



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นผลการวัดสมบัติของพลาสมาในระบบ RF-PECVD ในส่วนที่ 2 คือผลสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยระบบ RF-PECVD ภายใต้ภาวะการสังเคราะห์ต่างๆ และวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์ม DLC ที่ได้ด้วย SEM และ ลักษณะเฉพาะของรามาน

4.1 ผลการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาโดยหัววัดลงมัวร์

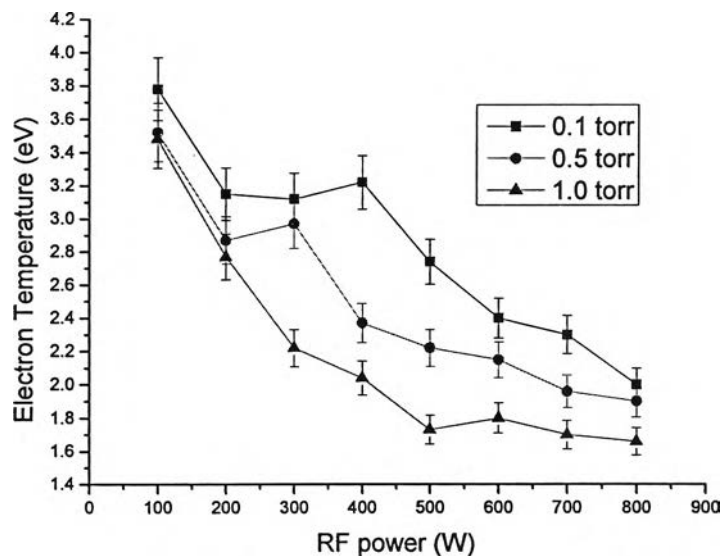
ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมาของแก๊สผสมมีเทนและแก๊สไฮโดรเจน โดยหัววัดลงมัวร์ที่สร้างขึ้นนั้นมีข้อจำกัดซึ่งไม่สามารถวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาที่ความดันสูงกว่า 1.0 torr ได้ และไม่สามารถวัดในขณะที่สังเคราะห์ฟิล์มเนื่องจากไม่สามารถเลื่อนตำแหน่งของหัววัดในขณะที่ทำการทดลองได้ นอกจากนี้การสอดหัววัดเข้าไปในพลาสมาเป็นเวลานานจะมีการชนของอนุภาคต่างๆกับหัววัดทำให้เกิดความเสียหายแก่หัววัดได้ ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมาได้ในช่วงความดันระหว่าง 0.1 - 1.0 torr ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมาได้เปลี่ยนภาวะต่าง ๆ ของพลาสมาและวัดค่าอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมาในภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ภาวะของพลาสมาในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP ที่ใช้ในการวัดพารามิเตอร์ด้วยหัววัดลงมัวร์

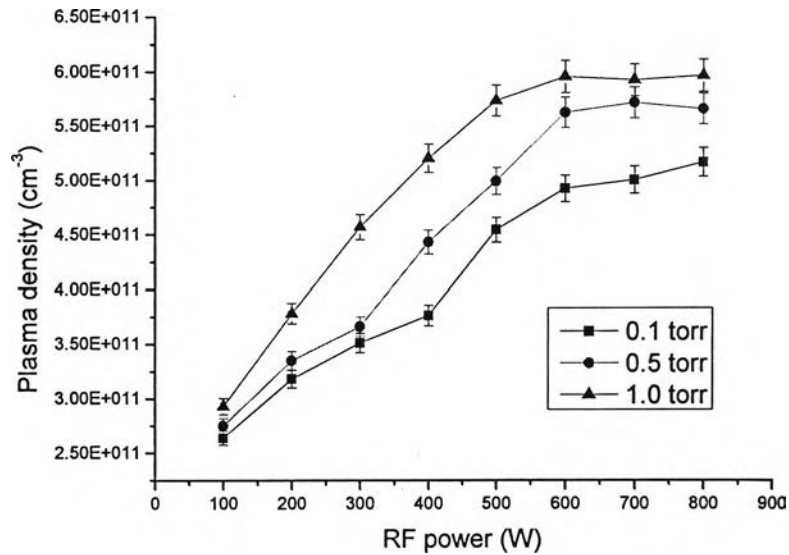
ตัวแปร	กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ (W)	ความดัน (torr)	% CH ₄	อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน (sccm)
ชุดที่ 1	100 - 800	0.1, 0.5 และ 1.0	0.5	100
ชุดที่ 2	100 - 800	1.0	0.5, 1.0 และ 2.0	100

4.1.1 ผลของความดันแก๊สต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาในหัวข้อที่ 2.5.4 พบว่าการใช้กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันที่ต่างกัน จะมีผลต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา [30] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จะวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดลางมัวร์ ดังที่ได้นำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนในหัวข้อที่ 3.2 ในพลาสมาของแก๊สผสมมีเทนและแก๊สไฮโดรเจน ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 100 - 800 W ในช่วงความดัน 0.1 - 1.0 torr อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.5 อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm เพื่อศึกษาผลของความดันของพลาสมาที่มีต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอิเล็กตรอนกับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุที่ความดัน 0.1 - 1.0 torr



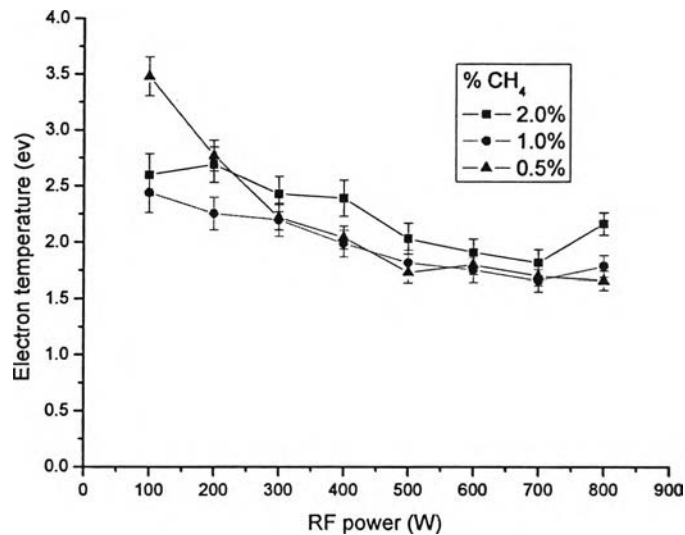
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมา กับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุที่ความดัน 0.1 - 1.0 torr

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอิเล็กตรอนในพลาสมา กับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุในช่วง 100 - 800 W ที่ความดันในช่วง 0.1 - 1.0 torr อุณหภูมิอิเล็กตรอนที่วัดได้มีค่าระหว่าง 1.66 - 3.78 eV โดยอุณหภูมิอิเล็กตรอนมีแนวโน้มลดลง เมื่อความดันและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมา กับกำลังไฟฟ้าในช่วง 100 - 800 W ที่ความดันในช่วง 0.1 - 1.0 torr ความหนาแน่นของพลาสมาที่วัดได้มีค่าระหว่าง $2.64 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ ถึง $5.95 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ เมื่อเพิ่มความดันแก๊สและกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ ความหนาแน่นของพลาสมาเพิ่มขึ้น ผลการวัดอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา มีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลองของ C.K. Kim [30] ที่ทำการวัดอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมาในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP ด้วยหัววัดกลางมีวาร์ ในช่วงความดัน 0.005 - 0.05 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 200 - 600 W อุณหภูมิอิเล็กตรอนที่วัดได้มีค่าระหว่าง 3 - 6 eV ความหนาแน่นของพลาสมาที่วัดได้มีค่าในระดับ 10^{11} cm^{-3} ถึง 10^{12} cm^{-3} โดยพบว่าอุณหภูมิอิเล็กตรอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับความดันที่ลดลง ความหนาแน่นของพลาสมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับทั้งความดันและกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความดันสูงมีจำนวนอนุภาคมากกว่าที่ความดันต่ำ วิถีเสรีเฉลี่ยของอนุภาคลดลงจึงมีการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอนุภาคสูงชันเป็นผลให้พลังงานเฉลี่ยของอิเล็กตรอนลดลง โมเลกุล

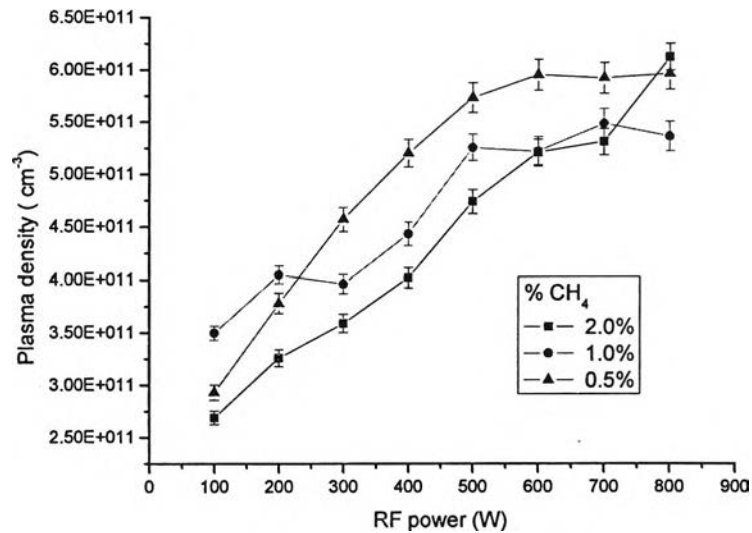
แก๊สในพลาสมาแตกตัวเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของพลาสมา นอกจากนี้อัตราการสูญเสียไอออนแก่ผนังภาชนะสุญญากาศลดลงด้วย [30]

4.1.2 ผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาในหัวข้อที่ 2.5.4 พบว่าการใช้กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนที่ต่างกันจะมีผลต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา ในหัวข้อวิจัยนี้จึงทำการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดกลางมัวร์ ในพลาสมาของแก๊สผสมมีเทนและแก๊สไฮโดรเจน กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 100 - 800 W ความดัน 1.0 torr อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 2.0% อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนที่มีต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอิเล็กตรอนกับอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมา กับ อัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน

จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอิเล็กตรอนในพลาสมา กับ อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5% - 2.0% และแปรค่ากำลังไฟฟ้าที่ความถี่ คลื่นวิทยุในช่วง 100 - 800 W อุณหภูมิอิเล็กตรอนที่วัดได้มีค่าระหว่าง 1.65 - 3.48 eV อุณหภูมิ อิเล็กตรอนที่อัตราส่วนแก๊สมีเทน 0.5% 1.0% และ 2.0% มีแนวโน้มลดลงเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้นคล้ายกัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างอัตราส่วนของแก๊สที่เปลี่ยนไป

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมา กับ อัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุในช่วง 100 - 800 W พบว่า ความหนาแน่นของพลาสมาที่วัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่าง อย่างชัดเจนระหว่างอัตราส่วนของแก๊สที่เปลี่ยนไป

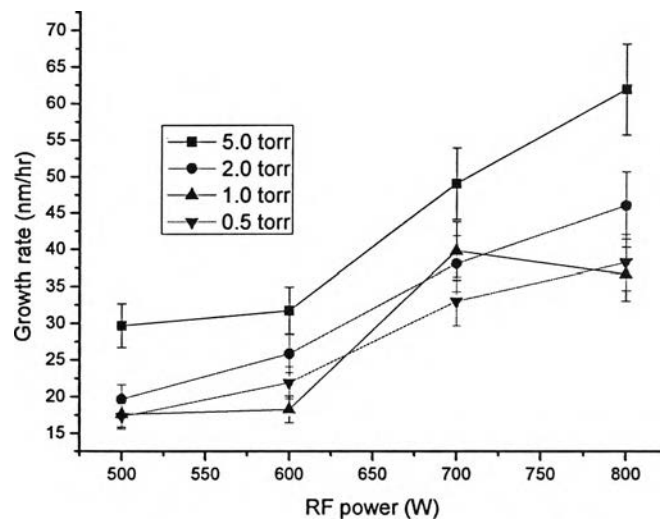
4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC

เนื่องจากระบบ ICP ที่ใช้สังเคราะห์ฟิล์ม DLC ในงานวิจัยนี้สามารถกำเนิด พลาสมาได้ที่ความดันสูงสุด 5.0 torr จึงเลือกสังเคราะห์ที่ความดันระหว่าง 0.5 - 5.0 torr และแปร ค่ากำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W ทำการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยภาวะการ สังเคราะห์ที่แตกต่างกันดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 โดยแบ่งการสังเคราะห์เพื่อศึกษาผลของภาวะ ต่างๆที่มีต่อฟิล์มดังต่อไปนี้

4.2.1 อัตราการเกิดฟิล์ม DLC

4.2.1.1 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันของแก๊สต่ออัตราการเกิดฟิล์ม DLC

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อที่ 2.4 นั้น กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันของแก๊สที่เหมาะสมจะส่งผลให้มีอัตราการเกิดฟิล์มมากขึ้น [22] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงจะสังเคราะห์ฟิล์ม DLC บนแผ่นอะลูมิเนียม ขนาด $2.0 \times 2.5 \text{ cm}^2$ ที่ความดันในช่วง 0.5 - 5.0 torr ด้วยกำลังไฟฟ้าระหว่าง 500 - 800 W อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.5% เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันของแก๊สต่ออัตราการเกิดฟิล์ม เมื่อการสังเคราะห์เสร็จสิ้นแผ่นรองรับจะถูกนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อใช้ในการคำนวณหาความหนาของฟิล์มบาง DLC ที่ได้โดยใช้ค่าความหนาแน่นของฟิล์มบาง DLC เท่ากับ 2.1 g/cm^3 [40]



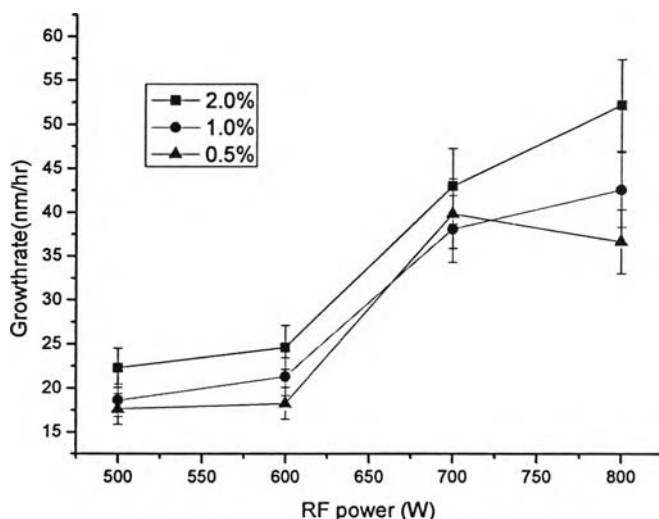
รูปที่ 4.5 อัตราการเกิดฟิล์ม DLC ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W

จากรูปที่ 4.5 แสดงอัตราการเกิดฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ที่ความดันระหว่าง 0.5 - 5.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W พบว่าอัตราการเกิดฟิล์ม DLC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับทั้งกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลองของ S. Kumar [22] ที่สังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD และพบว่าอัตราการเกิดฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดฟิล์มที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากที่ความดัน

และกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น แก๊สตั้งต้นแตกตัวได้มากขึ้น [23] ทำให้ความหนาแน่นของพลาสมาเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับผลการวัดความหนาแน่นของพลาสมาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับทั้งความดันและกำลังไฟฟ้าในรูปที่ 4.2 พบว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกัน เป็นไปได้ว่าความหนาแน่นของพลาสมาที่เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้อัตราการเกิดฟิล์มเพิ่มขึ้น

4.2.1.2 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและอัตราส่วนของแก๊สต่ออัตราการเกิดฟิล์ม DLC

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อที่ 2.4 นั้น กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนที่เหมาะสมจะส่งผลต่อสมบัติของฟิล์ม DLC [22,25] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงสังเคราะห์ฟิล์ม DLC บนแผ่นอะลูมิเนียม ขนาด $2.0 \times 2.5 \text{ cm}^2$ ด้วยอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 2.0% ที่ความดัน 1.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W แล้วนำไปคำนวณอัตราการเกิดฟิล์ม เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและอัตราส่วนของแก๊สต่ออัตราการเกิดฟิล์ม DLC



รูปที่ 4.6 อัตราการเกิดฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 2.0%

จากรูปที่ 4.6 แสดงอัตราการเกิดฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.5% - 2.0% ที่ความดัน 1.0 torr พบว่าอัตราการเกิดฟิล์ม DLC เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้น W. Piekarczyk และ S. Praver [41] ศึกษาแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ถึงบทบาทของอะตอมไฮโดรเจนในการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC พบว่าเมื่อฟลักซ์ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นจะเพิ่มอัตราการเกิดฟิล์ม เมื่ออัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นที่ความดันคงที่ทำให้ปริมาณอะตอมไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นอัตราการเกิดฟิล์ม DLC จึงเพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองนี้ไม่พบความแตกต่างของอัตราการเกิดฟิล์มอย่างชัดเจนเมื่ออัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเปลี่ยนไป

4.2.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ด้วย SEM

4.2.2.1 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC

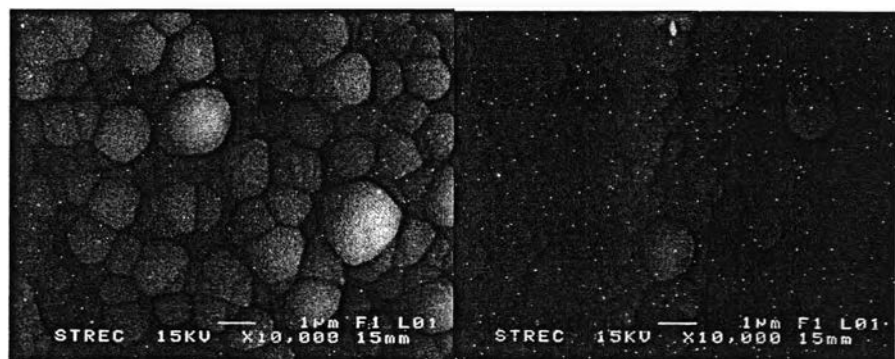
จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อ 2.4 และผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ในหัวข้อ 2.6.1 กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้พื้นผิวฟิล์มมีเกรนขนาดเล็กลง [23] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC บนแผ่นอะลูมิเนียม ด้วยกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W ที่ความดัน 1.0 torr อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.5% อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm แล้วนำฟิล์มที่ได้มาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วย SEM เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

จากรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 500 - 700 W ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง DLC ที่ได้นั้นมีโครงสร้างเป็นแบบดอกกะหล่ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกกะหล่ำที่ได้บนผิวหน้าของฟิล์มประมาณ 1 μm และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุไปจนถึง 800 W ลักษณะของดอกกะหล่ำหายไป ฟิล์มมีเกรนเล็กลงแต่ยังคงมีเกรนลักษณะคล้ายลูกบอลขนาด 1 μm ปะปนอยู่ ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มมีแนวโน้ม สอดคล้องกับการทดลองของ S. C. Won และคณะ [23] ที่พบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้นผิวฟิล์มจะเรียบขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุสูงขึ้นจะทำให้แก๊สมีเทนจะแตกตัวเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มอนุมูล CH_n ($n=1,2$) [42] ซึ่งจะเสริมให้เกิดแกรไฟต์เพิ่มมากขึ้น อะตอมไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเข้าไปแทรกในเนื้อฟิล์มได้เพิ่มขึ้น จะนำเอาข้อมูลของลักษณะพื้นผิวฟิล์มที่ได้นี้ไปเทียบกับผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของรามานสเปกโทรสโกปีอย่างละเอียดอีกครั้งในหัวข้อที่ 4.2.3.1



(a) AL1 (500 W)

(b) AL2 (600 W)



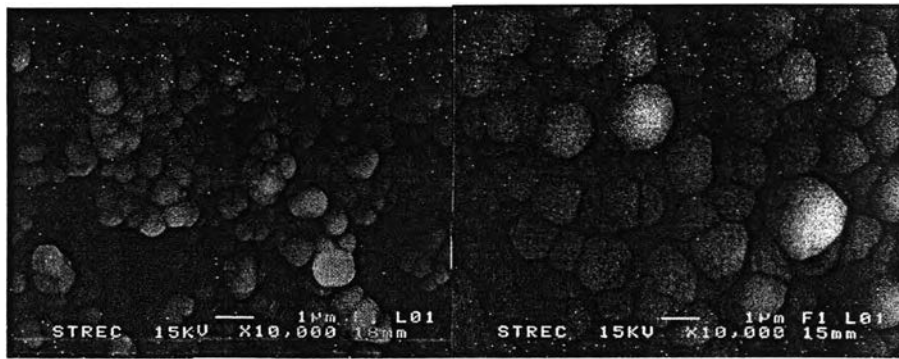
(c) AL3 (700 W)

(d) AL4 (800 W)

รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 500 - 700 W

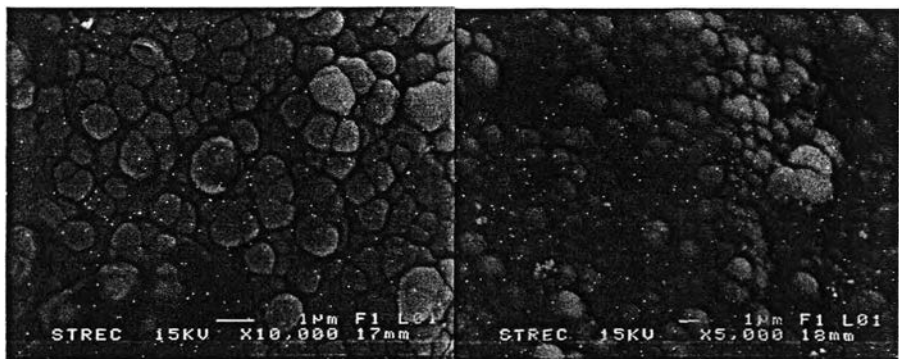
4.2.2.2 ผลของความดันต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อ 2.4 และผลของความดันต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ในหัวข้อที่ 2.6.1 ความดันในช่วงที่เหมาะสมจะได้ฟิล์มที่มีเกรนขนาดใหญ่ขึ้นหรือแสดงความเป็นแกรไฟต์ลดลง [24] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ที่ความดันระหว่าง 0.5 - 5.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 700 W อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.5% อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm แล้วนำฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วย SEM เพื่อศึกษาผลของความดันต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC



(a) AL5 (0.5 torr)

(b) AL6 (1.0 torr)



(c) AL7 (2.0 torr)

(d) AL8 (5.0 torr)

รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr

จากรูปที่ 4.8 ที่ความดัน 0.5 torr พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมอมีเกรนขนาดเล็กปะปนกับเกรนขนาดใหญ่ เมื่อเพิ่มความดันเป็น 1.0 torr พบว่าลักษณะผิวหน้าฟิล์ม DLC ที่ได้นั้นมีโครงสร้างเป็นดอกกะหล่ำ และขนาดโครงสร้างของดอกกะหล่ำบนผิวหน้าของฟิล์มที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $1 \mu\text{m}$ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็น 2.0 torr ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกกะหล่ำลดลงประมาณ $0.25 - 1 \mu\text{m}$ ผิวหน้าไม่สม่ำเสมอ ที่ความดัน 5.0 torr ฟิล์มมีขนาดเกรนเล็กลง ผลการทดลองนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยของ Y.T. Kim [24] ซึ่งสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ที่ความดันระหว่าง 0.4 - 6.0 torr (53.3 - 800 Pa) พบว่าที่ความดันสูงขึ้นจาก 0.4 - 1.0 torr (53.3 - 133.3 Pa) พื้นผิวของฟิล์มมีค่าความขรุขระจาก AFM ลดลง จาก 10 \AA เป็น 1.2 \AA แต่เมื่อเพิ่มความดันต่อไปจนถึง 6.0 torr (800 Pa) พื้นผิวของฟิล์มมีค่าความขรุขระ

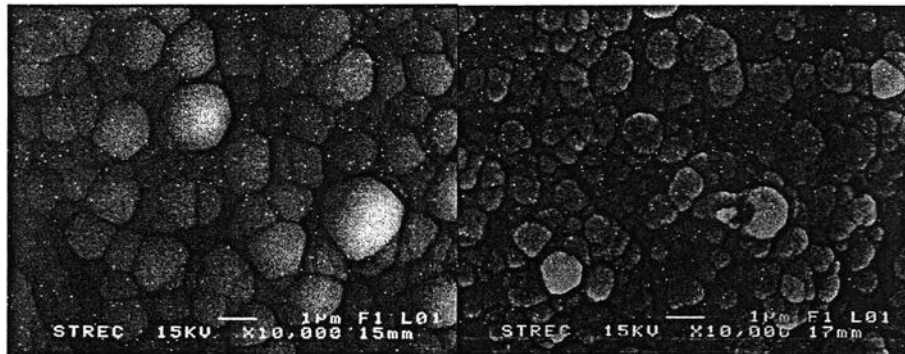
เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษารายงานการวิจัยในหัวข้อที่ 2.6.1 Y.T. Kim อธิบายว่าเนื่องจากที่ความดันต่ำ ไม่มีการชนกันของอนุภาคต่างๆ พลังงานของไอออนจึงขึ้นกับกำลังไฟฟ้าและมีพลังงานสูงกว่าที่ไอออนที่ความดันสูง กลไกที่ควบคุมการเกิดฟิล์มในช่วงนี้เป็นการสปีดเทอร์ของไอออนพลังงานสูง เมื่อความดันสูงขึ้นพลังงานไอออนลดลงเนื่องจากการชนในบริเวณซีททำให้เกิดการตกสะสมของไอออนพลังงานต่ำ ทำให้ผิวฟิล์มมีความขรุขระขึ้น ซึ่งจะนำเอาข้อมูลของลักษณะพื้นผิวฟิล์มที่ได้จากการทดลองนี้ไปเทียบกับผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของรามานสเปกโทรสโกปีอย่างละเอียดอีกครั้งในหัวข้อที่ 4.2.3.2

4.2.2.3 ผลของอัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อ 2.4 และผลของอัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อไฮโดรเจนต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ในหัวข้อ 2.6.1 อัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อไฮโดรเจนในปริมาณน้อย พื้นผิวฟิล์มจะมีเกรนขนาดใหญ่ขึ้นหรือแสดงความเป็นแกรไฟต์ลดลง [25] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5% - 5.0% กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 700 W ที่ความดัน 1.0 torr อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm หลังจากนั้นนำฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ได้บนแผ่นอะลูมิเนียมมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ด้วย SEM เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อไฮโดรเจนต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

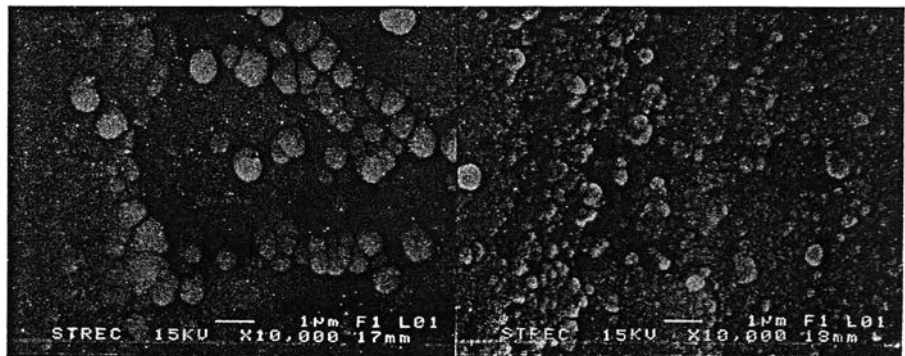
จากรูปที่ 4.9 ลักษณะผิวหน้าฟิล์มบาง DLC ที่ได้ พบว่าที่อัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อไฮโดรเจน 0.5% จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกกะหล่ำประมาณ 1 μm และอัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 1.0% จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกกะหล่ำประมาณ 0.25 ถึง 1 μm อัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อไฮโดรเจน 2.0% และ 4.0% จะได้ฟิล์มที่มีผิวหน้าไม่สม่ำเสมอ มีเกรนลักษณะคล้ายลูกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 - 0.25 μm ปะปนอยู่ ผลการทดลองนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลองของ W.S.Liew และคณะ [25] ที่สังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ด้วยระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP อัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.8% 1.0% 3.0% และ 5.0% ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ได้ดังรูปที่ 2.17 ที่อัตราส่วน 0.8% และ 1.0% ฟิล์มมีลักษณะเป็นพหุผลึก (Polycrystalline) ที่อัตราส่วนของแก๊สมิเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 3.0% และ 5.0% ผิวหน้าฟิล์มมีลักษณะเป็นดอกกะหล่ำ (Cauliflower-like structure) เนื่องจาก sp^3 แสดงลักษณะเป็นผลึกมากกว่า sp^2 ดังนั้นจึงเชื่อว่าที่ 0.8% และ 1.0% มี

พันธะ sp^3 มากกว่าที่ 3.0% และ 5.0% ซึ่งแสดงลักษณะของอสัณฐานมากกว่า ซึ่งจะนำเอาข้อมูลของลักษณะพื้นผิวฟิล์มที่ได้นี้ไปเทียบกับผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของรามานสเปกโทรสโกปีอย่างละเอียดอีกครั้งในหัวข้อที่ 4.2.3.3



(a) AL9 (0.5%)

(b) AL10 (1.0%)



(c) AL11 (2.0%)

(d) AL12 (5.0%)

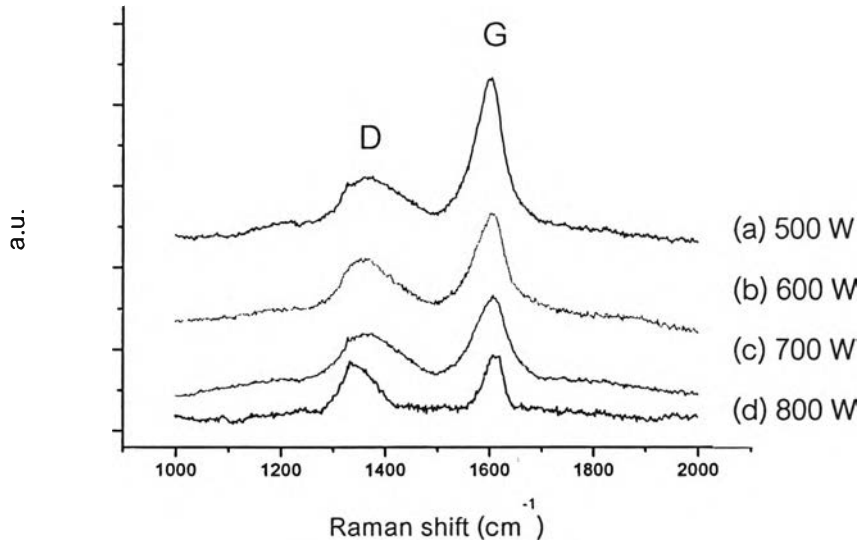
รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วน
ของแก๊สมีเทนต่อไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 5.0%

4.2.3 ลักษณะเฉพาะของรามาน

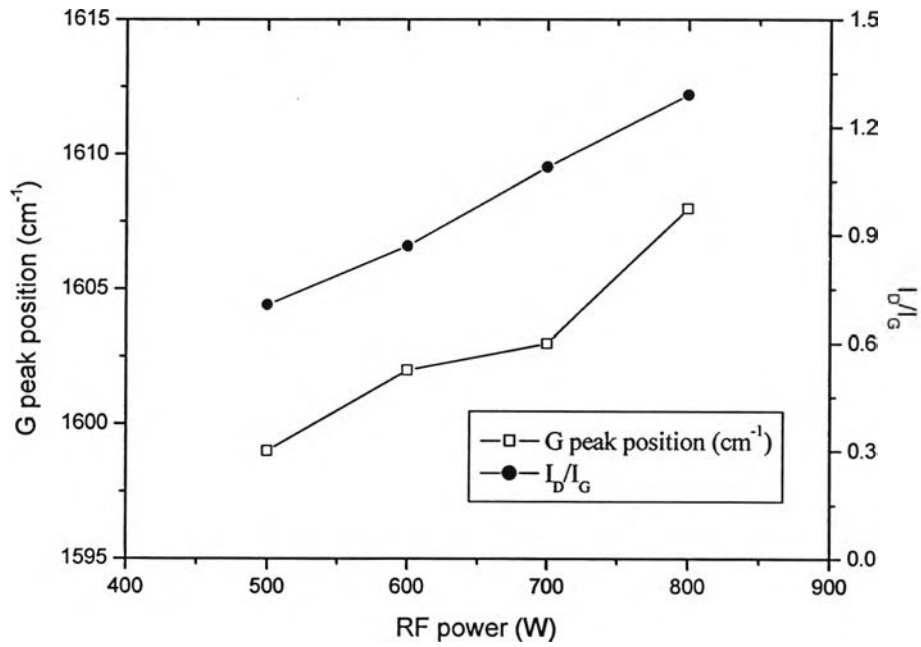
ในงานวิจัยนี้จะนำเอาฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ขึ้นในภาวะการสังเคราะห์ต่างๆไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยรามานสเปกโทรสโกปี ด้วยเครื่อง Rm 1000 ของบริษัท Reinshaw ประเทศอังกฤษ ณ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (GIT) โดยใช้เลเซอร์จาก Ar^+ ที่มีความยาวคลื่น 514.4 nm เป็นตัวกระตุ้นและได้แยกศึกษาตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.2.3.1. ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อ 2.4 และผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อลักษณะโครงสร้างของฟิล์ม DLC ที่ศึกษาด้วยลักษณะเฉพาะของรามาน ในหัวข้อ 2.7.3 กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีสมบัติเข้าใกล้แกรไฟต์มากขึ้น [23] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงจะทำการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC บนแผ่นอะลูมิเนียม กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W ที่ความดัน 1.0 torr อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.5% อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm แล้วนำฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีดังรูปที่ 4.10 และแสดงตำแหน่งและอัตราส่วนของความเข้มของพีค D ต่อพีค G (I_D/I_G) ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 500 - 800 W



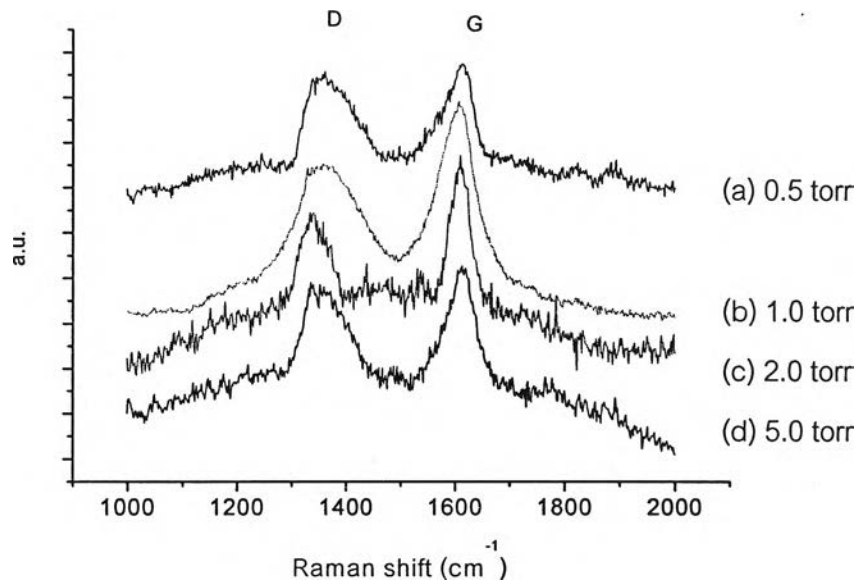
รูปที่ 4.11 ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามาน ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 500 - 800 W

จากรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11 เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุขึ้นจาก 500 - 800 W ตำแหน่งของพีค G เลื่อนขึ้นไปเลขคลื่นสูงขึ้น สอดคล้องกับอัตราส่วนของความเข้มของ I_D/I_G ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงปริมาณของ sp^3 ที่ลดลง [35] ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อฟิล์ม DLC นี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลอง S. C. Won และคณะ [23] ที่ได้ทำการสังเคราะห์ฟิล์มในระบบ ICP ด้วยกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 25 - 200 W พบว่า ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้น ตำแหน่งพีค G เลื่อนขึ้นจากเลขคลื่นจาก 1534 cm^{-1} ไปที่เลขคลื่น 1573 cm^{-1} และอัตราส่วน I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.34 ไป 1.94 แสดงถึงปริมาณ sp^3 ในฟิล์มลดลง บ่งชี้ถึงความ เป็นแกรไฟต์ (graphitization) ของฟิล์ม DLC ที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้น T. Meziani และคณะ [43] ทำการวัดอนุมูลต่างๆที่เกิดขึ้นของแก๊สมีเทนในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP ที่มีขั้วแม่เหล็กกักเก็บพลาสมา (Magnetic Pole Enhanced ICP) ด้วยแมสสเปกโทรสโกปี พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ จำนวนของอนุมูล CH_3 จะค่อยๆลดลง ซึ่งเป็นไปได้ว่าอนุมูล CH_3 ลดลงเนื่องจากการแตกตัวต่อไปเป็นอนุมูลอื่นๆ เมื่ออนุมูล CH_3 ที่เป็นอนุมูลสำคัญในการเกิดเพชร [1,26] หรือ sp^3 ลดลง จึงทำให้ฟิล์มแสดงความเป็นแกรไฟต์เพิ่มขึ้น

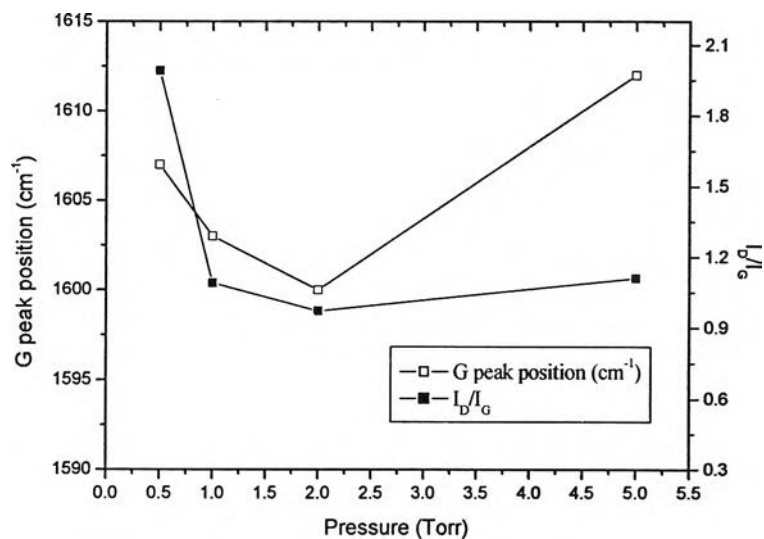
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC ที่ได้จากการทดลองนี้กับลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ด้วยกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W ในหัวข้อที่ 4.2.2.1 จะพบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้นปริมาณของ sp^3 ลดลงสอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวที่แสดงลักษณะของแกรไฟต์เพิ่มมากขึ้น

4.2.3.2. ผลของความดันต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อที่ 2.4 และผลของความดันต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC ในหัวข้อที่ 2.6.1 การสังเคราะห์ฟิล์มในช่วงความดันที่เหมาะสมจะได้ฟิล์มที่ความเป็นแกรไฟต์น้อยลง [24] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงจะทำการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ที่ความดันระหว่าง 0.5 - 5.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 700 W อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.5 อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm แล้วนำฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบโครงสร้างด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี เพื่อศึกษาผลของความดันต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งและอัตราส่วนของความเข้มของพีค D ต่อ พีค G (I_D/I_G)



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามาน ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr

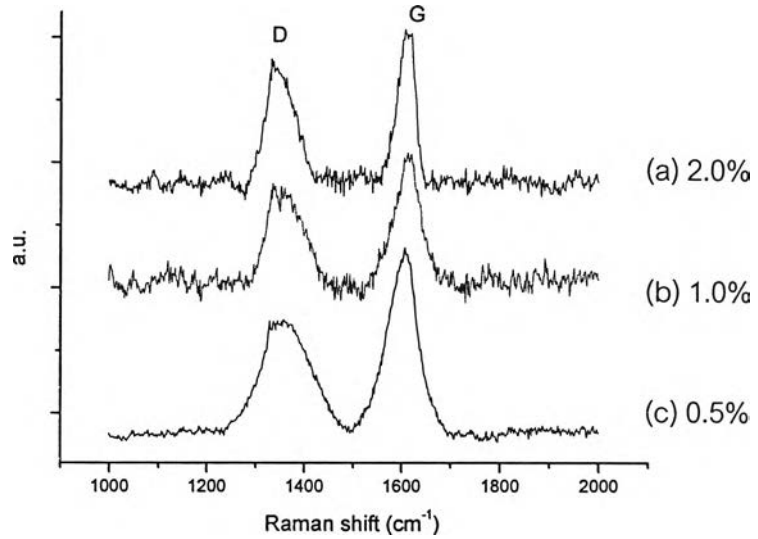
จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 เมื่อความดันเพิ่มขึ้นในช่วงแรก จาก 0.5 torr เป็น 2.0 torr ตำแหน่งของพีค G เลื่อนไปเลขคลื่นต่ำลง สอดคล้องกับอัตราส่วนของความเข้มของ I_D/I_G ที่ลดลงด้วย แสดงถึงปริมาณของ sp^3 ที่เพิ่มขึ้นในฟิล์ม [35] เมื่อเพิ่มความดันต่อไปเป็น 5.0 torr ตำแหน่งของ พีค G และ I_D/I_G เลื่อนขึ้นไปเลขคลื่นสูงขึ้น แสดงถึงปริมาณของ sp^3 ที่ลดลงในฟิล์ม

ผลการทดลองนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลองของ Y.T. Kim [27] ที่พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจาก 0.4 - 0.8 torr (53.3 - 106.6 Pa) อัตราส่วน I_0/I_G และ ตำแหน่งพีค G เลื่อนไปที่เลขคลื่นต่ำลงบ่งบอกถึงพันธะ sp^3 ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความดันขึ้นอีก อัตราส่วน I_0/I_G และ ตำแหน่งพีค G เลื่อนขึ้นไปเลขคลื่นสูงขึ้นบ่งบอกถึงพันธะ sp^3 ที่ลดลง โดย Y.T. Kim ได้พิจารณาเป็น 2 ช่วงความดันและอธิบายว่าที่ความดันต่ำนั้นวิถีเสรีเฉลี่ยของอนุภาคในพลาสมาสูงจึงไม่มีการชนกันในซีทหรือมีการชนกันน้อยมาก ทำให้อนุภาคไอออนและอนุมูลของมีเทนในช่วงความดันต่ำมีพลังงานสูง กลไกการเกิดฟิล์มในช่วงความดันต่ำนี้จึงขึ้นกับการสปีทเทอร์ของอนุภาค ซึ่งจะสปีทเทอร์ sp^2 ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าออกไปได้ง่ายกว่า แต่เมื่อความดันสูงขึ้นอนุภาคมีการชนกันเพิ่มมากขึ้น ทำให้พลังงานของอนุภาคลดลง กลไกการเกิดฟิล์มในช่วงนี้จะขึ้นกับการตกสะสมของอนุภาคพลังงานต่ำ ซึ่งจะเกาะติดที่ผิวหน้าของฟิล์มเกิดเป็นแกรไฟต์หรือ sp^2 ที่ความหนาแน่นต่ำกว่าเท่านั้น

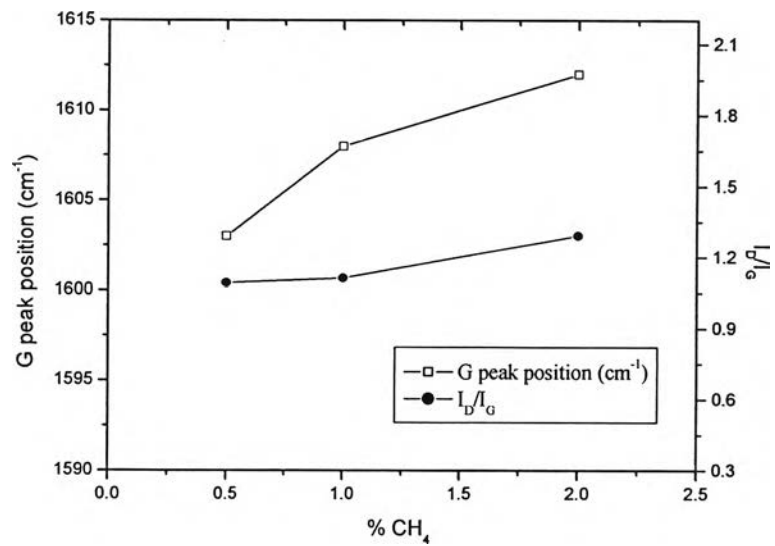
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC ที่ได้จากการทดลองนี้กับลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ที่ความดันระหว่าง 0.5 - 5.0 torr ในหัวข้อที่ 4.2.2.2 จะพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจนถึง 2.0 torr ปริมาณของ sp^3 เพิ่มขึ้น แล้วลดลงที่ความดัน 5.0 torr สอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวฟิล์มที่แสดงลักษณะของแกรไฟต์น้อยลงที่ความดันในช่วง 1.0 - 2.0 torr

4.2.3.3 ผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD ในหัวข้อที่ 2.4 และผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อไฮโดรเจนต่อลักษณะโครงสร้างของฟิล์ม DLC ในหัวข้อที่ 2.7.1 ลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์มที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนในปริมาณน้อยจะบ่งบอกถึงความเป็นแกรไฟต์ลดลง [25] ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงจะทำการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 5.0 % กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 700 W ความดัน 1.0 torr อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm หลังจากนั้นนำฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบโครงสร้างด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ดังรูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งและอัตราส่วนของความเข้มของพีค D ต่อ พีค G (I_D/I_G) ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.5 - 2.0%



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.5 - 2.0%

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 เมื่ออัตราส่วนของมีเทนเพิ่มขึ้นจาก 0.5% ถึง 2.0% ตำแหน่งของ พีค G เลื่อนขึ้นไปเลขคลื่นสูงขึ้น อัตราส่วนของความเข้มของ I_{D/I_G} เพิ่มขึ้นด้วย แสดงถึงปริมาณของ sp^3 ที่ลดลงในฟิล์ม ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ W.S.Liew และคณะ [25] สังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF PECVD ด้วยระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP ที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.8% 1.0% 3.0% และ 5.0% ที่อัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.8% และ 1.0% ฟิล์มมีลักษณะเป็นพหุผลึก (Polycrystalline) ในขณะที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 3.0% และ 5.0% ผิวหน้าฟิล์มมีลักษณะเป็นดอกกะหล่ำ (Cauliflower-like structure) มีเกรนขนาดเล็กผสม เนื่องจาก sp^3 แสดงลักษณะเป็นผลึกมากกว่า sp^2 ดังนั้นจึงเชื่อว่าฟิล์มที่สังเคราะห์ที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.8% และ 1.0% มีพันธะ sp^3 มากกว่าฟิล์มที่สังเคราะห์ที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 3.0% และ 5.0% จากการศึกษาแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ถึงบทบาทของอะตอมไฮโดรเจนในการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ของ W. Piekarczyk และ S. Prawer [41] พบว่าเมื่อปริมาณแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้น จะทำให้มีการแตกตัวเป็นอนุมูล CH_2 เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีแกรไฟต์ sp^2 เพิ่มมากขึ้น [1, 26]

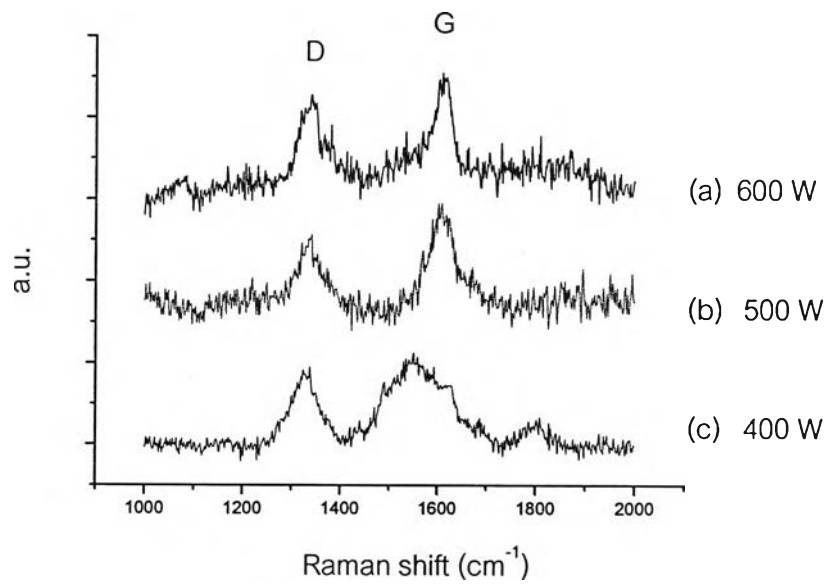
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC ที่ได้จากการทดลองนี้กับลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 5.0% ในหัวข้อที่ 4.2.2.3 จะพบว่าเมื่ออัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ลักษณะเฉพาะของรามานบ่งชี้ว่าปริมาณของ sp^3 ลดลง สอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวฟิล์มที่แสดงลักษณะของแกรไฟต์มากขึ้น

4.2.3.4. ผลของชนิดของแผ่นรองรับต่อฟิล์ม DLC

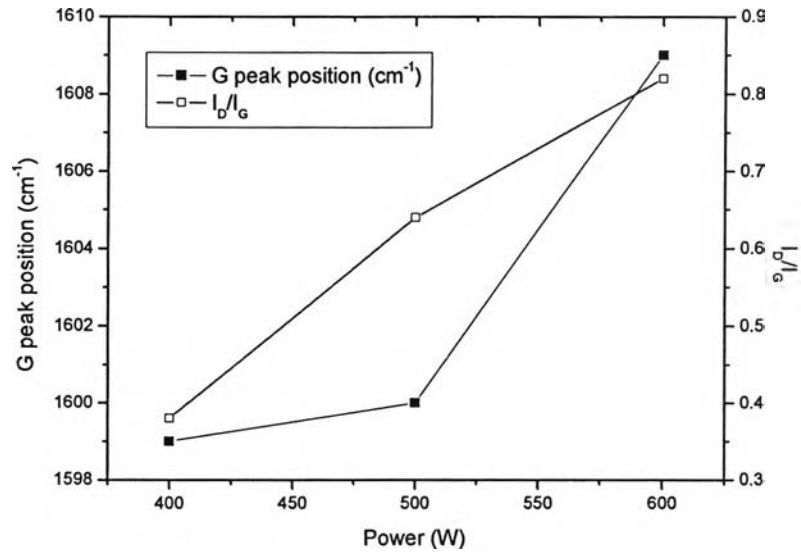
จากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ในหัวข้อที่ 2.4 มีการใช้แผ่นรองรับที่แตกต่างกันเช่น แผ่นซิลิกอน นิเกิลหรือแผ่นกระจก ในหัวข้อวิจัยนี้สังเคราะห์ฟิล์ม DLC ลงบนแผ่นกระจกแล้วเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์มที่สังเคราะห์บนแผ่นกระจกกับผลของลักษณะเฉพาะของรามานที่ได้จากฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์บนแผ่นอะลูมิเนียมในหัวข้อที่ผ่านมาข้างต้น โดยจะศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC บนแผ่นกระจก

การศึกษามผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC บนแผ่นกระจกนั้น จะสังเคราะห์ฟิล์มบนแผ่นกระจกด้วยกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 400 - 600 W ความดันระหว่าง 0.5 - 2.0 torr อัตราส่วนของแก๊สมีเทน

ต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 0.5% อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 100 sccm แล้วนำฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบโครงสร้างด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันต่อลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC บนแผ่นรองรับกระจก

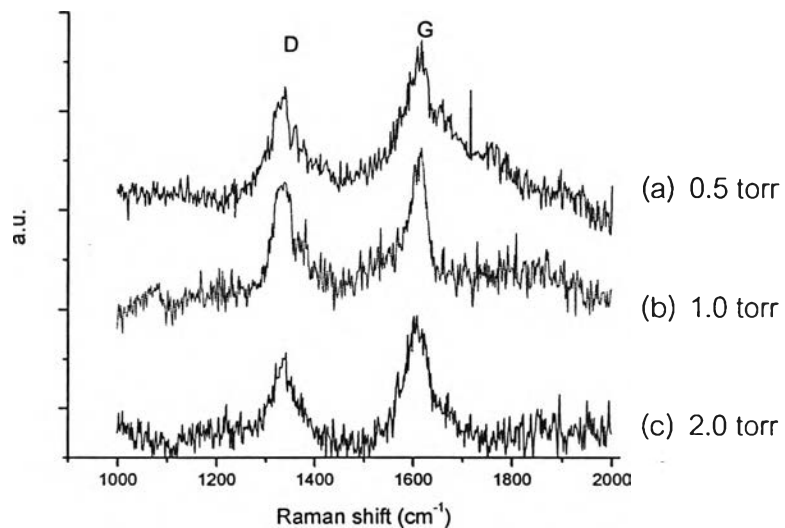


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC
กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 400 - 600 W

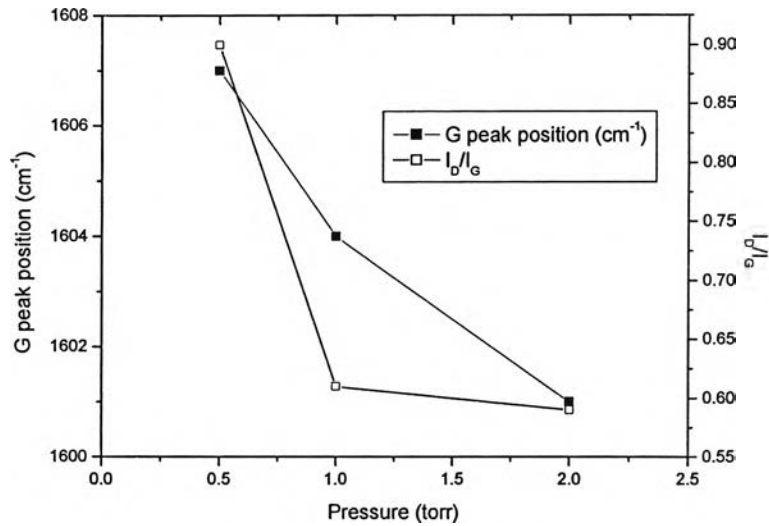


รูปที่ 4.17 ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 400 - 600 W

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้น ตำแหน่งของพีค G เลื่อนขึ้นไปเลขคลื่นสูงขึ้น สอดคล้องกับ อัตราส่วนของความเข้มของ I_D/I_G ที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงปริมาณของ sp^3 ที่ลดลง [35] เช่นเดียวกับฟิล์มที่สังเคราะห์ได้บนแผ่นอะลูมิเนียม



รูปที่ 4.18 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานและของฟิล์ม DLC ที่ความดัน 0.5 - 2.0 torr



รูปที่ 4.19 ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามาน ที่ความดัน 0.5 - 2.0 torr

จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 ที่ความดัน 0.5 - 2.0 torr ตำแหน่งของพีค G และอัตราส่วน I_D/I_G มีแนวโน้มลดลง เมื่อความดันเพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงปริมาณของ sp^3 ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดันในช่วง 0.5 - 2.0 torr

จากลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์บนแผ่นอะลูมิเนียมและกระจก มีแนวโน้มของฟิล์มคล้ายคลึงกัน แต่เนื่องจากกระจกที่ใช้เป็นกระจกสไลด์ทั่วไป ทำให้ลักษณะเฉพาะของรามานมีสัญญาณพื้นหลังค่อนข้างมากและการแตกกว้างและหลุดลอกของผิวกระจกเนื่องจากความร้อนในการสังเคราะห์