

การประทับโครงสร้างในระดับนาโนเมตรเพื่อประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์
อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

IMPRINTING OF NANOSTRUCTURE FOR ORGANIC PHOTOVOLTAIC
APPLICATIONS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPRINTING OF NANOSTRUCTURE FOR ORGANIC PHOTOVOLTAIC
APPLICATIONS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING
IN NANOMATERIAL ENGINEERING
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การประทับโครงสร้างในระดับนาโนเมตรเพื่อประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

Special Project Title IMPRINTING OF NANOSTRUCTURE FOR ORGANIC PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

นักศึกษา นางสาวเบญจพร แซ่ตั้ง

รหัสประจำตัว 55110028

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน


ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นวพันธ์ ชัยนิกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.อดิเรก แร่งกสิกรณ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.กรภช อ่อนละอ	
ดร.นวพันธ์ ชัยนิกิจ	
ดร.อดิเรก แร่งกสิกรณ	
ดร.กิตติพงษ์ อำนวนยสวัสดิ์	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชูดีไพจิตร)
หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วันที่..... 17 เดือน..... มิถุนายน พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การประทับโครงสร้างในระดับนาโนเมตรเพื่อ
ประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจาก
สารกึ่งตัวนำอินทรีย์

นักศึกษา

นางสาวเบญจพร แซ่ตั้ง

รหัสประจำตัว

55110028

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุนาโน

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นวพันธ์ ชัยนิกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.อดิเรก แรงกสิกรรม

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสร้างลวดลายที่มีโครงสร้างเกรตติงในระดับนาโนเมตร ลงบนฟิล์มพอลิเมอร์ poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) และ Poly[N-9'-heptadecanyl-2,7-carbazole-alt-5,5-(4',7'-di-2-thienyl-2',1',3'-benzothiadiazole)], (PCDTBT) ด้วยกระบวนการถ่ายทอดแบบน็ิม 2 เทคนิค คือ การประทับโครงสร้างระดับนาโนแบบปกติ (Nanoimprint Lithography, NIL) และแบบใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL) จากการศึกษาพบว่าเทคนิค NIL ต้องใช้แรงดันที่สูง เนื่องจากสาร P3HT เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกค่อนข้างสูง อีกทั้งการใช้แรงดันสูงยังเป็นการทำให้ลวดลายบนแม่พิมพ์เกิดความเสียหายได้ ด้วยเหตุนี้เทคนิค SASSNIL จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งการสร้างลวดลายด้วยเทคนิคนี้เป็นการสร้างให้เกิดรูปร่างฟิล์มในสถานะของสารละลาย จึงไม่มีผลของความเป็นผลึกของสาร โดยจะทำการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของการถ่ายทอดโครงสร้างเกรตติง จากการตรวจวัดความสูง ความกว้าง ระยะห่างและคาบของโครงสร้างเกรตติงด้วยการเลี้ยวเบนของแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม พบว่าเทคนิค SASSNIL สามารถถ่ายทอดโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์ PDMS ได้ขนาดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง พบว่าฟิล์ม P3HT ที่ประทับโครงสร้างเกรตติงทั้งซีดีและดีวีดี จะพบพีคตำแหน่งความยาวคลื่น 620 นาโน เห็นได้ชัดเจนมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการประทับโครงสร้างเกรตติงด้วยเทคนิคนี้ สามารถเพิ่มความเป็นผลึกให้ฟิล์ม P3HT ได้ โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ปรับปรุงโครงสร้างระหว่างชั้นจ่ายอิเล็กตรอน (electron-donor) และชั้นรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor) ของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ให้สูงขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Imprinting of nanostructure for organic photovoltaic applications
Student	Miss Benjaporn Saetang
Student ID	55110028
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2015
Special Project Advisor	Dr. Navaphun Kayunkid
Special Project Co-Advisor	Dr. Adirek Rangkasikorn

ABSTRACT

The aim of this study is to fabricate nano-grating structures on polymer thin film of regioregular poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) and Poly[N-9'-heptadecanyl-2,7-carbazole-alt-5,5-(4',7'-di-2-thienyl-2',1',3'-benzothiadiazole)] (PCDTBT) using two soft lithography techniques; (i) Nanoimprint Lithography (NIL) and (ii) Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography (SASSNIL). The results were found that, to success in imprinting nano-pattern on P3HT, NIL technique needs to apply high pressure and high temperature since the high crystallinity of P3HT. In addition, applying high pressure may cause the damage of both soft-mold and surface of thin film. In order to overcome these problems, the SASSNIL technique is introduced. This technique can fabricate nano-grating structures from the dissolved solution therefore the hindrance caused by crystalline domains can be neglected. The completely transferring nano-pattern to polymer thin film was investigated by laser diffraction (LD), scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM). The results clearly suggest that SASSNIL technique is able to nearly entirely transfer the nano-grating pattern from PDMS mold to polymer thin film. Furthermore, the optical absorption of polymer thin films imprinted nano-grating pattern shows higher absorbance intensity at wavelength of 620 nm. This indicates that the SASSNIL technique can enhance the crystallinity of P3HT. The understanding obtained from this work can be applied not only to increase the interface between electron-donor and electron-acceptor in organic photovoltaics (OPV) to enhance the device performance but also to build up the active surface in sensing applications.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง การประทับโครงสร้างในระดับนาโนเมตรเพื่อประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ดร.นวพันธ์ ชัยนิกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ และ ดร.อดิเรก แรงกสิกรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษร่วม จากการให้คำแนะนำ คำปรึกษา ความช่วยเหลือ ตลอดทั้งการสอนสั่ง และตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ จนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณคณะกรรมการคุมสอบทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ สำหรับการช่วยเหลือตรวจสอบผิวฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ขอขอบคุณพี่ลี พี่แจ๊ส พี่เบงค์ พี่โป๊ะ ที่คอยให้คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือการใช้อุปกรณ์ต่างๆ และสารเคมี ที่ใช้ในโครงการพิเศษ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน สำหรับกำลังใจที่มีให้แก่กัน ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่กวง สำหรับโอกาส กำลังใจ ข้อคิดในการดำเนินชีวิต รวมทั้งการสนับสนุนในทุกๆ ด้าน และขอขอบคุณบุคคลที่ข้าพเจ้าไม่ได้เอ่ยนามทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำต่างๆ

คุณค่าและคุณประโยชน์ที่ได้จากโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขออภัย ณ ที่นี้ด้วย

เบญจพร แซ่ตั้ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	6
2.1.1 สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก (small organic molecule).....	9
2.1.2 สารคอนจูเกตพอลิเมอร์ (conjugated polymer).....	9
2.2 สมบัติและการแปรรูปของพอลิเมอร์.....	10
2.2.1 ผลของอุณหภูมิ.....	10
2.2.2 สมบัติของพอลิเมอร์ที่สถานะต่างๆ.....	10
2.2.3 พฤติกรรมเกี่ยวกับความเค้น-ความเครียด.....	11
2.3 สื่อที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดียที่นำมาใช้เป็นแม่พิมพ์.....	12
2.3.1 ซีดี (CD: Compact Disk).....	12
2.3.2 ดีวีดี (DVD: Digital Video Disk).....	13
2.4 การถ่ายทอดลวดลายแบบนิ่ม (Soft Lithography).....	14
2.4.1 การประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตร (Nanoimprint Lithography, NIL).....	14
2.4.2 การประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography (SASSNIL).....	15
2.4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography (SASSNIL).....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบางพอลิเมอร์.....	19
2.5.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 กระบวนการสร้างแบบ PDMS และการประกบด้วยพลาสติก.....	25
3.2 การทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับ (Glass Substrate)	26
3.3 วิธีปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีเคลือบปาด.....	27
3.4 การถ่ายทอดลวดลายด้วยแม่พิมพ์แบบนิ่ม (Soft Lithography).....	28
3.4.1 เทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตร (Nanoimprint Lithography; NIL).....	28
3.4.2 เทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL).....	29
3.5 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางพอลิเมอร์.....	29
3.5.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม.....	29
3.5.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยการเลี้ยวเบนของแสง.....	31
3.5.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	32
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
4.1 การศึกษาผลการประทับโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์แบบนิ่มด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโน (Nanoimprint Lithography; NIL).....	33
4.1.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม P3HT ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (atomic force microscopy, AFM).....	33
4.2 การศึกษาผลการประทับโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์แบบนิ่มด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างระนาโนแบบใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL).....	34
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม.....	34
4.2.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม.....	35
4.2.3 การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์ม P3HT ที่มีลักษณะและขนาดโครงสร้างเกรตติงบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและVongอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	51
ประวัติผู้เขียน.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและVIองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองจากการคำนวณระยะคาบจากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง.....	37
4.2 ผลการวัดระยะคาบจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	38
4.3 ระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่างและคาบของแม่พิมพ์ PDMS และผลของการลอกแบบ โครงสร้างเกรตติ้งลงบน P3HT ด้วยเทคนิค SASSNIL.....	41
4.4 ระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่างและคาบของแม่พิมพ์ PDMS และผลของการลอกแบบ โครงสร้างเกรตติ้งลงบน PCDTBT ด้วยเทคนิค SASSNIL.....	41
4.5 แสดงข้อมูลระยะคาบของ P3HT จากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม.....	44
4.6 แสดงข้อมูลระยะคาบของ PCDTBT จากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม.....	44



สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	6
2.2 sp ² ออร์บิทัลแบบไฮบริด.....	7
2.3 โมเลกุลของเอทิลีน.....	7
2.4 (ก) โครงสร้างแบบเส้น PA (ข) pz ออร์บิทัลของ PA (ค) แสดงการเกิดระดับพลังงาน.....	8
2.5 สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก.....	9
2.6 สารคอนจูเกตพอลิเมอร์.....	9
2.7 (ก) อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ (ข) อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อพฤติกรรมสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์.....	10
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในพอลิเมอร์.....	11
2.9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดของพอลิเมอร์แบบเปราะ (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์แบบพลาสติก.....	12
2.10 องค์ประกอบของแผ่นซีดี.....	13
2.11 องค์ประกอบแผ่นดีวีดี.....	13
2.12 กระบวนการสร้างแม่พิมพ์ PDMS.....	14
2.13 แสดงกระบวนการถ่ายทอดลวดลายด้วยวิธีการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตร.....	15
2.14 แสดงสารละลายพอลิเมอร์ (Resist) เคลื่อนที่ที่ตามช่องแคบของแม่พิมพ์.....	15
2.15 กระบวนการถ่ายทอดลวดลายด้วยวิธีการ SASSNIL.....	16
2.16 ภาพประกอบการอธิบายของรูปร่างที่เป็นไปได้และการบิดเบือนในระดับจุลภาคบนพื้นผิวของ PDMS (ก) การเข้าคู่; (ข) การหย่อน; (ค) การหดตัว.....	18
2.17 แสดงองค์ประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม.....	19
2.18 แสดงลักษณะ ของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่างๆกัน.....	20
2.19 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม.....	21
2.20 แสดงภาพการเคลื่อนที่ของเข็มปลายแหลมไปบนผิวงานในเทคนิคแบบต่างๆ.....	22
2.21 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการสั่น (Oscillation) คานที่มีเข็มติดอยู่.....	23
2.22 การศึกษาด้วยเทคนิค AFM ในแบบ tapping mode (phase imaging).....	23
3.1 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	24
3.2 แสดงกระบวนการสร้างแบบ PDMS.....	25
3.3 ระบบเครื่องทำความสะอาดพลาสมา (Plasma cleaner).....	26
3.4 แสดงขั้นตอนการทำความสะอาดฐานรองรับกระจกสไลด์.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาแลVillobอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.5 แสดงองค์ประกอบของระบบการปลูกฟิล์มด้วยวิธีเคลือบปาดและเงื่อนไขในการปลูก.....	27
3.6 แสดงขั้นตอนการประทับโครงสร้างในระดับนาโนลงบนฟิล์มพอลิเมอร์.....	28
3.7 แสดงขั้นตอนการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย.....	29
3.8 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม.....	30
3.9 แสดงตัวอย่างเครื่องมือ Atomic Force Microscope.....	30
3.10 ระบบการตรวจสอบฟิล์มบางพอลิเมอร์ด้วยการเลี้ยวเบนของแสง.....	31
3.11 รูปแสดงตัวอย่างกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	32
4.1 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของแม่พิมพ์ PDMS และ P3HT จากการลอกแบบโครงสร้างนาโน เกรตติง ด้วยเทคนิค NIL จากกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม	33
4.2 ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางกายภาพของแม่พิมพ์ PDMS ฟิล์ม P3HT และฟิล์ม PCPDTBT ที่มี โครงสร้างเกรตติงอยู่บนพื้นผิว	34
4.3 แสดงการเกิดสเปกตรัมสีรุ้งเมื่อแสงตกกระทบเกรตติง.....	35
4.4 ภาพแสดงการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์สีแดงเมื่อฉายผ่านฟิล์ม P3HT	36
4.5 แบบจำลองการทดลองการเลี้ยวเบนของแสงผ่านฟิล์มเกรตติง	36
4.6 กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลระยะคาบจากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง.....	37
4.7 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ หลังประทับโครงสร้างเกรตติง (ก) ซีดีเกรตติงบน ฟิล์ม P3HT (ข) ดีวีดีเกรตติงบนฟิล์ม P3HT (ค) ซีดีเกรตติงบนฟิล์ม PCDTBT (ง) ดีวีดีเกรตติง บนฟิล์ม PCDTBT	38
4.8 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของแม่พิมพ์ PDMS และฟิล์ม P3HT หลังประทับโครงสร้าง.....	39
4.9 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของแม่พิมพ์ PDMS และฟิล์ม PCDTBT หลังประทับโครงสร้าง	40
4.10 กราฟแท่งแสดงระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่าง และคาบของเกรตติงจากการ ประทับของ P3HT (ก) ประทับด้วยแม่พิมพ์ซีดี (ข) ประทับด้วยแม่พิมพ์ดีวีดี	42
4.11 แสดงขั้นตอนการลอกแบบด้วยเทคนิค Solvent-Assisted Soft	42
4.12 แสดงการดูซึมตัวทำละลายของ PDMS.....	43
4.13 กราฟแท่งแสดงระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่าง และคาบของเกรตติงจากการ ประทับของ PCDTBT (ก) ประทับด้วยแม่พิมพ์ซีดี (ข) ประทับด้วยแม่พิมพ์ดีวีดี	43
4.14 แสดงการกระจายข้อมูลการวัดระยะคาบด้วยการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ (laser diffraction) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์ แบบแรงอะตอม (AFM).....	45
4.15 แสดงภาพการเคลื่อนที่ของเข็มปลายแหลมไปบนผิวงานในเทคนิคแบบไม่สัมผัสพื้นผิว.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ X ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 แสดงระยะความสูง ความกว้าง และระยะห่างของโครงสร้างซีดีเกรดตติงในแต่ละครั้งการทดลอง	46
4.17 แสดงระยะความสูง ความกว้าง และระยะห่างของโครงสร้างดีวีดีเกรดตติงในแต่ละครั้งการทดลอง	46
4.18 กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม P3HT ที่เปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวด้วยการประทับโครงสร้างซีดีเกรดตติง ดีวีดีเกรดตติงและไม่มีเกรดตติง โดยปริมาตรและพื้นที่ของฟิล์ม P3HT คงที่	47
4.19 แสดงการจัดเรียงตัวของสายพอลิเมอร์ขณะทำการประทับโครงสร้างเกรดตติง	48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ความสามารถในการสร้างลวดลายขนาดเล็กเป็นส่วนที่มีความสำคัญในหลายๆ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ทันสมัย ตั้งแต่รูปแบบที่มีความหลากหลายของการใช้งาน รวมถึงแผงวงจรไฟฟ้า (integrated circuits), อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (information storage devices), ไมโครเซ็นเซอร์ (miniaturized sensors), ระบบของไหลจุลภาค (microfluidic devices), ระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค (microelectromechanical systems), ไบโอดีชิพ (biochips), ส่วนประกอบของระบบทางแสง (micro-optical components) รวมไปถึงอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic; PV) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า

อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ (organic photovoltaic; OPV) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า PV โดยโครงสร้างของอุปกรณ์ชนิดนี้จะประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (organic semiconductors) ที่มีความหนาในระดับนาโนเมตร ซึ่งถูกประกบด้วยขั้วไฟฟ้า โดยสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่ถูกใช้ในการสร้างอุปกรณ์ชนิดนี้สามารถเป็นได้ทั้ง สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก (small molecule organic compounds) และสารคอนจูเกตพอลิเมอร์ (conjugated polymers) โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้จะเริ่มจากการดูดกลืนพลังงานแสงในชั้นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ซึ่งพลังงานแสงที่ดูดกลืนมานี้จะไปกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่มีแรงคูลอมบ์กระทำต่อกัน เรียกว่า “เอกซิตอน” (exciton) โดยเอกซิตอนที่เกิดขึ้นนี้จะเคลื่อนที่ไปที่รอยต่อของชั้นจ่ายอิเล็กตรอน (electron-donor) และชั้นรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor) ซึ่งที่รอยต่อนี้จะทำให้เกิดการแยกเอกซิตรอนออกเป็นพาหะอิสระ (free charge) โดยท้ายที่สุดพาหะอิสระเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าและถูกส่งออกจากอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกในรูปของกระแสไฟฟ้า ซึ่งประสิทธิภาพของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น สมบัติเฉพาะทางแสง และ ทางไฟฟ้า ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ โดยตลอด 40 ปีที่ผ่านมาพบว่ามีงานวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มจากการนำเสนอโครงสร้างอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์แบบชั้นเดียว (single layer OPV cell) ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถให้ค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ประมาณ 0.1% จนกระทั่งในปี 1987 C. W. Tang และคณะ [1] ได้นำเสนอโครงสร้างอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์แบบสองชั้น (bilayer OPV cell) ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นจนมากกว่า 1% ได้สำเร็จ ต่อมาปี 1991 Hiramoto และคณะ [2] ได้ใช้แนวคิดของ C. W. Tang มาพัฒนาต่อยอดและได้นำเสนอโครงสร้างที่นำชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน มารวมไว้ด้วยกัน เรียกว่า โครงสร้างแบบผสม (bulk heterojunction OPV) ซึ่งถือว่าเป็นโครงสร้างที่ได้รับความนิยมและให้ประสิทธิภาพสูงในปัจจุบัน จากที่กล่าวมาพบว่าหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่สามารถทำให้ประสิทธิภาพของ

อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเกิดจากความสำเร็จในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ปัจจุบันอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ยังคงมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นรวมทั้งสามารถนำมาใช้งานได้จริงในอนาคต

อุปกรณ์ โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ มีข้อดีในหลายๆ ด้าน เช่น

1. ด้านวัสดุ อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ สร้างจากสารอินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้สามารถปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของสารเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารอินทรีย์ได้หลากหลายตามความต้องการใช้งาน รวมทั้งสารอินทรีย์โดยส่วนใหญ่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายตามธรรมชาติค่อนข้างสั้นกว่าสารอนินทรีย์ จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าด้วย

2. ด้านการประดิษฐ์ อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ สามารถสร้างได้โดยใช้กระบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น วิธีการระเหยสารด้วยความร้อน (thermal evaporation) วิธีการเคลือบด้วยการหมุน (spin coating) วิธีการเคลือบด้วยการพา (convective) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมได้เป็นจำนวนมากต่อการเตรียมหนึ่งครั้ง ส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูง และ สามารถให้ราคาต่อหน่วยพลังงานมีค่าต่ำ

3. ด้านการใช้งาน อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ สามารถเตรียมบนฐานรองรับที่สามารถโค้งงอและกึ่งโปร่งใสได้ เช่น พลาสติก ทำให้สามารถมีรูปร่างหรือสีเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานด้านสถาปัตยกรรมได้

เนื่องจากข้อได้เปรียบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาทำให้อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากนักวิจัย ถึงแม้ว่าอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิก ที่สร้างจากสารอินทรีย์จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิก ที่สร้างจากสารอนินทรีย์

ในปัจจุบันอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ยังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยงานวิจัยในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาจะเน้นไปทางด้าน การปรับปรุงประสิทธิภาพ การผลิตกระแสของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ให้มีค่าสูงขึ้น จากการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างแต่ละชั้นของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ซึ่งอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ที่ดีควรจะผลิตกำลังไฟฟ้าต่อกำลังแสงที่ใส่เข้าไปได้มาก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ คือปริมาณการดูดกลืนแสงเข้าไปในชั้นสารอินทรีย์เพื่อไปกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ความสามารถในการส่งผ่านพาหะในสารอินทรีย์ และความสามารถในการแยกคู่อิเล็กตรอน-โฮล ออกจากกัน จึงมีความพยายามที่จะเพิ่มการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยทำการเลือกสารอินทรีย์ที่สามารถกระตุ้นได้ง่ายในช่วงความยาวคลื่นแสงอาทิตย์ เพิ่มความเร็วในการส่งผ่านพาหะ โดยเพิ่มขึ้นต่างๆ และเพิ่มการแยกคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยการเพิ่มรอยต่อของชั้น จ่ายและรับอิเล็กตรอน

แม้ว่าอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ โครงสร้างแบบผสมจะมีการผสมกันระหว่างชั้นจ่ายและรับอิเล็กตรอน ทำให้มีรอยต่อเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถดูดกลืนแสงได้มากขึ้น กระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลได้มากขึ้น และส่งผ่านพาหะไปยังขั้วได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ทั้งนี้จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องเกิดการแยกเฟสของสารที่ใช้เป็นชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน ในขนาดที่เหมาะสม รวมทั้งเฟสของสารที่ใช้เป็นชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน ที่แยกออกจากกันต้องสามารถเป็นทางผ่านให้พาหะอิสระไปที่ขั้วไฟฟ้าได้ ซึ่งการแยกเฟสนี้ควบคุมได้ยาก วิธีที่ใช้ควบคุมการแยกเฟสของชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน สามารถสร้างได้หลายวิธี เช่น การควบคุมทิศทางการโตของผลึก หรือการใช้วัสดุจำพวก block copolymer แต่วิธีการดังกล่าวก็ยังไม่สามารถที่จะควบคุมการแยกเฟสให้มีความเป็นระเบียบได้อย่างแม่นยำในแต่ละครั้งของการสร้าง เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้น หนึ่งวิธีที่น่าสนใจในการควบคุมการแยกเฟสของชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน ให้มีความเป็นระเบียบ คือ การถ่ายทอดลวดลายด้วยแม่พิมพ์แม่พิมพ์นิ่ม (soft lithography) โดยการหล่อแม่พิมพ์แบบนิ่มจากแม่แบบหลักซึ่งส่วนมากทำจากวัสดุของแข็ง เช่น ซิลิกอน หรือ ควอทซ์ แล้วใช้แม่พิมพ์แบบนิ่มในการประทับลวดลาย ลงบนผิวของชั้นสาร เพื่อเพิ่มรอยต่อของระหว่างชั้นจ่ายและรับอิเล็กตรอน เพื่อให้ได้มาซึ่งอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงพื้นผิวของสารอินทรีย์ poly(3-hexylthiophene) (P3HT) และ poly[2,6-(4,4-bis(2-ethylhexyl)-4H-cyclopenta[2,1-b;3,4-b']-dithiophene)-alt-4,7-(2,1,3-benzothiadiazole)] (PCPDTBT) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้เป็นชั้นจ่ายอิเล็กตรอนในอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์และสมบัติทางแสงของชั้นจ่ายอิเล็กตรอนที่มีโครงสร้างนาโนเกรตติง (nano-grating) โดยใช้การถ่ายทอดลวดลายด้วยแม่พิมพ์แม่พิมพ์นิ่ม (soft lithography) เพื่อเพิ่มรอยต่อระหว่างชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถควบคุมขนาดการเกิดการแยกเฟสของสารจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน ที่เหมาะสมได้ มีราคาถูก มีกระบวนการไม่ซับซ้อน สามารถทำซ้ำได้แล้วให้ขนาดที่เท่ากัน และสามารถเตรียมได้พร้อมกันเป็นจำนวนมากต่อหนึ่งแม่พิมพ์ต้นแบบ โดยจะทำการศึกษาระบวนการในการประทับโครงสร้างทั้งสองรูปแบบ คือ การประทับโครงสร้างในระดับนาโนเมตรแบบทั่วไป (nanoimprint lithography) และแบบใช้ตัวทำละลายช่วย (solvent-assisted soft nanoimprint lithography) รวมทั้งผลกระทบต่อสมบัติทางแสงจากการปรับปรุงพื้นผิวของชั้นจ่ายอิเล็กตรอนด้วยกระบวนการดังกล่าว รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้อธิบายเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โครงสร้างในระดับนาโนเมตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการหล่อแบบด้วย PDMS โดยใช้แม่แบบจากแผ่นซีดีและดีวีดี

1.2.2 ศึกษาวิธีการสร้างลวดลายลงบนฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโน (Nanoimprint Lithography; NIL)

1.2.3 ศึกษาวิธีการสร้างลวดลายลงบนสารพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL)

1.2.4 ศึกษาการวัดและวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของการลอกแบบโครงสร้างด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย ของชั้นสารอินทรีย์ P3HT และ PCPDTBT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.5 ศึกษาผลการลอกแบบด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพอลิเมอร์ระหว่าง P3HT และ PCPDTBT

1.2.5 ศึกษาสมบัติทางแสงเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างของชั้นจ่ายอิเล็กตรอน และก่อนทำการปรับปรุงโครงสร้าง โดยการประทับโครงสร้างในระดับนาโน

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ที่ได้รับการเพิ่มและปรับปรุงรอยต่อระหว่างชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอนที่เหมาะสม จะมีประสิทธิภาพมากกว่าอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ที่ไม่ได้รับการปรับปรุงรอยต่อ เนื่องจากการเพิ่มรอยต่อของชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน จะทำให้เกิดการแยกคู่อิเล็กตรอน-โฮล ได้มากขึ้น ลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอน-โฮล นอกจากนี้การมีรอยต่อของชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน ที่เหมาะสมยังช่วยลดระยะทางที่ประจุเดินทางไปที่ขั้วไฟฟ้า จึงสามารถเตรียมชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอนได้หนาขึ้น ส่งผลให้สามารถดูดกลืนแสงได้มากขึ้น กระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลได้มากขึ้น จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้เพิ่มขึ้นได้

สารอินทรีย์ P3HT และ PCPDTBT เป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นชั้นจ่ายอิเล็กตรอนเป็นอย่างมากในอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ และตัวทำละลายที่ยังสามารถซึมผ่านเข้าไปในแม่พิมพ์ PDMS ได้ จึงสามารถสร้างลวดลายลงบนสารได้ด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL) ได้ เพื่อเป็นการเพิ่มและปรับปรุงรอยต่อระหว่างชั้นจ่ายอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอนในอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ต่อไป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสร้างลวดลายลงบนสารอินทรีย์ P3HT และ PCPDTBT ที่นิยมนำมาใช้ทำชั้นจ่ายอิเล็กตรอนของอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ โดยโครงสร้างของเกรตติงที่ใช้เป็นแม่พิมพ์ในการหล่อแบบ PDMS ได้แก่ แผ่นซีดีและแผ่นดีวีดี ด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโน (Nanoimprint Lithography; NIL) ที่อุณหภูมิต่างๆ และเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL) มีตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณสารละลายอินทรีย์ 5 μL เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นได้ศึกษาการวัดและวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของการลอกแบบโครงสร้างด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย ของชั้นสารอินทรีย์ P3HT และ PCPDTBT รวมทั้งศึกษาผลการลอกแบบด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ระหว่าง P3HT และ PCPDTBT และศึกษาสมบัติทางแสงเมื่อทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงโครงสร้างของชั้นจ่ายอิเล็กตรอน และก่อนทำการปรับปรุงโครงสร้าง โดยการประทับโครงสร้างในระดับนาโน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้รับความรู้ เทคนิค และวิธีการในการวัดพื้นผิวของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (atomic force microscope)

1.5.2 ได้รับความรู้ เทคนิค และวิธีการในการหล่อแบบด้วย PDMS โดยใช้แม่แบบจากแผ่นซีดีและดีวีดี

1.5.3 ได้รับความรู้ เทคนิค และวิธีการในการสร้างลวดลายลงบนสารพอลิเมอร์ ด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโน (Nanoimprint Lithography; NIL)

1.5.4 ได้รับความรู้ เทคนิค และวิธีการในการสร้างลวดลายลงบนสารพอลิเมอร์ ด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL)

1.5.5 สามารถวัดและวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของการลอกแบบโครงสร้างด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย ของชั้นสารอินทรีย์ P3HT และ PCPDTBT

1.5.6 สามารถวิเคราะห์ผลของการลอกแบบด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างในระดับนาโนโดยใช้ตัวทำละลายช่วย เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพอลิเมอร์ระหว่าง P3HT และ PCPDTBT

1.5.7 สามารถวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างของชั้นจ่ายอิเล็กตรอน และก่อนทำการปรับปรุงโครงสร้าง โดยการประทับโครงสร้างในระดับนาโน

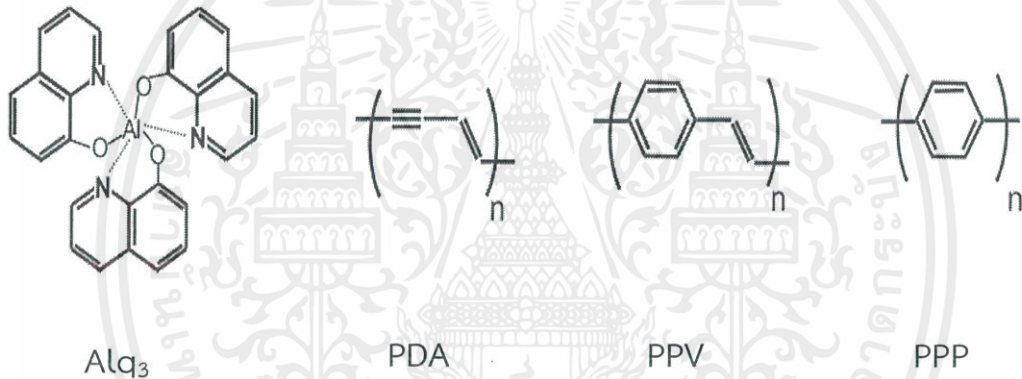
1.5.8 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกจากสารอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

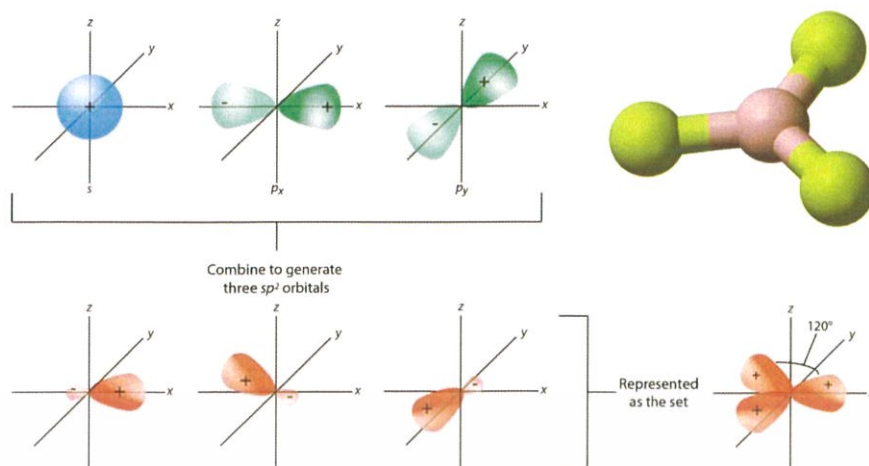
2.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างฉนวนและโลหะ โดยโครงสร้างส่วนใหญ่ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์จะมีลักษณะเป็นพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว มีการซ้อนทับกันของออร์บิทัล p ทำให้เกิดอิเล็กตรอนแบบไม่ประจำที่ (delocalized electron) ทำให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงที่แตกต่างจากสารอินทรีย์ทั่วไป เรียกโครงสร้างลักษณะนี้ว่า โครงสร้างแบบคอนจูเกต (conjugate structure) ดังภาพที่ 3.1 [3]



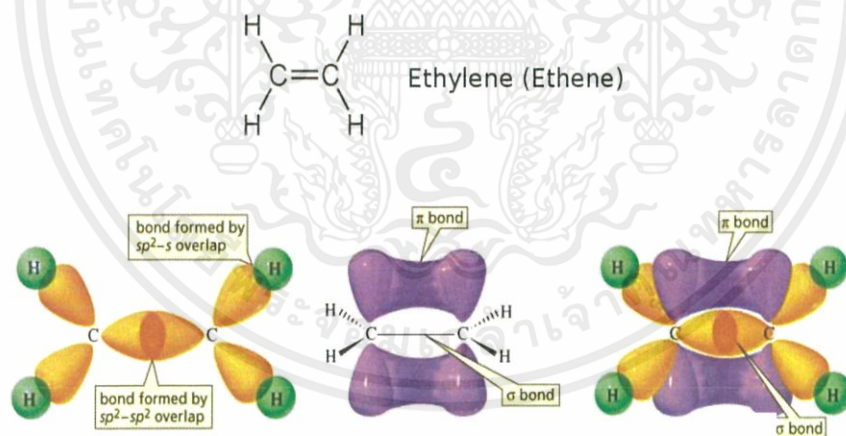
ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์จะมีโครงสร้างพื้นฐานของอะตอมคาร์บอน ซึ่งอะตอมคาร์บอนมีการจับพันธะกันแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล เกิดจากการซ้อนทับกันระหว่างออร์บิทัล s 1 ออร์บิทัลกับออร์บิทัล p 2 ออร์บิทัล มีการจัดเรียงตัวแบบไตรโกนอน (trigonal arrangement) แต่ละด้านทำมุมกัน 120° ภายในระนาบเดียวกันแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 sp^2 ออร์บิทัลแบบไฮบริด

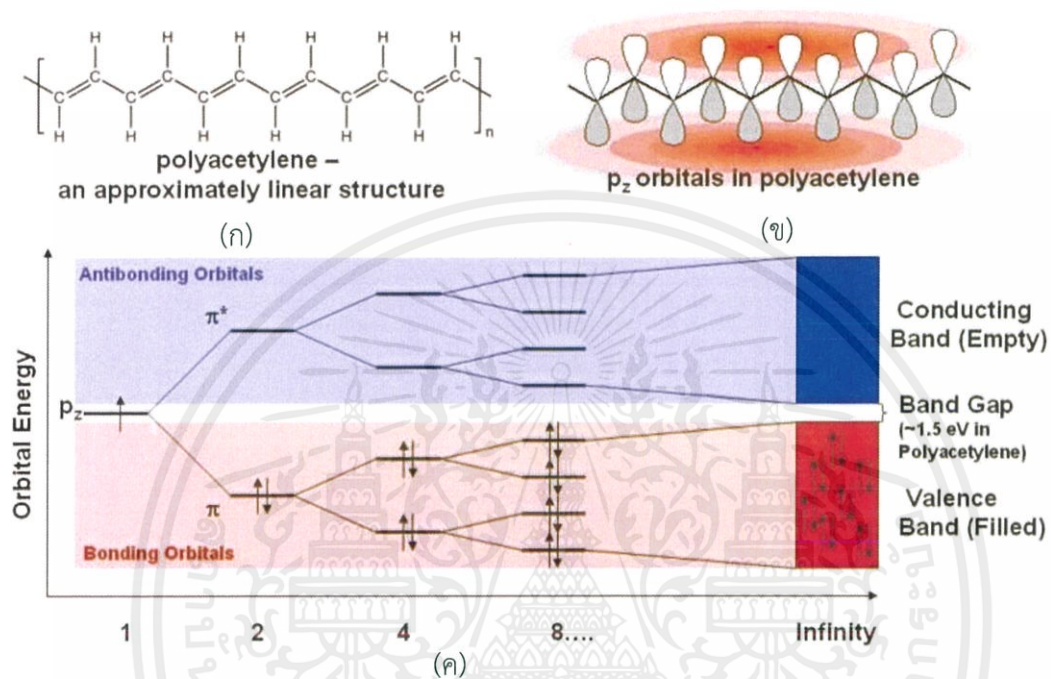
เมื่อพิจารณาพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนจะเกิดการซ้อนทับกันของออร์บิทัล sp^2 เกิดเป็นพันธะซิกมา (σ bond) 1 คู่ พันธะพาย (π bond) 1 คู่ ส่วนที่เหลือจะเป็นพันธะซิกมาทั้งหมด อย่างเช่นในโมเลกุลของ ethylene ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โมเลกุลของเอทิลีน

เมื่อพิจารณาอะตอมคาร์บอนแต่ละอะตอมในแกนหลัก (backbone) ของพอลิอะเซทิลีน (polyacetylene; PA) จะแสดงลักษณะของรูปร่างของออร์บิทัลคล้ายกับกรณีของเอทิลีน เป็นแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล มีพันธะแบบคู่สลับต่อเนื่องกันยาว ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ก) ซึ่งถ้าอะตอม C-H ทั้งหมดอยู่ในแนวระนาบเดียวกันโดยไม่มีการบิดเบี้ยวของแกนหลักของ PA แล้ว ออร์บิทัล p_z ในเอทิลีนแนวแกนของ PA จะเกิดเป็นพันธะพายที่มีพลังงานค่าไม่มากนัก เป็นพันธะที่เกิดจากการซ้อนทับบาร์คาไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านข้างของออร์บิทัล p ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) ดังนั้นอิเล็กตรอนที่กระจายอยู่บริเวณนี้จะเป็นอิเล็กตรอนแบบไม่ประจำที่ (delocalized electron) เนื่องจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนกระจายตัวอยู่นอกนิวเคลียส เมื่อมีพลังงานมากกระตุ้นทำให้อิเล็กตรอนที่กระจายตัวอยู่สามารถเคลื่อนที่ไปตามพันธะพายได้ เสมือนเป็นการเคลื่อนประจุของสารอินทรีย์



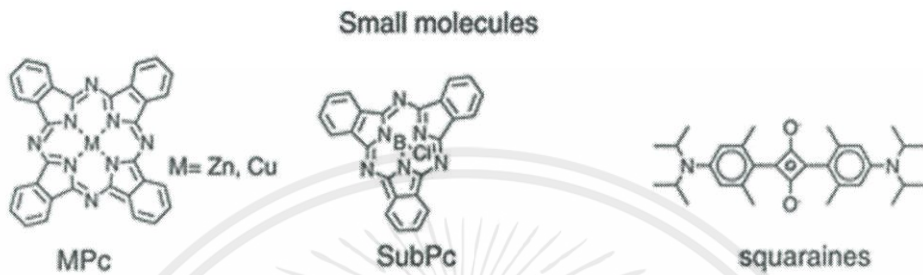
ภาพที่ 2.4 (ก) โครงสร้างแบบเส้น PA (ข) p_z ออร์บิทัลของ PA (ค) แสดงการเกิดระดับพลังงาน

เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีออร์บิทัลโมเลกุล (molecular orbital theory) ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนใน p_z ออร์บิทัล ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่สร้าง (π bonding molecular orbital) จะเป็นระดับที่สูงที่สุดที่อิเล็กตรอนสามารถอาศัยอยู่ได้ (highest occupied molecular orbital; HOMO) และที่ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะ (π^* antibonding molecular orbital) จะเป็นระดับที่ต่ำที่สุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอาศัยอยู่ได้ (lowest unoccupied molecular orbital; LUMO) ระหว่างระดับ HOMO และ LUMO เสมือนเป็นช่องว่างแถบพลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกับสารกึ่งตัวนำ ระดับพลังงานชั้น HOMO เปรียบเสมือนแถบวาเลนซ์ (valence band) ส่วนระดับพลังงานชั้น LUMO เปรียบเสมือนแถบนำ (conduction band) จึงเรียกสารที่มีสมบัติดังกล่าวว่า สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (organic semiconductor) [4] ดังภาพที่ 2.4 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก (small organic molecule)

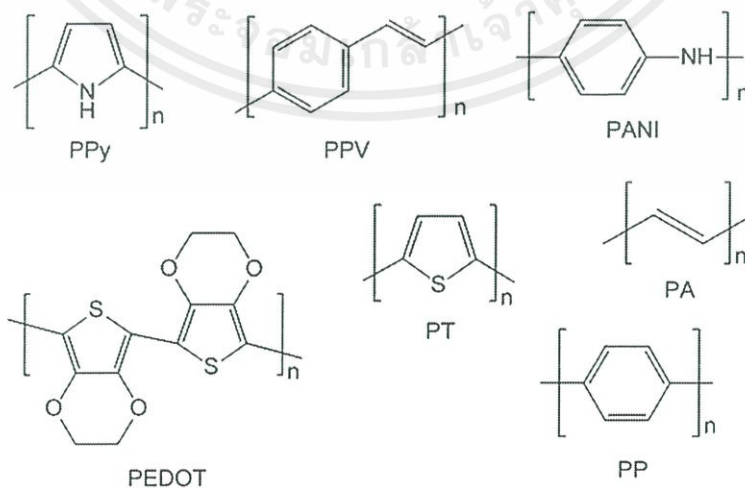
เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1000 มีโครงสร้างเป็นแบบพันธะคู่สลับเดี่ยว ต่อเนื่องกันเป็นโมเลกุล ดังภาพที่ 2.5 สารเหล่านี้สามารถเตรียมเป็นผลึกโมเลกุลเดี่ยวได้ เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลภายในผลึกมีพลังงานต่ำ ผลึกที่บริสุทธิ์จะสามารถแสดงสมบัติการขนส่ง อิเล็กตรอนและโฮลได้ดี สามารถระเหยและก่อตัวเป็นผลึกได้ง่าย



ภาพที่ 2.5 สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก

2.1.2 สารคอนจูเกตพอลิเมอร์ (conjugated polymer)

เป็นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1000 [5] ประกอบขึ้นจากหน่วยของมอนอเมอร์ (monomer) มาเรียงต่อเข้ากัน เป็นสายยาว โดยมีโครงสร้างเป็นแบบพันธะคู่สลับเดี่ยวเรียงต่อกันหรืออาจจับกันเป็นวง ซึ่งการมีพันธะคู่สลับเดี่ยวจะทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปตามสายของพอลิเมอร์ได้ ดังภาพที่ 2.6 โดยสมบัติการขนส่งอิเล็กตรอนและโฮลจะขึ้นอยู่กับความบกพร่องในระดับสายโซ่หรือการกระโดดจากสายโซ่หนึ่งไปอีกสายโซ่หนึ่ง สามารถปลูกฟิล์มด้วยกระบวนการสารละลายเช่น การหมุนเคลือบ (spin coat)



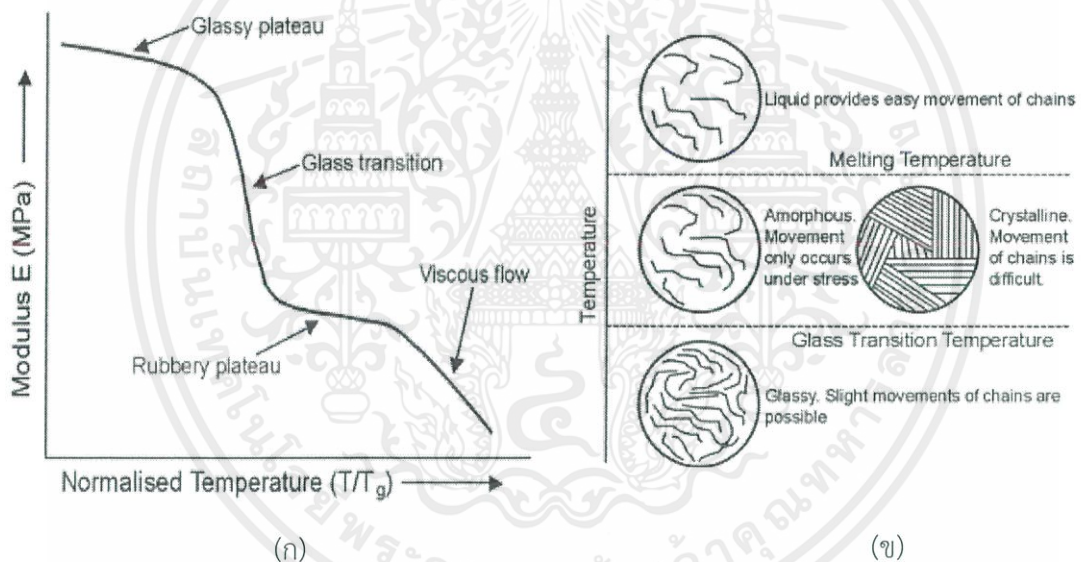
ภาพที่ 2.6 สารคอนจูเกตพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติและการแปรรูปของพอลิเมอร์

2.2.1 ผลของอุณหภูมิ

พอลิเมอร์ทั่วไปมีพันธะโควาเลนต์เป็นแรงที่ยึดอะตอมภายในโมเลกุลเข้าด้วยกัน สายโซ่โมเลกุลที่ยาวขด และเกี่ยวพัน (entanglement) กับโมเลกุลข้างเคียง และยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals) ซึ่งเป็นแรงอ่อน ๆ ระหว่างโมเลกุล เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อน แรงหรือเกิดความเครียด แรงระหว่างโมเลกุลจะถูกทำลายลง ทำให้สายโซ่โมเลกุลสามารถหมุนและเลื่อนไหลผ่านกันได้ ซึ่งการหมุนและเลื่อนไหลผ่านกันของโมเลกุลขึ้นกับโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์และอุณหภูมิ อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์แสดงดังภาพที่ 2.7 (ก) และอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อพฤติกรรมสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2.7 (ข) [6]



ภาพที่ 2.7 (ก) อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์

(ข) อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อพฤติกรรมสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์

2.2.2 สมบัติของพอลิเมอร์ที่สถานะต่างๆ

1. สถานะคล้ายแก้ว (glassy state) ที่อุณหภูมิต่ำ พอลิเมอร์จะมีความหนืดสูง เกิดการเคลื่อนที่ของสายโซ่เล็กน้อย เกิดการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นเพราะถูกจำกัดการเคลื่อนที่ด้วยการยึดของพันธะในสถานะนี้ ซึ่งหมายถึงมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่สูง พอลิเมอร์สถานะคล้ายแก้วมีความแข็งและเปราะ แต่มีความแข็งแรงเพราะมีความเสถียรของรูปร่างและมีความต้านทานความล้ามาก

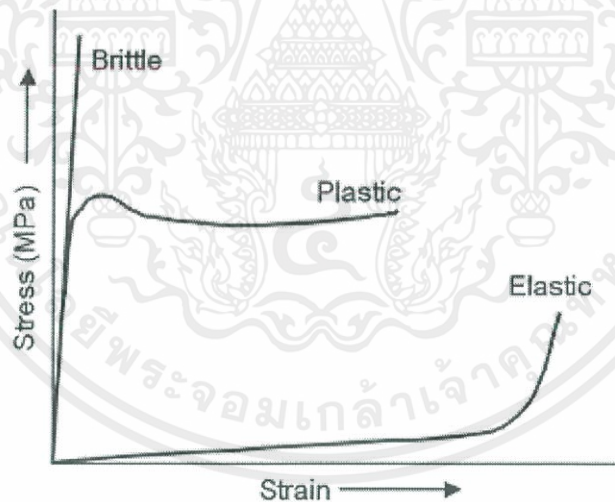
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สถานะคล้ายยาง (rubbery state) พอลิเมอร์อสัณฐานที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g พอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นบ้าง ภายใต้แรงกดสามารถเกิดการแปรรูปทั้งแบบยืดหยุ่นและไม่ยืดหยุ่นได้ สายโซ่ของพอลิเมอร์ในสถานะนี้จะเคลื่อนที่ได้ง่ายทำให้สามารถอัดขึ้นรูปได้ง่ายและมีการก่อตัวของรูปทรงที่ซับซ้อน เมื่อลดอุณหภูมิพอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงมากขึ้น สายโซ่ของพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ได้ได้น้อย ดังนั้นความรวดเร็วของการกลับคืนรูปเดิมของพอลิเมอร์หลังการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

3. สถานะของเหลว (liquid state) ที่อุณหภูมิ 1.4 เท่า T_g พอลิเมอร์อยู่ในสถานะของหนืดทั้งหมด ไม่มีความยืดหยุ่นใดๆ สายโซ่ของพอลิเมอร์มีอิสระในการเคลื่อนที่โดยไม่ต้องอาศัยแรงภายนอกมากกระทำ พอลิเมอร์สถานะนี้เหมาะสำหรับการหล่อและกระบวนการขึ้นรูป ที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ พันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมในสายโซ่พอลิเมอร์ สามารถถูกทำลายลง และทำให้พอลิเมอร์ใหม่ อุณหภูมิดังกล่าวนี้คืออุณหภูมิของการสลายตัว

2.2.3 พฤติกรรมเกี่ยวกับความเค้น-ความเครียด

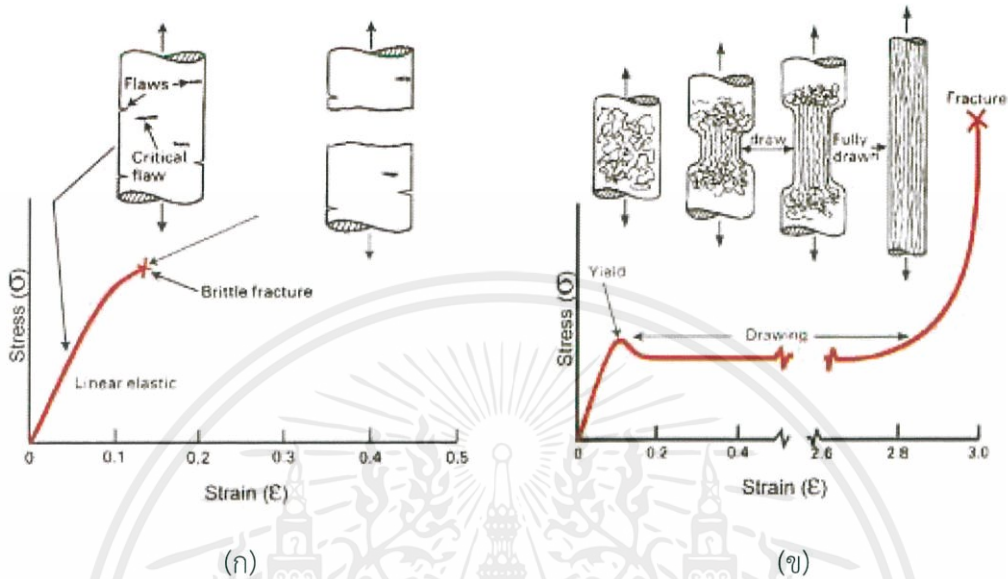
โดยทั่วไป ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่พบในการดึงวัสดุประเภทพอลิเมอร์จะมีอยู่ 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูป 2.8 [7]



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในพอลิเมอร์

เส้นโค้ง brittle แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของพอลิเมอร์ที่เปราะ สังกัดได้จากเกิดการแตกหักในช่วงเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น ดังแสดงในภาพที่ 2.9 (ก) เส้นโค้ง plastic แสดงพฤติกรรมทั่วไปของวัสดุประเภทพลาสติก มีลักษณะเหมือนสิ่งที่พบได้ในโลหะหลายๆ ชนิด คือ ในช่วงแรกของการเปลี่ยนรูปจะเป็นแบบยืดหยุ่น แล้วตามด้วยการคราก จากนั้นเป็นช่วงของการเปลี่ยนรูปถาวร ดังแสดงในภาพที่ 2.9 (ข) ชนิดสุดท้ายแสดงโดยเส้นโค้ง elastic แสดงการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ ความยืดหยุ่นเหมือนยางนี้ เป็นลักษณะเฉพาะของวัสดุพอลิเมอร์ประเภทที่เรียกว่า อีลาสโตเมอร์



ภาพที่ 2.9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดของพอลิเมอร์แบบเปราะ
(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์แบบพลาสติก

2.3 สื่อที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดียที่นำมาใช้เป็นแม่พิมพ์

2.3.1 ซีดี (CD: Compact Disk)

องค์ประกอบของการใช้งาน CD-ROM ในระบบมัลติมีเดีย การใช้งาน CD-ROM เพื่อเป็นสื่อในการบันทึกข้อมูลแบบมัลติมีเดีย ในระบบคอมพิวเตอร์นั้น จะประกอบไปด้วย

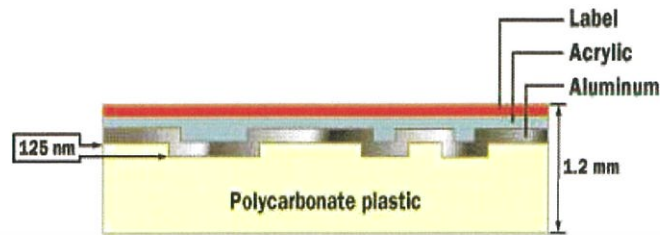
1. CD-ROM: Drive ทำหน้าที่เป็นตัวอ่านข้อมูลที่บันทึกในแผ่นซีดีรูปแบบต่าง ๆ โดย ภายในจะมีจานหมุน และหัวอ่านซีดี ที่เป็นตัวส่งแสงเลเซอร์ไปตกกระทบกับข้อมูลในแผ่นซีดี ออกมาตีความเป็นรหัสเลขฐานสอง ในคอมพิวเตอร์

2. CD-ROM: แผ่นซีดี เป็นแผ่นจานแสงที่มีความจุสูง ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ มีหลายรูปแบบและมาตรฐานการใช้งานที่ต่างกัน

หลักการทำงานของ CD-ROM Drive ใช้หลักการสะท้อนของแสงเลเซอร์ โดยตัวเครื่องขับเคลื่อนซีดีจะมีตัวยิงลำแสงผ่าน Laser Diode ผ่านแท่งปริซึมไปยังพื้นผิวของแผ่นซีดี ซึ่งมีลักษณะไม่เท่ากันเป็นแบบราบ (Land) หรือเป็นหลุม (Pitch) ถ้าลำแสงตกกระทบยังส่วนที่แบบราบ (Land) แสงจะสะท้อนกลับออกมาตกกระทบกับอุปกรณ์รับแสงที่เรียกว่า Photo Detector ในหัวอ่านเลนส์ ต่างกับเมื่อแสงตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบกับหลุม (Pitch) นั้น แสงจะไม่สะท้อนกลับออกมา นำไปแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบสถานะว่าเป็นค่า 0 หรือ 1 ในทางดิจิทัล ทำให้เราทราบข้อมูลว่าเป็นเช่นไร

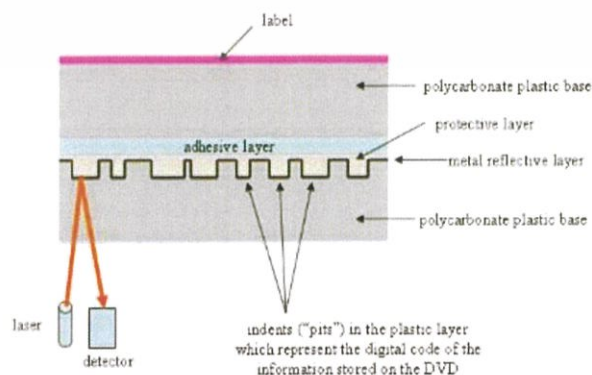


ภาพที่ 2.10 องค์ประกอบของแผ่นซีดี

แผ่นซีดีรอมเป็นแผ่นจานกลมบาง ทำจากแผ่นพลาสติกเคลือบด้วยสารโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) เพื่อให้เป็นผิวหน้ามันสะท้อนแสง โดยมีการบันทึกข้อมูลเป็นสายเดี่ยวกัน (Single Track) ขดเป็นวงรอบแบบเป็นเกลียว (Spiral) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 120 มิลลิเมตร มีความจุข้อมูลที่เป็นคอมพิวเตอร์ที่ 650 MB ที่พื้นผิวของแผ่นซีดี จะมีร่องที่แสดงถึงข้อมูลที่บันทึกอยู่ภายใน แผ่นซีดีรอม เป็นแบบอ่านข้อมูลได้อย่างเดียวนั้นหมายความว่าเราไม่สามารถแก้ไขข้อมูลที่บันทึกอยู่ภายในได้

2.3.2 ดีวีดี (DVD: Digital Video Disk)

ดีวีดี (Digital Video Disk: DVD) เป็นแผ่นจานแสงอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งมีความจุในการเก็บข้อมูลแบบดิจิทัล ได้สูงกว่าแผ่นซีดี เป็นจำนวนมาก หลักการของแผ่นดีวีดีนั้น ใช้หลักการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวของจานแสงเหมือนกับแผ่นซีดีแสดงดังภาพที่ 2.11 แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่แสงเลเซอร์ของแผ่นดีวีดี นั้นมีขนาดที่เล็กกว่าลำแสงของแผ่นซีดี ทำให้สามารถบรรจุข้อมูลลงไปภายในได้มากกว่า โดยมีความจุเริ่มต้นที่ 4.7 พันล้านไบต์ (Giga Bytes: GB) ต่างกับแผ่นซีดีที่มีความจุสูงสุดเพียง 650 MB เท่านั้น

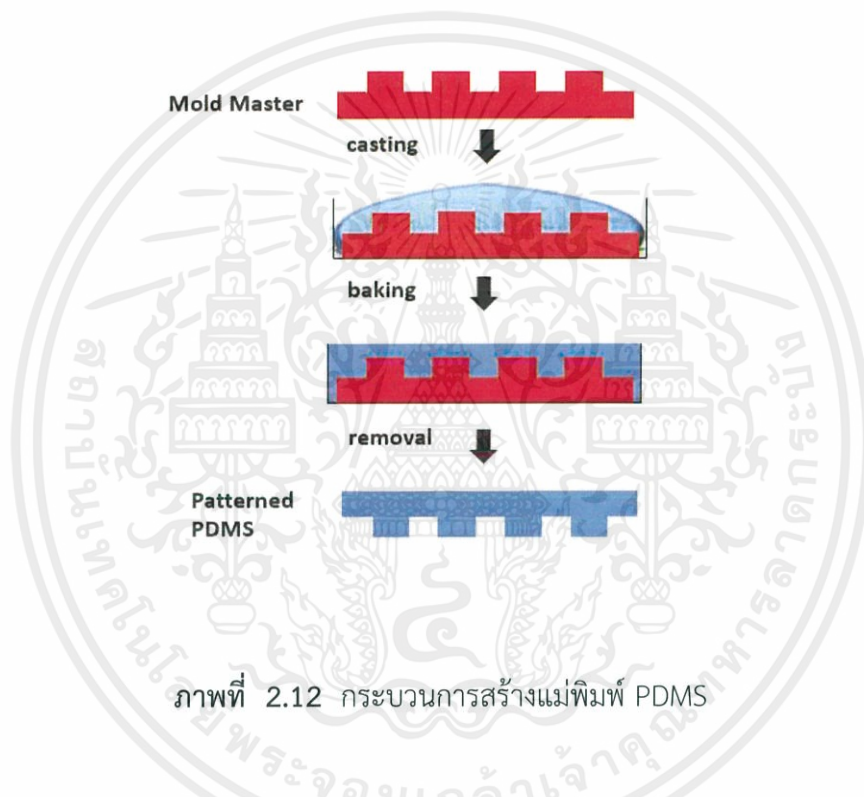


ภาพที่ 2.11 องค์ประกอบแผ่นดีวีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การถ่ายทอดลวดลายแบบนูน (Soft Lithography)

การถ่ายทอดลวดลายแบบนูนเป็นหนึ่งในวิธีการสร้างลวดลายลงบนพื้นผิวชิ้นงาน โดยใช้วัสดุพอลิเมอร์เป็นแม่พิมพ์ทำให้แม่พิมพ์มีความยืดหยุ่น ราคาถูก และสามารถใช้งานได้นาน ต่างจากวิธีการแบบเดิมที่ใช้แม่พิมพ์แบบแข็งที่ทำจากโลหะ วิธีการสร้างใช้อุณหภูมิที่สูง มีราคาแพง และมีอายุการใช้งานจำกัด polydimethylsiloxane (PDMS) เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำแม่พิมพ์ เพราะสามารถสร้างได้ง่าย ด้วยการหล่อแบบ PDMS เหนือลงในแม่พิมพ์ต้นแบบ จากนั้นนำไปให้ความร้อนเมื่อ PDMS แข็งตัว จึงทำการลอก PDMS ออกจากแม่พิมพ์ต้นแบบ [8] ดังภาพที่ 2.12

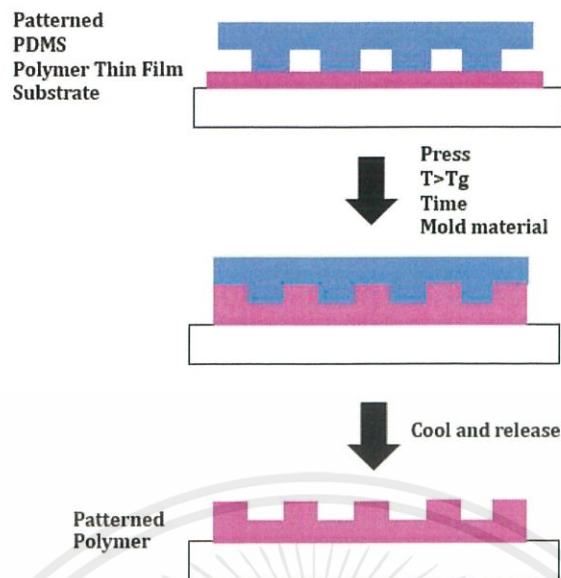


ภาพที่ 2.12 กระบวนการสร้างแม่พิมพ์ PDMS

2.4.1 การประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตร (Nanoimprint Lithography, NIL)

NIL เป็นวิธีการทั่วไปที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตคอมแพคดิสก์ (CD), แผ่นดีวีดี (DVD), โฮโลแกรม, เกรตติง (gratings), เครื่องมือระดับไมครอนและชิ้นส่วนพลาสติก [8] วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับทั้งแม่พิมพ์แบบแข็งและแม่พิมพ์แบบนูน โดยนำพอลิเมอร์ที่ต้องการสร้างลวดลายมาให้ความร้อน ด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์ (glass transition temperature, T_g) [9] เพราะสายโซ่ของพอลิเมอร์ในสถานะนี้จะเคลื่อนที่ได้ง่าย จากนั้นใช้แรงดันกดแม่พิมพ์ลงบนพอลิเมอร์ เมื่อเกิดลวดลายบนวัสดุแล้ว ทำการลดอุณหภูมิหรือระบายความร้อนออก จะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้น้อยลง แล้วจึงนำแม่พิมพ์ออก ดังภาพที่ 2.13

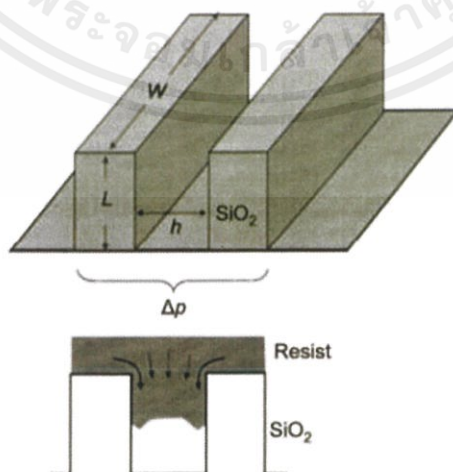
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 แสดงกระบวนการถ่ายทอดลวดลายด้วยวิธีการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตร

2.4.2 การประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography (SASSNIL)

SASSNIL เป็นวิธีการถ่ายทอดลวดลายลงบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ โดยวางแม่พิมพ์ PDMS ลงบนสารละลายพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย สารละลายพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ไปตามลวดลายของแม่พิมพ์โดย อัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ในช่องแคบ ดังภาพที่ 2.14 สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 2.1 [10]

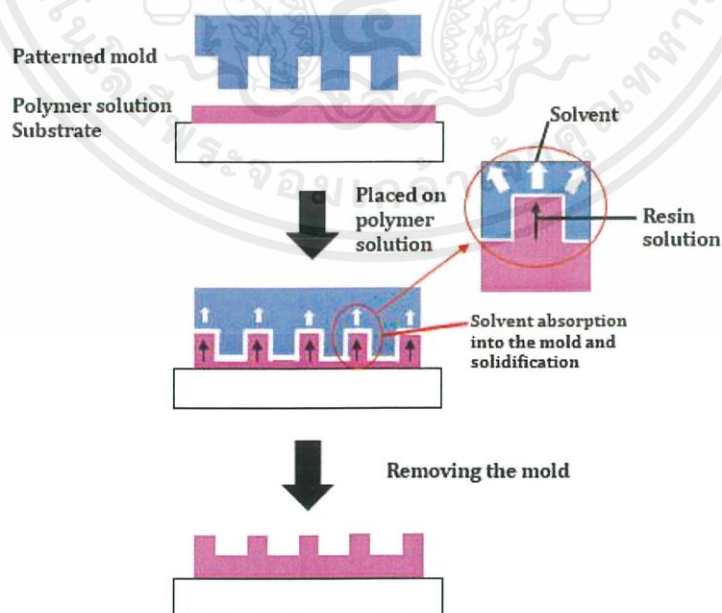


ภาพที่ 2.14 แสดงสารละลายพอลิเมอร์ (Resist) เคลื่อนที่ที่ตามช่องแคบของแม่พิมพ์ [11] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปประโยชน์การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{Wh^3\Delta p}{12\mu L} \approx \rho \frac{\Delta p}{\mu} \quad (2.1)$$

เมื่อ	Q	หมายถึง อัตราการไหลของสาร
	W	หมายถึง ความยาวของสลิต
	h	หมายถึง ระยะห่างของช่องแคบ
	L	หมายถึง ความลึกของสลิต
	p	หมายถึง แรงดันที่ใช้
	μ	หมายถึง ความหนืดของสาร
	ρ	หมายถึง ค่าคงที่ขึ้นกับขนาดของสลิต

จากสมการพบว่า อัตราการไหลของสารจึงแปรผันตรงกับแรงดันที่ใช้ แต่แปรผกผันกับความหนืดของสาร โดยอัตราการไหลจะบอกถึงปริมาตรของสารที่เคลื่อนที่ไปต่อหน่วยเวลา ดังนั้น การประสบความสำเร็จในการถ่ายทอดลวดลาย คือ อัตราการไหลที่มีค่ามาก จากการเพิ่มแรงดันและการลดความหนืดของสารละลายด้วยการเพิ่มปริมาณตัวทำละลาย [10] หลังจากนั้นตัวทำละลายพอลิเมอร์ที่ดีจะถูกแม่พิมพ์ PDMS ดูดเข้ามาติดกับพื้นผิวเกิดเป็นชั้นบางๆ ของตัวทำละลาย ขณะเดียวกันสารละลายพอลิเมอร์จะถูกดูดเข้ามาจัดเปลี่ยนรูปร่างตามโครงสร้างพื้นผิวของแม่พิมพ์ จากนั้นตัวทำละลายจะแพร่ผ่านแม่พิมพ์ PDMS เหลือเป็นชั้นของพอลิเมอร์ที่แข็งตัว [8] ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 กระบวนการถ่ายทอดลวดลายด้วยวิธีการ SASSNIL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญต่อการประสบความสำเร็จในการถ่ายทอด้วยวิธีการ SASSNIL คือ ตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ดีควรเป็นสารที่แม่พิมพ์ PDMS สามารถดูดเข้าไปได้อย่างรวดเร็วผ่านพื้นผิวหรือการบวมของ PDMS แต่การบวมของ PDMS จะส่งผลลวดลายเกิดการบิดเบือนไป

โดยทั่วไป ตัวทำละลายที่นำมาใช้ควรมีแรงดันไอที่ค่อนข้างสูงและมีแรงตึงผิวปานกลาง เช่น เมทานอล เอทานอล และอะซิโตน เพื่อให้แน่ใจว่าตัวทำละลายจะระเหยออกอย่างรวดเร็วและส่งผลให้แม่พิมพ์ PDMS บวมน้อยที่สุด ตัวทำละลายที่มีความดันไอต่ำ เช่น เอทิลีนไกลคอล และ dimethyl sulfoxide ไม่เหมาะสำหรับการถ่ายทอลวดลายด้วยวิธีการนี้ และตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น โทลูอีน และไดคลอโรมีเทน ไม่สามารถนำมาใช้ถ่ายทอลวดลายด้วยวิธีการ SASSNIL ได้ เพราะ PDMS ไม่สามารถดูดเข้าไปได้ [8]

2.4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography (SASSNIL)

ปัจจัยหลายอย่างเช่นแม่พิมพ์, ตัวทำละลาย, ความดัน, อุณหภูมิ, เวลาและขนาดของโครงสร้างรูปแบบจะมีผลต่อรูปแบบการขึ้นรูปสุดท้าย ปัจจัยเหล่านี้สามารถทำหน้าที่แยกกันหรือพร้อมกันเกี่ยวกับคุณภาพของลวดลายที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการถ่ายทอลวดลาย

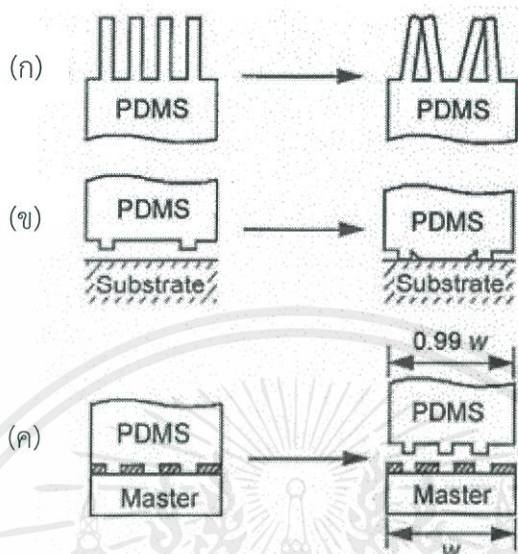
2.4.3.1 แม่พิมพ์

วัสดุที่นำมาทำแม่พิมพ์สามารถใช้ได้ทั้งแม่พิมพ์แบบแข็งและแม่พิมพ์แบบนิ่ม แม่พิมพ์แบบแข็งโดยทั่วไปสร้างจาก SiO_2 และ Si และบางครั้งสร้างจากโลหะ, เซรามิก และเพชร วัสดุดังกล่าว เป็นวัสดุที่มีความอดุลลัสที่สูงและทนต่อการบวม แต่ไม่มีความยืดหยุ่น การใช้แม่พิมพ์แบบแข็งจึงยากต่อการถอดแม่พิมพ์ออกจากพอลิเมอร์ ประทับลวดลายได้ยากบนฐานรองรับที่มีลักษณะโค้ง และนำไปสู่การเกิดความเสียหายต่อฟิล์มภายใต้แรงดันสูง ยิ่งไปกว่านั้นการสร้างลวดลายบนแม่พิมพ์แบบแข็งโดยทั่วไป ใช้วิธีการถ่ายทอลวดลายด้วยแสง (Photolithography) หรือ ลำแสง (e-beam lithography) แม่พิมพ์แบบนิ่มนิยมทำจาก PDMS, พอลิยูรีเทน (polyurethane) และบางครั้งใช้พอลิอิมิด (polyimide) และสารประเภทพอลิซิลอกเซน (polysiloxane) และฟลูออโรพอลิเมอร์อื่นๆ

PDMS ถูกนำมาทำเป็นแม่พิมพ์อย่างแพร่หลาย เพราะมีข้อดีหลายๆ ปัจจัย [8] เช่น ใช้ต้นทุนต่ำ และเป็นยางที่มีความคงทน อีกทั้งมีความยืดหยุ่นสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้จึงประทับลงบนพื้นผิวทั้งแบบเรียบและโค้งงอได้ [12] PDMS มีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและมีพลังงานพื้นผิวดำ จึงสามารถลอกออกจากวัสดุต่างๆ ได้อย่างง่ายดายแม้จะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและเปราะบาง ความเฉื่อยทางเคมีและพลังงานพื้นผิวดำอนุญาตให้วัสดุหลายรูปแบบและได้รับการปล่อยตัวได้อย่างง่ายดายแม้จะมาจากโครงสร้างที่ซับซ้อนและเปราะบาง อย่างไรก็ตาม PDMS ยังมีข้อเสียบางอย่าง เพราะมันสามารถดูดซับสารไม่มีขั้วและสารประกอบอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ นำไปสู่การเสียรูปและการบิดเบือนลวดลายจากการบวมตัวทำละลายที่ดูดเข้าไป ความผิดปกติและการบิดเบือนระดับจุลภาค เช่น การจับคู่ (pairing), การหย่อน (sagging) และหดตัว (shrinking) ของแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังอาจเกิดขึ้นเมื่อมันถูกนำไปใช้ภายใต้ความดันสูงหรือมีอัตราส่วนสูงของโครงสร้าง [13] นอกจากนี้พลังงานที่พื้นผิวของมันยังไม่ต่ำพอสำหรับการผลิตลวดลายที่มีความสมบูรณ์สูงในบางกรณี



ภาพที่ 2.16 ภาพประกอบการอธิบายของรูปร่างที่เป็นไปได้และการบิดเบือนในระดับจุลภาคบนพื้นผิวของ PDMS (ก) การเข้าคู่; (ข) การหย่อน; (ค) การหดตัว [8]

2.4.3.2 ตัวทำละลาย

เป็นปัจจัยสำคัญที่จะเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในวิธีการประทับโครงสร้างโดยใช้ตัวทำละลายช่วย สองปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้ตัวทำละลาย อันดับแรกคืออิทธิพลของตัวทำละลายในแม่พิมพ์ว่าทำให้แม่พิมพ์เกิดความเสียหาย หรือลวดลายเกิดการบิดเบือนจากการบวมของตัวทำละลายหรือไม่ ส่วนอันดับสองคือตัวทำละลายไม่เพียงสามารถพองตัวเข้าไปใน PDMS แต่ยังเป็นสารตั้งต้นของการทำงานบางอย่างของพอลิเมอร์ ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้เป็นสารตั้งต้นบางตัวไม่สามารถที่จะพองตัวเข้าไปใน PDMS ได้

2.4.3.3 อุณหภูมิ

เนื่องจากมีตัวทำละลายเป็นตัวช่วย ในกระบวนการประทับโดยทั่วไปจึงใช้อุณหภูมิที่ไม่ต้องสูง อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิก็ยังสามารถควบคุมปริมาณตัวทำละลายในฟิล์มพอลิเมอร์ได้ ซึ่งมีอิทธิพลต่อระดับความสูงของลวดลายที่สร้างได้ โดยที่อุณหภูมิที่สูงกว่าจะเป็นผลดีต่อการซึมซับตัวทำละลายของฟิล์มพอลิเมอร์ และด้วยเหตุนี้ พอลิเมอร์จึงสามารถเคลื่อนที่ไปตามลวดลายได้ง่ายกว่า แต่อุณหภูมิต้องไม่สูงมากเกินไป ในทางกลับกัน เมื่อลดอุณหภูมิลงแม่พิมพ์จะเกิดการหดตัว ส่งผลให้ลวดลายที่ลอกออกแบบออกมามีคุณภาพต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.4 ความดัน

ความดันเป็นปัจจัยสำคัญพื้นฐานต่อการประทับลวดลายจากแม่พิมพ์ลงบนพอลิเมอร์ฟิล์ม ถ้าใช้ความดันน้อยหรือไม่มีความดันเลย แม่พิมพ์จะสัมผัสกับพื้นผิวพอลิเมอร์อย่างหลวมๆ ส่งผลให้ลวดลายเกิดความเสียหาย ในทางตรงกันข้าม หากความดันมากเกินไป แม่พิมพ์แบบนี้มีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง นำไปสู่การล้นและโค้งงอของโครงสร้าง ในแม่พิมพ์แบบแข็งอาจเกิดการแตกหักได้

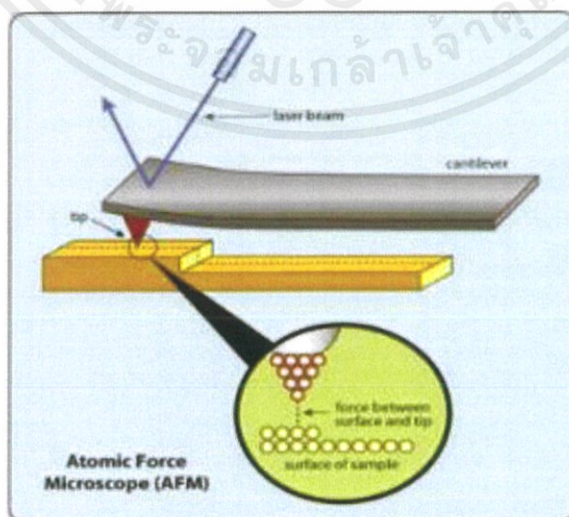
2.4.3.5 ความหนาแน่นของลวดลาย

ตามหลักการ พื้นที่สัมผัสขนาดใหญ่ระหว่างแม่พิมพ์กับพอลิเมอร์สามารถผลักมวลส่วนเกินให้ไหลออกไปนอกพื้นที่สัมผัสได้ ดังนั้นลวดลายที่สูงกว่าสามารถที่จึงบรรจุพอลิเมอร์ได้มากขึ้น บางครั้งสามารถคาดเดาความเป็นไปได้ของการบรรจุพอลิเมอร์ได้จากขนาดโครงสร้างของลวดลาย

2.5 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบางพอลิเมอร์

2.5.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

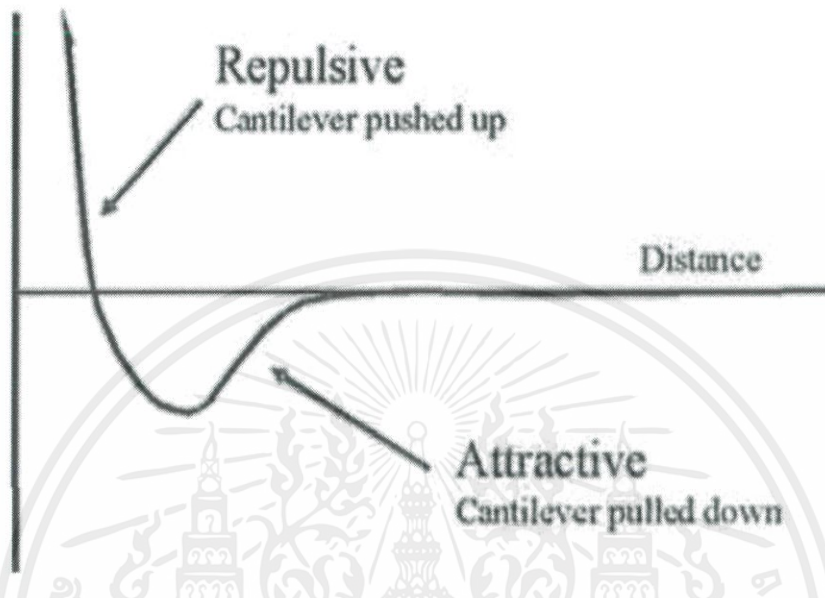
AFM เป็นเทคนิคประเภทหนึ่งในกลุ่มของ Scanning Probe Microscopy ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการดูสภาพ พื้นผิวของวัสดุประเภทต่างๆ ได้ โดยมีหลักการพื้นฐาน คือ การใช้เข็มตรวจวัดขนาดเล็ก (Probe Tip) ที่ทำจากวัสดุ Silicon nitride (Si_3N_4) เคลื่อนที่สแกน (Scanning) ไปทั่วบริเวณต่างๆ ของผิววัสดุ โดยการควบคุมของตัว Piezoelectric Scanner ซึ่งสภาพผิวของวัสดุที่แตกต่างกันไป จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเข็มตรวจวัด (Probe Tip) แตกต่างกันไป (ตัวคานที่มีเข็มเกาะติดอยู่จะมีการโค้งงอ (Bending) เกิดขึ้น ซึ่งสามารถถูกตรวจวัดได้โดย photodetector, ดังภาพที่ 2.17 จึงทำให้ได้ภาพที่ ออกมาสอดคล้องตามสภาพพื้นผิวในแต่ละบริเวณ



ภาพที่ 2.17 แสดงองค์ประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

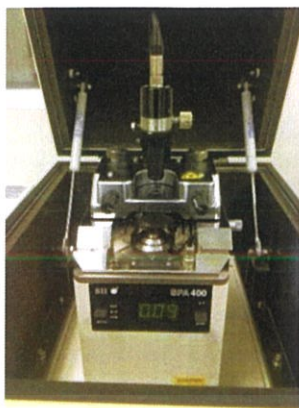
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในเทคนิคแบบ AFM ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ สิ่งที่ทำให้คานที่มีเข็มเกาะอยู่ เกิดการโค้งงอขึ้นก็คือ แรงกระทำ ระหว่างอะตอม ซึ่งอาจจะเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลัก ก็ได้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเข็มปลายแหลม (Tip) ดังแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 แสดงลักษณะ ของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่าง ๆ กัน

ดังนั้น เทคนิค AFM จึงสามารถที่จะใช้ทำการศึกษได้หลายวิธี ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะเป็นการใช้ AFM ในวิธีใด แรงกระทำที่เกิดขึ้น ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพรูปทรง Topography ของ พื้นผิวงาน และทำให้ได้ภาพที่ สอดคล้องกับสภาพผิวของวัสดุเช่นกัน ภาพที่ 2.19 แสดงตัวอย่างเครื่องมือ Atomic Force Microscope ซึ่งจากภาพบริเวณตรงกลางก็คือบริเวณที่จะใช้ วางชิ้นงานและก็เป็นบริเวณที่จะมีเข็มวัด (Probe Tip) วางอยู่ด้วย ส่วนที่บริเวณด้านบนของเครื่องมือจะมีกล้อง Video Microscope ติดตั้งไว้ เพื่อใช้สำหรับดูตำแหน่งของเข็มที่จะทำการวางลงบนบริเวณต่างๆ บนผิว ส่วนภาพที่ เกิดขึ้นจาก กล้องจะแสดงออกมาทางจอทีวี นอกจากนี้ทางด้านบนยังมีแหล่งให้กำเนิดแสงเลเซอร์ ที่จะใช้สำหรับเป็นตัวบอก ตำแหน่งของเข็มที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 2.19 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

รูปแบบในการศึกษา AFM จะสามารถศึกษาได้อย่างน้อย 3 รูปแบบ (Mode) ที่สำคัญ คือ

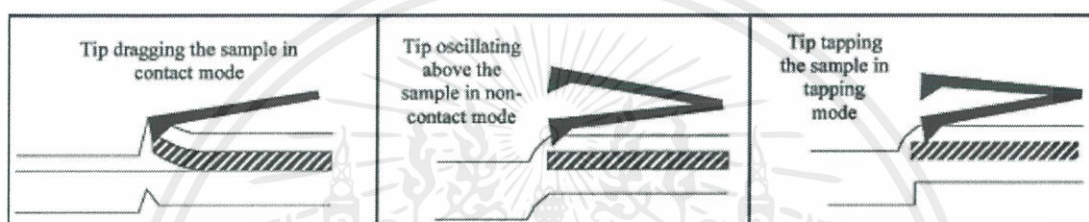
1. Contact mode เป็นการวัดรูปทรงของสภาพผิวขรุขระ (Topography) โดยการขยับให้เข็มไถล (Slide) ไปบนผิวงานซึ่งจะทำให้ มีแรงผลักระหว่างเข็มกับผิวงาน (ประมาณ 1-2 Angstrom) ซึ่งแรงผลักระหว่างเข็มกับผิวงานนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปทรงของผิวงาน (ภาพที่ 2.20) ซึ่งจะทำให้เกิดการโค้งงอ (Deflection) ของคาน (Cantilever) ที่มีเข็มยึด เกาะอยู่ที่ปลาย โดยมีขนาดของการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องเป็นไปตามลักษณะรูปทรงของผิวงาน อย่างไรก็ตาม เทคนิคแบบ Contact Mode นี้จะมีข้อเสีย คือ ในการที่จะลากให้เข็มตรวจวัดเคลื่อนที่ไถลข้ามไป ยังบริเวณต่างๆ บนผิวงาน อาจจะทำให้เกิดตำหนิ หรือสภาพพื้นผิววัสดุที่ต่างไปจากสภาพเดิมที่แท้จริง (Artifact) และ ความเสียหายเกิดขึ้นแก่ผิวงานได้ ยกตัวอย่างเช่น ภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ที่ซึ่งมีอากาศและความชื้นในอากาศ จะเกิดหยดน้ำหรือสิ่งสกปรกติดอยู่บนผิวงาน ซึ่งเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ที่สแกนของเข็มวัดไปสัมผัสกับผิวที่มีชั้นบาง ๆ ของหยดน้ำ และสิ่งสกปรกดังกล่าวเกาะอยู่ จะทำให้มีแรงดึง (แรงไฟฟ้าสถิตและแรงดึงดูด) ดึงให้ตัวคานที่มีเข็มยึดอยู่ที่ปลายเคลื่อนที่ลงมาสัมผัสกับชั้นดังกล่าว ทำให้ผลต่อค่าแรงระหว่างเข็มกับผิวงานที่เกิดขึ้นโดยรวมเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ ยังทำให้ผิวงานถูกทำลาย เช่น การฉีกขาด จากการลากเข็มไปบนผิวงาน

2. Non-Contact mode เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคแบบ Non-Contact mode ขึ้นมา โดยในที่นี้ ตัวเข็มปลายแหลม จะถูกยกขึ้นมาให้มีระยะห่างเหนือผิวงานสูงมากขึ้น คือประมาณ 10-100 Angstrom จึงไม่มีปัญหาเรื่อง การทำลายโครงสร้างผิวงาน โดยในกรณีนี้ แรงกระทำระหว่างตัวคานที่มีเข็มปลายแหลมยึดเกาะอยู่กับผิวงานจะเป็นลักษณะแรงดึงดูด (ภาพที่ 2.18) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปทรงของสภาพผิวงาน เช่นเดียวกัน (ภาพที่ 2.20 ภาพกลาง) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะมีข้อจำกัดที่เกี่ยวกับความละเอียดของภาพที่ เกิดขึ้น นั่นคือ แรงดึงดูดประเภท Van der Waals ที่เกิดขึ้นระหว่าง tip กับ surface ในกรณีนี้ จะเป็นแรงที่อ่อนกว่าเมื่อเทียบกับแรงผลักระหว่างเข็มกับผิวงานที่เกิดขึ้นในกรณีของ Contact Mode (ปกติอยู่ที่ประมาณ 10-12 N) ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณการเปลี่ยนแปลงจึงอาจจะไว (Sensitive) ต่อสิ่งแปลกปลอม ที่อยู่บนผิวงาน อย่างเช่น หยดน้ำที่เกาะอยู่บนผิว

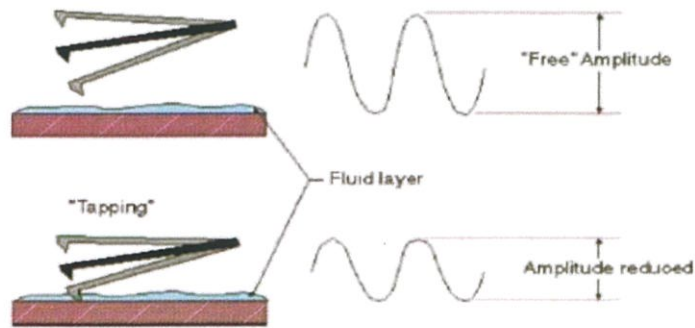
3. Tapping Mode Tapping Mode เป็นเทคนิคที่รวมเอาลักษณะของการวัดทั้งในแบบของ Contact mode และ Non-Contact mode เข้าด้วยกัน กล่าวคือ ยังคงให้มีการสัมผัสกันระหว่างเข็มกับผิวงานในระยะที่ใกล้กันมาก เหมือนกับกรณีของ Contact Mode เพื่อให้เกิดภาพที่ ชัดเจน ในขณะเดียวกัน ก็ยังมีการสั่นหรือขยับเข็มปลายแหลมให้เคลื่อนที่ขึ้นลงไปพร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่สแกนไปยังบริเวณต่าง ๆ บนผิวงาน ดังนั้น จึงเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาการลากไถลเข็มปลายแหลม ซึ่งจะทำให้เกิดการทำลายสภาพของผิวงานได้ดังที่เคยเป็นปัญหา Contact Mode



ภาพที่ 2.20 แสดงภาพการเคลื่อนที่ของเข็มปลายแหลมไปบนผิวงานในเทคนิคแบบต่างๆ Contact mode (ภาพซ้าย) Non-Contact mode (ภาพกลาง) Tapping mode (ภาพขวา)

จากภาพที่ 2.20 จะเห็นถึงการสั่นของคาน ในสภาวะอิสระหรือตอนเริ่มต้นที่ยังไม่เกิดการสัมผัสและขยับเคลื่อนที่ไปบนผิวงาน จะเห็นได้ว่าขนาด amplitude จะยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับ amplitude ที่เกิดจากการสั่นของคานเมื่อมีการแตะ สัมผัส (Tapping) ลงบนผิวงาน เนื่องจากว่าในการสัมผัสกันนั้น จะมีการสูญเสียพลังงานของการสั่น ทำให้ขนาดของการ สั่น (oscillation amplitude) ลดลง ซึ่งค่าที่ลดลงนี้จะใช้เป็นตัววัดและบอกถึงลักษณะของสภาพพื้นผิวที่มีความสูงต่ำแตกต่างกันไป เช่น เมื่อเข็มตรวจวัดเคลื่อนที่ผ่านบริเวณผิวงานที่มีความนูนสูงขึ้นมา ตัวคานจะมีพื้นที่ หรือ ขนาด amplitude ในการสั่นลดลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อเข็มปลายแหลมเคลื่อนที่ผ่านบริเวณผิวที่มีการยุบตัวลงหรือมี ความลึกลงไป ตัวคานก็จะมีพื้นที่ในการสั่นเพิ่มขึ้น และมี amplitude สูงขึ้น (เข้าใกล้ amplitude สูงสุดในสภาพที่ ยังไม่มี การทำการสแกน) amplitude ของการสั่นที่เปลี่ยนแปลงไปก็จะถูกวัดโดย amplitude detector แล้วส่งผลเข้าไปยังตัว ควบคุม ซึ่งจะทำการวัดสัญญาณพร้อมทั้งปรับระยะระหว่างเข็มกับผิวงาน เพื่อรักษาให้ค่า amplitude ของการสั่นให้คงที่ต่อไป จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของ amplitude ของการสั่นตามสภาพพื้นผิวในบริเวณถัดไป

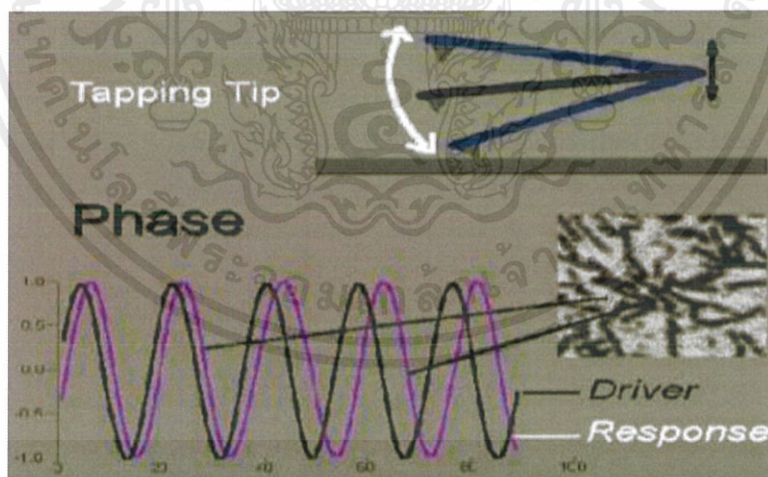
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการสั่น (Oscillation) คานที่มีเข็มติดอยู่

Phase imaging

นอกจากจะใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความสูงต่ำของผิวชิ้นงาน โดยมีความชัดของสัญญาณและลดการทำลายผิวชิ้นงานแล้ว การวิเคราะห์ในแบบ tapping mode ยังสามารถให้ข้อมูลด้านสมบัติบางประการที่ผิวชิ้นงานได้ เช่น hardness และหรือ ความเป็น viscoelasticity โดยอาศัยการวิเคราะห์ในแบบ phase imaging ซึ่งมีหลักการคือ เมื่อคานที่กำลังสั่นขึ้นลง เดินทางไปตกระทบบนผิวชิ้นงานที่มีสมบัติต่างกัน จะทำให้สัญญาณที่เกิดจากการสั่นของคานเกิดการหน่วงหรือ delay ขึ้น



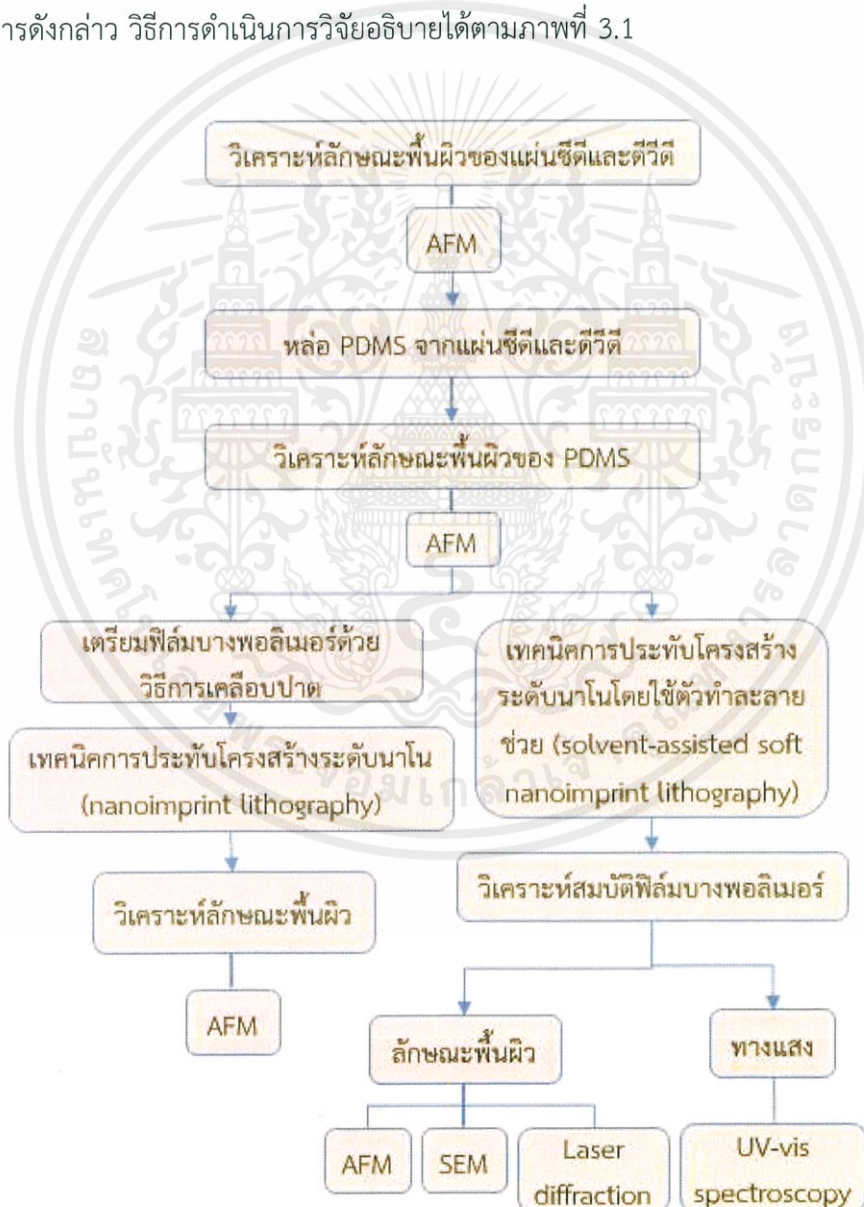
ภาพที่ 2.22 การศึกษาด้วยเทคนิค AFM ในแบบ tapping mode (phase imaging)

ซึ่งความต่างเฟสและหรือความล่าช้าของสัญญาณที่เกิดจากการสั่น (phase lag) จะถูกแปลและถ่ายทอดออกมาเป็นโครงสร้างของวัสดุผสมหรือคอมโพสิต ที่มีองค์ประกอบที่มีโครงสร้างและสมบัติต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการถ่ายทอดลวดลายด้วยแม่พิมพ์แบบนํมบนพลมบางพอลิเมอร์ ทั้งเทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโนแบบปกติและแบบใช้ตัวทำละลายช่วย และศึกษาการวัดและวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของการลอกแบบบนพื้นผิวฟิล์ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม การเลี้ยวเบนของแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ รวมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบต่อสมบัติทางแสงจากการปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์มบางพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการดังกล่าว วิธีการดำเนินการวิจัยอธิบายได้ตามภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ไตอะแกรมแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

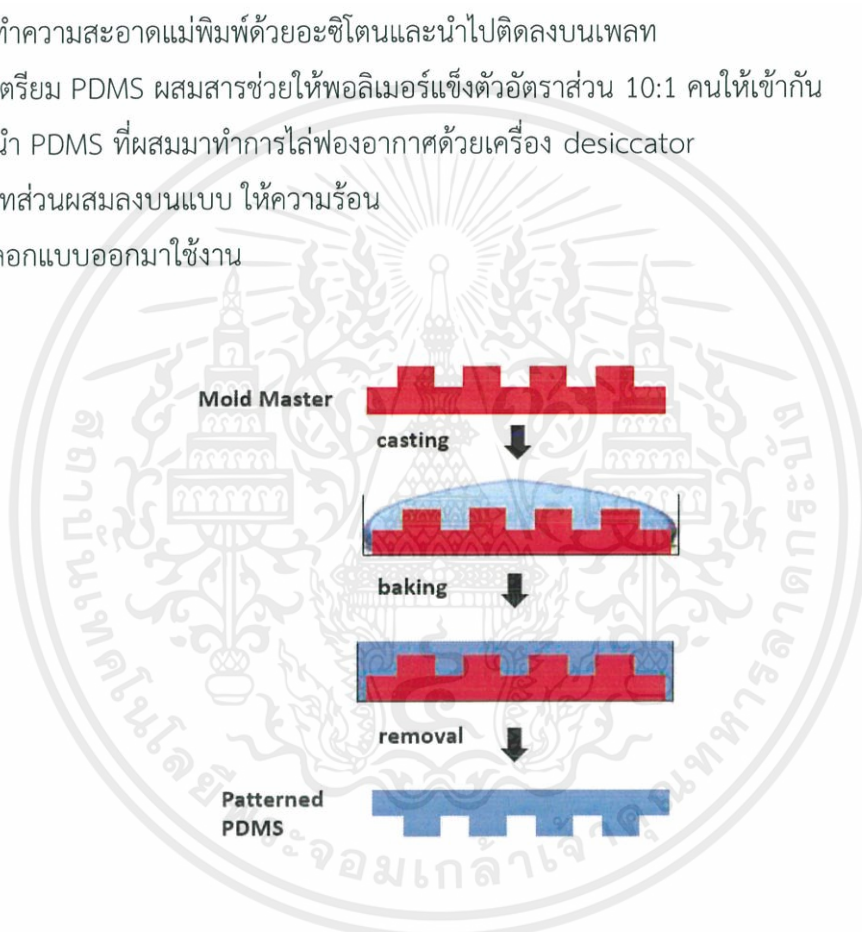
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 กระบวนการสร้างแบบ PDMS และการประกบด้วยพลาสติก

ในการสร้างแบบ PDMS นั้นจะต้องมีแม่พิมพ์ (mold) เพื่อให้ PDMS ลอกแบบออกมาใช้งาน ซึ่งก่อนที่จะนำ PDMS มาใช้งานนั้น จะต้องมีการสร้างแบบ PDMS แสดงดังภาพที่ 3.2 เพื่อให้สามารถลอกแบบได้มีความสมบูรณ์ของลวดลายมากที่สุด และเพิ่มความแข็งแรงโดยการนำกระจกสไลด์มาประกบด้วยพลาสติกด้วยเครื่องพลาสติก ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งจะมีขั้นตอนดังนี้

การหล่อแบบ

1. ทำความสะอาดแม่พิมพ์ด้วยอะซิโตนและนำไปติดตั้งบนเพลท
2. เตรียม PDMS ผสมสารช่วยให้พอลิเมอร์แข็งตัวอัตราส่วน 10:1 คนให้เข้ากัน
3. นำ PDMS ที่ผสมมาทำการไล่ฟองอากาศด้วยเครื่อง desiccator
4. เทส่วนผสมลงบนแบบ ให้ความร้อน
5. ลอกแบบออกมาใช้งาน

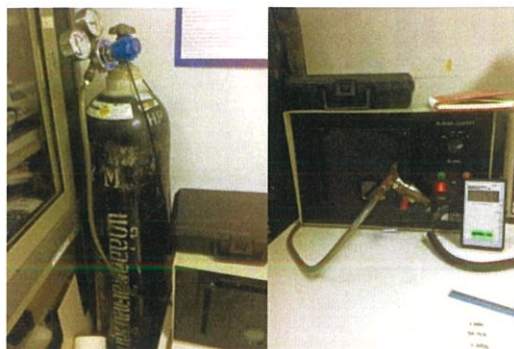


ภาพที่ 3.2 แสดงกระบวนการสร้างแบบ PDMS

การประกบด้วยพลาสติก

1. ใส่กระจกสไลด์และผิวแม่พิมพ์ลงในห้องสุญญากาศของ microwave plasma
2. บั้มสุญญากาศจนความดันถึงระดับที่กำหนด
3. เปิดแก๊สออกซิเจนเข้าในห้องสุญญากาศที่ระดับความดัน
4. เปิดพลาสติกด้วยระดับกำลังและเวลาตามกำหนด
5. นำแม่พิมพ์ไปประกบติดกับกระจกสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 ระบบเครื่องทำความสะอาดพลาสมา (Plasma cleaner)

3.2 การทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับ (Glass Substrate)

ในการเตรียมฟิล์มบางนั้นจะต้องมีฐานรองรับ (substrate) เพื่อให้ฟิล์มของสารยึดเกาะบนฐานรองรับ ซึ่งก่อนที่เราจะนำฐานรองรับมาใช้งานนั้น จะต้องมีการทำความสะอาดฐานรองรับเพื่อขจัดคราบสิ่งสกปรกที่ติดค้างอยู่ออก โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า Alcohol process แสดงดังภาพที่ 3.5 ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำความสะอาดดังนี้

1. นำกระจกไปล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดไขมัน
2. ล้างกระจกด้วยน้ำไร้ประจุ (DI water) ในเครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 15 นาที
3. ล้างกระจกด้วยอะซิโตน (Acetone; CH_3COCH_3) ในเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที
4. ล้างกระจกด้วยเมทานอล (Methanol; CH_3OH) ในเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที
5. ล้างกระจกด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanol; $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$) ในเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที
6. เป่ากระจกให้แห้งโดยใช้แก๊สไนโตรเจน (N_2)



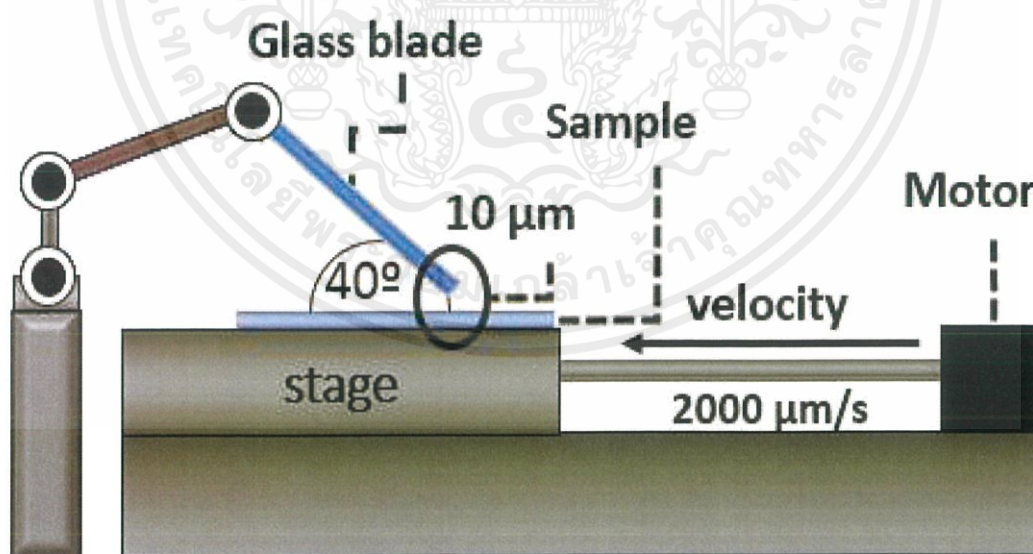
ภาพที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการทำความสะอาดฐานรองรับกระจกสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีเคลือบปาด

ระบบปลูกฟิล์มด้วยวิธีเคลือบปาดประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ ใบมีดสำหรับการปาดสารละลาย (deposition blade) ซึ่งวางเอียงทำมุมแหลมกับฐานรองรับที่เลื่อนในแนวระนาบซึ่งสามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ (speed-controllable translational stage) แสดงดังภาพที่ 3.5 (ข) โดยกระบวนการนี้จะอาศัยแรงตึงผิวของสารละลายที่ถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างขนาดเล็กระหว่างใบมีดปาดสารและฐานรองรับ เมื่อฐานรองรับเคลื่อนที่จะสร้างให้เกิดฟิล์มบางบนพื้นผิวของฐานรองรับ เมื่อตัวทำละลายระเหยออกไปจะเหลือเพียงฟิล์มบางบนฐานรองรับ แสดงดังภาพที่ 3.5 (ก) ซึ่งมีขั้นตอนการและเงื่อนไขในการปลูกฟิล์มดังนี้

1. วางฐานรองรับ (substrate) ที่ต้องการปลูกฟิล์ม วางบนฐานรองรับที่สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ในแนวระนาบ (speed-controllable translational stage)
2. ปรับใบมีดสำหรับปาดสารละลายให้เอียงเป็นมุมแหลมกับฐานรองรับ 40°
3. ใช้ไมโครดรอป (micro drop) หยดสาร poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl (P3HT) ทำละลายในไดคลอโรเบนซีน (Dichlorobenzene; $C_6H_4Cl_2$) ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 10 ไมโครลิตร บริเวณช่องว่างระหว่างใบมีดปาดสารและฐานรองรับ
4. ปรับความเร็วของฐานรองรับเท่ากับ 2000 ไมโครเมตรต่อวินาที และเปิดสวิตซ์ให้ฐานรองรับเคลื่อนที่จะสร้างให้เกิดฟิล์มบางบนฐานรองรับ



ภาพที่ 3.5 แสดงองค์ประกอบของระบบการปลูกฟิล์มด้วยวิธีเคลือบปาดและเงื่อนไขในการปลูก

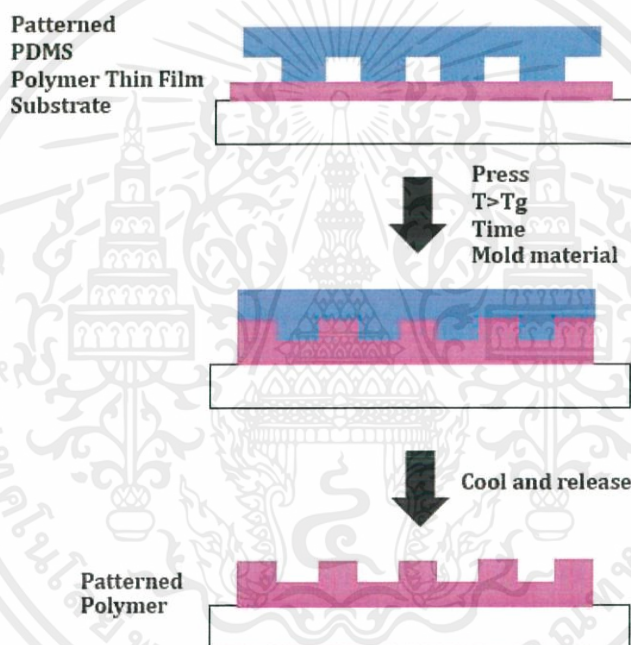
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การถ่ายทอดลวดลายด้วยแม่พิมพ์แบบนิ่ม (Soft Lithography)

3.4.1 เทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตร (Nanoimprint Lithography; NIL)

ในการทดลองจะทำการประทับโครงสร้างในระดับนาโนด้วยแม่พิมพ์ PDMS ที่หล่อจากแผ่นซีดี และดีวีดี ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ลงบนฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่ปลูกด้วยวิธีเคลือบปาด โดยจะทำการทดลองเงื่อนไขของอุณหภูมิ ซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.6 เริ่มจาก

1. กดแม่พิมพ์ PDMS ด้วยความดัน 1 kPa ลงบนฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่ปลูกบนฐานรองรับ (Glass Substrate) ทั้งแบบไม่ใช้อุณหภูมิ และใช้อุณหภูมิที่ 150°C เป็นเวลา 30 นาที
2. ทำการลดอุณหภูมิ (cooling) แล้วทำการลอกแม่พิมพ์ออก

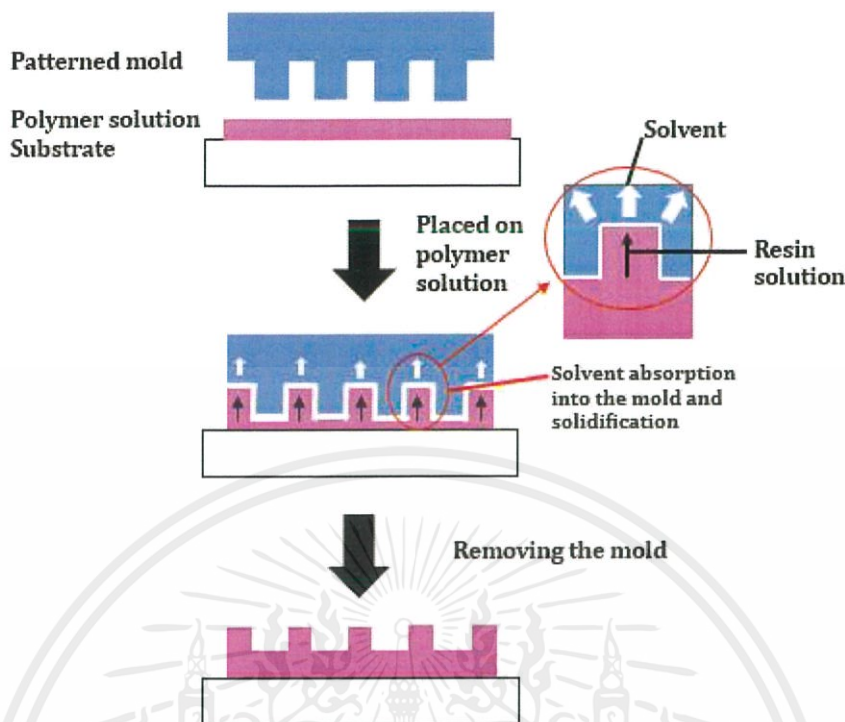


ภาพที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการประทับโครงสร้างในระดับนาโนลงบนฟิล์มพอลิเมอร์

3.4.2 เทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Nanoimprint Lithography; SASSNIL)

ในการทดลองจะทำการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรด้วยแม่พิมพ์ PDMS ที่หล่อจากทั้งแผ่นซีดีและดีวีดี ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ลงบนสารละลายพอลิเมอร์ P3HT ในตัวทำละลายคลอโรเบนซีน และ PCPDTBT ในตัวทำละลายไดคลอโรเบนซีน ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 5 ไมโครลิตร เป็นเวลา 10 นาที โดยปลูกลงบนฐานรองรับ (Glass Substrate) ซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



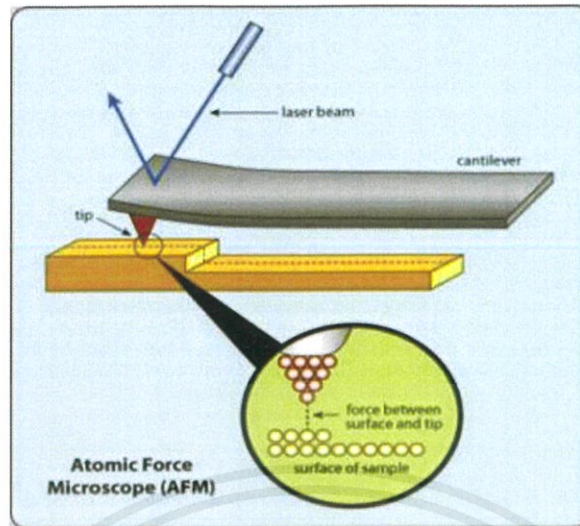
ภาพที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ตัวทำละลายช่วย

3.5 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางพอลิเมอร์

3.5.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม

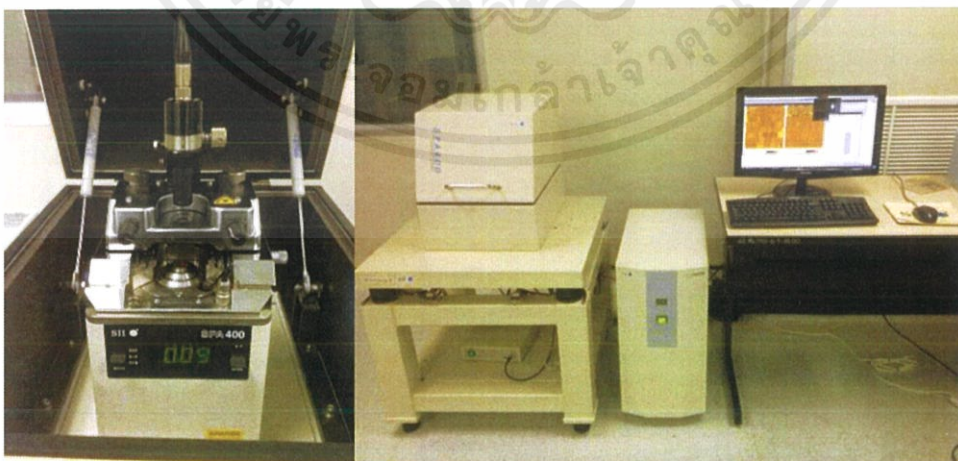
องค์ประกอบหลักของระบบกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม คือ การวัดแรงระหว่างเข็มและผิววัสดุโดยใช้คาน (Cantilever) ซึ่งเป็นแผ่นวัสดุแข็งที่มีเข็มตรวจวัด (probe tip) ติดอยู่ที่ปลายคานทำจากวัสดุที่มีความแข็งสูงเช่น Silicon nitride (Si_3N_4) เคลื่อนที่สแกน (Scanning) ทั่วบริเวณต่างๆ ของผิววัสดุ โดยการควบคุมของตัว Piezoelectric Scanner ซึ่งสภาพผิวของวัสดุที่แตกต่างกันไป จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเข็มตรวจวัด (Probe Tip) แตกต่างกันไป จากการโค้งงอของคาน ระบบกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอมจะวัดการตำแหน่งของทิปได้จากการใช้ลำแสงเลเซอร์สองไปที่คาน แลวสะท้อนกลับไปที่สวนรับสัญญาณ (Photo detector) ทำให้ทราบข้อมูลการเคลื่อนที่ขึ้นลงของคาน ยื่น หรือความสูงต่ำของพื้นผิวดัวอย่างได้ จากข้อมูลความสูงต่ำของแต่ละจุดเทียบกับตำแหน่งของทิป (โคออร์ดิเนต x, y, z) ทำให้ระบบกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอมสามารถสร้างภาพของพื้นผิวดัวอย่างได้ ทั้งสองมิติ และ สามมิติ แผนภาพแสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม

ภาพที่ 3.9 แสดงตัวอย่างเครื่องมือ Atomic Force Microscope ซึ่งจากภาพบริเวณตรงกลางก็คือบริเวณที่จะใช้ วางชิ้นงานและก็เป็นบริเวณที่จะมีเข็มวัด (Probe Tip) วางอยู่ด้วย ส่วนที่บริเวณด้านบนของเครื่องมือจะมีกล้อง Video Microscope ติดตั้งไว้ เพื่อใช้สำหรับดูตำแหน่งของเข็มที่จะทำการวางลงบนบริเวณต่างๆ บนผิว ส่วนภาพที่เกิดขึ้นจาก กล้องจะแสดงออกมาทางจอคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ทางด้านบนยังมีแหล่งให้กำเนิดแสงเลเซอร์ ที่จะใช้สำหรับเป็นตัวบอกตำแหน่งของเข็มที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเคลื่อนที่ หลังจากทำการตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่ได้จะทำการวิเคราะห์ค่าความลึก ความกว้าง และระยะห่างแต่ละเงื่อนไขของฟิล์มบางพอลิเมอร์

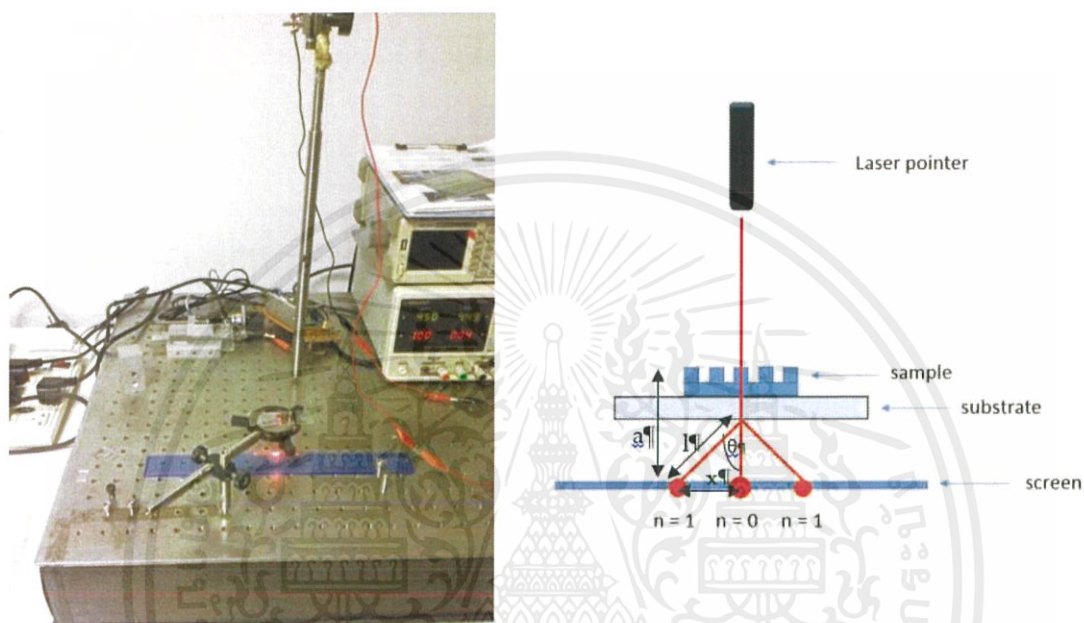


ภาพที่ 3.9 แสดงตัวอย่างเครื่องมือ Atomic Force Microscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยการเลี้ยวเบนของแสง

การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางพอลิเมอร์ด้วยการเลี้ยวเบนของแสง จะทำโดยมีระบบที่ประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่นเดียวหรือเลเซอร์ แทนียึดตำแหน่งเลเซอร์ แทนวางตัวอย่าง และฉากรับแสง ที่จัดขึ้นในห้องปฏิบัติการ ดังภาพที่ 3.10



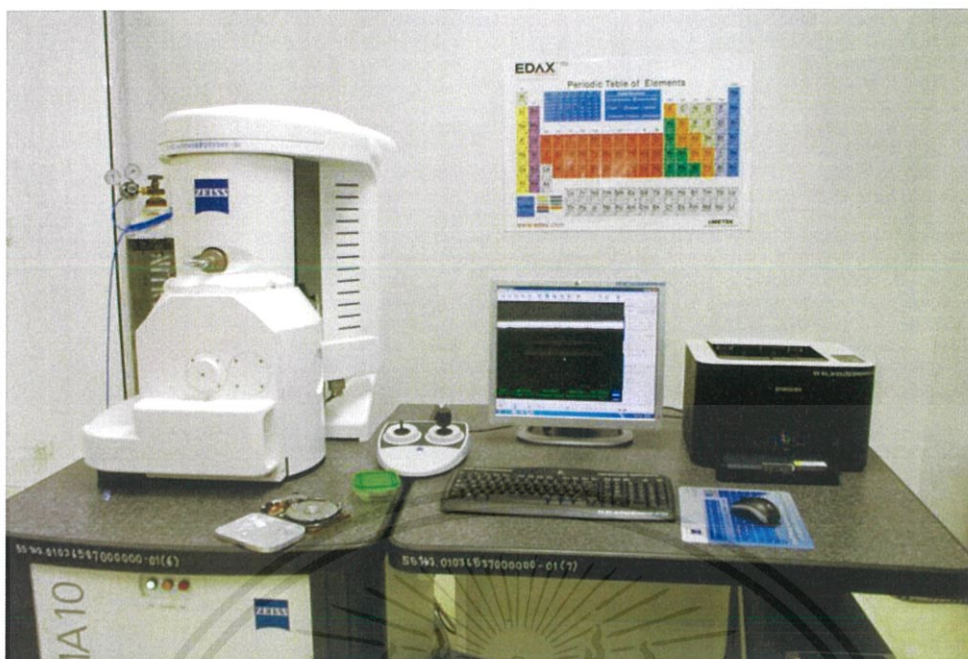
ภาพที่ 3.10 ระบบการตรวจสอบฟิล์มบางพอลิเมอร์ด้วยการเลี้ยวเบนของแสง

โดยในการทดสอบฟิล์มบางพอลิเมอร์นี้ ได้ทำการฉายเลเซอร์สีแดง ความยาวคลื่น 650 ± 10 นาโนเมตร และเลเซอร์สีเขียว ความยาวคลื่น 532 ± 10 นาโนเมตร ระยะระหว่างแท่นวางตัวอย่างและฉากรับแสงเท่ากับ 3.3 เซนติเมตร

3.5.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้ในการส่องดูลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างโดยการบังคับลำอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิวแล้วแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ มีลักษณะภาพเป็นภาพขาวดำมีกำลังขยาย 10 - 300,000 เท่า ขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง หลักการทำงาน คือ อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับตัวอย่างทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ และจับสัญญาณโดยตัวตรวจจับสัญญาณนำสัญญาณไปขยายและสร้างเป็นภาพออกมา แลวนำสัญญาณที่ได้ไปขยายและสร้างเป็นภาพแสดงบนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 รูปแสดงตัวอย่างกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

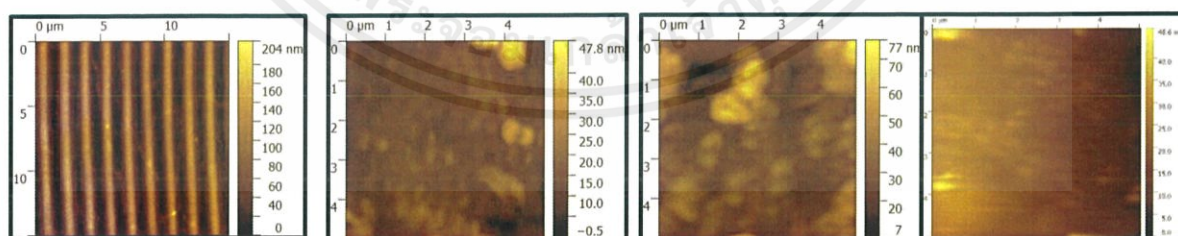
ผลการดำเนินงานวิจัยของการประทับโครงสร้างเกรตติง (grating) จากแม่พิมพ์แบบนูน ลงบนฟิล์มสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ จะแบ่งการรายงานผลการทดลองและวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- การศึกษาผลการประทับโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์แบบนูนด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโน (Nanoimprint Lithography; NIL)
- การศึกษาผลการประทับโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์แบบนูนด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างระนาโนแบบใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL)

4.1 การศึกษาผลการประทับโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์แบบนูนด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างระดับนาโน (Nanoimprint Lithography; NIL)

ในการทดลองได้ทำการประทับโครงสร้างเกรตติงจากแผ่นซีดีด้วยแม่พิมพ์แบบนูนลงบนฟิล์มบาง P3HT (poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)) ทำละลายในไดคลอโรเบนซีน (Dichlorobenzene; $C_6H_4Cl_2$) ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ที่เตรียมจากวิธีเคลือบขาดทดลองเงื่อนไขของอุณหภูมิ โดยใช้เวลาในการกดคงที่ 30 นาที และแรงกดคงที่ 1 kPa ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.1

4.1.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม P3HT ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (atomic force microscopy, AFM)



(ก) แม่พิมพ์ PDMS (ข) ฟิล์ม P3HT ก่อนลอก (ค) ไม่มีการให้ความร้อน (ง) ให้ความร้อนที่ 150 °C แรงกด 1 kPa

ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของแม่พิมพ์ PDMS และ P3HT จากการลอกแบบโครงสร้างนาโนเกรตติง ด้วยเทคนิค NIL จากกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

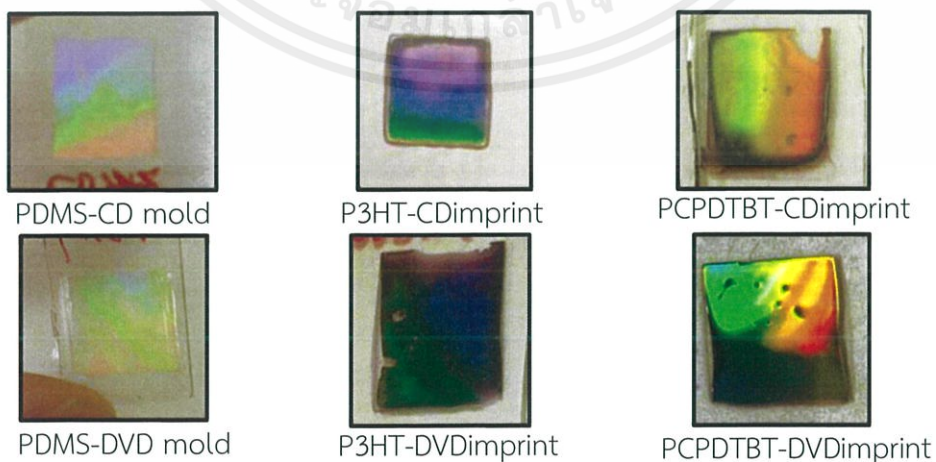
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.1 พบว่าลักษณะพื้นผิวฟิล์ม P3HT ทั้งสองเงื่อนไข ไม่พบโครงสร้างของเกรตติงบนพื้นผิวของฟิล์ม P3HT โดยรูปภาพที่ 4.1(ค) ได้ทำการทดลองกดแม่พิมพ์ PDMS ลงบนฟิล์มบาง P3HT ใช้แรงกด 1 kPa เป็นเวลา 30 นาที พบว่าไม่สามารถที่จะลอกแบบโครงสร้างเกรตติงออกมาได้ จึงสันนิษฐานว่าเกิดจากแรงกดที่ไม่สามารถที่จะทำให้ฟิล์มบางของ P3HT เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ต่อมาจึงได้ทำการทดลองให้อุณหภูมิ 150 °C แรงกด 1 kPa เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพที่ 4.1 (ง) โดยอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่วัสดุมีสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; Tg) ของ P3HT ซึ่ง ที่อุณหภูมิดังกล่าวจะช่วยให้อายพอลิเมอร์ของ P3HT สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะลอกแบบโครงสร้างเกรตติงออกมาได้ เนื่องจากแรงกดไม่พอที่จะทำให้ฟิล์มบางของ P3HT เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ตามแบบของแม่พิมพ์ เนื่องจากมีข้อจำกัดของอุปกรณ์ให้แรงกด ดังนั้นในหัวข้อถัดไป จะนำเสนอการลอกแบบโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์แบบนิ่มด้วยเทคนิคการประทับแบบใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography)

4.2 การศึกษาผลการประทับโครงสร้างเกรตติงจากแม่พิมพ์แบบนิ่มด้วยเทคนิคการประทับโครงสร้างระนาโนแบบใช้ตัวทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL)

ในการทดลองได้ทำการลอกแบบโครงสร้างเกรตติงที่มีขนาดแตกต่างกันจากแผ่นซีดีและดีวีดีด้วยแม่พิมพ์แบบนิ่มลงบนสารละลาย P3HT ในตัวทำละลายคลอโรเบนซีน และ PCDTBT ในตัวทำละลายไดคลอโรเบนซีน ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 5 ไมโครลิตร เป็นเวลา 10 นาที โดยปลุกลงบนกระจกสไลด์

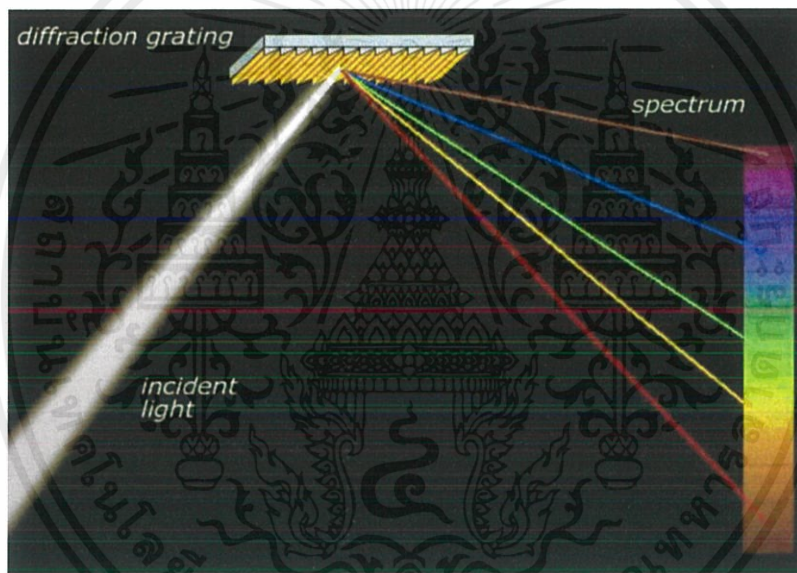
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม



ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางกายภาพของแม่พิมพ์ PDMS ฟิล์ม P3HT และฟิล์มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ PCPDTBT ที่มีโครงสร้างเกรตติงอยู่บนพื้นผิว ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.2 พบว่าฟิล์ม P3HT และฟิล์ม PCDTBT หลังการประทับด้วยแม่พิมพ์ PDMS ที่หล่อจากแผ่นซีดีและดีวีดี สามารถเห็นการสะท้อนแสงออกเป็นสีรุ้งได้ด้วยตาเปล่า

เกิดจากสมบัติของเกรตติงที่พื้นผิวของฟิล์ม เมื่อแสงขาว (เกิดจากการรวมกันของแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน) จากหลอดไฟฟ้าตกกระทบเกรตติงบนผิวฟิล์ม แสงจะเกิดการหักเหทำให้แสงสีต่างๆ แยกออกจากกัน การเรียงแถบสีจะแยกออกตามความยาวคลื่น ดังภาพที่ 4.3 และฟิล์มที่ได้บางการทดลอง มีความไม่ต่อเนื่องของฟิล์มเป็นจุดๆ อาจเกิดระหว่างการประทับแม่พิมพ์ PDMS ลงบนสารละลายที่มีฟองอากาศไปแทรกอยู่ เนื่องจากในการทดลองใช้เพียงน้ำหนักรวมของแม่พิมพ์ PDMS กดลงบนสารละลาย อาจไม่พอที่จะไล่ฟองอากาศออกไปนอกบริเวณของการประทับได้ และจะเห็นว่าฟิล์มบางบริเวณมีสีเข้ม บางบริเวณมีสีอ่อน เกิดจากฟิล์มที่ได้มีความหนาของสารไม่เท่ากัน บริเวณที่มีสารอยู่มาก ฟิล์มหนา จะมีสีเข้ม ส่วนบริเวณที่มีสารอยู่น้อย ฟิล์มบาง จะมีสีอ่อนกว่าบริเวณอื่น



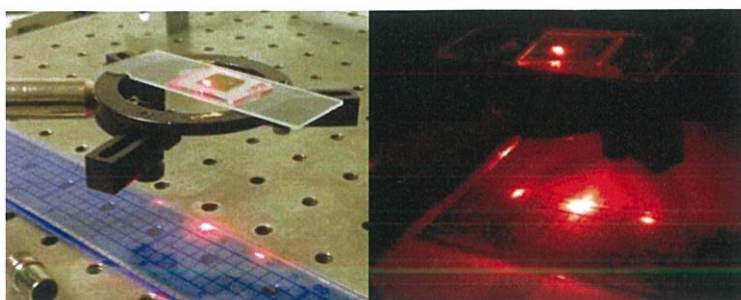
ภาพที่ 4.3 แสดงการเกิดสเปกตรัมสีรุ้งเมื่อแสงตกกระทบเกรตติง

4.2.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

4.2.2.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม P3HT และ PCDTBT ด้วยการเลี้ยวเบนของแสง (laser diffraction)

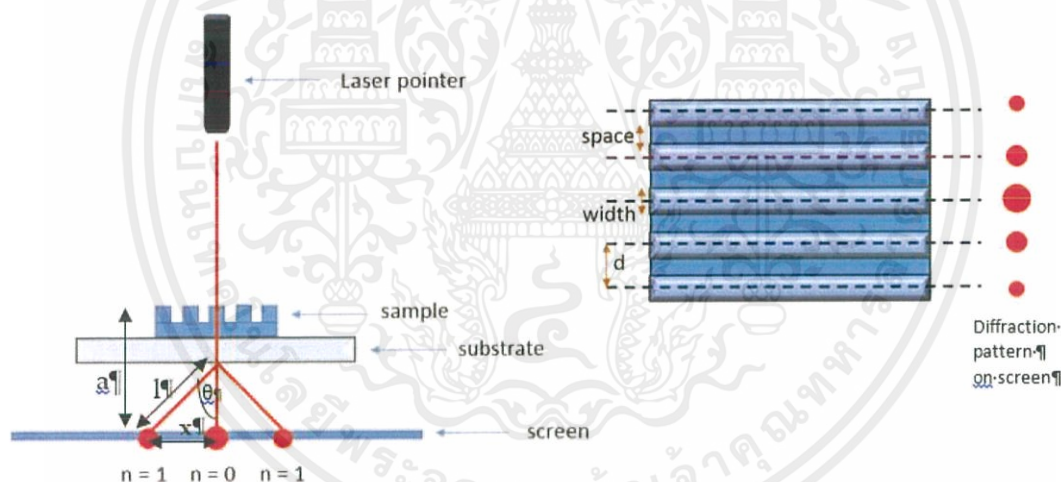
ในการทดลองได้นำแม่พิมพ์ PDMS ฟิล์ม P3HT และฟิล์ม PCDTBT ที่ทำการประทับโครงสร้างเกรตติงทั้งจากแผ่นซีดีและแผ่นดีวีดี มาฉายด้วยแสงเลเซอร์สีแดง ความยาวคลื่น 650 ± 10 nm และเลเซอร์สีเขียว ความยาวคลื่น 532 ± 10 nm ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์สีแดงเมื่อฉายผ่านฟิล์ม P3HT

จากภาพที่ 4.4 พบว่าแสงเลเซอร์ที่ฉายผ่านฟิล์ม P3HT และ PCDTBT เกิดเป็นแถบมืด แถบสว่างบนฉากรับแสง แสดงให้เห็นว่า บริเวณพื้นผิวของฟิล์ม P3HT และ PCDTBT มีลักษณะของเกรตติง หรือรูปแบบของความสูงต่ำที่ซ้ำๆ กัน เนื่องจากเมื่อแสงเลเซอร์หรือแสงความยาวคลื่นเดียว ตกกระทบเกรตติง แสงบางส่วนจะเลี้ยวเบนออกจากแนวกลาง เป็นแถบสว่างเล็กๆ แถบสว่างนั้นเกิดจากการแทรกสอดของแสงจากช่องอื่น ๆ ทุกช่อง ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แบบจำลองการทดลองการเลี้ยวเบนของแสงผ่านฟิล์มเกรตติง

จากผลการทดลองได้ทำการวัดระยะแถบสว่างที่เลี้ยวเบนจากแนวกลาง แล้วนำมาหารระยะคาบของเกรตติงที่ซ้ำๆ กัน บนฟิล์ม P3HT และ PCDTBT ได้ ดังสมการ 4.1

$$d \sin \theta = d \left(\frac{x}{L} \right) = n \lambda \quad (4.1)$$

เมื่อ d หมายถึง ระยะคาบของช่องเกรตติง (นาโนเมตร)

x หมายถึง ระยะแถบสว่างที่เลี้ยวเบนจากแนวกลาง (นาโนเมตร)

L หมายถึง ระยะทางเดินแสงที่เลี้ยวเบนจากแนวกลาง (นาโนเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานวิจัยของศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ซึ่งไม่อาจนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- n หมายถึง ลำดับการเลี้ยวเบน
 λ หมายถึง ความยาวคลื่นของแสง (นาโนเมตร)

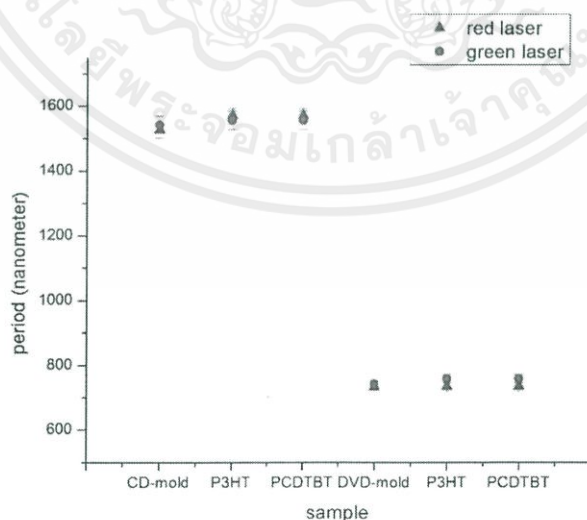
จากผลการทดลองดังกล่าวได้ทำการเก็บข้อมูลระยะแถบสว่างที่เลี้ยวเบนจากแนวกลางแล้วนำมาคำนวณหาระยะคาบของช่องเกรตติงบนพื้นผิวแม่พิมพ์ฟิล์ม P3HT และฟิล์ม PCDTBT แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองจากการคำนวณระยะคาบจากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง

ความยาวคลื่นแสง	คาบ (nm)			
	แสงสีแดง, $\lambda=650\pm 10$ nm		แสงสีเขียว, $\lambda=532\pm 10$ nm	
เกรตติง	CD	DVD	CD	DVD
PDMS-mold	1526.5 \pm 23.5	733.6 \pm 11.3	1541.7 \pm 28.3	741.7 \pm 13.4
P3HT	1570.8 \pm 23.5	735.0 \pm 11.3	1556.7 \pm 28.3	758.2 \pm 13.4
PCDTBT	1570.8 \pm 23.5	735.0 \pm 11.3	1556.7 \pm 28.3	758.2 \pm 13.4

จากผลการทดลองการประทับโครงสร้างทั้งสองพบว่า ระยะคาบของฟิล์ม P3HT และฟิล์ม PCDTBT น้อยกว่าของแม่พิมพ์ PDMS แต่เมื่อเทียบระยะที่แตกต่างกันกับค่าคลาดเคลื่อนจากแหล่งกำเนิดแสง จึงพิจารณาว่าคาบที่ได้จากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนแสงมีค่าใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 4.3 นำมาเขียนกราฟแสดงให้เห็นถึงค่าการกระจายของข้อมูลการวัดระยะคาบของทั้งแม่พิมพ์และฟิล์ม ด้วยแสงสีแดงและสีเขียวดังภาพที่ 4.6

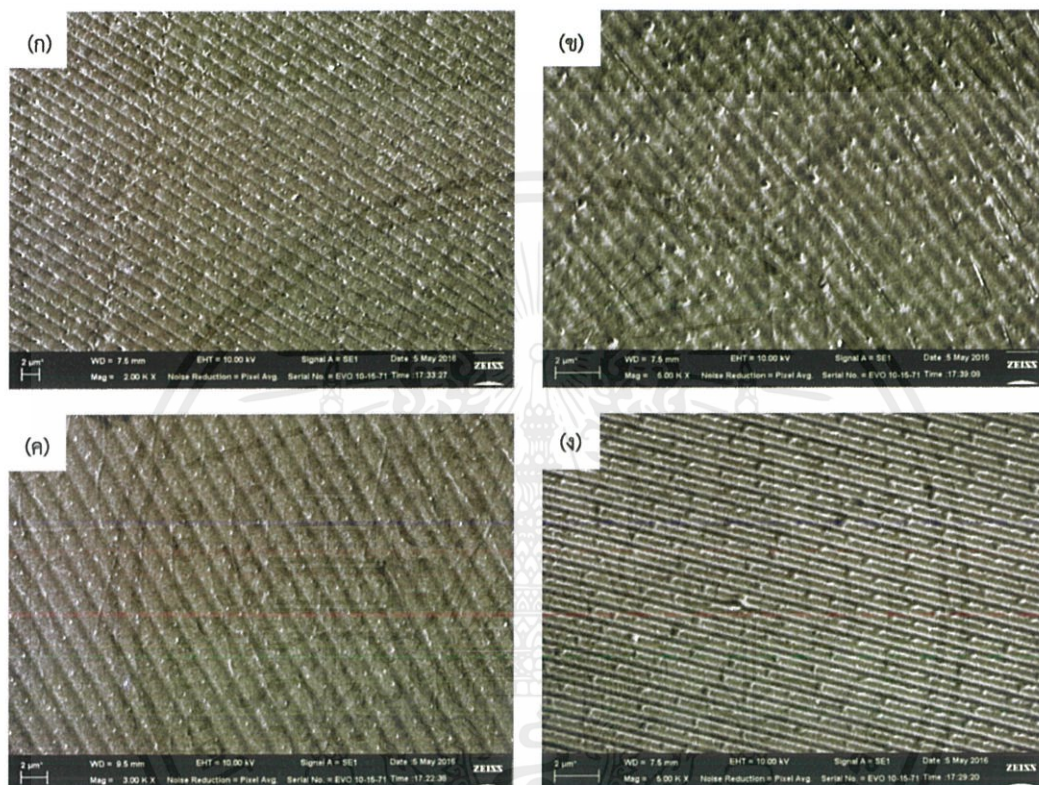


ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลระยะคาบจากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม P3HT และ PCDTBT ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ในการทดลองได้นำแม่พิมพ์ PDMS ฟิล์ม P3HT และฟิล์ม PCDTBT ที่ทำการประทับโครงสร้างเกรตติงทั้งจากแผ่นซีดีและแผ่นดีวีดี นำไปตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ หลังประทับโครงสร้างเกรตติง
(ก) ซีดีเกรตติงบนฟิล์ม P3HT (ข) ดีวีดีเกรตติงบนฟิล์ม P3HT
(ค) ซีดีเกรตติงบนฟิล์ม PCDTBT (ง) ดีวีดีเกรตติงบนฟิล์ม PCDTBT

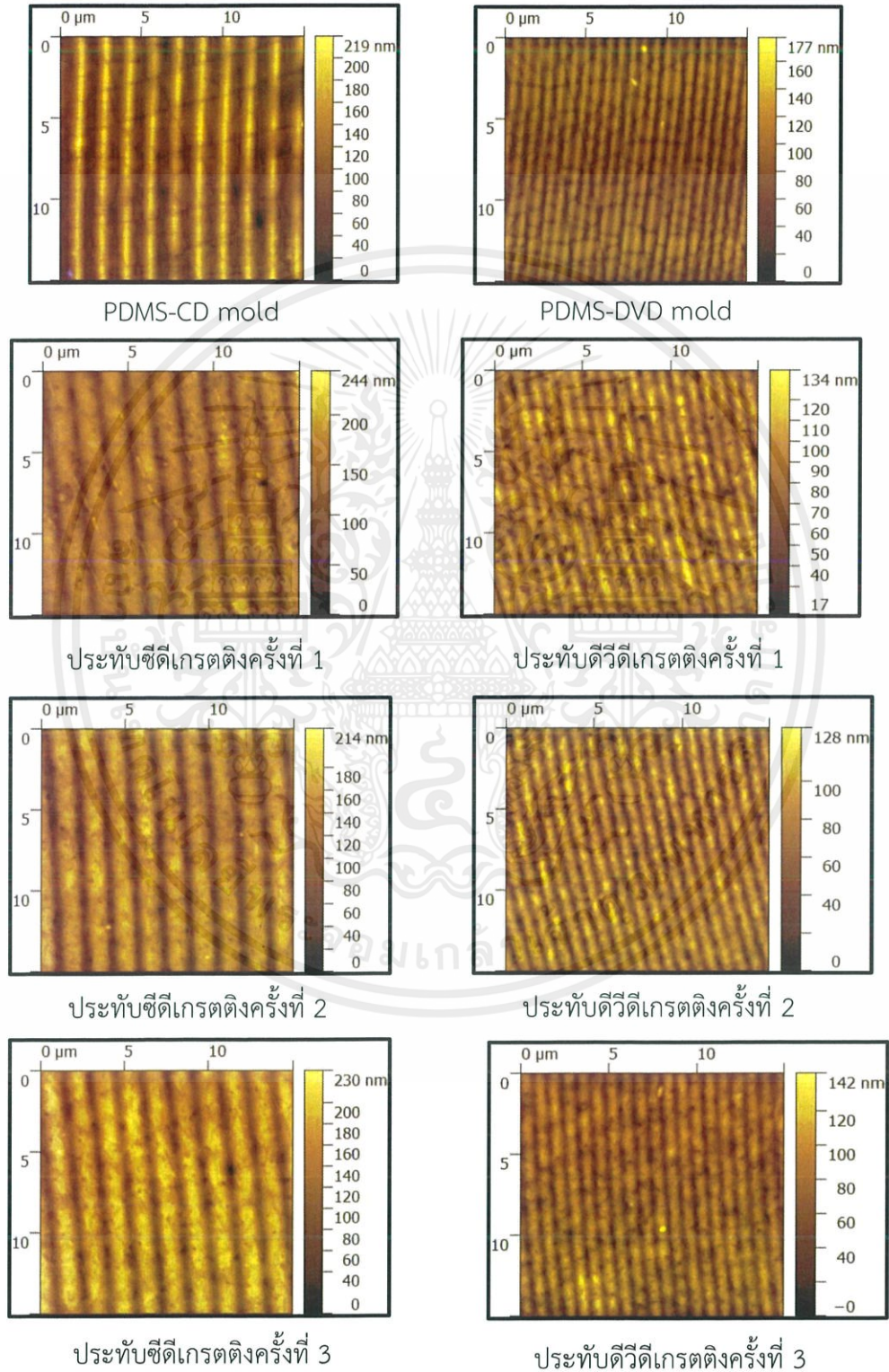
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดระยะคาบจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เกรตติง	คาบ (nm)	
	CD	DVD
P3HT	1510±5	752.9±1.9
PCDTBT	1511±3	740.7±1

จากภาพที่ 4.7 ได้ทำการวัดและเก็บข้อมูลระยะของคาบ แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าทั้ง P3HT และ PCDTBT มีระยะคาบของซีดี และ ดีวีดี มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อสังเกตภาพที่ 4.7 (ง) จะพบว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

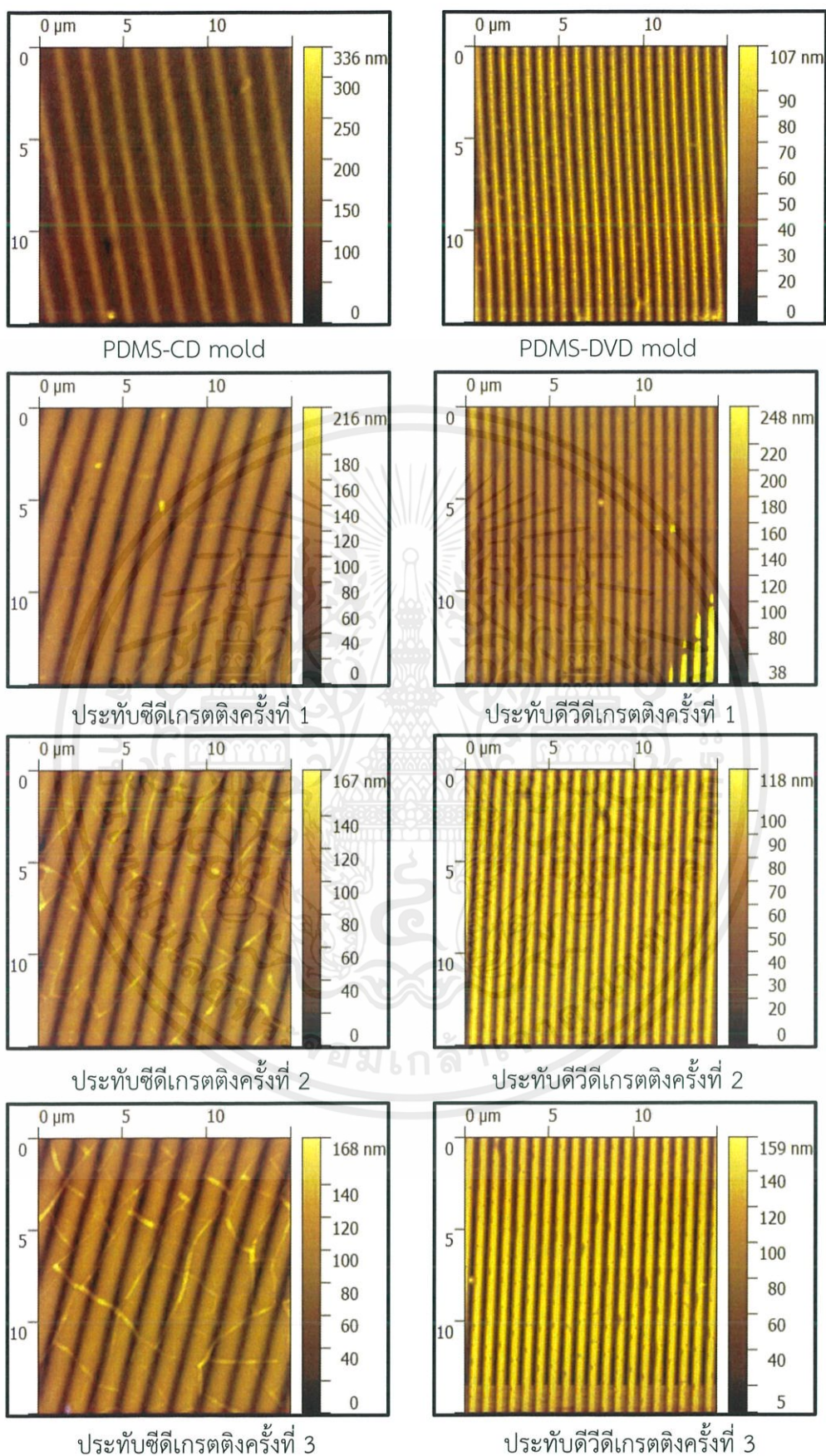
โครงสร้างของเกรตติงที่นูนขึ้นมาจะเกิดร่องเล็กๆ ระหว่างกลางนั้น เกิดจากการบวมของ PDMS เมื่อดูตัวทำลายไดคัลโรวินซินเข้าไป ขณะทำการประทับ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

4.2.2.3 ผลการวัดและวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์วัดแรงอะตอม



ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของแม่พิมพ์ PDMS และฟิล์ม P3HT หลังประทับโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสภาพที่ 4.9 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวของแม่พิมพ์ PDMS และฟิล์ม PCDTBT หลังประทับโครงสร้างการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมของฟิล์มดังกล่าว ภาพที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า สาร PCDTBT สามารถที่จะขึ้นรูปได้ลักษณะพื้นผิวที่เรียกว่าสาร P3HT เนื่องจากสาร P3HT มีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความเป็นผลึกมากกว่าสาร PCDTBT สายโซ่พอลิเมอร์ของ PCDTBT จึงสามารถเคลื่อนที่เข้าไปตามโครงสร้างของแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่า P3HT ในขั้นตอนการประทับ จากนั้นได้ทำการวัดและเก็บข้อมูลระยะความสูง (height), ความกว้าง (width), ระยะห่าง (space) และคาบ (period) ของโครงสร้างเกรตติง เทียบกับโครงสร้างเกรตติงของแม่พิมพ์ PDMS โดยจะเก็บข้อมูลจากการทดลองลอกแบบซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้อามาเฉลี่ย ข้อมูลดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่างและคาบของแม่พิมพ์ PDMS และผลของการลอกแบบโครงสร้างเกรตติงลงบน P3HT ด้วยเทคนิค SASSNIL

เกรตติง	แม่พิมพ์ PDMS				P3HT ใน Chlorobenzene			
	ความสูง (nm)	ความกว้าง (nm)	ระยะห่าง (nm)	คาบ (nm)	ความสูง (nm)	ความกว้าง (nm)	ระยะห่าง (nm)	คาบ (nm)
CD	122.4±12.9	554.2±56.2	944.6±61.1	1498.9±64.6	104.2±12.9	652.9±64.3	905.8±54.2	1560.9±87.8
DVD	66±5.8	312.3±34.5	406±43.9	712.3±46.3	49.3±9.4	410.8±28.8	397.7±29.1	777.9±40.7

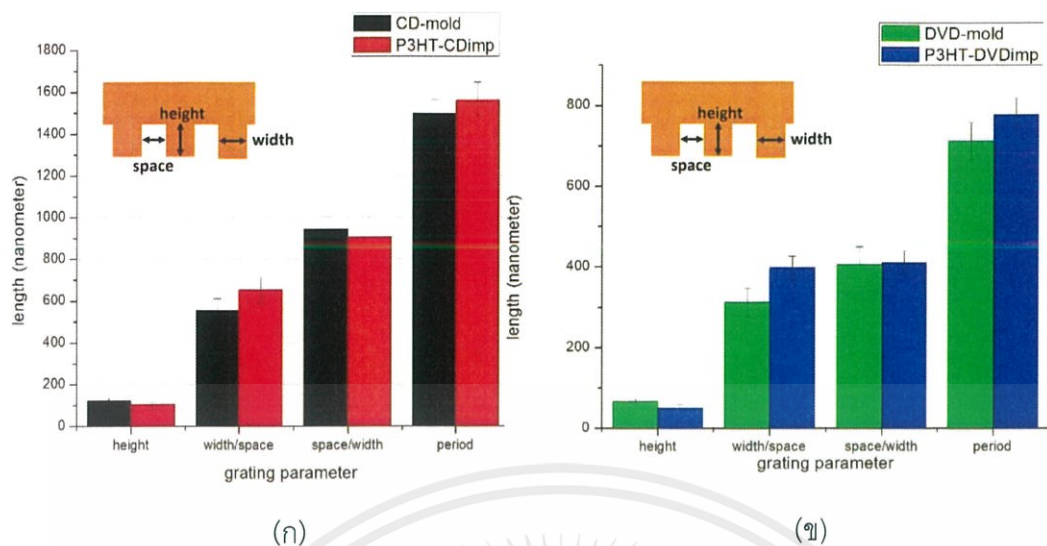
ตารางที่ 4.4 ระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่างและคาบของแม่พิมพ์ PDMS และผลของการลอกแบบโครงสร้างเกรตติงลงบน PCDTBT ด้วยเทคนิค SASSNIL

เกรตติง	แม่พิมพ์ PDMS				PCDTBT ใน Dichlorobenzene			
	ความสูง (nm)	ความกว้าง (nm)	ระยะห่าง (nm)	คาบ (nm)	ความสูง (nm)	ความกว้าง (nm)	ระยะห่าง (nm)	คาบ (nm)
CD	127.2±8.9	556.6±45.5	958.9±42.4	1520±32.9	104.6±12.3	909.8±51.8	656±61.4	1565±62.3
DVD	92.8±2.5	291.5±26.6	432.2±36.9	723.7±35.4	88.6±6.4	453.6±51.8	335.5±34.1	790±41

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟแท่งเปรียบเทียบระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่าง และคาบของเกรตติงจากการประทับ ดังภาพที่ 4.6

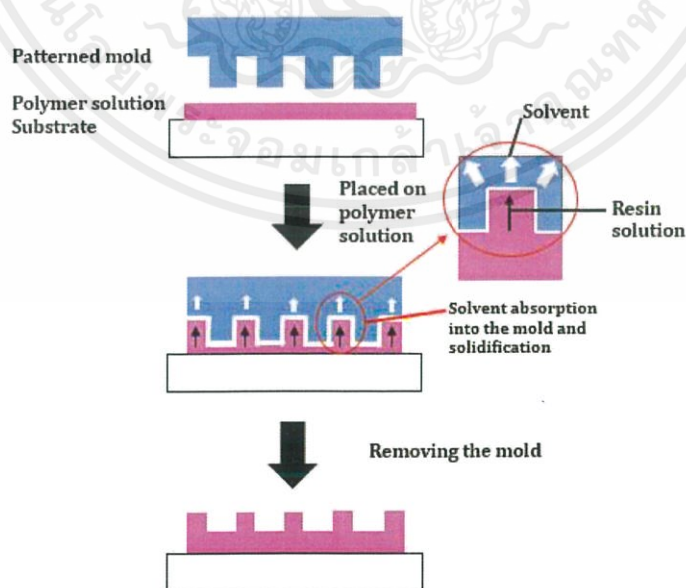
จากภาพที่ 4.10 (ก) จากผลการทดลองพบว่าระยะความสูงของเกรตติงฟิล์ม P3HT มีระย่น้อยกว่าความสูงของแม่พิมพ์ PDMS เมื่อพิจารณาผลของความกว้างกับระยะห่างของเกรตติง จะพบว่าความกว้างของแม่พิมพ์จะทำให้เกิดระยะห่างของฟิล์ม P3HT ส่วนระยะห่างของแม่พิมพ์จะทำให้เกิดความกว้างของฟิล์ม P3HT ซึ่งพบว่าความกว้างของฟิล์ม P3HT จะมีค่าน้อยกว่าระยะห่างของแม่พิมพ์ และระยะห่างของฟิล์ม P3HT จะมีค่ามากกว่าความกว้างของแม่พิมพ์ โดยความกว้างและระยะห่างของเกรตติงจะเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อรวมค่าความกว้างกับระยะห่าง จะได้ค่าที่มีความใกล้เคียงกันระหว่างแม่พิมพ์กับฟิล์ม P3HT นั่นคือ คาบของเกรตติงที่ซ้ำๆ กัน พบว่าคาบของฟิล์ม P3HT มีค่ากว้างกว่าคาบของ PDMS เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 กราฟแท่งแสดงระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่าง และคาบของเกรตติงจากการประทับของ P3HT (ก) ประทับด้วยแม่พิมพ์ซีดี (ข) ประทับด้วยแม่พิมพ์ดีวีดี

สาเหตุเกิดจากเหลือชั้นของตัวทำละลาย chlorobenzene ระหว่างรอยต่อของแม่พิมพ์ PDMS กับสาร P3HT จากขั้นตอนการประทับ ซึมผ่านแม่พิมพ์ PDMS แล้วสามารถระเหยออกไปได้ไม่หมด เนื่องจากมีปริมาณตัวทำละลายอยู่มาก และการบวมของแม่พิมพ์ PDMS หลังดูดซึมตัวทำละลายเข้าไป ส่งผลให้สาร P3HT ที่ลอกแบบออกมามีระยะต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในภาพที่ 4.11

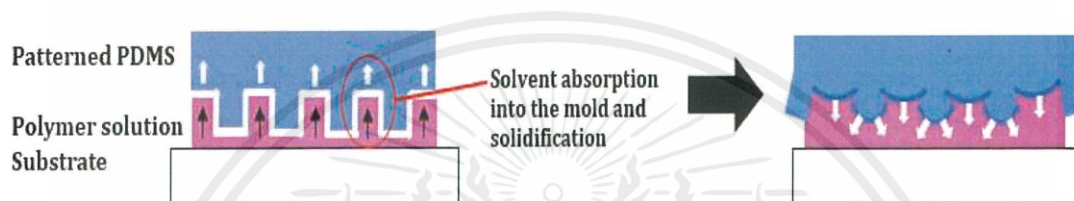


ภาพที่ 4.11 แสดงขั้นตอนการลอกแบบด้วยเทคนิค Solvent-Assisted Soft

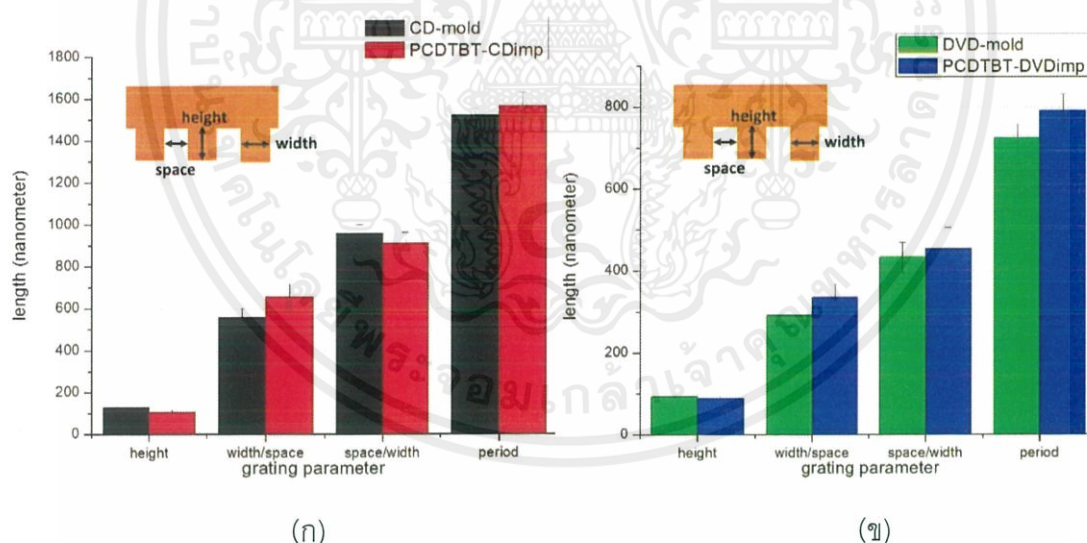
Nanoimprint-Lithography เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.10 (ข) พบว่า ระยะความสูงของสาร P3HT มีระยะน้อยกว่าแม่พิมพ์ ส่วนความกว้าง ระยะห่าง และคาบของสาร P3HT มีระยะมากกว่าแม่พิมพ์ ซึ่งแตกต่างจากแม่พิมพ์ซีดีที่ระยะความกว้างของสาร P3HT มีระยะเกินระยะห่างของแม่พิมพ์

สาเหตุอาจเกิดจากการบวมของแม่พิมพ์ PDMS หลังดูดซึมตัวทำละลายเข้าไป ทำให้แม่พิมพ์มีการโก่งตัวมากขึ้น ส่งผลให้ระยะห่างและความกว้างแม่พิมพ์ขยายขึ้นในกระบวนการประทับ ดังภาพที่ 4.12 ซึ่งการบวมนี้จะเห็นได้ชัดในโครงสร้างเกรตติงที่มีระยะห่างและความกว้างที่มีช่วงสั้นๆ มากกว่าช่วงที่ยาว จึงไม่เห็นผลกระทบนี้ในแม่พิมพ์ซีดี ซึ่งจะเห็นผลแบบเดียวกันในการทดลองของสาร PCDTBT ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.12 แสดงการดูดซึมตัวทำละลายของ PDMS



ภาพที่ 4.13 กราฟแท่งแสดงระยะความสูง ความกว้าง ระยะห่าง และคาบของเกรตติงจากการประทับของ PCDTBT (ก) ประทับด้วยแม่พิมพ์ซีดี (ข) ประทับด้วยแม่พิมพ์ดีวีดี

จากผลการทดลองการประทับโครงสร้างของสาร P3HT ในตัวทำละลาย คลอโรเบนซีน และ PCDTBT ในตัวทำละลายไตรคลอโรเบนซีน พบว่า PCDTBT สามารถขึ้นรูปเกรตติงได้ระยะความสูงที่มีความใกล้เคียงกับแม่พิมพ์ได้มากกว่า P3HT และในส่วนของความกว้าง ระยะห่าง และคาบ พบว่า PCDTBT ได้รับผลกระทบจากการบวมของแม่พิมพ์ PDMS มากกว่า P3HT เนื่องจากตัวทำละลายเอกซอร์นี้เป็นเอกซอร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอโรเบนซีนมีอัตราส่วนการบวมเข้าไปใน PDMS เท่ากับ 1.22 [14] ส่วนไดคลอโรเบนซีน เท่ากับ 1.27 [15] และยังมีอัตราการระเหยมากกว่า [16] ทำให้ในกระบวนการประทับแม่พิมพ์ PDMS ดูดตัวทำละลายไดคลอโรเบนซีนได้เร็วและระเหยออกช้า ส่งผลให้แม่พิมพ์เกิดการบวมมากกว่าและยาวนานกว่าการใช้ตัวทำละลายคลอโรเบนซีน

จากข้อมูลการวัดระยะคาบในแต่ละวิธีสามารถนำมาแสดงเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลระยะคาบของ P3HT จากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

คาบ (nm)				
measurement	laser diffraction		SEM	AFM
	แสงสีแดง	แสงสีเขียว		
CD-mold	1526.5±23.5	1541.7±28.3		1498.9±64.6
P3HT-Cdimp	1570.8±23.5	1556.7±28.3	1510±5	1560.9±87.8
DVD-mold	733.6±11.3	741.7±13.4		712.3±46.3
P3HT-Dvdimp	735.0±11.3	758.2±13.4	752.9±1.9	777.9±40.7

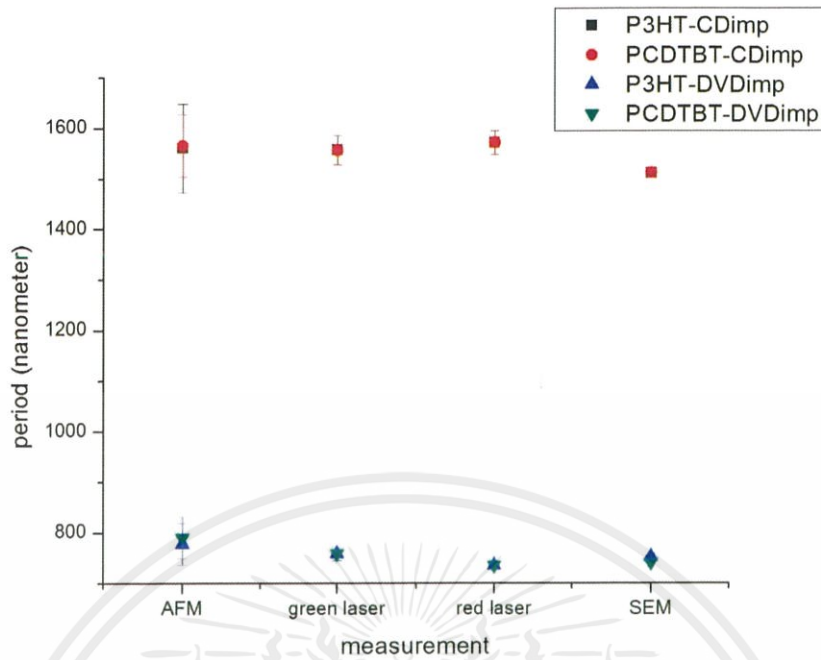
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลระยะคาบของ PCDTBT จากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

คาบ (nm)				
measurement	laser diffraction		SEM	AFM
	แสงสีแดง	แสงสีเขียว		
CD-mold	1526.5±23.5	1541.7±28.3		1520±32.9
PCDTBT-Cdimp	1570.8±23.5	1556.7±28.3	1511±3	1565±62.3
DVD-mold	733.6±11.3	741.7±13.4		723.7±35.4
PCDTBT-Dvdimp	735.0±11.3	758.2±13.4	740.7±1	790±41

จากผลการทดลองวัดระยะคาบจากการประทับโครงสร้างซีดีเกรตติงและดีวีดีเกรตติง จากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนของแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมพบว่า ระยะคาบของฟิล์ม P3HT และฟิล์ม PCDTBT มีค่าใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 4.3 นำมาเขียนกราฟแสดงให้เห็นถึงการกระจายของข้อมูลการวัดระยะคาบของ P3HT และ PCDTBT ด้วยการวัดแบบต่างๆ ดังภาพที่ 4.14

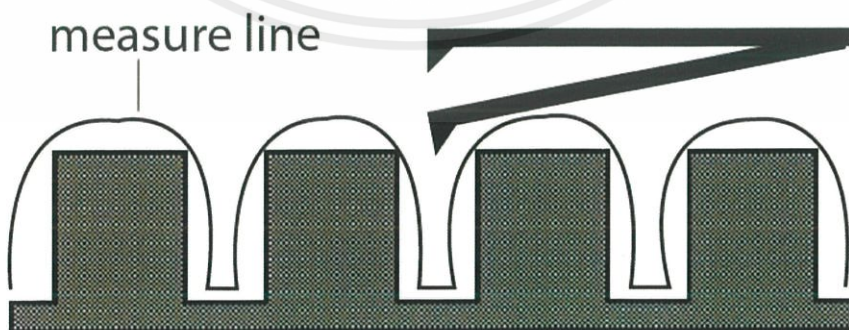
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 แสดงการกระจายข้อมูลการวัดระยะคาบด้วยการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ (laser diffraction) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM)

แต่เมื่อทำการพิจารณาระยะคาบจากการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม พบว่าที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมมีค่ามากกว่า

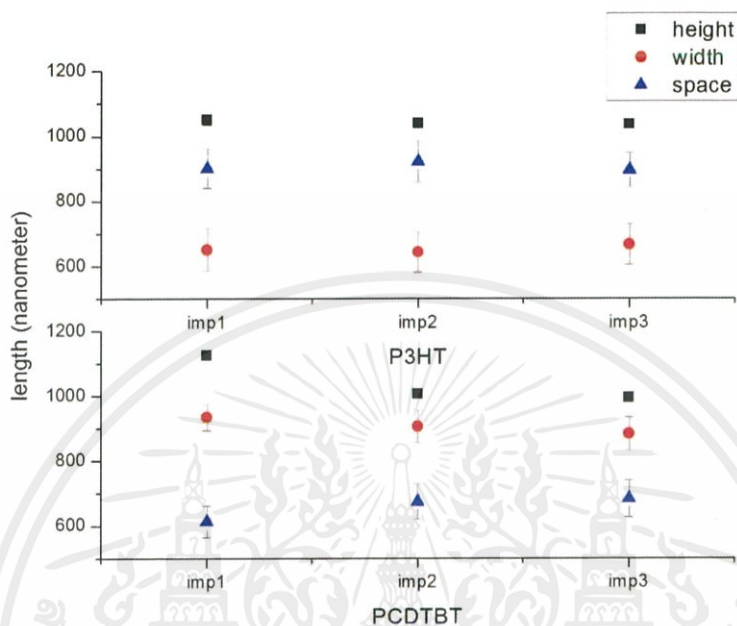
อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมในโหมดไม่สัมผัสกับพื้นผิว (non-contact) ที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงต่ำของพื้นผิวอย่างรวดเร็วในโครงสร้างของเกรตติง ส่งผลให้ระยะคาบเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.15



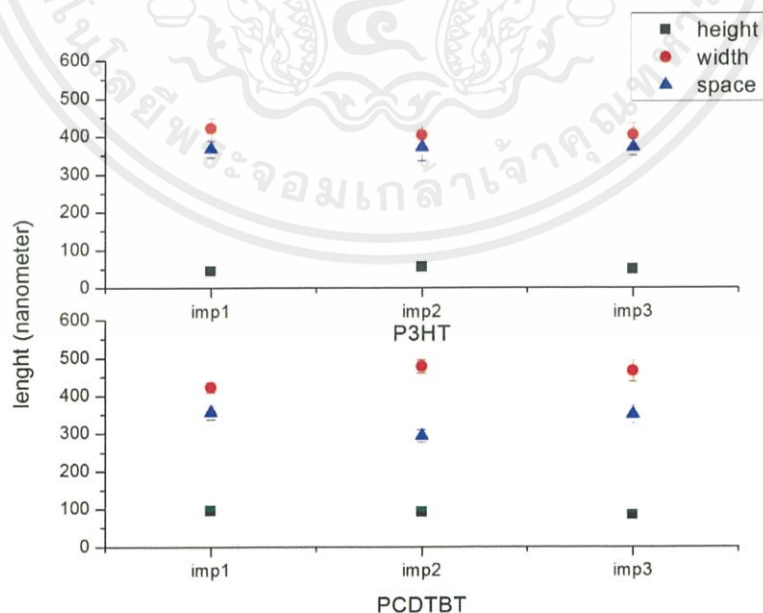
ภาพที่ 4.15 แสดงภาพการเคลื่อนที่ของเข็มปลายแหลมไปบนผิวงานในเทคนิคแบบไม่สัมผัสพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำระยะความสูง ความกว้าง และระยะห่าง ในแต่ละครั้งของการประทับมาพิจารณาจะพบว่า ขนาดของโครงสร้างเกรตติงที่วัดได้ในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกันจากภาพที่ 4.16 และ 4.17 แสดงให้เห็นว่าแม่พิมพ์ PDMS สามารถนำกลับมาใช้ประทับโครงสร้างเกรตติงซ้ำได้อย่างน้อย 3 ครั้ง



ภาพที่ 4.16 แสดงระยะความสูง ความกว้าง และระยะห่างของโครงสร้างซีทีเกรตติงในแต่ละครั้ง การทดลอง



ภาพที่ 4.17 แสดงระยะความสูง ความกว้าง และระยะห่างของโครงสร้างดีวีทีเกรตติงในแต่ละครั้ง

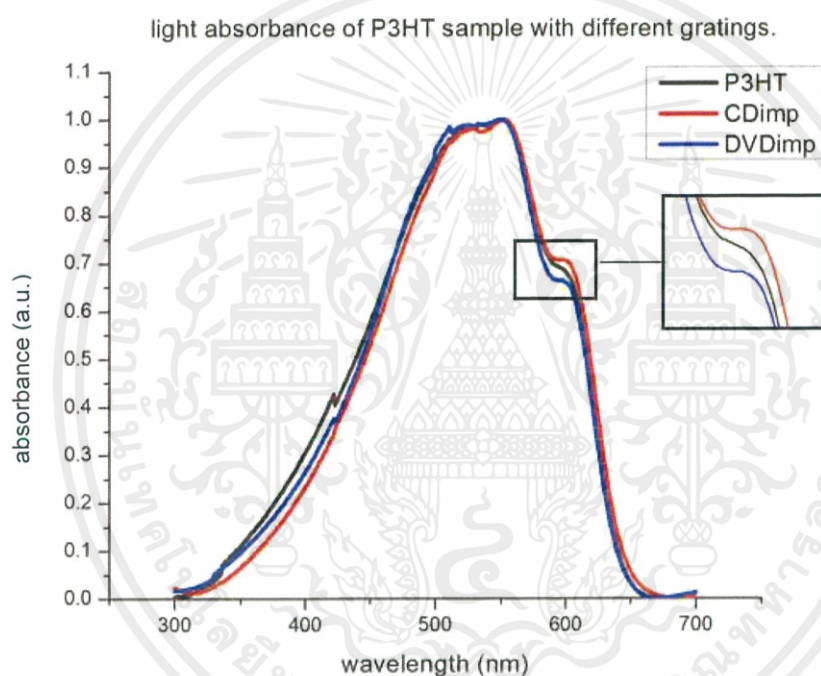
เอกสารนี้เป็นเอกสารการทดลองสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์ม P3HT ที่มีลักษณะและขนาดโครงสร้างเกรตติงบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน

ในส่วนนี้จะได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสมบัติทางแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม P3HT ด้วยเทคนิค Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography ที่มีขนาดโครงสร้างเกรตติงไม่เท่ากัน

4.2.3.1 ผลการวัดสมบัติทางแสงของฟิล์ม P3HT ที่ทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography

ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นแสงในช่วง 300 – 800 nm ของฟิล์ม P3HT ที่ทำการลอกแบบโครงสร้างเกรตติงจากซีดีและดีวีดี แสดงในภาพที่ 4.16

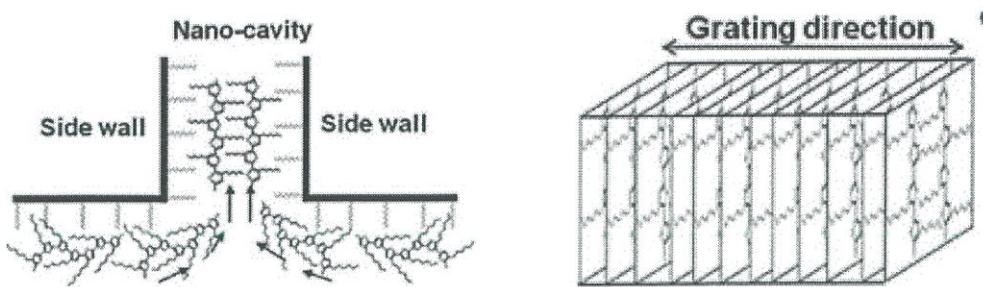


ภาพที่ 4.18 กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม P3HT ที่เปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวด้วยการประทับโครงสร้างซีดีเกรตติง ดีวีดีเกรตติงและไม่มีเกรตติง โดยปริมาตรและพื้นที่ของฟิล์ม P3HT คงที่

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการประทับโครงสร้างเกรตติงให้แก่พื้นผิวฟิล์ม P3HT ที่พิกัดตำแหน่งความยาวคลื่น 620 นาโนจะเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงการจัดเรียงกันของพันธะคอนจูเกตที่เป็นระเบียบในแนวเดียวกันมากขึ้น (π -stacked aggregates) ดังแสดงในภาพที่ 4.14

สาเหตุที่ทำให้พันธะคอนจูเกตมีการจัดเรียงตัวมากขึ้น เกิดจากกระบวนการประทับขณะที่วางแผ่นพิมพ์ลงบนสารละลาย สายละลายจะถูกดูดและเคลื่อนที่ไปตามช่องของเกรตติง เป็นการเหนี่ยวนำให้สายพอลิเมอร์มีการจัดเรียงทิศทางไปตามทิศทางการไหลของสารละลาย [17] ดังภาพที่ 4.15 ทำให้ฟิล์ม P3HT ที่มีโครงสร้างเกรตติง เห็นพิกัดความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.19 แสดงการจัดเรียงตัวของสายพอลิเมอร์ขณะทำการประทับโครงสร้างเกรตติง⁴



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสร้างลวดลายที่มีโครงสร้างเกรตติงในระดับนาโนเมตร ลงบนฟิล์มพอลิเมอร์ poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) และ Poly[N-9'-heptadecanyl-2,7-carbazole-alt-5,5-(4',7'-di-2-thienyl-2',1',3'-benzothiadiazole)], (PCDTBT) ด้วยกระบวนการถ่ายทอดลวดลายแบบน็ิม 2 เทคนิค โดยเทคนิคแรกที่น่าเสนอคือ การประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตร (Nanoimprint Lithography, NIL) จากการศึกษาพบว่า การสร้างลวดลายด้วยเทคนิคนี้ต้องใช้แรงดันที่สูง เนื่องจากสาร P3HT เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกค่อนข้างสูง อีกทั้งการใช้แรงดันสูงยังเป็นการทำให้ลวดลายบนแม่พิมพ์เกิดความเสียหายได้ ด้วยเหตุนี้การประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ทำละลายช่วย (Solvent-Assisted Soft Nanoimprint Lithography; SASSNIL) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งการสร้างลวดลายด้วยเทคนิคนี้เป็นการสร้างให้เกิดรูปร่างฟิล์มในสถานะของสารละลาย จึงไม่มีผลของความเป็นผลึกของสาร หลักสำคัญของเทคนิคนี้คือ ตัวทำละลายพอลิเมอร์สามารถถูกดูดซับเข้าไปในแม่พิมพ์ PDMS จากนั้นตัวทำละลายจะแพร่ผ่านแม่พิมพ์ PDMS เหลือเป็นชั้นของพอลิเมอร์ที่แข็งตัว โดยจะทำการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของการถ่ายทอดโครงสร้างซีดีเกรตติงและดีวีดีเกรตติง จากการตรวจวัดความสูง ความกว้าง ระยะห่างและคาบของโครงสร้างเกรตติงด้วยการเลี้ยวเบนของแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม และฟิล์มพอลิเมอร์ที่สร้างโครงสร้างเกรตติงลงบนพื้นผิวโดยใช้การประทับโครงสร้างระดับนาโนเมตรโดยใช้ทำละลายช่วย มีผลอย่างไรต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มพอลิเมอร์

จากการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของการถ่ายทอดโครงสร้างเกรตติงด้วยเทคนิค SASSNIL พบว่าความสูงของโครงสร้างที่ได้มีความสูงมากกว่าร้อยละ 80 ของความสูงจากแม่พิมพ์จากการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ซึ่งสามารถอธิบายสาเหตุได้จากการเหลือชั้นของตัวทำละลายขณะนำแม่พิมพ์ออก ทำให้ไม่สามารถลอกความสูงจากแม่พิมพ์ได้ทั้งหมดดังได้ ส่วนระยะคาบ ความกว้าง และระยะห่างของโครงสร้างเกรตติงที่ตรวจวัดในแต่ละเคสเมื่อมีค่าต่างกัน อาจเกิดจากหลายสาเหตุ สาเหตุแรกเกิดจากการเหลือชั้นของตัวทำละลายที่ได้กล่าวไปแล้ว สาเหตุที่สองเกิดจากการบวมของแม่พิมพ์ PDMS ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการบวมตัวทำละลายของ PDMS และอัตราการระเหยของตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ดีต้องมีอัตราการบวมตัวทำละลายของ PDMS และอัตราการระเหยที่สูง จะทำให้ได้ลวดลายที่มีความละเอียดและลดการบวมของ PDMS ขณะทำการประทับได้ และสาเหตุที่สามอาจเกิดจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมในโหมดการทำงานแบบไม่สัมผัสพื้นผิวโดยตรง ส่งผลให้มีระยะความกว้างมากกว่าความเป็นจริง และระยะห่างหรือความแคบที่น้อยกว่าความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการประทับโครงสร้างซีดีเกรตติงและดีวีดีเกรตติงให้แก่ฟิล์ม P3HT แล้วนำไปวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง พบว่าฟิล์ม P3HT ที่ประทับโครงสร้างเกรตติงทั้งซีดีและดีวีดี จะพบพีคตำแหน่งความยาวคลื่น 620 นาโนเมตรเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการประทับโครงสร้างเกรตติงด้วยเทคนิคนี้สามารถเพิ่มความเป็นผลึกให้ฟิล์ม P3HT ได้ จากการเหนี่ยวนำให้สายพอลิเมอร์มีการจัดเรียงทิศทางไปตามทิศทางกริดของสารละลาย 4 เข้าไปตามช่องเกรตติงของแม่พิมพ์ ซึ่งส่งผลให้มีการจัดเรียงกันของพันธะคอนจูเกตที่เป็นระเบียบในแนวเดียวกันมากขึ้น (π -stacked aggregates)

อย่างไรก็ตามการสร้างโครงสร้างเกรตติงลงบนฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค SASSNIL เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สร้างอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกโครงสร้างแบบผสมที่มีความเป็นระเบียบ (ordered bulk heterojunction) ยังเป็นเทคนิคที่สามารถพัฒนาต่อไปเพื่อทดแทนการใช้แม่พิมพ์แบบแข็งซึ่งมีราคาสูง สามารถสร้างความเสียหายต่อผิวฟิล์มได้ในกรณีที่ใช้แรงดันสูง เช่นเดียวกับการใช้เทคนิค NIL ที่ทำให้ลวดลายบนแม่พิมพ์ PDMS เกิดการบิดเบือนไปจากการใช้แรงดันสูง โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างโครงสร้างบนฟิล์มพอลิเมอร์ในอุปกรณ์โฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าฟิล์มพอลิเมอร์ที่เตรียมจากเทคนิค SASSNIL มีความไม่ต่อเนื่องและมีความหนาไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าสามารถทำการเพิ่มแรงดัน หรือให้อุณหภูมิขณะประทับโครงสร้างเพื่อให้สารละลายสามารถเคลื่อนที่ไปตามแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้นจะส่งผลให้ฟิล์มพอลิเมอร์มีความต่อเนื่องมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ระยะต่างๆ ของโครงสร้างเกรตติงด้วยเครื่องมือต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปพบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่พอสมควร ดังนั้นถ้าสามารถตรวจวัดโครงสร้างในแนวภาพตัดขวาง ก็สามารถที่จะลดความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะต่างๆ ได้

จากการศึกษาพบว่า ตัวทำละลายพอลิเมอร์มีผลต่อการถ่ายทอดลวดลายจากแม่พิมพ์ PDMS ลงบนฟิล์มพอลิเมอร์ เนื่องจากแม่พิมพ์ PDMS จะดูดซึมตัวทำละลายเข้าไปทำให้เกิดการบวม ดังนั้นถ้าสามารถหาตัวทำละลายที่มีอัตราส่วนการถูกดูดซึมเข้าไปใน PDMS ได้ดีแล้วมีอัตราการระเหยออกจาก PDMS ได้รวดเร็ว จะส่งผลให้การถ่ายทอดลวดลายมีความสมบูรณ์มากขึ้นและลดการบวมของ PDMS

บรรณานุกรม

- [1] C. W. Tang, "Two layer organic photovoltaic cell," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 48, no. 2, p. 183, 1986.
- [2] M. Hiramoto, H. Fujiwara, and M. Yokoyama, "P-I-N Like Behavior in Three-Layered Organic Solar Cells Having a Co-Deposited Interlayer of Pigments," *J. Appl. Phys.*, vol. 72, no. 8, pp. 3781–3787, 1992.
- [3] 1998). H. Haken and H. C. Wolf, *Molekülphysik und Quantenchemie* (Springer, Berlin,
- [4] S. (2001). *O. chemistry* (2nd ed. . Clayden, J., Greeves, N., Warren,
- [5] W. Brütting, "Organic Semiconductors," *Semiconductors*, vol. 6, no. 8, pp. 1–11, 2005.
- [6] D. Askeland and P. Phulé, "The science and engineering of materials." p. 863, 2006.
- [7] J. W. & S. William D. Callister, 5th Edition,
- [8] Y. Xia and G. M. Whitesides, "Soft Lithography."
- [9] C. Ting, M. Huang, and H. Tsai, "Low cost fabrication of the large-area anti-reflection films from polymer by nanoimprint / hot-embossing technology," vol. 205301.
- [10] P. G. N. S. enhanced resist flow for room temperature imprint lithography. *J Vac Sci Technol B*, 2006, and 818 822, "Chu C, Parsons G N." .
- [11] H. A. N. Lulu, Z. Jing, G. Xiao, and G. A. O. Changyou, "Solvent-assisted polymer micro-molding," no. 20774084, pp. 2193–2204, 2009.
- [12] Y. Xia, N. Venkateswaran, D. Qin, J. Tien, and G. M. Whitesides, "Use of Electroless Silver as the Substrate in Microcontact Printing of Alkanethiols and Its Application in Microfabrication," vol. 6, no. 5, pp. 363–371, 1998.
- [13] Delamarche E, Schmid H, Michel B, et al. Stability of molded polydimethylsiloxane microstructures. *Adv. Mater*, 1997, 9: 741 — 746
- [14] J. N. Lee, C. Park, and G. M. Whitesides, "Solvent Compatibility of Poly (dimethylsiloxane) -Based Microfluidic Devices," vol. 75, no. 23, pp. 6544–6554, 2003.
- [15] B. P. Kim, R. Kwak, S. H. Lee, and K. Y. Suh, "Solvent-Assisted Decal Transfer Lithography by Oxygen-Plasma Bonding and Anisotropic Swelling," vol. 08544, pp. 2426–2429, 2010.
- [16] W. W. Ho, A. L. R. Vellaisamy, and K. C. Lau, "Solvent Effect on Bulk Heterojunction Solar Cell Dipole Moment System," pp. 8–10, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] K. Tremel and S. Ludwigs, "Morphology of P3HT in Thin Films in Relation to Optical and Electrical Properties," no. September, pp. 39–82, 2014.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เบญจพร แซ่ตั้ง
วัน-เดือน-ปีเกิด	21 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 188 หมู่.6 ตำบลศรีสุทโธ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 41190
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุภาวโน วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้