

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



246902

การสังเคราะห์หัตถ์ของนางครุฑบนกล้ายเพชรเจ็ดดวงสารจักร์เพชรไทยเทคนิคสีซีเมนต์ที่นครนรบุรีนครวิ

นางสาวอรุณญา มั่นแข็ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

อธิการบดีของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b 0025 1394

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246902

การสังเคราะห์ฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยสารซัลเฟอร์ โดยเทคนิคซีเอ็มเคทีอาร์



นางสาวอรุณญา แซ่เฮ็ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 0 7 0 6 2 4 5 2 1

SYNTHESIS OF SULPHUR DOPED DIAMOND LIKE CARBON FILMS USING DC MAGNETRON
SPUTTERING METHOD

Miss Arunya Saeheng

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสังเคราะห์ฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยสารซัลเฟอร์
โดยเทคนิคซีเอ็มกนีตรอนสเปกโตรสโกปี

โดย

นางสาวอรุณญา แซ่เฮ้ง

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

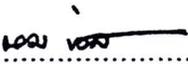
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร โทณานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง

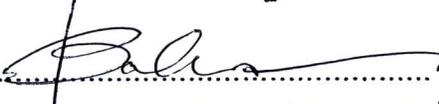
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนรินทร์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.อนันต์ สุทธิธารณ์วัช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร โทณานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วงศ์ ปวารจารย์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ แดงตีบ)

อรัญญา แซ่เฮ้ง : การสังเคราะห์ฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยสารซัลเฟอร์ โดยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง : (SYNTHESIS OF SULPHUR DOPED DIAMOND LIKE CARBON FILMS USING DC MAGNETRON SPUTTERING METHOD) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.ณัฐพร โทณานนท์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ. ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง, 80 หน้า.

246902

การสังเคราะห์ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรของเป้าผสมซัลเฟอร์กับแกรไฟต์ ทำโดยการตกสะสมโดยดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงที่ความดัน 8×10^{-2} ทอร์ ในระบบบรรยากาศแก๊สอาร์กอนที่อัตราการไหล 2 sccm ทำให้เกิดฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยซัลเฟอร์ เป้าผสมซัลเฟอร์กับแกรไฟต์ทำจากการผสมผงซัลเฟอร์กับแกรไฟต์ที่จำนวนร้อยละของโมลาร์ซัลเฟอร์แตกต่างกัน เช่น 0%, 2%, 5%, 8% และ 10% ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยซัลเฟอร์ถูกปลูกลงบนแผ่นรองรับซิลิกอนและควอตซ์ ที่ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า เวลา และจำนวนร้อยละของโมลาร์ของซัลเฟอร์ที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้า ทางแสง ทางกายภาพ และทางโครงสร้างของฟิล์มได้ถูกศึกษา ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยซัลเฟอร์ในงานนี้ มีค่าสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรและฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรอยู่ในช่วง $2.82 \times 10^{-2} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ ถึง $1.84 \times 10^{-3} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ และค่าสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยซัลเฟอร์อยู่ในช่วง $5.95 \times 10^{-1} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ ถึง $6.39 \times 10^{-3} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ สอดคล้องกับค่าแถบพลังงานของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรและฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรเจือด้วยซัลเฟอร์ในช่วง 1.066-1.967 และ 1.08-2.38 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ ลักษณะพื้นผิวหน้าของฟิล์มพบนภาคระดับไมครอนกระจายบนพื้นผิว เมื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยรามานสเปกโทรสโกปีที่อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อซัลเฟอร์ 0-10% ปรากฏสเปกตรัมรามานที่ปรากฏพีก D และพีก G ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1413 และ 1573 cm^{-1} ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณซัลเฟอร์ 2-10% พบว่าตำแหน่งพีก G เลื่อนลงจากเลขคลื่น 1573 ไปที่เลขคลื่น 1477 cm^{-1} และอัตราส่วน I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.43 ไป 0.52 แสดงถึงความเป็นเพชรเพิ่มมากขึ้น

ภาควิชา...วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....อรัญญา แซ่เฮ้ง.....
 สาขาวิชา...วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....ดร.โทณานนท์.....
 ปีการศึกษา.....2553.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5070624521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : DIAMOND-LIKE CARBON FILM / DC MAGNETRON SPUTTERING / SULFUR DOPED / ENERGY BAND GAP

ARUNYA SAEHENG: SYNTHESIS OF SULPHUR DOPED DIAMOND LIKE CARBON FILMS USING DC MAGNETRON SPUTTERING METHOD ADVISOR: ASST. PROF. NATTAPORN TONANON, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. BOONCHOAT PAOSAWATYANYONG, Ph.D., 80 pp.

246902

In this work, Diamond-like carbon (DLC) and sulfur doped DLC films (S-DLC) were deposited on glass and quartz substrates by DC magnetron sputtering technique. The target were made from the mixture of sulfur and graphite powder with different percent sulfur by molar such as 0%, 2%, 5%, 8%, and 10% under working pressure 8×10^{-2} torr. The total argon gas flow was kept constant at 2 sccm. The effects of power density, time and sulfur molar percentage on the electrical, optical, physical and structural properties of the resulting films were studied. The DLC and S-DLC films in this work showed conductivity values in the range of $2.82 \times 10^{-2} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ to $1.84 \times 10^{-3} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ and 5.95×10^{-1} to $6.39 \times 10^{-3} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ respectively, corresponding to energy band gap in the range of 1.066-1.967 and 1.08-2.38 eV respectively. The surface morphology showed the presence of micron-sized particulates on the surface. The Raman spectra of DLC and S-DLC films can be deconvoluted into two Gaussian peaks which show the centre of graphite band at 1573 cm^{-1} and disorder band at 1413 cm^{-1} and graphite band at 1573 cm^{-1} and disorder band at 1477 cm^{-1} respectively. It was found that the G-band peak position shift down and I_D/I_G ratio shifted to higher were in the range 0.43-0.52 with increasing percent of sulfur in the targets which indicates the increase of vibrating mode in the D band of S-DLC films. Hence, the Raman spectra of the S-DLC films become increasingly sp^2 with percent sulfur.

Department :Chemical Engineering.....Student's Signature :*Arunya Saeheng*.....
Field of Study : ... Chemical Engineering... Advisor's Signature :*Nattaporn Tonanon*.....
Academic Year :2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจากหลายๆ ฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ณัฐพร โทณานนท์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือในทุกสิ่ง ตลอดจนเป็นกำลังใจให้ผู้เขียน จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณกรรมการทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบและให้คำแนะนำต่างๆ ในการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนในการสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนในการสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย ผศ.กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ และอาจารย์ ดร. รุจิกร ธนวิทยาพล ภาควิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือในการวิเคราะห์ และคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณคุณดุสิต งามรุ่งโรจน์ คุณกัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล ที่ให้ความช่วยเหลืองานด้านต่างๆ พร้อมกำลังใจที่ดีมาตลอด

ขอขอบคุณความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือในการวิเคราะห์ ห้องเครื่องมือกลาง ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ขอขอบคุณความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือในการวิเคราะห์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ บิดา มารดา น้องสาว และเพื่อนๆทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนให้ความร่วมมือในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 3 |
| 1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 รูปแบบของคาร์บอนในโครงผลึก | 5 |
| 2.1.1 เพชร..... | 5 |
| 2.1.2 แกรไฟต์..... | 6 |
| 2.1.3 สมบัติของแกรไฟต์และเพชร..... | 7 |
| 2.2 พิล์ม DLC | 7 |
| 2.2.1 โครงสร้างของฟิล์ม DLC..... | 7 |
| 2.2.2 เทคนิคการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC..... | 8 |
| 2.3 การสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิคสปีดเตอริง..... | 8 |
| 2.3.1 ผลของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง..... | 9 |
| 2.3.1.1 เวลา..... | 9 |
| 2.3.1.2 เปอร์เซนต์สารเจือ..... | 10 |
| 2.3.1.3 กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ของผิวเป้า..... | 10 |
| 2.3.1.4 ระยะห่าง..... | 10 |
| 2.3.1.5 ความดัน..... | 10 |
| 2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการสปีดเตอริง..... | 10 |

| | ช หน้า |
|--|-----------|
| 2.4 การใส่อะตอมสารเจือในฟิล์ม DLC..... | 13 |
| 2.4.1 การใส่อะตอมสารเจือแบบพี..... | 13 |
| 2.4.1.1 การสังเคราะห์ ฟิล์มDLC โดยใส่อะตอมสารเจือโบรอน..... | 13 |
| 2.4.2 การโคปแบบเอ็น..... | 15 |
| 2.4.2.1 การสังเคราะห์ ฟิล์มDLCโดยใส่อะตอมสารเจือไนโตรเจน..... | 15 |
| 2.4.2.2 การสังเคราะห์ ฟิล์มDLC โดยใส่อะตอมสารเจือฟอสฟอรัส..... | 18 |
| 2.4.2.3 การสังเคราะห์ ฟิล์ม DLCโดยใส่อะตอมสารเจือซัลเฟอร์..... | 21 |
| 2.5 รามานสเปกโทรสโกปี..... | 27 |
| 2.5.1 บทนำ..... | 27 |
| 2.5.2 ทฤษฎีและหลักการ..... | 27 |
| 2.5.3 รามานสเปกโทรสโกปี ของฟิล์ม DLC..... | 27 |
| 2.6 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี..... | 29 |
| 2.6.1 บทนำ..... | 29 |
| 2.6.2 ทฤษฎีและหลักการ..... | 30 |
| 2.6.3 การหาค่า Band gap..... | 30 |
| 2.7 วัดค่าการนำไฟฟ้าของฟิล์ม DLC ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยจ่ายศักย์ไฟฟ้า และวัดกระแสที่ไหลผ่านฟิล์ม..... | 31 |
| 2.7.1 บทนำ..... | 31 |
| 2.7.2 ทฤษฎีและหลักการวัดฟิล์มด้วยเทคนิค two-probe..... | 32 |
| 2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 33 |
| 2.8.1 บทนำ..... | 33 |
| 2.8.2 ทฤษฎีและหลักการ..... | 33 |
| 2.9 สเปกโตรสโคปีกอลลิบไซเมทรี..... | 34 |
| 2.9.1 บทนำ..... | 34 |
| 2.9.2 ทฤษฎีและหลักการวัดฟิล์ม..... | 34 |
| 2.9.3 การฟิตโมเดล..... | 35 |
| บทที่ 3 การทดลอง..... | 37 |
| 3.1 ระบบดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง..... | 37 |
| 3.2 การเตรียมเป้าในการสังเคราะห์..... | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.3 การสังเคราะห์ฟิล์มDLC..... | 39 |
| 3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอน | |
| สปีดเตอริง..... | 39 |
| 3.3.2 ภาวะที่ใช้สังเคราะห์ฟิล์ม DLC ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอน | |
| สปีดเตอริง..... | 39 |
| 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์..... | 40 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 43 |
| 4.1 สมบัติทางไฟฟ้า..... | 43 |
| 4.1.1 ผลของอัตราส่วนของคาร์บอนต่อซิลเฟออร์ที่ใช้เป็นเป้าต่อ | |
| ลักษณะสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์ม DLC..... | 43 |
| 4.1.2 สภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มต่อความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า..... | 43 |
| 4.2 สมบัติทางแสง..... | 45 |
| 4.2.1 ดัชนีหักเหของการสะท้อนแสง (Refractive Index) | |
| และการดูดกลืนแสง (Extinction Coefficient)..... | 45 |
| 4.2.2 แถบพลังงานของฟิล์มDLC เจือด้วยซิลเฟออร์ 0-10%..... | 46 |
| 4.3 สมบัติทางกายภาพ..... | 50 |
| 4.3.1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟออร์ 0-10%...50 | |
| 4.3.2 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC ต่อความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า51 | |
| 4.3.3 ความหนาของฟิล์ม DLCที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟออร์ 0-10% | |
| โดย SEM.. | 52 |
| 4.3.4 ศึกษาปริมาณซิลเฟออร์ที่อยู่ในฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนซิลเฟออร์0-10% | |
| ในเป้าโดย EDX..... | 53 |
| 4.3.5 ความหนาของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟออร์ 2% | |
| ต่ออัตราการสังเคราะห์ฟิล์มที่เวลา 30-75 นาที | 55 |
| 4.3.6 ความหนาของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟออร์ 0-10% | |
| และเวลา 30-75 นาที โดยสเปกโตรสโคปิกอิทธิพลโพไซเทรี | 55 |
| 4.4 สมบัติทางโครงสร้าง..... | 57 |
| 4.4.1 อัตราส่วน I_p/I_G และตำแหน่งพีค G ต่อฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วน | |
| คาร์บอนต่อซิลเฟออร์0-0.041% ในฟิล์ม..... | 57 |

| | |
|--|------|
| | ญ |
| | หน้า |
| 4.4.2 อัตราส่วน I_p/I_G และตำแหน่งพีค G ต่อความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า..... | 60 |
| 4.4.3 อัตราส่วน I_p/I_G และตำแหน่งพีค G ต่ออัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า..... | 61 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 63 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 63 |
| 5.1.1 การศึกษาผลของฟิล์ม DLC เจือซิลเฟอร 0-10% | 63 |
| 5.1.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า..... | 63 |
| 5.1.3 การศึกษาผลของอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า..... | 64 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 64 |
| รายการอ้างอิง..... | 65 |
| ภาคผนวก..... | 69 |
| ภาคผนวก ก สมบัติทางไฟฟ้าที่อัตราส่วนซิลเฟอร 0-10%..... | 70 |
| ภาคผนวก ข กราฟที่ได้จากการ Fit โมเดล Tauc- Lorence เงื่อนไข ความต่างศักย์ 500V ที่อัตราส่วนซิลเฟอร 0-10%..... | 71 |
| ภาคผนวก ค วิเคราะห์กราฟที่ได้จากการคำนวณหาค่าแถบพลังงาน จากสเปกโตรสโคปิกอิลลิปโซเมทรี..... | 74 |
| ภาคผนวก ง ตัวอย่างสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อซิลเฟอร 0-10% โดยใช้ Fit Gaussian... | 78 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 80 |

สารบัญตาราง

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 สมบัติด้านต่างๆของแกรไฟต์และเพชร..... | 7 |
| ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยในกระบวนการสปีดเตอริงของฟิล์ม DLC..... | 12 |
| ตารางที่ 2.3 สรุปแถบพลังงานของฟิล์ม DLC และฟิล์มเพชร..... | 26 |
| ตารางที่ 2.4 สรุปค่าสภาพนำไฟฟ้าและแถบพลังงานของฟิล์ม DLC..... | 26 |

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเพชร..... | 6 |
| รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแกรไฟต์ทั้งหมด..... | 6 |
| รูปที่ 2.3 โครงสร้างระบบคาร์บอนแบบอสัณฐานในเฟสต่างๆ สัมพันธ์กับปริมาณไฮโดรเจน sp^3 และ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล..... | 8 |
| รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของระบบ ดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง..... | 9 |
| รูปที่ 2.5 การเจือด้วยสารอะตอมกลางแบบพี..... | 13 |
| รูปที่ 2.6 การเจือด้วยสารอะตอมกลางแบบเอ็น..... | 15 |
| รูปที่ 2.7 แสดงผลของรามานสเปกตรัมของฟิล์ม DLC เจือไนโตรเจน กำลังไฟฟ้าหนาแน่น 20 W/cm^2 บนเวเฟอร์ซิลิคอน..... | 16 |
| รูปที่ 2.8 แสดงปริมาณของโครงสร้าง sp^2 ที่ปริมาณ N_2 ต่างๆบนวัสดุรองรับ เวเฟอร์ซิลิคอน..... | 17 |
| รูปที่ 2.9 อัตราส่วน I_D/I_G และตำแหน่งพีค G ที่กำลังความหนาแน่นต่างๆ..... | 17 |
| รูปที่ 2.10 แสดงผลลักษณะผิวหน้าฟิล์ม DLC ไม่เจือและ แสดงผลลักษณะ ผิวหน้าฟิล์ม ที่ใส่สารเจือไนโตรเจน..... | 18 |
| รูปที่ 2.11 แสดงกระแสของฟิล์ม DLC เจือฟอสฟอรัส..... | 19 |
| รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะผิวหน้าฟิล์มDLC ที่ของความเข้มข้นต่างๆ..... | 19 |
| รูปที่ 2.13 แสดงผลลักษณะผิวหน้าฟิล์ม DLC ไม่เจือและ แสดงผล ลักษณะผิวหน้าฟิล์มเจือซิลเฟอร์..... | 21 |
| รูปที่ 2.14 รามานสเปกตรัมของฟิล์ม DLC ที่ปริมาณสารซิลเฟอร์ ที่ 0 ppm 50 ppm และ (c) 100 ppm ตามลำดับ..... | 22 |
| รูปที่ 2.15 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม DLC โดย ฟิล์ม DLCไม่เจือและ ฟิล์ม DLC เจือซิลเฟอร์..... | 22 |
| รูปที่ 2.16 รามานสเปกตรัมของฟิล์มเพชร (a) ฟิล์มDLCเจือซิลเฟอร์ร่วมกับโบรอน และ (b)ฟิล์ม DLC ซึ่งเจือโบรอน..... | 23 |
| รูปที่ 2.17 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มDLCที่ 900°C ที่อัตราส่วน S/Pเท่ากับ 0.16, 0.32 และ 0.96..... | 24 |
| รูปที่ 2.18 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ 300K กับปริมาณซิลเฟอร์ ที่เตรียมโดย อุณหภูมิไพโรไลซิสที่แตกต่างกัน..... | 24 |

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะผิวหน้าฟิล์มDLC ที่ของความเข้มข้นต่างๆ..... | 25 |
| รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของ แก๊สซัลเฟอร์ที่1000 ppm..... | 25 |
| รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบชนิดรามานของคาร์บอนชนิดต่างๆ..... | 28 |
| รูปที่ 2.22 รามานสเปกตรัมของฟิล์ม DLC แสดงตำแหน่งและความสูงของพีค D และพีคG..... | 29 |
| รูปที่ 2.23 Deconvolution ของรามานสเปกตรัมของฟิล์ม DLC พิตกราฟโดยใช้ Gaussians.... | 29 |
| รูปที่ 2.24 หลักการวัดแบบ double beam..... | 30 |
| รูปที่ 2.25 ตัวอย่างสเปกตรัมการส่องผ่านฟิล์ม DLC..... | 31 |
| รูปที่ 2.26 ตัวอย่างฟิล์ม DLC ฟลิตโดยใช้ สมการ Tauc..... | 31 |
| รูปที่ 2.27 ช่วงของสภาพนำไฟฟ้า ของฉนวน สารกึ่งตัวนำ และ โลหะ..... | 32 |
| รูปที่ 2.28 การวัดความต้านทานไฟฟ้าชนิด 2 ขั้ว..... | 33 |
| รูปที่ 2.29 แสดงส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 34 |
| รูปที่ 2.30 การเกิดโพลาริซ์แบบวงรีแบบสะท้อนกับชิ้นงาน..... | 35 |
| รูปที่ 2.31 หาค่าความหนาของชั้น SiO ₂ ของตัวรองรับเวเฟอร์ซิลิคอน..... | 36 |
| รูปที่ 2.32 หาค่าความหนาของชั้นฟิล์มบนตัวรองรับเวเฟอร์ซิลิคอน..... | 36 |
| รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายของระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงที่ใช้ในงานวิจัย..... | 38 |
| รูปที่ 3.2 เครื่องอัดไฮโดรลิก และเป้าที่ใช้ในการทดลอง..... | 38 |
| รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6480LV | 40 |
| รูปที่ 3.4 ภาพถ่าย รามานสเปกโทรสโกปี ยี่ห้อ Renishaw invia..... | 40 |
| รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของฟิล์ม..... | 41 |
| รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ thermo รุ่น T90+UV/VIS..... | 41 |
| รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบหลักเครื่องสเปกโตรสโคปีอัลตราไวโอเล็ต..... | 42 |
| รูปที่ 4.1 ฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซัลเฟอร์ 0-10% ต่อค่าสภาพนำไฟฟ้า..... | 43 |
| รูปที่ 4.2 สภาพนำไฟฟ้าของฟิล์ม DLC ที่อุณหภูมิ pyrolysis 700°C 800°C และ 900°C.... | 44 |
| รูปที่ 4.3 ฟิล์ม DLC และ ฟิล์ม DLCที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซัลเฟอร์10% ต่อค่าสภาพนำไฟฟ้า..... | 45 |

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.4 ตัวอย่างของค่า n และ k ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟอร์ 2%..... | 46 |
| รูปที่ 4.5 ตัวอย่างของค่า n และ k ของฟิล์ม DLC โดยวิธี pulsed laser ablation ArF ที่ 193 nm บนวัสดุรองรับเวเฟอร์ซิลิคอน..... | 46 |
| รูปที่ 4.6 แถบพลังงานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟอร์ 0-10% โดยวิธี-วิธีเบิลสเปกโทรสโกปี..... | 47 |
| รูปที่ 4.7 แถบพลังงานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟอร์ 0-10% โดยสเปกโตรสโคปีอัลติราไวโอเล็ต..... | 47 |
| รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบแถบพลังงานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟอร์ 0-10% โดยวิธี-วิธีเบิลสเปกโทรสโกปี และ สเปกโตรสโคปีอัลติราไวโอเล็ต..... | 48 |
| รูปที่ 4.9 แถบพลังงาน โดยวิธี-วิธีเบิลสเปกโทรสโกปี และสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟอร์ 0-10%..... | 49 |
| รูปที่ 4.10 แถบพลังงาน โดยวิธี-วิธีเบิลสเปกโทรสโกปี และสภาพการไฟฟ้าของฟิล์ม DLC เจือฟอสฟอรัส 0-7% | 49 |
| รูปที่ 4.11 แถบพลังงานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อซิลเฟอร์ 0-10% ความต่างศักย์ 400-500V และที่เวลา 30-45 min โดยสเปกโตรสโคปีอัลติราไวโอเล็ต..... | 50 |
| รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวฟิล์มบนวัสดุรองรับเวเฟอร์ซิลิคอนความดัน 8×10^{-2} torr ความต่างศักย์ 500 V | 51 |
| รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวฟิล์มบนตัวรองรับเวเฟอร์ซิลิคอนความดัน 8×10^{-2} torr ต่อความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (a) 9 (b) 12.75 (c) 16.65 (d) 18.5 W/cm ² | 52 |
| รูปที่ 4.14 ความหนาของฟิล์มกับปริมาณซิลเฟอร์ 0-10% โดย cross section จาก SEM..... | 53 |
| รูปที่ 4.15 Cross-sectional จาก SEM ที่ 8% doped บนวัสดุรองรับเวเฟอร์ซิลิคอน..... | 53 |
| รูปที่ 4.16 กราฟคาไลเบรชันจากการศึกษาชุดการสังเคราะห์ฟิล์ม DLC ที่ปริมาณซิลเฟอร์ 0,1,5,10 และ 25 %..... | 54 |
| รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณซิลเฟอร์ในฟิล์มต่อปริมาณซิลเฟอร์ในเป้าที่ใช้ในการทดลอง..... | 54 |
| รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในฟิล์ม และในเป้าที่ฟอสฟอรัส 1,3,5,7 โดยมวล..... | 55 |
| รูปที่ 4.19 ความหนาของฟิล์มกับปริมาณซิลเฟอร์ 2% เวลา 30-75 นาที..... | 55 |
| รูปที่ 4.20 ความหนาของฟิล์มกับปริมาณซิลเฟอร์ 0-10% ที่ความต่างศักย์ 400-500V เวลา 30-75 นาที..... | 56 |

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.21 ความหนาของฟิล์มกับปริมาณซัลเฟอร์ 0-25% ที่เลเซอร์ 10-20 J/cm ² และอุณหภูมิวัดตรงรับ 150 และ 250 °C | 56 |
| รูปที่ 4.22 ความหนาของฟิล์มกับปริมาณซัลเฟอร์ 0-10% ที่เวลา 30-75 นาที..... | 57 |
| รูปที่ 4.23 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC และ เป้าแกรไฟต์..... | 58 |
| รูปที่ 4.24 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อ ซัลเฟอร์ 2-10%..... | 58 |
| รูปที่ 4.25 ตำแหน่งของพีค G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่อัตราส่วนปริมาณ คาร์บอนต่อซัลเฟอร์ 0-10 %..... | 59 |
| รูปที่ 4.26 อัตราส่วนความเข้มของ I _D /I _G และ ตำแหน่งของพีค G จากสเปกตรัมการกระเจิง แบบรามานที่อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อซัลเฟอร์ 0-10%..... | 59 |
| รูปที่ 4.27 อัตราส่วนความเข้มของ I _D /I _G และ ตำแหน่งของพีค G จากสเปกตรัมการ กระเจิงแบบรามานที่ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า..... | 60 |
| รูปที่ 4.28 อัตราส่วนความเข้มของ I _D /I _G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่ ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 6.7-20 Wcm ⁻² | 61 |
| รูปที่ 4.29 สเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานของฟิล์ม DLC ที่อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อ ซัลเฟอร์ 2% ที่เวลา 30-75 min..... | 61 |
| รูปที่ 4.30 ตำแหน่งของพีค G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่อัตราส่วน ปริมาณคาร์บอน ต่อซัลเฟอร์ 2 % ที่เวลา 30-75 min..... | 62 |
| รูปที่ 4.31 อัตราส่วนความเข้มของ I _D /I _G จากสเปกตรัมการกระเจิงแบบรามานที่อัตรา ส่วนปริมาณคาร์บอนต่อซัลเฟอร์ 2% ที่เวลา 30-75 min..... | 62 |