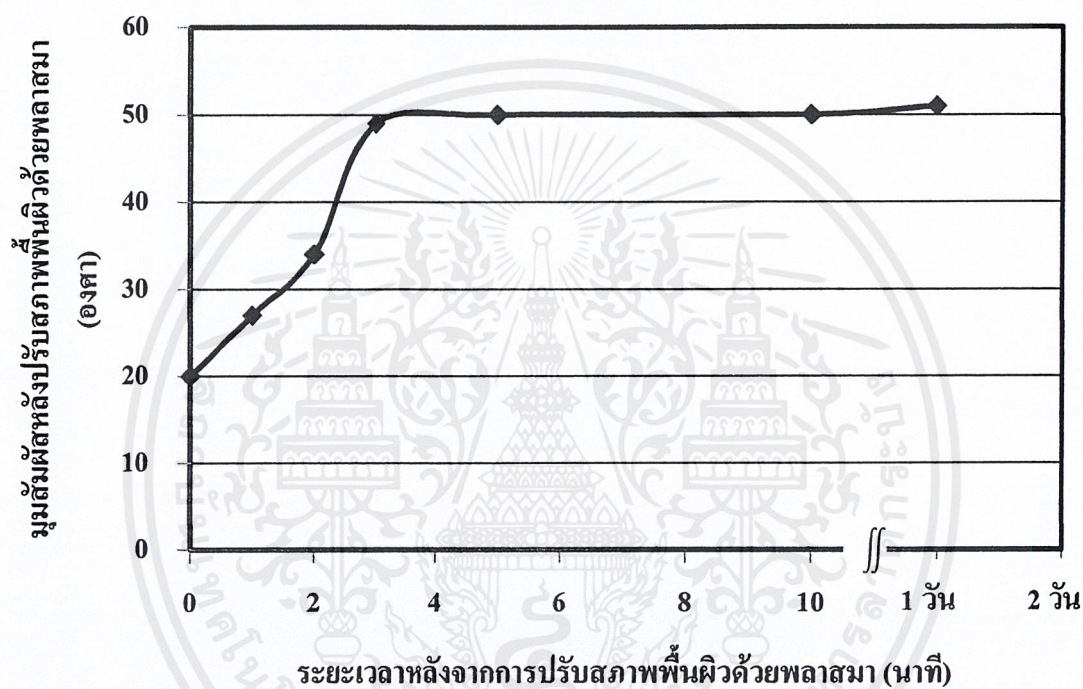
จากการทดลองหัวข้อที่ 3.2.1 ตอนที่ 2.4 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆ ยกเว้นความดันและอัตราการไหลรวมมีค่าคงที่ พบว่า เมื่ออัตราการไหลรวมมีค่ามากขึ้นจะทำให้มุมสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าเมื่ออัตราการไหลรวมมีค่าน้อย ในทุกค่าของความดัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องพลาสมากับค่าผลต่างของมุมสัมผัส ที่อัตราการไหลรวมของก๊าซทำงานค่าต่างๆ โดยที่ C = 15% โดยปริมาตร P = 193 โวลต์ D = 2 เซนติเมตร และ t = 5 นาที

4.2.5 มุมสัมผัสเมื่อกลาสีฟ็อกซีฉาบสเตรทเกิดการคืนสภาพ หลังจากปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาและปล่อยให้ทิ้งไว้ในบรรยากาศเป็นระยะเวลาต่างๆ

เมื่อนำกลาสีฟ็อกซีฉาบสเตรทไปผ่านกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ในบรรยากาศปกติจะเกิดการคืนสภาพของพื้นผิวฉาบสเตรท อันเนื่องมาจากการออกซิไดซ์กับอากาศ การหมุนของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว หรือจากสิ่งสกปรกมาเกาะ ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 มุมสัมผัสเมื่อกลาสีฟ็อกซีฉาบสเตรทเกิดการคืนสภาพ หลังจากปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาแล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ในบรรยากาศ (มุมเริ่มต้นก่อนปรับสภาพ เท่ากับ 72 องศา) โดยที่ $C = 50\%$ โดยปริมาตร $P = 1.5$ ทอร์ $E = 193$ โวลต์ $D = 2$ เซนติเมตร $t = 5$ นาที

จากรูปจะเห็นว่า เมื่อปล่อยกลาสีฟ็อกซีฉาบสเตรทที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาแล้วทิ้งไว้ จะทำให้เกิดการคืนสภาพที่ค่อนข้างเร็วมาก และเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลในนาทีที่ 3 หลังจากการปรับสภาพพื้นผิว เมื่อเข้าสู่สมดุลแล้ว มุมสัมผัสจะคงที่ที่ประมาณ 50 องศา ซึ่งต่ำกว่าค่ามุมสัมผัสก่อนปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาอยู่ 22 องศา

ดังนั้นในการชุบทองแดงบนกลาสีฟ็อกซีฉาบสเตรทจะนำฉาบสเตรทไปใส่ลงในน้ำยาชุบทันทีหลังจากผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

4.3 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

4.3.1 สูตรน้ำยาชุบทองแดงที่เหมาะสม

เมื่อทำการทดสอบน้ำยาชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าตามการทดลองในหัวข้อที่ 3.2.2 ตอนที่ 1 โดยใช้ชิ้นงานมาตรฐาน คือ เหล็ก พบว่า น้ำยาชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าสูตร 1 (สูตรน้ำยาแสดงในภาคผนวก) จะให้ชั้นทองแดงเคลือบอย่างสม่ำเสมอบนผิวชิ้นงานมากกว่าสูตร 2 (สังเกตด้วยตา) และความแน่นอนที่จะเกิดการเคลือบทองแดงลงบนผิวชิ้นงานของน้ำยาสูตร 1 มากกว่าสูตร 2 เพราะน้ำยาสูตร 1 ที่เตรียมทุกครั้ง สามารถทำให้เกิดชั้นทองแดงบนชิ้นงานได้หมด แต่น้ำยาสูตร 2 สามารถทำให้เกิดการเคลือบทองแดงบนชิ้นงานได้เพียง 25% (เกิดการเคลือบ 1 ครั้งจากการเตรียมน้ำยาทั้งหมด 4 ครั้ง) นอกจากนี้ น้ำยาสูตรที่ 1 ยังใช้สารปริมาณน้อยและน้ำยาเสื่อมสภาพช้ากว่าสูตรที่ 2 อีกด้วย โดยเวลาที่น้ำยาสูตร 1 เสื่อมสภาพประมาณ 5 ชั่วโมง สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของน้ำยาและการตกตะกอนของทองแดง ถ้ามีการเปลี่ยนสีและเกิดตะกอนขึ้น แสดงว่าน้ำยาเสื่อมสภาพ ดังนั้น จึงเลือกใช้น้ำยาชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าสูตรที่ 1 ในการชุบผิวกลาสอีพ็อกซีฉาบสเตรท

4.3.2 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าลงบนผิวกลาสอีพ็อกซีฉาบสเตรท

ถึงแม้ว่า น้ำยาชุบทองแดงสูตรที่ 1 จะให้ผลที่น่าพอใจเมื่อนำมาชุบเคลือบผิวชิ้นงานเหล็กด้วยทองแดง แต่ไม่สามารถทำให้เกิดการเคลือบของทองแดงลงบนผิวกลาสอีพ็อกซีฉาบสเตรทที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวได้ จึงต้องนำกลาสอีพ็อกซีฉาบสเตรทไปปรับสภาพพื้นผิว ก่อน ดังที่กล่าวไว้ใน การทดลองหัวข้อที่ 3.2.2 ตอนที่ 2 ซึ่งจากการทดลองได้ผลดังต่อไปนี้

สำหรับแผ่นกลาสอีพ็อกซีฉาบสเตรทที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวใดๆ เลย (แผ่นที่ 1) และแผ่นที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก (แผ่นที่ 2) เมื่อนำมาชุบด้วยน้ำยาชุบทองแดงจะไม่มีทองแดงเกาะอยู่บนพื้นผิว สำหรับแผ่นกลาสอีพ็อกซีที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสติก (แผ่นที่ 3 ถึง แผ่นที่ 10) เมื่อนำมาชุบทองแดงจะมีชั้นทองแดงเกาะอยู่ แต่แต่ละแผ่นมีความหนาและความสม่ำเสมอที่ไม่เท่ากัน (สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตา ถ้าชั้นทองแดงมีความหนาขึ้นจะเห็นสีทองแดงเข้มขึ้น) ขึ้นอยู่กับขั้นตอนกระตุ้นพื้นผิว (Activation) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยการปรับสภาพพื้นผิวที่ให้ผลการเคลือบทองแดงบนกลาสอีพ็อกซีฉาบสเตรทที่ดีที่สุด 3 อันดับแรก คือ แผ่นที่ปรับสภาพผิวด้วยพลาสติก - คอปเปอร์อะซีเตตในแอมโมเนีย

(แผ่นที่ 9) รองลงมาเป็นแผ่นที่ปรับสภาพผิวด้วยพลาสติก (แผ่นที่ 3) สุดท้ายเป็นแผ่นที่ปรับสภาพผิวด้วยพลาสติก – แอมโมเนีย – คอปเปอร์ซัลเฟตในเอทานอล (แผ่นที่ 8) ส่วนแผ่นที่เหลือแม้จะมีทองแดงเกาะอยู่บนผิวบ้างแต่บางมากและไม่มีควมสม่ำเสมอ ไม่ควรนำมาประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 4.1 แผ่นกลาสีฟ็อกซีที่ผ่านกระบวนการทดลองการชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ตามการทดลองหัวข้อที่ 3.2.2 ตอนที่ 2

แผ่นที่	Pre-activation	Activation	รูป
1	-	-	
2	กัดด้วยกรดซัลฟิวริก	-	
3	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสติก	-	
4	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสติก	แอมโมเนีย 25%	
5	ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสติก	คอปเปอร์อะซิเตท/เอทานอล	

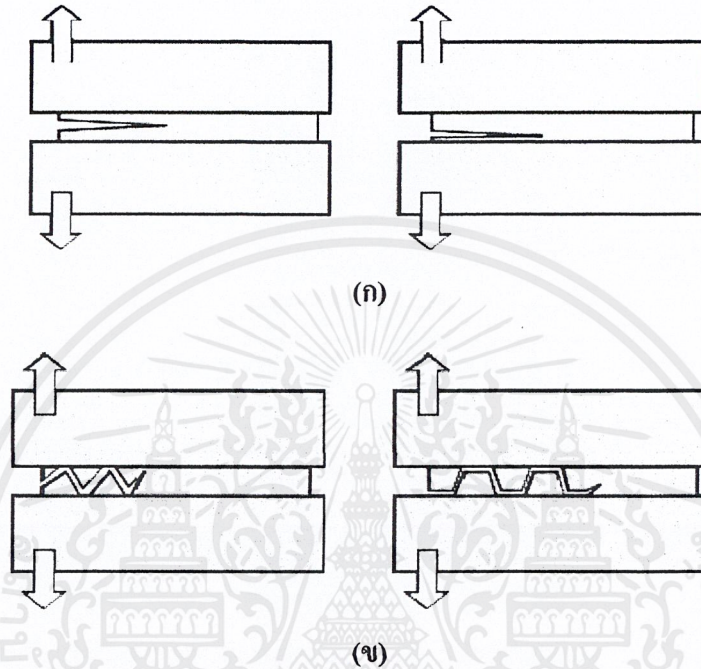
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แผ่นกลาสีฟ็อกซีที่ผ่านกระบวนการทดลองการชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า
ตามการทดลองหัวข้อที่ 3.2.2 ตอนที่ 2

แผ่นที่	Pre-activation	Activation	รูป
6	ปรับสภาพ พื้นผิวด้วย พลาสมา	คอปเปอร์ซัลเฟต/เอทานอล	
7	ปรับสภาพ พื้นผิวด้วย พลาสมา	แอมโมเนีย 25% แล้วตามด้วย คอปเปอร์อะซิเตต/เอทานอล	
8	ปรับสภาพ พื้นผิวด้วย พลาสมา	แอมโมเนีย 25% แล้วตามด้วย คอปเปอร์ซัลเฟต/เอทานอล	
9	ปรับสภาพ พื้นผิวด้วย พลาสมา	คอปเปอร์อะซิเตต/ แอมโมเนีย 25%	
10	ปรับสภาพ พื้นผิวด้วย พลาสมา	คอปเปอร์ซัลเฟต/ แอมโมเนีย 25%	

การทดสอบการยึดติดของทองแดงกับกลาสีฟ็อกซีเบื้องต้นใช้การฉีดด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ตะกอนที่ไม่ติดกับแผ่นซับสเตรตหลุดออก จากนั้นจึงใช้วิธีทดสอบด้วยเทปขาวแบบกริดเป็นตารางไขว้ (Cross – cut tape test) พบว่า การหลุดของทองแดงไม่ได้หลุดลอกออกเป็นแผ่น แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลุดออกมาเป็นชั้นบางๆ ที่ติดอยู่บนเทปกาว ซึ่งอาจเป็นการหลุดดังรูปที่ 4.8 จะสามารถยืนยันได้ว่าการหลุดลอกของทองแดงเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัส (Interfacial fracture) หรือในชั้นทองแดง (Cohesive fracture) โดยการวิเคราะห์พื้นผิวของชั้นสเตรทหลังการลอกของเทปกาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 4.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของรอยแยกในระหว่างการทดสอบแรงยึดติดด้วยเทปกาว (Scotch tape test) โดย (ก) เนื่องจากการแยกของพันธะระหว่างชั้นทองแดง (ข) เนื่องจากการแยกระหว่างผิวสัมผัสของทองแดง กับชั้นสเตรทและเทปกาว [8]

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน อุปสรรคและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาสถานะของการปรับสภาพพื้นผิวกลาสีฟ็อกซีด้วยพลาสมาที่กระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟให้มีสมบัติชอบน้ำ กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสมากที่สุด และหาสูตรน้ำยาที่ใช้ในการชุบโลหะแบบ ไมใช่ไฟฟ้าสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา จากการดัดแปลงเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน

จากการทดลองไม่สามารถใช้เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนในการกระตุ้นให้ก๊าซผสมไนโตรเจนและไฮโดรเจนเกิดเป็นพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้กำลังของแมกนีตรอนสูงสุดที่ 850 วัตต์ เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนของคลื่นไป ทำให้ก๊าซได้รับพลังงานไม่เพียงพอจึงไม่เกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาที่บรรยากาศ จึงอาจจะต้องลดความดันลงต่ำกว่าบรรยากาศ เพราะการจุดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศต้องการพลังงานในการกระตุ้นให้ก๊าซแตกตัวสูงกว่าการจุดพลาสมาที่สุญญากาศ

5.1.2 การปรับสภาพพื้นผิวกลาสีฟ็อกซีด้วยพลาสมา (ที่ความดันสุญญากาศ พร้อมระบบปรับจูนอิมพีแดนซ์ของคลื่น)

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง กระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาที่กระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ สถานะที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติไม่ชอบน้ำของกลาสีฟ็อกซีโดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัส ซึ่งเมื่อต้องการให้มุมสัมผัสที่เปลี่ยนไปมีค่าลดลงมากที่สุด ควรจะปรับสภาวะต่างๆ ดังนี้ ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในไนโตรเจน 50% โดยปริมาตร ความดันในห้องพลาสมา 1.5 ทอร์ แรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแมกนีตรอน 193 โวลต์ และระยะห่างระหว่างขั้วสเตรทกับปลายหลอดแก้ว 2 เซนติเมตร มุมสัมผัสที่วัดได้ก่อนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมานั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68 องศา และมุมสัมผัสหลังจากผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

เป็นเวลา 5 นาทีที่สภาวะดังกล่าวแล้วนั้นมุมที่วัด ได้มีค่าเท่ากับ 17 องศา ซึ่งเป็นค่ามุมสัมผัสที่ลดลงมากที่สุด

จากการทดลองพบว่าแผ่นฉาบสเตรทที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาแล้วนั้นยังไม่ได้อยู่ในสภาวะที่เสถียรซึ่งเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ในบรรยากาศปกติจะทำให้พื้นผิวคืนสภาพ สังเกตได้จากมุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลมุมสัมผัสที่วัด ได้มีค่าเท่ากับ 51 องศา ซึ่งมุมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ทำการวัดทันทีหลังจากปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา อย่างไรก็ตาม ค่ามุมสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลนี้จะมีค่าน้อยกว่ามุมสัมผัสที่วัดได้ก่อนนำไปปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา

5.1.3 การชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

จากการทดลอง ใช้น้ำยาชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าสูตรที่ 1 (สูตรน้ำยาแสดงในภาคผนวก) ในการชุบแผ่นกลาสอีพ็อกซีที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมา ซึ่งทำให้เกิดทองแดงเคลือบอยู่บนผิวของแผ่นกลาสอีพ็อกซี โดยไม่จำเป็นต้องใช้พลาสมาเดิมและสแตนท์สคัลโรด์ในการสร้างชั้นตัวเร่ง อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้สารละลายคอปเปอร์อะซิเตตในแอมโมเนียในการสร้างชั้นตัวเร่งจะทำให้มีทองแดงเคลือบบนผิวของฉาบสเตรทดีกว่าไม่ผ่านการสร้างชั้นตัวเร่งเล็กน้อย

5.2 อุปกรณ์และข้อเสนอแนะแนวทางการดำเนินงานในอนาคต

5.2.1 การดัดแปลงเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนเป็นเครื่องปฏิกรณ์ควรจะทำให้หลอดแก้วผ่านท่อนำกลิ่นโดยตรงและเพิ่มระบบปรับอุณหภูมิแคนซ์ เพื่อให้พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟส่งผ่านไปยังก๊าซภายในหลอดแก้วมากที่สุด และควรลดความดันลงต่ำกว่าบรรยากาศควบคู่กันไปด้วยเพราะพลาสมาจะจุดติดได้ง่ายขึ้นที่สุญญากาศ

5.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมุมสัมผัสควรจะมีระยะหยด เวลาในการวัดมุมสัมผัส และปริมาตรของหยดน้ำ เท่ากันทุกครั้งที่วัดค่า เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก

5.2.3 หลังจากเตรียมน้ำยาที่ใช้ในการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ควรนำไปชุบเคลือบผิวภายในเวลา 5 ชั่วโมง เนื่องจากน้ำยาอาจเสื่อมสภาพได้

5.2.4 เพื่อให้ทราบลักษณะพื้นผิวชัดเจนขึ้น ควรใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

เอกสารอ้างอิง

1. ปรมินทร์ ขวัญอน, อนุพงศ์ สอรักษา. 2547. **การชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะ**. ปรินญา นิพนธ์ ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. นิกร เกิดทองกลาง. **การประมาณค่าแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ผสม**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
3. นิกร เกิดทองกลาง, ชาญณรงค์ ยิ้มแก้ว และ สุรัตน์ อารีรัตน์. **การศึกษาผลของยางธรรมชาติต่อค่าแรงดึงผิวของพลาสติกฟิล์ม**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่17, 2550.
4. ฤทธิรงค์ นวลศรี, 2549. **การสร้างพลาสมาชนิดกระตุ้นด้วยไมโครเวฟในบรรยากาศ**, โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. วิสิทธิ์ ตระการศรีสุนันท์ และศัลยพงศ์ รังสรรค์สวัสดิ์. **การศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวที่มีต่อสภาพการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติกับอลูมิเนียม**. ปรินญา นิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
6. A. Kobayashi, Y. Takao and K. Komurasaki. **Fundamental characteristics of microwave discharge type plasma source under atmosphere pressure**. Prague, Czech Republic. NO 10, 873-876
7. Adhesion Testing Methods. (25 Feb 2011).
http://www.defelsko.com/technotes/adhesion_methods.htm
8. Adhesive. (4 Mar 2011). <http://en.wikipedia.org/wiki/Adhesive>
9. Alfred Grill. **Cold plasma in materials fabrication : from fundamentals to applications**. New York, IEEE Press.,1994
10. Alphonsus V. Pocius. **Adhesion and adhesives technology**. Cincinnati, Hanser.,2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Brent T. Ginn and Oliver Steinbock. **Polymer Surface Modification Using Microwave-Oven-Generated Plasma**. American Chemical Society Published on Web. No. 19, 8117-8118
12. Contact angle. (16 Dec 2010). http://en.wikipedia.org/wiki/Sessile_drop_technique
13. Cross-cut Tape Test. (25 Feb 2011).
<http://www.pgtgage.com/Cross%20Cut%20Kit%20Manual.pdf>
14. Electroless plating. (7 Oct 2010).
http://www.uyemura.co.jp/corporate_e/manufactures/man_02.html
15. Epoxy. (1 July 2010). http://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy_resin
16. L.K. Mutreja. **Metal Coatings on Plastics (Vacuum Metallizing, Electroless Plating & Electroplating of Metals on Plastics)**. Small Business Publications, Delhi. No 8, 57-59, No 9, 60-69
17. Mehdi Sharifian, Seyyed Iman Hosseini, Babak Shokri. **Surface Modification of Silicone Rubber Membrane by Microwave Discharge to Improve Biocompatibility**. M Sharifian et al. / IJPS Winter. 4(1). 45-50
18. Philip A. Schweitzer. 2007. **CORROSION of LININGS and COATINGS (Cathodic and Inhibitor Protection and Corrosion Monitoring)**. CRC Press Taylor & Francis Group, New York. No 7, 417-423, 433-435
19. Plating. (29 Sep 2010). <http://en.wikipedia.org/wiki/Plating>
20. Toshifumi Yuji, Takuya Urayama, Shuitsu Fujii, Yoshitoki Iijima, Yoshifumi Suzaki, and Hiroshi Akatsuka. **Basic Characteristics for PEN Film Surface Modification Using Atmospheric-Pressure Nonequilibrium Microwave Plasma Jet**. Electronics and Communications in Japan. No. 5, 42-49

ภาคผนวก

สูตรน้ำยา

1. น้ำยาล้างไขมัน (Cleaning Solution)

1. โซเดียม ไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	150	กรัม/ลิตร
2. น้ำกลั่น	120	มิลลิลิตร/ลิตร
3. เอทานอล (Ethanol) 95%		
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
ล้างประมาณ 10 นาทีแล้วล้างน้ำกลั่น		

2. น้ำยาคัดพื้นผิว (Etching)

กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) 33%		
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
ล้างประมาณ 10 นาทีแล้วล้างน้ำกลั่น		

3. น้ำยากระตุ้นพื้นผิวหรือสร้างหมู่ฟังก์ชัน (Activation or Functionalization)

สูตร 1

1. แอมโมเนีย (Ammonia) 25%		
แช่ประมาณ 10 นาที		

สูตร 2

1. เอทานอล (Ethanol) 95%		
2. คอปเปอร์อะซิเตต (Copper acetate)	2	กรัม/ลิตร
ผสมสารละลายที่	80	องศาเซลเซียส
แช่ประมาณ 10 นาที		

สูตร 3

1. เอทานอล (Ethanol) 95%		
2. คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate)	2	กรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมสารละลายที่	80	องศาเซลเซียส
แช่ประมาณ 10 นาที		

สูตร 4

1. แอมโมเนีย (Ammonia) 25%		
2. คอปเปอร์อะซิเตท (Copper acetate)	18.15	กรัม/ลิตร
แช่ประมาณ 10 นาที		

สูตร 5

1. แอมโมเนีย (Ammonia) 25%		
2. คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate)	15.95	กรัม/ลิตร
แช่ประมาณ 10 นาที		

4. น้ำยาชุบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Copper Electroless Plating)

สูตร 1

1. เกลือร์อ็อกเซล (Rochelle salt, tartrate)	34	กรัม/ลิตร
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	10	กรัม/ลิตร
3. คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate)	7	กรัม/ลิตร
4. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate)	6	กรัม/ลิตร
5. ฟอรั่มลดีไฮด์ (Formaldehyde) 37%		

สูตร 2

1. เกลือร์อ็อกเซล (Rochelle salt, tartrate)	170	กรัม/ลิตร
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	50	กรัม/ลิตร
3. คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate)	35	กรัม/ลิตร
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)	30	กรัม/ลิตร
5. เกลือร์อีดีทีเอ ไดโซเดียม (Ethylenediamine – tetraacetic acid disodium salt)	20	กรัม/ลิตร
6. ฟอรั่มลดีไฮด์ (Formaldehyde) 37%		
อัตราการใช้	1-1.2	มิลลิเมตร/ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้