

การเตรียมและสังเคราะห์โฟโตเรฟรrakative โพลีเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรป
เป็นโฟโตเซนซิไทเซอร์

PREPARATION AND SYNTHESIS OF PHOTOREFRACTIVE
POLYMER OF CARBON ALLOTROPES AS PHOTOCATALYSTS



โครงการพิเศษในปีงบประมาณหนึ่งของการที่กษัตริย์มหาดไทย
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การเตรียมและสังเคราะห์โฟโตรีแฟรกทีฟพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรป
เป็นโฟโตเซนซิไทเซอร์

PREPARATION AND SYNTHESIS OF PHOTOREFRACTIVE
POLYMER OF CARBON ALLOTROPES AS PHOTSENSITIZERS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PREPARATION AND SYNTHESIS OF PHOTOREFRACTIVE
POLYMER OF CARBON ALLOTROPES AS PHOTSENSITIZERS**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและสังเคราะห์โฟโตรีแฟรกทีฟพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปเป็นโฟโตเซ็นซิไทเซอร์
 PREPRATION AND SYNTHESIS OF PHOTOREFRACTIVE
 POLYMER OF CARBON ALLOTROPES AS
 PHOTOSENSITIZERS

ชื่อนักศึกษา นายธนวัฒน์ บำรุงไทย
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
 สาขาวิชา ฟิสิกส์
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
 ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.สุรชาติ กมลฉัตร	
ดร.กীরุทธิ์ ศรีนวลจันทร์	
ดร.เชษฐา รัตนพันธ์	
ดร.ประธาน บุรณศิริ	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและสังเคราะห์โฟโตรีแฟรกทีฟพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปเป็นโฟโตเซนสิไทเซอร์
ชื่อนักศึกษา	นายธนวัฒน์ บำรุงไทย
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประธาน บุรณศิริ

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ให้ความสนใจในการศึกษาการเตรียมและการสังเคราะห์สารโฟโตรีแฟรกทีฟพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปเป็นโฟโตเซนสิไทเซอร์ โดยใช้ตัวนำเชิงแสงเป็น พอลิไวนิลคาร์บาโซล(PVK) และโฟโตเซนสิไทเซอร์เป็นฟูลเลอร์ริน(C_{60}) ในอัตราส่วน PVK: C_{60} เท่ากับ 99.85:0.15 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ซึ่งจะนำมาเตรียมเป็นฟิล์มบาง PVK- C_{60} บนแผ่นกระจกนำไฟฟ้า ฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ ซึ่งใช้วิธีการเตรียมฟิล์มบาง 2 วิธี คือ หมุนเคลือบ ประมาณ 5000 รอบ/นาที และ ออบอ่อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปตรวจค่าความสามารถดูดกลืนของแสง ผลปรากฏว่ามีค่าความสามารถดูดกลืนอยู่ที่ประมาณ 1.0 ตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จนถึงย่านอินฟราเรด และมีค่าแถบพลังงานอยู่ที่ 3.31 eV ส่วนของการตรวจเชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม(AFM) ทำให้รู้ว่าฟิล์มบางที่เตรียมด้วยวิธีหมุนเคลือบมีความเรียบกว่าแบบอบอ่อน จากนั้นนำไปตรวจหาโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ผลที่ได้คือพีคที่ได้มีสารประกอบที่เรานำมาเตรียมฟิล์มบางอยู่ โดยมีพีคระนาบ PVK เริ่มต้นคือ 020 ซึ่งเป็นแบบ เตตระฮีดรอล และ C_{60} คือ 111 ซึ่งเป็นแบบระบบคิวบิกชนิด สดทำยได้ นำไปตรวจดูโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลปรากฏว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนเนื่องจากสารประกอบเป็นพอลิเมอร์

คำสำคัญ : โฟโตรีแฟรกทีฟ,คาร์บอนอัลโลโทรป,ตัวนำเชิงแสง,โฟโตเซนสิไทเซอร์,หมุนเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 I
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Preparation and synthesis of photorefractive polymer of carbon allotropes as photosensitizers

Students Mr.Thanawat Bamrunghai

Degree Bachelor of Science

Major Program Physics

Academic Year 2013

Advisor Dr.Prathan Buranasiri

ABSTRACT

This research have interest in study preparation and synthesis of photorefractive polymer of carbon allotropes as photosensitizers. By used photoconductor was Poly(N-vinylcarbazole) (PVK) and photosensitizer was fullerene (C_{60}) in fraction PVK: C_{60} equal 99.85:0.15 at intensity 10-3 molar. Which will be prepared was thin film PVK- C_{60} on Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) conductive glass. That used preparation thin film two method were spin coating estimate 5000 rpm and anneal at temperature 60 . Then check the result absorptance of light, the result show that have absorptance at estimate 1.0 from the wavelength 300 nanometer to infared region and energy gap equal 3.31 eV. Part of the sensing surface with Atomic Force Microscope (AFM) known that thin film was prepared with spin coating method have flatness less than anneal. Then check structure with X-ray Diffractometer (XRD), the result is peak have composite we bring prepared thin film, by have peak plane PVK and C_{60} began was 020 and 111 which is tetrahedral and cubic type successive. Finally, check structure surface of thin film with Scanning Electron Microscope (SEM), the result have characteristics of a poroüs as composite was polymer.

Keywords : Photorefractive, Carbon allotropes, Photoconductor, Photosensitizers, Spin coating, Anneal

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ดร.ประธาน บุรณศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ให้คำแนะนำ แนวทางการแก้ไขปัญหา และข้อคิดเห็นต่าง ๆ มา โดยตลอด ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก ในห้องปฏิบัติการ Photon Dynamics Laboratory ที่คอยให้คำปรึกษาในส่วนของทฤษฎี,แนวทางการปฏิบัติและช่วยตรวจสอบรูปเล่มของโครงการพิเศษเล่มนี้

ขอขอบคุณพี่เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ที่คอยสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ ในการเตรียมสารละลายและการเตรียมฟิล์มบาง รวมถึงเครื่อง UV-VISIBLE Spectrometer

ขอขอบคุณ บิดาและมารดา ของข้าพเจ้าที่คอยถามไถ่ถึงสารทุกข์สุกดิบ จนทำให้ข้าพเจ้ามี กำลังใจในการทำโครงการพิเศษเล่มนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบใจเพื่อนๆของข้าพเจ้า ที่คอยให้คำปรึกษาวิธีการดำเนินงานของโครงการพิเศษ รวมถึงช่วยดูข้าพเจ้าในระหว่างปฏิบัติงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธนวัฒน์

บำรุงไทย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ปракฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟ	4
2.1.1 แบบจำลองแถบการขนส่งสำหรับปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟ	4
2.1.2 การรวมคลื่นสองขบวนในวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟ	5
2.2 สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์	7
2.3 วัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟ	8
2.3.1 โฟโตเซนสิไทเซอร์	9
2.3.2 ตัวนำเชิงแสง	11
2.4 พูลเลอรินอนุพันธ์เสมือนกับโฟโตเซนสิไทเซอร์ในวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟ	12
2.4.1 [6,6]-PCBM เสมือนกับโฟโตเซนสิไทเซอร์	13
2.4.2 C60-based dyads เสมือนกับโฟโตเซนสิไทเซอร์	15
2.5 โครงสร้างผลึกระบบคิวบิก	18
2.6 UV-VISIBLE Spectroscopy	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 Atomic Force Microscope(AFM)	25
2.8 X-ray Diffraction (XRD)	27
2.9 Scanning Eletron Microscopy (SEM)	29
2.10 กระบวนการเตรียมฟิล์มบาง	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	32
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	32
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองด้านเคมี	32
3.3 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์คอม โพลีตชนิดสารประกอบพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอร์อินเพื่อทำแผ่นฟิล์ม	32
3.3.1 การเตรียมฟูลเลอร์อินให้อยู่ในรูปของสารละลายด้วยไดคลอโรโรมีเทน	33
3.3.2 การคำนวณหาวิธีการเตรียมสารละลายพอลิไวนิลคาร์บาโซลที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์	34
3.3.3 การเตรียมพอลิไวนิลคาร์บาโซลให้อยู่ในรูปของสารละลายด้วยเตตระไฮโดรฟลูอีน	35
3.3.4 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์คอม โพลีตเพื่อแผ่นทำฟิล์มปริมาณ 10 มิลลิลิตร	36
3.4 อุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์ม	37
3.5 การเตรียมฟิล์มบางพอลิเมอร์คอม โพลีตชนิดสารประกอบพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอร์อิน	37
3.5.1 การเตรียมฟิล์มบางแบบบออ่อน	38
3.5.2 การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีหมุนเคลือบ	38
3.6 ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางพอลิเมอร์คอม โพลีตชนิดสารประกอบพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอร์อิน	39
3.6.1 หาค่าการดูดกลืนของฟิล์มบางด้วยเครื่อง UV-VIS Spectroscopy	39
3.6.2 ตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่อง AFM	39
3.6.3 ตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางด้วยเครื่อง XRD	39
3.6.2 ตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่อง AFM	39

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	40
4.1 ผลการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางที่ได้จากเครื่อง UV-VIS Spectrometer	40
4.1.1 ผลการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางด้วยการเตรียมแบบอบอ่อน	40
4.1.2 ผลการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางด้วยการเตรียมแบบหมุนเคลือบ	41
4.2 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางที่ได้จากเครื่อง Atomic Force-Microscope (AFM)	42
4.3 ผลตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)	45
4.4 ตรวจสอบสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	47
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
5.3 แนวทางในการพัฒนา	52
เอกสารอ้างอิง	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
2.1 คุณสมบัติโฟโตรีแฟรกทีฟของสารประกอบของ PVK:PDCST:BBP:Sensitizer สำหรับตัวเซน-สิติเซออร์ที่แตกต่างกันซึ่งสามารถสังเกตได้จากการทดลอง TBC ที่ 633 นาโนเมตร, 60 โวลต์/ไมโครเมตร และ 1 วัตต์/ตารางเซนติเมตร	18
2.2 ค่าดัชนีมิลเลอร์ของระบบคิวบิก	20



สารบัญรูป

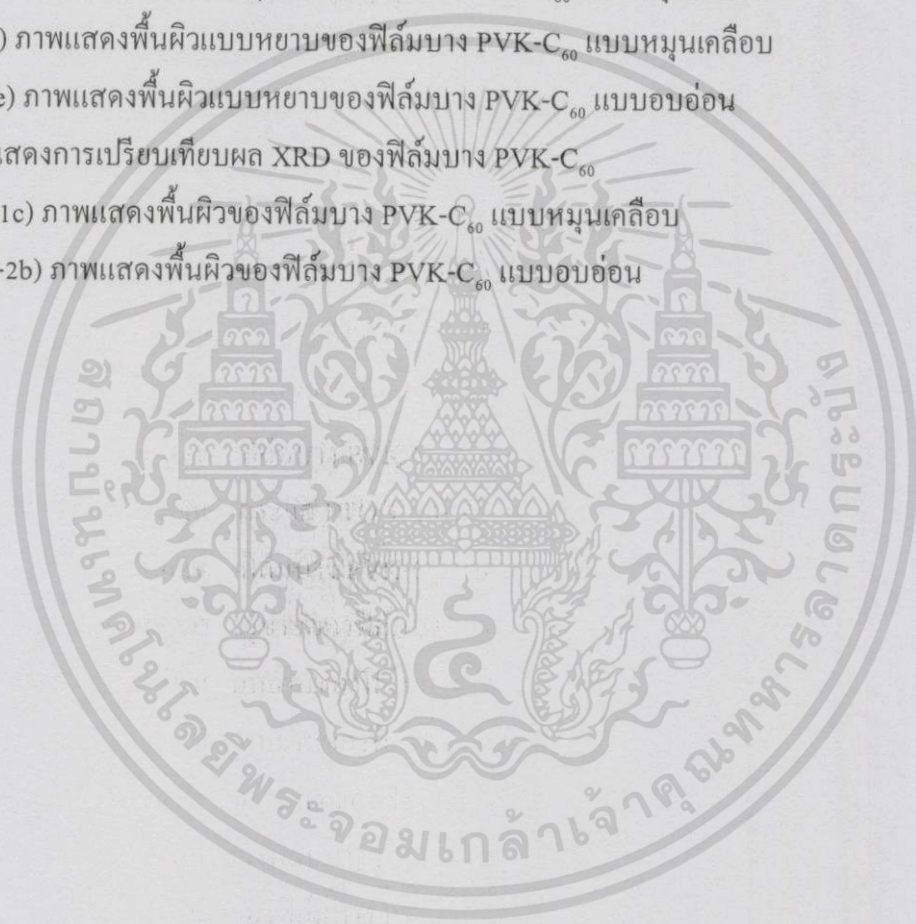
รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลองปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟ	4
2.2 การบันทึกของดัชนีหักเหเกรตติงในการส่งผ่านรูปทรงเรขาคณิต ลำแสงวัตถุ I_1 (สีแดง)และลำแสงป้อม I_2 (สีม่วง) แทรกสอดกันภายในผลึก รูปแบบการแทรกสอดสร้างการเปลี่ยนดัชนีหักเหเกรตติงและช่องว่างระหว่างเกรตติง $\Lambda + c$ หมายถึงแกน c บวก การเปลี่ยนระหว่างความเข้มและดัชนีหักเหเกรตติงนำไปสู่การรวมลำแสงสองลำ ลำแสงวัตถุที่อ่อนกว่าความเข้ม I ถูกขยายโดยแฟกเตอร์ γ'	6
2.3 รูปแสดงองค์ประกอบของพอลิเมอร์กิ่งผลึก	8
2.4 วิธีต่างๆในการสร้างวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟพอลิเมอร์ (a) เจือพอลิเมอร์เคลือบด้วยโฟโตเซนซิไทเซอร์(PS),การส่งผ่านประจุผ่านตัวกลาง(CT)และNLOphores (NLO) (b) การส่งผ่านประจุพอลิเมอร์เจือด้วยฟังก์ชันการทำงานที่เหลือนอยู่ (c) พอลิเมอร์ทำงานอย่างเต็มที่ที่ครั้งหนึ่งของการทำงานที่ตอบสนองสำหรับองค์ประกอบทั้งหมดที่จำเป็นที่ติดมากับพันธะพอลิเมอร์	9
2.5 โครงสร้างทางเคมีของโฟโตเซนซิไทเซอร์ที่ใช้กันมากที่สุดในสารประกอบโฟโตรีแฟรกทีฟ $[C_{60}]$ fullerene,2,4,7-trinitro-9-fluorenone(TNF),[6,6]-ppphhhenyl-C61-butyric acid methyl ester(PCBM) และ 2,4,7-trinitro-9-dicyanomethylenefluorene(TNDCF)	11
2.6 โครงสร้างทางเคมีของตัวนำเชิงแสงบางตัวที่ใช้กันมากที่สุดในสารประกอบโฟโตรีแฟรกทีฟTriphenylamine(TPA),diethylamino-benzaldehyde-N-aminocarbazole hydrazone(DCH),poly(N-vinylcarbazole)(PVK) และ poly[1,4-phenylene-1,2-di(4-benzyloxyphenyl)vinylene] (DBOP-PPV)	12
2.7 (a) การเกิดประจุ:การกระตุ้นเชิงแสงของ C_{60} สร้างโฮลใน HOMO นั้นอาจจะฉีดเข้าไปในระดับการส่งผ่าน PVK และ โดยทำการชดเชยเช่นกับ PDCST หรือ AODCST ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อนให้เกิดสมดุลความเข้มข้นของ C_{60} ไอออนลบจะเกิดความสมดุลโดยประจุบวกที่ชดเชย b)การรวมประจุในนานากับดักที่ถูกใช้งานอยู่:การกระตุ้นเชิงแสงของ (neutral) C_{60} สามารถฉีดโฮลอีกครั้งเข้าไปในสถานการณ์ส่งผ่านซึ่งอาจจะดักจับโดยบางส่วนของวงโคจรบน C_{60} -ในแถบความมืด ซึ่งจะส่งผลให้ประจุระหว่าง C_{60} และ C_{60}	13
2.8 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบโฟโตรีแฟรกทีฟ DMNPAA:MNPAА:TPD-PPV:PCBM	15

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.9 การสังเคราะห์ของ C60-TNF dyads 1a-c	17
2.10 รูปแสดงโครงสร้างผลึกระบบคิวบิก	18
2.11 รูปแสดงรังสีเอกซ์เรย์ตกกระทบบนผลึก	19
2.12 เครื่อง UV-VIS Spectrometer ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Genesys 10S ใช้หลอด Xenon lamp เป็นแหล่งกำเนิดแสง	22
2.13 กราฟแสดงการดูดกลืน	22
2.14 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VISIBLE Spectrometer	23
2.15 องค์ประกอบของเครื่อง Double beam spectrophotometer	24
2.16 เครื่อง AFM	25
2.17 รูปแสดงหลักการการทำงานของเครื่อง AFM	26
2.18 รูปแสดงการทำงานของเครื่อง AFM	26
2.19 รูปแสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM	27
2.20 เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)	29
2.21 เครื่อง Scanning Eletron Microscopy (SEM)	29
2.22 รูปแสดงหลักการดำเนินงานของเครื่อง Scanning Eletron Microscopy (SEM)	30
2.23 รูปแสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	30
3.1 กระบวนการทำสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอรีน	33
3.2 ทำการแพร่กระจายฟูลเลอรีนในสารละลายไดคลอโรมีเทน ด้วยเครื่อง Ultrasonic Sink	34
3.3 1) ฟูลเลอรีนที่อยู่ในรูปสารละลาย 2) ฟูลเลอรีนที่อยู่ในรูปสารละลายเมื่อผ่านไป 50 ชั่วโมง	34
3.4 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลคาร์บาโซล บั่นกวนด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ใน Hood	36
3.5 สารละลายพอลิเมอร์คอมโพสิตชนิดพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอรีน	37
3.6 กระบวนการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยวิธีต่างๆ	38
3.7 การอบฟิล์มบางในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	38
3.8 1) เครื่องหมุนเคลือบ 2) ตัวเหยียบที่ทำให้เครื่องหมุนเคลือบทำงาน	38
3.9 1) การเตรียมฟิล์มบางแบบบออ่อน 2) การเตรียมฟิล์มบางแบบหมุนเคลือบ	39
4.1 กราฟการดูดกลืนแสงของแผ่นกระจก FTO	40
4.2 การดูดกลืนแสงของแผ่นกระจก FTO ร่วมกับฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบบออ่อน	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบบอบอ่อน	41
4.4 การส่องผ่านแสงของแผ่นกระจก FTO ร่วมกับฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบหมุนเคลือบ	42
4.5 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบหมุนเคลือบ	45
4.6 รูปแสดงพื้นผิวและความขรุขระของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบหมุนเคลือบ	43
4.7 a)-c) ภาพแสดงพื้นผิวแบบหยาบของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบหมุนเคลือบ d)-e) ภาพแสดงพื้นผิวแบบหยาบของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบบอบอ่อน	45
4.8 รูปแสดงการเปรียบเทียบผล XRD ของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀	46
4.9 1a)-1c) ภาพแสดงพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบหมุนเคลือบ 2a)-2b) ภาพแสดงพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK-C ₆₀ แบบบอบอ่อน	47



คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
PVK	Poly(N-vinylcarbazole)
$C_{14}H_{11}N$	Poly(N-vinylcarbazole)
C_{60}	ฟูลเลอรีน
N	ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน
N_D	ความหนาแน่นของสารเจือผู้ให้
N_D'	ความหนาแน่นของสารเจือผู้ให้ที่แตกตัวเป็นไอออน
γ_R	อัตราการเกิดความร้อน
I	ความเข้มแสง
s	ค่า cross section สำหรับการกระตุ้นด้วยแสง
J	ความหนาแน่นของกระแส
-q	ประจุอิเล็กตรอน ($q = 1.602 \times 10^{-19} C$)
μ	สภาพคล่องตัว
ϵ	สภาพนำไฟฟ้า
N_A	ความหนาแน่นของสารเจือผู้รับ
n	ค่าดัชนีหักเหในที่มีค
r_{eff}	ค่าสัมประสิทธิ์ electro-optic
E_{sc}	ค่าเหนี่ยวนำทำให้เกิดบริเวณปลดพาหะเฟส
ϕ	
γ'	สัมประสิทธิ์การเข้าสู่
Δn	ค่าดัชนีหักเหประจุเนื่องจากPockels effect
α	สัมประสิทธิ์การดูดกลืน
I_1	ความเข้มขึ้นของการปฏิสัมพันธ์ลำแสง1
I_2	ความเข้มขึ้นของการปฏิสัมพันธ์ลำแสง2
θ	มุมแบรกก์
ψ_1	พฤติกรรมของเฟส1
ψ_2	พฤติกรรมของเฟส2
HDPE	พลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นสูง
LDPE	พลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

คำย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
T_g	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว
ϕ_0	ผลทางควอนตัมขั้นแรก
r_0	ความสัมพันธ์การผ่อนคลายของการเกิดประจุเชิงแสงที่สนามต่ำ
CT	การส่งผ่านประจุ
k_{ET}	ค่าคงที่อัตราการส่งผ่านอิเล็กตรอน
k_0	พรีแฟกเตอร์
b	พรีแฟกเตอร์
ΔR	ระยะทางระหว่างศูนย์กลางปฏิกิริยา
ΔH_c	เอนทัลปีเชิงซ้อน
λ	พลังงานก่อนปรับปรุงโครงสร้างในสมการมาคัส
σ_{ph}	ความนำไฟฟ้าเชิงแสง
Γ	สัมประสิทธิ์การขยายของการขยายลำแสง
τ	การตอบสนองต่อเวลาของโฟโตรีแฟรกทีฟ
hkl	ระนาบของระบบผลึก
λ	ความยาวคลื่น
d	ระยะห่างระหว่างผลึก
n	เลขจำนวนเต็ม 1,2,3,... ที่บอกลำดับการเลี้ยวเบนผ่านอะตอมในแต่ละระนาบของผลึกส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าเป็นความเข้มข้นของสารละลาย มีหน่วยเป็น โมลาร์
M	
V	ปริมาตรของสารละลาย มีหน่วยเป็น ลิตร
Fw	มวลสูตร
M	มวลโมลาร์ของธาตุในสารประกอบมีหน่วยเป็น กรัมต่อ
โมล	
n	จำนวน โมล
N	จำนวนธาตุในสารประกอบ
aq	สถานะสารละลาย
FTO	ฟลูออรีนเจือทินออกไซด์

คำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

คำย่อและสัญลักษณ์

AFM

SEM

XRD

ความหมาย

กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟ (photorefractive effect) คือปรากฏการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง ที่เกิดจากการส่องสว่างของลำแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มสูง เข้าไปยังตัวกลางซึ่งเป็นผลึกทัศนศาสตร์ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear optic crystals) ปรากฏการณ์ดังกล่าวถูกค้นพบครั้งแรกในปี 1966 โดยนักวิจัยได้ศึกษาการส่งผ่านของแสงเลเซอร์ที่ผ่านเข้าไปยังผลึก electro-optic บางชนิดซึ่งมีค่าดัชนีหักเหของตัวกลางแบบไม่เป็นเอกพันธ์ (inhomogeneous) นำไปสู่การเกิดการบิดเบี้ยวของหน้าคลื่นในการส่งผ่านแสงเลเซอร์ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเรียกว่า “optical damage” นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟในตัวกลางผลึก electro-optic อื่นๆ อีกหลายชนิดที่ประกอบด้วย BaTiO_3 , KNbO_3 , LiNbO_3 , LiTaO_3 , $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN), $\text{Ba}_{2x}\text{S}_{1-x}\text{K}_{1-y}\text{Na}_y\text{Nb}_5\text{O}_{15}$ (KNSBN), $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO), GaAs, InP, CdTe และอื่นๆ ปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ถูกศึกษาในตัวกลางชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นวัสดุสารอินทรีย์ (organics material) และวัสดุสารอนินทรีย์ (inorganics material)

เมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์ผ่านเข้าไปยังตัวแยกลำแสง (beam splitter) ก็จะมีการแยกลำแสงเลเซอร์ออกเป็น 2 ลำ โดยลำแสงทั้งสองจะเกิดการแทรกสอด (interference) กันภายในผลึก และทำให้เกิดแถบมืด-สว่างเกิดขึ้น ส่วนนี้เองจะเป็นที่น่าสนใจเพราะจะทำให้เกิด ค่าดัชนีหักเหเกรตติง (refractive index-grating) ขึ้น โดยเกรตติงดังกล่าวเกิดจากกระบวนการขนส่งพาหะประจุจากที่มีดไปยังที่สว่าง โดยประจุที่เกิดการเคลื่อนย้ายนั้นคือประจุลบหรืออิเล็กตรอน เมื่อเกิดการเคลื่อนย้ายแล้วจะทำให้บริเวณแถบสว่างนั้นจะมีประจุลบมากขึ้น ในส่วนของแถบมืดนั้นก็จะมีประจุบวกมากขึ้นเช่นกัน จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหแบบเป็นคาบขึ้นภายในผลึกขึ้น โดยเมื่อมุมตกกระทบของลำแสงมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลต่อความกว้างของแถบการแทรกสอดที่เกิดขึ้น

โครงการพิเศษนี้จึงมีความสนใจในการทำฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปเป็นองค์ประกอบเพื่อที่จะประยุกต์ไปศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟในตัวกลางที่เป็นพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปที่เป็น โฟโตเซินสิทีฟเซอร์เป็นองค์ประกอบในปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้อาจนำไปสู่การเกิดปรากฏต่างๆภายในพอลิเมอร์ได้อีกด้วย ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการศึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการทำฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรป มาศึกษาคุณสมบัติปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติบางประการของฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปเป็นองค์ประกอบเพื่อประยุกต์การใช้งานในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟ
3. เพื่อเรียนรู้การสร้างฟิล์มบางพอลิเมอร์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีของปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟและศึกษาวิธีทำฟิล์มบาง
2. ทำการเตรียมและสังเคราะห์สารละลายพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปเป็นตัวเซนซิไทเซอร์
3. ทำการเตรียมฟิล์มบางพอลิเมอร์ด้วยวิธีอบอ่อนและหมุนเคลือบ
4. นำฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่ได้ในแต่ละวิธี ไปวัดคุณสมบัติทางแสงและทางกายภาพ
5. ทำการวิเคราะห์ค่าที่ได้ และสรุปผลการทดลอง

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ช่วงระยะเวลา
ศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟและวิธีการทำฟิล์มบางพอลิเมอร์	มิถุนายน ถึง ตุลาคม
ศึกษาการสังเคราะห์สารพอลิเมอร์	ตุลาคม ถึง ธันวาคม
สังเคราะห์สารพอลิเมอร์	มกราคม
เตรียมฟิล์ม	มกราคม
นำฟิล์มที่ได้ไปวัดคุณสมบัติทางแสงและทางกายภาพ	มกราคม ถึง กุมภาพันธ์
ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ และสรุปผลการทดลอง	กุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเป็นตัวอย่างเพื่อนำไปศึกษาหรือต่อยอดในปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟได้
2. เป็นตัวอย่างสำหรับการทำสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบ



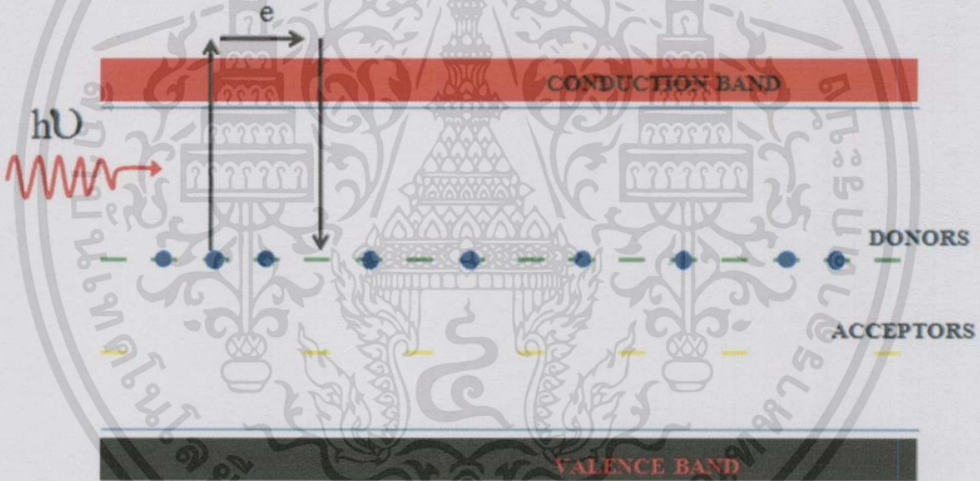
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปракฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ

ปราคฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ(photorefractive effect) คือปราคฏการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง ที่เกิดจากการส่องสว่างของลำแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มสูง เข้าไปยังตัวกลางซึ่งเป็นผลึกทัศนศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear optic crystals)ซึ่งเราสามารถอธิบายการเกิดปราคฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟออกเป็น 2 หัวข้อดังนี้

2.1.1 แบบจำลองแถบการขนส่งสำหรับปราคฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของปราคฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ

เมื่อกำหนดให้สารเจือผู้ให้ เหมือนกันทั้งหมดและมีค่าพลังงานที่แน่นอนค่าเดียวกันในระดับชั้นพลังงานเฟอร์มี(Fermi level) โดยสารเจือผู้ให้เหล่านี้จะแตกตัวเป็นไอออนโดยการดูดกลืนโฟตอนขณะเดียวกันผลลัพธ์ที่ได้จากไอออนแตกตัว อิเล็กตรอนก็เกิดขึ้นในชั้นที่เหนือกว่าแถบนำกระแส(Conduction band) ที่เป็นพื้นที่ว่างเปล่า(empty states) เช่นนั้นจะทำให้สารเจือที่แตกตัวเป็นไอออนมี โฮล(hole)ในอะตอมของสารเจือซึ่งจะมีหน้าที่ดักจับอิเล็กตรอนที่ตกลงมาจากชั้นที่เหนือกว่าแถบนำกระแส ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการ อัตราการแตกตัวเป็นไอออน ได้ดัง

สมการที่ (2.1)
$$\frac{\partial N_d'}{\partial t} = sI(N_d - N_d') - \gamma_r N N_d' \quad \dots 2.1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\frac{\partial N_D^i}{\partial t}$	คือ อัตราการแตกตัวเป็นไอออนของสารเจือชนิดผู้ให้
$(sI + \beta)(N_D - N_D^i)$	คือ อัตราการเกิดอิเล็กตรอน ; $\beta \ll sI$
$\gamma_R N N_D^i$	คือ อัตราการดักจับของอิเล็กตรอนในสารเจือที่เกิดโฮล
N	คือ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน
N_D	คือ ความหนาแน่นของสารเจือผู้ให้
N_D^i	คือ ความหนาแน่นของสารเจือผู้ให้ที่แตกตัวเป็นไอออน
γ_R	คือ อัตราการเกิดความร้อน
I	คือ ความเข้มแสง
s	คือ ค่า cross section สำหรับการกระตุ้นด้วยแสง

จากสมการ (2.1) เราจะเห็นได้ว่าถ้าอัตราการแตกตัวมาก สารเจือที่นำมาใช้นั้นมีคุณสมบัติในการดูดกลืนมาก ยิ่งมีการดูดกลืนมากเท่าไร อัตราการเกิดอิเล็กตรอนจะมากขึ้นที่ชั้นเหนือแถบนำกระแสดังสมการ (2.2)

$$\frac{\partial N}{\partial t} - \frac{\partial N_D^i}{\partial t} = \frac{1}{q} \nabla \cdot j \quad \dots 2.2$$

j คือ ความหนาแน่นของกระแส และ $-q$ คือ ประจุอิเล็กตรอน ($q = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$) เรียกสมการ (2.2) ว่า “สมการอัตราสำหรับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน” จะเห็นได้ว่าการขนส่งของอิเล็กตรอนนั้นจะมีผลต่อความหนาแน่นของอิเล็กตรอนด้วย การประพุดตัวของอิเล็กตรอนจะนำไปสู่บริเวณปลอดพาหะ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกรขนส่งของพาหะ ความหนาแน่นของกระแสจะประกอบด้วยผลจากการพาหะประจุที่ล่องลอย เนื่องจากสนามไฟฟ้าและการแพร่เนื่องจากเกรเดียนต์ (gradient) ของความหนาแน่นพาหะ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นดังสมการ (2.3)

$$j = qN\mu E + k_B T \mu \nabla N \quad \dots 2.3$$

μ คือ สภาพคล่องตัว (electron mobility), E คือ สนามไฟฟ้า, $k_B T$ คือค่าคงที่ Boltzmann และ อุณหภูมิ ซึ่งค่าสนามไฟฟ้า (E) จะเป็นไปตามสมการ Poisson สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\nabla \cdot \epsilon E = \rho(r) = -q(N + N_A + N_D^i) \quad \dots 2.4$$

เมื่อ ϵ คือ สภาพนำไฟฟ้า (dielectric), $\rho(r)$ คือ ความหนาแน่นของประจุ และ N_A คือ ความหนาแน่นของสารเจือผู้รับ จากสมการทั้ง 4 ข้างต้นเราเรียกว่าสมการ Kukkhatarev

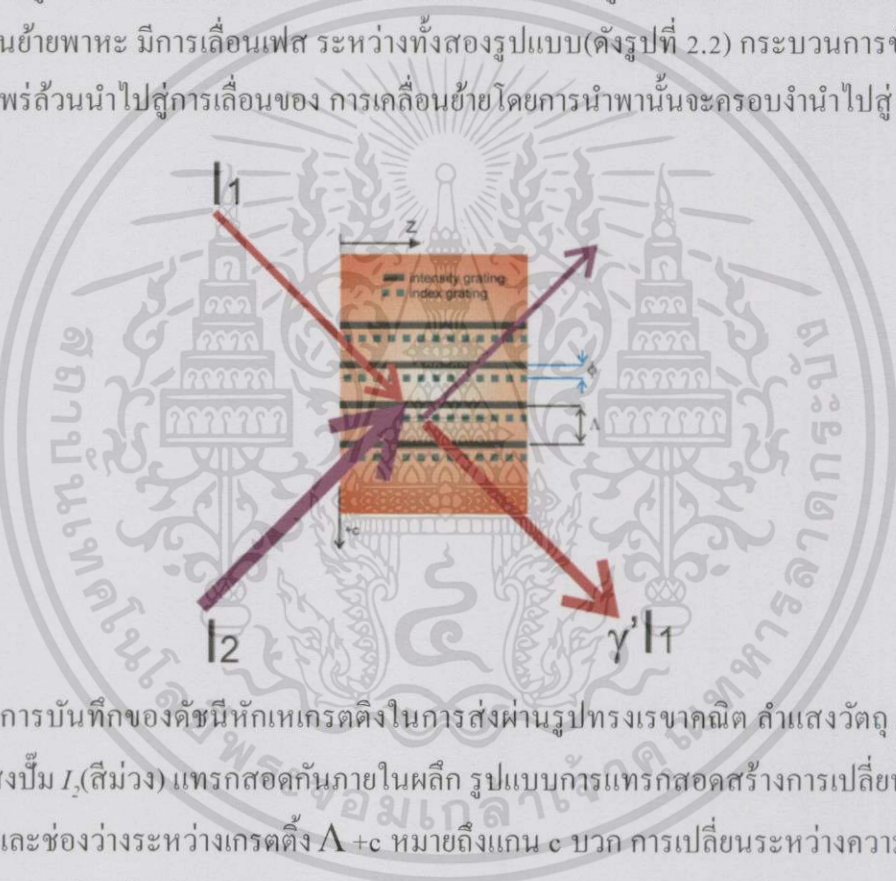
2.1.2 การรวมคลื่นสองขบวนในวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟ

การก่อตัวของโฟโตรีแฟรกทีฟ เกรตติง (photorefractive gratings) จะเป็นไปตาม 4 ขั้นตอนดังนี้ 1) การแทรกสอดซึ่งตกกระทบบนผลึกจะใช้แสงกระตุ้นพาหะประจุ (ขั้นตอนที่ 1) ที่จุดของโครงสร้างของการแทรกสอด ประจุเหล่านี้จะเคลื่อนย้ายออก

(ขั้นตอนที่2) ขับเคลื่อน โดยการแพร่หรือกระบวนการนำพา และจะถูกคักจับไว้ในที่ว่างเปล่า การกระจายพื้นที่ของประจุไม่สม่ำเสมอ นั่นคือผลลัพท์ การกระจายตัวของประจุจะสร้างสนามไฟฟ้า (ขั้นตอนที่3) ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในของค่าดัชนีหักเห Δn โดยมีความหมายว่า Pockels effect (ขั้นตอนที่4) พิจารณาดังสมการที่ (2.5)

$$\Delta n = -\frac{1}{2} r_{\text{eff}} n^3 E_{\text{sc}} \quad \dots 2.5$$

เมื่อ n คือค่าดัชนีหักเหในที่มีด, r_{eff} คือค่าสัมประสิทธิ์ electro-optic ที่มีประสิทธิภาพ และ E_{sc} คือค่าเหนี่ยวนำทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (space charge field) รูปแบบการแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบค่าดัชนีหักเหในตัวกลางโตรีแฟกทีฟขึ้นอยู่กับกระบวนการขับเคลื่อนสำหรับการเคลื่อนย้ายพาหะ มีการเลื่อนเฟส ระหว่างทั้งสองรูปแบบ (ดังรูปที่ 2.2) กระบวนการขับเคลื่อนโดยการแพร่ส่วนนำไปสู่การเลื่อนของ การเคลื่อนย้ายโดยการนำพานั้นจะครอบงำนำไปสู่ $\phi = 0$



รูปที่ 2.2 การบันทึกของดัชนีหักเหเกรตติงในการส่งผ่านรูปทรงเรขาคณิต ลำแสงวัตถุ I_1 (สีแดง) และลำแสงป้อน I_2 (สีม่วง) แทรกสอดกันภายในผลึก รูปแบบการแทรกสอดสร้างการเปลี่ยนดัชนีหักเหเกรตติงและช่องว่างระหว่างเกรตติง $\Lambda + c$ หมายถึงแกน c บวก การเปลี่ยนระหว่างความเข้มและดัชนีหักเหเกรตติงนำไปสู่การรวมลำแสงสองลำ ลำแสงวัตถุที่อ่อนกว่าความเข้ม I_1 ถูกขยายโดยแฟลคเตอร์ γ'

สมการการรวมคลื่นสำหรับกรณีนี้อาจจะแสดงได้ดังสมการ

$$\frac{d}{dz} I_1 = -\gamma' \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} - \alpha I_1 \quad \dots 2.6$$

$$\frac{d}{dz} I_2 = -\gamma' \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} - \alpha I_2 \quad \dots 2.7$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma' = \frac{2\pi\Delta n}{\lambda \cos \theta} \sin \phi \quad \dots 2.8$$

แสดงด้วยสัมประสิทธิ์การดูดกลืน α , ความเข้มข้นของการปฏิสัมพันธ์ลำแสง I_1 และ I_2 , ค่าดัชนีหักเหประจุเนื่องจากPockels effect Δn , the Bragg-angle θ , ความยาวคลื่น และสัมประสิทธิ์ความเข้มข้นการเข้าสู่ γ' สมการที่ 2-8 ที่แสดงนั้นขึ้นอยู่กับ ค่าสัมประสิทธิ์การรวมคลื่น γ' มีพลังงานที่แลกเปลี่ยนระหว่าง ลำแสง 2 ลำ นำไปสู่การขยายของหนึ่งลำแสง และควบคู่ไปกับการลดทอนของอันอื่น ค่าสัมประสิทธิ์เข้าสู่สูงสุดที่ $\phi = \frac{\pi}{2}$ (สมการที่ 2.8) การพิสูจน์นี้ให้เห็นว่าการกระจายบนผลึกนั้นถ้าหากว่าไม่เป็นโคฮีเร้นท์การเปลี่ยนแปลงนี้ ควรให้มีค่าการคลื่นสูงสุด พฤติกรรมของเฟส ψ_1 และ ψ_2 ของลำแสง 2 ลำ ระหว่างการปฏิสัมพันธ์อาจจะอธิบายโดยใช้สมการตามนี้

$$H(k_x, k_y, d) = H(k_x, k_y, 0) \exp(jk_z d) \quad \dots 2.9$$

$$\frac{d}{dz} \psi_2 = -\beta \frac{I_1}{I_1 + I_2} \quad \dots 2.10$$

$$\beta = \frac{\pi\Delta n}{\lambda \cos \theta} \cos \phi \quad \dots 2.11$$

ซึ่งนำไปสู่พลังงานสูงสุดของการรวมคลื่นจะมาพร้อมกับการรวมคลื่นของเฟสประกอบด้วยค่าคงที่ของ $\beta = 0$ คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเฟสโดยกระบวนการการรวมคลื่น

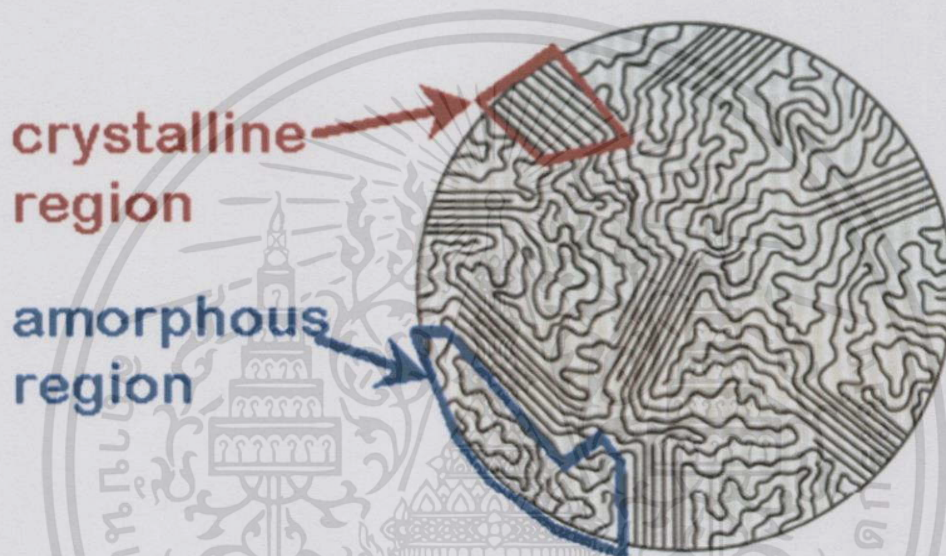
2.2 สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์

สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ การจัดเรียงตัวของสายโซ่ ที่ส่งผลถึงปริมาณของผลึก (crystallinity) และความหนาแน่นของวัสดุ ดังเช่นกรณีของ HDPE และ LDPE โดยทั่วไปพอลิเมอร์ถูกจำแนกเป็น 2 ประเภทตามปริมาณผลึก คือ พอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) คือมีปริมาณผลึกจำนวนหนึ่ง และพอลิเมอร์ออสัญฐาน (amorphous polymer) ซึ่งไม่มีผลึกเลย เนื่องจากพอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาวที่ซับซ้อนจึงไม่สามารถเกิดผลึก 100% ได้เหมือนกับสารโมเลกุลเล็กอื่นๆ

ชนิดของพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน มีผลต่อชนิดของแรงระหว่างสายโซ่ (intermolecular forces) เช่น แรงแวน เดอ วาล์ว (van De Val) แรงคู่ขั้ว (dipole) หรือแรงพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ซึ่งความแข็งแรงของแรงเหล่านี้ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิเมอร์โดยตรง น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ของพอลิเมอร์ก็เป็นปัจจัยหลักที่มีผลโดยตรงต่อสมบัติการละลาย สมบัติทางความร้อน เช่น อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,) จุดหลอมเหลว และสมบัติเชิงกล เป็นต้น นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของสายโซ่ (molecular orientation) ก็ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพโดยตรง เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นสายโซ่ที่อยู่ในรูปขด เมื่อทำการดึงขึ้นตัวอย่างพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่เกิดการยึดตัวไปในทิศทางเดียวกัน (uniaxial orientation) เกิดการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของขึ้นตัวอย่างพอลิเมอร์ในทิศทางการดึงดีขึ้น นิยมใช้ในการเตรียมเส้นใยหรือฟิล์มที่ต้องการเพิ่มความต้านทานแรงดึง หรือการเตรียมถุงพลาสติก เป็นต้น



รูปที่ 2.3 รูปแสดงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ทั้งผลึก

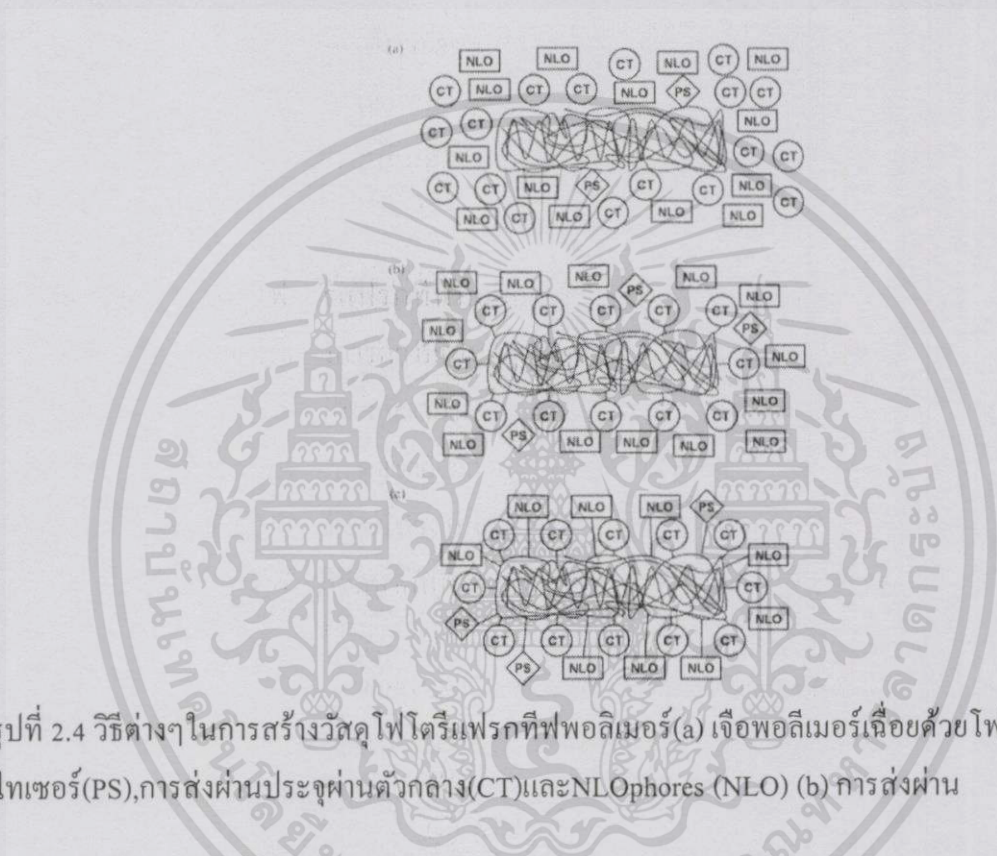
2.3 วัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟ

มี 3 กลยุทธ์หลักในการเตรียมวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟ อันดับแรกประกอบด้วยในการใช้งานพอลิเมอร์ก๊าซเฉื่อยที่เจือด้วยโมเลกุลที่มีความแตกต่าง นี่คือกลยุทธ์การปรับแต่งของแต่ละองค์ประกอบเฉพาะอย่างเพื่อให้ได้รับประสิทธิภาพของโฟโตรีแฟรกทีฟได้อย่างดีในตัวอย่างต้นทุนต่ำแต่กลยุทธ์นี้มีข้อเสียของกระบวนการการแยกเฟสที่เป็นได้ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียคุณสมบัติ

อันดับสองการประมาณการใช้ฟังก์ชันพอลิเมอร์สามารถพัฒนาการใช้งานซึ่งยังคงต้องการที่จะเจือด้วยโมเลกุลที่ตอบสนองสำหรับส่วนที่เหลือของคุณสมบัติ นี่คือกลยุทธ์ลดความเสี่ยงของการแยกเฟสให้น้อยลงในขณะที่การรักษาความเป็นไปได้ของการปรับแต่งโมเลกุลบางชนิดอย่างไรก็ตามในกรณีนี้มันจำเป็นต่อการแนะนำองค์ประกอบเพิ่มเติม,ความเป็นพลาสติก เพื่อปรับเปลี่ยนอุณหภูมิแก้ว (T_g) ของวัสดุเพื่อให้มั่นใจว่าประสิทธิภาพของโฟโตรีแฟรกทีฟดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีสุดท้ายที่จะใช้วัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟพอลิเมอร์ฟังก์ชันนอลไลซ์อย่างเต็มที่ซึ่งเป็นทิศทางที่แน่นอนของโคพอลิเมอร์ที่ต้องการความเป็นโควาเลนต์ครั้งหนึ่งที่ติดมาทั้งหมด ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการแยกเฟส อย่างไรก็ตามพวกเขาอยากที่จะเตรียมความพร้อมและการเพิ่มประสิทธิภาพเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานมากพวกเขายังต้องการความเป็นพลาสติกประจุพอลิเมอร์เชื่อมด้วยฟังก์ชันการทำงานที่เหลืออยู่ (c) พอลิเมอร์ทำงานอย่างเต็มที่ครั้งหนึ่งของการทำงานที่ตอบสนองสำหรับองค์ประกอบทั้งหมดที่จำเป็นที่ติดมากับพันธะพอลิเมอร์



รูปที่ 2.4 วิธีต่างๆในการสร้างวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟพอลิเมอร์(a) เจือพอลิเมอร์เชื่อมด้วยโฟโตเซนซิไทเซอร์(PS),การส่งผ่านประจุผ่านตัวกลาง(CT)และNLOphores (NLO) (b) การส่งผ่าน

2.3.1 โฟโตเซนซิไทเซอร์

บทบาทของโฟโตเซนซิไทเซอร์คือการฉีดโฮลเข้าไปวัสดุในกระบวนการที่เหนี่ยวนำโดยแสงพูดง่าย ๆ มันคือการลดทอนเชิงแสงโดยประจุได้ส่งผ่านตัวกระทำกระบวนการนี้อาจจะพิจารณาเพราะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน 1.การกระตุ้นพาหะด้วยแสงของวัสดุซึ่งนำไปสู่การเกิดของคู่อิเล็กตรอน-โฮล(electron-hole pair) ซึ่งสามารถแยกจากกันหรือการรวมอัตราส่วนระหว่าง2ทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนถัดมาได้ควบคุมประสิทธิภาพ ซึ่งปกติแล้วในการศึกษาเชิงปริมาณโดยใช้แบบจำลอง Onsager ของการรวมตัวของประจุ ในแบบจำลองนี้การดูดกลืนของโฟตอนการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลด้วยการแยกระยะทางของ r_0 ในทางตรงกันข้ามอัตราส่วนของการดูดกลืนโฟตอนนำไปสู่คู่อิเล็กตรอน-โฮลเป็นผลทางควอนตัมขั้นแรก ϕ_0 ซึ่งควรจะเป็นสนามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระทั้งสองพารามิเตอร์ได้ใช้ในอธิบายเชิงลักษณะเชิงปริมาณที่ขึ้นอยู่กับสนามของประสิทธิภาพการเกิดประจุเชิงแสงของวัสดุ

r_0 คือความสัมพันธ์การผ่อนคลายของการเกิดประจุเชิงแสงที่สนามต่ำ ในขณะที่ ϕ_0 คือประสิทธิภาพสูงสุดที่จะได้รับที่สนามสูงๆอย่างไรก็ตามนักเขียนบางคนได้ชี้ให้เห็นไม่ตรงกันว่าระหว่างการคำนวณเชิงทฤษฎีทำด้วยแบบจำลองนี้และการประมาณค่าสเปกโตรสโคปิก (Spectroscopic) ในการนี้มันคือประเด็นในการพิจารณาว่ากระบวนการในสมการอื่นๆไม่ว่ากระบวนการส่งผ่านประจุเหนี่ยวนำเชิงแสงซึ่งอาจจะศึกษาโดยใช้ทฤษฎีมาคัส (Marcus theory) โดยมีเงื่อนไขว่าสนามไฟฟ้าภายนอกถูกนำเข้าสู่บัญชี ในสิ่งแวดล้อมนี้คือสถานการณ์ที่อาจจะอธิบายในเทอมของฟิสิกส์เชิงแสงของกระบวนการ มันคือสิ่งที่จำเป็นต่อการพิจารณาพลังงานของซิงเกิลต (Singlet), ทริเปิลต (Triplet) และสถานะการแยกประจุของระบบโมเลกุลคู่ประกอบด้วยโฟโตเซนซิไทเซอร์ตัวกลางส่งผ่านประจุการตรวจสอบในหมู่โฟโตเซนซิไทเซอร์จำนวนมาก ประจุส่งผ่าน (CT) เชิงซ้อนรูปแบบระหว่างโมเลกุลเหมือนตัวผู้ให้และตัวผู้รับ (C_{oo}) ได้นำไปสู่ผลลัพธ์โฟโตรีแฟกทีฟที่ดีเพื่อที่จะสนับสนุนกระบวนการการเกิดประจุซึ่งส่งผ่านประจุได้อย่างรวดเร็วจากการส่งผ่านที่ตัวกลางสู่โฟโตเซนซิไทเซอร์ต้องเกิดขึ้น เพราะฉะนั้นตัวอย่างเช่นผลลัพธ์การเกิดประจุเชิงแสงที่ได้รับในการศึกษาโดยใช้ และความแตกต่างการส่งผ่านของโฮลที่จะอธิบายโดยใช้ทฤษฎีมาคัส (Marcus Equation)

$$k_{ET} = k_0 \exp(-b\Delta R) \exp\left[-\frac{(\Delta H_0 - \lambda)^2}{4\lambda k_B T}\right] \quad \dots 2.12$$

ที่ k_{ET} คือค่าคงที่อัตราการส่งผ่านอิเล็กตรอน, k_0 และ b คือ พรีแฟกเตอร์ (prefactors), ΔR คือระยะทางระหว่างศูนย์กลางปฏิกิริยา, ΔH_0 คือเอนทัลปีเชิงซ้อนและ λ คือพลังงานก่อนปรับปรุงโครงสร้างในมาคัสบริเวณปกติอัตราการส่งผ่านอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นเหมือนกับความแข็งแรงของผู้ให้ของโมเลกุลผู้ให้เหมือนกับที่ได้สังเกตในการทดลองอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจที่เกี่ยวข้อกับโฟโตเซนซิไทเซอร์คือความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ต้องการสำหรับการกระตุ้นเชิงแสงอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับรูปแบบการดูดกลืนของโฟโตเซนซิไทเซอร์และความไม่เป็นเชิงเส้นของโครมอโฟลและมักจะควบคุมโดยการส่งผ่านโมเลกุลเช่นกัน ประสิทธิภาพที่ดีที่ได้รัล โดยการกระตุ้นของการดูดกลืนแถบการส่งผ่านอิเล็กตรอนนอกจากนั้นการดูดกลืนเนื่องจากโครมอโฟลควรจะมีผลเกี่ยวกับการลดทอนการสูญเสียในขณะที่โฟโตเซนซิไทเซอร์ควรจะแสดงการดูดซึมพอที่จะให้เกิดประจุแต่ไม่มากเกินไปที่จะลดการสูญเสียตามความเป็นจริงแล้วโฟโตเซนซิไทเซอร์โดยทั่วไปจะมีความเข้มข้นในช่วงของ 1% หรือน้อยกว่านั้นจนถึงระดับที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดของโมเลกุลที่เข้ากันจากการส่งผ่านประจุเชิงซ้อนสำหรับตามวัตถุประสงค์ในโฟโตรีแฟกทีฟที่ได้ C_{oo} และ 2,4,7-trinitro-9-fluorenone (TNF) การใช้งานของ 2,4,7-trinitro-9-

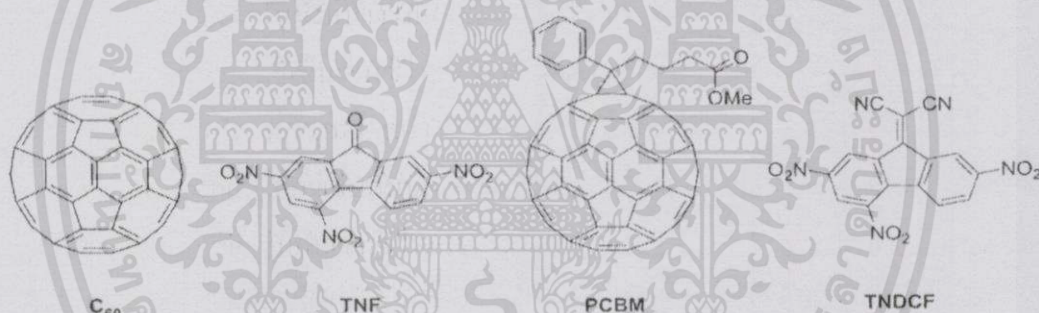
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dicyanomethylenefluorene(TNDCF) และ [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester ([6,6]-PCBM)ส่วนใหญ่รองรับเพื่อทำให้ไวแสงในย่านอินฟราเรด

ในทางตรงกันข้ามบางโมเลกุลอื่นๆเหมือนกับ phthalocyanines, porphyrins และ ruthenium เชิงซ้อนได้นำมาใช้เป็นเซนซิไทเซอร์ในวัสดุอินทรีย์โฟโตรีแฟรกทีฟ โฟโตเซนซิไทเซอร์เหล่านี้ที่ทำให้รวมกันในความแตกต่างสารประกอบโฟโตรีแฟรกทีฟและพอลิเมอร์ฟังก์ชันนอลไลซ์เข้ามาอย่างเต็มที่และแก้เช่นกันนอกจากนี้สารกึ่งตัวนำควอนตัมคอต อาทิเช่น CdS, CdSe และ PbSe ได้รับการวินิจฉัยเช่นกับเซนซิไทเซอร์ในสารประกอบอินทรีย์-อนินทรีย์ผสม

2.3.2 ตัวนำเชิงแสง

ไม่มีความสำคัญน้อยกว่าฟังก์ชันของโฟโตเซนซิไทเซอร์คือบทบาทของตัวนำเชิงแสงเพราะว่าการส่งผ่านประจุเป็นพื้นฐานเพื่อให้โฟโตรีแฟรกทีฟบรรลุเป้าหมายส่วนใหญ่ตัวนำเชิงแสงถูกใช้วัสดุส่งผ่านโฮลถึงแม้ว่าการส่งผ่านอิเล็กตรอนและวัสดุสองขั้วได้รับการศึกษาเมื่อเร็ว ๆ นี้

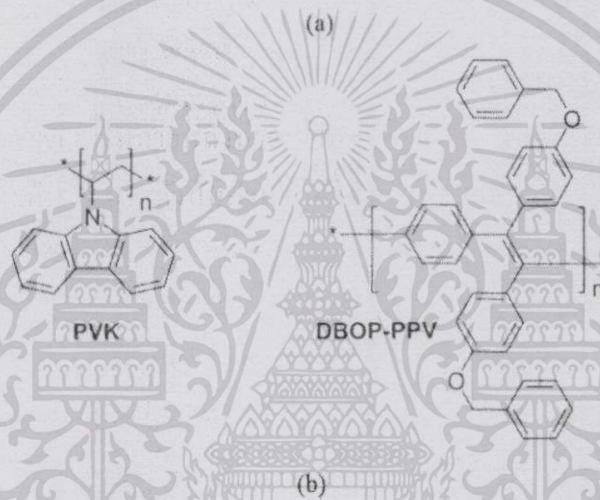
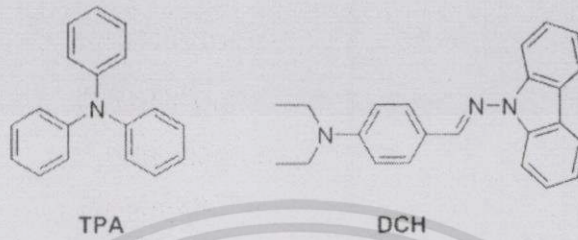


รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของโฟโตเซนซิไทเซอร์ที่ใช้กันมากที่สุดในสารประกอบโฟโตรีแฟรกทีฟ [C₆₀]fullerene, 2,4,7-trinitro-9-fluorenone(TNF), [6,6]-pphhhenyl-C61-butyric acid methyl ester(PCBM) และ 2,4,7-trinitro-9-dicyanomethylenefluorene(TNDCF)

จำเป็นที่จะต้องส่งผ่านประจุไปเป็นระยะทางหลายอะตอมตลอดทั้งวัสดุนำไปสู่ความจำเป็นที่จะต้องมีการมีเปอร์เซ็นต์สูงของตัวนำแสงในสารประกอบ(โดยปกติ 40-60%)ในจำนวนที่ใช้มากที่สุดของตัวนำเชิงแสงคือ aromatic amines หรือ aromatic nitrogenated heterocycles ไม่ว่าจะเป็น โมเลกุลเช่น triphenylamine(TPA) หรืออนุพันธ์ carbazole เช่น diethylamino-benzaldehyde-N-aminocarbazole hydrazone (DCH) หรือเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ผัน(non-conjugated polymer) เช่น poly(N-vinylcarbazole) (PVK) ถึงแม้คอนจูเกตพอลิเมอร์ได้รับการถูกใช้เหมือนกับอนุพันธ์ poly(p-phenylenevinylene) (PPV) เช่นกับ poly[1,4-phenylene-1,2-di(4-benzyloxyphenyl)vinylene](DBOP-PPV) ในกรณีก่อนๆ ประจุจะเคลื่อนที่ผ่านกลไกการกระโดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ในภายหลังน่าจะเป็นทั้งอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ประจำที่ผ่านเส้นทางคอนจูเกตและการกระโดดที่เป็นบทบาทคั่งนั้นสำหรับตัวอย่างอนุพันธ์ PPV ได้แสดงสภาพการเคลื่อนที่ด้วยการนำพาสูงกว่า PVK

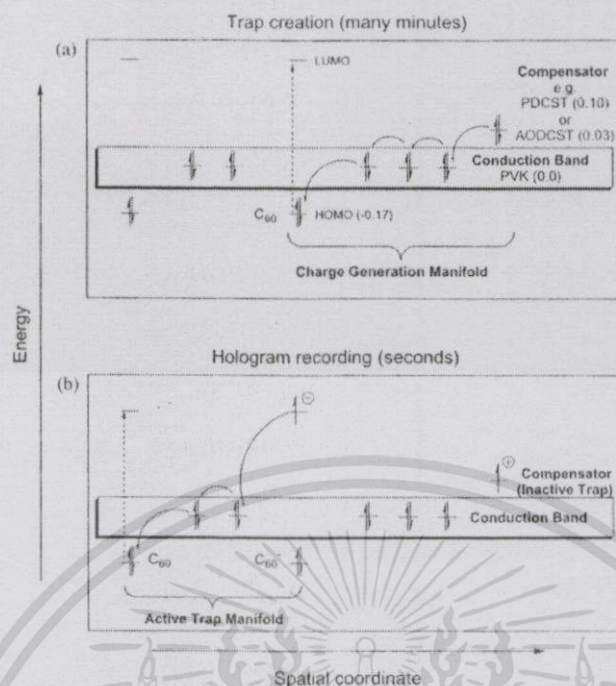


รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของตัวนำเชิงแสงบางตัวที่ใช้กันมากที่สุดในการประกอบโพลีโตรีแฟรกทีฟ

2.4 พูลเลอรีนอนุพันธ์เสมือนกับโฟโตเซนซิไทเซอร์ในวัสดุโพลีโตรีแฟรกทีฟ

การค้นหาลำดับสำหรับเซนซิไทเซอร์ใหม่ que แสดงผลปรับปรุงประสิทธิภาพได้กระตุ้นนักวิจัยบางคนเพื่อตรวจสอบอนุพันธ์พูลเลอรีนตัวใหม่ แม้จะมีโฟโตเซนซิเซอร์ที่อยู่ในความเข้มข้นที่ต่ำมากตามส่วนประกอบอื่นๆ ของสารประกอบโพลีโตรีแฟรกทีฟ pristine C_{60} มีแนวโน้มที่แข็งแกร่งในการตกผลึกคุณภาพทางแสงของตัวอย่างโพลีโตรีแฟรกทีฟที่จะลดลง โพลีโตรีแฟรกทีฟที่ใช้ละลายน้ำได้จะป้องกันการแยกเฟสและเพื่อให้เกิดประจุได้ดีกว่านอกจากนั้น โพลีโตนเซนซิไทเซอร์ในย่านใกล้อินฟราเรดมีน่าสนใจเพราะว่าการเซซิไทในย่านนี้เพื่อให้ใช้ในเชิงพาณิชย์ที่มีอยู่ต้นทุนต่ำ กำลังเลเซอร์ไดโอดสูงและไวต่อเครื่องตรวจจับ CCD ซึ่งการพิจารณาที่สำคัญถ้าวัสดุเหล่านี้ อาจจะถูกใช้ในอุปกรณ์เทคโนโลยีที่มีประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 (a) การเกิดประจุ: การกระตุ้นเชิงแสงของ C_{60} สร้างโฮลใน HOMO นั้นอาจจะลิดเข้าไปใน ระดับการส่งผ่าน PVK และ โดยทำการชดเชยเช่นกับ PDCST หรือ AODCST ผลึกกั้นเหล่านี้ก่อน ให้เกิดสมดุลความเข้มข้นของ C_{60} ไอออนลบจะเกิดสมดุลโดยประจุบวกที่ชดเชย b) การรวม ประจุในนานากับคักที่ถูกใช้งานอยู่: การกระตุ้นเชิงแสงของ (neutral) C_{60} สามารถลิดโฮลอีกครั้ง เข้าไปในสถานการณ์ส่งผ่านซึ่งอาจจะดักจับโดยบางส่วนของวงโคจรบน C_{60} - ในแถบความมืด ซึ่ง จะส่งผลให้ประจุระหว่าง C_{60}^+ และ C_{60}^-

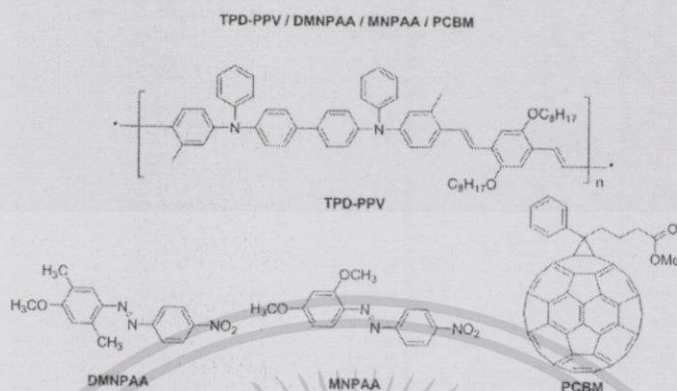
2.4.1 [6,6]-PCBM เหมือนกับโฟโตเซนซิไทเซอร์

C_{60} และ TNF เราจะใช้ในการตอบสนองภายใต้แสงสว่างที่ 633 นาโนเมตร แต่มัน ได้รับการกล่าวก่อนหน้านี้ว่ามันจะทำงานในย่าน IR ซึ่งอาจจะใช้เทคโนโลยีที่น่าสนใจ ดังตัวอย่าง 2,4,7-trinitro-9-dicyanomethylenefluorene (TND CF) ซึ่งทำงานที่ 830 นาโนเมตรในพวกอนุพันธ์ C_{60} , [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester ([6,6]-PCBM) ได้นำไปใช้ในกลีซยานอินฟราเรด (NIR) ซึ่งมีการตอบสนองต่อแสงในสารประกอบ photorefractive polymer คุณสมบัติที่น่าสนใจ ของ NIR photorefractive ที่พบใน copolymer ของ poly(triphenylamine)-poly(phenylvinylene) (TPD-PPV) ด้วยการผสม eutectic ของสีย้อม azo 2 ชนิดคือ 2,5-dimethyl-4-(p-nitrophenylazo) anisole (DMN-PAA) และ 3-methoxy-4-(p-nitrophenylazo) anisole (MNPA A) ในอัตราส่วน 1:1:30 wt% ซึ่งเจือด้วย PCBM ใน DMNPA A:MNPA A:TPD-PPV:PCBM (15:15:56:13:1) ส่วนประกอบ photorefractive (รูปที่ 2.7) มากกว่านั้น ความสว่างก่อนหน้านี้ในวัสดุที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ ก่อนที่

จะมีการปรับปรุงการบันทึกภาพโฮโลกราฟีการตอบสนองของเวลามีแฟลคเตอร์ที่ 40 ;ผลการส่องสว่างก่อนหน้านี้นี้เรียกว่า “gating effect”.นอกจากนี้มักถูกพบว่ามีควมไวของการแบ่ง TPD-PPV:PCBM-based ประกอบขึ้นด้วย 2 ระดับของขนาดที่สูงกว่าที่ของวัสดุ PVL:TND CF-based ตัวนำ hole:การรวมตัวโดยปกติที่ไวต่อแสงถูกใช้ใกล้ infrared PCBM ยังได้รับการใช้เป็น photosensitizer ในย่านตามองเห็นที่ 630 นาโนเมตรดังนั้น Meerholz และ ผู้ร่วมงานได้ทำการศึกษากการใช้ตัวเปรียบเทียบที่แตกต่างกัน 2 ตัวเป็นคนแรกที่ได้ศึกษานบนพื้นฐานของ π -conjugated poly[1,4-phenylene-1,2-di(4-benzyloxyphenyl)vinylene] (DBOP-PPV) ทำให้ไวต่อแสงกับ PCBM และอันที่สอง PVK ทำให้ไวต่อแสงกับ TNF ที่ 633 นาโนเมตรสำหรับการศึกษาศาสตร์ประกอบนี้เป็นพลาสติก ดังนั้นทั้งสองเหมือนกันกับ Tg และ PVK ก็ยังไวต่อแสงกับ PCM จึงใช้เป็นการเปรียบเทียบกระบวนการเกิดประประจุใน 2 เมตริกซ์ ประสิทธิภาพที่คงตัวของสารประกอบ DBOP-PPV-based ทำให้ไวต่อแสงกับ PCBM พบว่ามีดีกว่าเนื่องจากภายในค่อนข้างมีค่าปริมาตรว่างเปล่าเยอะ ที่ช่วยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นของแสงเอกรังสี และ ความแข็งแกร่งของ space-charge field น้อย ขณะที่ผลปรากฏว่าความหนาแน่นของกับดักเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม การตอบสนองแบบพลศาสตร์ในการทดลอง การผสมคลิ่นสีขบวนมีความคล้ายคลึงกับของสารประกอบ PVK-based แม้จะมีสภาพคล่องในการแพร่ตัวของโฮลใน conjugated PPV homopolymers สูงกว่าใน PVK มันก็แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของการเกิดประจุที่ 1:1:30 wt% ซึ่งเจือด้วย PCBM ใน DMNPAA:MNPA A:TPD-PPV:PCBM (15:15:56:13:1) ส่วนประกอบ photorefractive (รูปที่ 2.7) มากกว่านั้น ความสว่างก่อนหน้านี้นี้ในวัสดุที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ ก่อนที่จะมีการปรับปรุงการบันทึกภาพโฮโลกราฟีการตอบสนองของเวลามีแฟลคเตอร์ที่ 40 ;ผลการส่องสว่างก่อนหน้านี้นี้เรียกว่า “gating effect”.นอกจากนี้มักถูกพบว่ามีควมไวของการแบ่ง TPD-PPV:PCBM-based ประกอบขึ้นด้วย 2 ระดับของขนาดที่สูงกว่าที่ของวัสดุ PVL:TND CF-based ตัวนำ hole:การรวมตัวโดยปกติที่ไวต่อแสงถูกใช้ใกล้ infrared PCBM ยังได้รับการใช้เป็น photosensitizer ในย่านตามองเห็นที่ 630 นาโนเมตรดังนั้น Meerholz และ ผู้ร่วมงานได้ทำการศึกษากการใช้ตัวเปรียบเทียบที่แตกต่างกัน 2 ตัวเป็นคนแรกที่ได้ศึกษานบนพื้นฐานของ π -conjugated poly[1,4-phenylene-1,2-di(4-benzyloxyphenyl)vinylene] (DBOP-PPV) ทำให้ไวต่อแสงกับ PCBM และอันที่สอง PVK ทำให้ไวต่อแสงกับ TNF ที่ 633 นาโนเมตรสำหรับการศึกษาศาสตร์ประกอบนี้เป็นพลาสติก ดังนั้นทั้งสองเหมือนกันกับ Tg และ PVK ก็ยังไวต่อแสงกับ PCM จึงใช้เป็นการเปรียบเทียบกระบวนการเกิดประประจุใน 2 เมตริกซ์ ประสิทธิภาพที่คงตัวของสารประกอบ DBOP-PPV-based ทำให้ไวต่อแสงกับ PCBM พบว่ามีดีกว่าเนื่องจากภายในค่อนข้างมีค่าปริมาตรว่างเปล่าเยอะ ที่ช่วยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นของแสงเอกรังสี และ ความแข็งแกร่งของ space-charge field น้อย ขณะที่ผลปรากฏว่าความหนาแน่นของกับดักเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม การตอบสนองแบบพลศาสตร์ในการทดลอง การผสมคลิ่นสีขบวนมีความคล้ายคลึงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารประกอบ PVK-based แม้จะมีสภาพคล่องในการแพร่ตัวของโฮลใน conjugated PPV homopolymers สูงกว่าใน PVK มันก็แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของการเกิดประจุต่ำ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบโฟโตรีแฟรกทีฟ DMNPAA:MNPA:TPD-PPV:PCBM

2.4.2 C₆₀-based dyads เสมือนกับโฟโตเซนลิไทเซอร์

การสังเคราะห์ของแกวโควาเลนซ์เมื่อ C₆₀ เชื่อมโยงไปยัง electro และ/หรือ photoactive ส่วนที่ไม่แน่นอนจะได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้นเนื่องจากพวกเขาสามารถแสดงคุณสมบัติ optoelectronic ที่น่าทึ่ง ในทางตรงกันข้าม มันได้รับการกล่าวแล้วว่าจนถึงปัจจุบัน ระดับที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดของการไวต่อแสงที่ทำให้รวมกันอยู่ในวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟได้รับ pristine[60]fullerene, [60]fullerene derivatives และ โมเลกุลลิเล็กทรอนิกส์ของอนุกรม trinitrofluorene การเข้าบัญชีนี้ Sastre Santos และผู้ร่วมงาน มีการดำเนินงานการสังเคราะห์ของระบบโมเลกุลแบบผสมการประกอบกันระหว่าง [60]fullerene และ ส่วนที่ไม่แน่นอน polynitrosubstituted-9-fluorenone ที่กำลังมองหาสำหรับผลกระทบการสังเคราะห์ของระบบทั้งคู่เพื่อการปรับปรุง คุณสมบัติไวต่อแสงของพวกมัน

C₆₀-TNF dyads 1a-c ซึ่งอยู่ในระยะทางระหว่าง 2 หน่วยย่อยคงที่ โดยพวกมันมีความสัมพันธ์ตำแหน่งรอบๆ phenyl ring ถูกจัดทำขึ้นอัตราผลตอบแทนปานกลาง(14-21%)เริ่มต้นจาก formyl-substituted TNFs 2a-c โดย azomethine ylide 1,3-dipolar cycloaddition to C₆₀ (scheme 1) การประพอดิตัวของ PR ผลการดำเนินงานถูกนำออกมาโดยการทดลอง TBC บนสารประกอบ PVK-based polymeric ที่มี C₆₀-TNF dyads 1a-c ขณะไวต่อแสง และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้วยส่วนประกอบ PVK ที่ไวต่อแสงด้วย pristine C₆₀ (ตารางที่ 2)

ถึงแม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์การขยายได้ลดลงเล็กน้อยสำหรับที่ไวต่อแสง 1a-c ขณะเมื่อเทียบกับ C₆₀ เวลาตอบสนองที่ค่อนข้างสั้น พูด่างๆ ตัวอย่างที่ไว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อแสงกับ 1a-c ที่ได้นำเสนอมีขนาดลดลงจากค่าแสงมากกว่าตัวอย่างสารประกอบ C_{60} ซึ่งถูกนำมาประกอบกับการปรับปรุงความสามารถการละลายของพวกเขาเมื่อเทียบกับ C_{60} ผลลัพธ์ที่ได้นี้จะช่วยให้การประยุกต์ใช้การประยุกต์ใช้เขตข้อมูลที่แข็งแกร่งดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพโฟโตรีแฟรคทีฟสำหรับตัวอย่างสารประกอบที่ประกอบด้วยที่ไวต่อแสง 1b ที่ 80 โวลต์/ไมครอนแสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายสุทธิด้วย 177 ต่อเซนติเมตรและ เวลาคงตัว τ , ด้วย 90 มิลลิวินาที

อย่างต่อเนื่องในสายของการดำเนินงานนี้ trinitrofluorene-[60]fullerene dyads 3 และ 4 เมื่อสังเคราะห์และการประเมินคุณสมบัติโฟโตรีแฟรคทีฟของพวกเขาการปรากฏความยืดหยุ่นของ polyether chain ได้รับการพิสูจน์โดยหลายเหตุผล: (i)คุณภาพของสารละลาย ตัวทำละลายอินทรีย์ (ii) เพื่อหลีกเลี่ยงการแยกเฟส (iii) เพื่อให้มีปฏิสัมพันธ์ที่ดีขึ้นระหว่างความไม่แน่นอน และ (vi) การแนะนำความเป็นไปได้ของไอออนเชิงซ้อน

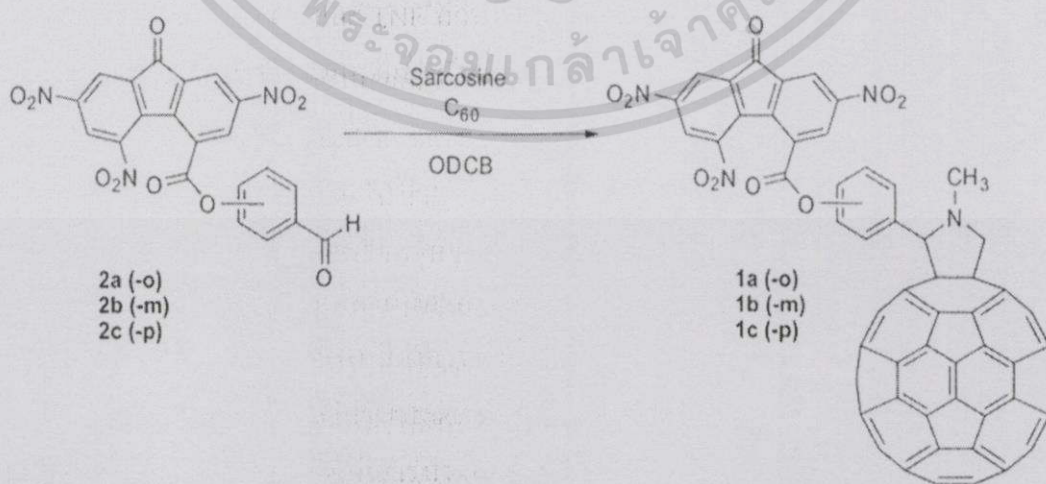
การสังเคราะห์ของ C_{60} -TNF dyad 3 ประสบความสำเร็จโดย Prato's reaction จากที่สอดคล้องกัน trinitrofluorenone derivative 5 ด้วย sarcosine และ C_{60} ปฏิกริยาของ C_{60} -TNF dyad 3 กับส่วนเกินของ malononitrile ใน DMF พอดีเข้ากัน C_{60} -TNDF 4 ในอัตราผลตอบแทนที่ดี (64%) ความสามารถของ trinitrofluorene- C_{60} dyads 3 และ 4 จากภายในโมโนลกุล CT เชิงซ้อนด้วย photoconductor PVK ซึ่งยืนยันโดย NMR และ electrochemical data ใช้ในการอ้างอิงสารประกอบ N-ethylcarbazole (ECZ) เหมือนกับ π -donor ตามการเพิ่มขึ้นของส่วนเกินเดียวกันกับ ECZ สารเคมีขนาดใหญ่ถูกสังเกตเห็น aromatic fluorine protons ในสารประกอบ 4 กว่าในสารประกอบ 3 จากการสังเกตซึ่งเห็นด้วยการถอนตัวอิเล็กตรอนระดับสูงของ TNDCF ส่วนที่ไม่แน่นอนเทียบกับ TNF ซึ่งนำไปสู่ปฏิสัมพันธ์ที่ดีกับ ECZ H-NMR การวิเคราะห์จุดของ Job ได้ยืนยันว่าปริมาณสารสัมพันธ์ 1:1 ของรูปแบบเชิงซ้อน ในขณะที่ H-NMR ศึกษาการไต่เตรท ถ้าหากว่าค่าสำหรับความเกี่ยวข้องกันคงที่ของ trinitrofluorene ที่ไม่แน่นอน กับ ECZ ด้วย 5.1 ± 0.9 และ 21.3 ± 0.6 M⁻¹ สำหรับ dyad 3 และ 4 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหรือมีขนาดเล็กมาก ประจวบเหมาะจะถูกตรวจพบโดย H-NMR และ C-NMR ในสัญญาณที่สอดคล้องกับ fulleropyrrolidine ส่วนที่ไม่แน่นอนนอกเหนือจากการเกินขนาดใหญ่ของ ECZ สรุปได้ว่า ECZ ส่วนใหญ่มีปฏิสัมพันธ์กับ fluorene ส่วนที่ไม่แน่นอนรูปแบบของ TNF-ECZ เชิงซ้อน ก็ยังยืนยันโดยการวัดไฟฟ้าเชิงเคมีนอกจากนี้เนื่องจาก ECZ เกิน 100 เท่า เพื่อแก้ปัญหาของ dyads 3 และ 4 เกิด cathodic เลื่อนใน trinitrofluorene-base อันดับ 1 ถูกลดทอนเหลือ 38 และ 70 มิลลิโวลต์ตามลำดับ 20 (รูป 16) fullerene-based อันดับ 1 ลดย้ายตามจำนวนนอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับ dyads 3 และ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสังเกตเห็น dyad 4 นี่คือการสังเกตอธิบายด้วยหลักแห่งเหตุผลบนรากฐานของการปรากฏตัวของ cyano 2 กลุ่ม บน TNDCF ส่วนที่ไม่แน่นอน ซึ่งสารประกอบ 3 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความสามารถในการยอมรับอิเล็กตรอนของ 4 ขณะเปรียบเทียบกับของสารประกอบ 3 เช่นความคิดเห็นที่ลดลง dicyanofluorene ส่วนที่ไม่แน่นอนยังคงมีปฏิสัมพันธ์กับ ECZ แข็งแรงกว่า fullerene คุณสมบัติโฟโตรีแฟรคทีฟของ PVK-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

based องค์ประกอบการเจือด้วย แสงเอกรงค์ PDCST และ dyads 3 ซึ่งสาริตโดย Diaz-Garcia และผู้ร่วมงาน ผ่านทาง photoconductivity, birefringence และการทดลองการเข้าคู่ของลำแสง 2 ลำ และเมื่อเทียบกับบรรดาของที่คล้ายกันประกอบขึ้นด้วยพอลิเมอร์ที่ไวต่อแสงกับ [60]fullerene สารประกอบอ้างอิงแบร์ริงที่มีความยืดหยุ่น polyether chain ในโครงสร้างของพวกมัน

การตรวจวัดความนำไฟฟ้าเชิงแสง (σ_{ph}) และการประเมินโดยตรงของทั้งสองตลอดการทดลอง TBC ของสัมประสิทธิ์การขยายของการขยายลำแสง (Γ) และการตอบสนองต่อเวลาของโฟโตรีแฟรกทีฟ (τ) แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานการเจือประกอบด้วย dyads 3 คือค่อนข้างดีกว่าการเจือที่ประกอบกับการอ้างอิงสารประกอบ 7 และ 8 สำหรับเขตข้อมูลที่ใช้ทั้งหมดค่าสัมประสิทธิ์การขยายจาก 237 ต่อตารางเซนติเมตรและค่าคงที่เวลาจาก 60 มิลลิวินาทีซึ่งจากการสาริตการใช้โวลเตจสูงๆ (80 โวลต์/ไมโครเมตร) ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นอีกครั้งว่าโวลเลนส์เชื่อมต่อกันระหว่าง C_{60} และ TNF ส่วนที่ไม่แน่นอน มีผลกระทบในเชิงบวกต่อการปรับปรุงสัมประสิทธิ์การเกิดประจุเชิงแสงและดังนั้นการนำไฟฟ้าเชิงแสงซึ่งส่งผลในการเพิ่มขึ้นของความเร็วโฟโตรีแฟรกทีฟ

ที่นอกเหนือจาก KOAc คู่ PVK:PDCST:BBP:C60-TNF 3 องค์ประกอบโดยมีวัตถุประสงค์การประมาณในพื้นที่ C_{60} และ trinitrofluorene ส่วนที่ไม่แน่นอนผ่าน โครงสร้างคงที่ส่งผลให้คล้ายกัน Γ และ τ ค่าเหล่านั้นค่าที่ได้จากการการประกอบเดียวกันโดยปราศจาก KOAc ความจริงเรื่องนี้ได้รับการบันทึกให้มีค่าคงที่ต่ำมีผลผูกพันระหว่าง podandpolyoxoether chain และ potassium cation ผลที่ได้รับสำหรับ dyad 3 มีความคล้ายคลึงกับการที่มีรายงานในการแพร่ไวต่อแสงกับ dyads 1a-c อย่างไรก็ตามสารประกอบ 3 แสดงให้เห็นว่าการละลายที่ดีขึ้นที่จะหลีกเลี่ยงการแยกเฟส และการขยอลำแสง fanning สูญเสียที่ใช้โวลเตจสูงๆ Dyads 4 เป็นการสังเคราะห์สำหรับการทำให้ไวแสงในย่าน NIR แต่ไม่มีข้อมูลที่ได้รับรายงานจนถึงขณะนี้



รูปที่ 2.9 การสังเคราะห์ของ C₆₀-TNF dyads 1a-c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

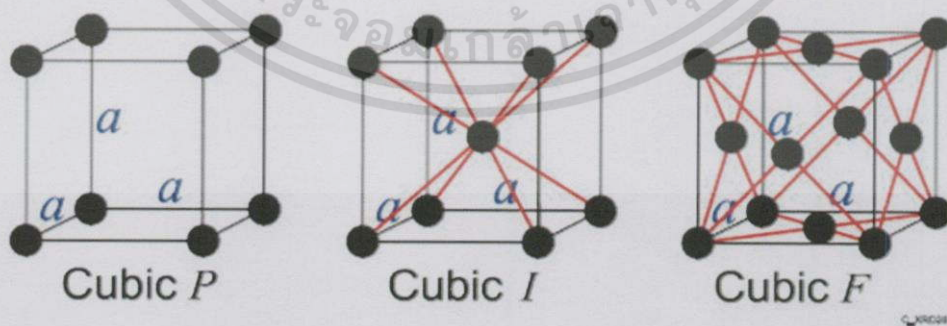
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติโฟโตรีแฟรกทีฟของสารประกอบของ PVK:PDCST:BBP:Sensitizer สำหรับตัวเซนสิไทเซอร์ที่แตกต่างซึ่งสามารถสังเกตได้จากการทดลอง TBC ที่ 633 นาโนเมตร, 60 โวลต์/ไมโครเมตร และ 1 วัตต์/ตารางเซนติเมตร

Sensitizers	$\alpha(\text{cm}^{-1}) \pm 2$	$\tau_1(\text{s}) \pm 0.01$	$\Gamma(\text{cm}^{-1}) \pm 12$	$\Gamma_{\text{net}}(\text{cm}^{-1}) \pm 14$
C ₆₀	21	0.27	142	121
1a	25	0.06	119	94
1b	22	0.13	111	89
1c	20	0.13	119	99

* α (สัมประสิทธิ์การดูดกลืน); τ_1 (เวลาการตอบสนอง); Γ (สัมประสิทธิ์การขยาย); และ Γ_{net} (สัมประสิทธิ์การขยายสุทธิ)

2.5 โครงสร้างผลึกระบบคิวบิก

ในการวิเคราะห์โครงสร้างระบบคิวบิกของวัสดุในส่วนนี้ จะพิจารณาถึงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แลตทิซบราวเวล์ และแลตทิซพารามิเตอร์ของระบบนี้ โดยที่ตำแหน่งการเกิดพิกในรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) จะใช้พิจารณาหาขนาดและรูปร่างของหน่วยเซลล์ ในขณะที่ความเข้มของพิก XRD จะใช้พิจารณาดำแหน่งของอะตอมในหน่วยเซลล์ โดยเริ่มจากการพิจารณารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อบ่งชี้ค่าดัชนีมิลเลอร์ (hkl) ของแต่ละพิก



รูปที่ 2.10 รูปแสดงโครงสร้างผลึกระบบคิวบิก

ซึ่งจะใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีมิลเลอร์กับค่าแลตทิซพารามิเตอร์ร่วมกับสมการของแบรกก์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

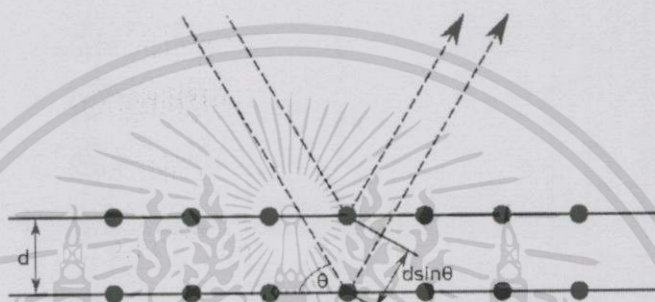
$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \dots 2.13 \quad \text{และ} \quad 2d \sin \theta = n\lambda \dots 2.14$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างผลึก

θ คือ มุมที่ลำแสงเอกซ์เรย์กวาดตามแนวระนาบ

λ คือ ความยาวคลื่นของแสงเอกซ์เรย์

n คือ เลขจำนวนเต็ม 1,2,3,... ที่บอกลำดับการเลี้ยวเบนผ่านอะตอม ในแต่ละระนาบของผลึกส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าเป็น 1



รูปที่ 2.11 รูปแสดงรังสีเอกซ์เรย์ตกกระทบบนผลึก

จะได้ว่า
$$\frac{\sin^2 \theta_1}{\sin^2 \theta_2} = \frac{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2}{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2} \frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} = \frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} \dots 2.15$$

ซึ่งจะเขียนใหม่ได้เป็น
$$\sin^2 \theta = \left(\frac{\lambda^2}{4a^2} \right) (h^2 + k^2 + l^2)$$

จากสมการจะเห็นว่าค่า จะมีค่าคงที่ทำให้แปรผันตรงกับค่า n นั่นคือเมื่อมุมในการตกกระทบบมีค่ามากขึ้นก็จะยังทำให้ระนาบที่เลี้ยวเบนมีค่าดัชนีมิลเลอร์สูงขึ้นด้วยซึ่งหากระนาบที่มาตกกระทบบมีสองระนาบก็สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\frac{\sin^2 \theta_1}{\sin^2 \theta_2} = \frac{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2}{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2} \dots 2.16$$

โดยทั่วไปในระบบคิวบิก ระนาบแรกที่เกิดการเลี้ยวเบนคือระนาบ (100) สำหรับเซลล์หน่วยปฐมฐาน ระนาบ(220)สำหรับหน่วยเซลล์จุดศูนย์กลาง และระนาบ (111) สำหรับหน่วยเซลล์จุดกลางทุกหน้า ดังนั้นค่า $h^2 + k^2 + l^2$ จึงมีค่าเท่ากับ 1,2 และ 3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าสัดส่วนของ $\sin^2 \theta$ ของระนาบต่างๆมาหารด้วยค่า $\sin^2 \theta$ ของระนาบแรกจากนั้นคูณด้วยเลขจำนวนเต็มที่เหมาะสมซึ่งตัวเลขจำนวนเต็มเหล่านี้จะเป็นตัวแทนของค่า ทั้งนี้ค่า h k l ก็สามารถคาดเดาได้ไม่ยากดังแสดงในตารางที่ 2.2 นอกจากนี้แล้วการบ่งชี้ระนาบในรูปการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์อาจเขียนในรูปของ $\frac{1}{d^2}$ ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพิจารณาแลตทิซบราเวส์ของระบบคิวบิกนั้น จะพิจารณาระนาบที่เกิดการสะท้อนและไม่เกิดการสะท้อนซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎได้ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งเมื่อทำการคำนวณหาค่า $h^2 + k^2 + l^2$ ออกมาแล้วจะเขียนได้ว่า

หน่วยเซลล์ปฐมฐาน $h^2 + k^2 + l^2 = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, \dots$

หน่วยเซลล์จุดศูนย์กลาง $h^2 + k^2 + l^2 = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, \dots$

หน่วยเซลล์จุดศูนย์กลางทุกหน้า $h^2 + k^2 + l^2 = 3, 4, 8, 11, 12, 16, 19, 20, 24, 27, \dots$

ตารางที่ 2.2 ค่าดัชนีมิลเลอร์ของระบบคิวบิก

$h^2 + k^2 + l^2$	hkl	Lattice
1	100	P
2	110	P,I
3	111	P,F,D
4	200	P,I,F
5	210	P
6	211	P,I
7		
8	220	P,I,F,D
9	300,221	P
10	310	P,I
11	311	P,F,D
12	222	P,I,F
13	320	P
14	321	P,I
15		
16	400	P,I,F,D
17	410,322	P
18	411,330	P,I
19	331	P,F,D
20	420	P,I,F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h^2 + k^2 + l^2$	hkl	Lattice
21	421	P
22	332	P,I
23		
24	422	P,I,F,D
25	500,430	P
26	510,431	P,I
27	511,333	P,F,D
28		
29	520,432	P
30	521	P,I
31		
32	440	P,I,F,D
33	522,441	P
34	530,433	P,I
35	531	P,F,D
36	600,442	P,I,F
37	610	P
38	611,532	P,I
39		
40	620	P,I,F,D

เมื่อ P = Primitive cubic, I = body-centered cubic, F = face-centered cubic, D = diamond cubic

2.6 UV-VISIBLE Spectroscopy

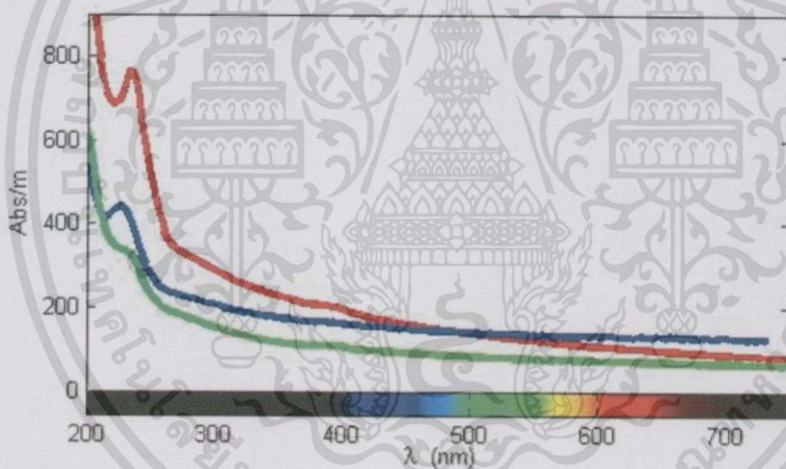
UV-VIS spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงUltra violet (UV) และVisible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 nm ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่หลาย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 เครื่อง UV-VIS Spectrometer ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Genesys 10S ใช้หลอด Xenon lamp เป็นแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการดูดกลืน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

- 1. Light source** แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่น รังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น
- 2. Monochromator** เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือ เกรตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

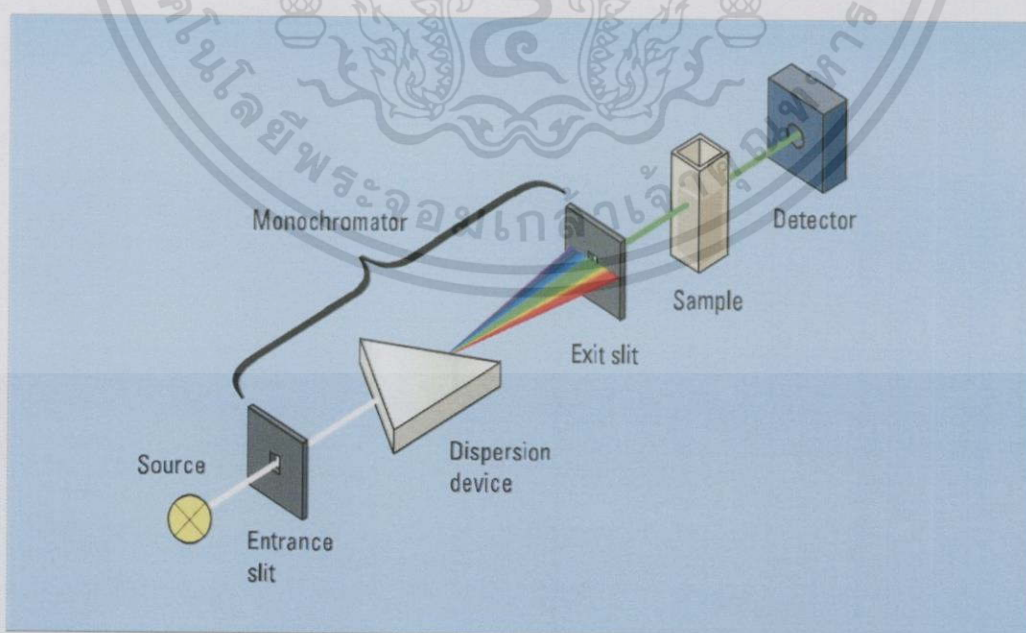
3. **Cell sample** เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. **Detector** ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืน โดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. **Single-Beam spectrophotometer** (รูปที่ 2.14) เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับ สัญญาณ เนื่องจากสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

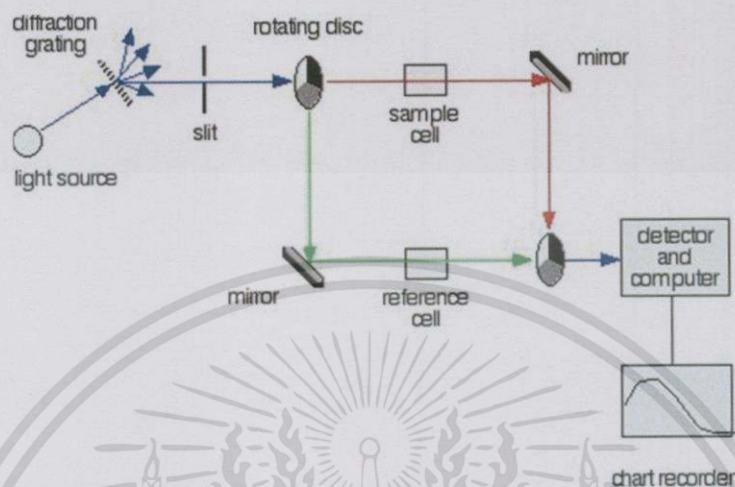
2. **Double-Beam Spectrophotometer** ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อน ไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำ



รูปที่ 2.14 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VISIBLE Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่



รูปที่ 2.15 องค์ประกอบของเครื่อง Double beam spectrophotometer

กฎของเบียร์ แลมเบิร์ต(Beer-Lambert's law)

กฎของเบียร์ แลมเบิร์ต ได้กล่าวไว้ว่า“ความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและความหนาของสารละลายตัวกลาง” ดังสมการที่ 2.17

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad \dots 2.17$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

ϵ คือ ค่าโมลาร์แอบซอร์ปทิวิตี (molar absorptivity) หน่วย $\text{dm}^3\text{cm}^{-1}\text{g}^{-1}$

C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย หน่วย $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ หรือ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ หรือ molar

b คือ ความหนาของตัวกลาง (cm)

ในส่วนของการส่องผ่านของแสง(transmittance, T) หาได้จากสมการที่ 2.18

$$T = \frac{I}{I_0} \quad \dots 2.18$$

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad \dots 2.19$$

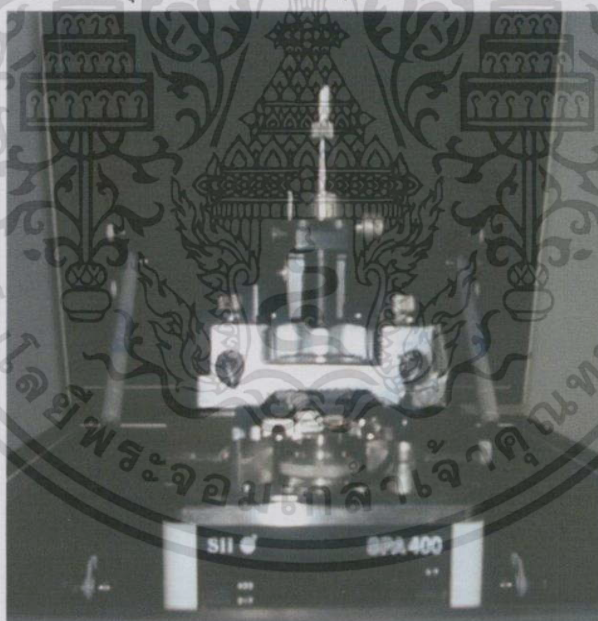
$$A = -\log \frac{I}{I_0} = -\log T \quad \dots 2.20$$

เมื่อ T คือ ค่าการส่องผ่าน (transmittance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Atomic Force Microscope (AFM)

กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope : AFM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางในระดับนาโน โดยอาศัยหลักการของอันตรกิริยาของแรงระหว่างอะตอม (atomic force) ระหว่างหัวเข็มวัดในระดับนาโนกับพื้นผิวของสาร และจะทำการประมวลผลออกในลักษณะของภาพพื้นผิว Atomic Force Microscope (AFM) เป็นเครื่องมือที่ใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนโดยเฉพาะเช่นเดียวกับ STM แต่เครื่อง AFM ถูกพัฒนาขึ้นมาหลังจากเครื่อง STM และสร้างขึ้นมาด้วยหลักการพื้นฐานเดียวกับเครื่อง STM โดยเครื่อง AFM จะสามารถทำงานได้โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจหรือโพรบ (probe) ที่มีปลายแหลมเล็ก (เหมือนกันกับเครื่อง STM) ซึ่งติดอยู่กับคานยื่น (cantilever) ที่สามารถโค้งงอตัวได้เคลื่อนที่สัมผัสไปบนพื้นผิวของวัตถุ (ซึ่งสามารถที่จะวัด แรงกระทำที่ปลายแหลมของโพรบได้แม้ว่าจะมีขนาดน้อยมากในระดับนาโนก็ตาม) และคุณสมบัติของเครื่อง AFM ที่มีมากกว่าเครื่อง STM ก็คือสามารถที่จะตรวจวัดพื้นผิวที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ เช่น พื้นผิวโพลีเมอร์ เซรามิก คอมโพสิต กระจกหรือแก้ว หรือแม้แต่โมเลกุลทางชีวภาพต่าง ๆ ก็สามารถที่จะวัดได้



รูปที่ 2.16 เครื่อง AFM

หลักการทำงานของเครื่อง AFM การผ่านแสงเลเซอร์ไปให้กับส่วนปลายแหลม (tip) ของคานยื่นที่มีขนาดระดับอะตอมในระยะใกล้ ซึ่งส่วนปลายแหลมของคานนั้นจะไปสัมผัสแบบกระดกในทิศทางขึ้นและลงกับพื้นผิวของวัตถุ และเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายแหลมผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับปลายแหลมจะดึงคาน ทำให้คานโค้งงอตัวทำให้สามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

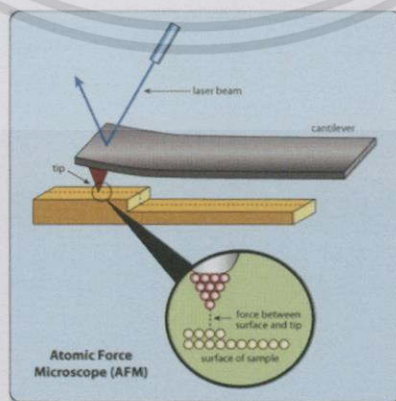
ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ (ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นได้) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณร่วมกันเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวที่เป็นลักษณะเชิงโครงสร้างระดับอะตอมที่มีกำลังการขยายสูงไปแสดงบนจอภาพที่เป็นมอริเตอร์ เช่นเดียวกับกับเครื่อง STM (และโดยหลักการเดียวกันนี้ก็สามารถที่ใช้ปลายแหลมของคานานี้ในการสร้างแรงผลึก เพื่อเคลื่อนย้ายอะตอมแต่ละตัวของโครงสร้างวัสดุได้เช่นเดียวกันอีกด้วย)

วิธีการทำงานของเครื่อง AFM ที่นำมาใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

1. เป็นการสัมผัสพื้นผิวพร้อมกับการลากปลายแหลมไปบนพื้นผิวนั้นๆ ตลอดเวลา ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะทำให้เกิดแรงต้านในแนวของการเคลื่อนที่ซึ่งขนานกับพื้นผิวขึ้น อันอาจทำให้คานของโพรบที่ใช้วัดเกิดการโก่งงอตัวหรือเกิดบิดเบี้ยวไปโดยที่มิได้เกิดจากแรงดึงดูดที่ปลายเนื่องจากแรงในแนวตั้งฉากเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ข้อมูลความสูงของพื้นผิวที่วัดได้นั้นอาจผิดไปจากความสูงที่แท้จริง



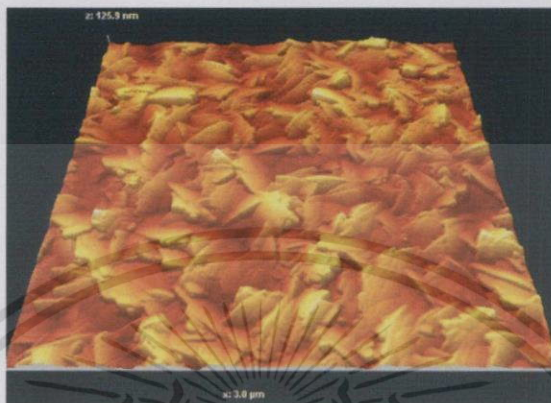
รูปที่ 2.17 รูปแสดงหลักการทำงานของเครื่อง AFM



รูปที่ 2.18 รูปแสดงการทำงานของเครื่อง AFM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เป็นการสัมผัสพื้นผิวโดยให้ปลายแหลมสัมผัสกับพื้นผิวเป็นระยะเวลาสั้นๆ ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว (คล้ายกับการใช้ปลายนิ้วเคาะโต๊ะเป็นจังหวะๆ นั่นเอง) ด้วยลักษณะการสัมผัสแบบนี้แรงดันในแนวตั้งฉากจะไม่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากปลายแหลมสัมผัสพื้นผิวเป็นระยะสั้นๆ จึงทำให้เกิดการสั่นของคาน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้น ไม่คงที่หรือไม่แม่นยำได้



รูปที่ 2.19 รูปแสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM

2.8 X-ray Diffractometer (XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านเคมีและเคมีชีวภาพ โดยใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ดีเอ็นเอ โปรตีนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ รวมถึงวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น ผู้ผลิตได้พัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในเทคนิคนี้ให้มีความสามารถมากยิ่งขึ้นและใช้งานได้ง่ายขึ้น ทำให้เอื้อประโยชน์สำหรับนักวิทยาศาสตร์ที่จะนำไปใช้ปรับปรุง พัฒนา หรือยกระดับการวิเคราะห์ วิจัย หรือตรวจสอบในระดับสูงขึ้นไป เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง โดยรังสีเอ็กซ์จะเลี้ยวเบนไปตามช่องว่างระหว่างอะตอมภายในผลึกและจะถูกบันทึกค่า แล้วทำการวิเคราะห์ธรรมชาติของโครงสร้างผลึกนั้นๆ โดยระยะห่างระหว่างอะตอมนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของ Bragg ตัวใหญ่ๆ จะเห็นชัดเทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านเคมีและเคมีชีวภาพ โดยใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ดีเอ็นเอ โปรตีนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ รวมถึงวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น XRD เป็นเทคนิคที่คอยเสริมเทคนิค spectroscopic อื่นๆ เช่น เทคนิคการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Fluorescence; XRF) โดยที่ XRF จะสามารถบอกได้ว่าวัสดุเหล่านั้นประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ในขณะที่ XRD นั้นจะช่วยให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถรู้ได้ว่าธาตุเหล่านั้นมีองค์ประกอบเป็นอย่างไร เทคนิคที่ใช้หลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิค ได้แก่

1. Single-Crystal Methods

โดยหลักแล้วเทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัด โครงสร้างอะตอม (ความสมมาตรตำแหน่ง ช่องว่าง เป็นต้น) ซึ่งวิธีการดั้งเดิมนั้น (Laue method) จะใช้ผลึกติดอยู่กับที่และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เมื่อฉายลำรังสีให้ตกลงบนผลึกเดี่ยว จะทำการบันทึกผลการเลี้ยวเบนลงบนแผ่น Photographic plate ซึ่งใช้ในการบันทึกค่าความเข้มและตำแหน่งของรังสีที่เกิดการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันนั้นจะทำให้ผลึกเกิดการหมุนและอาศัยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของกล้องก้าวข้ามขีดจำกัดของการตรวจวัดปริมาณของรังสีที่เลี้ยวเบนจากวิธีการดั้งเดิม วิธีการนี้จะใช้รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวแต่อาศัยการเปลี่ยนมุม θ โดยการเคลื่อนที่ของผลึกซึ่งอยู่บนแท่นหมุน แล้วใช้ diffractometer และคอมพิวเตอร์ในการเก็บรวบรวมและจัดการข้อมูล ซึ่งจะให้ผลที่มีความแม่นยำมากกว่า

2. Powder Methods

เบื้องต้นแล้ววิธีการนี้จะใช้ในการระบุแร่ธาตุ โดยจะใช้บอกร่องค์ประกอบและตรวจวัดความสัมพันธ์ของธาตุที่มีอยู่ในสารผสม เช่นเดียวกับ Single-Crystal Methods คือ แต่เดิมนั้นจะใช้เทคนิคของการถ่ายภาพในการบันทึกข้อมูลการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า X-ray Powder Diffractometer และยังสามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเตรียมตัวอย่างผลึกแล้วไม่สามารถใช้วิธีการแรกในการตรวจวัดได้

X-ray Powder Diffractometer

แหล่งกำเนิดและเครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ในปัจจุบันนี้มีข้อจำกัดที่สามารถตรวจวัดได้เฉพาะความเข้มของโฟตอนที่เกิดการเลี้ยวเบนเท่านั้น ไม่รวมเฟสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของข้อมูลรูปร่างที่แท้จริงของความหนาแน่นอิเล็กตรอนซึ่งการทำงานร่วมกันของเครื่องมือกับคอมพิวเตอร์จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ นอกจากนี้จะสามารถแยกแยะธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างแล้วนั้น X-ray Powder Diffractometer (XPRD) ถือเป็นวิธีการเดียวที่สามารถแยกแยะความแตกต่างของเฟสของอะตอมที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในตัวอย่างได้ จึงเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพการทำงานของ XRPD

เทคนิค X-ray Powder Diffractometry นั้นจะใช้ลำรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวฉายลงบนตัวอย่างที่ถูกวางอยู่บนแท่นหมุนเป็นมุม $\theta = 0-90^\circ$ รังสีที่เลี้ยวเบนจะถูกตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดแล้วบันทึกบน inked strip chart เครื่องตรวจวัดจะหมุนไปพร้อมๆ กับแท่นหมุน แต่จะหมุนเป็นมุม 2θ และ strip chart จะหมุนไปพร้อมกับแท่นหมุนและเครื่องตรวจวัดด้วยความเร็วคงที่ เพื่อบันทึกค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่เครื่องตรวจวัดวัดได้ แล้วนำมาพล็อตกราฟ diffractogram ซึ่งประกอบด้วยพีคต่างๆ โดยที่พีคแต่ละพีคจะเป็นลักษณะเฉพาะของเฟสอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ จากความสัมพันธ์ของสมการของ Bragg จะสามารถหาค่า d ของแต่ละพีคแล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่มีอยู่ เช่น JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) เป็นต้น ก็จะสามารถหาปริมาณสัมพันธ์ของเฟสที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้



รูปที่ 2.20 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)

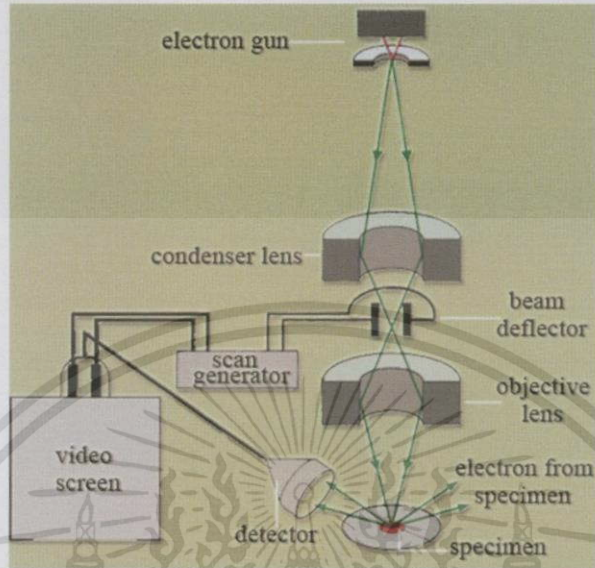
2.9 Scanning Electron Microscopy (SEM)



รูปที่ 2.21 เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

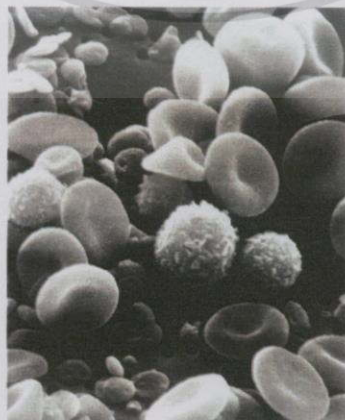
Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 2.22 รูปแสดงหลักการการทำงานของเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2.23 รูปแสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของเครื่อง SEM เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง TEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ ในขณะที่ภาพจากเครื่อง TEM จะให้ภาพลักษณะ 2 มิติ อีกทั้งวิธีการใช้งานเครื่อง SEM จะมีความรวดเร็วและใช้งานง่ายกว่าเครื่อง TEM มาก

2.10 กระบวนการเตรียมฟิล์มบาง

การเตรียมฟิล์มบางในโครงการพิเศษเล่มนี้จะขอยกมาเพียง 2 วิธีเท่านั้น เพื่อที่จะนำมาศึกษา

2.10.1 การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีหมุนเคลือบ(Spin coating) การ spin coating เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หมุนเคลือบ ซึ่งก็คือวิธีหนึ่งในการสร้างฟิล์มบาง โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อป้อนกระแสค่าหนึ่งเครื่องหมุนเคลือบจะมีความเร็วรอบค่าหนึ่งดังนั้นการใช้ความเร็วมากน้อยนั้นจึงขึ้นอยู่กับความหนืดของสาร

2.10.2 การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีอบอ่อน(Anneal) เป็นอีกวิธีหนึ่งการเตรียมฟิล์มบางซึ่งจะอบในอุณหภูมิที่ต่ำ โดยการนำสารละลายที่เตรียมได้หยดลงชั้นเสตรทแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิหนึ่ง ทั้งนี้การจะอบที่อุณหภูมิเท่าไรขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นที่เรานำมาเตรียมฟิล์มบางด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายไดคลอโรมีเทน (Dichlorometane : CH_2Cl_2)
2. พอลิไวนิลคาร์บาโซล (N-Polyvinylcabarzole : PVK : $\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{N}$)
3. ฟูลเลอรีน (Fullerene : C_{60})
4. สารละลายเตตระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran : THF : $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$)

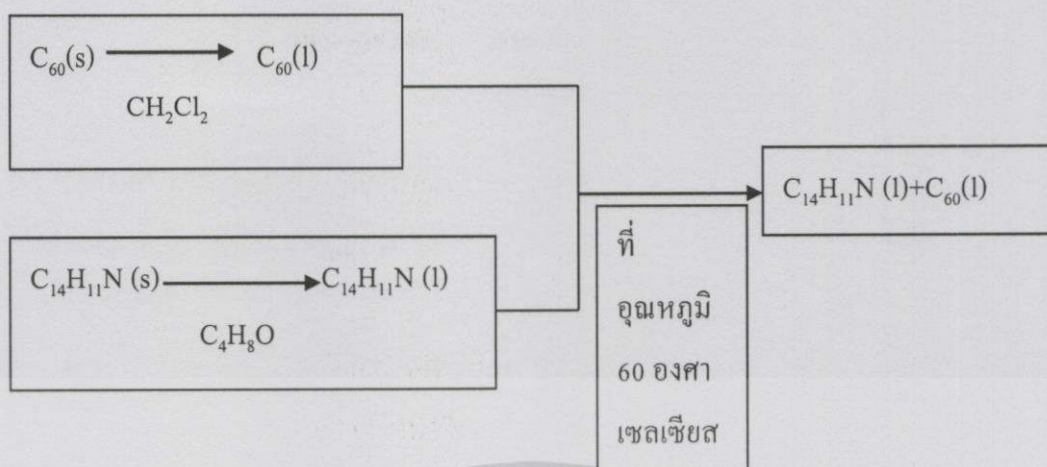
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทางด้านเคมี

1. เครื่อง Ultrasonic Sink
2. กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร
3. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. ช้อนตวงสาร
6. เครื่องชั่งสาร
7. ไมโครปิเปต ขนาด 2-20 ไมโครลิตร
8. ขวด VIAL ขนาด 8 มิลลิลิตร
9. Magnetic bar
10. เครื่อง Magnetic stirrer
11. Hood

3.3 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์คอมโพสิตชนิดสารประกอบพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอรีนเพื่อทำแผ่นฟิล์ม

เนื่องจากฟูลเลอรีนกับพอลิไวนิลคาร์บาโซล นั้นอยู่ในรูปของแข็งฉะนั้นการที่จะให้สารทั้งสองตัวนี้อยู่ในรูปของเหลวเราต้องนำไปผสมกับสารละลายก่อนจึงจะสามารถนำมาผสมกันได้แล้วจะได้สารละลายทำฟิล์มที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กระบวนการทำสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพอลิไวไนลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอรีน

3.3.1 การเตรียมฟูลเลอรีนให้อยู่ในรูปของสารละลายด้วยไดคลอโรมีเทน

ขั้นตอนที่ 1 นำแผ่นฟอยอลูมิเนียมที่เอาไว้สำหรับใส่ฟูลเลอรีน ไปชั่งน้ำหนักซึ่งมีน้ำหนักอยู่ที่ 0.1971 กรัม

ขั้นตอนที่ 2 เนื่องจากเราต้องการสารละลายพอลิเมอร์คอโพลีเดนิก 1 กรัมแต่ฟูลเลอรีนค่อนข้างทำปฏิกิริยารุนแรงและมี臭อย่างจำกัด เราจึงจำเป็นต้องเตรียมในปริมาณน้อยๆ ในที่นี้ใช้ 0.15 wt% นั่นหมายความว่าเราต้องการสารละลายทั้ง 100 กรัม แสดงว่า จาก 100 กรัม จะมีฟูลเลอรีนอยู่ 0.0015 กรัม นั่นเอง

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อนำฟูลเลอรีน ไปชั่งน้ำหนักแล้วจะได้มวลรวมกับแผ่นฟอยอลูมิเนียมอยู่ที่ 0.1986 กรัม

ขั้นตอนที่ 4 จากนั้นนำฟูลเลอรีนที่ชั่งได้ 0.0015 กรัม ไปใส่ในขวด VIAL (ต้องทำ อย่างระมัดระวังเนื่องจากปริมาณฟูลเลอรีนที่ชั่งได้มีปริมาณน้อยมาก)

ขั้นตอนที่ 5 เตรียมสารละลายไดคลอโรมีเทน ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วตวงให้ได้ 8 มิลลิลิตร ในกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร

ขั้นตอนที่ 6 นำสารละลายไดคลอโรมีเทนที่เตรียมไว้ไปใส่ในขวด VIAL ที่มีฟูลเลอรีนอยู่แล้วทำการปิดฝาให้สนิทและแน่นมากที่สุดเพื่อป้องกันการระเหยของไดคลอโรมีเทน

ขั้นตอนที่ 7 นำขวด VIAL ไปทำการ Sonicare ที่เครื่อง Ultrasonic Sink เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 8 จากนั้นรอเวลาในการตกตะกอนเป็นเวลา 50 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 ทำการแพร่กระจายฟูลเลอร์ในสารละลายไคคลอโรมีเทน ด้วยเครื่อง Ultrasonic Sink



รูปที่ 3.3 1) ฟูลเลอร์ที่อยู่ในรูปสารละลาย 2) ฟูลเลอร์ที่อยู่ในรูปสารละลาย เมื่อผ่านไป 50 ชั่วโมง

3.3.2 การคำนวณหาวิธีการเตรียมสารละลายพอลิไวนิลคาร์บาโซล ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์

เนื่องจากเราต้องการเตรียมสารละลายพอลิไวนิลคาร์บาโซลที่มีปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ก่อนอื่นเราต้องทราบน้ำหนักของพอลิไวนิลคาร์บาโซลก่อน

ถ้าต้องการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นที่ 10^{-3} โมลาร์ = สารละลาย 1000 มิลลิลิตร จะมีสารละลายที่ต้องการเตรียม 10^{-3} โมลาร์ จากสมการที่ 3.1 สำหรับการคำนวณหามวลโมลาร์ที่ต้อง

$$\text{ใช้ในปริมาณ 20 มิลลิลิตร} \frac{M}{1000} \text{ g/mol} \cdot \text{mL} = \frac{x}{V} \text{ g/mol} \cdot \text{mL} \quad \dots 3.1$$

เมื่อ M คือ มวลโมลาร์ที่ต้องการ (กรัม/โมล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ (มิลลิลิตร)

x คือ มวลโมลาร์ที่ต้องการใช้ในปริมาตร V (กรัม/โมล)

จากสมการที่ 3.1 กำหนดให้ $M = 10^{-3}$ โมลาร์, $V = 20$ มิลลิลิตร คำนวณหา x

$$x = \frac{M \cdot V}{1000} \quad \text{กรัม/โมล}$$

$$x = \frac{10^{-3} \cdot (20 \cdot 10^{-3})}{1000} \quad \text{กรัม/โมล}$$

$$x = 20 \times 10^{-6} \quad \text{กรัม/โมล}$$

จากนั้นคำนวณหาค่ามวลสูตร (Formula weight : Fw) ของพอลิไวนิลคาร์บาโซล ซึ่งมีสูตรทั่วไปคือ $C_{14}H_{11}N$ สามารถหาได้จากสมการที่ 3.2

$$Fw = \sum_{i=1}^N (M \cdot n_i) \quad \dots 3.2$$

เมื่อ

Fw คือ มวลสูตร (กรัม)

M คือ มวลโมลาร์ของธาตุในสารประกอบ (กรัม/โมล)

n คือ จำนวนโมล (โมล)

N คือ จำนวนธาตุในสารประกอบ

ธาตุคาร์บอน(C) มีค่ามวลโมลาร์เท่ากับ 12.0107 กรัมต่อโมล และมีจำนวนโมลเท่ากับ 14 โมล ดังนั้นธาตุคาร์บอนมีมวลเท่ากับ 168.1498 กรัม

ธาตุไฮโดรเจน(H) มีค่ามวลโมลาร์เท่ากับ 1.0079 กรัมต่อโมลและมีจำนวนโมลเท่ากับ 12 โมล ดังนั้นธาตุคาร์บอนมีมวลเท่ากับ 11.0869 กรัม

ธาตุไนโตรเจน(N) มีค่ามวลโมลาร์เท่ากับ 14.0067 กรัมต่อโมลและมีจำนวนโมลเท่ากับ 1 โมล ดังนั้นธาตุคาร์บอนมีมวลเท่ากับ 14.0067 กรัม

ดังนั้นพอลิไวนิลคาร์บาโซลจะมีมวลสูตร = $168.1498 + 11.0869 + 14.0067 = 193.2434$ กรัม
จากนั้นนำค่ามวลสูตรที่ได้ไปคูณกับค่ามวลโมลาร์ที่เราหาได้จากสมการที่ 3.1 จะมีค่าเท่ากับ 0.0038 มิลลิกรัม แสดงว่าถ้าเราต้องการสารละลายพอลิไวนิลคาร์บาโซลที่มีความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์จะต้องใช้พอลิไวนิลคาร์บาโซลที่มีปริมาณ 0.0038 มิลลิกรัม ไปละลายในสารละลาย ไดคลอโรมีเทน 20 มิลลิลิตร

3.3.3 การเตรียมพอลิไวนิลคาร์บาโซลให้อยู่ในรูปของสารละลายด้วย เติตระไฮโดรฟลูอไรด์

ขั้นตอนที่ 1 นำแผ่นฟอยอลูมิเนียมที่เอาไว้สำหรับใส่พอลิไวนิลคาร์บาโซลไปชั่งน้ำหนักซึ่งมีน้ำหนักอยู่ที่ 0.1041 กรัม

ขั้นตอนที่ 2 นำพอลิไวนิลคาร์บารโซลปริมาณ 0.0038 มิลลิกรัม ใส่ลงแผ่นฟอยอลูมิเนียม ซึ่งจะได้นำหนักรวมอยู่ที่ 0.1079 กรัม

ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นนำพอลิไวนิลคาร์บารโซลที่นำไปชั่งให้ใส่ลงไปในปีเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

ขั้นตอนที่ 4 เตรียมสารละลายเตตระไฮโดรฟลูอีน ลงในปีเกอร์ที่มีพอลิไวนิลคาร์บารโซลอยู่ ใส่ลงไปปริมาณ 20 มิลลิลิตร ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องเตรียมสารละลายในเครื่องดูดอากาศหรือที่เรียกว่า “Hood” เนื่องจากสารละลายเตตระไฮโดรฟลูอีน ระเหยไวมากจึงจำเป็นต้องทำใน Hood

ขั้นตอนที่ 5 นำเม็ค Magnetic bar ใส่ลงไปในปีเกอร์ที่มีสารละลายอยู่ จากนั้นนำไปปั่นกวนด้วยเครื่อง Magnetic stirrer ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.4 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลคาร์บารโซล ปั่นกวนด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer ใน Hood

3.3.4 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์คอมโพสิตเพื่อแผ่นทำฟิล์มปริมาณ 10 มิลลิลิตร

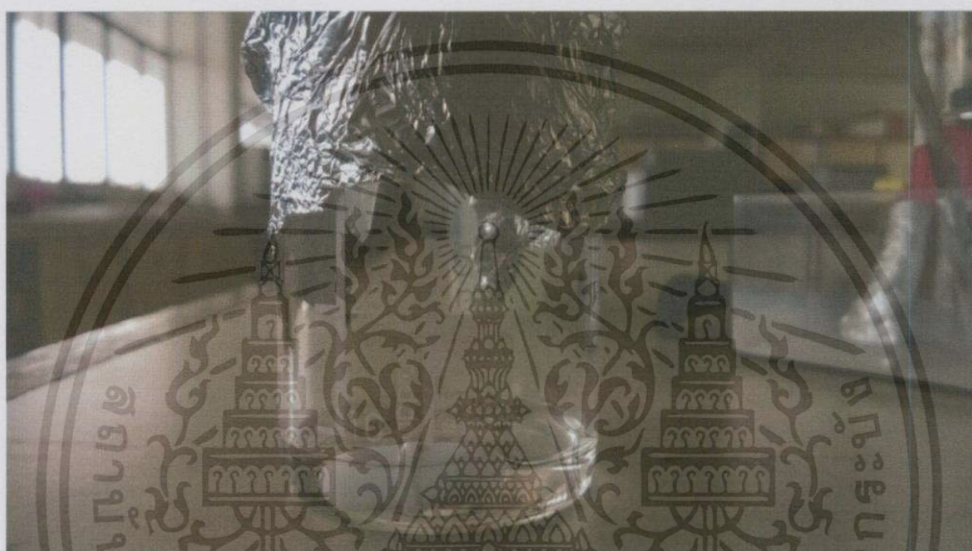
เนื่องจากเราต้องการเตรียมสารละลายในอัตราส่วน พอลิไวนิลคาร์บารโซล : ฟลูเออรีน = 99.85 wt% : 0.15 wt% แสดงว่าสารละลายที่เราต้องการ 10 มิลลิลิตรจะต้องมี สารละลายพอลิไวนิลคาร์บารโซล อยู่ 9.985 มิลลิลิตร และมี สารละลายฟลูเออรีน อยู่ 0.0015 มิลลิลิตร หรือ 15 ไมโครกรัม ซึ่งในการทดลองส่วนนี้ต้องทำในเครื่องดูดอากาศด้วยเช่นกัน และเมื่อผสมสารละลายเสร็จแล้วต้องรีบทำทันทีเพราะสารละลายค่อนข้างระเหยไวมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 นำไมโครปิเปต ขนาด 2-20 ไมโครลิตร สารละลายฟลูออรีนขึ้นมา 15 ไมโครลิตร แล้วนำไปใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

ขั้นตอนที่ 2 ตวงสารละลายพอลิไวนิลคาร์บาโซล โดยใช้กระบอกตวงด้วย ปริมาตร 9.985 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายฟลูออรีน

ขั้นตอนที่ 3 นำ Magnetic bar ไปใส่ลงในบีกเกอร์ของสารละลาย แล้วสารละลาย ไปปั่นกวนด้วยเครื่อง Magnetic stirrer ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.5 สารละลายพอลิเมอร์คอมโพสิตชนิดพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟลูออรีน

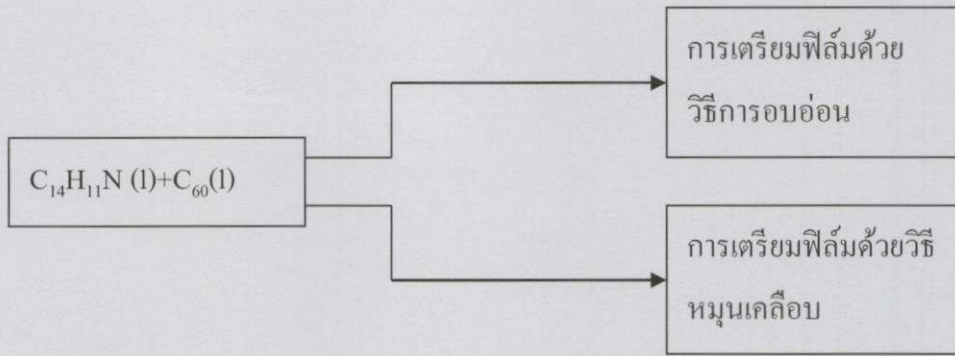
3.4 อุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์ม

1. หลอดหยด
2. แผ่นกระจก FTO (Fluorine-doped Tin Oxide)
3. ตู้อบ
4. เครื่องหมุนเคลือบ
5. แผ่นนาฬิกา

3.5 การเตรียมฟิล์มบางพอลิเมอร์คอมโพสิตชนิดสารประกอบพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟลูออรีน

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้การเตรียมฟิล์มทั้ง 2 วิธีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กระบวนการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยวิธีต่างๆ

3.5.1 การเตรียมฟิล์มบางแบบอบอ่อน

ขั้นตอนที่ 1 นำหลอดหยดคลุคสารละลายที่ได้เตรียมไว้ แล้วหยดลงบนแผ่นกระจก FTO ซึ่งต้องทำใน Hood

ขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำแผ่น FTO ที่มีสารละลายวางลงบนแผ่นนาฬิกา แล้วนำเข้าสู่ตู้ยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 21 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายระเหยออกหมด แล้วให้เหลือแต่เนื้อฟิล์ม



รูปที่ 3.7 การอบฟิล์มบางในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.5.2 การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธี Spin coating



รูปที่ 3.8 1) เครื่องหมุนเคลือบ

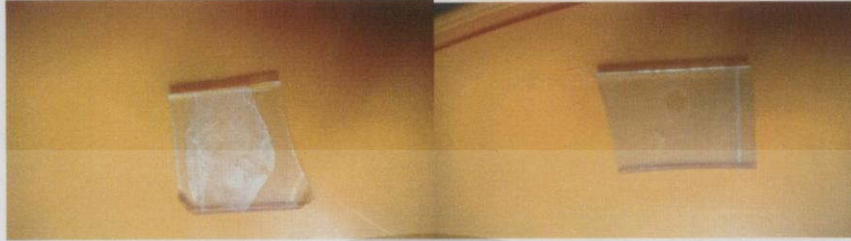
2) ตัวเหยียบที่ทำให้เครื่องหมุนเคลือบทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 นำหลอดหยดคลุคสารละลายที่ได้เตรียมไว้ แล้วหยดลงบนแผ่นกระจก

FTO

ขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำแผ่น FTO ที่มีสารละลายวางลงบนแท่นหมุน แล้วเปิดเครื่องให้หมุนเป็นเวลา 40 นาที



1

2

รูปที่ 3.9 1) การเตรียมฟิล์มบางแบบอบอ่อน 2) การเตรียมฟิล์มบางแบบหมุนเคลือบ

3.6 ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางพอลิเมอร์คอมโพสิตชนิดสารประกอบพอลิไวนิลคาร์บาโซลด้วยฟูลเลอร์

คุณสมบัติที่ต้องการศึกษาของฟิล์มบางมีดังนี้

3.6.1 หาค่าการดูดกลืนของฟิล์มบางด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrometer

3.6.2 ตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope

3.6.3 ตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer

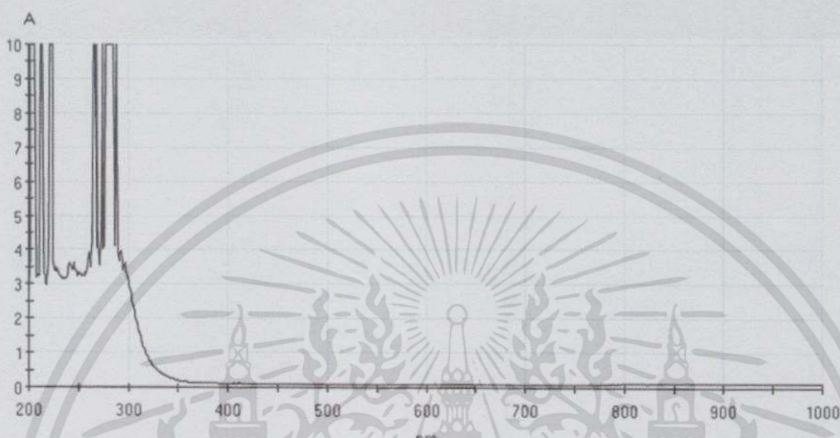
3.6.4 ตรวจสอบสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope

(SEM)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

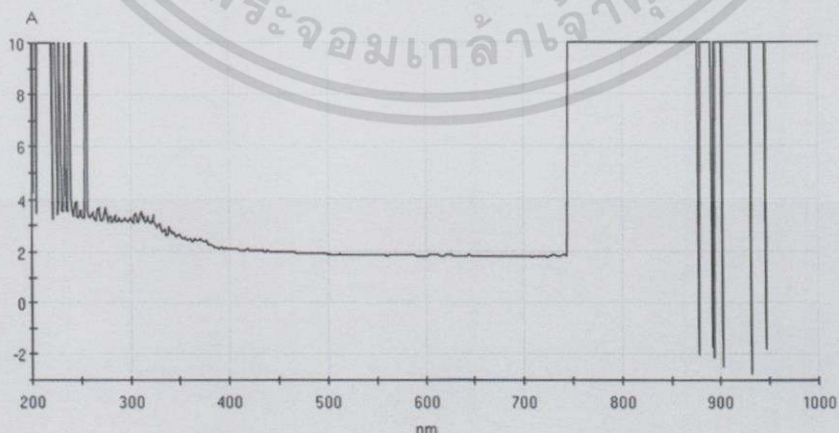
4.1 ผลการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางที่ได้จากเครื่อง UV-VIS Spectrometer



รูปที่ 4.1 กราฟการดูดกลืนแสงของแผ่นกระจก FTO

จากรูปที่ 4.1 เราจะเห็นได้ว่ากระจก FTO นั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต จนถึงช่วงประมาณ 300 นาโนเมตร และจะยอมให้แสงตั้งแต่ย่านตามองเห็น (Visible light) ส่องผ่านแบบเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์

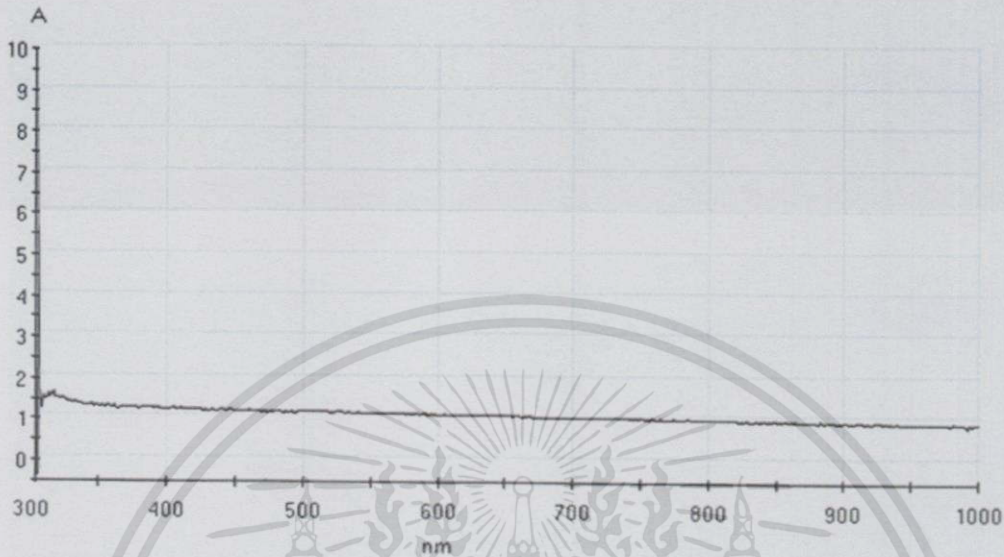
4.1.1 ผลการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางด้วยการเตรียมแบบบออ่อน



รูปที่ 4.2 กราฟการดูดกลืนแสงของแผ่นกระจก FTO ร่วมกับฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบบออ่อน

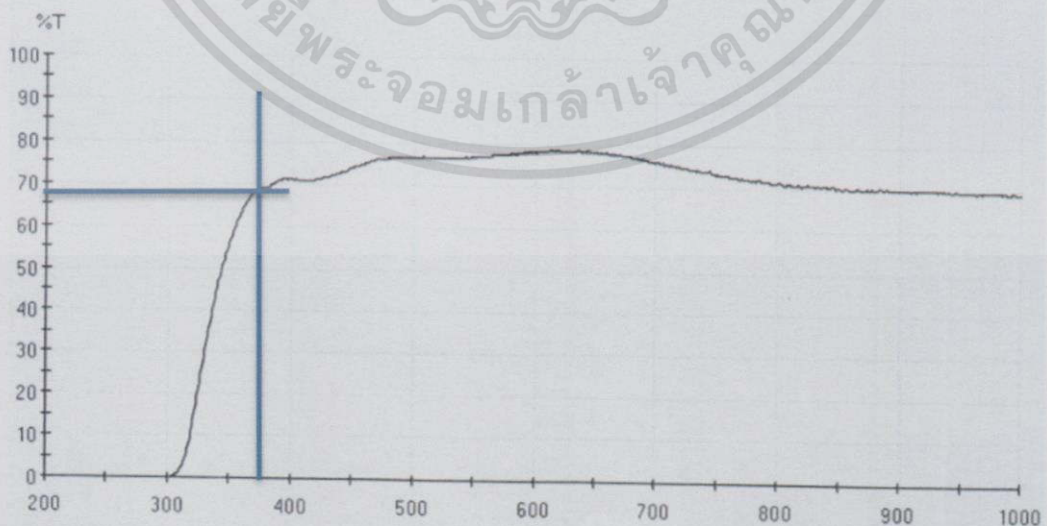
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 เมื่อนำฟิล์มบาง PVK-C60 ที่เตรียมแบบ Casting film บนแผ่นกระจก FTO เราจะเห็นได้ว่าวัสดุของเรานั้นมีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ในย่านตามองเห็นอีกด้วย ตั้งแต่ช่วง 350 นาโนเมตร ถึง 750 นาโนเมตร ซึ่งแสดงว่าตอบสนองเลเซอร์ได้ในทุกย่านตามองเห็น



รูปที่ 4.3 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง PVK-C60 แบบบออ่อน
จากรูปที่ 4.3 เราจะเห็นได้ว่า ฟิล์มบาง PVK-C₆₀ ที่ได้จากวิธีการบออ่อน นั้นสามารถดูดกลืนแสงได้ตั้งแต่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต จนถึง ย่าน อินฟราเรด ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

4.1.2 ผลการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางด้วยการเตรียมแบบหมุนเคลือบ



รูปที่ 4.4 กราฟการส่องผ่านแสงของแผ่นกระจก FTO ร่วมกับฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบหมุนเคลือบ

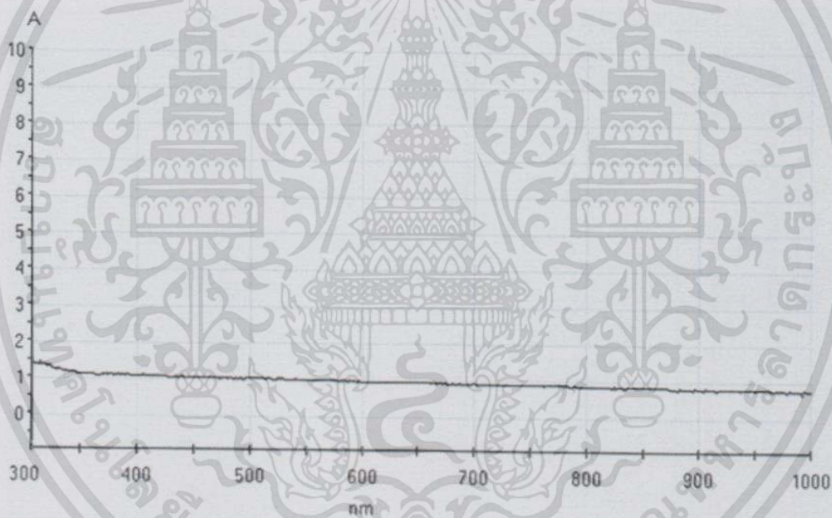
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 เราจะเห็นได้ว่า แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตจะถูกดูดกลืนไปหมด เนื่องจากแผ่นกระจก FTO จะดูดกลืนได้ดีในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ส่วนฟิล์มบาง PVK-C60 จะสามารถส่องผ่านได้ดีในช่วงย่านแสงตามมองเห็นจนถึงอินฟราเรดจากจุดตัดกราฟเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านเราจะได้ %T=68.5 และ $\lambda = 375$ นาโนเมตร ดังนั้นเราจะคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าแถบพลังงาน(Energy gap) เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุโฟโตรีแฟรกทีฟของเราที่มีค่าแถบพลังงานเท่าไรจะได้ว่า $T = \frac{\%T}{100}$

$$=0.685 \text{ จากสมการ } E = \frac{hc/\lambda}{e}, E = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 2.998 \times 10^8 / 375 \times 10^{-9}}{1.6 \times 10^{-19}} = 3.31 \text{ eV}$$

จากทฤษฎีค่าแถบพลังงานของPVKอยู่ที่ 3.50eV ดังนั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนดังนี้ %

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{|3.50 \text{ eV} - 3.31 \text{ eV}|}{3.50 \text{ eV}} \times 100\% = 5.42\%$$



รูปที่ 4.5 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง PVK-C60 แบบหมุนเคลือบ

จากรูปที่ 4.5 เราจะเห็นได้ว่า ฟิล์มบาง PVK-C60 ที่ได้จากวิธีหมุนเคลือบนั้นสามารถดูดกลืนแสงได้ตั้งแต่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต จนถึง ย่านอินฟราเรด ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

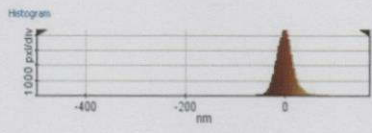
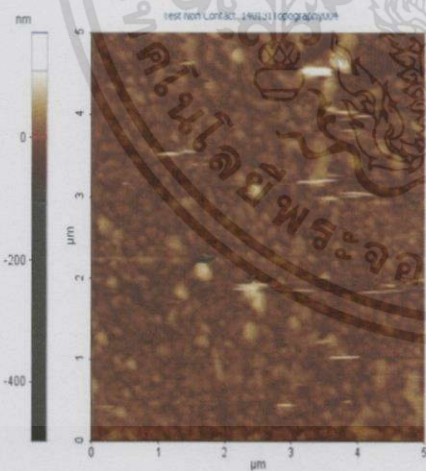
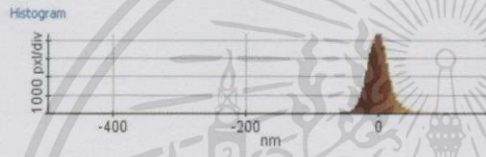
4.2 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางที่ได้จากเครื่อง Atomic Force Microscope

4.2.1 ผลการตรวจสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยการเตรียมแบบหมุนเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



File Name	Test No...31Topography004
Head Mode	C-AFM
Source	Topography
Data Width	256 (pxl)
Data Height	256 (pxl)
X Scan Size	5 (µm)
Y Scan Size	5 (µm)
Scan Rate	0.6 (Hz)
Z Servo Gain	1
Set Point	12.04 (nN)

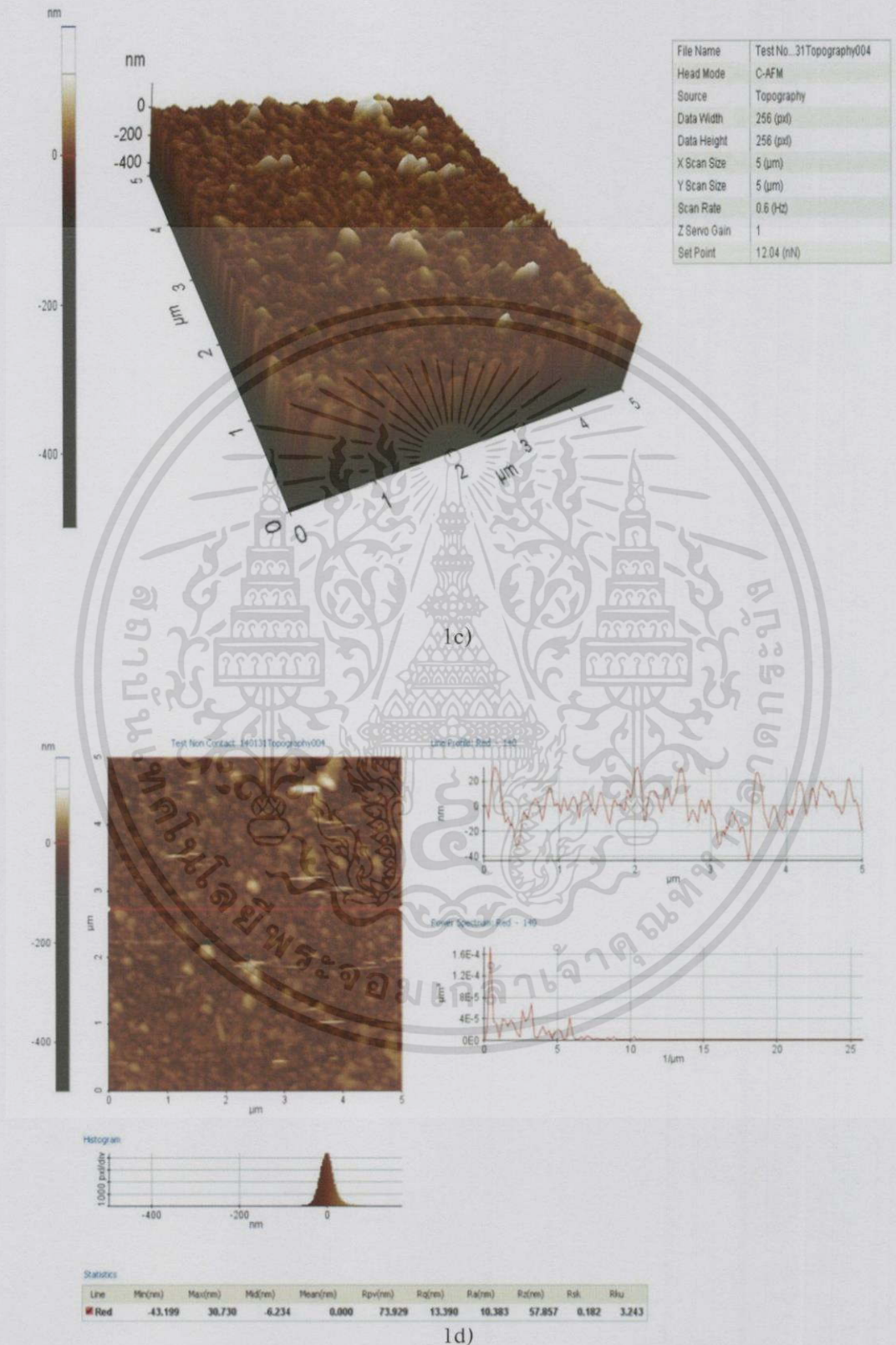


Statistics

Region	Min(nm)	Max(nm)	Mid(nm)	Mean(nm)	Ppv(nm)	Rq(nm)	Ra(nm)	Rz(nm)	Rsk	Rku
Whole	-497.570	170.604	-183.483	0.000	668.174	20.321	13.935	553.941	0.544	30.039

1b)

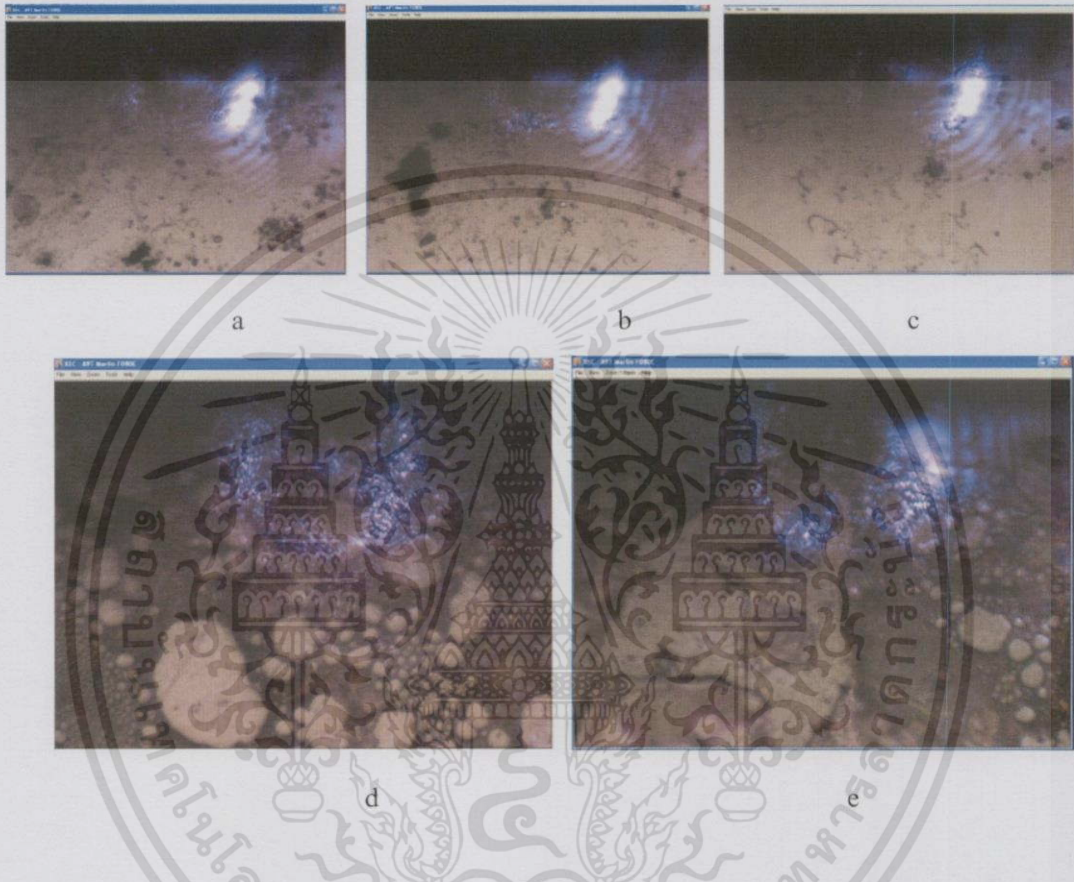
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปแสดงพื้นผิวและความขรุขระของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบหมุนเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 เราจะเห็นได้ว่าสภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ ที่ได้มาจากวิธีหมุนเคลือบนั้นจะมีสภาพผิวค่อนข้างเรียบ แต่จะมีขรุขระบ้างเป็นบางจุด เนื่องจากวิธีนี้เราจะได้ฟิล์มบางที่ค่อนข้างสม่ำเสมอเพราะเราสามารถควบคุมความหนาของฟิล์มบางได้

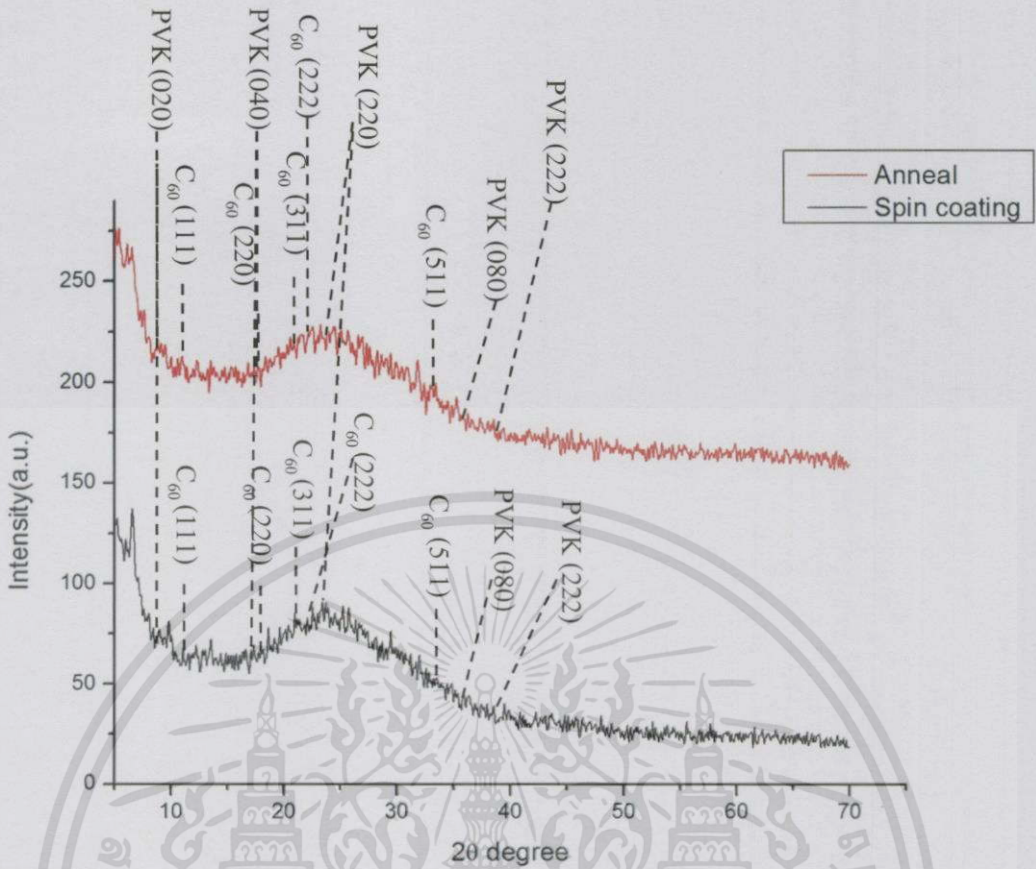


รูปที่ 4.7 a-c) ภาพแสดงพื้นผิวแบบหยาบของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบหมุนเคลือบ
d-e) ภาพแสดงพื้นผิวแบบหยาบของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบบอบอ่อน

จากรูปที่ 4.7 เราเห็นได้อย่างชัดเจนเลยว่าสภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบหมุนเคลือบมีลักษณะค่อนข้างเรียบและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ บางพอที่สามารถทำให้ตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM ได้ แต่ว่าสภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบบอบอ่อน มีลักษณะที่ใหญ่และหนาเกินกว่าขนาดของแคนทิลิวอร์จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM ได้

4.3 ผลตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer

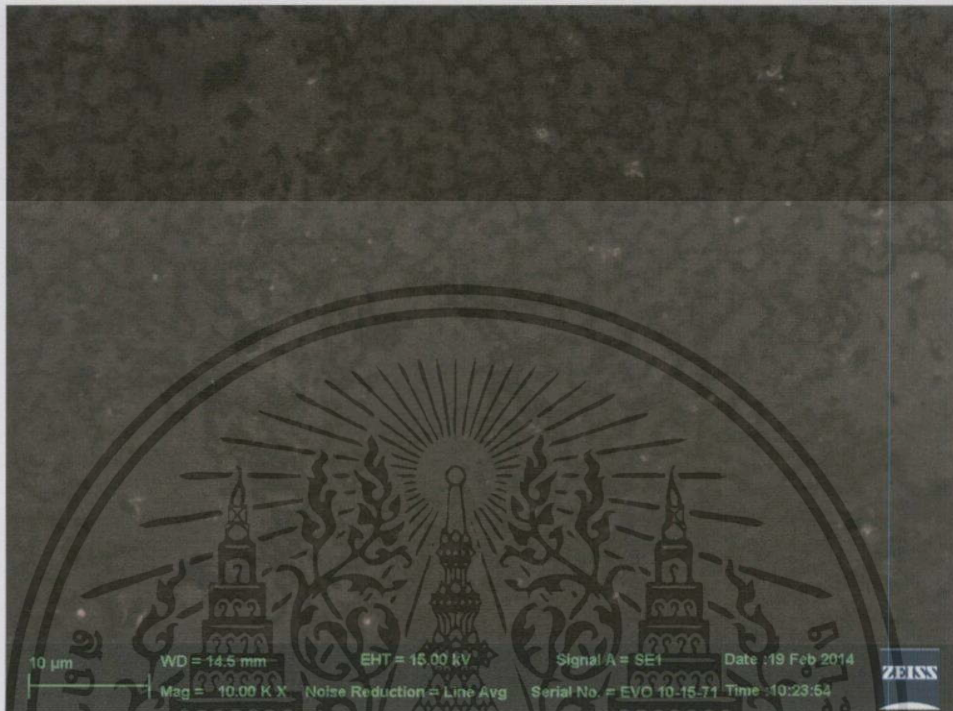
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



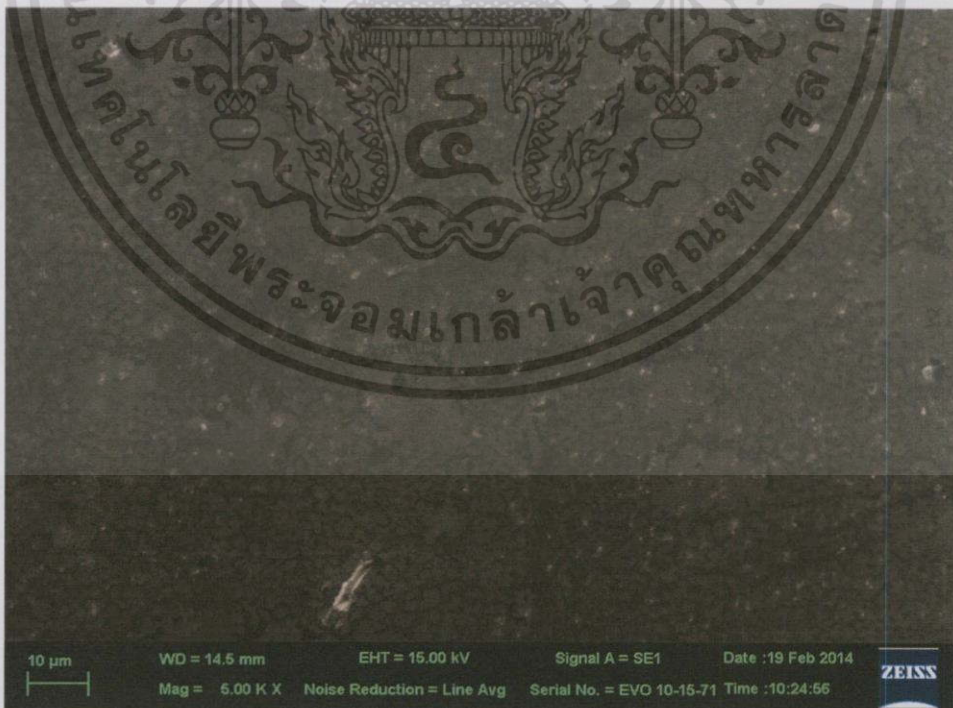
รูปที่ 4.8 รูปแสดงการเปรียบเทียบผล XRD ของฟิล์มบาง PVK-C₆₀

เนื่องจากว่าฟิล์มบาง PVK-C₆₀ อยู่ในรูปของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นชนิด พอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) จึงทำให้พีค (peak) ที่ได้จากรูปที่ 4.8 แสดงได้ไม่ชัดเจนมากนักเพราะว่าพีคช่วง ตั้งแต่ 15 องศา ถึง 25 องศา โดยประมาณ ลักษณะพีคนั้นจะกินในส่วนของอะมอร์ฟัส (amorphous) และผลึก (crystal) แต่พีคของ PVK นั้นแสดงได้เห็นอย่างชัดเจนกว่า C₆₀ เนื่องจากว่าอัตราส่วนที่ผสมระหว่าง PVK:C₆₀ มีปริมาณ PVK สูงกว่า C₆₀ อยู่จำนวนมากจึงทำให้พีคของ C₆₀ แสดงได้ไม่ชัดเจนมาก แต่เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผล XRD นำไปใส่ลงโปรแกรม MDIjade 5.0 แล้วจะทำให้เห็นพีคของ PVK กับ C₆₀ ได้ชัดเจนมากขึ้น จึงทำให้รู้ว่าแต่ละพีคนั้นเป็นพีคของ PVK หรือ C₆₀ ทั้งนี้จากรูปที่ 4.8 เราจะสังเกตได้ว่าการเตรียมฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แต่ละวิธีนั้นลักษณะพีคที่ได้จะแตกต่างกันเล็กน้อยทั้งนี้อาจเป็นเพราะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของฟิล์มในการเตรียมแต่ละแบบ แต่ทว่าโดยทั่วไปแล้วหากฟิล์มบางที่อบในอุณหภูมิสูงๆ ฟิล์มบางที่ได้จะจัดเรียกตัวเป็นผลึกและแสดงพีคได้ชัดเจนกว่าแบบอะมอร์ฟัสค่อนข้างมากเราจึงได้ผลจากการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ เป็นดังรูปที่ 4.8 ฉะนั้นฟิล์มบางที่เราเตรียมด้วย 2 วิธีจึงมี สาร PVK และ สาร C₆₀

4.4 ตรวจสอบสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope

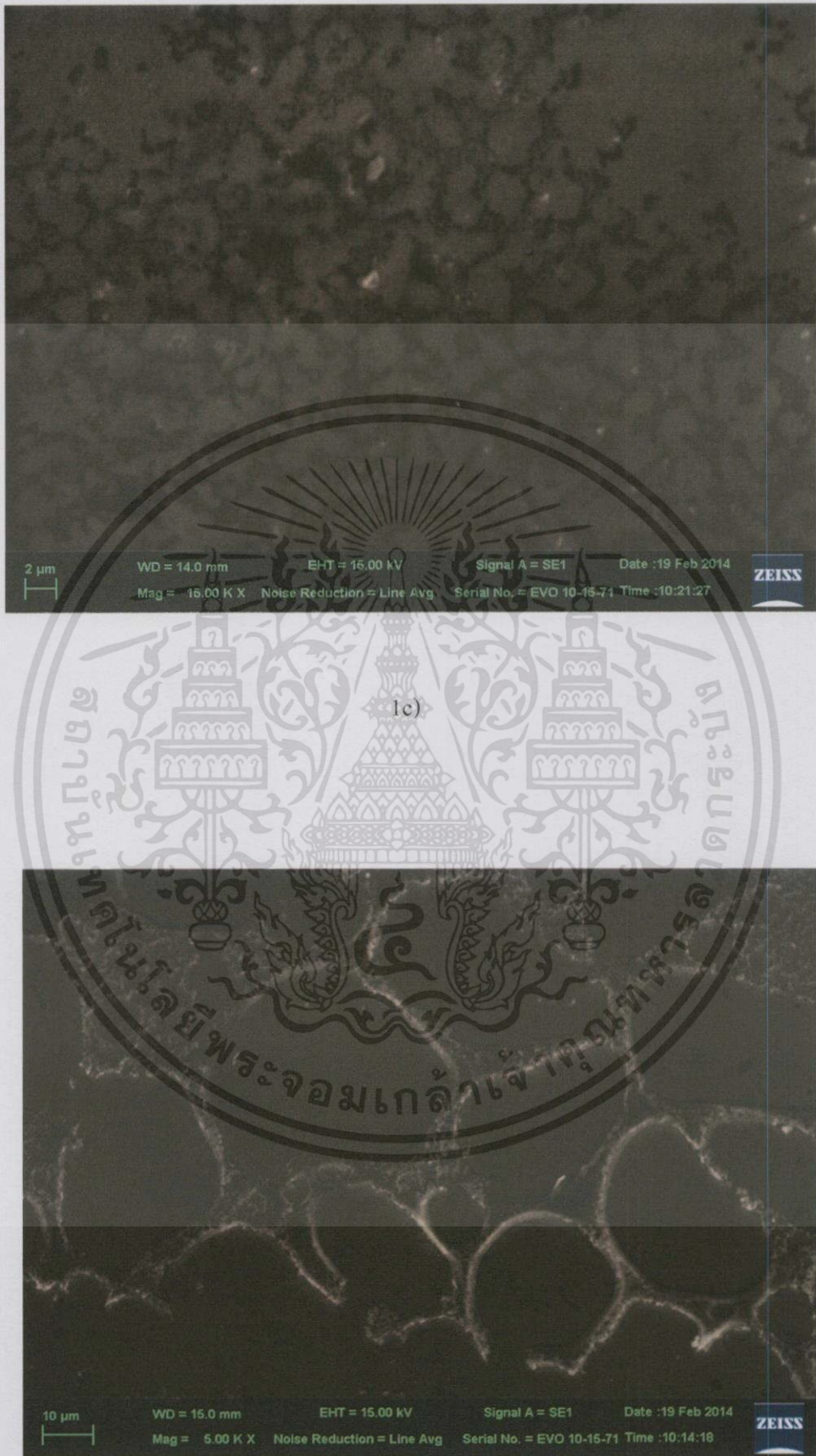


1a)



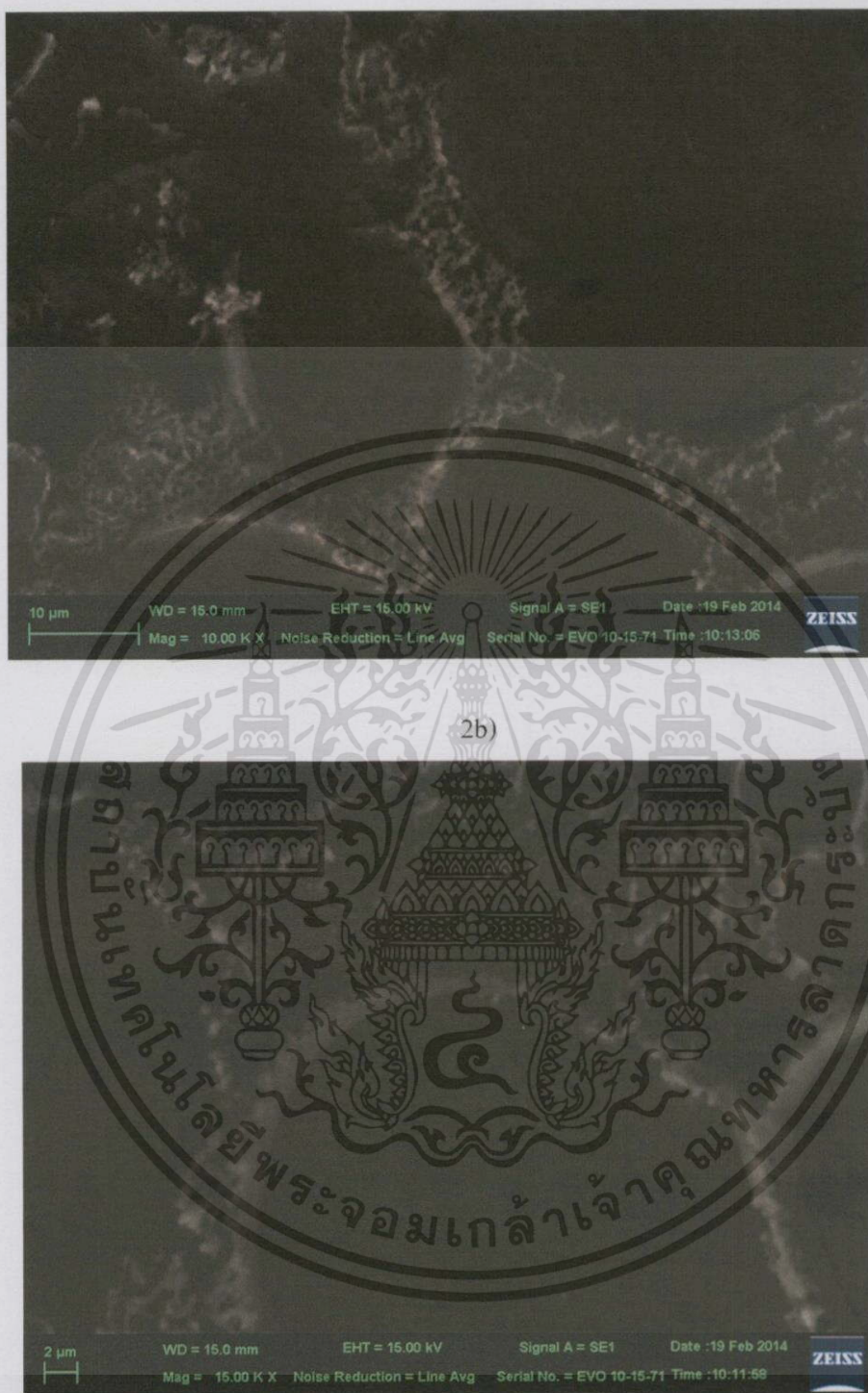
1b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2c)

รูปที่ 4.9 1a)-1c) ภาพแสดงพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบหมุนเคลือบ
 2a)-2b) ภาพแสดงพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK-C₆₀ แบบบอบอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 เราจะเห็นได้ว่าลักษณะโครงสร้างของฟิล์มบางที่ประกอบไปด้วย PVK กับ C_{60} จะมีลักษณะเป็นรูพรุน เนื่องจากสารที่เราใช้เป็นพอลิเมอร์ซึ่งเราจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเลยว่า การเตรียมฟิล์มแบบหมุนเคลือบจะได้ฟิล์มที่มีลักษณะเรียบและสม่ำเสมอกว่าแบบการอบอ่อน ทั้งนี้แล้วการกระจายตัวของ C_{60} จะกระจายตัวใน PVK ได้อย่างสม่ำเสมอในวิธีการแบบหมุนเคลือบมากกว่าแบบการอบอ่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการเตรียมฟิล์มบางพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอนอัลโลโทรปเป็นองค์ประกอบใช้ C_{60} โดยมีตัวนำเชิงแสงเป็น PVK เพื่อที่จะเตรียมและสังเคราะห์วัสดุโฟโตรีแฟกทีฟพอลิเมอร์ในอัตราส่วนของ 99.85:0.15 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การวิเคราะห์ผลการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง PVK- C_{60} จะสามารถดูดกลืนแสงได้ตั้งแต่แสงในย่านอัลตราไวโอเลตจนถึงอินฟราเรดจากการเตรียมฟิล์มทั้งแบบหมุนเคลือบและแบบบอบอ่อน ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งเราสามารถดูได้จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้ทั้ง 2 วิธีนั้นจะมีความสามารถในการดูดกลืนที่ใกล้เคียงอยู่ที่ประมาณ 1.0 แต่ทั้งนี้เนื่องจากมีกราฟเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของวิธีหมุนเคลือบมา 1 กราฟ เป็นเพราะว่าไม่สามารถที่จะตรวจค่าความสามารถการดูดกลืนของแสงได้ และในส่วนของค่าแถบพลังงานของ PVK เราจะเห็นได้ว่ามีค่าเท่ากับ 3.31 eV ที่ได้จากการคำนวณ เมื่อเทียบกับทฤษฎี 3.50 eV เนื่องจากว่าฟิล์มที่ได้เป็นฟิล์มที่ไม่บริสุทธิ์จึงทำให้ค่าแถบพลังงานแคบลง และนำไฟฟ้าดีกว่าเดิม

จากการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK- C_{60} ด้วยเครื่อง AFM การกระจายตัวของเนื้อฟิล์มที่เตรียมได้ในแต่ละวิธีนั้นสภาพพื้นผิวและความขรุขระของฟิล์มแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งเราพบว่า การกระจายตัวของเนื้อฟิล์มบางที่ได้เตรียมด้วยวิธีหมุนเคลือบค่อนข้างที่กระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอกว่าแบบบอบซึ่งวิธีการเตรียมแบบบอบได้อ้างอิงมาจาก [6] แต่ทว่าไม่สามารถเตรียมได้ดีเท่ากับแบบ Spin coating อาจเป็นเพราะว่าเม็ดพอลิเมอร์ของ PVK นั้นมีขนาดใหญ่เกินไปและตอนที่เตรียมสารละลายเพื่อทำฟิล์มมีการระเหยเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนทำให้ PVK กระจายตัวได้ไม่ดี ซึ่งตอนเตรียมสารละลายเราไม่สามารถมองเห็นเม็ดพอลิเมอร์ PVK จึงทำให้ไม่ทราบว่ามีเม็ดพอลิเมอร์ PVK นั้นกระจายตัวได้ดีในสารละลายแล้วหรือยัง แต่เราจะสังเกตได้เมื่อนำไปตรวจสอบสภาพพื้นผิว เพราะปลายเข็มของแคนทิลิวอร์มีขนาดเล็กกว่าขนาดของ PVK จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางได้

ในส่วนของการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง PVK- C_{60} ด้วยเครื่อง XRD ผลปรากฏว่าการเตรียมฟิล์มบาง PVK- C_{60} ทั้ง 2 วิธีนั้นได้ปรากฏของพีคของ PVK และ พีคของ C_{60} ทำให้มั่นใจได้ว่าการเตรียมฟิล์มบางทั้ง 2 วิธีนั้นเป็นฟิล์มบางในลักษณะที่เราต้องการใช้งานจริงแต่ทั้งนี้ฟิล์มบางที่ใช้มีส่วนผสมของพอลิเมอร์เวลาตรวจสอบพีคของสารแต่ละตัวค่อนข้างที่ตรวจสอบยาก

เนื่องจากว่าพอลิเมอร์ที่ใช้จัดอยู่ในกลุ่มพอลิเมอร์กิ่งผลึกซึ่งตั้งที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3 และในอัตราส่วนที่ได้ผสม C_{60} ลงไปน้อยมากๆ จึงทำให้ฟิสิกของ C_{60} แสดงได้ไม่เด่นชัดเท่ากับฟิสิกของ PVK สุดท้ายผลการวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มบางด้วยเครื่อง SEM เราจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของฟิล์มบางจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ ทั้งนี้แล้วเมื่อดูจากสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางจะเห็นได้ว่าวิธีการเตรียมฟิล์มแบบหมุนเคลือบจะมีลักษณะของเนื้อฟิล์มที่เรียบและสม่ำเสมอกว่าวิธีแบบอบอ่อน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะมีอุปกรณ์เครื่องมือทางเคมีในการเตรียมสารละลายเพื่อทำฟิล์มบางเนื่องจากอุปกรณ์บางชนิดหากขี้นภาควิชาอื่นอาจต้องรอคิวการใช้งานเป็นเวลานาน
2. โครงการพิเศษเล่มนี้ได้ทำตามรวมถึงเพิ่มวิธีการเตรียมฟิล์มตามงานวิจัยที่ได้อ้างอิงผลปรากฏว่าหากใช้วิธีเดียวกันกับงานวิจัยที่อ้างอิงมาจะได้ฟิล์มได้ไม่ดีเท่าวิธีการเตรียมแบบหมุนเคลือบ ฉะนั้นแล้วหากจะนำฟิล์มบางนี้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟต่อไป ควรจะเตรียมฟิล์มด้วยวิธีหมุนเคลือบ
3. เนื่องจากความไม่พร้อมและการจำกัดการใช้เครื่องมือหลายอย่างทำให้ได้ผลได้ออกมาไม่ดีมากนัก แต่ทว่าก็สามารถพิสูจน์สมบัติทางแสงได้แล้วเราสามารถนำฟิล์มบางสามารถนำไปใช้ได้จริง
4. ควรจะมีการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วย
5. หากจะนำไปศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟต่อไปควรมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากำลังสูงเพื่อให้กระตุ้นอิเล็กตรอนเกิดการทรานซิชันอาจจะเริ่มที่แหล่งกำเนิดขนาด 10 กิโลโวลต์ ก่อนก็ได้
6. ควรมีระบบรักษาหากความปลอดภัยที่ดี หากมีการใช้กำลังไฟฟ้าแรงดันสูง

5.3 แนวทางในการพัฒนา

หลังจากที่ได้ฟิล์มบางที่ต้องการมาได้แล้ว ควรจะนำไปสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วยจากนั้นนำฟิล์มบางที่ได้นำไปศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรกทีฟโดยติดตั้งอุปกรณ์แบบผสมคลื่นสองขบวน (Two-wave mixing) แล้วหามุมที่ดีที่สุดในการเกิดปรากฏการณ์การส่งผ่านลำแสง (Beam transfer) และในการหาผลการทดลองอื่นๆต่อไปรวมถึงสามารถนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพโซโลกราฟีได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Ashkin, G. D. Boyd, J.M. Dziedzic, R. G. Smith, A. A. Ballman, J. J. Levinstein, and K. Nassau, "Optical Induced Refractive Index Inhomogeneities in LiNbO₃ and LiTaO₃," Appl. Phys. Lett. 9, 72-74 (1966).
- [2] Pochi Yeh, "Introduction to Photorefractive Nonlinear Optics," 83 (1993)
- [3] W.E. Moerner and Scott M. Silence, "Polymeric Photorefractive Materials" Chem. Rev. 1994, 94, 127-155
- [4] Francis D'Souza, Karl M. Kadish, "Handbook Of Carbon Nano Materials: Volume 2 Electron Transfer and Application" (2011)
- [5] Grunnet-Jepsen, A.; Thompson, C. L.; Moerner, W. E. J. Opt. Soc. Am. B 1998, 15, 905.
- [6] H. Bader, A. R. Hansen, and F. J. McCarty, J. Org. Chem. 31, 2319 (1966).
- [7] A. D. Grishina, T. V. Krivenko, V. V. Savel'ev, R. W. Rychwalski, A. V. Vannikov, 2013, published in Khimiya Vysokikh Energii, 2013, Vol 47, No. 4, pp.303-307.
- [8] Yao-wen Bai, Xiao-fang Chen, Xin-hua Wan and Qi-feng Zhou, Chinese Journal of Polymer Science Vol. 20, No. 2, (2002), 155-159
- [9] Marappan Sathish, and Kun'ichi Miyazawa, Molecules 2012, 17, 3858-3865; doi:10.3390/molecules17043858
- [10] UV-VISIBLE Spectroscopy
สืบค้นข้อมูลจาก <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/component/k2/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html>
- [11] Atomic Force Spectroscopy (AFM)
สืบค้นข้อมูลจาก <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/219-atomic-force-microscope-afm.html>
- [12] X-ray Diffraction (XRD)
สืบค้นข้อมูลจาก <http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=hostclub&month=09-2008&date=08&group=4&gblog=1>
- [13] Scanning Electron Microscope (SEM)
สืบค้นข้อมูลจาก
<http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/218-scanning-electron-microscopysem-.html>
- [14] ie.eng.cmu.ac.th/elearning/259103/download/Polymers.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

[15] สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ สืบค้นข้อมูลจาก

http://school.scimath.org/index.php?option=com_community&view=groups&task=viewbulletin&groupid=5&bulletinid=61&Itemid=76

[16] ผศ.ดร.นราธิป วิทยากร. (2555). เทคนิคการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มีนเซอร์วิส ชัพพลาย.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้