

การสร้างเป้าเพื่อใช้ในการสร้างฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอริง

FABRICATION OF TARGET FOR USE IN CONSTRUCTION
OF THIN FILMS BY SPUTTERING METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION OF TARGET FOR USE IN CONSTRUCTION
OF THIN FILMS BY SPUTTERING METHOD



A SPECIAL PROJECT EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสร้างเป้าเพื่อใช้ในการสร้างฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอร์ริง
 Fabrication of Target for Use in Construction of Thin
 Films by Sputtering Method

ชื่อนักศึกษา นาย ต้นน้ำ สุจริตธุระการ รหัสนักศึกษา 58051068

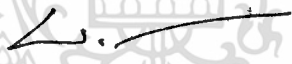
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์
 ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
รศ.วิชิต ศิริโชติ กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมาสู่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสร้างเป้าเพื่อใช้ในการสร้างฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอร์ริง
ชื่อนักศึกษา	นาย ต้นน้ำ สุจริตธรรการ รหัสนักศึกษา 58051068
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิลิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิลิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป้าคาร์บอนที่ทำการสร้างขึ้นถูกนำมาอบให้ความร้อน 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าเป้าคาร์บอนที่ถูกอบด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีลักษณะที่กลม ผิวเรียบเนียน และแข็งแรงทนทาน จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง ฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ถูกทำการปลูกด้วยการใช้เป้าคาร์บอนที่ซื้อมาและเป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้น จากภาพถ่ายพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ทำการปลูกโดยใช้เป้าคาร์บอนที่ซื้อมามีขนาดเกรนเล็กกว่า 30 นาโนเมตร และฟิล์มที่ทำการปลูกโดยใช้เป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีขนาดเกรนเล็กกว่า 10 นาโนเมตร และความหนาของฟิล์มที่ทำการปลูกด้วยการใช้เป้าคาร์บอนที่ซื้อและเป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้น โดยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงมีความหนาที่ 550 นาโนเมตร และ 170 นาโนเมตร ตามลำดับ จากลักษณะเฉพาะของการส่งผ่านแสงของฟิล์มเผยให้เห็นว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีค่าการส่งผ่านแสงที่สูงมากกว่าฟิล์มที่ปลูกจากเป้าคาร์บอนที่ซื้อมา ความกว้างของช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป้าคาร์บอนที่ซื้อมามีค่าประมาณ 3.67 อิเล็กตรอนโวลต์ และสำหรับเป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้นความกว้างของช่องว่างแถบพลังงานมีค่าประมาณ 3.77 อิเล็กตรอนโวลต์ นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของมุมสัมผักระหว่างหยดน้ำและผิวฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบโดยใช้เป้าที่ซื้อมามีค่าเป็น 76.50 และ 83.05 องศา บนฐานรองกระจกและซิลิคอน ตามลำดับ สำหรับฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้นค่าเฉลี่ยของมุมสัมผักระหว่างหยดน้ำและผิวฟิล์มบนฐานรองกระจกและซิลิคอนคือ 68.50 และ 76.40 องศา ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป้าที่ซื้อมามีค่ามุมสัมผักระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวฟิล์มมากกว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้น ค่ามุมสัมผัสเหล่านี้ของฟิล์มที่เคลือบโดยใช้เป้าทั้งสองประเภทบ่งบอกถึงพฤติกรรมการชอบน้ำของผิวฟิล์ม

เอกสาร คำสำคัญ การอบด้วยความร้อน ดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง เป้าคาร์บอน ฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์
 ไม้ว่าไดมอนด์ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Fabrication of Target for Use in Construction of Thin Films by Sputtering Method
Student	Mr.Tonnum Sujjaritturakarn Student ID 58051068
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) Academic Year 2018
Advisor	Asst.Prof.Dr.Nathaporn Promros

Abstract

For the construction of the carbon targets, the compressed carbon targets were annealed in the temperature range of 200-600 °C. From the annealing results, the suitable temperature for annealing was 200 °C, since the carbon target annealed at 200 °C held the unchanged shape and superior strength. Nanocrystalline diamond films (NCD) were prepared by DC magnetron sputtering method with purchased carbon target and carbon target annealed at 200 °C. From scanning electron microscopy images, the grain sizes of NCD films prepared using the purchased target and constructed target were below 30 and 10 nm, respectively. The thickness of NCD films prepared using the purchased target was 550 nm, while the NCD films prepared using constructed target have a thickness value of 170 nm. The transmittance of the prepared films via the constructed target was higher than that of the films prepared via the purchased target. The energy gap values for the films prepared via the purchased target and constructed target were 3.67 eV and 3.77 eV in sequence. The films prepared on Si substrate and glass slide via the purchased target owned the average contact angles of 76.50 and 83.05°, respectively. Further, the average contact angles of the films prepared on Si substrate and glass slide using the constructed target were observed to be 68.50 and 76.40 in sequence. This result showed the hydrophilic attribute of the prepared NCD film surface.

Keywords: Annealing, DC magnetron sputtering, Carbon target, Nanocrystalline diamond films

เอกสารนี้เป็นของสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆ เรื่องด้วยความมุ่งมั่น จริ่งใจ และซื่อตรง รวมทั้งปลูกฝังให้มีแนวทางในการทำงานและการดำเนินชีวิตดังนี้

- Trust (ความเชื่อใจและความเชื่อมั่นซึ่งกันและกัน) เกิดจากการสร้าง commitment (ความไว้วางใจ การรักษาคำพูด) ครั้งแล้วครั้งเล่า แต่ถ้า commitment ถูกทำลายซึกครั้งเดียว trust จะหายไปง่ายมาก ดังนั้น จะต้องรักษา trust ให้ได้ “เชื่อใจคนอื่นและครองตนให้เป็นที่เชื่อใจของคนอื่น”
- กล้าตัดสินใจและทำให้การตัดสินใจนั้นประสบความสำเร็จให้ได้ โดยอยู่บนรากฐานของความถูกต้องและแนวทางขององค์กร
- ดูหน้างานจริง คุยกับคนที่ปฏิบัติงานนั้น ต้องเข้าใจสถานการณ์จริง ต้องเข้าใจปัญหาจริง
- ปรารถนาสิ่งใดในปฐพี เอาไมตรีแลกได้ตั้งใจจง
- ทำลายอัตตาให้หมดไปในการทำงานร่วมกับผู้อื่น

ขอบพระคุณ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง และ รศ.วิจิต ศิริโชติ คณะกรรมการที่ให้ความรู้คำแนะนำและชี้จุดบกพร่องของโครงการซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโครงการต่อไป

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์แนะนำในการใช้เครื่องมือในการวัดต่างๆ

ขอบพระคุณอาจารย์ภาคพิสิทธ์ประยุกต์ และรุ่นพี่ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้วิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานในการทำโครงการนี้

ต้นน้ำ สุจริตธรรการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง.....	4
2.2 สเปคโตรริง.....	5
2.3 ดีไซน์เมทริกซ์บนสเปคโตรริง.....	6
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับคาร์บอน.....	7
2.4.1 ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร.....	8
2.4.2 นาโนคาร์บอน.....	8
2.4.3 นาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์.....	9
2.5 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	9
2.6 น้ำปราศจากไอออน.....	10
2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	11
2.7 เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง.....	12
2.9 มุมสัมผัส.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 การจัดหาอุปกรณ์.....	16
3.2 การสร้างเป่าคาร์บอนจากแกรไฟต์.....	28
3.2.1 ขั้นตอนสำหรับการอัดเป่าจากแกรไฟต์.....	29
3.2.2 ขั้นตอนสำหรับการอบเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นด้วยความร้อน.....	33
3.2.3 ลักษณะของเป่าคาร์บอนหลังถูกอบด้วยความร้อน.....	38
3.3 การสปีดเตอริงฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์.....	42
3.3.1 ขั้นตอนการสปีดเตอริง.....	42
3.4 การวัดคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง.....	45
3.4.1 ภาพถ่ายพื้นผิวและภาพตัดขวาง.....	45
3.4.2 การส่งผ่านของแสง.....	46
3.4.3 การวัดมุมสัมผัส.....	46
บทที่ 4 ผลการวิจัย	48
4.1 ผลการปลูกฟิล์มโดยเป่าคาร์บอนที่ซื้อและเป่าคาร์บอนที่สร้าง.....	48
4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์.....	50
4.2.1 ภาพพื้นผิว.....	50
4.2.2 ภาพตัดขวาง.....	51
4.3 ผลการส่งผ่านของแสง.....	51
4.4 ช่องว่างแถบพลังงาน.....	52
4.5 ผลการวัดมุมสัมผัส.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
เอกสารอ้างอิง	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	3
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขสำหรับการสร้างเป้าคาร์บอน	29
ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขสำหรับการปลูกฟิล์มโดยเป้าที่จัดซื้อ	42
ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขสำหรับการปลูกฟิล์มโดยเป้าที่สร้างขึ้น	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดฟิล์มบาง.....	4
รูปที่ 2.2 กระบวนการสปีดเตอริง.....	5
รูปที่ 2.3 ระบบการเคลือบแบบสปีดเตอริง.....	5
รูปที่ 2.4 ระบบดีซีไดโอดสปีดเตอริงขณะทำการสปีดเตอริง.....	6
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแกรไฟต์.....	7
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของนาโนคาร์บอน.....	8
รูปที่ 2.7 (a) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์	
(b) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของฟิล์มโพลีคริสตัลไลน์ไดมอนด์.....	9
รูปที่ 2.8 โครงสร้างพอลิไวนิลเอซีเตต.....	10
รูปที่ 2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	11
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	12
รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง.....	13
รูปที่ 2.12 รูปแสดงหยดน้ำบนใบบัว.....	14
รูปที่ 2.13 ประเภทของการเปียก.....	15
รูปที่ 3.1 ผงแกรไฟต์.....	16
รูปที่ 3.2 กาวพอลิไวนิลเอซีเตต.....	17
รูปที่ 3.3 เครื่องซั่งดิจิตอล.....	18
รูปที่ 3.4 เครื่องให้ความร้อนและคนสาร.....	18
รูปที่ 3.5 น้ำปราศจากไอออน.....	19
รูปที่ 3.6 บีกเกอร์ขนาด 80 มิลลิลิตร.....	19
รูปที่ 3.7 หลอดชนิดยา.....	20
รูปที่ 3.8 แท่งแม่เหล็กกวนสาร.....	20
รูปที่ 3.9 เบ้าอัด.....	21
รูปที่ 3.10 เครื่องอัดไฮดรอลิค.....	22
รูปที่ 3.11 เครื่องแอนนูล.....	22
รูปที่ 3.12 เครื่องสปีดเตอริง.....	23
รูปที่ 3.13 ถังสุญญากาศ.....	24
รูปที่ 3.14 บีมกลโรตารี.....	24
รูปที่ 3.15 เกทวาล์ว.....	25
รูปที่ 3.16 บีมแพร์ไอรูน WDP-4Z ของบริษัท WOOSUNG VACUUM.....	25

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.17 วาล์วเข็ม.....	26
รูปที่ 3.18 เกจวัดความดัน	26
รูปที่ 3.19 ถังบรรจุก๊าซอาร์กอน	27
รูปที่ 3.20 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ GW Instek รุ่น GPR-100H05D	27
รูปที่ 3.21 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน ยี่ห้อ MARCH COOL รุ่น Small Cooling Bath 5000 BTU	28
รูปที่ 3.22 การชั่งแกรไฟต์.....	29
รูปที่ 3.23 การบดแกรไฟต์.....	30
รูปที่ 3.24 การชั่งกาวพอลิไวนิลเอซีเตต.....	30
รูปที่ 3.25 (a) การดูดน้ำปราศจากไอออนใส่เข็มฉีดยา (b) การนำน้ำที่ดูดใส่ในบีกเกอร์.....	31
รูปที่ 3.26 (a) การผสมกาวพอลิไวนิลเอซีเตตกับน้ำปราศจากไอออน (b) การเปิดเครื่องให้ความร้อนและคนสาร.....	31
รูปที่ 3.27 การผสมกาวที่ละลายกับผงแกรไฟต์.....	32
รูปที่ 3.28 การนำผงแกรไฟต์เข้าบ่อบัด	32
รูปที่ 3.29 การนำบ่อบัดไปอัดกับเครื่องไฮดรอลิค.....	33
รูปที่ 3.30 (a) เป้าที่อัดวางบนฐานรอง (b) นำเป้าเข้าเตา.....	33
รูปที่ 3.31 การเปิดเครื่องแอนนีส.....	34
รูปที่ 3.32 การตั้งอุณหภูมิ.....	34
รูปที่ 3.33 การตั้งเวลา	35
รูปที่ 3.34 การตั้งกำลังไฟฟ้า.....	35
รูปที่ 3.35 การตั้งอุณหภูมิให้คงเดิม	36
รูปที่ 3.36 รูปการ SET ครั้งที่ 3	36
รูปที่ 3.37 ภาพก่อนกด SET ให้ความร้อน	37
รูปที่ 3.38 ไฟที่ขึ้นหลังกด SET กับลูกศรขึ้น	37
รูปที่ 3.39 หมุนปุ่ม RUN เพื่อเปิดให้ความร้อน	38
รูปที่ 3.40 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส.....	38
รูปที่ 3.41 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	39

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.42 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	39
รูปที่ 3.43 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส.....	40
รูปที่ 3.44 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	40
รูปที่ 3.45 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส.....	41
รูปที่ 3.46 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส.....	41
รูปที่ 3.47 แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น	43
รูปที่ 3.48 แสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	44
รูปที่ 3.49 แสดงลำของพลาสมาขณะเกิดการสปัตเตอร์ริง	44
รูปที่ 3.50 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น Hitachi S-5200	46
รูปที่ 3.51 เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง รุ่น UV-2600 ของ HIMADZU	46
รูปที่ 3.52 เครื่องวัดค่ามัมสัมผัส.....	47
รูปที่ 4.1 (a) ภาพของเป้าที่จัดซื้อมา	
(b) ภาพของเป้าที่สร้างขึ้น	48
รูปที่ 4.2 (a) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป้าที่จัดซื้อมา	
(b) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้น	49
รูปที่ 4.3 (a) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าที่จัดซื้อมา	
(b) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้น	49
รูปที่ 4.4 (a) ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป้าที่ซื้อ	
(b) ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป้าที่สร้างขึ้น	50
รูปที่ 4.5 (a) ภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป้าที่ซื้อ	
(b) ภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป้าที่สร้างขึ้น.....	51
รูปที่ 4.6 (a) การส่งผ่านแสงของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูก	
โดยใช้เป้าคาร์บอนที่ซื้อมา	
(b) การส่งผ่านแสงของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูก	
โดยใช้เป้าคาร์บอนที่สร้าง	52
รูปที่ 4.7 (a) การหาแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรอง	
กระจกที่ปลูกโดยใช้เป้าคาร์บอนที่ซื้อมา	
(b) การหาแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรอง	
กระจกที่ปลูกโดยใช้เป้าคาร์บอนที่สร้าง.....	53

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 (a) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลุกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป่าที่จัดซื้อมา	
(b) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลุกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป่าที่สร้างขึ้น	54
รูปที่ 4.9 (a) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลุกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป่าที่จัดซื้อมา	
(b) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลุกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป่าที่สร้างขึ้น	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

นาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ (Nanocrystalline diamond: NCD) ถูกจัดเป็นชนิดหนึ่งของเพชร (Diamond) ซึ่งประกอบไปด้วยผลึกเพชรที่มีขนาดเกรนในระดับนาโน [1] फिल्मนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอนซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและหาได้ง่ายในธรรมชาติ [2,3] ในปัจจุบันฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ได้รับความสนใจในแวดวงวิทยาศาสตร์อย่างกว้าง เนื่องจากคุณสมบัติที่มีศักยภาพของฟิล์มสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลายด้าน เช่น สิ่งประดิษฐ์ทางด้านไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการเคลือบแข็งพื้นผิว [4-6] จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์มีคุณลักษณะที่โดดเด่น อาทิ ค่าความแข็งสูง ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานต่ำ ค่าเสถียรภาพทางอุณหภูมิสูง ทนต่อรอยขีดข่วน ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี พื้นผิวของฟิล์มมีความเรียบและขนาดเกรนที่เล็กกว่าเมื่อเทียบกับโพลีคริสตัลไลน์ไดมอนด์ เป็นต้น [7-10] อีกทั้งฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ยังสามารถเคลือบลงบนฐานรองได้หลากหลายประเภท [11,12] นอกจากนี้การนำไฟฟ้าของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ยังสามารถปรับปรุงได้โดยการเจือด้วยอะตอมของธาตุของโบรอน (Boron: B) และไนโตรเจน (Nitrogen: N) ซึ่งจะส่งผลให้ฟิล์มบางของวัสดุแสดงลักษณะเฉพาะเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี (p-Type) และประเภทเอ็น (n-Type) ตามลำดับ [13,14]

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการรายงานว่าฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์สามารถเตรียมได้จากวิธีการเคลือบด้วยไอเชิงเคมี (Chemical vapour deposition: CVD) [15] การเคลือบแบบพัลส์เลเซอร์ (Pulsed laser deposition) [16] และการเคลือบแบบสปัตเตอร์ริง (Sputtering) [17] เป็นต้น การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (DC magnetron sputtering) เป็นกระบวนการที่ง่ายสำหรับการเคลือบฟิล์มบางภายใต้เงื่อนไขสุญญากาศ สามารถเคลือบฟิล์มบางลงบนฐานรองได้ที่อุณหภูมิห้อง [18] ฟิล์มที่ถูกเคลือบมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) [19] มีการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับวัสดุฐานรองที่ดีเยี่ยม [20] และสามารถเคลือบฟิล์มบนฐานรองได้เป็นบริเวณกว้าง [20] อีกทั้งยังสามารถปลูกฟิล์มบนฐานรองได้หลากหลายชนิด อาทิ ซิลิคอน ซิลิคอนไนไตรต์ และควอตซ์ เป็นต้น [20] สำหรับวิธีการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงสนามแม่เหล็กบริเวณผิวหน้าเป้าจะทำหน้าที่กักเก็บอิเล็กตรอนและเป็นการเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่ให้กับอิเล็กตรอน เป็นผลให้โอกาสในการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมของก๊าซซึ่งทำให้มีการแตกตัวเป็นไอออนบวกและถูกเร่งไปให้ชนกับเป้าโดยสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุเหล่านี้ส่งผลให้อัตราการเคลือบฟิล์มสูงขึ้น [21] กัมมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลือบฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โดมอนต์โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงส่งผลทำให้ฟิล์มที่ได้มีประสิทธิภาพสูง และสามารถเคลือบฟิล์มได้ในบริเวณกว้าง อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป่าแกรไฟต์ (Graphite) สำหรับสปีดเตอริงที่สั่งซื้อจากต่างประเทศนั้นมีราคาที่สูง โดยเป่าแกรไฟต์ในปัจจุบันมีราคาประมาณ 10,000 บาทต่อชิ้น ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะสร้างเป่าขึ้นมาจากผงแกรไฟต์ซึ่งมีอยู่ภายในประเทศเพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้อจากต่างประเทศ และนอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำจัดหาคุณสมบัติทั่วไปของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โดมอนต์ที่เคลือบโดยเป่าแกรไฟต์ที่สร้างขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเป่าคาร์บอนจากแกรไฟต์
2. จัดหาปริมาณของผงแกรไฟต์และกาวพอลิไวนิลแอซีเตต (Polyvinylacetate) ที่เหมาะในการสร้างเป่าขึ้นมา (Deionized water)
3. จัดหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบให้ความร้อนแก่เป่าคาร์บอนที่ทำการสร้างขึ้น
4. เคลือบฟิล์มบางโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงจากเป่าที่สร้างขึ้น
5. จัดหาคุณสมบัติทั่วไปของฟิล์มบางที่เคลือบโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงจากเป่าคาร์บอนที่ทำการสร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. จัดหาส่วนผสมในการทำเป่าซึ่งประกอบไปด้วย ผงแกรไฟต์ กาวพอลิไวนิลแอซีเตต และน้ำปราศจากไอออน
2. เป่าคาร์บอนจะถูกสร้างขึ้นจากการอัดผงแกรไฟต์ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อให้เป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และหนาประมาณ 0.125 นิ้ว
3. จัดหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบเป่าคาร์บอนที่ทำการสร้างขึ้นด้วยความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างเป่าคาร์บอนที่สามารถใช้สำหรับสปีดเตอริงได้
2. ได้รับคุณสมบัติของฟิล์มที่เคลือบด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงจากเป่าคาร์บอนที่ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีการดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลา								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
จัดหาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	■	■	■						
อัดเป่าจากผงแกรไฟต์และนำไปอบที่อุณหภูมิสูง			■	■	■				
เคลือบฟิล์มจากเป่าที่ซื้อมาและเป่าที่สร้างขึ้น			■	■	■	■			
ตรวจสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง								■	■
วิเคราะห์และสรุปผล								■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

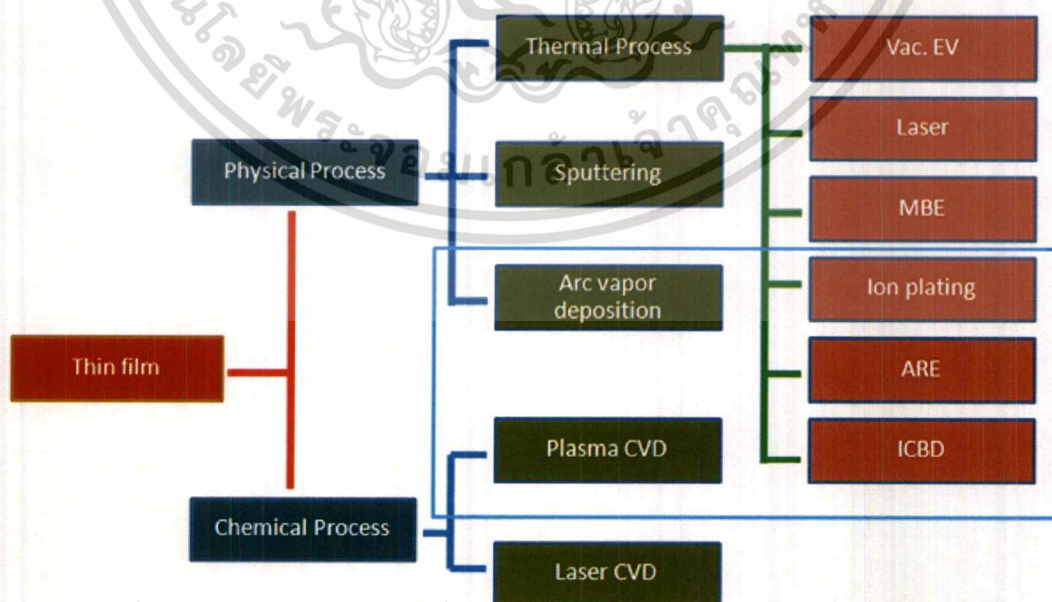
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางที่ได้จากเป้าที่อัดเองและจากเป้าที่ซื้อ มา ผู้วิจัยได้อธิบายหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยเริ่มต้นจากหลักการที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบฟิล์ม โดยมีหัวข้อดังนี้ กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง สเปคโตรริง ดีซีแมกนีตรอนสเปคโตรริง ทฤษฎีเกี่ยวกับคาร์บอน พอลิไวนิลเอซีเตต น้ำปราศจากไอออน กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง และมุมสัมผัส เป็นต้น

2.1 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง (Thin film process) [22]

ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบางแบ่งได้ 2 แบบ คือ กระบวนการเคลือบโดยไอเชิงฟิสิกส์ (Physical vapor deposition process: PVD) และกระบวนการเคลือบโดยไอเชิงเคมี (Chemical vapor deposition process: CVD) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแต่ละวิธีก็มีแยกย่อยออกไปอีก ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะเน้นทางด้านกระบวนการเคลือบโดยไอเชิงฟิสิกส์ ซึ่งเป็นเทคนิคการสร้างฟิล์มบางที่ใช้กลไกทางกายภาพ เช่น สเปคโตรริง ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการเคลือบโดยไอเชิงฟิสิกส์ อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการเคลือบกระจก อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพราะมีจุดเด่นที่กระบวนการเคลือบใช้ความร้อนต่ำ ใช้ก๊าซที่ไม่เป็นพิษ และไม่ซับซ้อน

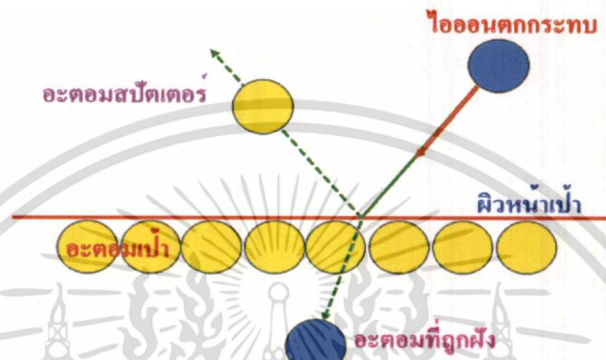


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดฟิล์มบาง

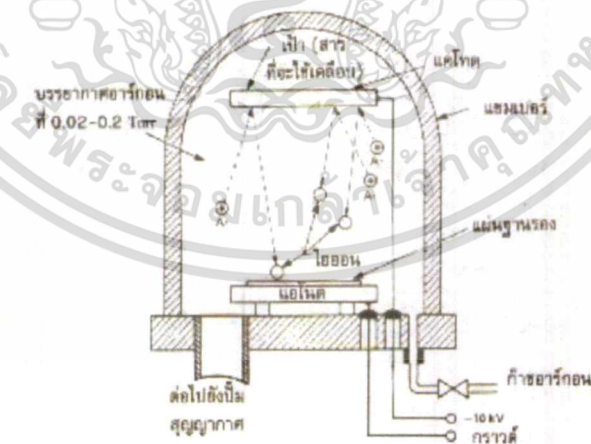
2.2 สปีดเตอริง [21-23]

ผิวของแข็งถูกยิงด้วยอนุภาคที่มีพลังงาน เช่น ไอออน อะตอมที่ผิวของแข็งจะถูกกระเจิงออกมา เนื่องจากการชนระหว่างอะตอมที่ผิวและอนุภาคที่มีพลังงานดังแสดงดังรูป 2.2 ปรัชญาการณนี้เรียกว่า สปีดเตอริง และอะตอมที่หลุดออกมาจากผิวของแข็งนี้จะไปก่อตัวบนชิ้นงานเกิดเป็นฟิล์มบางขึ้น



รูปที่ 2.2 กระบวนการสปีดเตอริง

ระบบสปีดเตอริงหลายแบบถูกนำมาใช้กับการเคลือบฟิล์มบาง รูปแบบของการสปีดเตอริงได้แสดงดังรูปที่ 2.3

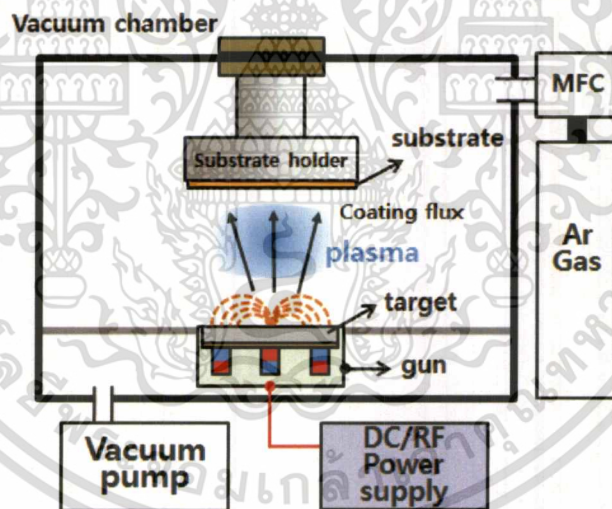


รูปที่ 2.3 ระบบการเคลือบแบบสปีดเตอริง

เทคนิคสปีดเตอริงสามารถใช้กับวัสดุใดๆ ก็ได้รวมทั้งโลหะ ฉนวนและวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีจุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หลอมละลายสูง นอกจากนี้ยังสามารถทำการสปีดเตอริงพลาสมาประกอบและอัลลอยได้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC magnetron sputtering) [21-23]

ระบบดีซีไดโอดสปัตเตอริงจะประกอบด้วยขั้วคาโทดและขั้วแอโนด ทั้งสองขั้วไฟฟ้าจะถูกติดตั้งไว้ในถังสุญญากาศ โดยวัสดุที่ใช้เป็นเป้าในการสปัตเตอริงจะถูกยึดติดที่ด้านหน้าของขั้วคาโทดและแผ่นรองรับที่ต้องการเคลือบจะถูกยึดติดไว้ที่ขั้วแอโนด โดยภายในถังสุญญากาศจะถูกทำให้มีความดันที่เหมาะสมและเติมไปด้วยก๊าซที่จะใช้ในการสปัตเตอริง โดยเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังสองขั้วไฟฟ้า จะก่อให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมขั้วไฟฟ้า เป็นผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะไปเร่งอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ไปชนอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปัตเตอริงและเกิดการแตกตัวเป็นไอออน โดยที่ไอออนบวกของก๊าซที่ได้จากการแตกตัวเป็นไอออนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วคาโทดแล้วพุ่งชนอะตอมที่หน้าผิวเป้าให้หลุดออกมาและเคลือบเป็นฟิล์มบางที่แผ่นรองรับ พร้อมกับมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิออกมา โดยที่การเปล่งแสงดิซชาร์จจะยังคงอยู่ได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วยอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้เนื่องจากอิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่เกิดพลาสมาและทำให้เกิดการชนกับอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปัตเตอริง และเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกเพิ่มขึ้นมา ก่อนที่อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ขั้วแอโนด ตามรูปที่ 2.4



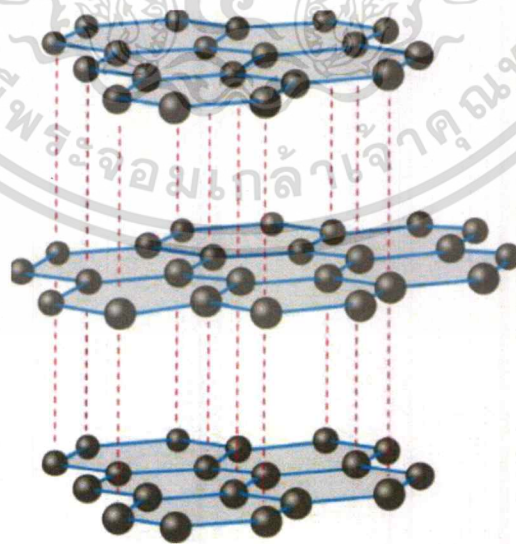
รูปที่ 2.4 ระบบดีซีไดโอดสปัตเตอริงขณะทำการสปัตเตอริง

วิธีดีซีสปัตเตอริงเป็นวิธีที่ทำให้เกิดพลาสมาจากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้ว และจากการที่มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิในขณะที่จะอะตอมของเป้าหลุดออกมาเนื่องจากถูกชนด้วยไอออนบวก ดังนั้นถ้าหากสามารถที่จะกักเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่หน้าผิวเป้า และเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้มากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้โอกาสในการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปัตเตอริงเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของโอกาสในการชนจะส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของการแตกตัวไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไอออนบวกและถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่เข้าชนเป้ามากขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้อัตราของการสปีตเตอร์ริงมากขึ้นตามไปด้วย

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับคาร์บอน [24]

คาร์บอนเป็นธาตุอันดับที่ 14 มีอิเล็กตรอนรวม 14 ตัว โดยเป็นอิเล็กตรอนวงนอกสุดหรือเวเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 4 ตัว ซึ่งทำให้มันสามารถจับคู่กับอะตอมอื่นโดยใช้อิเล็กตรอนร่วมกันได้ 4 พันธะ (อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาคาร์บอนของนักเคมีปัจจุบัน พบว่า มีความเป็นไปได้ที่คาร์บอนสามารถสร้างพันธะได้เพิ่มขึ้นเป็น 6 พันธะด้วยกัน) สำหรับเพชรซึ่งมีความแข็งแกร่งมากที่สุด เกิดจากการจับตัวเรียงกันของคาร์บอนล้วนๆ อย่างเป็นระเบียบและมีพันธะโควาเลนต์ที่เหนียวแน่นบนแกนทั้งสี่ของคาร์บอน มันจึงแข็งกว่าแกรไฟต์ที่พบในไส้ดินสอด่ ส่วนคาร์บอนในแกรไฟต์เรียงตัวเป็นวงหกเหลี่ยมและแม้จะมีพันธะโควาเลนต์เชื่อมต่อกันระหว่างอะตอม แต่พันธะที่เกิดขึ้นมีแค่ 3 พันธะ ยังเหลืออิเล็กตรอนว่างหนึ่งตัว จึงทำให้มันสามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งแลกมาด้วยความแข็งแรงที่ลดลง มันจึงเปราะบางกว่ามาก ซึ่งในขณะนี้แกรไฟต์ได้เป็นที่สนใจมากขึ้นเพราะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานสามารถนำไฟฟ้าได้และมีอยู่ในโลกในปริมาณที่เยอะ ทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจที่จะศึกษาแกรไฟต์มากขึ้น โดยแกรไฟต์มีคุณสมบัติดังนี้ นำไฟฟ้าได้ดี เคลื่อนไหลไปตามชั้นได้ง่าย ทำให้มีสมบัติในการหล่อลื่นได้ดี แกรไฟต์จึงถูกนำมาใช้ทำไส้ดินสอด่ดำและเป็นการหล่อลื่น นอกจากนี้ยังใช้ทำสีผ้าหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ดีดและเครื่องพิมพ์สำหรับคอมพิวเตอร์ แบบจำลองโครงสร้างของแกรไฟต์ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแกรไฟต์

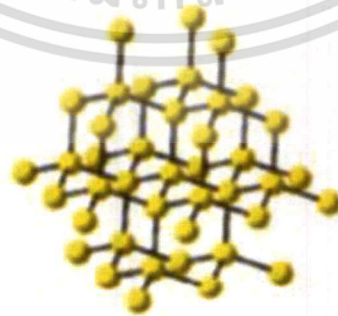
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ขอไปเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร (Diamond-Like Carbon) [25]

ซึ่งมีโครงสร้างใกล้เคียงกับเพชรแต่มีความเป็นระเบียบเชิงผลึกน้อยกว่าเพชร ส่วนสมบัติอื่นๆ เช่น ความแข็ง การนำความร้อน ความเร็วเสียงในตัวกลาง ความเป็นฉนวน การทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี การต้านทานรอยขีดข่วน ฯลฯ มีค่าใกล้เคียงกับเพชร และยังสามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเพชร ตลอดจนสามารถเตรียมบนวัสดุได้หลายชนิดทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายเช่น เคลือบบนหัวอ่านฮาร์ดดิส เคลือบบนเลนส์แว่นตาและเลนส์กล้องต่างๆ เคลือบบนแผ่นซีดี เพื่อทำหน้าที่ป้องกันรอยขีดข่วนและลดแรงเสียดทาน อันเป็นการยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ให้นานขึ้น เคลือบบนวัสดุจำพวกมีดกึ่ง มีดตัดดอกสว่าน เพื่อเพิ่มความแข็งและลดแรงเสียดทานทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นลดลง ใช้เป็นตัวระบายความร้อนในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เคลือบบนกระจกที่ใช้ในอาคารบ้านเรือนเพื่อให้แสงส่องผ่านได้มากขึ้น สามารถป้องกันไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนและการกัดกร่อนจากสารเคมี ทั้งนี้ยังช่วยให้ง่ายต่อการทำความสะอาดอีกด้วย

2.4.2 นาโนคาร์บอน (Nano Carbon) [26]

การจัดหมวดหมู่ของโครงสร้างนาโนคาร์บอนตามรูปที่ 2.6 เป็นฐานในการวิเคราะห์สถานะของโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น ฟลูออรีน และไดมอนด์ออกไซด์ ซึ่งแบ่งออกเป็น โครงสร้างแบบศูนย์มิติ และต่อมาคือ คาร์บอนนาโนทิวบ์ และแผ่นแกรไฟต์ เป็นอีกประเภทหนึ่งของ โครงสร้างแบบสองมิติ ตามลำดับ และเพชรเป็นที่รู้จักกันในโครงสร้างสามมิติ ในวิธีพื้นฐานในการจัดหมวดหมู่ของนาโนคาร์บอน ซึ่งเป็น ธรรมชาติที่ใช้ในการจัดหมวดหมู่ในรูปแบบของ พันธะเคมีโดยที่สอดคล้องกับ sp^3 sp^2 และ sp ไฮบริดออร์บิทัลของการโคจรของอะตอม โครงสร้างของนาโนคาร์บอนแสดงอยู่ในภาพที่ 2.6 ซึ่งมีรูปแบบของคาร์บอน 3 รูปแบบด้วยระดับจำนวนเต็มของพันธะคาร์บอนไฮบริดออร์บิทัล เป็นเพชร sp^3 แกรไฟต์ sp^2 และคาร์ไบด์ sp และรูปแบบของคาร์บอนอื่นๆ ทั้งหมดประกอบด้วยรูปแบบของทรานซิชั่น



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของนาโนคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 นาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ (Nanocrystalline diamond) [7-12]

ฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ประกอบไปด้วยผลึกเพชรที่มีขนาดเกรนในระดับนาโน ฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์มีคุณสมบัติโดดเด่น อาทิ ค่าความแข็งสูง ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานต่ำ ค่าเสถียรภาพทางอุณหภูมิสูงกว่าฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร ทนต่อรอยขีดข่วน ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี พื้นผิวของฟิล์มมีความเรียบและมีขนาดเกรนเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับโพลีคริสตัลไลน์ไดมอนด์ดังที่แสดงดังรูปที่ 2.7 นอกจากนี้ฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ยังสามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเพชร การสังเคราะห์ฟิล์มสามารถทำลงบนฐานรองได้หลากหลายชนิด เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลให้ฟิล์มสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลายด้าน เช่น สิ่งประดิษฐ์ทางด้านไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการเคลือบแข็งพื้นผิว เป็นต้น



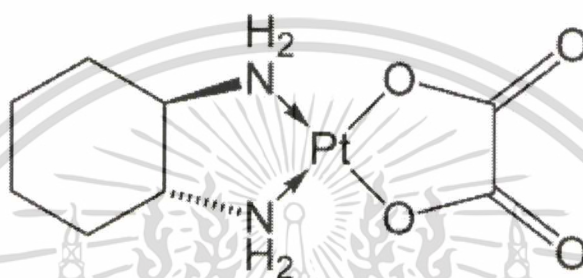
รูปที่ 2.7 (a) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์
(b) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของฟิล์มโพลีคริสตัลไลน์ไดมอนด์

2.5 พอลิไวนิลแอสีเตต (Polyvinyl acetate) [27,28]

พอลิไวนิลแอสีเตต (Polyvinyl acetate: PVA) เป็นพอลิเมอร์ที่มีแขนงหนาแน่นมากกว่าชนิดอื่น ๆ ตามรูปที่ 2.8 นั้นหมายความว่าโอลิเมอร์ชนิดนี้ มีลักษณะโมเลกุลแบบอะแทกติก (Atactic) ไม่มีความเป็นผลึกนั่นเองครับ จึงมีลักษณะอ่อนนิ่มมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับโอลิเมอร์ชนิดอื่นจนทำให้เป็นของเหลวข้นหนืด มีสีขุ่นขาว เมื่อแห้งจะใสมาก

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH, PVA, or PVAL) เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ โดยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติการก่อฟิล์ม การละลายของเหลว และการยึดติด (เป็นกาว) ที่ยอดเยี่ยมอีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน, น้ำมันหล่อลื่นชนิดหนาและตัวทำละลาย (โซลเว้นท์) ได้ดี โพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีความเค้นแรงดึงและความยืดหยุ่นสูงรวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูงและมีคุณสมบัติป้องกันกัการระเหยของกลิ่นและน้ำมันทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วยหากความชื้นสูงขึ้นน้ำก็จะถูกดูดซับได้มากขึ้น โดยน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็น

สารที่ทำให้พลาสติกนิ่ม (พลาสติกไซเซอร์) นั้นก็จะลดความเค้นแรงดึงลง แต่จะเพิ่มแรงยึดและแรงเฉือนให้มากขึ้น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้หมดอย่างรวดเร็ว และสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ โดยมีจุดหลอมละลายที่ 230 องศาเซลเซียส และที่ 180-190 องศาเซลเซียส สำหรับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์และได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากมันย่อยสลายได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างพอลิไวนิลแอสีเตต

2.6 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) [29]

น้ำปราศจากไอออน คือ น้ำที่ผ่านขบวนการขจัดไอออนของสารละลายทั้งหมด ทำให้ได้น้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากเกลือแร่ ไม่มีสารใดๆ หลงเหลืออยู่ในน้ำอีก มีเพียงแต่โมเลกุลของน้ำบริสุทธิ์ล้วนๆ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า น้ำ ดีมีน (Demineral Water) ไม่เหมาะสำหรับการดื่ม แต่มีประโยชน์อย่างมากในการทำยา เกษษกรรม เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ กระบวนการผลิตอาหาร

การผลิตน้ำปราศจากไอออน คือการกรองไอออนออกจากน้ำ โดยใช้เรซิน (Resin) เป็นตัวกรอง จึงต้องทำความเข้าใจกับเรซิน ที่ใช้ในขบวนการกรองแบบนี้ เรซินที่ใช้กันอยู่มี 3 ชนิดได้แก่

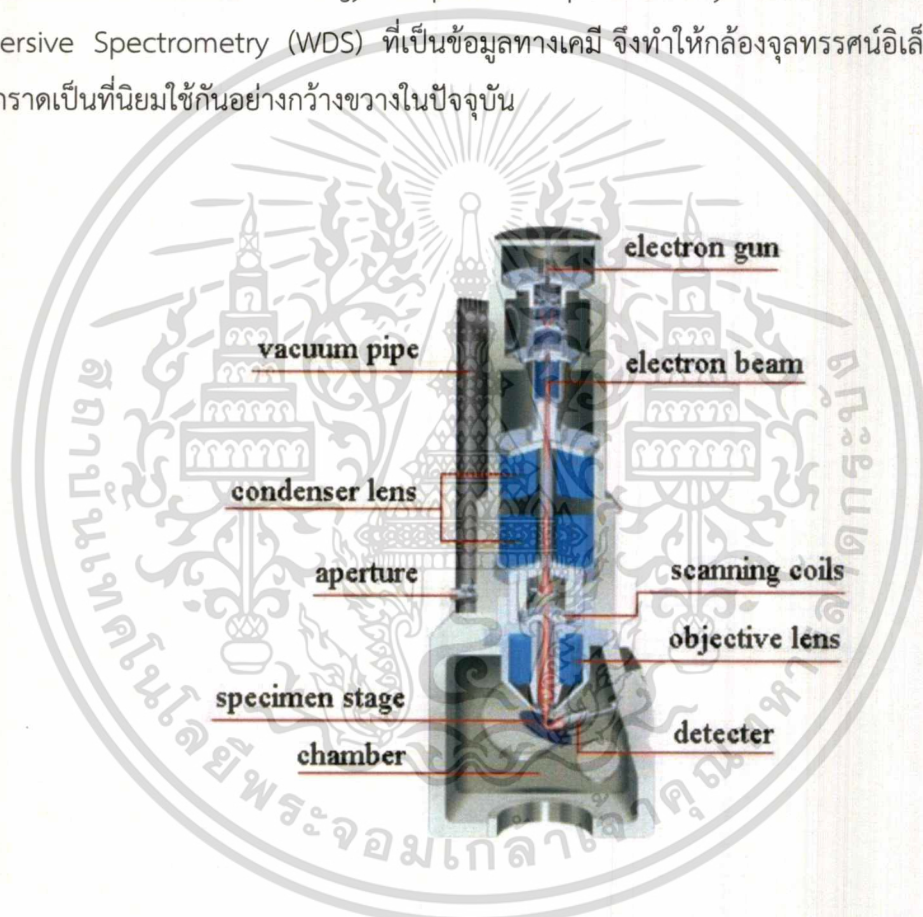
1. แคตไอออนเรซิน (Cation Resin) เป็นเรซินที่มีไอออนบวก (ประจุ+) เกาะอยู่บนพื้นผิวของเม็ด เรซิน เช่น H^+ ใช้ดักจับไอออนบวกของสารละลายที่อยู่ในน้ำ
2. แอนไอออนเรซิน (Anion Resin) เป็นเรซินที่มีไอออนลบ (ประจุ-) เกาะอยู่บนพื้นผิวของเม็ดเรซิน เช่น OH^- ใช้ดักจับไอออนลบของสารละลายที่อยู่ในน้ำ
3. มิกซ์เบดเรซิน (Mixed Bed Resin) เป็นแคตไอออนเรซิน ผสมกับ แอนไอออนเรซินใช้ดักจับทั้ง ไอออนบวก และลบ ที่หลงเหลือจากการกรองผ่านขบวนการกรองประจุบวกและลบใน

ขั้นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) [30]

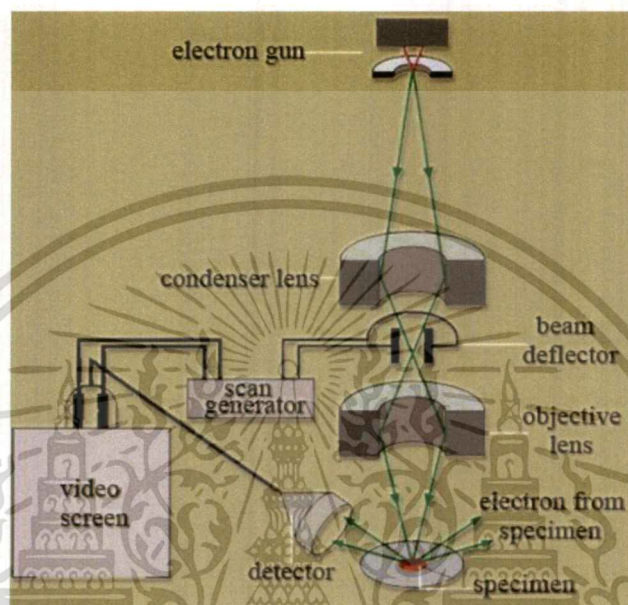
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รูปที่ 2.9) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3,000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100,000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



รูปที่ 2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

หลักการการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำ

อิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอตีพิมพ์ได้เลย แผนผังส่วนประกอบ และการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้ถูกแสดงดังรูปที่ 2.10

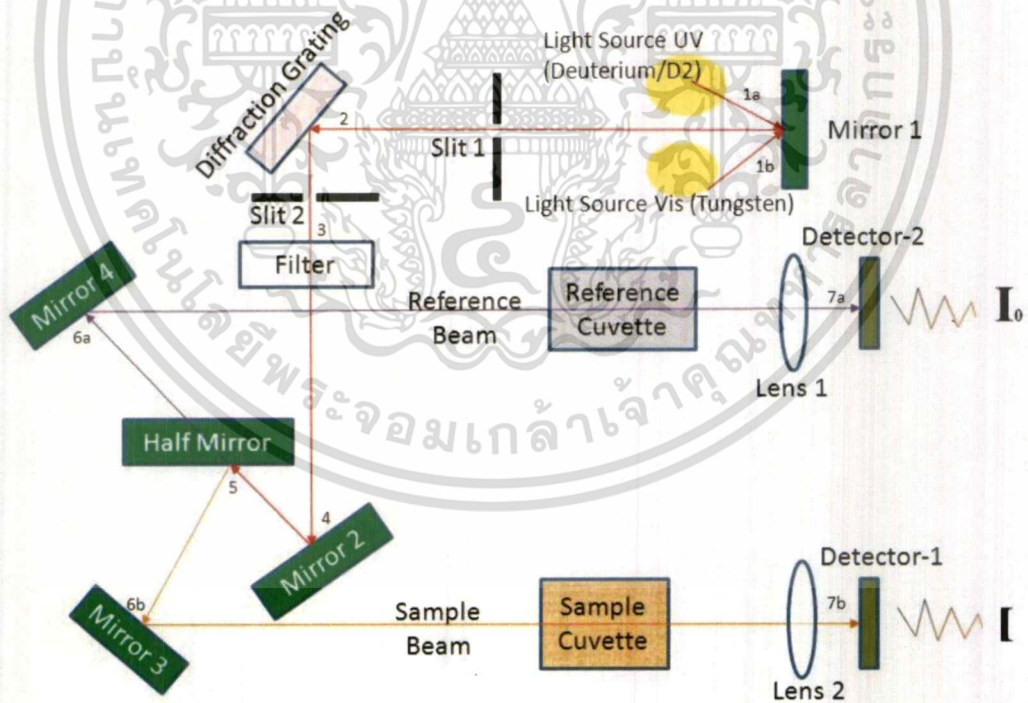


รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

2.8 เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer) [31]

เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง เป็นเครื่องมือที่นำเทคนิคการดูดกลืนแสงไปใช้งาน เครื่องมือนี้ทำหน้าที่ในการตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่านการสะท้อนจากตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดเครื่อง เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง โดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงเกรตติงหรือโมโนโครเมเตอร์เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง และเครื่องตรวจวัด แหล่งกำเนิดแสงจะต้องให้แสงคงที่อย่างต่อเนื่อง ที่นิยมใช้ คือ หลอดทังสเตนฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320 ถึง 2,500 นาโนเมตร สำหรับแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวี จะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอดดีฟิวซ์ที่เรียม ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 160 ถึง 375 นาโนเมตร แต่แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นหลายค่า ดังนั้นจึงต้องใช้โมโนโครเมเตอร์เป็นตัวกระจายแสงออก เพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียวตามที่ต้องการ หลังจากนั้นแสงความยาวคลื่นค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบควเวทท์ (Cuvettes) ซึ่งมีรูปร่างต่างๆ กันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างภายใน 1 เซนติเมตร (ซึ่งค่านี้เป็นค่าระยะทางเดินของแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างตามกฎของ Beer-Lambert) เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง บางรุ่นสามารถใช้หลอดทดลองเป็นควเวทท์ ได้ สำหรับ

คิวเวทท์ที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้นเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่สามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงแสงขาวเท่านั้น แสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านตัวอย่างมาถึงเครื่องตรวจวัด สำหรับเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ ได้แก่ PMT (Photomultiplier tube), Diode arrays และ CCDs (Charge Coupled Devices) เครื่องจะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้จะแสดงในรูปของกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนและค่าความยาวคลื่น เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ แบบลำแสงเดี่ยว และแบบลำแสงคู่ สำหรับเครื่องแบบลำแสงเดี่ยวเป็นเครื่องที่ใช้ลำแสงเดี่ยวจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยังตัวอย่างเครื่องมือนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวก และมีราคาไม่แพงมาก สำหรับเครื่องแบบลำแสงคู่ นั้นแสงจะถูกแยกออกเป็น 2 ลำ ก่อนที่จะไปตกลงบนตัวอย่าง โดยแสงลำหนึ่งจะใช้เป็นลำแสงอ้างอิงขณะที่อีกลำจะผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องมือที่เป็นแบบลำแสงคู่บางรุ่นจะมีเครื่องตรวจวัด 2 ตัว เพื่อที่จะตรวจวัดแสงอ้างอิงและแสงที่มาจากตัวอย่างได้พร้อมกัน แต่ในบางรุ่นจะมีเครื่องตรวจวัดเพียงตัวเดียว โดยแสงทั้งสองลำจะผ่านตัวจับคู่แสง ซึ่งจะทำหน้าที่กักแสงลำหนึ่งไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นเครื่องตรวจวัดจึงสามารถตรวจวัดความแตกต่างของแสงทั้งสองลำได้ตามที่แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 มุมสัมผัส (Contact Angle) [32,33]

การเปียก (Wetting) คือลักษณะของของเหลวที่จะยึดเกาะอยู่บนผิวของของแข็ง การที่ของเหลวจะเปียกบนของแข็งได้ดีหรือไม่นั้นจะเกี่ยวข้องกับแรงสองแรงหลักๆ ได้แก่ แรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) และแรงยึดติด (Adhesive force)

1. แรงเชื่อมแน่น คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกัน ในที่นี้คือแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเองเป็นหยด

2. แรงยึดติด คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงแรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็ง ซึ่งเป็นแรงที่ตรงข้ามกับแรงเชื่อมแน่นคือแรงยึดติดจะพยายามทำให้หยดของเหลวแตกออกจากกัน และกระจายแนบไปกับผิวของของแข็ง ถ้าพิจารณาน้ำกับวัสดุชนิดหนึ่งขณะที่น้ำเกาะอยู่บนผิวของของแข็งจะเกิดสภาพสมดุลของแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นถ้าแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นอย่างมาก น้ำจะกระจายแนบติดบนผิวของของแข็งในที่สุด ในทางตรงข้ามถ้าแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ น้ำจะไม่เกาะแต่จะหลุดออกจากผิว แล้วรวมกันเป็นหยดกลิ้งไปมาได้บนผิวของของแข็งเหมือนกับหยดน้ำบนใบบัวตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 รูปแสดงหยดน้ำบนใบบัว

สำหรับการพิจารณาการเปียกของของเหลวบนผิวของของแข็ง สภาพสมดุลของแรงสองแรงจะนำไปสู่ปริมาณที่นิยมใช้วัดความเปียกเรียกว่า มุมสัมผัส ซึ่งคือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกัน โดยเกณฑ์แบ่งการเปียกของเหลวบนของแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. การชอบน้ำแบบยิ่งยวด (Superhydrophilicity) หรือการเปียกอย่างสมบูรณ์ เกิดเมื่อมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวมีค่า 0 องศา ซึ่งเป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก

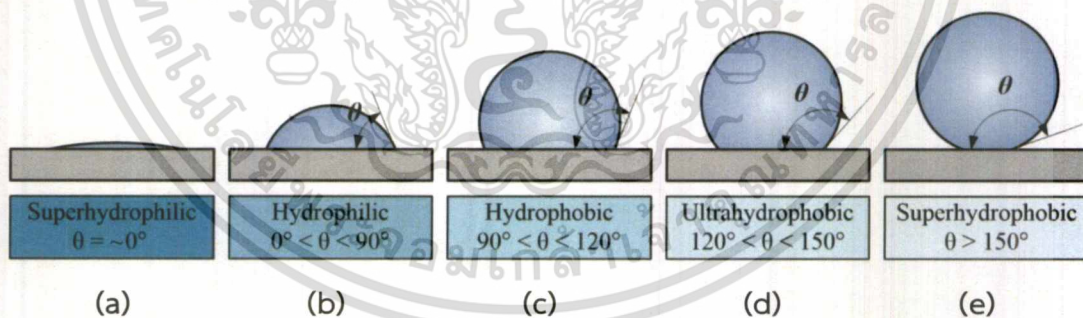
เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิวของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบางๆ ครอบคลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุดดังที่แสดงในรูป 2.13 (a) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การชอบน้ำ (Hydrophilicity) หรือการเปียกได้ดี เกิดเมื่อมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา ซึ่งของเหลวจะกระจายไปบนผิวของของแข็งได้เป็นบริเวณกว้างแต่ก็ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็งดังที่แสดงในรูป 2.13 (b)

3. การไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) หรือการเปียกยาก เกิดขึ้นเมื่อมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวมีค่าตั้งแต่ 90 ถึง 120 องศา โดยพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อของเหลวรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม และมีบริเวณเล็กๆ ที่ฐานของหยดน้ำที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของของแข็งดังที่แสดงในรูป 2.13 (c)

4. การไม่ชอบน้ำอย่างมาก (Ultrahydrophobicity) หรือการเปียกยากมาก เกิดขึ้นเมื่อมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวมีค่าตั้งแต่ 120 ถึง 150 องศา โดยพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างมากจะเกิดขึ้นเมื่อของเหลวรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม และมีบริเวณเล็กๆ ที่ฐานของหยดน้ำที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของของแข็งดังที่แสดงในรูป 2.13 (d)

5. การไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobicity) หรือการไม่เปียกเกิดขึ้นเมื่อมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวมีค่ามากกว่า 150 องศา โดยพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดจะเกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลมบริเวณที่ของเหลวแตะกับผิวของของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งจะเป็นบริเวณเล็กมากจนแทบจะเป็นจุดเมื่อเป็นแบบนี้ของเหลวจะสามารถกลิ้งไปมาบนพื้นผิวได้อย่างอิสระเหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบดังแสดงในรูป 2.18 (e)



รูปที่ 2.13 ประเภทของการเปียก (a) การชอบน้ำแบบยิ่งยวด (b) การชอบน้ำ (c) การไม่ชอบน้ำ (d) การไม่ชอบน้ำอย่างมาก (e) การไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในหัวข้อวิธีการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการสร้างเป่าคาร์บอน และขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสเปตเตอริง สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยจะประกอบไปด้วยหัวข้อหลักดังนี้ การจัดหาอุปกรณ์ การสร้างเป่าคาร์บอนจากแกรไฟต์ การสเปตเตอริง และการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง เป็นต้น

3.1 การจัดหาอุปกรณ์

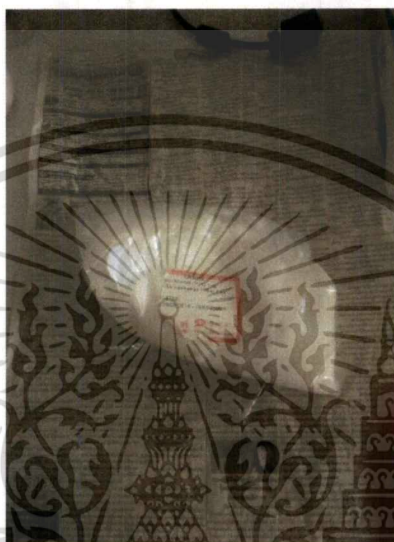
1. ผงแกรไฟต์จากรูปที่ 3.1 จัดจำหน่ายโดย บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด มีจุดเดือดอยู่ที่ 4,250 องศาเซลเซียส สามารถทนอุณหภูมิที่สูง นำไฟฟ้าได้ดี และนำความร้อน ความบริสุทธิ์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.1 ผงแกรไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอลิไวนิลแอสีเตต (Polyvinylacetate หรือ PVA) เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีแขนงหนาแน่นกว่าชนิดอื่นๆ ไม่มีกลิ่น และสามารถละลายน้ำได้ โดยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติการก่อฟิล์ม การละลายของเหลว การยึดติดที่ยืดหยุ่น และยังทนการกัดกร่อนของน้ำมันได้ดี มีความเค้นสูง และความยืดหยุ่นสูง หลังจากละลายแล้วทำให้แห้งจะมีความใสมาก พอลิไวนิลแอสีเตตที่ทำการจัดซื้อมาเพื่อทำการทดลองจะมีลักษณะเป็นเม็ดๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กาวพอลิไวนิลแอสีเตต

3. เครื่องซั่งดิจิตอลตามรูปที่ 3.3 รุ่น AS220.R2 ความละเอียด 10 มิลลิกรัม ถึง 220 กรัม ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน 0.1 มิลลิกรัม ค่าลิเนียร์ บวกลบ 0.2 มิลลิกรัม ระยะเวลาแสดงผล 3-5 วินาที ขนาดจาน 100 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงาน 10-40 องศาเซลเซียสขนาดเครื่อง 495 x 400 x 15 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5.4 กิโลกรัม พอร์ตเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งดิจิตอล

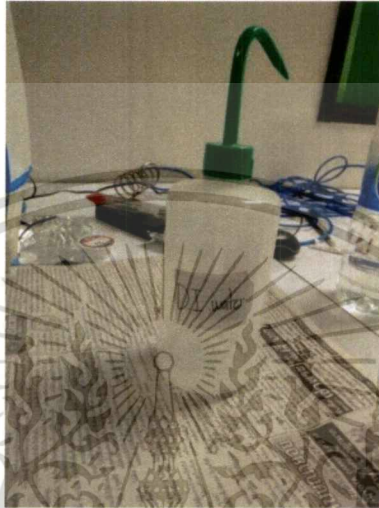
4. เครื่องให้ความร้อนและคนสาร (Hotplate Stirrer รุ่น HTS-1003) ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 3.4 โครงสร้างของเครื่องเป็นอลูมิเนียมหล่อ ป้องกันการเกิดสนิม เคลือบด้วยผงเคลือบสีอย่างดี ออกแบบให้มีความเสถียร สำหรับการใช้งานที่ความเร็วรอบสูง และสามารถควบคุมความเร็วได้ที่ 60-1,500 รอบต่อนาที ให้ค่าความนิ่งของการปรับได้ดี ด้วยการควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ มอเตอร์เป็นแบบลูกปืน ซึ่งให้ค่าความผิดพลาดน้อยมาก ตัวแผ่นให้ความร้อนด้านบนทำด้วยแสตนเลสสตีลเคลือบเซรามิค พร้อมอุปกรณ์ประกอบที่มาพร้อมเป็นก้านแสตนเลสยาว 25 เซนติเมตร ซึ่งติดอยู่ที่ฐานเครื่อง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 60-420 องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 50/60 เฮิรท์ ขนาด 20.5 x 26 x 11 เซนติเมตร ขนาดเพลทความร้อน 19 x 19 เซนติเมตร น้ำหนัก 2 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

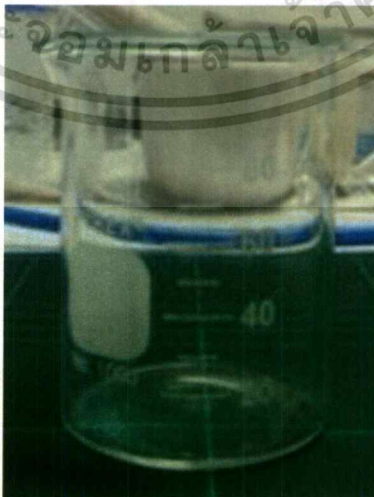
รูปที่ 3.4 เครื่องให้ความร้อนและคนสาร

5. น้ำปราศจากไอออนที่ถูกแสดงในรูปที่ 3.5 คือ น้ำที่ผ่านการกรองไอออนออกเพื่อให้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าน้อยที่สุด และเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงเพราะโมเลกุลที่เหลืออยู่จะมีเพียงโมเลกุลของน้ำ ไม่เหมาะแก่การดื่ม แต่เหมาะกับการทำยา เกษีขกรรม อุตสาหกรรมเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ กระบวนการผลิตอาหาร ซึ่งเหมาะกับการนำมาผสมเพื่อใช้ในการสร้างเป้าคาร์บอน



รูปที่ 3.5 น้ำปราศจากไอออน

6. บีกเกอร์ขนาด 80 มิลลิลิตร (รูปที่ 3.6) ทำมาจากโบโรซิลิเกต มีความแข็งแรงทนต่อการกระแทกมากกว่าเมื่อเทียบกับแก้วอ่อน และทนต่อความร้อน มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำเมื่อเทียบกับแก้วอ่อน ใช้งานได้ในอุณหภูมิสูงโดยไม่เปลี่ยนรูปร่าง และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีต่างๆ



รูปที่ 3.6 บีกเกอร์ขนาด 80 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลหรืออ้างถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. หลอดฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร (รูปที่ 3.7) ทำมาจากโพรซิลิกเกต มีความแข็งแรงทนต่อการกระแทก ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีต่างๆ ได้ดี และทนต่อความร้อนสามารถใช้ในการดูดสารที่ร้อนขึ้นมาได้



รูปที่ 3.7 หลอดฉีดยา

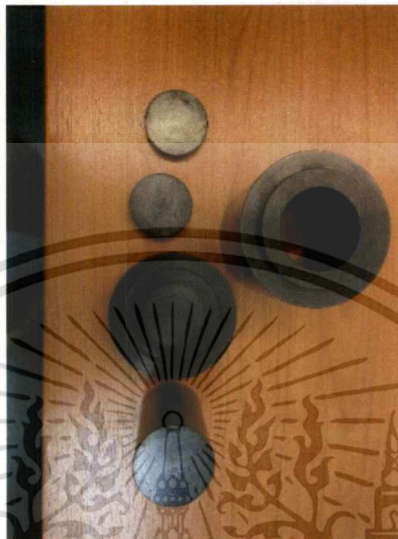
8. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (รูปที่ 3.8) เป็นแท่งที่ใช้พร้อมกับเครื่องให้ความร้อนใช้สำหรับกวนสารละลายที่บรรจุในปิกเกอร์หรือภาชนะอื่นๆ โดยมีขนาดที่ 25 x 8 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 แท่งแม่เหล็กกวนสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เบ้าอัด (รูปที่ 3.9) ไว้สำหรับใช้ในการใส่ผงแกรไฟต์ที่ผสมกับกาวพอลิไวนิลเอซีเตตแล้วลงไป ก่อนนำไปเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิค มีความสูง 90 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเบ้าไว้ใส่ผงแกรไฟต์ อยู่ที่ 50 มิลลิเมตร ทำมาจากเหล็กตันทำให้มีน้ำหนักมาก



รูปที่ 3.9 เบ้าอัด

10. แท่นอัดไฮดรอลิค (รูปที่ 3.10) ขนาด 30 ตัน รายละเอียดตัวเครื่อง แรงอัด 30 ตัน ความสูงรวม 1,730 มิลลิเมตร ความกว้างใช้งาน 560 มิลลิเมตร ความกว้างของตัวโครง 760 มิลลิเมตร ความกว้างรวม 1,000 มิลลิเมตร ความกว้างใช้งานด้านข้าง 200 มิลลิเมตร ความกว้างของตัวโครงด้านข้าง 280 มิลลิเมตร ความกว้างรวมด้านข้าง 770 มิลลิเมตร ขนาดของรูสลัก 32 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรูสลัก 133 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนกระบอก 75 มิลลิเมตร ระยะชักใช้งาน 150 มิลลิเมตร ระยะเปิดใช้งาน 830 มิลลิเมตร น้ำหนักรวม 420 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เครื่องอัดไฮดรอลิก

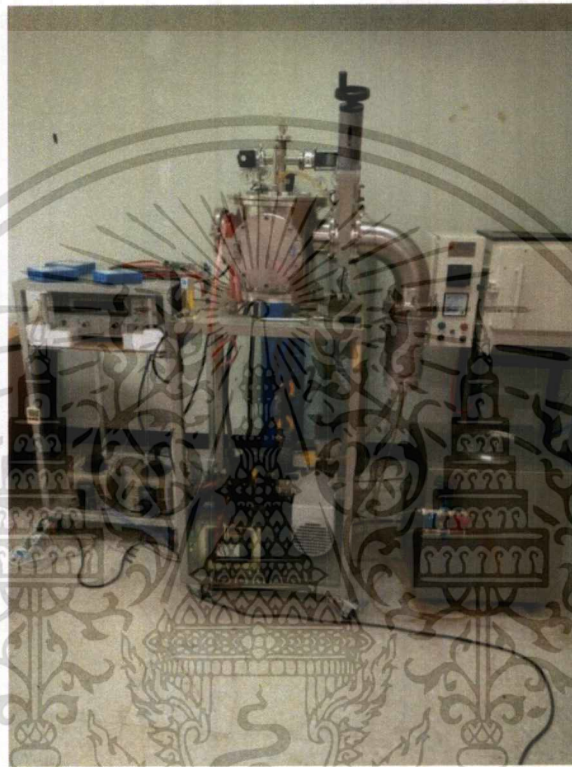
11. เครื่องแอนนีส (รูปที่ 3.11) ผลิตโดย บริษัท สมสิทธิ์ จำกัด สามารถให้ความร้อนสูงสุดถึง 1,400 องศาเซลเซียส สามารถเปลี่ยนบรรยากาศภายในให้เป็นสุญญากาศและบรรยากาศอื่นๆ ได้ ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ 1,500 วัตต์



รูปที่ 3.11 เครื่องแอนนีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เครื่องสปัตเตอร์ริง (รูปที่ 3.12) เครื่องที่ใช้ในการปลูกฟิล์มโดยมีหลักการคือการทำให้พลาสมาของก๊าซอาร์กอนแตกตัวเป็นไอออนและทำการดึงไอออนไปชนกับเป้าคาร์บอนทำให้อะตอมของคาร์บอนหลุดออกมาแล้วไปเคลือบบนฐานรองซิลิคอนและกระจก โดยมีอุปกรณ์ คือ ถังสุญญากาศ ปัมกลโรตารี เกทวาล์วระหว่างปั๊มแพร่ไอกับภาชนะสุญญากาศ ปั๊มแพร่ไอ วาล์วเข็ม เกจวัดความดัน ถังก๊าซอาร์กอน แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน เป็นต้น



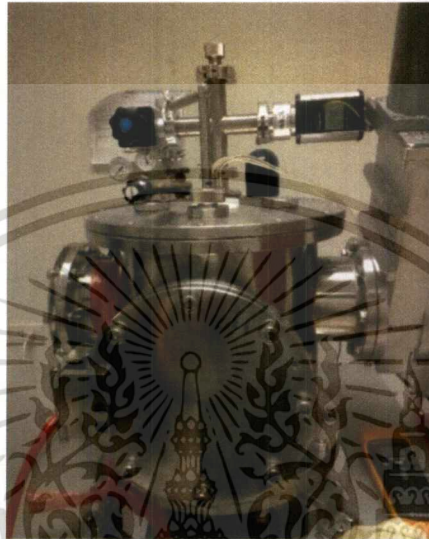
รูปที่ 3.12 เครื่องสปัตเตอร์ริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องสปีดเตอริง

1. ถังสุญญากาศ

ถังสุญญากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกขนาด 335 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในขนาด 257.4 มิลลิเมตร และถังสุญญากาศมีความสูงขนาด 300 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ถังสุญญากาศ

2. ปั๊มกลโรตารี

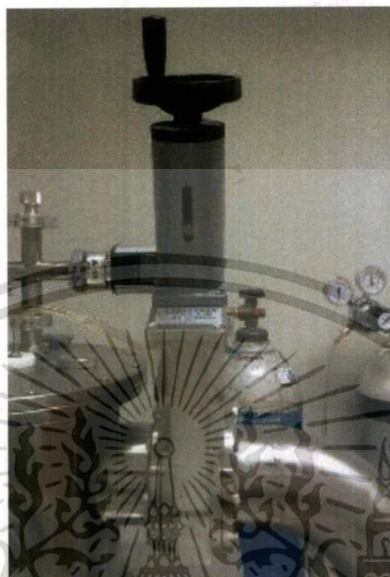
ปั๊มโรตารี เบอร์ 8 Two state ของบริษัท Edwards ทำหน้าที่ในการสูบอากาศออกจากถังสุญญากาศ ความเร็วการปั๊มอยู่ที่ 8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ปั๊มกลโรตารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เกทวาล์วระหว่างปั๊มแพร่ไอกับภาชนะสุญญากาศ
 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการการปั๊มอากาศจากถังสุญญากาศออกของปั๊มแพร่ไอ โดยจะ
 เชื่อมต่อระหว่างถังสุญญากาศและปั๊มแพร่ไอ ตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เกทวาล์ว

4. ปั๊มแพร่ไอ

ปั๊มแพร่ตามรูปที่ 3.16 ไอรุ่น WDP-4Z ของบริษัท WOOSUNG VACUUM มีกำลังไฟฟ้า
 700 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 220 โวลต์ ระบายความร้อนด้วยระบบไหลเวียนน้ำเย็นและใช้น้ำมันรุ่น
 DC704EU ของบริษัท Provac มีความสามารถสร้างความดันต่ำสุดอยู่ที่ 10^{-7} ทอร์ ความเร็วในการ
 สูบอากาศออกคือ 570 ลิตรต่อวินาที บรรจุน้ำมันสำหรับใช้สูบอากาศออกได้ 150 มิลลิลิตร

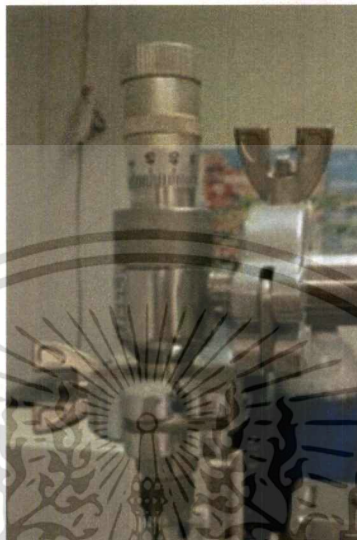


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเปิดเผยให้คนอื่นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 ปั๊มแพร่ไอรุ่น WDP-4Z ของบริษัท WOOSUNG VACUUM

5. วาล์วเข็ม

วาล์วเข็ม (รูปที่ 3.17) ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของก๊าซเข้าอาร์กอนไปในถึงสุญญากาศโดยมีความละเอียดสูงกว่าการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้วาล์วที่ตัวถังสุญญากาศ



รูปที่ 3.17 วาล์วเข็ม

6. เกจวัดความดัน

เกจวัดความดัน (รูปที่ 3.18) รุ่น Smartline ใช้วัดความดันในถึงสุญญากาศสามารถวัดความดันได้ตั้งแต่ความดันบรรยากาศถึง 10^{-7} มิลลิบาร์ ขนาดหน้าแปลนเชื่อมต่อสแตนเลส NW-25 หน้าปัดบอกความดันแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.18 เกจวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ถังก๊าซอาร์กอน

ก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซเฉื่อยที่ใช้ในการทดลอง โดยจะถูกป้อนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ ในขณะที่ทำการสเปกโตรริง โดยเชื่อมต่อกับวาล์วที่ตัวถังและเชื่อมต่อไปยังตัวควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน โดยจะมีวาล์วเปิดอยู่ที่ตัวถังก๊าซอาร์กอน (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 3.19 ถังบรรจุก๊าซอาร์กอน

8. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (รูปที่ 3.20) ยี่ห้อ GW Instek เครื่องจ่ายไฟ รุ่น GPR-100H05D สามารถปรับความต่างศักย์ให้คงที่ได้ตั้งแต่ 0-1,000 โวลต์ และมีการจำกัดกระแสตั้งแต่ 0-0.5 แอมแปร์ ค่าเรกูเลชันดีเยี่ยม 0.01% ทำงานได้ทั้งโหมดแรงดันคงที่ และโหมดกระแสคงที่ ค่ารีปเปิ้ลและนอยส์ต่ำ ระบบป้องกันโหลดเกิน และป้องกันสลับขั้ว จอแสดงผล LED 3-1/2 หลัก 0.5 นิ้ว สำหรับงานทดสอบอายุวัสดุและผลิตภัณฑ์ ระบบตัดวงจรเมื่อแรงดันเกินหรือกระแสเกิน ใช้ตัวปรับแบบหมุนที่ละเอียด 10 รอบ

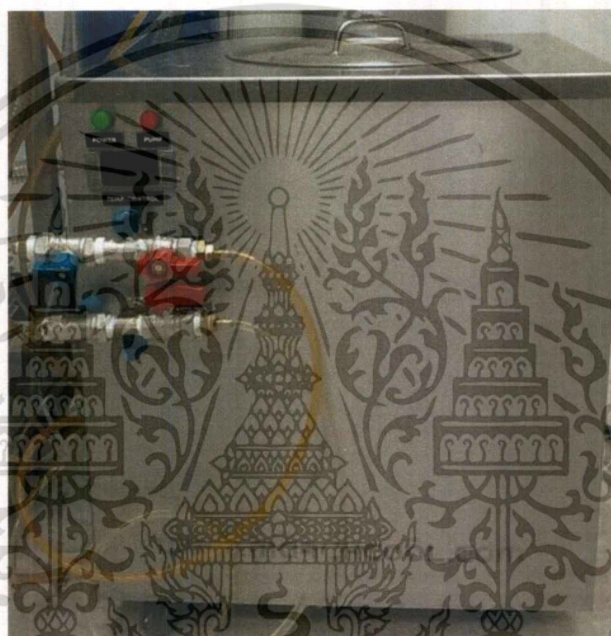


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการ และผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ GW Instek รุ่น GPR-100H05D

9. เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

ตัวอ่างภายนอกทำจากโลหะไร้สนิม ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ขนาดโครงภายนอก: กว้าง x ลึก x สูง: 47 x 42 x 51 เซนติเมตร ปริมาตรอ่างน้ำรูปทรงกระบอกขนาดสูงสุด 15 ลิตร (น้ำเต็มอ่างใช้งานจริงจะใช้น้ำเพียง 13-14 ลิตร เหมาะสมที่สุด) ป้อนน้ำมีอัตราการไหลประมาณ 6 ลิตร/นาที สามารถทำความเย็นได้ในช่วง (5 ถึง 25 องศาเซลเซียส) ใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 1/2 แรงม้า น้ำยาทำความเย็นชนิด Non-CFC ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต 15 แอมป์ ซึ่งเครื่องทำความเย็นหมุนเวียนได้ถูกแสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน ยี่ห้อ MARCH COOL รุ่น Small Cooling Bath 5000 BTU

3.2 การสร้างเป้าคาร์บอนจากแกรไฟต์

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการสร้างเป้าคาร์บอนโดยเป้าคาร์บอนจะถูกทำจากผงแกรไฟต์ที่ใช้กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำปราศจากไอออนเป็นตัวประสาน หลังจากนั้นเป้าคาร์บอนจะอัดให้แน่นด้วยแรงอัด 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเป้าจะถูกนำไปอบด้วยความร้อนเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อให้มีความแข็งแรงเหมาะสำหรับการสปัตเตอร์ อุนทุมสำหรับการอบด้วยให้ความร้อนถูกกำหนดอยู่ในช่วง 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส

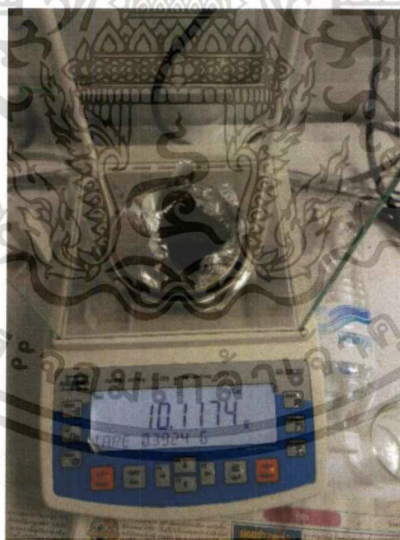
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขสำหรับการสร้างเป่าคาร์บอน

แกรไฟต์	10 กรัม
กาวพอลิไวนิลเอซีเตต	10 เปอร์เซ็นต์
น้ำปราศจากไอออน	5 มิลลิลิตร
เวลาในการบดสาร	30 นาที
แรงอัด	3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ระยะเวลาในการอบด้วยความร้อน	8 ชั่วโมง
อุณหภูมิสำหรับการอบด้วยความร้อน	200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 และ 600 องศาเซลเซียส

3.2.1 ขั้นตอนสำหรับการอัดเป่าจากแกรไฟต์

1. นำพอยล์มาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 9×9 เซนติเมตร แล้วนำมาทำเป็นเป็นถ้วยลงแล้วนำไปชั่งในเครื่องชั่งดิจิตอลและกดเครื่องชั่งให้น้ำหนักที่ชั่งเป็น 0 กรัม แล้วนำผงแกรไฟต์มาใส่ในถ้วยพอยล์ที่นำไปชั่งโดยจะใส่ผงแกรไฟต์ไปจะได้ประมาณ 10 กรัม ตามรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การชั่งแกรไฟต์

2. นำผงแกรไฟต์ที่ชั่งเสร็จแล้วมาใส่ถ้วยบดแล้วทำการบดให้ละเอียดโดยใช้เวลาในการบดผงแกรไฟต์ 10-20 นาที โดยยิ่งบदनานขึ้นจะทำให้ผงแกรไฟต์ละเอียดมากขึ้น ตามรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 การบดแกรไฟต์

3. นำพอยล์มาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 6×6 ซม. แล้วนำมาทำเป็นเหมือนถ้วยลองแล้วนำไปชั่งในเครื่องชั่งดิจิตอลและกวดเครื่องชั่งให้น้ำหนักที่ชั่งเป็น 0 กรัม แล้วนำกาวพอลิไวนิลแอสีเตตมาใส่ในถ้วยพอยล์ที่นำไปชั่งโดยจะกาวพอลิไวนิลแอสีเตตไปจะได้ประมาณ 0.5 กรัม เพื่อผสมกับน้ำปราศจากไอออนให้ได้สัดส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ ภาพถ่ายขณะทำการชั่งกาวพอลิไวนิลแอสีเตตได้ถูกแสดงดังรูปที่ 3.24



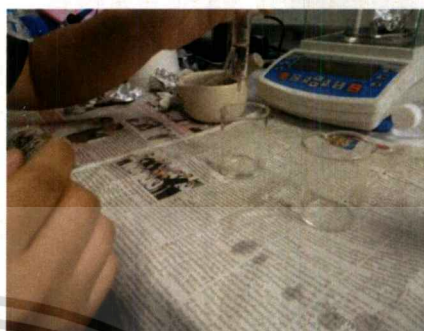
รูปที่ 3.24 การชั่งกาวพอลิไวนิลแอสีเตต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำน้ำปราศจากไอออนมาใส่บีกเกอร์ใบแรกแล้วนำหลอดฉีดยามาดูดน้ำปราศจากไอออนให้ได้ 5 มิลลิลิตร และนำไปใส่ในบีกเกอร์อีกใบ ตามรูปที่ 3.25 (a) และ (b) ตามลำดับ



(a)



(b)

รูปที่ 3.25 (a) การดูดน้ำปราศจากไอออนใส่เข็มฉีดยา (b) การนำน้ำที่ดูดใส่ในบีกเกอร์

5. นำกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ซั่งเสร็จแล้วมาใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำปราศจากไอออนอยู่ 5 มิลลิลิตร และนำแท่งคนสารมาใส่ไว้ข้างในบีกเกอร์แล้วนำฟอยล์มาปิดหุ้มเอาไว้ แล้วนำไปวางไว้บนเครื่องให้ความร้อน และทำการล็อกด้วยที่จับ ทำการเปิดเครื่องให้ความร้อน โดยให้ความร้อนระดับ 5 และทำการหมุนแท่งคนสารโดยจะทำการกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายเข้ากับน้ำปราศจากไอออน ตามรูปที่ 3.26 (a) และ (b)



(a)



(b)

รูปที่ 3.26 (a) การผสมกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(b) การเปิดเครื่องให้ความร้อนและคนสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำกาวพอลิไวนิลเอซีเตตที่ทำการผสมกับน้ำปราศจากไอออนเสร็จแล้วมาผสมกับผงแกรไฟต์ที่ทำการบดเสร็จแล้วโดยทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันให้หมด ตามรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การผสมกาวที่ละลายกับผงแกรไฟต์

7. นำผงแกรไฟต์ที่ผสมเข้ากับกาวแล้วมาเทใส่ลงในเบ้าอัดโดยจะทำการเกลี่ยให้เรียบก่อน แล้วทำการใส่แท่งอัดลงไป ก่อนที่จะนำเบ้าอัดเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิคต่อไป ตามรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การนำผงแกรไฟต์เข้าเบ้าอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 8. นำตัวเบ้าไปวางบนฐานรองที่เป็นแท่งเหล็กแล้วใช้เครื่องไฮดรอลิคกดอัดเข้าไปด้วย
 แรงอัดประมาณ 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยจะอัดซ้ำ 2-3 ครั้งเพื่อให้เป่าคาร์บอนเป็นรูปทรง

สวยงามและเนื้อของตัวเป่าคาร์บอนมีความแน่นมากขึ้น การนำเข้าอัด ไปอัดกับเครื่องไฮดรอลิคได้ถูก แสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การนำเข้าอัดไปอัดกับเครื่องไฮดรอลิค

3.2.2 ขั้นตอนสำหรับการอบเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นด้วยความร้อน

1. นำเป่าคาร์บอนที่อัดเสร็จแล้วมาวางบนฐานรองเซรามิคดังรูปที่ 3.30 (a) ก่อนจะนำเข้าเตาแอนนูลดังรูปที่ 3.30 (b) เพื่อไปอบที่อุณหภูมิที่ระหว่าง 200-600 องศาเซลเซียส ทำการปิดฝาเตาแอนนูลก่อนที่จะทำการเปิดเครื่องแอนนูล ตามรูปที่ 3.30 (a) และ (b)



(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.30 (a) เป่าที่อัดวางบนฐานรอง (b) นำเป่าเข้าเตา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดเครื่องโดยหมุนปุ่มจากลูกศรชี้ที่ OFF ไปที่ ON และตัวเครื่องจะมีไฟสีเขียวขึ้นมาดังรูปที่ 3.31 ซึ่งแสดงว่าเครื่องกำลังทำงานอยู่ ทำการรอนเสียงเครื่องเงียบแล้วจะไปทำการตั้งค่าการให้ความร้อนต่อไป



รูปที่ 3.31 การเปิดเครื่องแอนนีส

3. กดปุ่ม SET จนขึ้นตามรูปที่ 3.32 แล้วตั้งอุณหภูมิที่ 200-600 องศาเซลเซียส (ตัวเลขจะเป็นตัวบอกอุณหภูมิ) โดยกดลูกศรทางซ้ายจะเป็นการเลือกเข้าไปตั้งค่าอุณหภูมิ หลักของตัวเลข โดยจะเริ่มจากหลักหน่วยไปหลักสิบ และไปหลักร้อย กดลูกศรขึ้นหรือลง เพื่อเพิ่มและลดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.32 การตั้งอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กดปุ่ม SET อีกครั้งเป็นการตั้งค่าเวลาตามรูปที่ 3.33 ให้อุณหภูมิเพิ่มถึงไปถึงค่าที่เรา กำหนดไว้ว่าต้องการใช้เวลาเท่าไร โดยกดลูกศรทางซ้ายจะเป็นการเลือกเข้าไปตั้งค่าเวลาโดยเลข ข้างหน้าจุดจะเป็นเลขบอกชั่วโมง ส่วนหลังจุดจะเป็นเลขบอกนาที



รูปที่ 3.33 การตั้งเวลา

5. การตั้งกำลังไฟฟ้าที่จะใช้ในการให้ความร้อนโดยจะตั้งกำลังไฟฟ้าไว้ที่ 100 วัตต์ตามรูป ที่ 3.34 โดยกดลูกศรทางซ้ายจะเป็นการเลือกเข้าไปตั้งค่ากำลังไฟฟ้า และลูกศรขึ้นลงจะใช้ในการเพิ่ม ลดกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.34 การตั้งกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กด SET เป็นการเซ็ทช่วงที่ 2 ตามรูปที่ 3.35 เราจะทำการตั้งค่าอุณหภูมิโดยตั้งค่าให้อุณหภูมิเท่ากับการเซ็ทชุดที่ 1 แล้วทำการตั้งค่าเวลาที่จะใช้ในการอบให้ความร้อนแก่เป่าคาร์บอน และทำการตั้งค่างำลังไฟฟ้าที่ใช้ไว้ที่ 100 วัตต์



รูปที่ 3.35 การตั้งอุณหภูมิให้คงเดิม

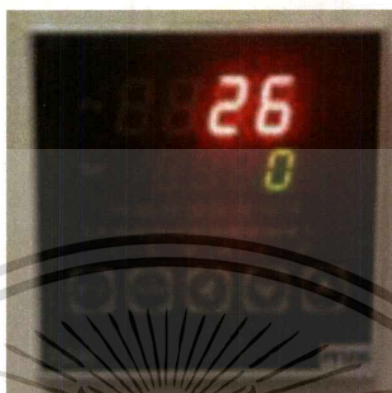
7. กดปุ่ม SET จนขึ้นตามรูปที่ 3.36 จะเป็นการเซ็ทครั้งที่ 3 โดยผู้วิจัยจะทำการตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 0 องศาเซลเซียส แล้วทำการตั้งค่าเวลาไว้ที่ 0 ชั่วโมง และทำการตั้งค่างำลังไฟฟ้าที่ใช้ไว้ที่ 0 วัตต์



รูปที่ 3.36 รูปการ SET ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กดปุ่ม SET ให้ขึ้นตามรูปที่ 3.37 แล้วทำการกด SET เพื่อตรวจดูว่าอุณหภูมิ เวลา และกำลังไฟฟ้าที่ตั้งค่าไปถูกต้องตามที่ต้องการ แล้วทำการกดปุ่ม SET ให้หน้าจอแสดงผลกลับมาตามรูป 3.37



รูปที่ 3.37 ภาพก่อนกด SET ให้ความร้อน

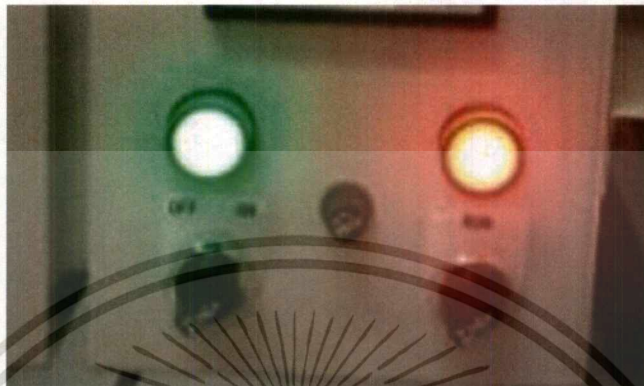
9. กดปุ่ม SET กับปุ่มลูกศรขึ้นพร้อมกันแล้วรอประมาณ 2-3 นาที เพื่อให้หน้าจอแสดงผลมีไฟสีเขียวขึ้นที่ขีดด้านล่างตามรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 ไฟที่ขึ้นหลังกด SET กับลูกศรขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. หมุนปุ่ม RUN จะมีไฟสีแดงขึ้นตามรูปที่ 3.39 แสดงว่าเครื่องกำลังทำการอบให้ความร้อนแก่เป่าคาร์บอนอยู่ แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้ 1 คืนก่อนนำเป่าคาร์บอนออกจากเตาแอนนิลและทำการปิดปุ่ม RUN และหมุนปุ่มจาก ON ไปที่ OFF



รูปที่ 3.39 หมุนปุ่ม RUN เพื่อเปิดให้ความร้อน

3.2.3 ลักษณะของเป่าคาร์บอนหลังถูกอบด้วยความร้อน

1. ตัวเป่าคาร์บอนที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีลักษณะรูปร่างกลม และเป็นสีดำ ผิวของเป่าคาร์บอนจะเรียบเนียนตามที่แสดงในรูปที่ 3.40 และตัวเป่าคาร์บอนมีความแข็งแรงทนทานไม่แตกหักง่ายเหมาะแก่การนำไปใช้ในการสร้างฟิล์มบาง โดยในกระบวนการสร้างฟิล์มบางพลาสติกที่เกิดจากการใช้เป่าขึ้นนี้จะมีความเสถียรใกล้เคียงกับเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อเข้ามามากที่สุด



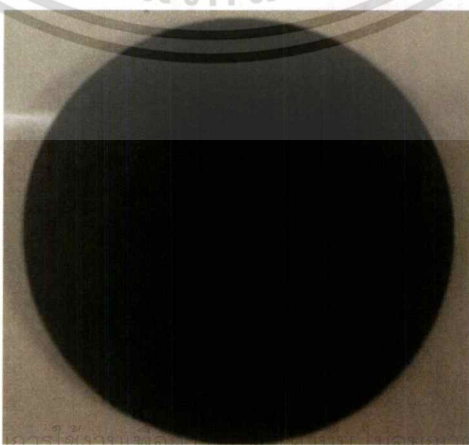
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.40 เป่าที่อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวเป่าคาร์บอนที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส มีลักษณะรูปร่างกลม และเป็นสีดำ ผิวของเป่าคาร์บอนจะเรียบเนียนไม่มากตามที่แสดงในรูปที่ 3.41 และตัวเป่าคาร์บอนมีความแข็งแรงทนทานไม่แตกหักง่าย แต่ทว่ากระบวนการสร้างฟิล์มบางพบว่าพลาสติกที่เกิดจากการใช้เป่าคาร์บอนชิ้นนี้จะมีความเสถียรน้อยกว่าเป่าคาร์บอนที่ถูกอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส ดังนั้นเป่าคาร์บอนชิ้นนี้จึงไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการสร้างฟิล์มบาง เนื่องจากความไม่เสถียรขณะใช้งาน



รูปที่ 3.41 เป่าที่อบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

3. ตัวเป่าคาร์บอนที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ตัวเป่าจะมีลักษณะรูปร่างกลมและผิวของตัวเป่าคาร์บอนจะเรียบตามที่แสดงในรูปที่ 3.42 แต่ตัวเป่าคาร์บอนจะเปราะแตกหักได้ง่ายจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการสร้างฟิล์มบางเพราะจะทำให้เกิดฝุ่นผงในถังสุญญากาศ

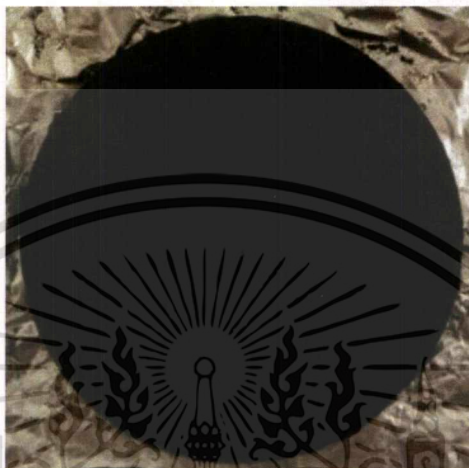


รูปที่ 3.42 เป่าที่อบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัวเป่าคาร์บอนที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ตัวเป่าคาร์บอนมีสีดำ รูปร่างกลมและผิวของตัวเป่าไม่เรียบตามที่แสดงในรูปที่ 3.43 ตัวเป่าคาร์บอนจะเปราะแตกหักง่ายเนื่องจากผิวของตัวเป่าคาร์บอนไม่เรียบจึงไม่เหมาะจะนำไปใช้ในการสร้างฟิล์มบาง เพราะจะทำให้เกิดฝุ่นผงในถังสุญญากาศ



รูปที่ 3.43 เป่าที่อบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

5. ตัวเป่าคาร์บอนที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ตัวเป่าคาร์บอนมีสีดำ รูปร่างกลม ผิวของตัวเป่าไม่เรียบ และมีรอยแตกที่ตัวเป่าคาร์บอนตามที่แสดงในรูปที่ 3.44 และตัวเป่าคาร์บอนจะเปราะแตกหักง่ายมากไม่เหมาะจะนำไปใช้ในการสร้างฟิล์มบางเพราะไม่สามารถนำไปใส่ที่หัวแมกนีตรอนแล้วนำไปใช้เป็นเป่าเพื่อการปลูกฟิล์มได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.44 เป่าที่อบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ตัวเป่าคาร์บอนที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ตัวเป่าคาร์บอนมีสีดำ รูปร่างกลม และตัวเป่าคาร์บอนแตกร้าวตามที่แสดงในรูปที่ 3.45 จึงไม่สามารถนำไปใช้ในการสร้างฟิล์มบางได้



รูปที่ 3.45 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

7. ตัวเป่าคาร์บอนที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ตัวเป่าคาร์บอนมีสีน้ำตาล รูปร่างกลม ผิวของตัวเป่าคาร์บอนจะไม่เรียบ และตัวเป่าคาร์บอนมีรอยแตกตามที่แสดงในรูปที่ 3.46 และอ่อนนุ่มมากซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการระเหยออกไปหมดของกาวพอลิไวนิลเอซีเตต จึงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในการสร้างฟิล์มบางได้



รูปที่ 3.46 เป้าที่อบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสปีดเตอริงฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์

ฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ได้ถูกจัดเตรียมด้วยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง โดยฐานรองที่ใช้สำหรับรองรับการปลูกฟิล์มคือ กระจก และซิลิคอน ความดันตั้งต้นภายในถังสุญญากาศได้ถูกกำหนดให้ต่ำกว่า 6.5×10^{-5} มิลลิบาร์ หลังจากนั้นก๊าซอาร์กอนที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที จะถูกถ่ายเทเข้าสู่ถังสุญญากาศ ขณะทำการเคลือบฟิล์มความดันภายในถังสุญญากาศจะถูกทำให้คงไว้ที่ประมาณ 2×10^{-2} มิลลิบาร์ ระยะเวลาในการเคลือบฟิล์มได้ถูกกำหนดไว้ที่ 4 ชั่วโมง โดยรายละเอียดเงื่อนไขสำหรับการปลูกฟิล์มโดยเป้าที่จัดซื้อและเป้าที่สร้างขึ้นได้ถูกจัดแสดงในตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขสำหรับการปลูกฟิล์มโดยเป้าที่จัดซื้อ

ความดันตั้งต้น	ต่ำกว่า 6.5×10^{-5} มิลลิบาร์
ความดันขณะสปีดเตอริง	2.27×10^{-2} มิลลิบาร์
กระแสไฟฟ้า	0.026 แอมแปร์
แรงดันไฟฟ้า	500 โวลต์
อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน	5 มิลลิลิตรต่อนาที
เวลาในการปลูกฟิล์ม	4 ชั่วโมง
ประเภทของฐานรอง	กระจก และซิลิคอน

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขสำหรับการปลูกฟิล์มโดยเป้าที่สร้างขึ้น

ความดันตั้งต้น	6.5×10^{-5} มิลลิบาร์
ความดันขณะสปีดเตอริง	2.12×10^{-2} มิลลิบาร์
กระแสไฟฟ้า	0.030 แอมแปร์
แรงดันไฟฟ้า	500 โวลต์
อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน	5 มิลลิลิตรต่อนาที
เวลาในการปลูกฟิล์ม	4 ชั่วโมง
ประเภทของฐานรอง	กระจก และซิลิคอน

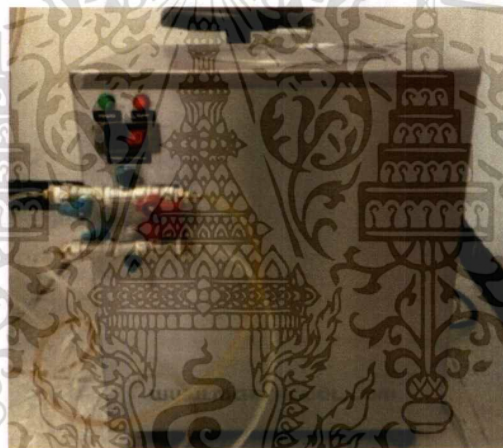
3.3.1 ขั้นตอนการสปีดเตอริง

1. กระจกสไลด์และซิลิคอนจะถูกตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีขนาดประมาณ 1×3

เซนติเมตร

2. ทำความสะอาดกระจกสไลด์และซิลิคอนด้วยอะซิโตน โดยนำแผ่นกระจกที่และซิลิคอนไม่ผ่านการตัด ทั้งสี่ชิ้นนี้มาแช่ในอ่างที่ใส่อะซิโตน และล้างด้วยน้ำสะอาดจนสะอาดทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ตัดตามขนาดที่กำหนดมาใส่ พร้อมทั้งใช้เครื่องอัลตราซาวด์ช่วยในการสั่นเป็นเวลา 5 นาที

3. ทำความสะอาดกระจกสไลด์และซิลิคอนด้วยเอทานอล พร้อมทั้งใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วยในการสั่นเป็นระยะเวลา 5 นาที
4. ทำความสะอาดกระจกสไลด์และซิลิคอนด้วยน้ำปราศจากไอออน พร้อมทั้งใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วยในการสั่นเป็นเวลา 5 นาที
5. นำกระจกสไลด์และซิลิคอนมาพักให้แห้งบนแผ่นฟอยล์และใช้ไดร์เป่าผมเป่าเพื่อให้แห้งอย่างรวดเร็ว
6. กำหนดระยะห่างระหว่างแท่นวางกระจกสไลด์กับหัวแมกนีตรอนที่ระยะ 7 เซนติเมตร
7. นำกระจกสไลด์และซิลิคอนที่ทำความสะอาดไปวางบนแท่นวางฐานรองพร้อมทำการปิดฝาถึงสุญญากาศ
8. เปิดระบบน้ำทำความเย็นโดยกดปุ่ม open สีเขียว และกดเปิดระบบหมุนเวียนน้ำโดยกดปุ่มสีแดง และรอนอุณหภูมิลดลงจนได้ประมาณ 14-15 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.47 แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น

9. เปิดเกจวัดความดัน
10. เปิดปั๊มกลโรตารีแล้วทำการสับสวิทช์ให้ปั๊มกลโรตารีดูดอากาศจากปั๊มแพร่ไอโดย ในขณะเดียวกันก็ทำการเปิดปั๊มแพร่ไอไปด้วย แล้วทำการปั๊มอากาศทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที
11. สับสวิทช์ปั๊มกลโรตารีให้ไปดูดอากาศจากถังสุญญากาศออกโดยกำหนดให้ความดันขั้นต่ำในถังสุญญากาศอยู่ที่ประมาณ 4×10^{-2} มิลลิบาร์
12. สับสวิทช์ปั๊มกลโรตารีให้ทำการดูดอากาศจากปั๊มแพร่ไอ และทำการเปิดวาล์วเกจ เพื่อให้ปั๊มกลโรตารีทำการสูบอากาศร่วมกับปั๊มแพร่ไอ หลังจากนั้นรอนจนกระทั่งความดันพื้นฐานภายในถังสุญญากาศมีค่าน้อยกว่า 7×10^{-5} มิลลิบาร์
13. เปิดวาล์วที่ถึงก๊าซอาร์กอน จากนั้นเปิดระบบควบคุมการไหลของก๊าซด้วยเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

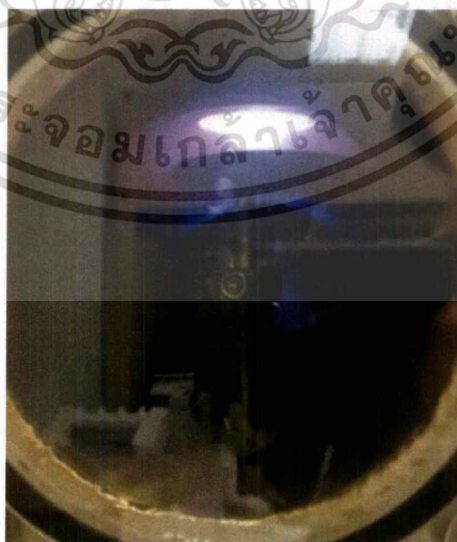
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขและต้องแจ้งองค์การเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เปิดวาล์วเข็มเพื่อให้ก๊าซอาร์กอนไหลเข้าไปในถังสุญญากาศ เป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาทีโดยกำหนดอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเป็น 5 มิลลิลิตรต่อนาที
15. ค่อยๆ ปรับเกจวาล์วเพื่อควบคุมให้ความดันภายในถังสุญญากาศอยู่ที่ 2.25×10^{-2} มิลลิบาร์
16. หลังจากนั้นทำการเปิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยตั้งค่าความต่างศักย์ที่จะจ่ายกระแสเข้าไปในระบบไว้ที่ 400-500 โวลต์



รูปที่ 3.48 แสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

17. กดปุ่ม output ที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ระบบดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ทำงาน
18. ปรับวาล์วเข็มและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ตรงตามเงื่อนไขที่ แสดงในตารางที่ 3.8 โดยในช่วงแรกของการสปีดเตอร์ผู้วิจัยจะทำการปิดชัตเตอร์ไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.49 แสดงลำของพลาสมาขณะเกิดการสปีดเตอร์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. หลังจากทีพลาสมามีความเสถียรแล้ว ผู้วิจัยจึงจะทำการเปิดชุดเตอร์ และเริ่มทำการจับเวลาในการเคลือบฟิล์มบาง โดยระยะเวลาที่ใช้สำหรับการเคลือบฟิล์มบางถูกกำหนดไว้ที่ประมาณ 4 ชั่วโมง

20. เมื่อครบกำหนดของระยะเวลาในการเคลือบแล้ว ผู้วิจัยจะทำการปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยปรับแรงดันไฟฟ้าให้กลับมาเป็นค่าเริ่มต้นที่ 0 โวลต์ และทำการปิดแหล่งจ่ายแรงดัน

21. ปิดระบบปล่อยก๊าซอาร์กอน โดยทำการปิดวาล์วเข็ม และปิดวาล์วที่ถึงก๊าซอาร์กอน

22. ปิดปั๊มแพร์ไอ และรอนจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงไปสู่ 30-40 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงจะทำการปิดปั๊มกลโรตารี

23. ปิดเครื่องทำความเย็น แล้วทำการทิ้งไว้หนึ่งคืน

24. นำชิ้นงานออกจะถึงสุญญากาศ

25. ทำการเปลี่ยนเงื่อนไขในการเคลือบจากรายที่ 3.2 ไปเป็นเงื่อนไขในการเคลือบจากรายที่ 3.3

3.4 การวัดคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง

ผู้วิจัยได้ทำตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์เดมอนด์ที่ปลูกด้วยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงโดยใช้เป้าที่จัดซื้อและเป้าที่สร้างขึ้น อาทิ ลักษณะพื้นผิว ภาคตัดขวาง การส่งผ่านของแสง และมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของฟิล์มกับหยดน้ำ เป็นต้น

3.4.1 ภาพถ่ายพื้นผิวและภาพตัดขวาง

ภาพถ่ายพื้นผิวและภาพตัดขวางของฟิล์มที่ปลูกด้วยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงโดยใช้เป้าที่จัดซื้อและเป้าที่สร้างขึ้นถูกตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ Hitachi รุ่น S-5200 ณ ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Thai Microelectronics Center: TMEC) ดังที่แสดงในรูปที่ 3.48 กำลังขยายที่ใช้สำหรับการตรวจสอบภาพถ่ายพื้นผิวคือ 100,000 เท่า ที่แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ สำหรับภาพถ่ายภาพตัดขวางกำลังขยายที่ใช้สำหรับการตรวจสอบ คือ 50,000 เท่า ที่แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.50 เครื่องSEM รุ่น Hitachi S-5200

3.4.2 การส่งผ่านของแสง

การตรวจสอบการส่งผ่านแสงของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองกระจกด้วยวิธีการตีซีแมกนีตรอน สเป็คเตอริงโดยใช้เป้าที่จัดซื้อและเป้าที่สร้างขึ้นได้ถูกดำเนินการโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง รุ่น UV-2600 ของ HIMADZU ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยค่าการส่งผ่านแสงของกระจกเปล่าได้ถูกใช้เป็นเส้นเทียบมาตรฐานสำหรับการวัดค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มปลูกบนฐานรองกระจก

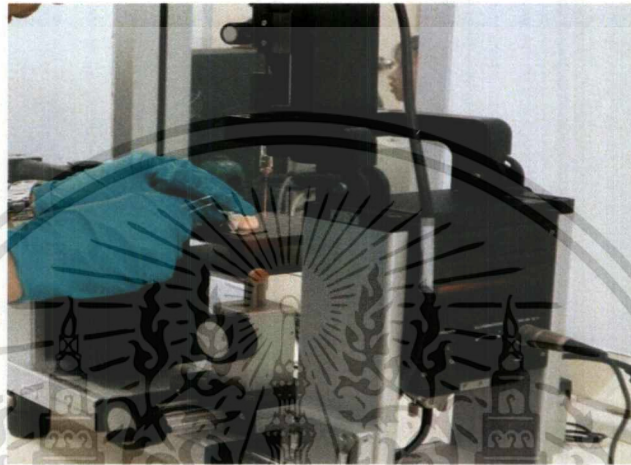


รูปที่ 3.51 เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง รุ่น UV-2600 ของ HIMADZU

3.4.3 การวัดมุมสัมผัส

เพื่อที่จะระบุคุณสมบัติการเปียกของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โตนอนด์ที่ปลูกโดยใช้เป้าที่จัดซื้อและเป้าที่สร้างขึ้น ความมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวได้ถูกตรวจสอบโดยเครื่องวัดมุมสัมผัส รุ่น OCA 20 ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง การตรวจสอบค่ามัมส์ได้ถูกดำเนินการสำหรับฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ที่ปลูกบนฐานรองกระจกและซิลิคอน ในขั้นตอนการตรวจสอบน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 5 μL จะถูกหยดลงบนฐานรองที่อัตราเร็ว 1 $\mu\text{L/s}$ ต่อจากนั้นผู้วิจัยจะทำการจับภาพหยดน้ำบนพื้นผิวฟิล์มโดยกล้องของเครื่องวัดมัมส์ หลังจากนั้นภาพถ่ายหยดน้ำบนพื้นผิวฟิล์มจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้ ซอฟต์แวร์รุ่น SCA 20 เพื่อคำนวณค่ามัมส์ระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวฟิล์ม



รูปที่ 3.52 เครื่องวัดค่ามัมส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในหัวข้อผลการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการอธิบายผลจากการทดลองของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ที่ถูกเคลือบด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงจากเป่าคาร์บอนที่ซื้อและเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้น สำหรับรายงานผลการวิจัยจะประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก ดังต่อไปนี้ ผลการปลูกฟิล์มโดยเป่าคาร์บอนที่ซื้อและเป่าคาร์บอนที่สร้าง ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ ภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ การส่งผ่านของแสงของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ ช่องว่างแถบพลังงาน มุมสัมผัสระหว่างฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์และหยดน้ำ เป็นต้น

4.1 ผลการปลูกฟิล์มโดยเป่าคาร์บอนที่ซื้อและเป่าคาร์บอนที่สร้าง

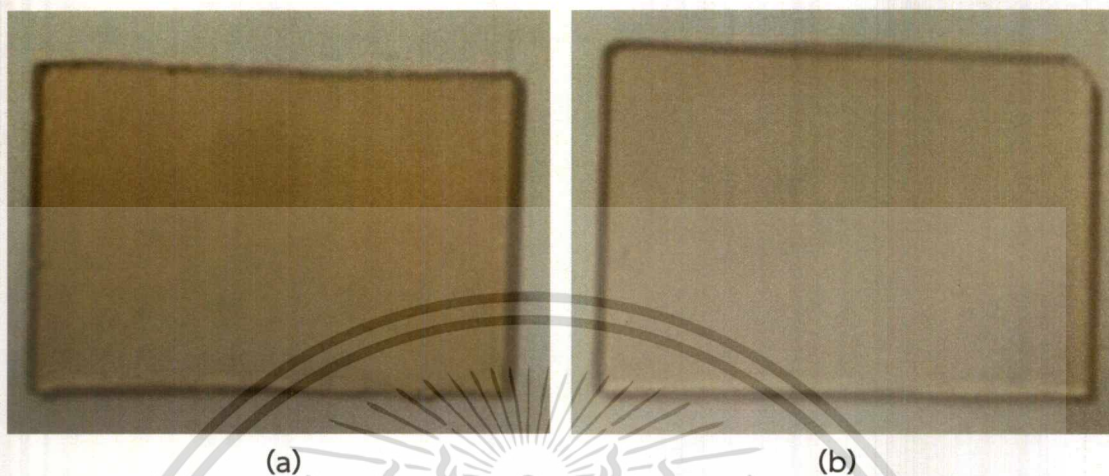
ภาพถ่ายของเป่าที่จัดซื้อมาในรูปที่ 4.1 (a) เป็นเป่าคาร์บอน 99.999 เปอร์เซ็นต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนา 0.125 นิ้ว และในรูปที่ 4.1 (b) เป็นเป่าที่สร้างจากแกรไฟต์ที่ถูกอัดให้แน่นแล้วให้ความร้อนแก่ตัวเป่าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนา 0.125 นิ้ว



รูปที่ 4.1 (a) ภาพของเป่าที่จัดซื้อมา (b) ภาพของเป่าที่สร้างขึ้น

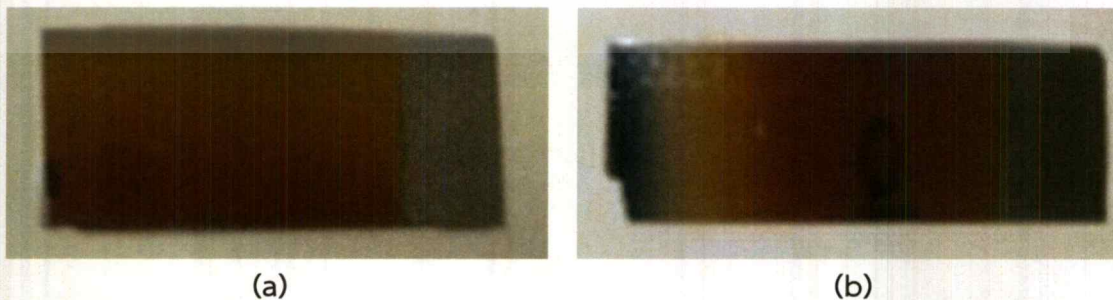
ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ที่เคลือบบนฐานรองกระจกโดยใช้เป่าที่จัดซื้อมาและเป่าที่สร้างขึ้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 (a) และ (b) ภาพถ่ายชิ้นงานจากรูปที่ 4.2 (a) แสดงผลของการปลูกฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์บนฐานรองกระจกโดยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมา จะสังเกตเห็นถึงฟิล์มที่ติดอยู่บนฐานรองกระจกชัดเจน ฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์ที่เคลือบอยู่บนฐานรองกระจกมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล รูปที่ 4.2 (b) แสดงภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่เคลือบโดยวิธีการดีซีแมกนี

ตรอนสปัตเตอร์ริงโดยใช้เป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้น จากภาพแสดงให้เห็นว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์เคลือบอยู่บนฐานรองกระจกมีสีน้ำตาลอ่อน



รูปที่ 4.2 (a) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป้าที่จัดซื้อ
(b) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้น

จากรูปที่ 4.3 (a) และ (b) แสดงภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบอยู่บนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าที่จัดซื้อและเป้าที่สร้างขึ้น รูปที่ 4.3 (a) แสดงให้เห็นผลของการปลูกฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนโดยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงโดยใช้เป้าคาร์บอนที่จัดซื้อ ซึ่งฟิล์มที่เคลือบอยู่บนฐานรองซิลิคอนสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน และผิวฟิล์มมีสีน้ำตาลอมส้ม นอกจากนี้ในรูปที่ 4.3 (b) แสดงให้เห็นผลของการปลูกฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนโดยวิธีการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงโดยใช้เป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้น จากภาพถ่ายจะสามารถเห็นฟิล์มที่เคลือบอยู่บนฐานรองซิลิคอนได้อย่างชัดเจน และสีของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์เป็นสีน้ำตาลเข้ม



(a)

(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.3 (a) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าที่จัดซื้อ

(b) ภาพถ่ายชิ้นงานของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้น

4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์

4.2.1 ภาพพื้นผิว

ฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่ถูกเคลือบด้วยวิธีซีเอ็มเอ็นทีรอนสปัตเตอร์ริงได้ถูกตรวจสอบสัณฐานวิทยาทางพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ Hitachi รุ่น S-5200 ด้วยแรงดันไฟฟ้า 50 kV ที่กำลังขยาย 100,000 เท่า ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่ซื้อมาและเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นถูกแสดงดังรูปที่ 4.4 (a) และ (b) ตามลำดับ จากรูปที่ 4.4 (a) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่ซื้อมามีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ ไม่มีการร้าวหรือแตก และฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ประกอบไปด้วยเกรนของไดมอนด์จำนวนมากที่มีขนาดเล็กกว่า 30 นาโนเมตร จากรูปที่ 4.4 (b) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีพื้นผิวที่ปราศจากการร้าว และพื้นผิวของฟิล์มมีลักษณะที่เรียบมาก นอกจากนี้ยังพบว่าเกรนของไดมอนด์ที่ปลูกโดยเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีขนาดเล็กกว่า 10 นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อพบว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมากกว่าและมีขนาดเกรนของไดมอนด์ที่เล็กกว่า



รูปที่ 4.4 (a) ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป่าที่ซื้อ
(b) ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป่าที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอน

การตรวจสอบภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่ถูกล้อมด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสเปคโตริงได้ถูกตรวจสอบที่กำลังขยาย 50,000 เท่า ได้ถูกดำเนินการโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ Hitachi รุ่น S-5200 ที่แรงดันไฟฟ้า 50 kV รูปที่ 4.5 (a) และ (b) แสดงภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อ และเป่าคาร์บอนที่จัดสร้างขึ้น ตามลำดับ รูปที่ 4.4 (a) แสดงให้เห็นว่าชั้นฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อ มีความสม่ำเสมอ และมีคมชัดของรอยต่อระหว่างชั้นฟิล์มกับฐานรอง นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อ มีความหนาประมาณ 550 นาโนเมตร จากภาพตัดขวางในรูปที่ 4.5 (b) เราจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าชั้นฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองซิลิคอนที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้น มีความหนาที่สม่ำเสมอประมาณ 170 นาโนเมตร และรอยต่อระหว่างฟิล์มกับฐานรองยังสามารถเห็นได้อย่างคมชัด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเป่าทั้งสองจะเห็นได้ว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกโดยเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีความหนาน้อยกว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกโดยเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อ



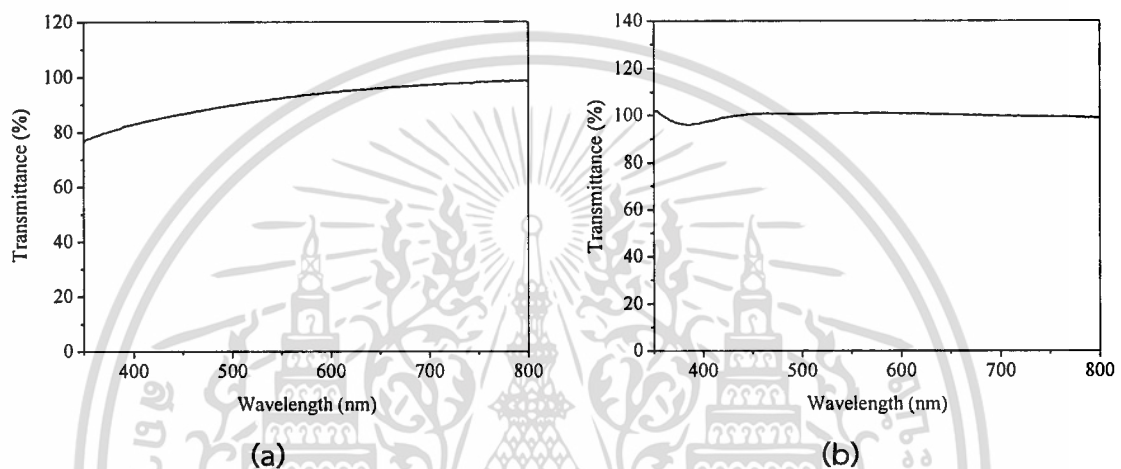
รูปที่ 4.5 (a) ภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป่าที่ซื้อ

(b) ภาพตัดขวางของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกจากเป่าที่สร้างขึ้น

4.3 การส่งผ่านของแสงของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์

การตรวจสอบการส่งผ่านแสงของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อ และเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นถูกดำเนินการในช่วงความยาวคลื่น 350-800 นาโนเมตร สำหรับรูปที่ 4.6 (a) ฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อ หมายความว่า ค่าการส่งผ่านประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บน

ฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนสร้างขึ้นมีค่าการส่องผ่านสูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.6 (b) เมื่อพิจารณาการส่องผ่านแสงของฟิล์มพบว่าฟิล์มที่ทำปลูกจากการใช้เป่าที่สร้างขึ้นมีค่าการส่องผ่านของแสงที่สูงมากกว่าฟิล์มที่ทำการปลูกจากเป่าที่ซื้อมา ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความหนาของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกโดยเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีความหนาน้อยกว่าค่อนข้างมากรวมทั้งการกระเจิงทางแสงที่ลดลงซึ่งเกิดจากการลดลงของความหนาแน่นของขอบเขตเกรนเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของขนาดเกรนของฟิล์มที่ปลูกโดยเป่าคาร์บอนที่ซื้อมา [34]



รูปที่ 4.6 (a) การส่องผ่านแสงของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมา
(b) การส่องผ่านแสงของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่สร้าง

4.4 ช่องว่างแถบพลังงาน

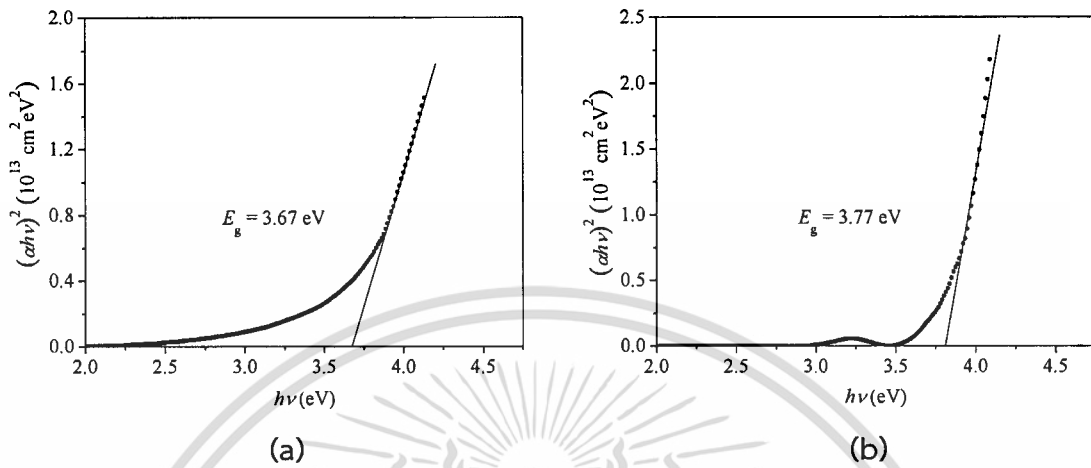
จากความสัมพันธ์ของ $Tauc$ ช่องว่างแถบพลังงาน (Energy gap: E_g) สามารถคำนวณได้โดยสมการที่แสดงดังต่อไปนี้ [35]

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^{1/2} \quad (4.1)$$

โดย h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ ν คือ ความถี่ของโฟตอน A คือ ค่าคงตัวขึ้นกับวัสดุ และ α คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

รูปที่ 4.7 (a) และ (b) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ และ $h\nu$ สำหรับฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมา และเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นตามลำดับ ช่องว่างแถบพลังงานสามารถประมาณการได้จากเส้นตรงที่ตัดบนแกน $h\nu$ จากการประมาณการพบว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมาจะมีช่องว่างแถบพลังงานอยู่ที่ 3.67 eV อิเล็กตรอนโวลต์ และฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นจะมีช่องว่างแถบพลังงานอยู่ประมาณ 3.77 eV อิเล็กตรอนโวลต์ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ทำการปลูกมี

ช่องว่างแถบพลังงานที่สอดคล้องกับค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ได้ถูก
รายงานในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [36]

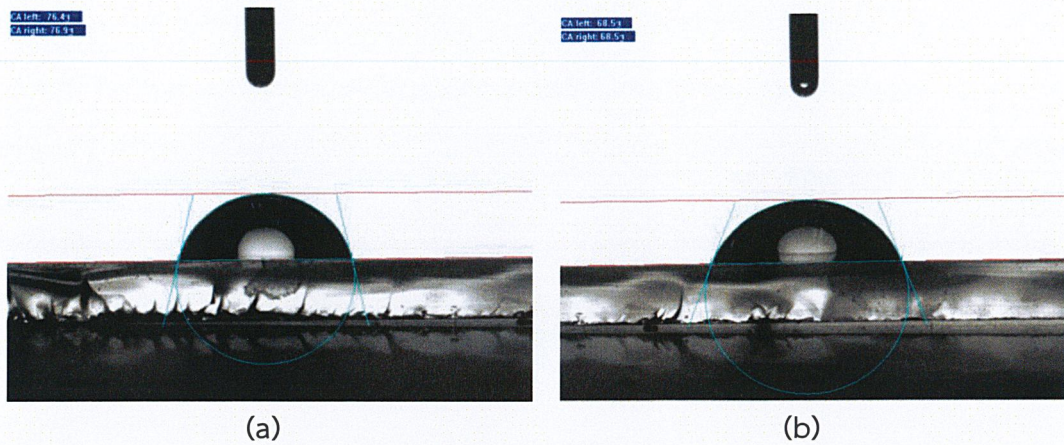


รูปที่ 4.7 (a) การหาแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมา
(b) การหาแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้น

4.5 มุมสัมผัสระหว่างฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์และหยดน้ำ

รูปที่ 4.8 (a) และ (b) แสดงภาพถ่ายของมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มและหยดน้ำของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ปลูกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมาและเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นตามลำดับ จากรูปที่ 4.8 (a) ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มและหยดน้ำของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์เคลือบโดยใช้เป่าคาร์บอนที่จัดซื้อถูกพบว่ามีค่าเป็น 76.50 องศา โดยมีค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มและหยดน้ำฝั่งซ้ายอยู่ที่ 76.10 องศา และฝั่งขวาอยู่ที่ 76.90 องศา ภาพถ่ายมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มและหยดน้ำของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์เคลือบโดยใช้เป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 4.8 (b) โดยมีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มและหยดน้ำเป็น 68.50 องศา (ค่ามุมสัมผัสฝั่งซ้ายและขวามีค่าเป็น 68.50 องศา และ 68.50 องศา ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบมุมสัมผัสพบว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป่าที่จัดสร้างขึ้นมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิวฟิล์มค่อนข้างน้อยกว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป่าที่จัดซื้อมา อย่างไรก็ตามมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่ได้ทำการเคลือบโดยใช้เป่าที่จัดซื้อมาและเป่าที่จัดสร้างขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้พื้นผิวฟิล์มมีพฤติกรรมชอบน้ำ

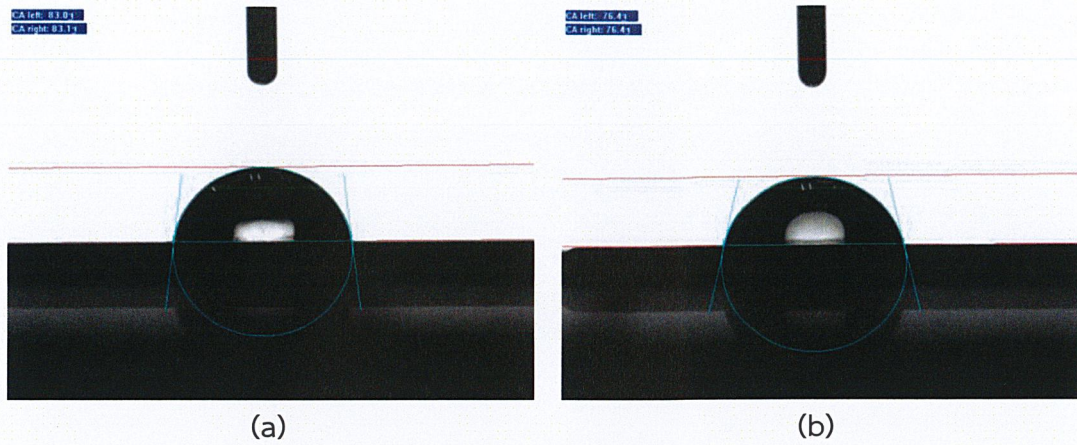
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (a) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป้าที่จัดซื้อมา
(b) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลูกบนฐานรองกระจกโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้น

ภาพถ่ายมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มและหยดน้ำของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โคมอนด์ที่ปลูกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าคาร์บอนที่ซื้อและเป้าคาร์บอนที่สร้างขึ้นได้ถูกแสดงในรูปที่ 4.9 (a) และ (b) ตามลำดับ ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โคมอนด์เคลือบโดยใช้เป้าคาร์บอนที่จัดซื้อได้ถูกแสดงในรูปที่ 4.9 (a) ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มและหยดน้ำของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โคมอนด์เคลือบโดยใช้เป้าคาร์บอนที่จัดซื้อคือ 83.05 องศา ซึ่งมุมสัมผัสฝั่งซ้ายและฝั่งขวามีค่าเท่ากับ 83.00 องศา และ 83.10 องศา ตามลำดับ จากรูปที่ 4.9 (b) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โคมอนด์เคลือบโดยใช้เป้าคาร์บอนที่จัดสร้างมีค่าเฉลี่ย 76.4 องศา โดยที่ค่ามุมสัมผัสฝั่งซ้ายอยู่ที่ 76.4 องศา และฝั่งขวาอยู่ที่ 76.4 องศา จากการทดลองพบว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป้าที่จัดสร้างขึ้นมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิวฟิล์มน้อยกว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป้าที่จัดซื้อ โดยมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวของฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์โคมอนด์ที่เคลือบโดยใช้นี้เป้าทั้งสองนี้บ่งบอกถึงการชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์ม เนื่องจากมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวของฟิล์มบางมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 (a) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลุกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าที่จัดซื้อ
 (b) ภาพถ่ายมุมสัมผัสของฟิล์มที่ปลุกบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้เป้าที่สร้างขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป่าคาร์บอนที่ถูกทำขึ้นมาได้ถูกนำไปอบด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบพบว่าที่อุณหภูมิสำหรับการอบที่ 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ลักษณะของเป่าคาร์บอนที่ได้จะมีรูปทรงคงเดิม สีของเป่าเป็นสีดำ มีพื้นผิวที่เรียบเนียน และมีความแข็งแรงคงทน ทว่าเมื่ออุณหภูมิสำหรับอบให้ความร้อนแก่เป่าสูงมากกว่า 250 องศาเซลเซียส ลักษณะของเป่าคาร์บอนที่ได้จะมีความเปราะแตกง่าย ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบให้ความร้อนแก่เป่าคาร์บอนซึ่งจะส่งผลให้เป่ามีศักยภาพสำหรับการนำไปใช้เพื่อปลูกฟิล์ม คือ 200 องศาเซลเซียส

ฟิล์มบางนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ได้ถูกปลูกด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมาและเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นโดยที่อุณหภูมิการอบด้วยความร้อนคือ 200 องศาเซลเซียส จากภาพถ่ายพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเผยให้เห็นว่าฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อมาและเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีขนาดเกรนเล็กกว่า 30 และ 10 นาโนเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ความหนาของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบจากเป่าคาร์บอนที่จัดซื้อมาและเป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นได้ถูกยืนยันว่ามีค่าประมาณ 550 และ 170 นาโนเมตร ตามลำดับ จากลักษณะเฉพาะของการส่งผ่านแสงของฟิล์มเผยให้เห็นว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป่าที่สร้างขึ้นมีค่าการส่งผ่านของแสงที่สูงมากกว่าฟิล์มที่ปลูกจากเป่าที่ซื้อมา ความกว้างของช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่ซื้อมามีค่าประมาณ 3.67 อิเล็กตรอนโวลต์ และค่าความกว้างของช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์บนฐานรองกระจกที่ปลูกโดยใช้เป่าคาร์บอนที่สร้างขึ้นมีค่าประมาณ 3.77 อิเล็กตรอนโวลต์ ค่าเฉลี่ยของมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิวฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบโดยใช้เป่าที่จัดซื้อมามีค่าเป็น 76.50 และ 83.05 องศา เมื่อฟิล์มถูกปลูกบนฐานรองกระจกและซิลิคอน ตามลำดับ สำหรับฟิล์มนาโนคริสตัลไลน์ไดมอนด์ที่เคลือบโดยใช้เป่าที่สร้างขึ้นค่าเฉลี่ยของมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิวฟิล์มมีค่าเป็น 68.50 และ 76.40 องศา เมื่อฟิล์มถูกปลูกบนฐานรองกระจกและซิลิคอน ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป่าที่จัดสร้างขึ้นมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิวฟิล์มน้อยกว่าฟิล์มที่ปลูกโดยใช้เป่าที่จัดซื้อ ค่ามุมสัมผัสเหล่านี้ของฟิล์มที่เคลือบโดยใช้นี้เป่าทั้งสองประเภทบ่งบอกถึงการชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์ม เนื่องจากมุมสัมผัสระหว่างน้ำและพื้นผิวของฟิล์มบางมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ผู้ทดลองได้พบกับข้อผิดพลาดหลายประการ เช่น การที่เป่าคาร์บอนที่อบในอุณหภูมิสูงเกินไปจะแตกหักง่ายทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในขั้นตอนการสปีดเตอริงได้ และตอนที่สร้างเป่าคาร์บอนขึ้นมาควรระวังแรงดันไฟฟ้ให้มีขนาดเท่ากันแล้วนำไปบดในอุปกรณ์ที่ตีขึ้น และในการอัดเป่าคาร์บอนโดยเครื่องอัดไฮดรอลิคควรใช้แรงอัดที่เยอะกว่านี้เพื่อให้เป่าคาร์บอนแน่นก่อนนำเป่าคาร์บอนไปอบให้ความร้อน

2. ในขั้นตอนการสปีดเตอริงภายในถังสุญญากาศมีฝุ่นผงแกรไฟต์ติดอยู่ส่งผลให้เมื่อต้องการที่จะทำการสปีดเตอริงในครั้งต่อไปการจุดติดของพลาสติกจะทำได้ยากขึ้นและไม่สามารถทำความดันตามที่ต้องการได้ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ผู้วิจัยควรทำความสะอาดภายในถังสุญญากาศให้ดี

3. สำหรับการเปิดปั๊มแพรโอจำเป็นต้องรอให้อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถเปิดวาล์วระหว่างปั๊มแพรโอและถังสุญญากาศได้ มิฉะนั้นจะทำให้ปั๊มกลโรตารีดูดน้ำมันออกมา ซึ่งจะส่งผลให้สายที่เชื่อมต่อระหว่างปั๊มแพรโอและปั๊มกลโรตารีมีคราบน้ำมันเกาะ ยิ่งกว่านั้นอาจส่งผลให้ปั๊มกลโรตารีเกิดความเสียหาย

4. การจัดเก็บชิ้นงานควรจัดเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อจะรักษาและป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเสียหาย

5. ควรตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านฟิลิสส์ของฟิล์มที่สร้างมาให้มากยิ่งขึ้น

6. หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้เป่าที่มีคุณภาพในการสปีดเตอริงได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

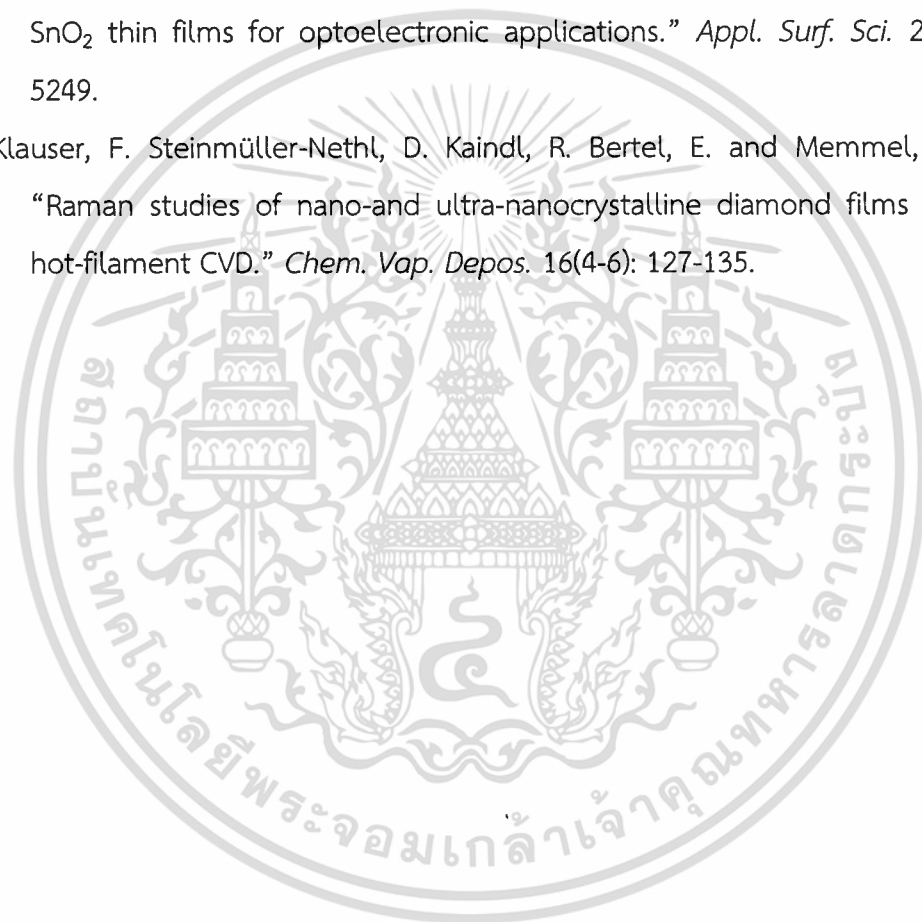
1. Frolov, V.D. Karabutov, A.V. Pimenov, S.M. Konov, V.I. and Ageev, V.P. 2001. "Similarity in field electron emission from nanocrystalline diamond and related materials." *Diam. Relat. Mater.* 10: 1719-1726.
2. Eremir, A. Fenske, G.R. Krauss, A.R. Gruen, D.M. McCauley, T. and Csencsits, R.T. 1999. "Tribological properties of nanocrystalline diamond films." *Surf. Coat. Technol.* 120-121: 565-572.
3. Li, X. Liu, Y. Song, X. Wang, H. Gu, H. and Zeng, H. 2014. "Intercrossed carbon nanorings with pure surface states as low-cost and environment-friendly phosphors for white-light-emitting diodes." *Angew. Chem. Int. Ed.* 53: 1-7.
4. Govindaraju, N. and Singh, R.N. "Processing of nanocrystalline diamond thin films for thermal management of wide-bandgap semiconductor power electronics." *Mater. Sci. Eng. B* 176: 1058-1072.
5. Xu, T. Yang, S. Lu, J. Xue, Q. Li, J. Guo, W. and Sun, Y. 2001. "Characterization of nanocrystalline diamond films implanted with nitrogen ions." *Diam. Relat. Mater.* 10: 1441-1447.
6. Philip, J. Hess, P. Feygelson, T. Bulter, J.E. Chattopadhyay, S. chen, K.H. and Chen, L.C. 2002. "Elastic mechanics and thermal properties of nanocrystalline diamond films." *J. Appl. Phys.* 93(4): 2164-2171.
7. Sharda, T. Soga, T. Jimbo, T. and Umeno, M. 2001. "Growth of nanocrystalline diamond films by biased enhanced microwave plasma chemical vapor deposition." *Diam. Relat. Mater.* 10: 1592-1596.
8. Mednikarov, B. Spasov, G. Babeva, Tz. Pirov, J. Sahatchieva, M. Popov, C. and Kulisch, W. 2005. "Optical properties of diamond-like carbon and nanocrystalline diamond films." *J. Optoelectron. Adv. Mater.* 7(3): 1407-1413.
9. Popov, C. and Kulisch, W. 2008. "Nanocrystalline diamond films for advanced technological applications." 215-224. in Vaseashta, A. and Mihailescu, I.N. (eds.). **Functionalized Nanoscale Materials, Devices and Systems.** Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V.
10. Yang, W.B. Lu, F.X. Cao, Z.X. 2002. "Growth of nanocrystalline diamond protective coatings on quartz glass." *J. Appl. Phys.* 91(12): 10068-10073.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Kromka, A. Grausova, L. Bacakova, L. Vacik, J. Rezek, B. Vanecek, M. Williams, A.O. and Haenen, K. 2010. "Semiconducting to metallic-like boron doping of nanocrystalline diamond films and its effect on osteoblastic cells." *Diam. Relat. Mater.* 19: 190-195.
12. Daenen, M. Williams, O.A. D'Haen, J. Haenen, K. and Nesládek, M. 2006. "Seeding, growth and characterization of nanocrystalline diamond films on various substrates." *Phys. Stat. Sol.* 203(12): 3005-3010.
13. Mitra, P. Chattopadhyay, K.K. Chaudhuri, S. and Pal, A.K. 1994. "Electrical properties of boron-doped diamond films prepared by dc plasma decomposition of CO₂ + H₂." *Mater. Lett.* 21: 95-99.
14. Hu, Q. Hirai, M. Joshi, R.K. and Kumar, A. 2009. "Structural and electrical characteristics of nitrogen-doped nanocrystalline diamond films prepared by CVD." *J. Phys. D: Appl. Phys.* 42: 1-4.
15. Ferrari, A.C. and Robertson, J. 2000. "Origin of the 1150-cm⁻¹ Raman mode in nanocrystalline diamond." *Phys. Rev. B* . 63: 121405-1 - 121405-4.
16. Yoshitake, T. Hara, T. Fukugawa, T. Yun Zhu, L. Itakura, M. Kuwano, N. Tomokiyo, Y. and Nagayama, K. 2004. "Low-temperature growth of nanocrystalline diamond by reactive pulsed laser deposition under a hydrogen atmosphere." *Jpn. J. Appl. Phys.* 43(2B): L240-L242.
17. Fan, X. Nose, K. Diao, D. and Yoshida, T. 2013. "Nanoindentation behaviors of amorphous carbon films containing nanocrystalline graphite and diamond clusters prepared by radio frequency sputtering." *Appl. Surf. Sci.* 273: 816-823.
18. Corbella, C. Vives, M. Oncins, G. Canal, C. Andujar, J.L. and Bertran, E. 2004. "Characterization of DLC films obtained at room temperature by pulsed-dc PECVD." *Diam. Relat. Mater.* 13: 1494-1499.
19. Wienss, A. Neuhauser, M. Schneider, H.-H. Persch-Schuy, G. Windeln, J. Witke, T. and Hartmann, U. 2001. "Mechanical properties of d.c. magnetron-sputtered and pulsed vacuum arc deposited ultra-thin nitrogenated carbon coatings." *Diam. Relat. Mater.* 10: 1024-1029.
20. Swann, S. 1988. "Magnetron sputtering." *Phys. Technol.* 19: 67-75.

21. Kashtanov, P.V. Smirnov, B.M. and Hippler, R. 2007. "Magnetron plasma and nanotechnology." *Phys.-Uspekhi* 50(5): 455-488
22. บริษัท วีทีซัน จำกัด. กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง. [Online]. Available: http://www.vtsun.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=9&lang=th
23. Kelly, P.J. and Darnell, R. 2000. "Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications." *Vacuum* 56: 159-172.
24. นิรนาม. โครงสร้างแกรไฟต์ Covalent Bond (Summary Part.VI). [online]. Available: <https://chemju.wordpress.com/2015/08/07/covalent-bond-summary-part-vi/>
25. ชาญณรงค์ ภิรมย์จิตร, ดร. วิทยา อมรกิจบำรุง, ดร. จันทรเพ็ญ โทมัส, ดร. พอพนธ์ สิขม นุกฤษฏ์. 2548. "การเตรียมฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร โดยการตกสะสมไอทางเคมีจากคลื่นความถี่วิทยุ." *วิทยาศาสตร์กายภาพ*. 5(2): 2672-9636.
26. Wilder, J.W. Venema, L.C. Rinzler, A.G. Smalley, R.E. and Dekker, C. 1998. "Electronic structure of atomically resolved carbon nanotubes." *Nature*, 391(6662): 59-62.
27. Koral, J. Ullman, R. and Eirich, F.R. 1958. "The adsorption of polyvinyl acetate." *J. Phys. Chem.* 62(5): 541-550.
28. de Rodriguez, N.L.G. Thielemans, W. and Dufresne, A. 2006. "Sisal cellulose whiskers reinforced polyvinyl acetate nanocomposites." *Cellulose*, 13(3): 261-270.
29. บริษัท สตาร์ วอเตอร์ ฟิลเตอร์ จำกัด. การผลิตน้ำ DI (Deionized water). [Online]. Available: <https://www.duandaw.com/article/12/การผลิตน้ำ-di-deionized-water>
30. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. [Online]. Available: <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/microanalysisinstrumentmenu/item/96scanning-electron-microscope.html>
31. พรรณทิพย์ ตั้งปรียารักษ์. เทคนิคปฏิบัติการใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในการวิเคราะห์ทางเคมี. [Online]. Available: <http://www.mwit.ac.th/~sarawoot/chem40235.htm>
32. นิรนาม. กระจกทำความสะอาดตัวเองด้วยวิธีการ "ไม่ชอบน้ำ". [Online]. Available: <http://ruethairat007.blogspot.com/>

33. Himma, F.N. Prasetya, N. Anisah, S. and Wenten, I.G. 2017. "Superhydrophobic membrane: progress in preparation and its separation properties." *Rev. Chem. Eng.* 35(2): 211-238.
34. Xu, L. Li, X. Chen, Y. and Xu, F. 2011. "Structural and optical properties of ZnO thin films prepared by sol-gel method with different thickness." *Appl. Surf. Sci.* 257(9): 4031-4037.
35. Saadeddina, I. Pecquenard, B. Manaud, J.P. Decourt, R. Labrugere, C. Buffeteau, T. and Campet, G. 2007. "Synthesis and characterization of single- and co-doped SnO₂ thin films for optoelectronic applications." *Appl. Surf. Sci.* 253: 5240-5249.
36. Klauser, F. Steinmüller-Nethl, D. Kaindl, R. Bertel, E. and Memmel, N. 2010. "Raman studies of nano-and ultra-nanocrystalline diamond films grown by hot-filament CVD." *Chem. Vap. Depos.* 16(4-6): 127-135.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้