

ภาวะการสังเคราะห์และลักษณะเฉพาะของรามานสเปกโทรสโกปีของฟิล์มบางคาร์บอน
คล้ายเพชรตกสะสมโดยเทคนิคอาร์เอฟ-พีอีซีวีดี



นางสาวอัมชันัญ หมวกงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-3270-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 25 193159

SYNTHESIS CONDITIONS AND RAMAN SPECTROSCOPY CHARACTERISTICS OF THE
DIAMOND-LIKE-CARBON THIN FILMS DEPOSITED BY RF-PECVD TECHNIQUE

ANCHAN MUAKNGAM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Physics

Department of Physics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

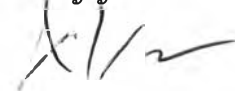
Academic Year 2005

ISBN 974-14-3270-4

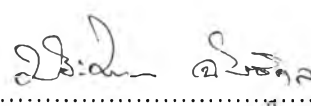
481979

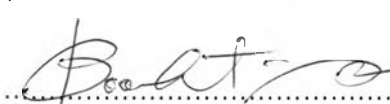
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ภาวะการสังเคราะห์และลักษณะเฉพาะของรามานสเปกโทรสโกปีของ
ฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรตกสะสมโดยเทคนิคอาร์เอฟ-พลาสมา
โดย นางสาวอัมชัญ หมวกงาม
สาขาวิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง

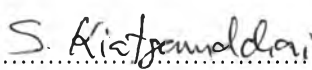
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพงษ์ วิทิตสานต์)
รองคณบดีฝ่ายบริหาร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประไพพรรณ ฉันทิกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมชาย เกียรติกมลชัย)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุกตธรรม เสนาะพิมพ์)


นางสาวอ้นชัญ หมวกงาม : ภาวะการสังเคราะห์และลักษณะเฉพาะของรามานสเปกโทรสโกปีของฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรตกสะสมโดยเทคนิคอาร์เอฟ-พีอีซีวีดี. (SYNTHESIS CONDITIONS AND RAMAN SPECTROSCOPY CHARACTERISTICS OF THE DIAMOND-LIKE-CARBON THIN FILMS DEPOSITED BY RF-PECVD TECHNIQUE)
 อ. ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เฝ้าสวัสดิ์ยรรยง, 74 หน้า. ISBN 974-14-3270-4.

งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดกลางมั้วร์และสังเคราะห์ฟิล์มDLC ด้วยเทคนิคการตกสะสมไอเชิงเคมีเสริมด้วยพลาสมาที่ความถี่คลื่นวิทยุ หรือ เทคนิค RF-PECVD บนแผ่นรองรับอะลูมิเนียมและกระจก ด้วยแก๊สตั้งต้นผสมระหว่างแก๊สมีเทนและแก๊สไฮโดรเจน ฟิล์มที่ได้นำไปวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดและวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยรามานสเปกโทรสโกปี

ผลการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาที่ความดันระหว่าง 0.1 - 1.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 100 - 800 W อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 2.0 พบว่าอุณหภูมิอิเล็กตรอนมีค่าในช่วง 1.66 eV ถึง 3.78 eV คาลดลงเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดันเพิ่มขึ้น แต่ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนกับอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน ความหนาแน่นพลาสมามีค่าในช่วง $2.64 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ ถึง $5.95 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นกับทั้งกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและความดัน แต่ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนกับอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน

ผลการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ที่ความดันระหว่าง 0.5 - 5.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 500 - 800 W อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 5.0 พบว่า ฟิล์มที่มีลักษณะของแกรไฟต์น้อยที่สุดจากการทดลองนี้คือ ฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ด้วยกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 500 W ความดันในช่วง 1.0 - 2.0 torr และอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนเท่า 0.5

ภาควิชา ฟิสิกส์
 สาขาวิชา ฟิสิกส์
 ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต... อ้นชัญ หมวกงาม
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา... 

4572586923 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: DIAMOND-LIKE-CARBON / RF-PECVD

ANCHAN MUAKNGAM: SYNTHESIS CONDITIONS AND RAMAN SPECTROSCOPY CHARACTERISTICS OF THE DIAMOND-LIKE-CARBON THIN FILMS DEPOSITED BY RF-PECVD TECHNIQUE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. BOONCHOAT PAOSAWATYANYONG, 74 pp. ISBN 974-14-3270-4.

In This research, plasma parameters have been measured and diamond-like carbon (DLC) films have been prepared by Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (RF-PECVD) technique on aluminium and glass substrates with the CH_4/H_2 admixture as precursor gas. The surface structure and morphology of the films were characterized by SEM and Raman spectroscopy.

The plasma parameters have been measured at pressure between 0.1 - 1.0 torr, RF power between 100 - 800 W and CH_4/H_2 between 0.5 - 2.0. The results showed that electron temperature was ranged between 1.66 eV and 3.78 eV, electron temperature was decrease with increasing RF-power as well as pressure, but do not vary with CH_4/H_2 ratio. The plasma density was between $2.64 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ and $5.95 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$. The plasma density was increase with RF-power as well as pressure, but there was no obvious trend with CH_4/H_2 ratio.

The DLC films were grown at pressure between 0.5 - 5.0 torr, RF power between 500 - 800 W and CH_4/H_2 ratio between 0.5 - 5.0. The results showed that the lower graphitic content DLC films were obtained at RF power 500 W, pressure in the range of 1.0 - 2.0 torr and CH_4/H_2 ratio of 0.5.

Department Physics
Field of study Physics
Academic year 2005

Student's signature.....*อันชัน มุอาคังงาม*
Advisor's signature.....*Boonchoat Paosawatyanong*

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง สำหรับคำแนะนำในเรื่องต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ทั้งในเรื่องวิชาการและเรื่องทั่วไป

ขอขอบคุณ กรรมการทุกท่าน ที่ตรวจสอบและให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณดุสิต งามรุ่งโรจน์ คุณชนิษฐา หงส์เลิศกุล คุณไพรัช คำสิงห์ และคุณอภาภรณ์ สกุลภาวะเวก ที่ให้ความช่วยเหลืองานด้านต่าง ๆ พร้อมกำลังใจที่ดีมาตลอด

และสุดท้ายขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และคุณยาย ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 คาร์บอนในโครงผลึก.....	5
2.1.1 ออร์บิทัลลูกกลมสมหรือไฮบริดออร์บิทัล	5
2.1.2 เพชร	7
2.1.3 แกรไฟต์	8
2.2 พิล์ม DLC.....	9
2.2.1 โครงสร้างและสมบัติของฟิล์ม DLC	9
2.2.2 เทคนิคการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC	11
2.2.3 เทคนิคการตกสะสมไอเชิงเคมีเสริมด้วยพลาสมาที่ความถี่คลื่นวิทยุ	13
2.3 ระบบกำเนิดพลาสมาแบบเหนี่ยวนำด้วยกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ	14
2.3.1 องค์ประกอบของระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP	14
2.3.2 การส่งผ่านพลังงานในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP.....	15
2.4 การสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD	19
2.5 สมบัติของพลาสมา.....	21
2.5.1 การวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดทางไฟฟ้า.....	21
2.5.2 อุณหภูมิอิเล็กตรอน	22

	หน้า
2.5.3 ความหนาแน่นของพลาสมา.....	23
2.5.4 พารามิเตอร์ของพลาสมาในระบบ ICP.....	24
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	25
2.6.1 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC.....	26
2.7 รามานสเปกโทรสโกปี.....	29
2.7.1 หลักการกระเจิงของรามาน.....	29
2.7.2 รามานสเปกโทรสโกปีของฟิล์ม DLC.....	31
2.7.3 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของฟิล์ม DLC ด้วย ลักษณะเฉพาะของรามานสเปกโทรสโกปี.....	33
บทที่ 3 การทดลอง.....	37
3.1 ระบบ RF-PECVD.....	37
3.2 การวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดกลางมัวร์.....	40
3.2.1 ระบบหัววัดกลางมัวร์.....	40
3.2.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของพลาสมา.....	42
3.3 การสังเคราะห์ฟิล์ม DLC.....	44
3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD.....	44
3.3.2 ภาวะที่ใช้สังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิค RF-PECVD.....	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	46
4.1 ผลการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดกลางมัวร์.....	46
4.1.1 ผลของความดันแก๊สต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและ ความหนาแน่นของพลาสมา.....	47
4.1.2 ผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน ต่ออุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา.....	49
4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC.....	50
4.2.1 อัตราการเกิดฟิล์ม DLC.....	51
4.2.1.1 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและ ความดันของแก๊สต่ออัตราการเกิดฟิล์ม DLC.....	51
4.2.1.2 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุและ อัตราส่วนของแก๊สต่ออัตราการเกิดฟิล์ม DLC.....	52

4.2.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม	
DLC ด้วย SEM	53
4.2.2.1 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ	
ต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC	53
4.2.2.2 ผลของความดันต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC	54
4.2.2.3 ผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน	
ต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC	56
4.2.3 ลักษณะเฉพาะของรามาน.....	58
4.2.3.1 ผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อลักษณะเฉพาะ	
ของรามานของฟิล์ม DLC.....	58
4.2.3.2 ผลของความดันต่อลักษณะเฉพาะของรามาน	
ของฟิล์ม DLC.....	60
4.2.3.3 ผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจนต่อ	
ลักษณะเฉพาะของรามานของฟิล์ม DLC	62
4.2.3.4 ผลของชนิดของแผ่นรองรับต่อฟิล์ม DLC.....	64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	68
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	68
5.1.1 การศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุต่อฟิล์ม DLC.....	68
5.1.2 การศึกษาผลของความดันต่อฟิล์ม DLC.....	68
5.1.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน	
ต่อฟิล์ม DLC.....	69
5.1.4 การศึกษาผลของชนิดของแผ่นรองรับต่อฟิล์ม DLC.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง.....	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	74

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไฮบริดเซชันของอะตอมคาร์บอน.....	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเพชร	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของแกรไฟต์	8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของฟิล์ม DLC.....	9
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงเฟสต่างๆในระบบคาร์บอนโครงสร้างแบบอสัณฐาน	10
รูปที่ 2.6 กระบวนการเกิดฟิล์มใน CVD	12
รูปที่ 2.7 เทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC.....	12
รูปที่ 2.8 เทคนิคการตกตะกอนไอเชิงเคมีเสริมด้วยพลาสมาที่ความถี่คลื่นวิทยุ.....	14
รูปที่ 2.9 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบขดลวดระนาบ	16
รูปที่ 2.10 หม้อแปลงแกนอากาศในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP	16
รูปที่ 2.11 วงจรของหม้อแปลงแกนอากาศในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP.....	17
รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลแบบจำลองหม้อแปลงแกนอากาศในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP	18
รูปที่ 2.13 ลักษณะเฉพาะของกระแสกับความต่างศักย์ของหัววัดลงมัวร์.....	22
รูปที่ 2.14 อุณหภูมิอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเมื่อความดันแก๊สลดลง จากการทดลองของ C. K. Kim.....	24
รูปที่ 2.15 ความหนาแน่นของพลาสมาเพิ่มขึ้นเมื่อความดันแก๊สและกำลังไฟฟ้า ที่ความถี่คลื่นวิทยุเพิ่มขึ้น จากการทดลองของ C. K. Kim	25
รูปที่ 2.16 ความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม DLC ที่วัดด้วย AFM จากการ ทดลองของ S. C. Won และคณะ.....	26
รูปที่ 2.17 ลักษณะผิวหน้าฟิล์มที่ได้จากการทดลองของ W.S. Liew และคณะ	27
รูปที่ 2.18 พื้นผิวของฟิล์ม DLC จากการทดลองของ T. Shimizu และคณะ	28
รูปที่ 2.19 สเปกตรัมรามานของ (a) เพชรธรรมชาติ (b) ผลึกแกรไฟต์	32
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ของตำแหน่งพีค G และสัดส่วน I_D/I_G กับ sp^3	33
รูปที่ 2.21 สเปกตรัมรามานของฟิล์ม DLC จากการทดลองของ S. C. Won และคณะ	34
รูปที่ 2.22 สเปกตรัมรามานจากการทดลองของ Y.T. Kim.....	35
รูปที่ 2.23 สเปกตรัมรามานที่ได้จากการทดลองของ W.S. Liew และคณะ	35
รูปที่ 2.24 สเปกตรัมรามานจากการทดลองของ T. Shimizu และคณะ	36
รูปที่ 3.1 ส่วนต่างของระบบ RF-PECVD ที่ใช้ในการทดลอง	38

รูปที่ 3.2	ภาพถ่ายของระบบ RF-PECVD ที่ใช้ในการทดลอง	39
รูปที่ 3.3	ส่วนประกอบของหัววัดกลางมัวร์แบบชดเชยค่าภายในตัวเอง	40
รูปที่ 3.4	ภาพรวมของระบบการวัดพลาสมาด้วยหัววัดกลางมัวร์.....	41
รูปที่ 3.5	กราฟส่อกระแสศักย์ของพลาสมาของแก๊สผสมระหว่างแก๊สมีเทนและ แก๊สไฮโดรเจนที่ความดัน 0.1 torr.....	42
รูปที่ 3.6	กราฟลักษณะส่อกระแสศักย์เล็กตรอนศักย์ของพลาสมา.....	43
รูปที่ 3.7	กราฟระหว่างลอกการรบกวนของกระแสเล็กตรอนกับศักย์	43
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเล็กตรอนกับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ ที่ความดัน 0.1 - 1.0 torr.....	47
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมา กับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ คลื่นวิทยุที่ความดัน 0.1 - 1.0 torr	48
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเล็กตรอนกับอัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อ แก๊สไฮโดรเจน	49
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมา กับ อัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน	50
รูปที่ 4.5	อัตราการเกิดฟิล์ม DLC ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ ระหว่าง 500 - 800 W.....	51
รูปที่ 4.6	อัตราการเกิดฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.5 - 2.0	52
รูปที่ 4.7	ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 500 - 700 W	54
รูปที่ 4.8	ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr.....	55
รูปที่ 4.9	ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนอัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อ ไฮโดรเจนระหว่าง 0.5 - 5.0	57
รูปที่ 4.10	สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ ระหว่าง 500 - 800 W.....	59
รูปที่ 4.11	ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามาน ที่ กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 500 - 800 W	59
รูปที่ 4.12	สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามาน DLC ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr	61
รูปที่ 4.13	ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามาน ที่ความดัน 0.5 - 5.0 torr	61

รูปที่ 4.14	สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.5 - 2.0.....	63
รูปที่ 4.15	ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่อัตราส่วนของแก๊สมีเทนต่อแก๊สไฮโดรเจน 0.5 - 2.0	63
รูปที่ 4.16	สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุระหว่าง 400 - 600 W.....	65
รูปที่ 4.17	ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่กำลังไฟฟ้าที่ความถี่คลื่นวิทยุ 400 - 600 W.....	66
รูปที่ 4.18	สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่ความดัน 0.5 - 2.0 torr	66
รูปที่ 4.19	ตำแหน่งของพีค G และ อัตราส่วน I_D/I_G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่ความดัน 0.5 - 2.0 torr.....	67

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 สมบัติต่างๆของเพชร	1
ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้สังเคราะห์ฟิล์ม DLC	45
ตารางที่ 4.1 ภาวะของพลาสมาในระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ICP ที่ใช้ในการวัดพารามิเตอร์ด้วยหัววัดลงมัวร์	46