

ผลของเวลาการตกสะสมของฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอน

ต่อคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของด้ายไนลอน

ยุภาภรณ์ เจริญเขต

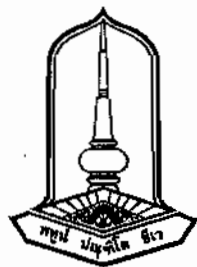
สุตารัตน์ จุลโนนยาง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์

มีนาคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบโครงงานฟิสิกส์ ได้พิจารณาโครงงานฟิสิกส์ของนางสาวยุภาภรณ์ เจริญเขต และนางสาวสุตารัตน์ จุลโนนยาง แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบโครงงานฟิสิกส์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ยุทธนา อูไรชื่น)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พิษณุ พูลเจริญศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. อาทิตย์ จึงสูงเนิน)

วันที่ ๑๑ เดือน มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๖

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฟิสิกส์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องด้วยได้รับการสนับสนุนและความร่วมมือจากบุคคลากรหลายท่านด้วยกัน ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อาทิตย์ ฉิ่งสูงเนิน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำปรึกษา แก้ไขข้อบกพร่อง และให้คำชี้แนะด้วยความเอาใจใส่ที่ดีเป็นอย่างยิ่งมาโดยตลอด ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงทำเล่มนี้ได้สำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะและให้ความช่วยเหลือ คอยเอาใจใส่ในโครงการเล่มนี้เป็นอย่างดี ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกท่าน และขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงงานกลภาควิชาฟิสิกส์ คุณเอกพล เพ็ชรนก ที่ให้ความร่วมมือและคอยช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง พร้อมทั้งคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำอุปกรณ์สำหรับโครงการนี้ ขอขอบคุณบุคลากรบุคลากรภาควิชาฟิสิกส์และบุคลากรภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์สถานที่อุปกรณ์ เครื่องมือในโครงการนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์นวนอนงค์ นาคคง และบุคลากรที่ศูนย์เครื่องมือกลางที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในโครงการนี้ และคำแนะนำ คำชี้แนะเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือที่จำเป็นต่อโครงการนี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ให้กำเนิดที่คอยอบรมเลี้ยงดู ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจอยู่เบื้องหลังและอุปการะในการศึกษาทำให้โครงการนี้สำเร็จ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้การช่วยเหลือคอยให้กำลังใจในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จ

ยุภากรณ์ เจริญเขต

สุตารัตน์ จุลโนนยาง

โครงการฟิสิกส์เรื่อง	ผลของเวลาการตกสะสมของฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอน ต่อคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของด้ายไนลอน
ผู้ศึกษาค้นคว้า	นางสาวยุภาภรณ์ เจริญเขต นางสาวสุภารัตน์ จุลโนนยาง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. อาทิตย์ อึ้งสูงเนิน
ปริญญา มหาวิทยาลัย	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2556

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการเคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนลงบน multifilament nylon เพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำให้กับด้ายไนลอน โดยใช้เวลาในการตกสะสมที่ 0.5 นาที่ 1 นาที่ 1.5 นาที่ 2 นาที่ และ 2.5 นาที่ ด้วยเทคนิคการตกสะสมด้วยไอเชิงเคมีเสริมด้วยพลาสมาที่คลื่นความถี่วิทยุ (Radio-frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition: RF-PECVD) จากแก๊สผสมระหว่างอะเซทิลีน (C_2H_2) กับอาร์กอน (Ar) ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายขณะทำการเคลือบ และตอนที่ 2 ใช้สตัปเป็นแผ่นฐานยึดเส้นด้ายขณะทำการเคลือบ ผลการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพของด้ายไนลอนก่อนเคลือบมีลักษณะเป็นสีขาว ภายหลังถูกเคลือบด้วยฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอน สีของด้ายไนลอนเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนๆ แล้วเข้มขึ้นตามเวลาการตกสะสม และผลจากภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวของด้ายไนลอนก่อนเคลือบ พบว่าผิวมีลักษณะค่อนข้างเรียบ แต่ภายหลังการเคลือบด้วยฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนผิวของด้ายไนลอนมีลักษณะเป็นเกร็ดเล็กๆ มากขึ้นตามเวลาในการตกสะสม ผลจากการใช้เทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ในการวัดองค์ประกอบอะตอมที่ผิวของด้ายไนลอนก่อนและภายหลังการเคลือบด้วยฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอน พบว่าก่อนการเคลือบพบปริมาณของธาตุคาร์บอนอยู่ 76 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอม ภายหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาการตกสะสม 1 นาที่ พบปริมาณของธาตุคาร์บอนมากที่สุด คือ 82 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอม ผลการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวของด้ายไนลอน พบว่าก่อนเคลือบผิวไนลอนมีความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (super hydrophilic) คือ มีค่ามุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา ภายหลังการเคลือบผิวค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงถึงความไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการตกสะสม ที่เวลาในการตกสะสมมากกว่า 1.5 นาที่ มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มคงที่ประมาณ 121 องศา

คำสำคัญ: ด้ายไนลอน, อะมอร์ฟัสคาร์บอน, การตกสะสมด้วยไอเชิงเคมี, มุมสัมผัสของหยดน้ำ
และคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำและชอบน้ำ

TITLE	Effect of deposition time to hydrophobic property of nylon fiber coated with amorphous carbon film
AUTHOR	Miss Yupaporn Jarearnkhat Miss Sudarat Julnonyang
ADVISOR	Dr. Artit Chingsungnoen
DEGREE	Bachelor of Science (Physics)
UNIVERSITY	Maharakham University YEAR 2013

ABSTRACT

In this project, the amorphous carbon film was deposited on multifilament nylon fiber to increase its hydrophobic property. The radio-frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition (RF-PECVD) technique was used for coating with different the deposition time of 0.5 1 1.5 2 and 2.5 minute. The gas mixture of acetylene and argon was used as a gas precursor. In this work, the experimental set-up was divided into two parts. The first part, the acrylic stand was used as a nylon holder while in the second part; the stub was used as a substrate holder during the deposition. The experimental results show that the color of nylon fiber is changed from white to yellow after coated by the amorphous carbon film. The result from SEM image shows that the surface of nylon fiber before coating quite be smooth and after coating with amorphous carbon film there are many fragment adhere on the nylon surface. The element composition on the nylon surface was analyzed by the energy dispersive X-rays method. This result reveals that the percentage of carbon atoms on nylon surface was increased from 76 % to 82 % by using the deposition time of 1 minute. Result from the water contact angle measurement confirms that the nylon fiber is a super hydrophilic surface (the water contact angle equal to 0 degree). The water contact angle is increased with the increasing of the deposition time. The contact angle is saturated to around 121 degree with corresponding to the deposition time more than 1.5 minute.

Keywords: nylon fiber, amorphous carbon, CVD, water contact angle, and hydrophobic and hydrophilic properties

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฎ
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาการทำวิจัย	3
1.6 สถานที่ทำการวิจัย	3
1.7 อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำวิจัย	3
1.8 งบประมาณของการทำวิจัย	4
 บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ด้ายไนลอน	5
2.1.1 สมบัติทางกายภาพ	6
2.1.2 สมบัติทางเคมี	6
2.1.3 ชนิดของด้ายไนลอน	7
2.1.4 เบอร์ด้าย	7
2.2 การเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้เทคนิค RF-PECVD	8
2.2.1 ฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอน (amorphous carbon)	8
2.2.2 เทคนิค RF-PECVD	10
2.3 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟิล์ม	12
2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	13
2.3.2 การวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (EDX)	13
2.3.3 มุมสัมผัส (contact angle)	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1	การออกแบบและติดตั้งระบบ RF-PECVD	17
3.1.1	การติดตั้งระบบสุญญากาศ	18
3.1.2	รูปแบบของขั้วไฟฟ้า	19
3.1.3	แหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ	20
3.2	ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน	22
3.2.1	การทำความสะอาดระบบ	23
3.2.2	การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดลอง	24
3.3	ขั้นตอนการเคลือบฟิล์ม	29
3.3.1	การทดลองสำหรับชิ้นงานที่ใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดสายในลอน	29
3.3.2	การทดลองสำหรับชิ้นงานที่ใช้สตั๊ปเป็นฐานรองสายในลอน	30
3.3.3	การเก็บชิ้นงาน	33
3.3.4	ขั้นตอนการตรวจสอบคุณลักษณะของฟิล์ม	35

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1	ผลการทดลองเมื่อใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้วยขณะทำการเคลือบ	36
4.1.1	ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยในลอนก่อนและหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้วยในลอน	37
4.1.2	ภาพ SEM ของผิวในลอนที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน	38
4.2	ผลการทดลองเมื่อใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐานยึดเส้นด้วยขณะทำการเคลือบ	43
4.2.1	ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยในลอนก่อนและหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน เมื่อใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐานยึดเส้นด้วยขณะทำการเคลือบ	44
4.2.2	ภาพ SEM ของผิวในลอนที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนโดยใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน	45
4.2.3	ผลสภาวะวิเคราะห์องค์ประกอบอะตอมที่ผิวของเส้นใยในลอนภายหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน เมื่อใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน	49
4.2.4	ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของสายในลอนที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนโดยใช้เทคนิคการวัดมุมสัมผัส	51

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง	54
เอกสารอ้างอิง	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก ภาพประกอบอุปกรณ์การทดลอง	59
ภาคผนวก ข ตารางประกอบผลการทดลอง	67
ประวัติผู้ทำวิจัย	71

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่	1.1 ตารางแสดงระยะเวลาทำการวิจัย	3
ตารางที่	1.2 แสดงรายการและรายละเอียดของงบประมาณ	4
ตารางที่	2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติคาร์บอนรูปแบบต่างๆ	9
ตารางที่	4.1 ตารางแสดงน้ำหนักอะตอมเฉลี่ยของแต่ละธาตุที่มีในด้ายไนลอน	50
ตารางที่	ข.1 ตารางผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย EDX ที่นำไปพล็อตกราฟภาพที่ 4.16	68
ตารางที่	ข.2 ตารางแสดงผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากการวัดมุมสัมผัสและมวลอะตอมที่ได้จากการวิเคราะห์ EDX	69
ตารางที่	ข.3 ตารางแสดงผลการทดลองเฉลี่ยที่ได้จากการวัดมุมสัมผัสและมวลอะตอมที่ได้จากการวิเคราะห์ EDX ที่นำไปพล็อตกราฟภาพที่ 4.18	70

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่	2.1 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ด้ายไนลอน	5
ภาพที่	2.2 แสดงโครงสร้างส่วนที่มีหัวและไม่มีหัวของไนลอน	6
ภาพที่	2.3 โครงสร้างไนลอน6,6	7
ภาพที่	2.4 ลักษณะออร์บิทัลเมื่ออะตอมคาร์บอนเกิดไฮบริดเซชันแบบ sp^3 , sp^2 และ sp^1	9
ภาพที่	2.5 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างทั่วไปของระบบ RF-PECVD	10
ภาพที่	2.6 แสดงส่วนประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	13
ภาพที่	2.7 แสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์	14
ภาพที่	2.8 มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบๆและแรงดึงดูดที่ เกี่ยวข้อง	15
ภาพที่	2.9 การเปียกน้ำของพื้นผิวของแข็ง ลูกศรจากซ้ายไปขวาแสดงถึงความชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นของ พื้นผิว	15
ภาพที่	3.1 แสดงแผนผังวิธีดำเนินการทำโครงการงาน	16
ภาพที่	3.2 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของระบบ RF-PECVD	17
ภาพที่	3.3 ระบบสุญญากาศที่ติดตั้งเสร็จแล้ว	19
ภาพที่	3.4 ภาพถ่ายส่วนประกอบของหัวกำลัง	19
ภาพที่	3.5 ภาพถ่ายแท่นวางชิ้นงาน	20
ภาพที่	3.6 ภาพถ่ายด้านหลังของแหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ	21
ภาพที่	3.7 ภาพถ่ายด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ	22
ภาพที่	3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ	22
ภาพที่	3.9 อุปกรณ์การทำความสะอาด	23
ภาพที่	3.10 แสดงการพันด้ายไนลอนรอบอะคริลิก	24
ภาพที่	3.11 แสดงการใช้ปากกาเน้นข้อความเน้นบริเวณที่ด้ายไนลอนไม่ได้เคลือบรอบด้าน	25
ภาพที่	3.12 แสดงชิ้นงานที่ได้โดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายไนลอน	25
ภาพที่	3.13 แสดงการทำความสะอาดลดับ	26
ภาพที่	3.14 แสดงการติดคาร์บอนแทป	26
ภาพที่	3.15 ด้ายไนลอนที่ถูกตัดให้มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร	27
ภาพที่	3.16 แสดงการหมุนด้ายไนลอนให้แตกเกลียว	27
ภาพที่	3.17 แสดงการติดด้ายไนลอนลงบนลดับ	28
ภาพที่	3.18 แสดงการติดด้ายที่เกินจากสตั๊บบอกให้มีขนาดพอเหมาะกับสตั๊บ	28
ภาพที่	3.19 แสดงการขึ้นงานที่ได้	29
ภาพที่	3.20 แสดงความดันก่อนการทดลอง	30
ภาพที่	3.21 แสดงอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.22	แสดงความดันขณะทำการทดลอง	31
ภาพที่ 3.23	แสดงกระแสไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ใช้ในการทดลอง	32
ภาพที่ 3.24	แสดงระบบขณะทำการเคลือบ	32
ภาพที่ 3.25	แสดงการติดด้ายในลอนบนกระจกสไลด์	33
ภาพที่ 3.26	ชิ้นงานที่ได้จากการเคลื่อนโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้าย	33
ภาพที่ 3.27	การเก็บชิ้นงานในกล่องเก็บชิ้นงานที่เป็นกระจกสไลด์	34
ภาพที่ 3.28	แสดงการเก็บชิ้นงานที่เป็นสตั๊ป	34
ภาพที่ 4.1	แสดงการใช้อะคริลิกในการยึดด้ายในลอนก่อนนำไปเคลือบ	36
ภาพที่ 4.2	ภาพถ่ายแสดงการเกิดพลาสมาขณะเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายในลอนเมื่อใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน	37
ภาพที่ 4.3	ภาพถ่ายด้ายในลอนก่อนการเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายในลอน	38
ภาพที่ 4.4	ด้ายในลอนภายหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายในลอนที่เวลาในการตกสะสมแตกต่างกัน	38
ภาพที่ 4.5	ลักษณะพื้นผิวของด้ายในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 100 เท่า	40
ภาพที่ 4.6	ลักษณะพื้นผิวของด้ายในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 500 เท่า	41
ภาพที่ 4.7	ลักษณะพื้นผิวของด้ายในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า	42
ภาพที่ 4.8	ลักษณะทางกายภาพของด้ายในลอนสีขาวก่อนเคลือบที่ถูกติดบนเทปกาวคาร์บอน	43
ภาพที่ 4.9	ภาพถ่ายแสดงการเกิดพลาสมาขณะเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายในลอน เมื่อใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน	43
ภาพที่ 4.10	แสดงลักษณะทางกายภาพของด้ายในลอนก่อนการเคลือบฟิล์มซึ่งใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน	44
ภาพที่ 4.11	ด้ายในลอนภายหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐานที่เวลาการตกสะสมแตกต่างกัน	44
ภาพที่ 4.12	ลักษณะพื้นผิวของด้ายในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 100 เท่า	46
ภาพที่ 4.13	ลักษณะพื้นผิวของด้ายในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 500 เท่า	47
ภาพที่ 4.14	ลักษณะพื้นผิวของด้ายในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.15 แสดงแสดงการหลุดลอกของฟิล์มคาร์บอนบนผิวของด้ายไนลอน เนื่องจากการตกสะสมที่หนาเกินไป ที่เวลาในการตกสะสม 2.5 นาที	49
ภาพที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอมของธาตุที่ผิวของด้ายไนลอนที่ผ่านการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน	50
ภาพที่ 4.17 ค่ามุมสัมผัสของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้ระดับเป็นมาตรฐาน	52
ภาพที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตกสะสม และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่สัมผัสกับผิวเส้นใยไนลอนที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน	53
ภาพที่ ก.1 ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาประยุกต์	60
ภาพที่ ก.2 ภาพถ่ายระบบ RF-CVD	60
ภาพที่ ก.3 เทปลอน	61
ภาพที่ ก.4 โอริงขนาดต่างๆ	61
ภาพที่ ก.5 ท่ออะคริลิก (แชมเบอร์)	62
ภาพที่ ก.6 ฝาบน	62
ภาพที่ ก.7 ฝาล่าง	63
ภาพที่ ก.8 เทปพันเกลียว	63
ภาพที่ ก.9 คาร์บอนเทป	64
ภาพที่ ก.10 ไนลอนที่ใช้ทำการทดลอง	64
ภาพที่ ก.11 RF power supply	65
ภาพที่ ก.12 ปัมป์เชิงกลโรตารี	65
ภาพที่ ก.13 เกจวัดความดัน	66
ภาพที่ ก.14 ตัวอ่านความดัน	66

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
PA	Poly amide
RF-CVD	radio frequency chemical vapor deposition
DLC	diamond-like carbon
SEM	scanning electron microscope
EDX	energy dispersive X-ray analysis
RF-PECVD	radio frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition
a-C:H	hydrogenated amorphous carbon
ta-C:H	hydrogenated tetrahedral amorphous carbon
ta-C	tetrahedral amorphous carbon
e ⁻	Electrons
ISO	International Organization for Standardization
ECC	English Cotton Count
MM	Metric Measurement
γ_{sv}	แรงตึงผิวของของแข็งกับไอน้ำที่จุดสมดุล
γ_{sl}	แรงตึงผิวระหว่างของแข็งและของเหลว
γ_{lv}	แรงตึงผิวระหว่างของแข็งและของเหลว
K	คือระดับชั้นพลังงาน $n=1$
L	คือระดับพลังงาน $n=2$
M	คือระดับพลังงาน $n=3$
N	คือระดับพลังงาน $n=4$
O	คือระดับพลังงาน $n=5$
P	คือระดับพลังงาน $n=6$
Q	คือระดับพลังงาน $n=7$
HCl	กรดเกลือ
HNO ₃	กรดไนตริก
H ₂ SO ₄	กรดซัลฟิวริก
C	คาร์บอน
CH ₄	มีเทน
C ₂ H ₂	อะเซทิลีน
Ar	อาร์กอน
He	ฮีเลียม
Ar ⁺	อาร์กอนไอออน

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
RF	คลื่นความถี่วิทยุ
$\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	แคลเซียมคาร์ไบด์+น้ำ
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	แคลเซียมไฮดรอกไซด์
$-(\text{C}-\text{O}-\text{NH})-$	อะตอมของคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ ไนโตรเจนรวมกันเป็นหมู่อะไมด์
sp^2	ไฮบริดเซชันแบบ sp^2 (ออร์บิทัล s หนึ่งออร์บิทัลและ ออร์บิทัล p สองออร์บิทัล)
sp^3	ไฮบริดเซชันแบบ sp^3 (ออร์บิทัล s หนึ่งออร์บิทัลและ ออร์บิทัล p สามออร์บิทัล)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันไนลอนได้เข้ามามีส่วนในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้ทำพลาสติกฟิล์ม และบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งไนลอนเป็นวัสดุสังเคราะห์ จัดอยู่ในกลุ่มของพลาสติกประเภทโพลีเอไมด์ โมเลกุลของไนลอนประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนรวมกันเป็นสายโซ่ยาว ไนลอนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่ถูกคิดค้นขึ้นโดย นายวอลเลซ แครอเธอร์ส (Wallace Carothers) และทีมวิจัยของบริษัท ดูปองท์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ไนลอนประกอบด้วยโพลีเอไมด์ (polyamide fibers) ซึ่งจัดเป็นใยสังเคราะห์จากสารเคมี เป็นสารประกอบระหว่างกรดไขมัน (adipic acid) มาผสมกับเฮกซะเมธิลีนไดอะมีน (hexamethylenediamine) โดยความร้อนจะรวมตัวกันเป็นโพลีเอสเตอร์ ไนลอนผลิตด้วยกระบวนการทางเคมีโดยการรวมตัวของเบนซีน ฟีนอล ไฮโดรเจน แอมโมเนีย และ โซดาไฟ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้มาจากถ่าน แก๊ส น้ำทะเล และอื่น ๆ มาผสมกันก็จะเปลี่ยนรูปเป็นโมเลกุลของเกลียวไนลอนโยงต่อกัน ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งไนลอนมีด้วยกันหลายชนิด เช่น ไนลอน 6 ไนลอน 6,6 ไนลอน 11 ไนลอน 12 ไนลอน 6,10 และอื่น ๆ แต่นิยมผลิตออกมามากที่สุดมี 2 ชนิดคือไนลอน 6,6 เป็นโพลิเมอร์ที่นิยมผลิตและใช้ในสหรัฐอเมริกามากที่สุด ส่วนประเทศต่าง ๆ ในแถบยุโรปและแถบอื่นจะนิยมผลิตและใช้ในไนลอน 6 มากกว่า สำหรับการดูดซึมน้ำและความชื้นต่าง ๆ เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายแล้วไนลอนจะดูดซึมความชื้นได้ต่ำกว่าผ้าฝ้าย การที่ดูดความชื้นได้น้อยกว่ามีผลดีคือสามารถย้อมสีได้ จึงมีผลทำให้ไนลอนแห้งเร็วเมื่อซัก แต่มีผลเสียในด้านการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ง่าย ทำให้สวมใส่ไม่สบายเท่าผ้าฝ้าย ไนลอนทุก ๆ ชนิดจะทนความร้อนที่ประมาณ 150 องศาเซลเซียส ได้เป็นอย่างดี โดยไม่เสียหาย แต่ถ้าความร้อนสูงมากกว่านี้ จะทำให้เส้นใยของไนลอนอ่อนตัวลง และลดความเหนียวลงอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่ทำให้ไนลอนละลายจะอยู่ที่ความร้อนประมาณ 250 องศาเซลเซียส สำหรับสมบัติทางเคมี โยสังเคราะห์ไนลอนค่อนข้างจะทนต่อต่างได้ดี หรือไม่ก็ค่อยเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงมากนักกับต่าง สารซักฟอกก็เป็นต่างจึงไม่ทำให้ไนลอนมีความเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าเป็นกรดจำพวกกรดของโลหะ เช่นกรดเกลือ กรดไนตริก และกรดกำมะถัน จะเป็นตัวทำลายต่อไนลอนได้อย่างรวดเร็ว แม้แต่สารละลายของกรดเกลืออย่างเจือจางก็สามารถทำลายเส้นใยไนลอน

แต่ปัญหาของด้ายไนลอน คือ ดูดซึมน้ำได้มาก และในสภาวะที่ชุ่มน้ำจะมีน้ำหนักมากและทนแรงดึงได้น้อยลง ดังนั้นในโรงงานนี้จึงมีความต้องการลดคุณสมบัติความชอบน้ำของด้ายไนลอนโดยการเคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอน (amorphous carbon) ซึ่งมีการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนอย่างไม่เป็นระเบียบลงบนพื้นผิวด้ายไนลอน เพื่อทำให้พื้นผิวของด้ายไนลอนนั้นดูดซึมน้ำได้น้อยลง มีน้ำหนักน้อยลงเมื่อถูกแช่น้ำ และทนแรงดึงได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับอุตสาหกรรมสิ่งทอประเภท แท อว่น หรือสายเชือกสำหรับตกปลา และร่มชูชีพ เป็นต้น เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยในเวทีประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Asian Economic Community, AEC)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของด้ายไนลอนโดยการเคลือบด้วยพลาสมาของแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สอะเซทิลีน ($\text{Ar} + \text{C}_2\text{H}_2$)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ในขั้นตอนการเคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนลงบนด้ายไนลอน ได้ใช้ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ดังนี้

● ตัวแปรต้น

1. เวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 นาที
2. อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ที่ 4:1 ลิตรต่อชั่วโมง (lph) และ 0.8:0.8 ลิตรต่อชั่วโมง (lph)

● ตัวแปรตาม

1. ค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำ ก่อนและหลังการเคลือบ
2. ลักษณะพื้นผิวเชิงจุลภาคของด้ายไนลอน ก่อนและหลังการเคลือบ
3. ปริมาณและชนิดของอะตอมที่ตรวจที่พื้นผิวของด้ายไนลอน ก่อนและหลังการเคลือบ

● ตัวแปรควบคุม

1. ด้ายไนลอนขนาด 210D/9
2. ใช้แก๊สอาร์กอนและแก๊สอะเซทิลีน
3. ใช้แหล่งจ่ายไฟแบบ RF power supply ที่สามารถปรับความถี่ได้ในช่วง 80-800 KHz

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีทักษะในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ทางพลาสมา และระบบสุญญากาศ
2. มีความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการเกิดพลาสมาในระบบสุญญากาศ ด้วยเทคนิคการตกสะสมด้วยไอเชิงเคมี (chemical vapor deposition, CVD)
3. มีทักษะการไขปัญหาต่างๆในการทำงาน
4. ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนลงบนด้ายไนลอน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการเคลือบเพื่อปรับปรุงพื้นผิวของด้ายไนลอนต่อไป

1.5 ระยะเวลาดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงระยะเวลาทำการวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลา (เดือน)				
	มิ.ย.-ก.ค. 55	ส.ค.-ก.ย. 55	ก.ย.-พ.ย. 55	พ.ย.-ธ.ค. 55	ธ.ค.55 - ก.พ. 56
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอะมอร์ฟัสคาร์บอน และคุณสมบัติในสื่อน					
2. เตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง					
3. ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขต่างๆ					
4. วัดคุณสมบัติของไนลอนที่เคลือบฟิล์ม					
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง/สรุปผลและเขียน รายงานการวิจัย					

1.6 สถานที่ทำโครงการ

ห้องวิจัยพลาสมา ห้อง Sc1-211 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.7 อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำโครงการ

1. ระบบการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคการเคลือบฟิล์มแบบการตกสะสมด้วยไอเคมี (chemical vapor deposition, CVD)
2. ด้ายไนลอน
3. แก๊สอาร์กอนและแก๊สอะเซทิลีน

1.8 งบประมาณของโครงการ

ตารางที่ 1.2 แสดงรายการและรายละเอียดของงบประมาณ

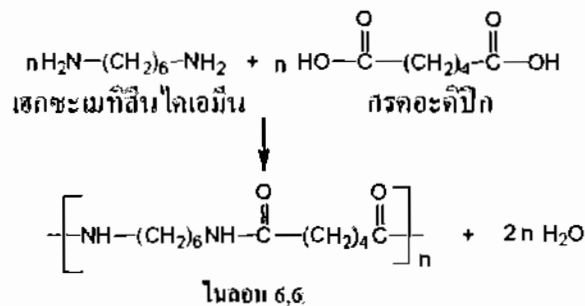
รายการ	จำนวนเงิน (บาท)	แหล่งทุน
1. ด้ายโนสอนจำนวน 3 ขนาด ขนาดละ 1 ม้วน 2. ทิชชูแบบไม่มีขน 5 ม้วนๆ ละ 90 บาท 3. เมทานอล 2.5 ลิตร 4. กระดาษทรายอย่างละเอียด 5. กรรไกร 6. เทปใส 7. ถุงมือเตรียมสาร 1 แพ็ค 8. แก๊สอาร์กอน และแก๊สอะเซทิลีน 9. วัดมุมความไม่ชอบน้ำด้วย contact angle	90 450 480 100 50 120 200 500 1500	• ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
10. ค่าใช้จ่ายในการถ่ายภาพ SEM 11. ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ EDX	800 2000	• ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รวม	6290	

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ด้ายไนลอน

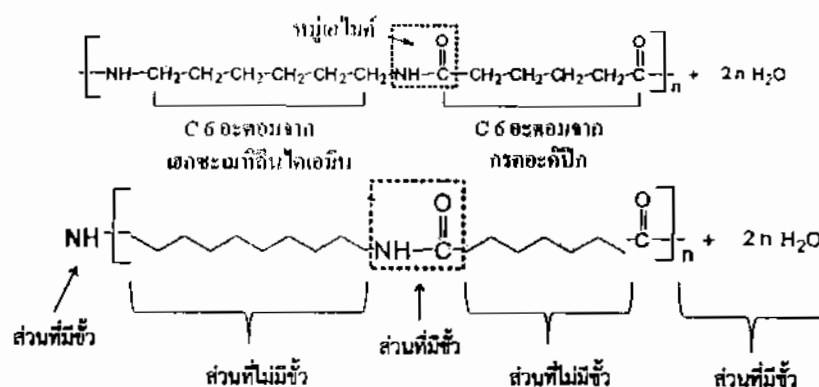
ด้ายไนลอน (nylon yarn) เป็นเส้นใยสังเคราะห์จัดอยู่ในกลุ่มของพลาสติกประเภทโพลีเอไมด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline) โมเลกุลของไนลอนประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนรวมกันเป็นหมู่เอไมด์ $-(C-O-NH)-$ ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ซึ่งไนลอนถูกคิดค้นขึ้นโดย นักเคมีชาวอเมริกันชื่อ นายวอลเลซ แครอเธอร์ส (Wallace Carothers) เขาได้ประดิษฐ์เส้นใยไนลอนขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2478 โดยในปี พ.ศ. 2470 นายแครอเธอร์ส ยังคงเป็นนักวิจัยเคมีอินทรีย์ของบริษัท อี ไอ ดูปองต์ เนอมีร์ ที่รัฐเดลาแวร์ มีความต้องการที่จะประดิษฐ์เส้นใยสังเคราะห์ขึ้น เขาได้ใช้เวลาถึง 11 ปี และใช้เงินไปถึง 27 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ จึงผลิตได้สำเร็จ เขาตั้งใจจะประดิษฐ์พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเหมือนไหม แต่ให้ผลผลิตได้ในปริมาณมากกว่า เขาได้ค้นพบเส้นใยที่เหนียว และสวยงามกว่าไหม โดยเขาได้นำกรดไขมัน (adipic acid) มาผสมกับเฮกซะเมทิลีนไดอะมิน (hexamethylenediamine) ดังภาพที่ 2.1 จึงได้สารที่เหนียวและดึงออกเป็นเส้นใยบางๆ ได้ [1]



ภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ด้ายไนลอน [3]

เส้นใยสังเคราะห์พอลิเอไมด์ (Poly amide, PA) เป็นเส้นใยที่มีความยาวไม่จำกัด (endless filament) สีขาว มีความถ่วงจำเพาะ 1.14 หดตัวได้ดี เมื่อแห้งทนแรงดึงได้ 6.4-8.4 กรัม/ดีเนียร์ เมื่ออมน้ำจะทนแรงดึงได้น้อยลง มีจุดอ่อนตัวที่ 180 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวที่ 215 องศาเซลเซียส ทนต่อการกัดและด่างได้ดี ย้อมสีได้ดี มีข้อเสียคือเมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเลต (ultraviolet) แล้วจะเปราะง่าย [2] ซึ่งด้ายไนลอนเป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน เป็นโมเลกุลแบบไม่มีขั้วและมีขั้ว ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างของภาพโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่แสดงให้เห็นว่าเป็นโมเลกุลแบบมีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้นถ้าหากเราเปลี่ยนฟิล์มคาร์บอน โดยฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนเกิดจากโครงสร้างของธาตุชนิดเดียวกันคือคาร์บอน ซึ่งเป็นโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เมื่อเคลือบฟิล์มลงบนด้ายไนลอน จะทำให้ด้ายไนลอนมีโมเลกุลแบบไม่มีขั้วมากกว่ามีขั้ว ด้ายไนลอนจึงมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว จึงเส้นใยเหล่านี้มีอยู่ 2 ประเภท คือ

1. Multifilament Nylon ที่รู้จักกันคือ อวนไนลอน เส้นใยไนลอนพวกนี้ที่ใช้ในการประกอบเครื่องมือทำการประมง ขนาดที่นิยมใช้กันมาก 210 ดีเนียร์ ใช้เป็นสำหรับประกอบเครื่องมือทำการประมงจำพวก อวนล้อม อวนลอย เป็นต้น โดยที่ 1 denier หมายถึง เส้นด้ายที่มีมวล 1 กรัม ต่อความยาว 9,000 เมตร และคำว่า denier ออกเสียงว่า เดนเยอร์ (Den – Yer)
2. Monofilament Nylon ที่รู้จักกันคือ เส้นเอ็น มีหลายขนาด นิยมนำมาใช้เป็นสายเบ็ดและทำเป็นเนื้ออวนประเภทอวนลอย เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วของไนลอน

2.1.1 สมบัติทางกายภาพ

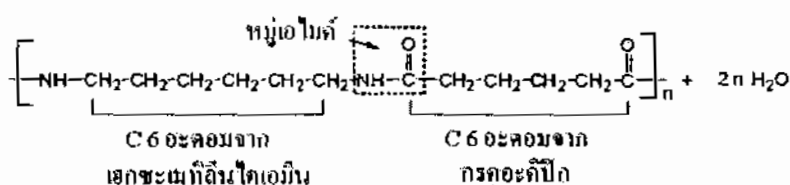
1. ไนลอนมีความเหนียวมาก ซึ่งความเหนียวของไนลอนชนิดธรรมดาจะเหนียวประมาณ 4.6-5.8 กรัมต่อเดนเยอร์ ถ้าเป็นไนลอนชนิดเหนียวมากจะมีความเหนียวประมาณ 8.8 กรัมต่อเดนเยอร์
2. ไนลอนสามารถยัดได้และยืดหยุ่นได้ดี ผ้าไนลอนจึงสามารถคืนตัวได้ดีและคงรูปได้ดีเยี่ยม ไม่ยับง่าย เมื่อเทียบกับผ้าฝ้าย (cotton) แล้ว ด้ายไนลอนจะดูดซับความชื้นได้ต่ำกว่าผ้าฝ้าย ขณะที่ผ้าฝ้ายระบายอากาศได้ดี ซับเหงื่อได้ดีเยี่ยม เนื้อผ้าจะมีลักษณะด้าน แต่จะยับง่าย เมื่อซักบ่อยๆ ก็จะย้วย การที่ไนลอนดูดความชื้นได้น้อยกว่ามีผลดีคือสามารถย้อมสีได้ จึงมีผลทำให้ไนลอนแห้งเร็ว แต่มีผลเสียในด้านการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ง่าย ทำให้สวมใส่ไม่สบายเท่าผ้าฝ้าย

2.1.2 สมบัติทางเคมี

1. ผลต่อต่าง โยลิ่งเคราะห์ไนลอนค่อนข้างจะทนต่อต่างได้ดี หรือไม่ค่อยเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงมากนักกับต่าง สารซักฟอกก็เป็นต่างจึงไม่ทำให้ไนลอนมีความเปลี่ยนแปลง
2. ผลต่อกรดจำพวกกรดของโลหะ เช่นกรดเกลือ (HCl) กรดไนตริก (HNO₃) และกรดกำมะถัน(H₂SO₄) จะเป็นตัวทำลายต่อไนลอนได้อย่างรวดเร็ว
3. ปฏิกิริยาสารละลายอินทรีย์ โดยปกติแล้วน้ำยาฟีนอลเมตาครีซอลและกรดฟอร์มิก (CH₂O₂) จะสามารถละลายไนลอนได้ แต่สารละลายนรอยเบือนและน้ำยาซักแห้งจะไม่ทำลายเส้นใยไนลอน

2.1.3 ชนิดของด้ายไนลอน

ไนลอนมีด้วยกันหลายชนิด เช่น ไนลอน 6 ไนลอน 6,6 ไนลอน 11 ไนลอน 12 ไนลอน 6,10 และอื่น ๆ แต่ที่นิยมผลิตออกมามากที่สุดมี 2 ชนิดคือไนลอน 6,6 เป็นโพลิเมอร์ที่นิยมผลิตและใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกามากที่สุด ส่วนประเทศต่าง ๆ ในแถบยุโรปและแถบอื่นจะนิยมผลิตและใช้ในลอน 6 มากกว่า [4] ตัวเลขที่อยู่ด้านหลังของคำว่าไนลอน มาจากจำนวนคาร์บอนอะตอมที่มีในมอนอเมอร์แต่ละตัว ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของไนลอน 6,6 [3]

2.1.4 เบอร์ด้าย

ขนาดเบอร์เส้นด้าย เป็นค่าตัวเลขที่บ่งบอกให้ทราบถึงค่าของน้ำหนักต่อความยาวของเส้นด้าย ปัจจุบันมีใช้กันอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบตรง (direct system) และระบบอ้อม (indirect system) ซึ่งหน่วยของขนาดเส้นด้ายมีหลายหน่วย แต่หน่วยที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นหน่วยที่นิยมใช้ในธุรกิจซื้อขายเส้นด้ายระดับประเทศ [5,6]

1. ระบบโดยตรง เป็นการกำหนดขนาดเบอร์เส้นด้ายเป็นค่าน้ำหนักต่อความยาวของเส้นด้าย จะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักของเส้นด้ายจะเปลี่ยน แต่ค่าความยาวของเส้นด้ายคงที่ แสดงว่าถ้าขนาดเบอร์เส้นด้ายใหญ่ เส้นด้ายจะมีขนาดใหญ่ หน่วยของระบบที่นิยมคือหน่วยเท็กซ์และเดนเยอร์
 - หน่วยเท็กซ์ (Tex) เป็นหน่วยที่แสดงค่าน้ำหนักของเส้นด้ายมีหน่วยเป็นกรัมต่อความยาวของเส้นด้ายมาตรฐานยาว 1,000 เมตร หมายความว่า เส้นด้ายหนัก 1 กรัม ยาว 1,000 เมตร เป็นเส้นด้ายเบอร์ 1 Tex ซึ่ง Tex เป็นหน่วยที่องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO, The International Organization for Standardization) กำหนดขึ้นเพื่อให้ยึดถือปฏิบัติให้เป็นแนวเดียวกัน
2. ระบบโดยอ้อม (Indirect System) เป็นการกำหนดขนาดเบอร์เส้นด้ายเป็นค่าความยาวต่อ น้ำหนักของเส้นด้าย จะเห็นได้ว่าค่าความยาวของเส้นด้ายจะเปลี่ยน แต่ค่าน้ำหนักของเส้นด้ายคงที่ แสดงว่าถ้าขนาดเบอร์เส้นด้ายใหญ่เส้นด้ายจะมีขนาดเล็ก เช่นเส้นด้ายเบอร์ 60'S จะมีขนาดเส้นด้ายเล็กกว่าเส้นด้ายเบอร์ 20'S เป็นต้น เส้นด้ายที่ใช้ระบบนี้ เป็นเส้นด้ายที่ทำจากใยสั้น มีหน่วยเป็น ECC, MM

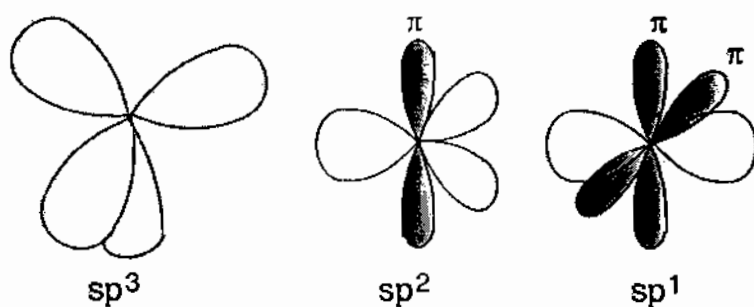
- หน่วย ECC (English Cotton Count) เป็นหน่วยที่แสดงจำนวนเท่าของความยาวของเส้นด้าย 840 หลาต่อน้ำหนักของเส้นด้ายมาตรฐาน 1 ปอนด์ หมายความว่าเส้นด้ายยาว 840 หลา น้ำหนัก 1 ปอนด์ เป็นเส้นด้ายเบอร์ 1
- หน่วย MM (Metric Measurement) เป็นหน่วยที่แสดงความยาวของเส้นด้าย 1 เมตร น้ำหนัก 1 กรัม หมายความว่า เส้นด้ายยาว 1 เมตร น้ำหนัก 1 กรัม เป็นเส้นด้ายเบอร์ 1

2.2 การเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้เทคนิค RF-PECVD

ในโครงการนี้ได้เคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนลงบนด้ายไนลอนด้วยเทคนิค RF-PECVD โดยมีรายละเอียดของฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนและเทคนิค RF-PECVD ดังนี้

2.2.1 ฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอน (amorphous carbon)

โดยทั่วไปแล้วเราจะรู้จักคาร์บอน (C) ในรูปของแกรไฟต์และเพชร ซึ่งโครงสร้างภายในจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเท่านั้น แต่ยังมีรูปแบบของคาร์บอนอีกรูปแบบหนึ่ง คือ คาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) โดยคาร์บอนอสัณฐานที่มีคุณสมบัติเด่นไปทางเพชร เรียกว่า คาร์บอนคล้ายเพชร (diamond-like carbon: DLC) โดยที่กลุ่มวิจัยของ Teo และคณะ [7] เป็นผู้จัดประเภทของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร ในการจัดประเภทจะอาศัยการวัดอัตราส่วนของพันธะไฮบริดออร์บิทัล sp^2 (ลักษณะคล้ายแกรไฟต์: graphite-like) และไฮบริดออร์บิทัล sp^3 (ลักษณะคล้ายเพชร: diamond-like) ถ้าอะมอร์ฟัสคาร์บอนมีพันธะแบบ sp^3 มากกว่า sp^2 จะเรียกว่าคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) โดยทั่วไปแล้วฟิล์ม DLC จะประกอบไปด้วยพันธะของไฮบริดออร์บิทัล sp^3 , sp^2 และ sp^1 [7] ซึ่งไฮบริดออร์บิทัลจะมีทิศทางเฉพาะตัวที่ช่วยทำนารูปร่างและมุมระหว่างพันธะโมเลกุล โดยทิศทางของไฮบริดออร์บิทัลขึ้นอยู่กับรูปแบบของไฮบริดเซชันซึ่งมี 3 แบบ คือ sp^3 , sp^2 และ sp^1 แสดงได้ตามภาพที่ 2.4 โครงสร้าง sp^3 ภายในเพชรจะมีอะตอมของคาร์บอนอยู่ 4 เวเลนซ์อิเล็กตรอน จึงทำให้พันธะภายในอะตอมมีความแข็งแรงมาก ส่วนโครงสร้าง sp^2 ภายในแกรไฟต์ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนอยู่ 4 เวเลนซ์อิเล็กตรอนเช่นเดียวกับกับเพชร แต่อิเล็กตรอนลำดับที่ 4 อยู่ในสภาวะ π ออร์บิทัล ซึ่ง π ออร์บิทัลมีลักษณะพันธะเปราะบางทำให้พันธะระหว่างชั้นของอะตอมไม่แข็งแรงมากนัก และโครงสร้าง sp^1 ของแกรไฟต์ก็มีลักษณะคล้ายโครงสร้างแบบ sp^2 คือ มี π ออร์บิทัลเช่นเดียวกัน แต่มี π ออร์บิทัลอยู่ 2 ออร์บิทัล ทำให้พันธะภายในอะตอมมีลักษณะของพันธะไม่แข็งแรงและเปราะบางมาก [8] ฟิล์ม DLC จะมีโครงสร้าง sp^2 ทำหน้าที่ควบคุมคุณสมบัติด้านอิเล็กทรอนิกส์ (electronic properties) และโครงสร้าง sp^3 ทำหน้าที่ควบคุมคุณสมบัติด้านเชิงกล (mechanical properties) โดยพันธะของโครงสร้าง sp^3 จะส่งผลให้คาร์บอนคล้ายเพชรมีความแข็ง (hardness) สูง, มีความเสียดทานต่ำ (low friction), และโปร่งใส (optical transparency) นอกจากนั้นยังเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี (chemical inertness)



ภาพที่ 2.4 ลักษณะออร์บิทัลเมื่ออะตอมคาร์บอนเกิดไฮบริดเซชันแบบ sp^3 , sp^2 และ sp^1 [8]

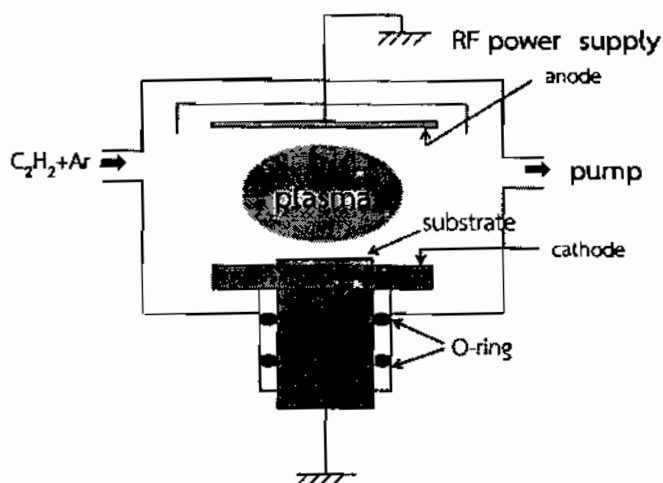
โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งชนิดของฟิล์ม DLC ได้ 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่มีอะตอมของไฮโดรเจนในการสร้างพันธะ ฟิล์มที่ได้จึงมีอะตอมของไฮโดรเจนผสมอยู่ด้วย เรียกว่าไฮโดรจิเนตอะมอร์ฟัสคาร์บอน (hydrogenated amorphous carbon : a-C:H) กลุ่มที่สองเป็นฟิล์ม DLC แบบแข็ง โดยกลุ่มนี้จะมีสัดส่วนพันธะของ sp^3 สูง แต่มีสัดส่วนอะตอมของไฮโดรเจนต่ำ เรียกว่าไฮโดรจิเนตเตตระฮีดรอลอะมอร์ฟัสคาร์บอน (hydrogenated tetrahedral amorphous carbon: ta-C:H) กลุ่มที่สาม คือ กลุ่มที่ไม่ได้อาศัยอะตอมของไฮโดรเจนในการสร้างพันธะ จึงไม่มีอะตอมของไฮโดรเจนผสมอยู่เลย และพันธะของ sp^2 จะขยายไปทางพันธะ sp^3 ของเรียกกลุ่มนี้ว่า เตตระฮีดรอลอะมอร์ฟัสคาร์บอน (tetrahedral amorphous carbon: ta-C) โดยฟิล์มแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างอะตอมและคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของ DLC ชนิดต่างๆ เพชร และแกรไฟต์ [7,8]

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติคาร์บอนรูปแบบต่างๆ [8]

คาร์บอนรูปแบบต่างๆ	sp^3 (%)	H (%)	Density (g cm ⁻³)	Gap (eV)	Hardness (GPa)
เพชร	100	0	3.515	55	100
แกรไฟต์	0	0	2.267	0	-
C ₆₀	0	0	-	1.6	-
graphitic C	0	0	1.3-1.55	0.01	3
sputtered C	5	0	2.2	0.5	-
ta-C	80-88	0	3.1	2.5	80
a-C:H hard	40	30-40	1.6-2.2	1.1-1.7	10-20
a-C:H soft	60	40-50	1.2-1.6	1.7-4	<10
ta-C:H	70	30	2.4	2.0-2.5	50

2.2.2 เทคนิค RF-PECVD

เทคนิคการเคลือบแบบการตกสะสมไอเชิงเคมีเสริมด้วยพลาสมาที่คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition : RF-PECVD) เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการให้ความต่างศักย์สูงและความถี่สูงไปยังขั้วไฟฟ้า เพื่อให้แก๊สไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดคาร์บอนนั้นแตกตัว โดยแก๊สที่นิยมใช้คือ มีเทน (CH_4) และอะเซทิลีน (C_2H_2) เป็นต้น [9] โดยทั่วไปแล้วนิยมผสมแก๊สเฉื่อย เช่นอาร์กอน (Ar) หรือ ฮีเลียม (He) เพื่อให้แก๊สมีการแตกตัวเป็นพลาสมาได้ดีขึ้น และช่วยลดความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรคาร์บอนภายใน 챔เบอร์ลง เนื่องจากแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่เข้มข้นมากเกินไปถ้าแตกตัวไม่หมดจะกลายเป็นเขม่า ซึ่งจะทำให้เกิดการปนเปื้อนขึ้นในระบบ ที่ความดันต่ำอิเล็กตรอนอิสระในระบบเมื่อได้รับการกระตุ้นจะชนกับแก๊สอาร์กอนทำให้แก๊สอาร์กอนแตกตัวเป็นอาร์กอนไอออน (Ar^+) และอิเล็กตรอน (e^-) แล้วอิเล็กตรอนจะไปชนกับโมเลกุลของแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ทำให้แก๊สอะเซทิลีนแตกตัวเป็นอะตอม (atoms) อิเล็กตรอน (electrons) และไอออน (ions) อีกครั้งหนึ่ง แก๊สได้รับพลังงานจากคลื่นวิทยุ (RF) ที่ความดันต่ำจะมีพลังงานสูงและไม่เสถียร จึงปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถเห็นได้ (visible light) เราจึงเห็นเป็นแสงเปล่งออกมา การเปล่งแสงของพลาสมาสามารถบ่งถึงลักษณะของแก๊สที่แตกตัวได้ แก๊สอาร์กอนจะเปล่งแสงสีม่วงทำให้เกิดการแตกตัวเป็นพลาสมา ส่วนแก๊สอะเซทิลีนจะเปล่งสีฟ้าออกมาในการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ได้นั้นสามารถควบคุมโดยอัตราการไหลของแก๊สและความร้อนที่ให้ไปได้ โครงสร้างระบบ RF-PECVD แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างทั่วไปของระบบ RF-PECVD

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แก๊สอาร์กอนช่วยให้เกิดพลาสมา และใช้แก๊สอะเซทิลีนเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนที่จะใช้เคลือบลงบนด้ายไนลอน รายละเอียดคุณสมบัติของแก๊สอาร์กอนและแก๊สอะเซทิลีนเป็นดังนี้

1. แก๊สอาร์กอน ซึ่งเป็นแก๊สที่พบในบรรยากาศประมาณ 0.94% ซึ่งมีเสถียรภาพและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ต่ำมาก หรือไม่ทำปฏิกิริยาเลย เรียกได้ว่า แก๊สเฉื่อย (inert gas) เป็นธาตุหมู่ที่ 8 เลขอะตอม 18 ในตารางธาตุ มีสถานะเป็นแก๊ส ณ อุณหภูมิปกติ โดยมีน้ำหนักอะตอม

39.948 amu จุดหลอมเหลว 1050 องศาเซลเซียส จุดเดือด (โดยประมาณ) 3200 +/- 300 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น (จากการคำนวณ) 1.78380 g/L ที่ 1 atm, 273.15 K อาร์กอน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ และไม่มีพิษ ลักษณะของอาร์กอนเป็นที่รู้จักกันดีจะอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมี อาร์กอนมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.38 ซึ่งหนักกว่าอากาศ 25% ที่ความดันบรรยากาศ อาร์กอนจะกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -302 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ -186 องศาเซลเซียส มี Ionization Potential 15.7 โวลต์ (หมายความว่าต้องใช้แรงเคลื่อน 15.7 โวลต์ จึงจะทำให้อะตอมของแก๊สอาร์กอนแตกตัวเป็นไอออนมาก) [10,11]

2. แก๊สอะเซทิลีน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ “C₂H₂” จัดเป็นเป็นชนิดไวไฟ เมื่อเผาไหม้รวมตัวกับแก๊สออกซิเจนแล้วให้เปลวไฟที่มีความร้อนสูง การผลิตแก๊สอะเซทิลีนทำได้โดยการนำแคลเซียมคาร์ไบด์รวมกับน้ำเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยคาร์บอนที่อยู่ในแคลเซียมคาร์ไบด์กับไฮโดรเจนที่อยู่ในน้ำจะรวมตัวกันเป็นแก๊สอะเซทิลีน ดังสมการเคมี ดังนี้



แคลเซียมคาร์ไบด์+น้ำ → อะเซทิลีน+แคลเซียมไฮดรอกไซด์

คุณสมบัติที่สำคัญของแก๊สอะเซทิลีนคือ เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจะได้เปลวไฟที่มีความร้อนสูงประมาณ 5,500 °C – 6,000 °C เบากว่าอากาศ ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนรุนแรงคล้ายกลิ่นกระเทียม สามารถละลายในของเหลวได้ แต่ไม่สามารถควบคุมได้เมื่อมีความดันเกิน 30 ปอนด์/ตารางนิ้ว (30 psi หรือ เท่ากัน 2.1 Kg/cm²) หรือที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,435 °F (780 °C) และถ้าความดันหรืออุณหภูมิสูงถึงจุดวิกฤตก็จะระเบิดได้ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 92.3% และไฮโดรเจน 7.7% โดยน้ำหนัก [12]

ตัวอย่างขบวนการที่เกิดจากการกระตุ้นแก๊สอะเซทิลีนด้วยสนามไฟฟ้า [13]

1. ไอออไนเซชัน (ionization)

ในการเกิดปฏิกิริยาของพลาสมาในห้องสุญญากาศ ซึ่งมีแก๊สไหลผ่านในระดับคงที่และความดันต่ำมากๆ โมเลกุลหรืออะตอมของแก๊สในสุญญากาศ อาศัยการชนของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลหรืออะตอมเป็นสำคัญ โดยคลื่นวิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานจลน์ไปชนกับโมเลกุลหรืออะตอมนั้นดังสมการที่ (2.1) ซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนนั้นมีค่ามากกว่าพลังงานไอออไนเซชัน



2. การกระตุ้น (excitation)

พลังงานที่ส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า ทำให้อะตอมนั้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งแสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชัน ดังแสดงในสมการที่ (2.2) โดย C₂H₂* คืออะตอมของอะเซทิลีนที่อยู่ในสถานะกระตุ้น



3. การแตกตัวของโมเลกุล (molecular dissociation)

กระบวนการที่สำคัญอีกอันหนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ คือ การแตกตัวของโมเลกุล ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการแตกตัวได้ ดังแสดงในสมการ (2.3) – (2.7)



ผลของการแตกตัวจะเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี คือ ผลผลิตที่ได้จะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าตอนที่ที่อะตอมยังไม่แตกตัว การแตกตัวของโมเลกุล อาจเกิดควบคู่กับการไอออไนซ์หรือไม่ก็ได้ ถ้าเกิดคู่กันจะเรียกว่า dissociative ionization ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการ dissociative ionization ได้ดังสมการ (2.8) – (2.13)



เมื่อแก๊สได้รับพลังงานจากคลื่นวิทยุ (RF) หรือคลื่นไมโครเวฟ ที่ความดันต่ำ เราจะมองเห็นพลาสมาที่เปล่งแสงออกมา เนื่องมาจากพลังงานภายนอกทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น โดยธรรมชาติอิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นได้เพียงประมาณ 10^{-18} s (Lieberman, 1994) หลังจากนั้นเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับคืนสู่สถานะพื้นพร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถเห็นได้ (visible light) การเปล่งแสงของพลาสมาสามารถบ่งถึงลักษณะของแก๊สที่แตกตัวได้ เช่น แก๊สอาร์กอนจะเปล่งแสงสีม่วง อากาศและแก๊สไนโตรเจนจะเปล่งแสงเป็นสีชมพูซึ่งบ่งบอกถึงสภาวะกระตุ้นโมเลกุลของไนโตรเจน

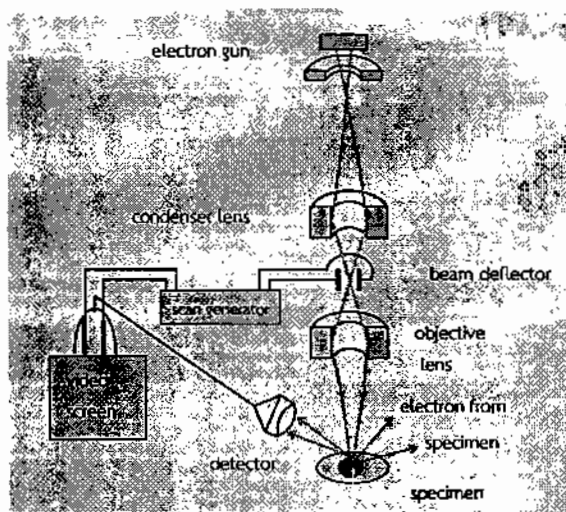
2.3 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟิล์ม

ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวในลอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) ตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการวัดการ

กระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (energy dispersive X-ray analysis: EDX) และวัดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic property) ด้วยเทคนิคการวัดมุมสัมผัส (contact angle) เทคนิคต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [14]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะใช้อิเล็กตรอนทุติยภูมิในการสร้างภาพหลักการ คือ อิเล็กตรอนเริ่มต้น (primary electrons) ที่ถูกสร้างจากปืนอิเล็กตรอน (electron gun) โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า ในช่วงประมาณ 0-30 kV (บางรุ่นถึง 50 kV) จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกบีบให้แคบลงโดยเลนส์บรรจรังสี (condenser lens) จนเหลือเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กมากและถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวชิ้นงานพอดีโดยเลนส์ ใกล้เคียง (objective lens) จากนั้นชุดสวิตช์ที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก (scan coil) จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน โดยเริ่มกวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อกวาดจนสุดก็จะเลื่อนลงอีกชั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกจนครบเฟรม ซึ่งการกวาดลำอิเล็กตรอนลักษณะเช่นนี้เรียกว่า raster scan และเมื่อกวาดจนครบเฟรมแล้วก็จะเริ่มสแกนที่จุดแรกใหม่ ส่วนประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงดังภาพที่ 2.6 ผิวชิ้นงานที่ลำอิเล็กตรอนตกใส่จะเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนอันดับสองขึ้น ถ้าผิวชิ้นงานเรียบก็จะให้การปลดปล่อยอิเล็กตรอนอันดับสองได้ดี แต่ถ้าผิวชิ้นงานขรุขระเป็นหลุมลึกก็จะให้การปลดปล่อยอิเล็กตรอนอันดับสองได้น้อย ซึ่งใช้หัววัด (detector) เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพ โดยปกติสัญญาณที่ได้จากการปลดปล่อยอิเล็กตรอนอันดับสองจะมีความเข้มต่ำ ต้องขยายสัญญาณให้มีความเข้มสูงขึ้นด้วยตัวขยายสัญญาณ (amplifier) เพื่อให้สัญญาณมีความเข้มสูงมากพอที่จะแสดงออกมาเป็นภาพให้เห็นได้

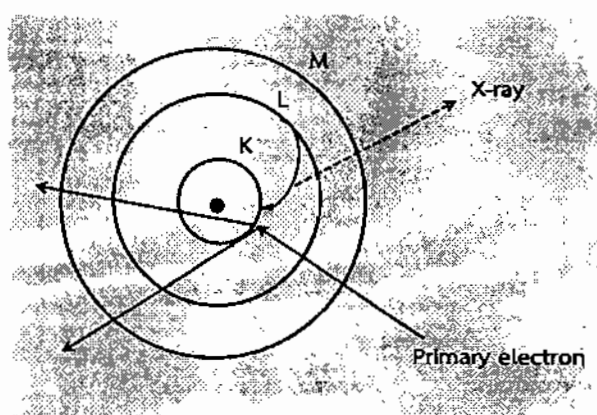


ภาพที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.3.2 การวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (EDX) [15]

การตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Analysis) มีหลักการจากการกระเจิงของอิเล็กตรอนในชิ้นงาน แล้วปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมานั้น เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุที่ปล่อยออกมา โดยในอะตอม

ประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีประจุบวก และอิเล็กตรอนที่มีประจุลบโคจรรอบๆ การเรียงตัวของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสของอะตอมนั้น จะมีลักษณะเป็นวงอิเล็กตรอน (electron shells) โดยอิเล็กตรอนชั้นในสุดจะมีพลังงานต่ำสุด แต่มีพลังงานพันธะที่แข็งแกร่งที่สุด และระดับชั้นพลังงานชั้นต่างๆ ของอิเล็กตรอนจะเรียงจากวงในออกไปนอกได้ดังนี้ K, L, M, N, O, P และ Q ตามลำดับ การเร่งอิเล็กตรอนพลังงานสูงเข้าไปชนผิวของสาร จะสามารถทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดออกไปจากอะตอมได้ จึงเกิดสภาวะที่ถูกระตุ้น คือ ไม่เสถียร อะตอมจึงพยายามกลับเข้าสู่สภาวะพื้น โดยอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานวงนอกจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่อิเล็กตรอนวงในหลุดออกไป แล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ (X-ray photon) ดังภาพที่ 2.7 และตัวรับสัญญาณจะรับรังสีที่ถูกปลดปล่อยออกมา นับจำนวนและพลังงานที่ปล่อยออกมาแล้วนำเสนอในรูปของกราฟระหว่างระดับพลังงานและจำนวนที่ปลดปล่อยออกมาซึ่งอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นของธาตุต่างๆ ก็จะมีพลังงานแตกต่างกันไป จึงเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุนั้นๆ ดังนั้นเราจึงสามารถวิเคราะห์ชิ้นงานได้ว่า มีองค์ประกอบของธาตุใดบ้าง และมีปริมาณเป็นสัดส่วนเท่าใด

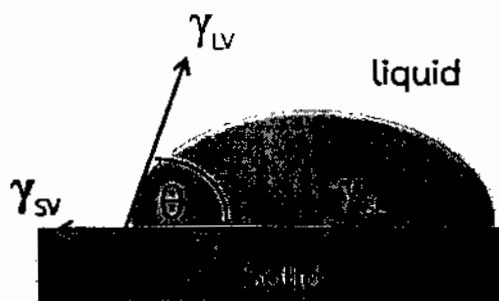


ภาพที่ 2.7 แสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์

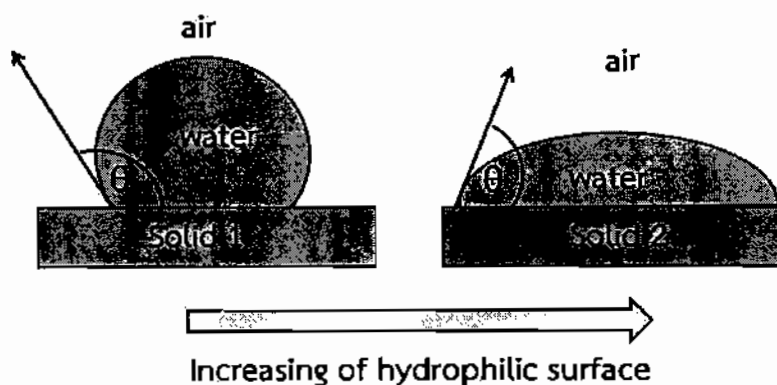
2.3.3 มุมสัมผัส (contact angle) [16]

เทคนิคการวัดมุมสัมผัสเป็นเทคนิคที่บอกให้ทราบถึงพื้นผิวของชิ้นงานว่าพื้นผิวนั้นมีความชอบน้ำ (hydrophilic) หรือไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) การที่น้ำอยู่บนพื้นผิวใดๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการยัง (Young's equation) ความสัมพันธ์คือ $\gamma_{SL} - \gamma_{SV} + \gamma_{LV} \cos \theta = 0$ ซึ่งเป็นสมการอธิบายมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำและอากาศรอบๆ โดยค่า γ_{SL} , γ_{SV} , γ_{LV} คือ พลังงานพื้นผิวร่วม (interfacial energy) ซึ่ง γ_{SV} คือ แรงดึงผิวของของแข็งกับไอน้ำที่จุดสมดุล γ_{SL} คือ แรงดึงผิวระหว่างของแข็งและของเหลว γ_{LV} คือ แรงดึงผิวระหว่างของแข็งและของเหลว แสดงดังภาพที่ 2.8 แสดงหยดน้ำถูกสมมติให้เป็นรูปหมวกโค้ง เรียกว่า spherical cap เมื่ออยู่บนผิวของของแข็ง ถ้ามุมสัมผัสที่มีค่าน้อยจะทำให้หยดน้ำแบนราบและยึดเกาะพื้นผิวของแข็งได้ดี ซึ่งหมายถึงพื้นผิวมีความสามารถในการเปียกที่ดี (good wettability) ในทางกลับกันถ้ามุมสัมผัสที่มีค่ามาก จะส่งผลถึงพื้นผิวร่วมระหว่างของเหลว-ของแข็งที่น้อย และพื้นผิวมีความสามารถในการเปียกที่ไม่ดี (bad wettability) เมื่อมุมสัมผัสมีค่าน้อยจนเข้าสู่ศูนย์แสดงว่าพื้นผิวนั้นชอบน้ำยิ่งยวด แต่ถ้ามุมสัมผัสเท่ากับ 180° แสดงว่าพื้นผิวนั้นไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยทั่วไปพื้นผิวที่มีมุมสัมผัสของหยดน้ำน้อยกว่า 90° ถูกพิจารณาว่าเป็นพื้นผิวแบบชอบน้ำและเกิดการเปียกผิวที่ดี

เป็นพื้นผิวที่มีขั้วและมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ในขณะที่มุมสัมผัสของหยดน้ำมากกว่า 90° เป็นพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำ ซึ่งเป็นพื้นผิวที่ไม่มีขั้วน้อยจึงเกิดการเปียกน้ำที่น้อย ภาพที่ 2.9 แสดงการเปียกผิวของหยดน้ำบนผิวของแข็ง ลูกศรจากซ้ายไปขวาแสดงถึงความชอบน้ำของพื้นผิวที่เพิ่มมากขึ้น (increasing of hydrophilic surface)



ภาพที่ 2.8 มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบๆ และแรงตึงผิวที่เกี่ยวข้อง

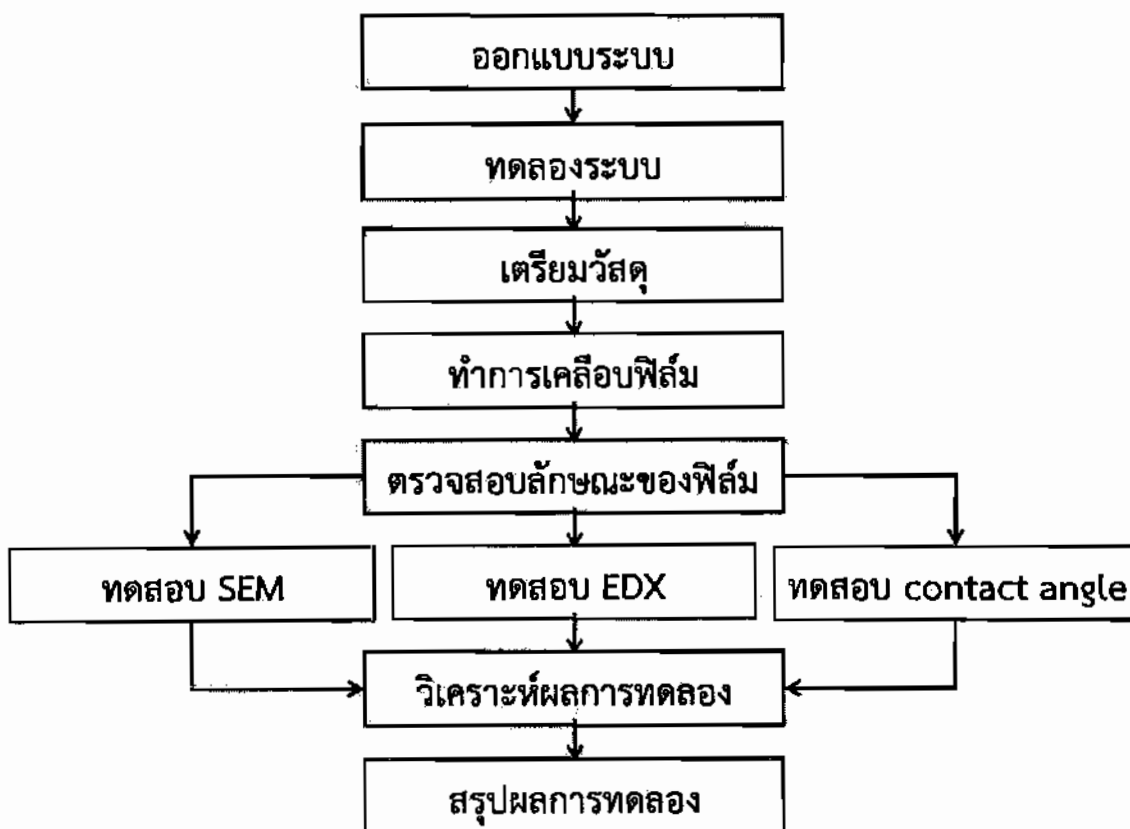


ภาพที่ 2.9 การเปียกน้ำของพื้นผิวของแข็ง ลูกศรจากซ้ายไปขวาแสดงถึงความชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นของพื้นผิว

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

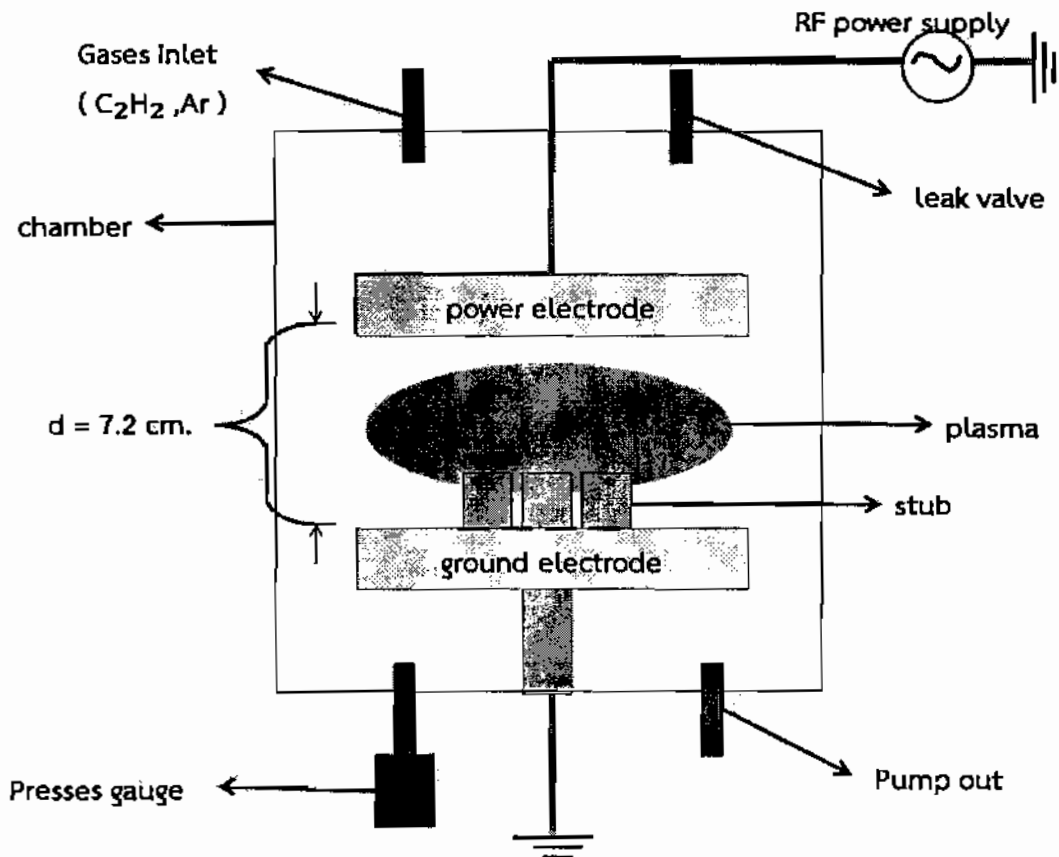
การเคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนลงบนเส้นด้ายไนลอน และการวิเคราะห์ผล มีขั้นตอนแสดงได้ตามภาพที่ 3.1 โดยรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ จะได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.1 ถึง 3.3 ต่อไป



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังวิธีดำเนินการทำโครงการ

3.1 การออกแบบและติดตั้งระบบ RF-PECVD

ระบบ RF-PECVD ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้ว คือ ขั้วกำลัง (power electrode) ซึ่งอยู่ด้านบนและขั้วล่างหรือขั้วกราวด์ (ground electrode) โดยขั้วบนมีลักษณะเป็นหน้าแปลนวงกลม ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าความถี่คลื่นวิทยุ ส่วนขั้วล่างต่อกับสายดินหรือกราวด์ (ground) ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของระบบ RF-PECVD

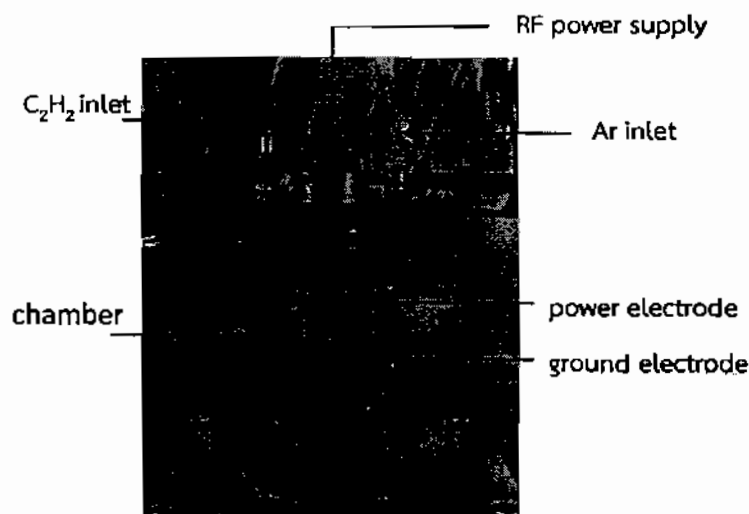
โครงสร้างของระบบ RF-PECVD ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบหลายอย่างด้วยกันดังภาพที่ 3.2 (มีรายละเอียดของภาพในภาคผนวก ก) ประกอบไปด้วย

1. Gases inlet: เป็นช่องสำหรับให้แก๊สเข้าในแชมเบอร์
2. Chamber: ทำจากอะคริลิก มีลักษณะเป็นท่อกว้างทำจากอะคริลิกมีส สูง 200 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 110 mm หนา 6 mm
3. Presses gauge : คือ เกจวัดความดันในระบบ รุ่น IAP2 ยี่ห้อ Ulvac และเครื่องอ่านค่าความดันยี่ห้อ Ulvac

4. Pump out : คือ ปัมสำหรับดูดอากาศออกจากแชมเบอร์ ในโครงการนี้ใช้ปั๊มกลโรตารี
5. Leak valve : วาล์วที่ทำหน้าที่ปล่อยอากาศเข้าสู่ภายในแชมเบอร์ เพื่อปรับความดัน
6. ฝาปิดอะคริลิก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 168 mm หนา 6 mm
7. โอริง โอริงมีลักษณะเป็นวงแหวนเล็กๆ ซึ่งทำขึ้นจากยาง เป็นอุปกรณ์ป้องกันการรั่วซึมของอากาศในระบบสุญญากาศ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 51 mm หนา 6 mm
8. เทปพันเกลียว มีความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง ทนต่อการทำละลาย และแรงเสียดทานได้ดี
9. ขั้วกำลังที่ทำจากสแตนเลส (stainless) ลักษณะเป็นหน้าแปลนวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 98 mm หนา 9 mm
10. ขั้วกราวด์หรือแผ่นฐานรองชิ้นงาน มีลักษณะเป็นแท่นสแตนเลสวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm หนา 9 mm
11. เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส ยี่ห้อ nitto 0.5-6 l/h (ลิตรต่อชั่วโมง)
12. ถังแก๊ส Ar และ C_2H_2
13. แหล่งจ่ายความถี่คลื่นวิทยุ (RF power supply) จ่ายความถี่ได้ที่ 80-800 kHz กระแสไฟฟ้าขาเข้า (current input) อยู่ที่ 0-5 A และแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (voltage input) อยู่ที่ 0-50 V
14. เทปลอน มีสีขาว ทึบแสง เนื้อแน่นและละเอียด จัดเป็นวัสดุประเภทพลาสติก มีคุณสมบัติความทนทานต่อการกัด ด่าง และความร้อนได้ดี

3.1.1 การติดตั้งระบบสุญญากาศ [17]

ในการเคลื่อนฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนลงบนโพลอนจะต้องเคลือบภายใต้ความดันต่ำหรือภายในระบบสุญญากาศ เพื่อลดสิ่งเจือปนที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการเคลือบ ซึ่งการติดตั้งระบบสุญญากาศมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ คือ ห้องสุญญากาศ (vacuum chamber) ที่ทำจากอะคริลิก และใช้ปั๊มโรตารีที่มีความสามารถในการดูดอากาศออกจากระบบ ทำให้ระบบมีความดันต่ำ มีประสิทธิภาพในการดูดอากาศสูงสุดที่ 5×10^{-2} มิลลิบาร์ การประกอบระบบจะเริ่มจากสวมโอริงเข้ากับร่องโอริง จากนั้นวางท่ออะคริลิกดังกล่าวลงบนฐานด้านล่าง เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้จึงเริ่มประกอบฝาบน โดยเริ่มจากสวมโอริงเข้ากับร่องโอริงฝาบนจากนั้นประกอบฝาบนเข้ากับท่ออะคริลิก เมื่อประกอบส่วนที่เป็นฝาบนและฐานล่างเข้าด้วยกันก็จะได้ระบบสุญญากาศ ตามภาพที่ 3.3

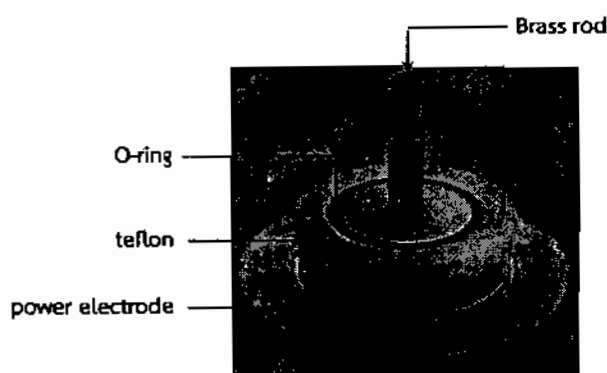


ภาพที่ 3.3 ระบบสุญญากาศที่ติดตั้งเสร็จแล้ว

3.1.2 รูปแบบของขั้วไฟฟ้า

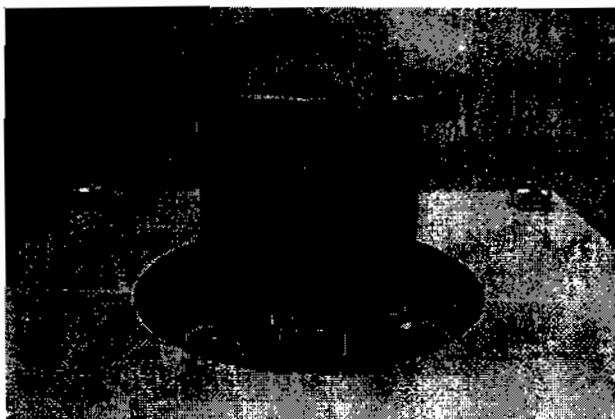
การออกแบบระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นให้แก๊สแตกตัวนั้น ประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้

1. ขั้วบนหรือขั้วกำลัง เป็นขั้วที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ มีลักษณะเป็นหน้าแปลนวงกลม โดยที่แกนทองเหลืองจะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ มีโอริงที่ช่วยป้องกันการรั่วของอากาศ และมีฉนวนเทฟลอนหุ้มขั้วกำลังเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดพลาสมาในบริเวณขั้วกำลังที่เราไม่ต้องการ เพราะถ้าหากมีพลาสมาเกิดขึ้นในบริเวณอื่นๆ ไกลออกไปจากแผ่นฐาน จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์และยังอาจทำให้เกิดการสปัตเตอร์เอาอนุภาคอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกมาด้วย แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ภาพถ่ายส่วนประกอบของขั้วกำลัง

2. แท่นวางชิ้นงาน ถูกต่ออยู่กับกราวด์ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์จึงเปรียบเสมือนเป็นขั้วกราวด์ แท่นวางชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นสแตนเลสกลม แสดงดังภาพภาพที่ 3.5

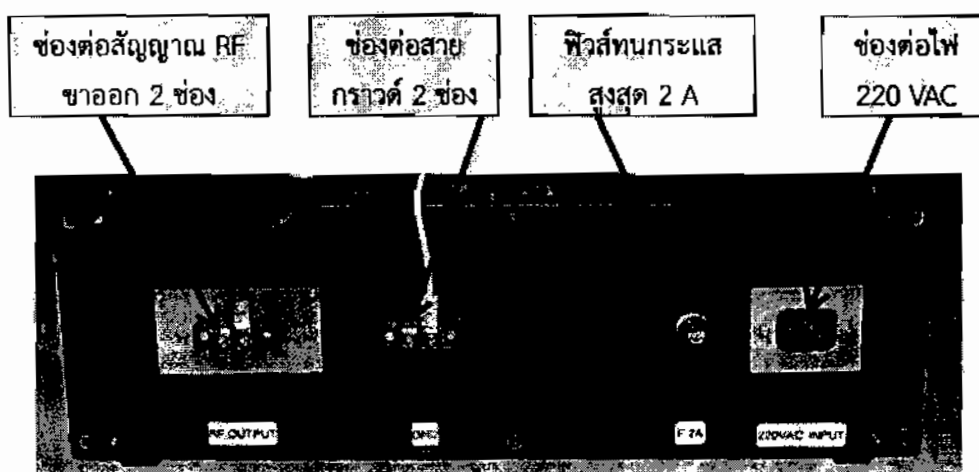


ภาพที่ 3.5 ภาพถ่ายขั้วกราวด์ซึ่งถูกใช้เป็นแท่นวางชิ้นงาน

3.1.3 แหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุแบบเลือกความถี่ได้ (adjustable RF frequency) ในช่วง 80-800 kHz กำลังไฟสูงสุด 300 W ทำการกระตุ้นแก๊สที่มีความดันต่ำให้เกิดการแตกตัวเป็นพลาสมา โดยแหล่งจ่ายไฟชุดนี้ได้รับการสนับสนุนทางด้านค่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างจากศูนย์วิจัย นาโนเทคโนโลยีบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และได้รับการช่วยเหลือทางด้านการออกแบบและติดตั้งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หมดคอเล็บ หนีสอน อาจารย์สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ และนายเฉลิม เต๊ะสนู นักวิทยาศาสตร์ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ภายในวงจรแสดงดังภาพที่ 3.8 ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ [18] คือ ส่วนที่ 1 ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า (power control) และ ส่วนที่ 2 คือ ชุดควบคุมความถี่ (frequency control) ซึ่งจ่ายไฟเข้าระบบ 220 VAC ควบคุมกระแสไหลเข้าวงจรไม่เกิน 2 A วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า จากไฟเข้า 220 VAC แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกแปลงลง (step-down) ให้เหลือ 48 VAC จากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกระแสตรงโดยวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (bridge rectifier) เพื่อเลี้ยงวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า หลังจากนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้า 48 VDC จ่ายไฟไปยังหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์ที่มีความสามารถเพิ่ม (step-up) แรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นได้ในระดับหลายร้อยโวลต์ และจะถูกจ่ายเข้าไป Power MOSFET ที่ทำหน้าที่เป็น สวิทช์ (switching) โดยพัลลวมจะทำหน้าที่ระบายความร้อนจากการทำงานของ Power MOSFET ในวงจรควบคุมความถี่แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกแปลงลง (step-down) ให้เหลือเพียง 9 VAC และเปลี่ยนให้เป็นกระแสตรงด้วยบริดจ์ไดโอด วงจรนี้ค่อนข้างที่จะใช้ไฟเลี้ยงวงจรน้อย เพราะว่าตัวควบคุมความถี่ คือไอซี (IC) ที่อยู่ในวงจร (frequency) ที่มีความสามารถรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้เพียง 12 V คุณสมบัติของไอซีตัวนี้ คือสามารถให้ความถี่ได้ในช่วง 80-800 kHz โดยจะถูกจ่ายเข้าไปยัง Power MOSFET เช่นเดียวกันกับวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า

สำหรับการใช้งาน คือ ต่อสายไฟแบบทนแรงดันได้สูงสุด 1000 V และทนกระแสได้สูงสุด 2 A เข้าทางด้านหลังของแหล่งจ่ายไฟ ที่ช่องต่อสัญญาณ RF ช่องใดช่องหนึ่ง และต่อสายกราวด์ที่ช่องต่อสายกราวด์และเชื่อมสายกราวด์เข้ากับขั้วกราวด์ของระบบ RF-PECVD จากนั้นใช้สายไฟ AC 220 V เชื่อมต่อที่ช่องทางด้านขวามือสุดเข้ากับไฟของอาคาร แสดงดังภาพที่ 3.6

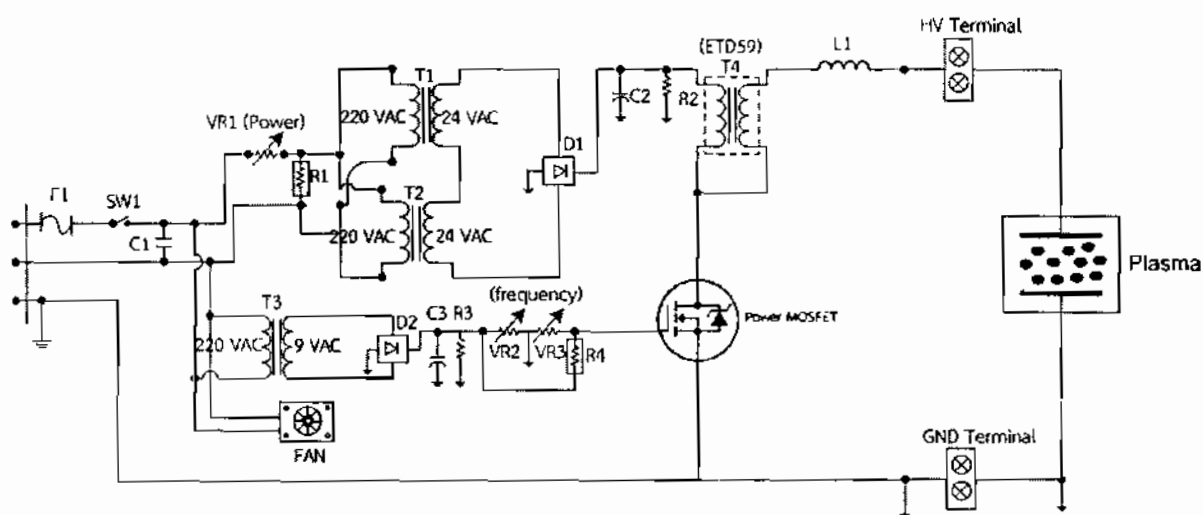


ภาพที่ 3.6 ภาพถ่ายด้านหลังของแหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ

ทางด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟ แสดงดังภาพที่ 3.7 มีจอแสดงผลแบบอนาล็อก 2 จอ โดยจอแรกทางด้านซ้ายมือสุดแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านหม้อแปลงลง (step-down transformer) จาก 220 VAC เหลือ 24 VAC โดยหม้อแปลงดังกล่าวมี 2 ตัว ต่อขนานกัน และจอที่สองแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากหม้อแปลงทั้งสองดังกล่าว เราสามารถปรับความถี่ของสัญญาณที่ออกมาแบบหยาบ และสามารถปรับความถี่ของสัญญาณที่ออกมาอย่างละเอียด โดยการปรับค่าความถี่ด้วยการหมุนปุ่มแบบตามเข็มนาฬิกา และเราสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตโดยการปรับค่าความถี่ผ่านปุ่มทางด้านขวามือสุด แสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 ภาพถ่ายด้านหน้าของแหล่งจ่ายไฟความถี่วิทยุ



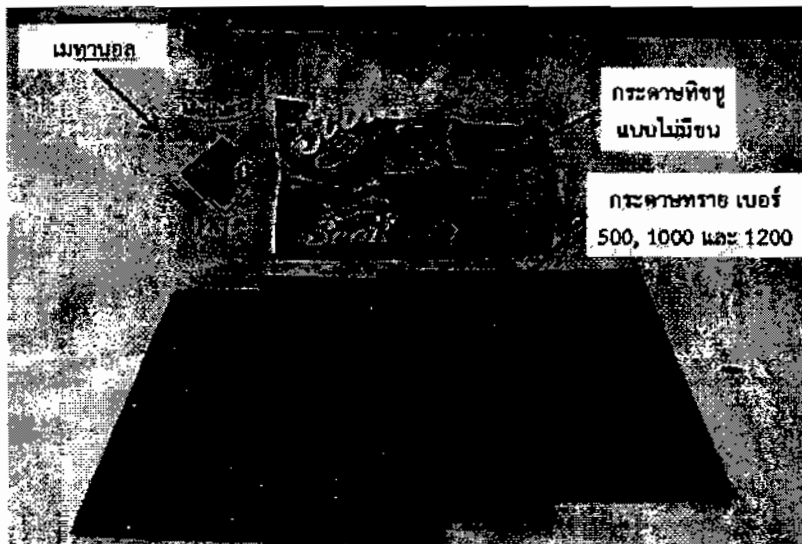
ภาพที่ 3.8 โค้ดแกรมของวงจรแหล่งจ่ายไฟในย่านความถี่วิทยุ [18]

3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

ก่อนทำงานการทดสอบเคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนลงบนด้ายในลอนนั้น เราจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดระบบก่อนที่จะทำการเคลือบ ดังนี้

3.2.1 การทำความสะอาดระบบ

ในการทำการทดลองและการทำความสะอาดทุกครั้งต้องใส่ถุงมือเพื่อป้องกันไขมันจากมือเราไปติดกับชิ้นงานของเรา ในการทำความสะอาดเราจะใช้กระดาษทรายแบบละเอียดขัด เสร็จแล้วจึงใช้ทิชชูแบบไม่มีขนและเมทานอลในการเช็ดทำความสะอาดวัสดุที่เป็นเป่ากับแผ่นฐาน แต่แอมเบอร์ที่เป็นอะคริลิกให้ใช้ทิชชูแบบไม่มีขนเช็ดธรรมดา ถ้าอะคริลิกสกปรกมากก็ให้น้ำไปล้างด้วยน้ำยาล้างไขมัน (น้ำยาล้างจาน) อุปกรณ์ในการทำความสะอาดดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 อุปกรณ์การทำความสะอาด

ก่อนทำการทดลองในแต่ละครั้งควรทำให้ระบบให้สะอาด หรือมีสิ่งเจือปนให้น้อยที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ใช้เมทานอลเช็ดทำความสะอาดอุปกรณ์ที่เป็นอะลูมิเนียม สเตนเลส และเทพลอน ส่วนอุปกรณ์ที่เป็นอะคริลิกให้ใช้ทิชชูเช็ดธรรมดา แต่ถ้าอะคริลิกสกปรกมากก็ให้น้ำไปล้างด้วยน้ำยาล้างจาน โดยใช้ฟองน้ำถูเบาๆ
2. ทุกครั้งหลังจากทดลองเสร็จ ใช้กระดาษทรายอย่างละเอียดขัดฟิล์มที่ติดบนชิ้นงานและแคโทด แล้วเช็ดทำความสะอาดด้วยเมทานอล ส่วนอุปกรณ์ชิ้นอื่นให้ทำความสะอาดโดยการเช็ดด้วยเมทานอลหรือล้างด้วยน้ำยาล้างจาน

3.2.2 การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดลอง

ในการทดลองปฏิกิริยาของชิ้นงานอยู่ 2 แบบ ด้วยกัน ดังนี้

1. อะคริลิก เป็นพลาสติกประเภทโพลิเมทิลเมทาไครเลต หรือพีเอ็มเอ็มเอ (poly methyl methacrylate: PMMA) มีลักษณะใสคล้ายแก้ว แต่มีความทนทานต่อการกระแทกสูงกว่าแก้ว และเป็นพลาสติกเนื้ออ่อนจึงเกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 130-140 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
2. สดับ มีลักษณะเป็นแท่งกลม ๆ ทำด้วยทองเหลือง เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm มีไว้สำหรับวางชิ้นงาน เพื่อเข้าถ่ายภาพกับเครื่อง SEM โดยการวางชิ้นงาน จะใช้วิธีการติดคาร์บอนเทปลงบนสดับ จากนั้นทำการติดชิ้นงานลงบนคาร์บอนเทป เพื่อยึดเกาะไม่ให้ตัวอย่างที่ชิ้นเล็ก ๆ หลุดออกง่าย

ในการเตรียมชิ้นงานเราแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันให้เหมาะสมสำหรับชิ้นงาน 2 แบบ ดังนี้

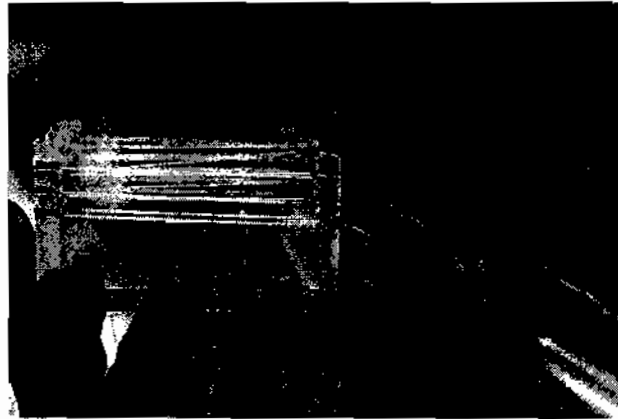
- การเตรียมชิ้นงานใสอะคริลิก

1. ก่อนอื่นเช็ดทำความสะอาดสิ่งเจือปนออกจากอะคริลิกด้วยเมทานอล
2. นำด้ายไนลอนมาพันรอบอะคริลิกที่เราเตรียมไว้ โดยใช้เทปใสยึดติด ดังภาพที่ 3.10

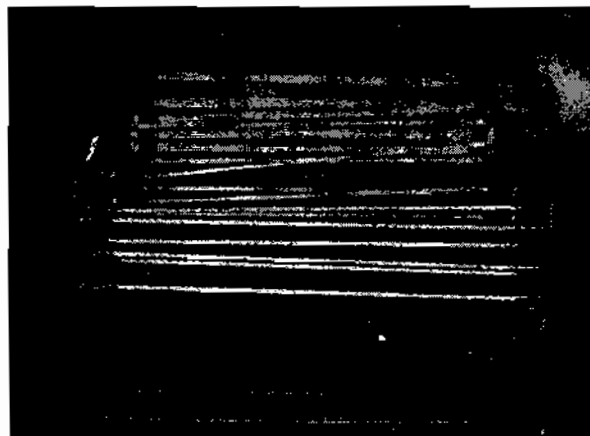


ภาพที่ 3.10 แสดงการพันด้ายไนลอนรอบอะคริลิก

3. ใช้ปากกาเน้นข้อความเน้นบริเวณที่ด้ายไนลอนไม่ได้เคลือบรอบด้านดังภาพที่ 3.11 เพื่อจะรู้ว่าบริเวณไหนเราจะใช้เป็นบริเวณในการนำชิ้นงานไปตรวจสอบ เมื่อเน้นเสร็จแล้วได้ดังภาพที่ 3.12



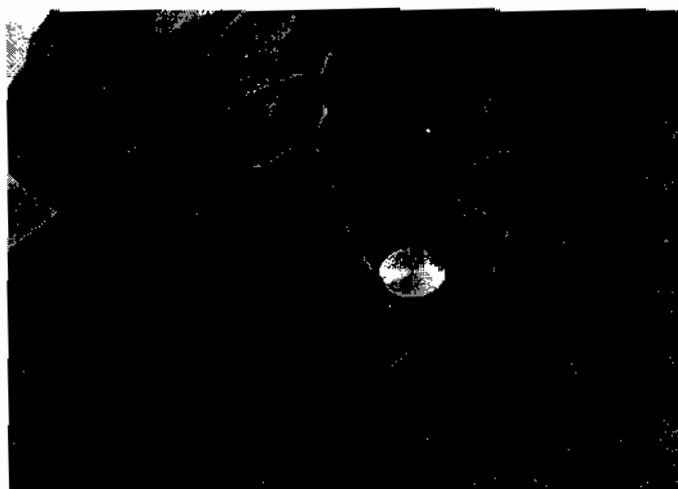
ภาพที่ 3.11 แสดงการใช้ปากกาเน้นข้อความเน้นบริเวณที่ด้ายในลอนไม่ได้เคลือบรอบด้าน



ภาพที่ 3.12 แสดงชิ้นงานที่ได้โดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายในลอน

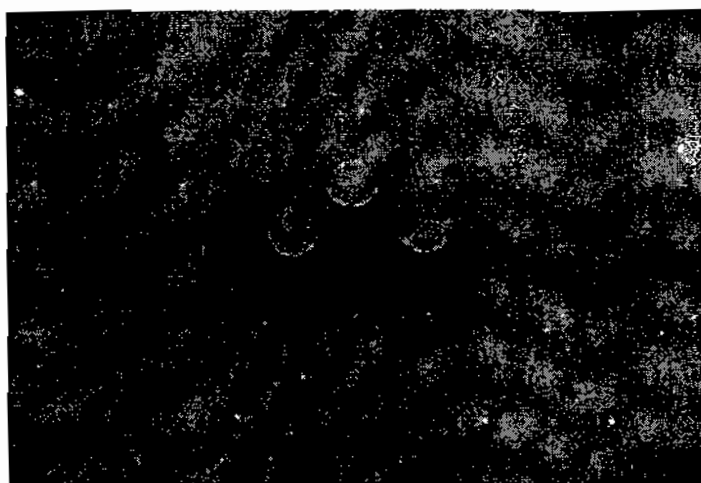
- การเตรียมชิ้นงานใส่สตั๊ป

1. ก่อนอื่นเช็ดทำความสะอาดสตั๊ปด้วยเมทานอล (ถ้าสตั๊ปสกปรกให้ใช้กระดาษทรายละเอียดขัดก่อนแล้วจึงใช้เมทานอลเช็ด) ดังภาพที่ 3.13



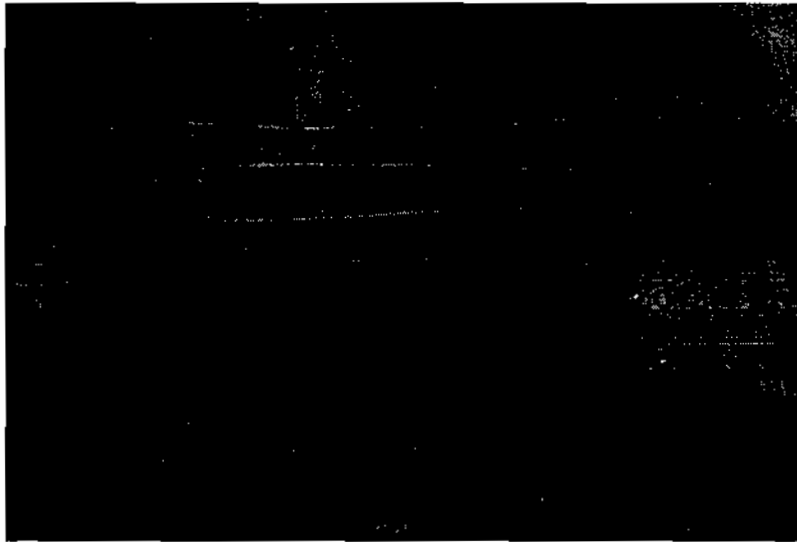
ภาพที่ 3.13 ขัดผิวหน้าของสตั๊ด้วยกระดาษทราย

2. นำเทปกาวคาร์บอนมาติดที่สตั๊ ดังภาพที่ 3.14 เพื่อที่จะนำด้ายไนลอนมาติดทับลงที่สตั๊อีกที เหตุผลที่ต้องใช้เทปกาวคาร์บอน เพราะสามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งจำเป็นต่อการเคลือบทองลงบนชิ้นงาน



ภาพที่ 3.14 สตั๊ภายหลังการติดด้วยเทปกาวคาร์บอน

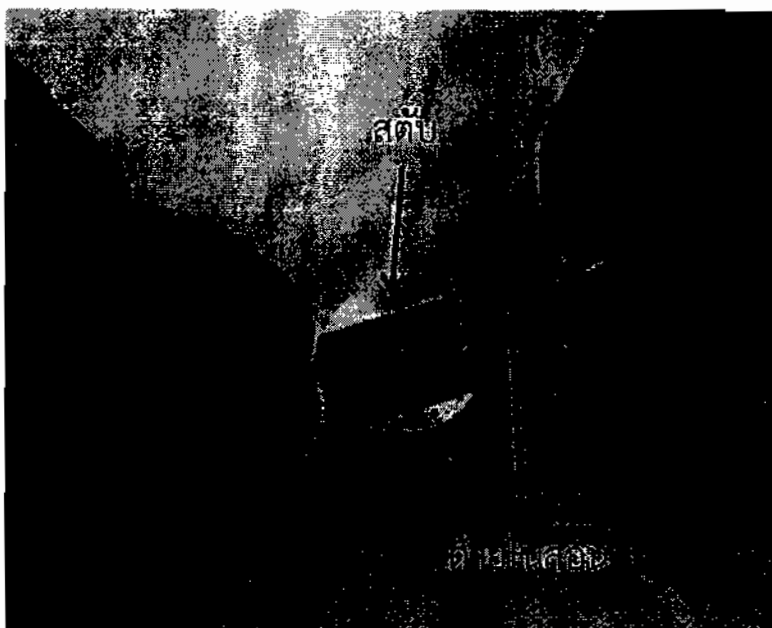
3. ตัดด้ายในลอนความยาวประมาณ 10 เซนติเมตรดังภาพที่ 3.15 แล้วหมุนด้ายในลอนให้แตกเกลียวดังภาพที่ 3.16 เพื่อจะติดลงบนสตัปได้เรียบและง่ายขึ้นดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.15 ด้ายในลอนที่ถูกตัดให้มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.16 แสดงการหมุนด้ายในลอนให้แตกเกลียว

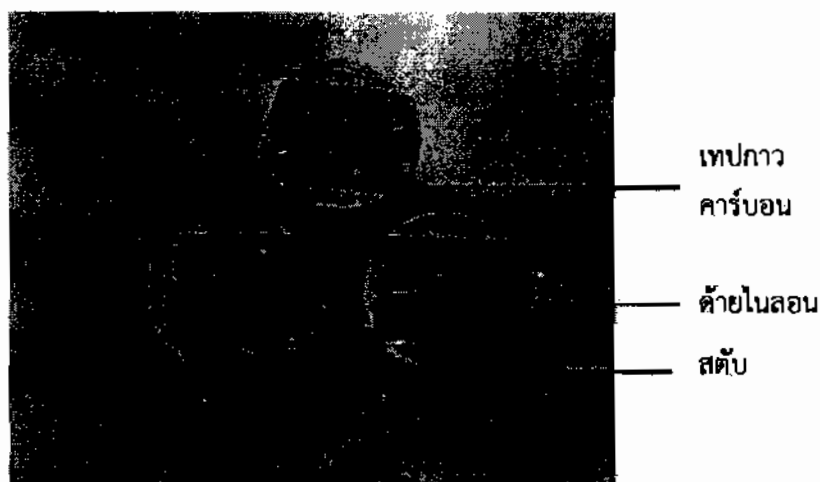


ภาพที่ 3.17 แสดงการตัดด้ายในลอนลงบนสตั๊

4. ตัดด้ายที่ล้นจากสตั๊ออกให้มีขนาดพอดีกับสตั๊ดังภาพที่ 3.18 เพื่อเป็นการสะดวกเวลานำชิ้นงานไปตรวจสอบ เมื่อตัดเสร็จแล้วจะได้ชิ้นงานดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.18 แสดงการตัดด้ายที่เกินจากสตั๊ออกให้มีขนาดพอดีกับสตั๊



ภาพที่ 3.19 แสดงชิ้นงานที่ได้ของการใช้สตั๊ปเป็นฐานรอง

3.3 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์ม

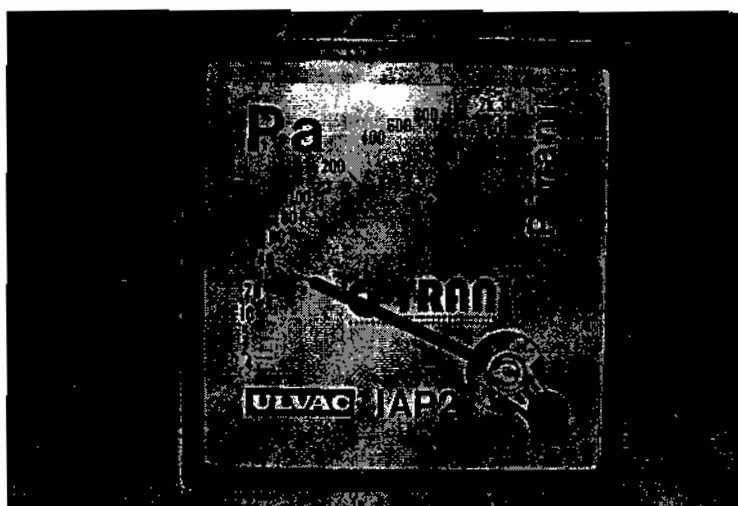
ในการทดลองเราแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันให้เหมาะสมสำหรับชิ้นงาน 2 แบบ ดังนี้

3.3.1 การทดลองสำหรับชิ้นงานที่ใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดด้ายโนลอน

1. นำชิ้นงานที่เตรียมไว้วางลงบนแผ่นฐาน จากนั้นปิดฝา 챔เบอร์ แล้วปิดวาล์วเพื่อไม่ให้แก๊สเข้าไปใน 챔เบอร์ ก่อนที่จะดูดแก๊สที่ไม่ต้องการออกจาก 챔เบอร์
2. เปิดปั๊มโรตารีเพื่อดูดแก๊สที่ไม่ต้องการออกจาก 챔เบอร์ ดูที่ไจรวัดความดัน เมื่อความดันต่ำสุดของเครื่องที่สามารถทำได้ (ประมาณ 40 Pa)
3. ปลอ่ยแก๊สอาร์กอนและแก๊สอะเซทิลีนเข้าไปใน 챔เบอร์ โดยปรับอัตราส่วนของแก๊สเป็น 0.8:0.8 ดัง เมื่อปลอ่ยแก๊สทั้งสองเข้าไปในระบบแล้ว ความดันขณะทำงาน คือ 85 Pa
4. เปิดแหล่งจ่ายไฟ เพื่อปรับหากระแสไฟฟ้าเข้าและแรงดันไฟฟ้าเข้าที่เหมาะสม (ในการทดลองกระแสไฟฟ้าเข้าและแรงดันไฟฟ้าเข้าคือ ($I_{in} = 1 \text{ A}$, $V_{in} = 22 \text{ V}$) ดังภาพที่ 3.20
5. ทำการทดลองโดยจับเวลาตามเงื่อนไขการทดลอง 0.5 นาที
6. ปิดแหล่งจ่ายไฟ ปิดวาล์วแก๊สทั้งสอง ปิดปั๊มโรตารี ตามลำดับ
7. ถอดท่อพลาสติกออก เพื่อปลอ่ยแก๊สที่ใช้ในการทำทดลองออกจากระบบ จากนั้นนำชิ้นงานออกมา
8. นำอุปกรณ์มาทำความสะอาด ก่อนเริ่มการทดลองใหม่
9. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนเวลาจาก 0.5 นาที เป็น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 นาที

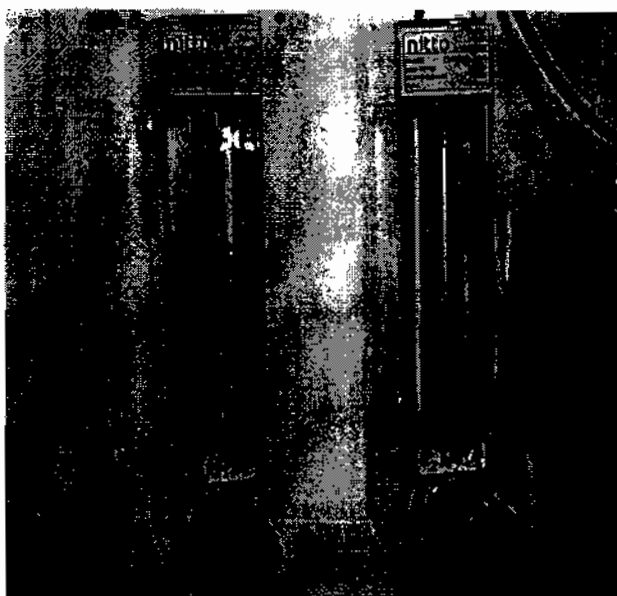
3.3.2 การทดลองสำหรับชิ้นงานที่ใช้สตัปเป็นฐานรองด้วยไนลอน

1. นำชิ้นงานที่เตรียมไว้วางลงบนแผ่นฐาน จากนั้นปิดฝา 챔เบอร์ แล้วปิดวาล์วเพื่อไม่ให้แก๊สเข้าไปใน 챔เบอร์ ก่อนที่จะดูดแก๊สที่ไม่ต้องการออกจาก 챔เบอร์
2. เปิดปั๊มโรตารีเพื่อดูดแก๊สที่ไม่จำเป็นออกจาก 챔เบอร์ ดูที่จอแสดงผลจากมาตรวัดความดัน เมื่อความดันต่ำสุดของเครื่องที่สามารถทำได้ (ประมาณ 40 Pa) ดังภาพที่ 3.20

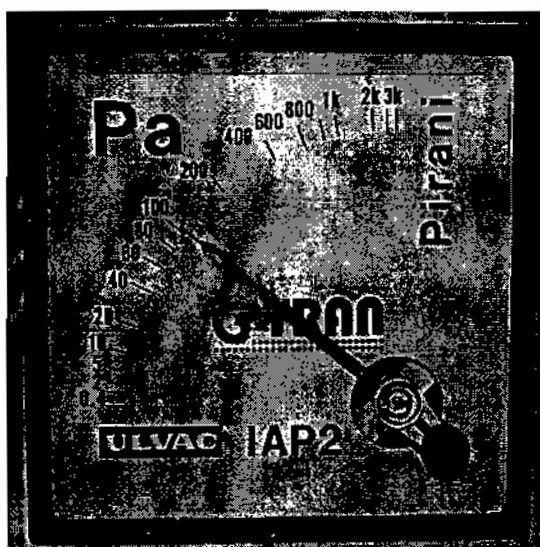


ภาพที่ 3.20 แสดงความดันก่อนการทดลอง

3. ปลอ่ยแก๊สอาร์กอนและแก๊สอะเซทิลีนเข้าไปใน 챔เบอร์ โดยปรับอัตราส่วนของแก๊สเป็น 4:1 ดังภาพที่ 3.21 เมื่อปลอ่ยแก๊สทั้งสองเข้าไปในระบบแล้ว ความดันของระบบขณะทำงาน คือ 105 Pa ดังภาพที่ 3.22

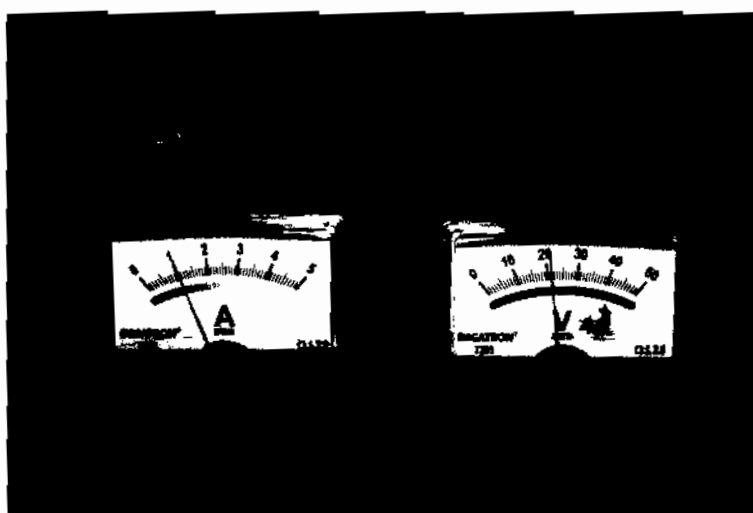


ภาพที่ 3.21 แสดงอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้



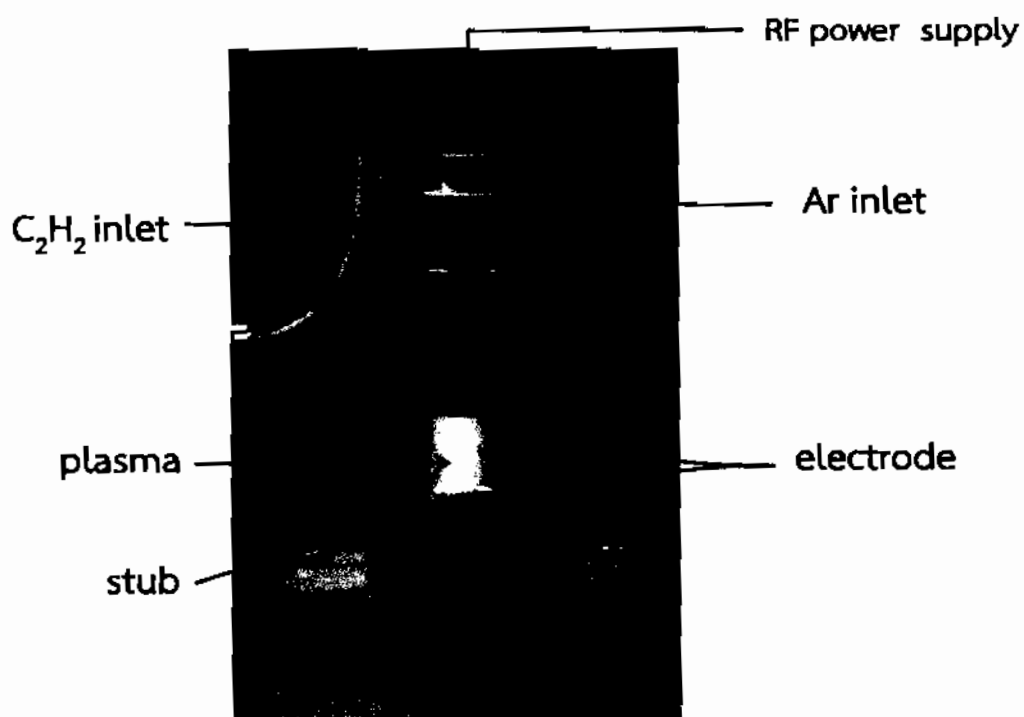
ภาพที่ 3.22 แสดงความดันขณะทำการทดสอบ

4. เปิดแหล่งจ่ายไฟเพื่อปรับหากระแสไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่เหมาะสม (ในการทดลองกระแสไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาเข้าคือ ($I_n = 1 \text{ A}$, $V_n = 21 \text{ V}$) ดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 แสดงกระแสไฟฟ้าขาเข้าและแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ใช้ในการทดลอง

5. ทำการทดลองโดยจับเวลาตามเงื่อนไขการทดลอง 0.5 นาที ซึ่งมีภาพแสดงระบบขณะทำงานดังภาพที่ 3.24

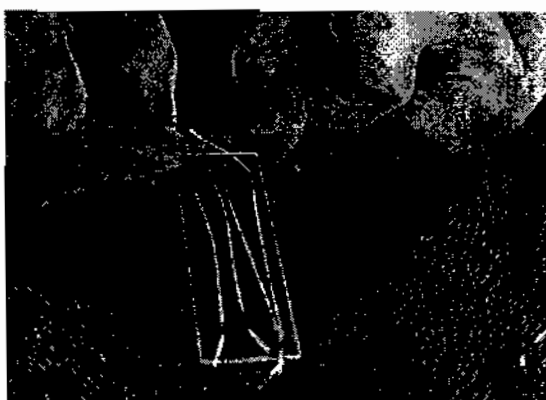


ภาพที่ 3.24 แสดงระบบขณะทำการเคลือบ

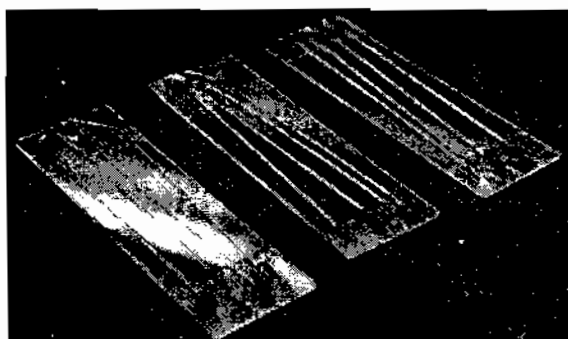
6. ปิดแหล่งจ่ายไฟ ปิดวาล์วแก๊สทั้งสอง ปิดปั๊มโรตารี ตามลำดับ
7. ถอดท่อพลาสติกออก เพื่อปล่อยแก๊สที่ใช้ในการทดลองออกจากระบบ
8. จากนั้นนำชิ้นงานออกมา
9. นำอุปกรณ์มาทำความสะอาด ก่อนเริ่มการทดลองใหม่
10. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนเวลาจาก 0.5 นาที เป็น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 นาที

3.3.3 การเก็บชิ้นงาน

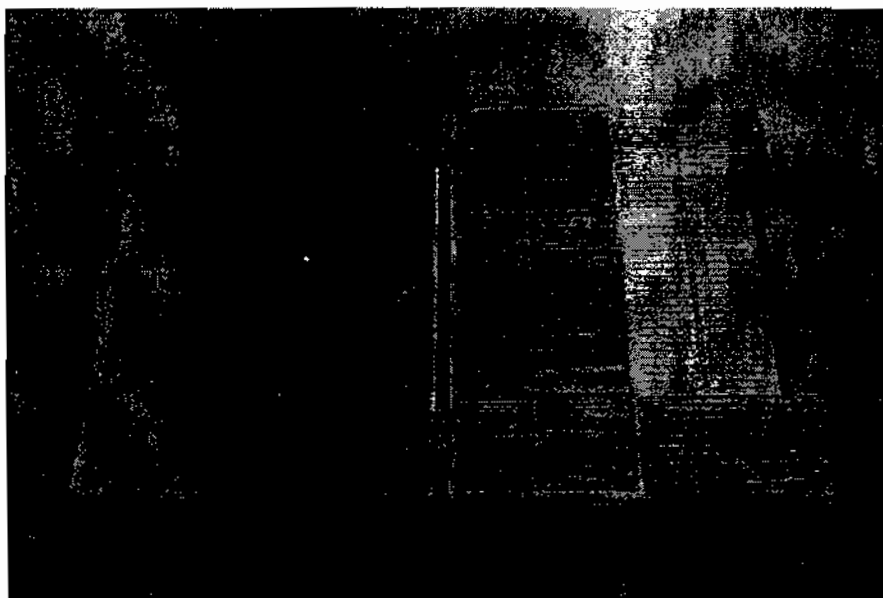
- สำหรับอะคริลิก เริ่มต้นด้วยการแกะเทปใสออกจากอะคริลิก จากนั้นให้ตัดด้วยโนลอนเป็นโดยมีความยาวประมาณกระจกสไลด์หรือยาวกว่าก็ได้ แล้วนำมาวางบนกระจกสไลด์ เสร็จแล้วจึงใช้เทปใสติดขอบด้านกว้างของกระจกดังภาพที่ 3.25 จากนั้นใช้กรรไกรตัดส่วนเกินออกจากกระจกสไลด์ (ตัดด้วยโนลอนบริเวณที่เราเน้นด้วยปากกาเน้นข้อความ) เมื่อได้ชิ้นงานดังภาพที่ 3.26 เราจะนำชิ้นงานที่ได้เก็บในกล่องสำหรับวางกระจกสไลด์ดังภาพที่ 3.27



ภาพที่ 3.25 แสดงการตัดด้วยโนลอนบนกระจกสไลด์

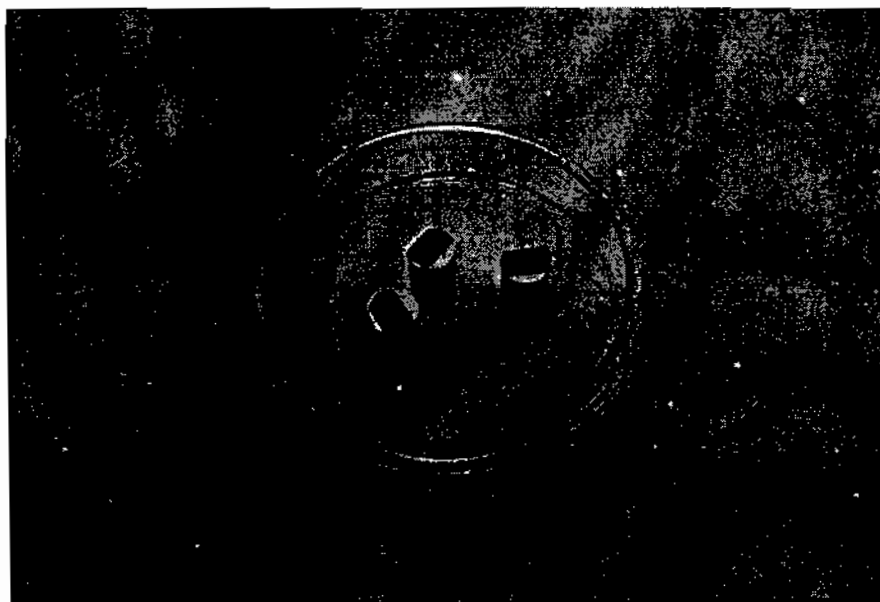


ภาพที่ 3.26 ชิ้นงานที่ได้จากการเคลือบโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้วย



ภาพที่ 3.27 การเก็บชิ้นงานในกล่องเก็บชิ้นงานที่เป็นกระจกสไลด์

- สำหรับสตั๊ป หลังจากได้ชิ้นงานจากการทดลองเก็บใส่กล่องไว้ ดังภาพที่ 3.28



ภาพที่ 3.28 แสดงการเก็บชิ้นงานที่เป็นสตั๊ป

3.3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณลักษณะของฟิล์ม

1. ศึกษาลักษณะทางจุลภาพของพื้นผิวของฟิล์มจากภาพถ่าย SEM
2. ศึกษาองค์ประกอบของธาตุที่พื้นผิวของฟิล์มด้วยเทคนิค EDX
3. ศึกษาความไม่ชอบน้ำของเส้นใยในลอนจากผลการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ



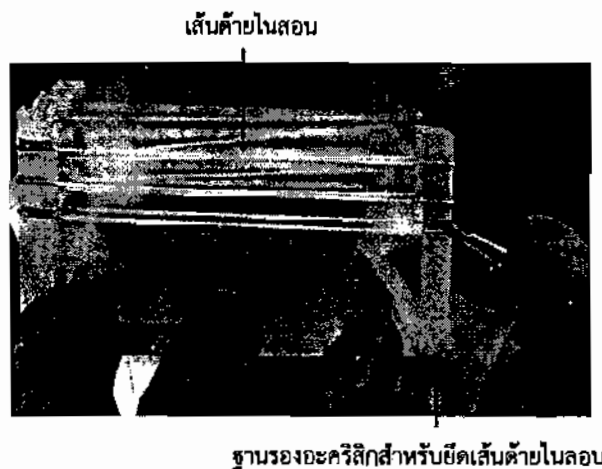
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของด้ายในลอนหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนในระบบสุญญากาศ โดยใช้เทคนิค RF-PECVD ได้ทำการแยกผลการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายขณะทำการเคลือบ และตอนที่ 2 ใช้สตัปเป็นแผ่นฐานยึดเส้นด้ายขณะทำการเคลือบ ผลการทดลองทั้ง 2 ตอนมีดังนี้

4.1 ตอนที่ 1 เมื่อใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายขณะทำการเคลือบ

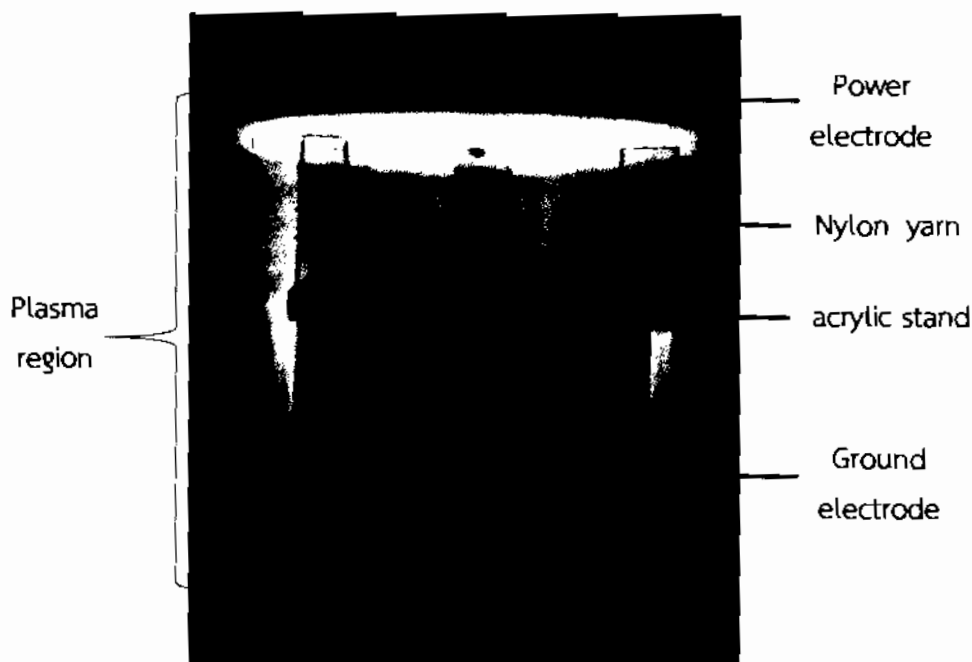
โดยทั่วไปแล้วการเคลือบชิ้นงานโดยใช้ระบบ RF-PECVD จะเป็นการเคลือบด้านเดียว ซึ่งหมายถึงชิ้นงานจะถูกเคลือบเพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น แต่ในการเคลือบผิวเส้นใยซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นเรียวยาวและกลมให้ทั่วถึง จะต้องทำให้เส้นใยลอยตัวอยู่ในพลาสมา ในโครงการนี้จึงได้ใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายในลอนขณะทำการเคลือบเพื่อให้การเคลือบเกิดได้ทั่วถึง ดังแสดงตามภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงการใช้อะคริลิกในการยึดด้ายในลอนก่อนนำไปเคลือบ

ขณะทำการเคลือบจะทำให้เส้นด้ายที่ลอยตัวอยู่จุ่มอยู่ในพลาสมา ทำให้เกิดขบวนการ “plasma immersion” ดังภาพที่ 4.2 เป็นภาพถ่ายแสดงการเกิดพลาสมาขณะเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายในลอนซึ่งติดอยู่กับฐานรองอะคริลิกและถูกวางไว้บนขั้วกรวดด้านล่าง ขณะที่ขั้วบนเป็นขั้วกำลัง โดยมีระยะห่างระหว่างขั้ว

เท่ากับ 7 เซนติเมตร ใช้แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีนในอัตราส่วน 0.8:0.8 (ตัวเลขแสดงในหน่วยลิตรต่อชั่วโมง, (ph) พบว่าลักษณะของพลาสมาที่เกิดขึ้นมีสีฟ้าอมเขียวกระจายตัวอยู่รอบๆ ฐานรองอะคริลิก



ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายแสดงการเกิดพลาสมาขณะเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายไนลอน เมื่อใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน

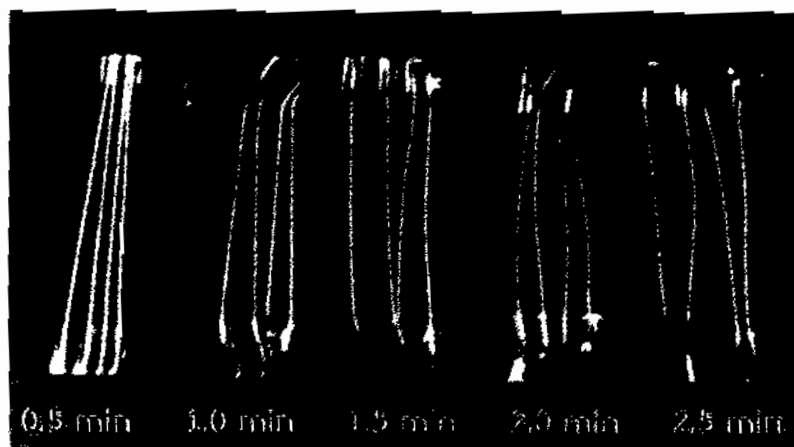
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยไนลอนก่อนและหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายไนลอน

ลักษณะของด้ายไนลอนก่อนการเคลือบฟิล์มคาร์บอนมีลักษณะเป็นสีขาว แสดงดังภาพที่ 4.3 เป็นภาพถ่ายของด้ายไนลอนก่อนการเคลือบฟิล์ม เมื่อเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายไนลอนที่ถูกเตรียมโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายไนลอน โดยการผสมระหว่างแก๊สอาร์กอนและอะเซทิลีนที่อัตราส่วนอัตราการใช้ 0.8:0.8 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันขณะทำงาน 85 Pa เมื่อใช้เวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 0.5 นาที 1.0 นาที 1.5 นาที 2.0 นาที และ 2.5 นาที พบว่าด้ายไนลอนมีสีเหลืองเข้มมากขึ้นตามเวลาการตกสะสมที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.4 เป็นภาพถ่ายหลังจากการเคลือบฟิล์มคาร์บอน โดยการนำเส้นด้ายไนลอนออกจากอะคริลิกมาติดติดกับกระจกสไลด์เพื่อง่ายต่อการจัดเก็บชิ้นงาน



ลักษณะของด้ายไนลอน
ซึ่งถูกม้วนอยู่รอบแกน
ก่อนการใช้งาน

ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายด้ายไนลอนก่อนการเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายไนลอน



ภาพที่ 4.4 ด้ายไนลอนภายหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายไนลอนที่เวลาในการตกสะสมแตกต่างกัน

4.1.2 ภาพถ่าย SEM ของผิวไนลอนที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน

เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะผิวของเส้นใยไนลอนก่อนและหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้พลาสมาของแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีนที่อัตราส่วนของอัตราไหล 0.8:0.8 ลิตรต่อชั่วโมง และใช้เวลาในการตกสะสมที่แตกต่างกัน จากภาพถ่ายของการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6460 LV ที่กำลังขยายที่แตกต่างกัน คือ 100 เท่า 500 เท่า และ 3,000 เท่า โดยภาพที่ 4.5 ก-จ

แสดงลักษณะผิวของเส้นใยในลอนที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าลักษณะผิวของเส้นใยในลอนประกอบไปด้วยเส้นใยเล็กๆ มีตรวมกันเป็นเกลียวเป็นเส้นที่ใหญ่ขึ้น แต่ไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างก่อนและภายหลังการเคลือบฟิล์มได้ ภาพที่ 4.6 ก-ฉ แสดงลักษณะผิวของเส้นใยในลอนที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าด้ายในลอนมีลักษณะเป็นเส้นเล็กๆ หลายเส้นเรียงกันอยู่ ซึ่งเห็นความแตกต่างของด้ายในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มเล็กน้อย คือ เห็นลักษณะเป็นจุดสีขาวบนด้ายในลอน เมื่อเวลาในการตกสะสมมากขึ้น จุดสีขาวก็เพิ่มมากขึ้นด้วย และ ภาพที่ 4.7 ก-ฉ แสดงลักษณะผิวของเส้นใยในลอนที่กำลังขยาย 3,000 เท่า พบว่าผิวของด้ายในลอนก่อนการเคลือบค่อนข้างเรียบ แต่ลักษณะผิวของด้ายในลอนภายหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน มีการตกสะสมของธาตุคาร์บอนที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด บางตำแหน่งอะตอมของคาร์บอนตกสะสมมาก บางตำแหน่งอะตอมของคาร์บอนตกสะสมน้อย เนื่องจากการเคลือบนั้นเป็นการเคลือบที่ผิวของด้ายในลอน ไม่ได้เคลือบภายในของด้ายในลอน และด้ายในลอนมีลักษณะมีตรวมกันเป็นเกลียว ดังนั้นบางบริเวณจึงไม่ได้ถูกเคลือบ ทำให้มีบริเวณการตกสะสมของธาตุคาร์บอนที่แตกต่างกัน ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 0.5 นาที 1.0 นาที 1.5 นาที 2.0 นาที และ 2.5 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้อะคริลิก เป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 100 เท่า



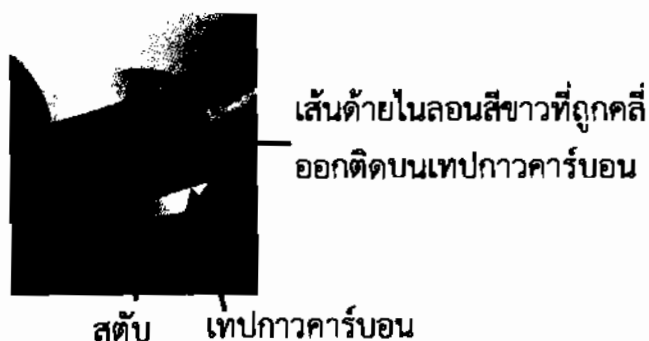
ภาพที่ 4.6 ลักษณะพื้นผิวของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้อะคริลิก เป็นแผ่นฐานที่กำลังขยาย 500 เท่า



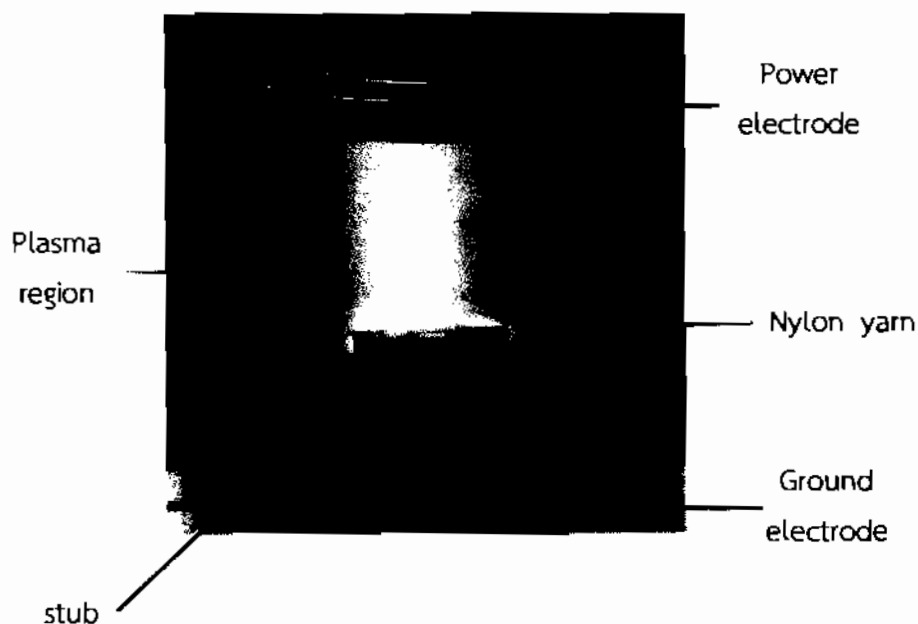
ภาพที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้อะคริลิกเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

4.2 ตอนที่ 2 เมื่อใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐานยึดเส้นด้ายขณะทำการเคลือบ

ในการทดลองตอนที่ 1 มีปัญหาในเรื่องของการถ่ายภาพ SEM เนื่องจากชิ้นงานเป็นใยสังเคราะห์ เวลากวาดลำอิเล็กตรอนหาบริเวณที่ต้องการถ่ายภาพนั้น ชิ้นงานจะเคลื่อนที่ ทำให้ยากต่อการถ่ายภาพ ดังนั้นในการทดลองตอนที่ 2 จึงได้เตรียมชิ้นงานโดยใช้สตั๊ปเป็นฐานรองและมีเทปกาวยคาร์บอนเป็นตัวช่วยยึดเส้นด้าย โดยคลี่ด้ายในลอนให้ติดกับสตั๊ปก่อนนำไปเคลือบ ตามภาพที่ 4.8 วิธีนี้ทำให้ด้ายในลอนติดกับสตั๊ปมากขึ้น ทำให้การตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM และ EDX ได้สะดวกขึ้น และภาพที่ 4.9 เป็นภาพถ่ายแสดงการเกิดพลาสมาขณะเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายในลอน โดยใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน



ภาพที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของด้ายในลอนสีขาวก่อนเคลือบที่ถูกติดบนเทปกาวยคาร์บอน



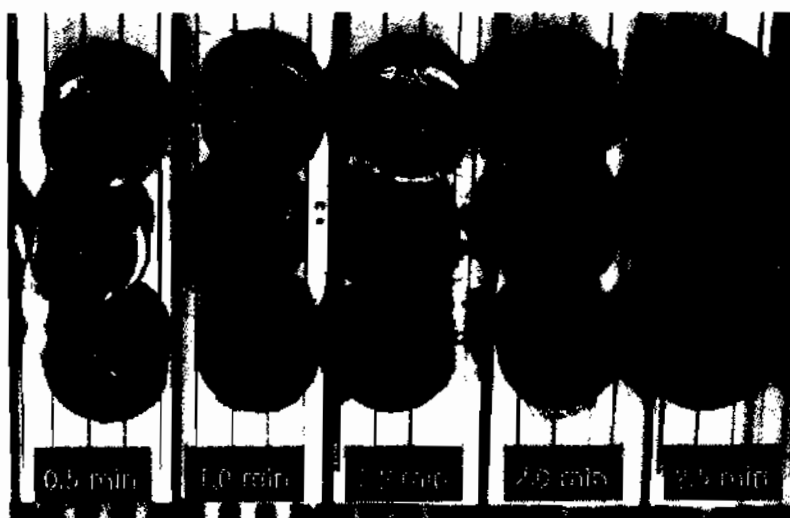
ภาพที่ 4.9 ภาพถ่ายแสดงการเกิดพลาสมาขณะเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายในลอน เมื่อใช้สตั๊ปเป็นแผ่นฐาน

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยไนลอนก่อนและหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนเมื่อใช้สลับเป็นแผ่นฐานยึดเส้นด้ายขณะทำการเคลือบ

ลักษณะของด้ายไนลอนก่อนการเคลือบฟิล์มคาร์บอนมีลักษณะเป็นสีขาว แสดงดังภาพที่ 4.10 เป็นภาพถ่ายของด้ายไนลอนก่อนการเคลือบฟิล์ม เมื่อเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนด้ายไนลอนที่ถูกเตรียมโดยใช้อะคริลิกเป็นตัวยึดเส้นด้ายไนลอน โดยการผสมระหว่างแก๊สอาร์กอนและอะเซทิลีนที่อัตราส่วนอัตราการใช้ 4:1 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันขณะทำงาน 105 Pa เมื่อใช้เวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 0.5 นาที 1.0 นาที 1.5 นาที 2.0 นาที และ 2.5 นาที พบว่าด้ายไนลอนมีสีเหลืองเข้มมากขึ้นตามเวลาการตกสะสมที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.11 เป็นภาพถ่ายหลังจากการเคลือบฟิล์มคาร์บอน



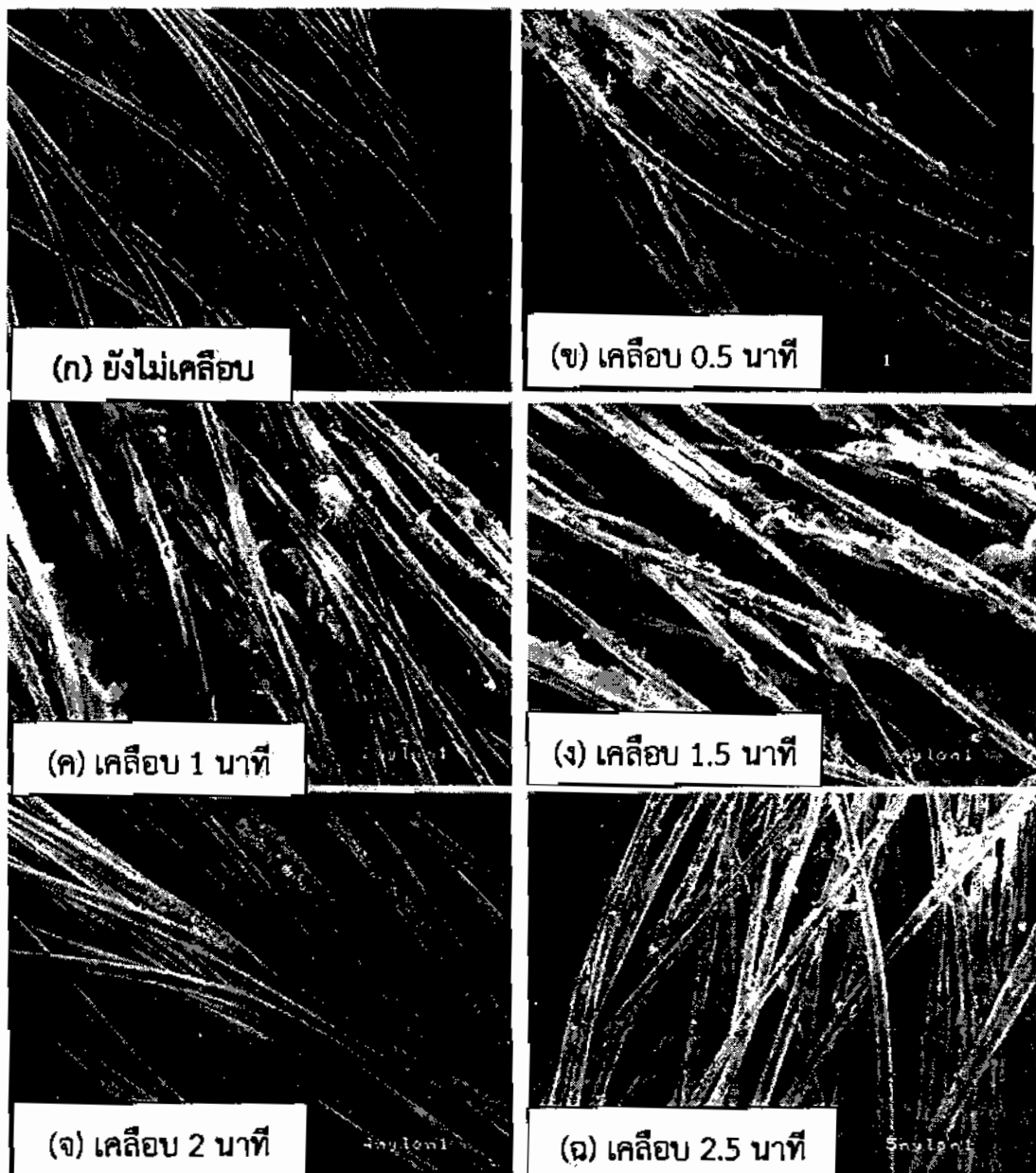
ภาพที่ 4.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของด้ายไนลอนก่อนการเคลือบฟิล์มซึ่งใช้สลับเป็นแผ่นฐาน



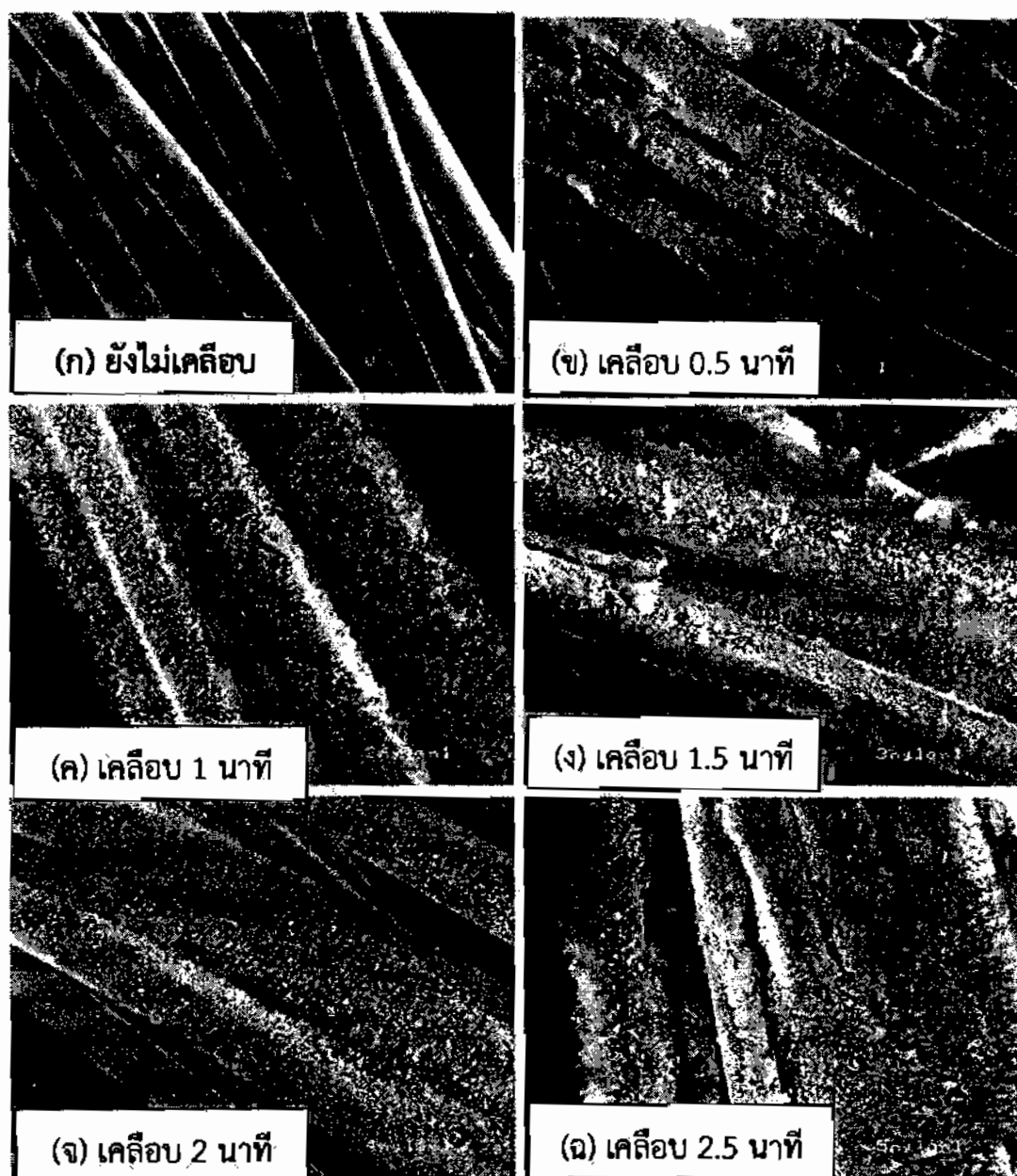
ภาพที่ 4.11 ด้ายไนลอนภายหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนโดยใช้สลับเป็นแผ่นฐานที่เวลาการตกสะสมแตกต่างกัน

4.2.2 ภาพถ่าย SEM ของผิวไนลอนที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้สลับเป็นแผ่นฐาน

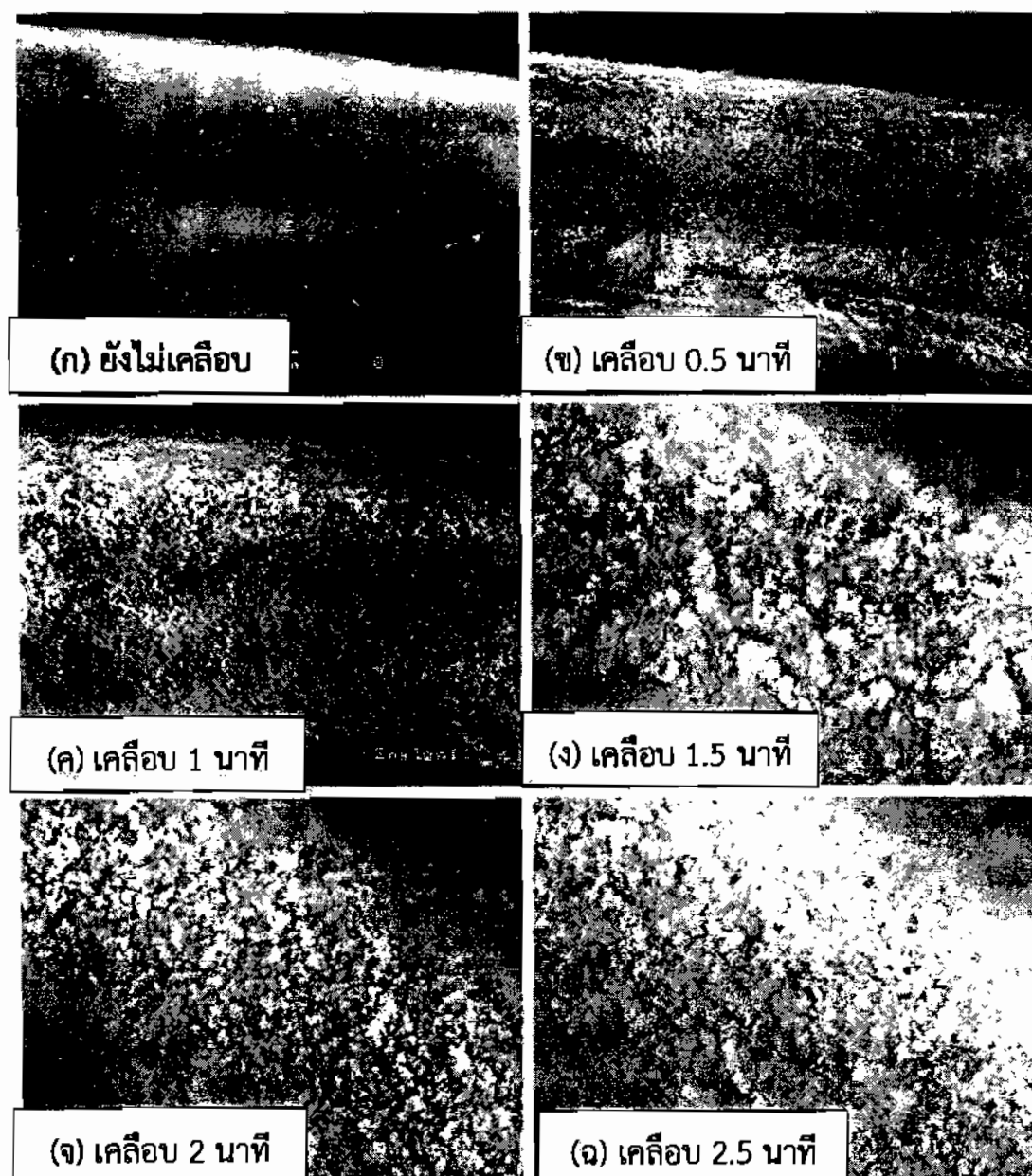
เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะผิวของเส้นใยไนลอนก่อนและหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้พลาสมาของแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีนที่อัตราส่วนของอัตราไหล 4:1 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันขณะทำงาน 105 Pa และใช้เวลาในการตกสะสมที่แตกต่างกัน จากภาพถ่ายของการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6460 LV ที่กำลังขยายที่แตกต่างกัน คือ 100 เท่า 500 เท่า และ 3,000 เท่า โดยภาพที่ 4.12 ก-จ แสดงลักษณะผิวของเส้นใยไนลอนที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าลักษณะผิวของเส้นใยไนลอนประกอบไปด้วยเส้นใยเล็กๆ หลายเส้น และเห็นความแตกต่างระหว่างก่อนและภายหลังการเคลือบ คือ ก่อนการเคลือบผิวของด้ายไนลอนเรียบเนียน แต่เมื่อเคลือบแล้วผิวของด้ายไนลอนมีความขรุขระ ภาพที่ 4.13 ก-จ แสดงลักษณะผิวของเส้นใยไนลอนที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าด้ายไนลอนมีลักษณะเป็นเส้นเล็กๆ หลายเส้นเรียงกันอยู่ ซึ่งเห็นความแตกต่างของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์ม คือ ก่อนการเคลือบผิวของไนลอนเรียบเนียน แต่เมื่อเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนแล้ว มีลักษณะของปุยสีขาวติดบนด้ายไนลอน เมื่อเวลาในการตกสะสมมากขึ้น ปุยสีขาวก็เพิ่มมากขึ้นด้วย และ ภาพที่ 4.14 ก-จ แสดงลักษณะผิวของเส้นใยไนลอนที่กำลังขยาย 3,000 เท่า พบว่าผิวของด้ายไนลอนก่อนการเคลือบค่อนข้างเรียบ แต่ลักษณะผิวของด้ายไนลอนภายหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน มีการตกสะสมของธาตุคาร์บอนที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 0.5 นาที 1.0 นาที 1.5 นาที 2.0 นาที และ 2.5 นาที ตามลำดับ และถ้าผิวของด้ายไนลอนมีการตกสะสมของธาตุคาร์บอนที่มากเกินไป อะตอมของคาร์บอนที่ผิวของด้ายไนลอนนั้นไม่แข็งแรงหลุดออกได้ง่าย ดังภาพที่ 4.12



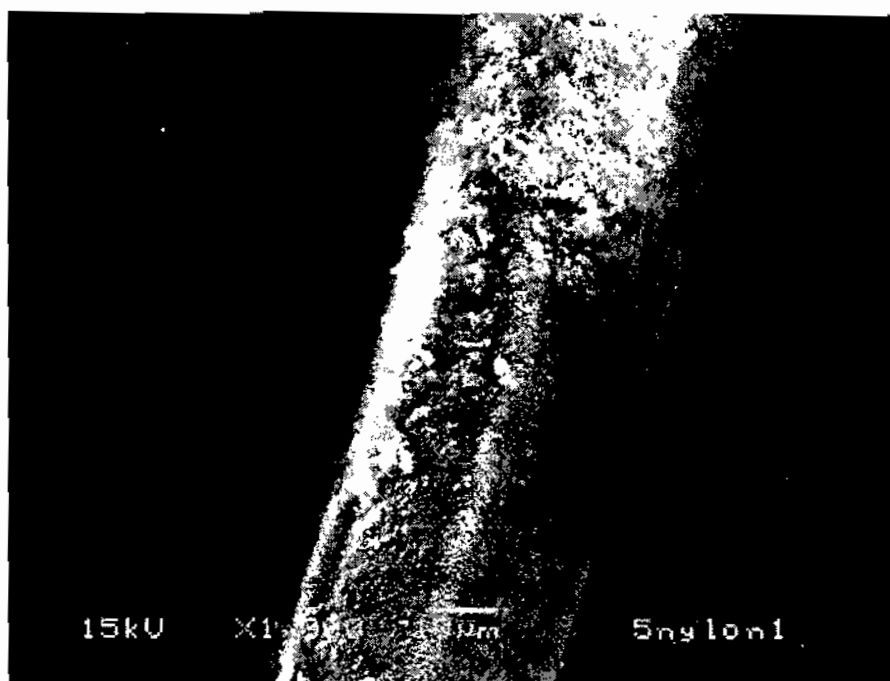
ภาพที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้สับเป็นแผ่นฐานที่กำลังขยาย 100 เท่า



ภาพที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของขั้วในลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้สลับเป็นแผ่นฐานที่กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 4.14 ลักษณะพื้นผิวของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้สตัปเป็นแผ่นฐาน ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



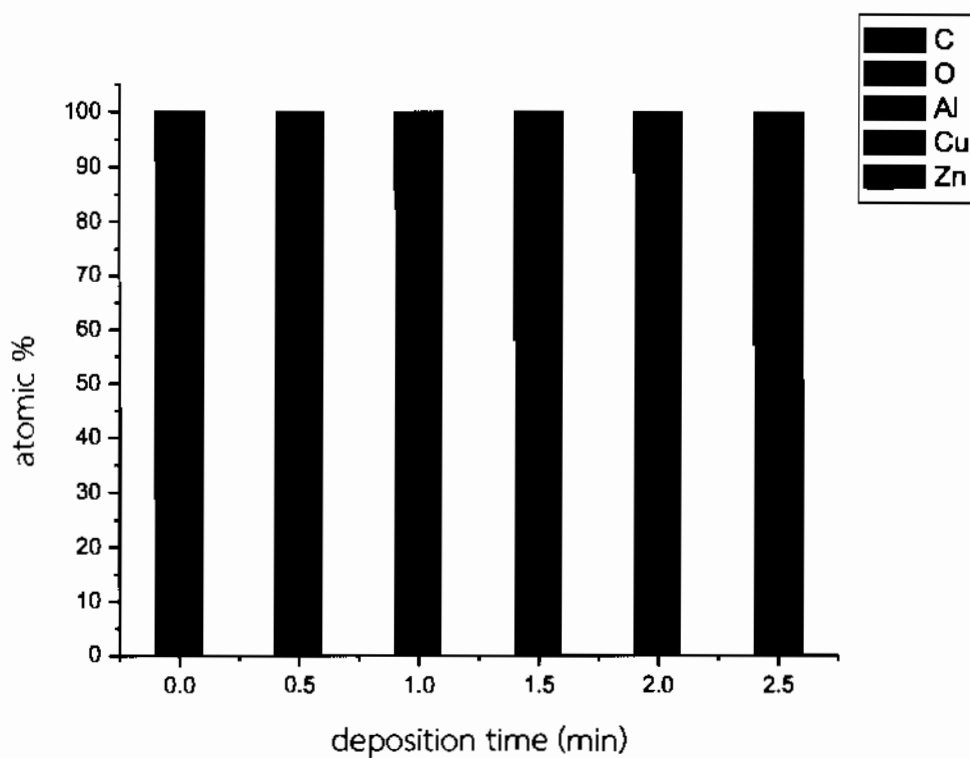
ภาพที่ 4.15 แสดงการหลุดลอกของฟิล์มคาร์บอนบนผิวของด้ายไนลอน เนื่องจากการตกตะกอนที่หนาเกินไป ที่เวลาในการตกตะกอน 2.5 นาที

4.2.3 องค์ประกอบอะตอมที่ผิวของเส้นใยไนลอนภายหลังการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน เมื่อใช้สลับเป็นแผ่นฐาน

ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุของด้ายไนลอนที่ยังไม่ผ่านการเคลือบฟิล์มและผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้พลาสมาของแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีนที่อัตราส่วนของอัตราไหล 4:1 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันขณะทำงาน 105 Pa และใช้เวลาในการตกตะกอนที่แตกต่างกัน คือ 0.5 นาที 1.0 นาที 1.5 นาที 2.0 นาที และ 2.5 นาที ซึ่งใช้เทคนิควิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (EDX) ยี่ห้อ OXFORD รุ่น INCAX-SIGHT พบว่าด้ายไนลอนที่ยังไม่เคลือบมีเปอร์เซ็นต์โดยอะตอมของคาร์บอนน้อยที่สุด และเมื่อด้ายไนลอนถูกเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างกัน พบว่าเปอร์เซ็นต์โดยอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้นลดลงสลับกันเนื่องจากเวลาที่เรทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์พลังงานของการกระจายตัวพลังงานของรังสีเอกซ์นั้น จะใช้การยิงอิเล็กตรอนไปที่ผิวของด้ายไนลอน ซึ่งการยิงอิเล็กตรอนที่มากไปนั้น ทำให้ผิวของด้ายไนลอนเสียหาย ที่เวลาในการเคลือบ 1 นาที มีเปอร์เซ็นต์โดยอะตอมของคาร์บอนมากที่สุด และผลที่ได้ก็มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากธาตุองค์ประกอบที่พบคือธาตุคาร์บอนแล้ว ยังพบธาตุชนิดอื่นด้วย เนื่องจากฟิล์มที่เตรียมได้มีบริสุทธิ์น้อย ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และดังภาพที่ 4.16 โดยข้อมูลของภาพที่ 4.16 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์โดยอะตอมเฉลี่ยของแต่ละธาตุที่ผิวของด้ายไนลอนที่ผ่านการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน

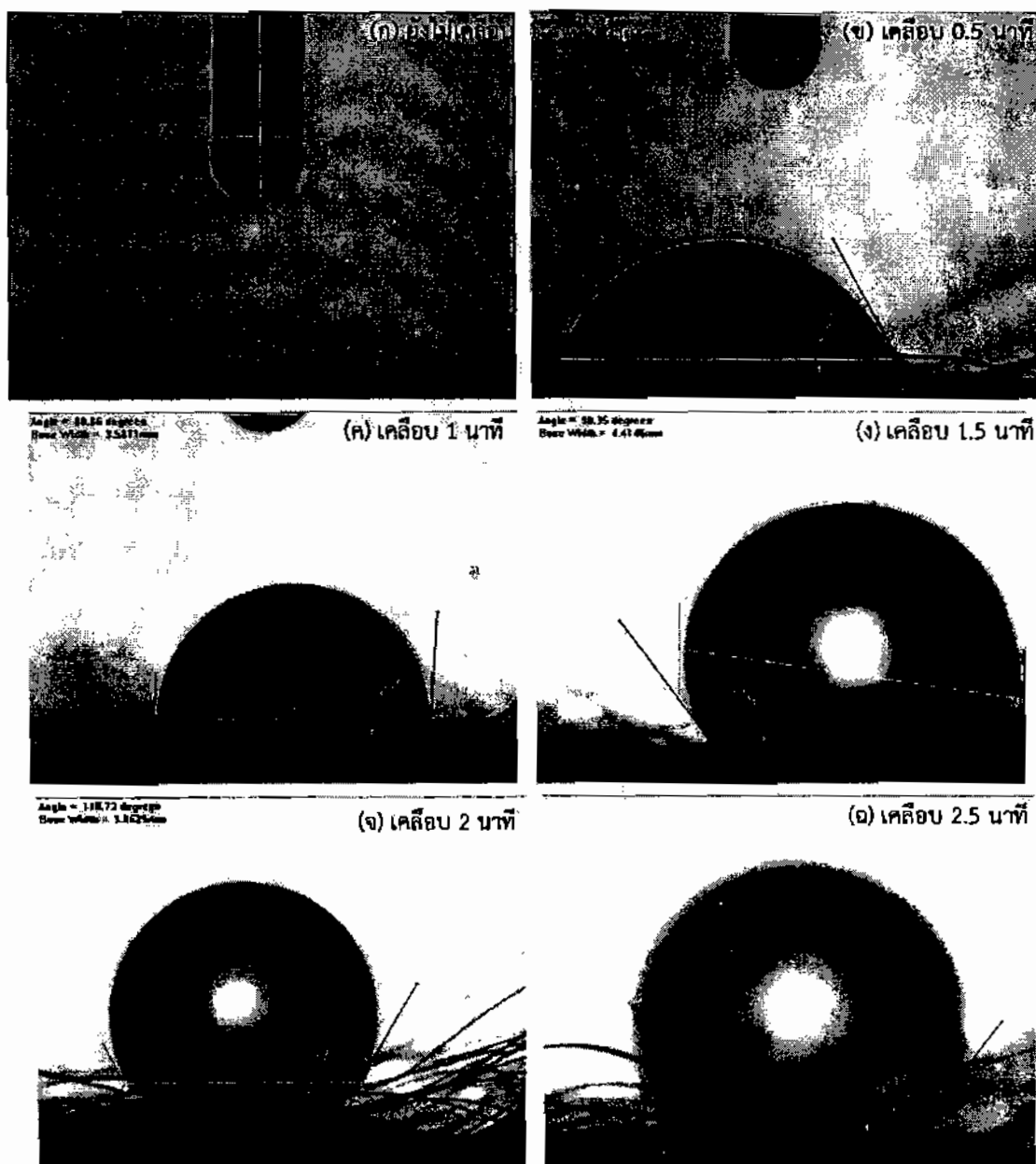
Deposition time (min)	atomic %				
	C	O	Al	Cu	Zn
0.0	76.08	23.46	0.00	0.45	0.00
0.5	81.64	18.36	0.00	0.00	0.00
1.0	82.30	17.36	0.06	0.29	0.00
1.5	81.41	17.60	0.48	0.42	0.09
2.0	79.90	19.78	0.00	0.32	0.00
2.5	80.44	19.26	0.09	0.22	0.00



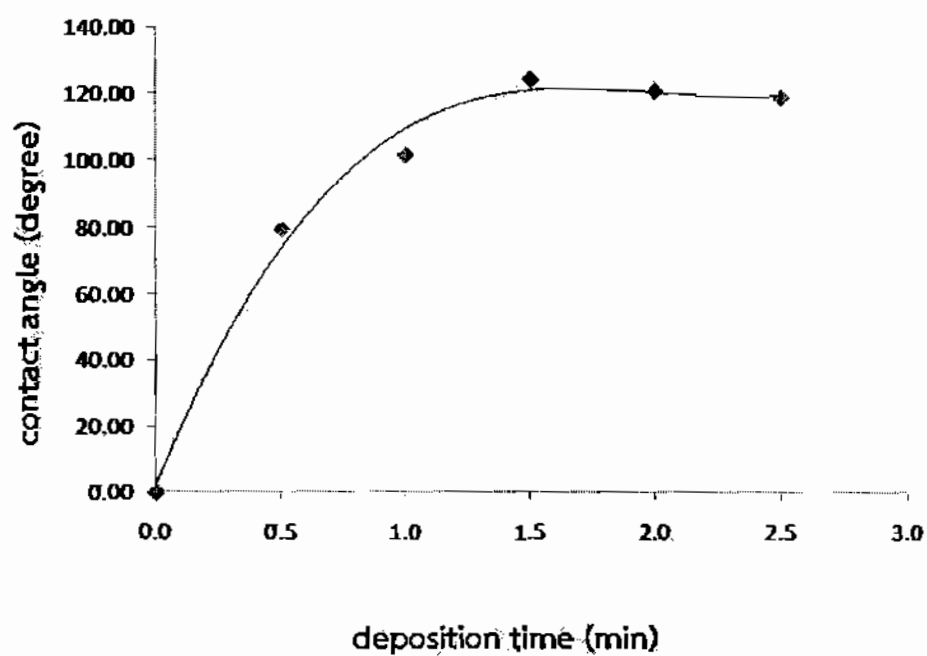
ภาพที่ 4.16 เปอร์เซนต์โดยอะตอมของธาตุที่ผิวของด้ายไนลอนที่ผ่านการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน

4.2.4 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของด้ายไนลอนที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่สัมผัสกับผิวเส้นใยไนลอนที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้พลาสมาของแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีนที่สัดส่วนอัตราไหล 4:1 (ตัวเลขแสดงในหน่วยลิตรต่อชั่วโมง) พบว่าค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่สัมผัสกับผิวของเส้นใยไนลอนที่ยังไม่ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนมีค่ามุมสัมผัสเท่ากับศูนย์องศา แสดงว่าผิวของเส้นใยไนลอนมีความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (super hydrophilic) แต่พื้นผิวของเส้นใยไนลอนที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอน พบว่าค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการตกสะสมที่มากขึ้น ดังภาพที่ 4.17 ก-จ ซึ่งแสดงค่ามุมสัมผัสของเส้นใยไนลอนที่เวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 0.5 นาที่ 1.0 นาที่ 1.5 นาที่ 2.0 นาที่ และ 2.5 นาที่ ตามลำดับ โดยข้อมูลของภาพที่ 4.17 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.2 ซึ่งผลของการวัดมุมสัมผัสนี้ได้นำไปพล็อตกราฟระหว่างเวลาที่ใช้ในการตกสะสม และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่สัมผัสกับผิวเส้นใยไนลอนที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน พบว่าค่ามุมสัมผัสมีค่ามากขึ้นตามเวลาการตกสะสมที่มากขึ้น แต่เมื่อถึงเวลาการตกสะสมมากกว่า 1.5 นาที่ ค่ามุมสัมผัสที่วัดได้เริ่มมีค่าคงที่ ประมาณ 121 องศา ดังภาพที่ 4.18 โดยสามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าเวลาในการตกสะสมมีค่ามากเกินไปจะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ แต่อาจทำให้เกิดการหลุดลอกของชั้นฟิล์ม ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อความสม่ำเสมอและคุณภาพของเส้นใยไนลอน ซึ่งค่ามุมสัมผัสที่นำมาเป็นผลการทดลองนั้นได้ใช้โปรแกรม solid work ในการเขียนเส้นสัมผัสวงกลมและเส้นในแนวระนาบ $\times$ (ระนาบของพื้นผิวชิ้นงาน) เพื่อหามุมสัมผัส ซึ่งใช้โปรแกรมนี้สร้างมุมสัมผัส เนื่องจากมุมสัมผัสที่ได้จากการใช้เทคนิควัดมุมสัมผัสรุ่น FTA 1000 drop shape instrument ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นนั้น ไม่ใช่มุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับเส้นสัมผัสของหยดน้ำ แต่เป็นมุมสัมผัสที่ได้จากผิวสัมผัสของเส้นใยที่ไม่เรียบของด้ายไนลอนกับเส้นมุมสัมผัส ดังนั้นจึงได้โปรแกรม solid work ในการสร้างมุมสัมผัสเพื่อใช้เป็นผลการทดลอง



ภาพที่ 4.17 ค่ามุมสัมผัสของด้ายไนลอนก่อนและหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน โดยใช้ สตับเป็นมาตรฐาน



ภาพที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตกสะสม และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่สัมผัสกับผิวเส้นใยโพลอนที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ กัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการทำโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ด้ายไนลอนมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของด้ายไนลอนลดลง โดยการเคลือบฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนด้วยเทคนิค RF-PECVD โดยใช้แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีน ที่เวลาการตกสะสมที่แตกต่างกัน คือ 1 นาที 1.5 นาที 2 นาที และ 2.5 นาที ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ใช้อะคริลิกเป็นด้ายยัดเส้นใยไนลอน และตอนที่ 2 ใช้สับเป็นฐานรองเส้นใยไนลอน โดยในตอนที่ 1 ใช้แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีนที่อัตราการไหล 0.8:0.8 (ตัวเลขแสดงในหน่วยลิตรต่อชั่วโมง) ความดันขณะทำงาน 85 Pa พบว่าลักษณะทางกายภาพของด้ายไนลอนก่อนการเคลือบมีสีขาว แต่หลังจากเคลือบด้วยฟิล์มอะมอร์ฟัสคาร์บอนแล้ว ลักษณะทางกายภาพของด้ายไนลอนได้เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนๆ และเข้มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาการตกสะสม ซึ่งในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยายแตกต่างกัน พบว่าก่อนการเคลือบผิวของไนลอนมีลักษณะที่เรียบ แต่เมื่อเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนแล้วผิวของด้ายไนลอนมีลักษณะตะปุ่มตะป่ำเป็นเกร็ดเล็กๆ เป็นลักษณะของการตกสะสมของธาตุคาร์บอน ซึ่งมากขึ้นตามเวลาในการตกสะสม

ใบตอบที่ 2 ใช้สับเป็นฐานรองเส้นใยไนลอนเพื่อความสะดวกในการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ โดยได้ใช้แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับอะเซทิลีนที่อัตราการไหล 4:1 (ตัวเลขแสดงในหน่วยลิตรต่อชั่วโมง) ความดันขณะทำงาน 105 Pa ผลจากภาพถ่าย SEM ยืนยันว่าก่อนการเคลือบผิวของไนลอนมีลักษณะที่เรียบ แต่เมื่อเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนแล้วผิวของด้ายไนลอน มีลักษณะเป็นปุยเล็กๆ เป็นลักษณะของการตกสะสมของธาตุคาร์บอน ซึ่งมากขึ้นตามเวลาในการตกสะสม ที่เวลาการตกสะสม 2.5 นาที มีการตกสะสมของธาตุคาร์บอนมากที่สุด แต่มีการหลุดลอกของฟิล์มบางส่วน เนื่องจากอะตอมของธาตุคาร์บอนที่เกาะบนผิวของเส้นใยไนลอนหนาเกินไปทำให้หลุดออกได้ง่าย เมื่อนำด้ายไนลอนไปวิเคราะห์ด้วย EDX พบว่าก่อนการเคลือบพบปริมาณของธาตุคาร์บอนอยู่ 76.08 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอม ภายหลังการเคลือบฟิล์มคาร์บอนที่เวลาการตกสะสม 1 นาที พบปริมาณของธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น และมากที่สุดคือ 82.30 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอม และเมื่อนำชิ้นงานไปตรวจสอบมุมสัมผัสของหยดน้ำที่สัมผัสกับผิวเส้นใยไนลอน พบว่าก่อนการเคลือบฟิล์ม ผิวไนลอนมีความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (super hydrophilic) คือ มีค่ามุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา ภายหลังการเคลือบผิวของด้ายไนลอนด้วยฟิล์มคาร์บอน พบว่าค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงถึงความไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการตกสะสม ที่เวลาในการตกสะสม 1.5 นาที มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมากที่สุด เท่ากับ 124.48 องศา

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองทุกครั้งควรใส่ถุงมือ เพื่อป้องกันไขมันจากมือติดชิ้นงาน และต้องทำความสะอาดอุปกรณ์ก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยเฉพาะขั้วไฟฟ้า เพราะที่ขั้วไฟฟ้าจะเกิดฟิล์มขึ้น ซึ่งฟิล์มที่เกิดขึ้นเป็นฉนวนไฟฟ้า

สำหรับชิ้นงานที่จะนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์นั้น ควรจะให้ชิ้นงานติดกับสตั๊ปมากที่สุดเพื่อความสะดวกต่อการตรวจสอบ ถ้าออกแบบระบบสุญญากาศที่สามารถลดระดับความดันให้ต่ำมากกว่าเดิม จะทำให้เราได้ความบริสุทธิ์ของพลาสมามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ฟิล์มมีความบริสุทธิ์มากขึ้นด้วย ซึ่งตัวที่วัดอัตราการไหลของแก๊ส (flow meter) ควรจะมีความละเอียดมากกว่านี้ เพื่อผลการทดลองที่แม่นยำขึ้น และในการวัดคุณสมบัติของความไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้น ควรใช้เทคนิค X-ray Photoelectron Spectroscopy หรือ XPS เพื่อวิเคราะห์ผิวของวัสดุที่วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีที่ระดับผิวของวัสดุในหลายรูปแบบ เช่น ชนิดและจำนวนธาตุองค์ประกอบ โครงสร้างทางเคมี ชนิดพันธะทางเคมี และสถานะออกซิเดชันของอะตอม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประวัติของผ้าไนลอน [online]. 2011 [cited 2013 January 28]; Available from URL:
<http://www.wlc.co.th/webboard.php?app=web&func=view&id=86>
- [2] ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล. เครื่องมือทำการประมง, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2543
- [3] พอริเมอไรเซชันควบแน่น [online]. 2012 [cited 2013 January 28]; Available from URL:
http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/condense.htm
- [4] ไนลอน [online]. 2008 [cited 2012 September 9]; Available from URL:
http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=76&Itemid=36
- [5] Corbman, Bernard P. Textiles: fiber to fabric, 6th ed. Singapore: McGraw – Hill; 1983
- [6] Yarn numbers. [Online]. 2002 [Cited 2007 July 10]; Available from URL:
http://www.sizes.com/units/yarn_numbers.htm
- [7] K. Teo, A.C. Ferrari, G. Fanchini, S.E. Rodil, J. Yuan, J.T.H. Tsai, E. Laurenti, A. Tagliaferro, J. Robertson, W.I. Milne, *Diamond and Related Materials*, 11 (2002), 3-6
- [8] J. Robertson. Diamond-like amorphous carbon. *Materials Science and Engineering*, R37 (2002)129-281
- [9] Sambita Sahoo, Swati S. Pradhan, Venkateswarlu Bhavanasi, S.K. Pradhan, Structural and mechanical characterization of diamond like carbon films grown by microwave plasma CVD, *Surface & Coatings Technology* 204 (2010) 2817-2821
- [10] Gases อาร์กอน [online]. [cited 2013 January 28]; Available from URL:
<http://www.praxair.co.th/argon.html>
- [11] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. Argon(Ar) อาร์กอน [online]. [cited 2013 January 28]; Available from URL:
<http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Ar.html>

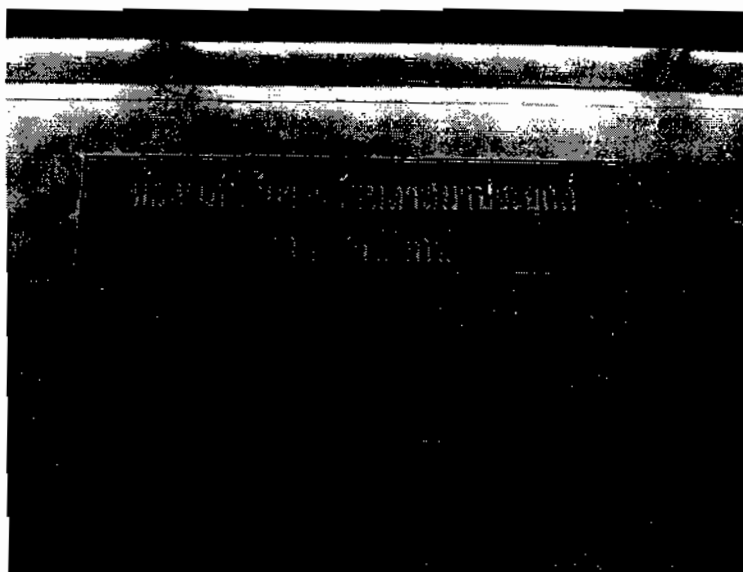
- [12] สมบัติของแก๊สออกไซด์เซเทิลีน [online]. [cited 2013 January 28]; Available from URL: <http://www.supradit.com/contents/meta/Data/3/2.html>
- [13] บทที่ 2 ทฤษฎี [online]. [cited 2013 January 28]; Available from URL: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/aphys1052aw_ch2.pdf
- [14] ร้อยตำรวจเอก วิวัฒน์ ชินวร. การวิเคราะห์เข้ามาป็นด้วยเทคนิคSEM/EDX. มหาวิทยาลัยศิลปากร, (2547)
- [15] ชาญณรงค์ ภิรมย์จิตร ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง ดร.จันทร์เพ็ญ โทมัส และดร.พอพนธ์ สีขณนุกฤษฎ์, การเตรียมฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรโดยการตกสะสมไอทางเคมีจากคลื่นความถี่วิทยุ, วารสารวิจัย มข. (บค.) 5 (2) : ก.ค.-ธ.ค. (2548)
- [16] ภัทร์ สุขแสน, พื้นผิวอัจฉริยะด้วยนาโนเทคโนโลยี, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [17] รัตติยา หงษ์ทอง, การเคลือบฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) บนแผ่นแกรไฟต์ด้วยวิธีพลาสมาเจ็ตที่ความดันต่ำ (LPPJ), วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, (2555)
- [18] อุกฤษฎ์ ฤทธิหงส์ และวุฒิพงษ์ นาสะอ้าน, การพัฒนาระบบไดโอดเลกทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ สำหรับการเคลือบฟิล์มคาร์บอนลงบนเส้นใยไบนลอน, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, (2555)

ภาคผนวก

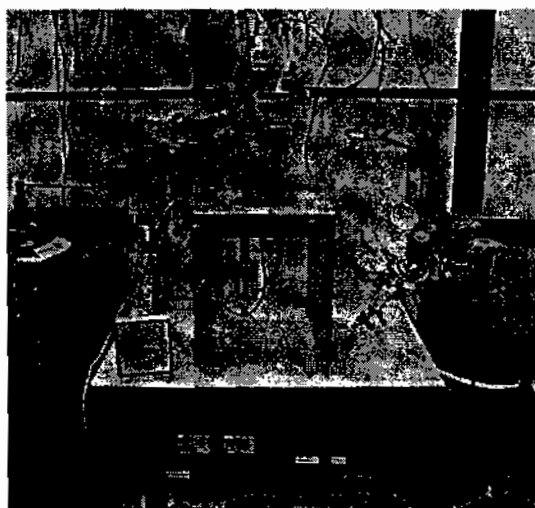


ภาคผนวก ก
ภาพประกอบการทดลอง

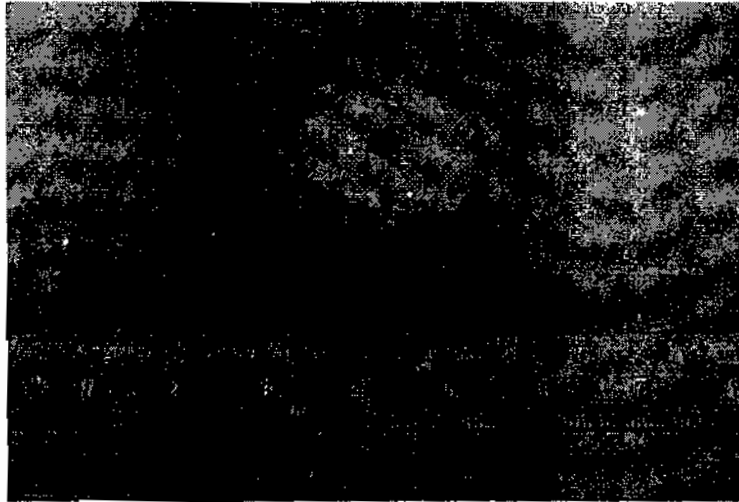




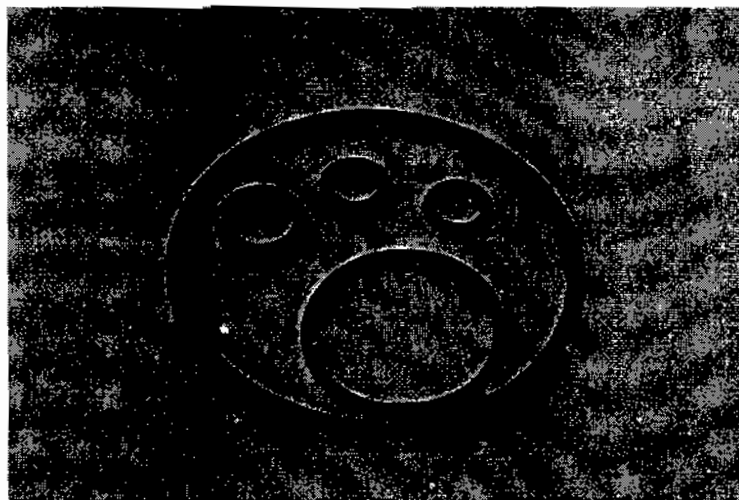
ภาพที่ ก.1 ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาประยุกต์



ภาพที่ ก.2 ภาพถ่ายระบบ RF-CVD



ภาพที่ ก.3 เทปลอน



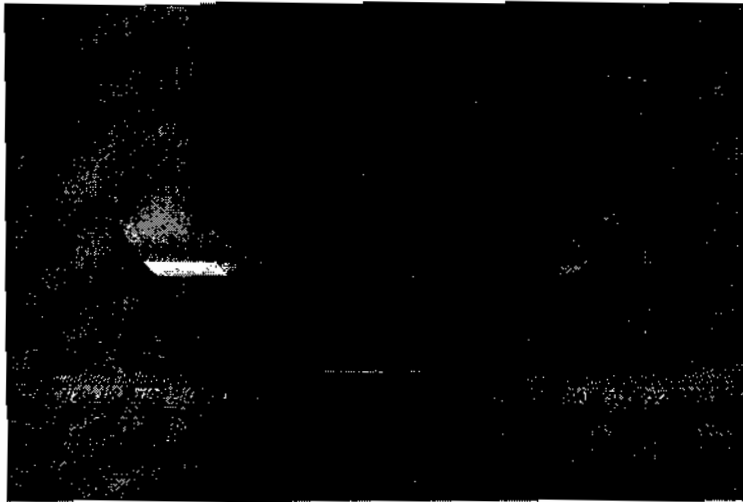
ภาพที่ ก.4 โอริงขนาดต่างๆ



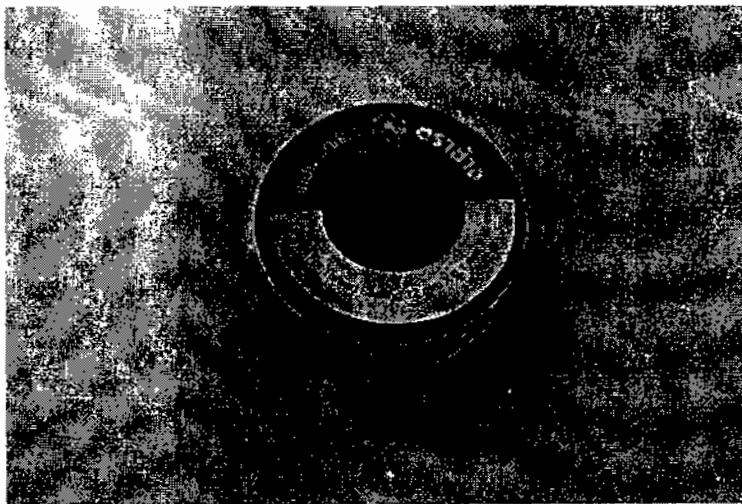
ภาพที่ ก.5 ท่ออะคริลิก(แชมเบอร์)



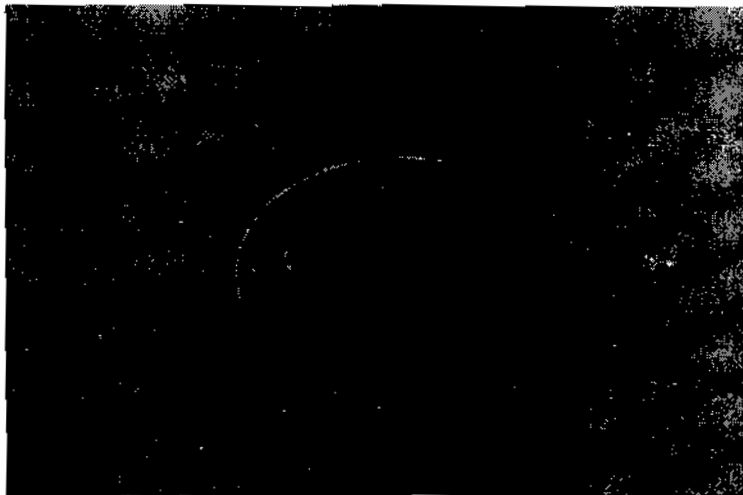
ภาพที่ ก.6 ฝาบ่น



ภาพที่ ก.7 ฝาล่าง



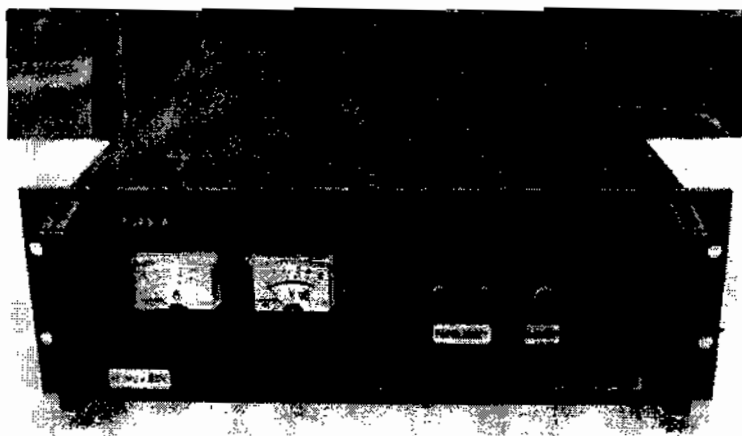
ภาพที่ ก.8 เทปพันเกลียว



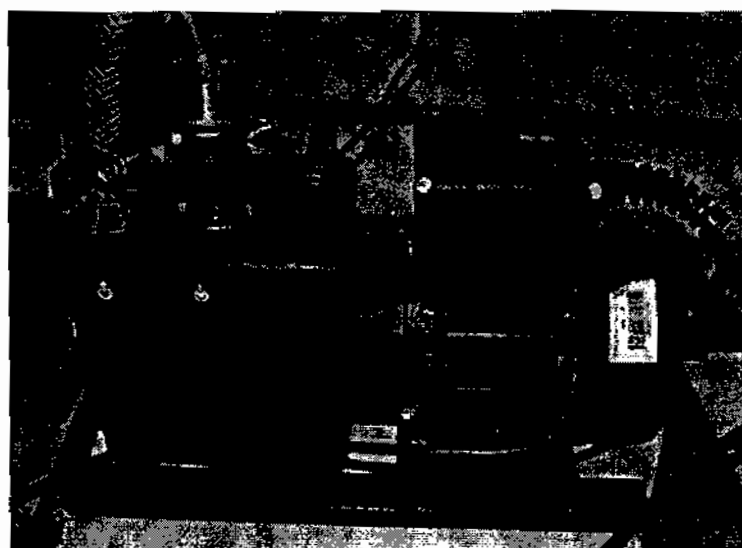
ภาพที่ ก.9 คาร์บอนเทป



ภาพที่ ก.10 ไนลอนที่ใช้ทำการทดลอง



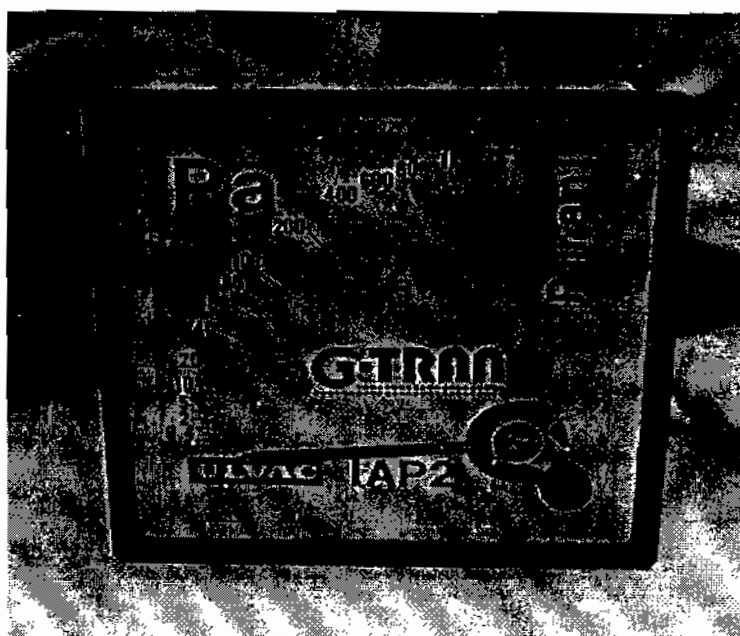
ภาพที่ ก.11 RF power supply



ภาพที่ ก.12 ปั่นเชิงกลโรตารี



ภาพที่ ก.13 เกจวัดความดัน



ภาพที่ ก.14 ตัวอ่านความดัน

ภาคผนวก ข
ตารางประกอบผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ตารางผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยEDX ที่นำไปพล็อตกราฟภาพที่ 4.16

Deposition time (min)	atomic %				
	C	O	Al	Cu	Zn
0	71.29	22.71	0.00	0.00	0.00
	75.61	24.39	0.00	0.00	0.00
	75.35	23.28	0.00	1.36	0.00
	76.08	23.46	0.00	0.45	0.00
0.5	85.25	14.75	0.00	0.00	0.00
	78.73	21.27	0.00	0.00	0.00
	80.93	19.07	0.00	0.00	0.00
	81.64	18.36	0.00	0.00	0.00
1.0	80.40	19.60	0.00	0.00	0.00
	84.23	15.18	0.23	0.36	0.00
	83.95	16.20	0.00	0.45	0.00
	81.23	18.44	0.00	0.33	0.00
	82.90	17.36	0.06	0.29	0.00
1.5	81.07	18.93	0.00	0.00	0.00
	83.62	15.89	0.00	0.49	0.00
	81.24	17.21	1.12	0.43	0.00
	84.36	14.79	0.16	0.68	0.00
	76.78	21.19	1.10	0.50	0.43
	81.41	17.60	0.48	0.42	0.09
2.0	75.23	24.32	0.00	0.45	0.00
	81.38	18.07	0.00	0.55	0.00
	79.14	20.86	0.00	0.00	0.00
	82.89	16.51	0.00	0.61	0.00
	80.85	19.15	0.00	0.00	0.00
	79.90	19.78	0.00	0.32	0.00
2.5	79.98	20.62	0.00	0.00	0.00
	81.33	18.29	0.10	0.28	0.00
	79.77	19.67	0.24	0.32	0.00
	81.28	18.45	0.00	0.27	0.00
	80.44	19.26	0.09	0.22	0.00

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากการวัดมุมสัมผัสและมวลอะตอมที่ได้จากการวิเคราะห์ EDX

time (min)	contact angle (degree)	atomic %	
		C	O
0	0	75.95	23.28
	0	75.61	24.99
	0	77.29	22.71
	0	76.08	23.46
0.5	97.77	78.73	21.27
	61.61	80.93	19.07
	0.00	85.25	14.75
	79.69	81.64	18.36
1	101.27	83.35	16.20
	110.14	84.23	15.18
	93.52	80.40	19.60
	0.00	81.23	18.44
	101.64	82.30	17.36
1.5	121.29	81.07	18.93
	127.66	83.62	15.89
	0.00	81.24	17.21
	0.00	84.36	14.79
	0.00	76.78	21.19
	124.43	81.41	17.60
2	115.43	75.23	24.32
	120.96	81.38	18.07
	126.57	79.14	20.86
	0.00	82.89	16.51
	0.00	80.85	19.15
	120.99	79.90	19.78
2.5	110.08	79.38	20.62
	127.73	81.33	18.29
	0.00	79.77	19.67
	0.00	81.28	18.45
	118.91	80.44	19.26

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงผลการทดลองเฉลี่ยที่ได้จากการวัดมุมสัมผัสและมวลอะตอมที่ได้จากการวิเคราะห์ EDX ที่นำไปพล็อตกราฟภาพที่ 4.18

time	contact angle (degree)	atomic %	
		C	O
0.0	0.00	76.08	23.46
0.5	79.61	81.64	18.36
1.0	101.64	82.30	17.36
1.5	124.48	81.41	17.60
2.0	120.99	79.90	19.78
2.5	118.91	80.44	19.26

ประวัติย่อผู้ทำวิจัย

ประวัติย่อ

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวยุภาภรณ์ เจริญเขต
วัน/เดือน/ปีเกิด	22 ตุลาคม 2533
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 12 หมู่ 5 บ้านดอนเงิน ต.เชียงขวัญ อ.เชียงขวัญ จ.ร้อยเอ็ด 45000
อีเมลล์	par52_au@hotmail.com
หมายเลขโทรศัพท์	088-7309588

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2551	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสตรีศึกษา ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด 45000
พ.ศ. 2548	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนสตรีศึกษา ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด 45000
พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านดอนแดง ต.เชียงขวัญ อ.เชียงขวัญ จ.ร้อยเอ็ด 45000

ประวัติย่อ

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุตารัตน์ จุลโนนยาง
วัน / เดือน / ปีเกิด	25 พฤษภาคม 2533
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 105 หมู่ 4 บ้านเลิงบัว ต.เลิงใต้ อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม 44140
อีเมลล์	sqz_z@hotmail.co.th
หมายเลขโทรศัพท์	082-7351349
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ 2555	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ 2551	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนโกสุมวิทยาสรรค์ ต.หัวขวาง อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม 44140
พ.ศ 2548	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนโกสุมวิทยาสรรค์ ต.หัวขวาง อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม 44140
พ.ศ 2545	สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านเลิงบัว ต.เลิงใต้ อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม 44140