

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปลูกฟิล์มบางเพนทาซีนโดยระบบระเหยสารอินทรีย์



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **76643**
-3 S.H. 2550
วัน,เดือน,ปี.....

b. 118 50486
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Growth of Pentacene Thin Films by Organic Evaporator System



Miss.Khunlada Suteeravach

Miss.Keawalee Tuntiplusbthong

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor
of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน โดยระบบระเหยสารอินทรีย์
นักศึกษา นางสาวกุลรดา สุธีระเวช
 นางสาวเกวลี ตันติพลับทอง
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.วิชาญ เดชิตธีระ	
กรรมการ	รศ.วิญญู เพชรภา	
กรรมการ	อ.ทศิยาภรณ์ ทิววงศ์	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว	



 (รองศาสตราจารย์วิชาญ เดชิตธีระ)
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน โดยระบบระเหยสารอินทรีย์
นักศึกษา	นางสาวกฤตดา สุธีระเวชช์ นางสาวเกวที ตันติพิลัททอง
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นโครงการพัฒนาสารกึ่งตัวนำอินทรีย์โดยใช้ระบบระเหยสารอินทรีย์ในสุญญากาศความดันต่ำกว่า 10^{-6} มิลลิบาร์ เพื่อนำไปสู่การประดิษฐ์อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งระบบระเหยสารนี้สามารถควบคุมอัตราการระเหยของสารได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และมีความสม่ำเสมอ โดยในการทดลองนี้ เราได้ทำการปลูกฟิล์มบางที่มีความหนาต่างๆกัน ฟิล์มบางตัวอย่างที่เตรียมขึ้นตามเงื่อนไข คือ สารอินทรีย์เพนทาซีน ในขณะที่สารที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าแบบชอตกี คือ อลูมิเนียม ซึ่งสมบัติทางโครงสร้างผลึกจะถูกตรวจสอบด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และศึกษาสภาพพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดสมบัติทางแสง โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลจากการพัฒนาสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ จะนำมาทำการทดลองประดิษฐ์อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ คือ โฟโตโวลตาอิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Growth of Pentacene Thin Films by Organic Evaporator System
Name Khunlada Suteeravach
 Keawalee Tuntiubthong
Department Applied Physics Faculty of Science
Program Applied Physics
Academic Year 2006
Special Project Advisor Assoc.Dr.Jiti Nukhaew

ABSTRACT

The objective of this special project is to develop an organic semiconductor by using high vacuum (less than 10^{-6} milibar) organic thermal evaporation system in order to produce Optoelectronic Fabrication device. Organic Thermal Evaporation System is capable of controlling the evaporation rate with very high stability and precision. In this experiment, we deposited the pentacene thin films in various thickness conditions. The sample thin films developed according to the defined conditions were organic pentacene, developed using Aluminum as a Schottky electrode. The properties of the crystal structure and morphology were examined by x-ray diffractometer and atomic force microscope respectively. In addition, the UV-VIS spectrophotometer was used to study the optical properties. The results from organic semiconductor development can be used to fabricate the photovoltaic-optoelectronic device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณา จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมทั้ง อาจารย์เบญจพล ต้นฐีและอาจารย์ทุติยาภรณ์ ทิววงศ์ ที่ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะและข้อแนะนำต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.สุวรรณ คูสำราญ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ และ รศ.วิญญู เพชรภา กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ให้คำชี้แนะและตรวจแก้ จนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction : XRD)

ขอขอบคุณพี่ๆจากห้องปฏิบัติการควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง (QOSLab) ทุกคนที่ให้กำลังใจและคำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ จากห้องปฏิบัติการควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง (QOSLab) ทุกคนที่ให้กำลังใจกันเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีและประโยชน์อันเกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับมารดาและบิดาอันเป็นที่รักและเคารพ ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

นางสาวกุลรดา สุธีระเวชช์

นางสาวเกวลี ดันติพิลับทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 การดำเนินงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 สมบัติและโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลสารอินทรีย์	5
2.1.1 พันธะของสารอินทรีย์	5
2.2 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (organic semiconductor)	10
2.2.1 โมเลกุลขนาดเล็ก (small molecule)	12
2.3 สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำโฟโตโวลตาอิก	13
2.3.1 รอยต่อของโลหะและสารกึ่งตัวนำ (Metal-semiconductor junction)	13
2.3.2 หลักการทำงานของตัวตรวจรับแสงชนิดซีแบเรียม	18
2.3.3 กระบวนการเกิดการไหลของกระแส (Current transport process)	19
2.4 สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างโฟโตไดโอดอินทรีย์	20
2.5 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง	21
2.5.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	21
2.5.2 การศึกษาสมบัติทางแสงด้วยวิธีวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง	26
2.5.3 การศึกษาสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม(AFM)	30
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์ (Low Temperature Evaporation System ; LTE)	35
3.2 สารอินทรีย์ที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง	43
3.3 การทำความสะอาดฐานรองรับ	44
3.4 การปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน	45
3.4.1 การปลูกฟิล์มบางของสารอินทรีย์ เพนทาซีน ที่ความหนาต่างกัน	45
3.5 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบางเพนทาซีน	45
3.5.1 การตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้าง โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	45
3.5.2 การตรวจสอบพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอม	46
3.5.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสงด้วย UV-VIS Spectrophotometer	47
3.6 ขั้นตอนการสร้างโฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์	48
3.6.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับ	48
3.6.2 ขั้นตอนการสร้างโฟโตโวลตาอิกด้วยสารอินทรีย์เพนทาซีนและขั้วไฟฟ้าด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ด้วยความร้อน	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	51
4.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางสารอินทรีย์ Pentacene	51
4.1.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	51
4.1.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม	53
4.1.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง	55
4.2 ทำการสร้างโฟโตโวลตาอิกด้วยสารอินทรีย์ Pentacene	57
4.2.1 ผลจากการทดลองโฟโตโวลตาอิกจากลักษณะโครงสร้างของ ITO/Pentacene/Al	57
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุป	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของสารอินทรีย์เพนทาซีน	20
ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของสารอินทรีย์เพนทาซีน	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของออร์บิทัล 1s ที่มีลักษณะเป็นแบบทรงกลม	5
รูปที่ 2.2 ออร์บิทัล 2p ที่ถูกแบ่งโดยระนาบัพ คล้ายกับลูกขี้ม โดยทั้งสองด้านจะมีเฟสต่างกัน	5
รูปที่ 2.3 ออร์บิทัล d ตามลักษณะของการกระจาย	6
รูปที่ 2.4 ลักษณะการซ้อนทับของพันธะซิกมา	7
รูปที่ 2.5 ระดับพลังงานของออร์บิทัล โมเลกุลเมื่อเกิดการซ้อนทับของพันธะซิกมา	7
รูปที่ 2.6 ลักษณะการซ้อนทับของพันธะพาย	8
รูปที่ 2.7 sp ออร์บิทัลแบบไฮบริด	8
รูปที่ 2.8 sp ² ออร์บิทัลแบบไฮบริด	9
รูปที่ 2.9 sp ³ ออร์บิทัลแบบไฮบริด	9
รูปที่ 2.10 การกระจายของอิเล็กตรอน และการเกิด sp ² ออร์บิทัล ของคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่	10
รูปที่ 2.11 พันธะซิกมาในวงของเบนซีน และพันธะพายในวงของเบนซีน	11
รูปที่ 2.12 ระดับพลังงานพันธะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมข้างเคียงภายในวงเบนซีน	12
รูปที่ 2.13 แสดงรอยต่อแบบซอดกัเบเรียซึ่งเกิดจากการที่สารกึ่งตัวนำแบบเอ็นสัมผัสกับโลหะซึ่งมีค่าฟังก์ชันงาน สูงกว่า	
(ก) แผนภาพพลังงานของ โลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการต่อกัน	
(ข) แผนภาพพลังงานของรอยต่อที่สภาวะสมดุล	14
รูปที่ 2.14 แสดงรอยต่อซอดกัเบเรียซึ่งเกิดจากการที่สารกึ่งตัวนำแบบพี สัมผัสกับโลหะซึ่งมีค่าฟังก์ชันงานต่ำกว่า	
(ก) แผนภาพพลังงานของ โลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการต่อกัน	
(ข) แผนภาพพลังงานของหัวต่อที่สภาวะสมดุล	15
รูปที่ 2.15 ผลของการไบอัสผิวสัมผัส	
(ก) ไบอัสตาม	
(ข) ไบอัสย้อน	16
รูปที่ 2.16 แสดงรอยต่อโลหะ-สารกึ่งตัวนำแบบโอห์มมิก	
(ก) $\phi_m < \phi_s$ ในกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
(ข) แผนภาพพลังงานของรอยต่อที่สภาวะสมดุล	
(ค) $\phi_m > \phi_s$ ในกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดพี	
(ง) รอยต่อที่สภาวะสมดุล	17
รูปที่ 2.17 แสดง energy band diagram ของรอยต่อชนิดทีเบเรียว	
(ก) โลหะ – สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	
(ข) โลหะ – สารกึ่งตัวนำชนิดพี	18
รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของเพนทาซิน	20
รูปที่ 2.19 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์	21
รูปที่ 2.20 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer	22
รูปที่ 2.21 แสดงตัวตรวจวัดของ X-ray diffractometer	22
รูปที่ 2.22 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	23
รูปที่ 2.23 แสดงค่าคงที่แสดงทิศของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ	25
รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงทะลุผ่านตัวกลาง	26
รูปที่ 2.25 แสดงไดอะแกรมของโมนอโครเมเตอร์	28
รูปที่ 2.26 แสดงเครื่อง UV-VIS spectrophotometer	29
รูปที่ 2.27 แสดงระบบวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง	30
รูปที่ 2.28 แผนภาพระบบแสงที่ใช้วัดการโค้งงอของคาน (Cantilever)	31
รูปที่ 2.29 กราฟแรงอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลที่ขึ้นอยู่กับระยะห่าง	32
รูปที่ 2.30 ลักษณะการสั่นของคาน	33
รูปที่ 2.31 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอมของบริษัท Seiko รุ่น SPA400	33
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34
รูปที่ 3.2 ระบบประเหยสารอินทรีย์	35
รูปที่ 3.3 แผนภาพระบบสุญญากาศของระบบประเหยสารอินทรีย์	36
รูปที่ 3.4 หัวระเหยสารอินทรีย์	37
รูปที่ 3.5 ชุดควบคุมการระเหยสารของระบบประเหยสารอินทรีย์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง	38
รูปที่ 3.7 ผลึกควอทซ์	38
รูปที่ 3.8 เครื่องแสดงผลความหนาฟิล์มบาง	39
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง	39
รูปที่ 3.10 ลักษณะของปั๊มกลโรตารี	40
รูปที่ 3.11 ลักษณะของปั๊มกังหันโมเลกุล	41
รูปที่ 3.12 ลักษณะของเกจพิราณี	42
รูปที่ 3.13 ลักษณะของเกจเพ็นนิง	42
รูปที่ 3.14 (ก) แสดงโครงสร้างของเพนทาซิน (ข) สารเพนทาซิน	43
รูปที่ 3.15 แสดงอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการล้างฐานรองรับ	44
รูปที่ 3.16 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8 Advance	46
รูปที่ 3.17 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอมของบริษัท Seiko รุ่น SPA400	46
รูปที่ 3.18 แสดงเครื่อง UV-VIS spectrometer ของบริษัท thermo Spectronic รุ่น Heλ105γ	47
รูปที่ 3.19 แสดงหน้าฉากสำหรับระเหยสารอินทรีย์เพนทาซิน	48
รูปที่ 3.20 แสดงภาพหลังจากการปลูกฟิล์มบางเพนทาซิน	49
รูปที่ 3.21 แสดงหน้าฉากสำหรับระเหยซิลิโคน	49
รูปที่ 3.22 แสดงภาพหลังจากการปลูกซิลิโคน	50
รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเพนทาซินที่ ความหนา 200 นาโนเมตร	51
รูปที่ 4.2 รูปแสดงผลจากการวัดกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความหนา ในช่วง 10 nm, 50 nm, 80 nm, 100 nm และ 200 nm	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 รูปแสดงค่าของการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยแกนแนวนอนเป็นแกนของความยาวคลื่น โดยทำการปลูกสารที่ความหนา ต่างๆ โดยไม่มีการให้อุณหภูมิกับฐานรองรับ	55
รูปที่ 4.5 รูปแสดงค่าของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยแกนแนวนอนเป็นแกนของพลังงานโฟตอน โดยทำการปลูกสารที่ความหนา ต่างๆ โดยไม่มีการให้อุณหภูมิกับฐานรองรับ	56
รูปที่ 4.6 รูปแสดงไดอะแกรมของชั้นพลังงานที่ได้จากวัดค่าของการดูดกลืนที่ช่วงต่างๆ	57
รูปที่ 4.7 แสดงโฟโต โวลตาอิกจาก โครงสร้าง ITO/Pentacene/Al	58
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะ โฟโต โวลตาอิกจาก โครงสร้าง ITO/Pentacene /Al	58
รูปที่ 4.9 แสดงโฟโต โวลต์ไดอิก หลังจากทำการฉายแสง จะ ได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่ 139 มิลลิโวลต์	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในยุคแรกของการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้คือ ซิลิกอน (Si) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ แต่เนื่องจากซิลิกอนมีข้อเสียบางประการได้แก่

1. ในขบวนการผลิต ต้องใช้เงินลงทุนสูง
2. ซิลิกอนมีแถบพลังงานแบบไม่ตรง (Indirect Bandgap) ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง (Optoelectronic Applications) เช่น เลเซอร์ และ ไดโอดเปล่งแสง (LED)
3. เนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิสูงในขบวนการสร้าง ทำให้ยากต่อการรวมกับส่วนประกอบอื่นๆ และ โครงสร้างขนาดเล็ก

ในปัจจุบันสารอินทรีย์จึงถูกนำมาประยุกต์สร้างเป็นสารกึ่งตัวนำกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถปลูกบนฐานรองรับที่มีความยืดหยุ่นได้และใช้อุณหภูมิในการระเหิดต่ำ ซึ่งเป็นการเปิดวิสัยทัศน์ในการพัฒนาการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนฐานรองรับที่มีราคาถูก มีความยืดหยุ่น มีขนาดใหญ่ อย่างเช่น ผ้า , พลาสติก และ กระดาษพอยล์ เป็นต้น

สารอินทรีย์ถูกนำมาประยุกต์สร้างเป็น สวิตซ์เชิงแสง ไดโอดเปล่งแสง ตัวตรวจวัดแสง เซนเซอร์ และทรานซิสเตอร์ฟิล์มบาง อุปกรณ์สารประกอบอินทรีย์สามารถผลิตได้โดยใช้ขบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและมีต้นทุนต่ำ ซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น organic source , screen printing , spin casting เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้สารอินทรีย์ที่เราจะทำการศึกษาคือ เพนทาซีน (Pentacene)ซึ่งได้เริ่มมีการศึกษาโครงสร้างผลึกของเพนทาซีนตั้งแต่ช่วงต้นทศวรรษที่ 60 โดย Campbell และคณะ โดยได้ทำการปลูกผลึกเดี่ยวของเพนทาซีนจากสารละลาย พบว่ามีระนาบ (001) และระยะห่างระหว่างระนาบอยู่ที่ 14.4 Å และต่อมาในปี 1991 Minakata และคณะ ได้เสนอผลงานวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มบางของเพนทาซีนในระนาบ (001) มีระยะห่างระหว่างระนาบอยู่ที่ 15.0 Å และ 15.4 Å ส่งผลให้ตั้งแต่ทศวรรษที่ 90 เพนทาซีน ได้ถูกนำมาประยุกต์สร้างเป็นทรานซิสเตอร์กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งต่อมา Dimitrikopoulos และคณะ ได้อธิบายว่าเพนทาซีนในระนาบ (001) ที่มีระยะห่างระหว่างระนาบ 15.4 Å มีความแตกต่างกับเพนทาซีนในระนาบ (001) ที่มีระยะห่างระหว่างระนาบ 14.4 Å ซึ่งเป็นผลึกเดี่ยว ต่อมา ได้มีการศึกษาถึงความแตกต่างของเฟสทั้ง สอง (15.4 Å และ 14.4 Å) ขึ้นเป็นครั้งแรก โดย Schoonveld และคณะ ซึ่งทำให้ทราบความสัมพันธ์ว่า 15.4 Å เป็นเฟสที่บอกถึงความเป็นฟิล์มบาง และ 14.4 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อประโยชน์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับความยินยอมจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลที่บอกถึงความเป็นผลึกเดี่ยว แต่ข้อนี้ทำให้เกิดความสับสน จึงได้มีการกำหนดโครงสร้างผลึกเดี่ยวของเพนทาซีนในระนาบที่ (001) ขึ้นมาใหม่ ว่ามีระยะห่างระหว่างระนาบเป็น 14.1 Å โดย Holmes , Siegrist และ Mattheus

เนื่องด้วยสมบัติต่างๆของฟิล์มบางเพนทาซีน สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเงื่อนไขในการปลูก ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการกำหนดเงื่อนไขในการปลูกที่แตกต่างกัน และทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเพนทาซีน เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขในการปลูกที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์ต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการปลูกฟิล์มบางของสารอินทรีย์ เพนทาซีน ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ (Organic evaporator System)

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเฉพาะทางด้านสภาพพื้นผิว ของฟิล์มบางของสารอินทรีย์ เพนทาซีน ด้วยการใช้อุปกรณ์จุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope : AFM)

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติเฉพาะทางด้านโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางของสารอินทรีย์ เพนทาซีน จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติเฉพาะทางแสง ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร (UV-Visible Spectrophotometer)

1.2.5 เพื่อศึกษาการสร้างโฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์เพนทาซีน

1.3 การดำเนินงานวิจัย

เริ่มต้นจากการศึกษาหลักการทํางาน เรียนรู้การใช้งาน และ การควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบระเหยสารอินทรีย์(Organic Evaporator System) ให้มีความชำนาญโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของเครื่องและผู้ใช้งาน รวมถึงศึกษาและเรียนรู้การใช้งานเครื่องมือตรวจวัดคุณสมบัติเฉพาะทางโครงสร้างของฟิล์มบางต่างๆด้วย จากนั้นพัฒนาเทคนิคขบวนการการปลูกฟิล์มบางให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถทดลองซ้ำแล้วได้ผลลัพธ์เหมือนเดิม ซึ่งมีเงื่อนไขในการทดลองปลูกฟิล์มบางสารอินทรีย์ เพนทาซีน(Pentacene) ดังนี้

1.3.1 ศึกษาการปลูกฟิล์มบางของสารอินทรีย์ เพนทาซีน โดยระบบระเหยสารอินทรีย์

1.3.2 ศึกษาการปลูกฟิล์มบางของสารอินทรีย์ เพนทาซีนที่มีความหนาต่างกัน

1.3.3 เมื่อปลูกฟิล์มบางสารอินทรีย์ เพนทาซีนได้แล้วนำไปตรวจวัดสมบัติเฉพาะทาง

โครงสร้าง และสมบัติเฉพาะทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ศึกษาการสร้างโฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 มีความรู้และสามารถใช้งานระบบระเหยสารอินทรีย์(Organic Evaporator System)ได้อย่างชำนาญและมีประสิทธิภาพ

1.4.2 มีความรู้ความชำนาญในการวัดและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม(Atomic force microscope : AFM) และเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร(UV-Visible Spectrophotometer)

1.4.3 สามารถพัฒนาเทคนิคการปลูกฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีน ที่มีคุณภาพสูงด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ (Organic Evaporator System)

1.4.4 มีความรู้ความสามารถในการสร้างโฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยประกอบด้วย สมบัติและโครงสร้างพื้นฐาน โมเลกุลของสารอินทรีย์ สมบัติของสารอินทรีย์ ทั้งสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง สมบัติทางไฟฟ้าและหลักการของตรวจวัดคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางที่ได้ทำการปลูก

2.1 สมบัติและโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะตอมของธาตุพื้นฐานคือ H, C ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างหลายแบบและมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสารบางชนิดสามารถสังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ

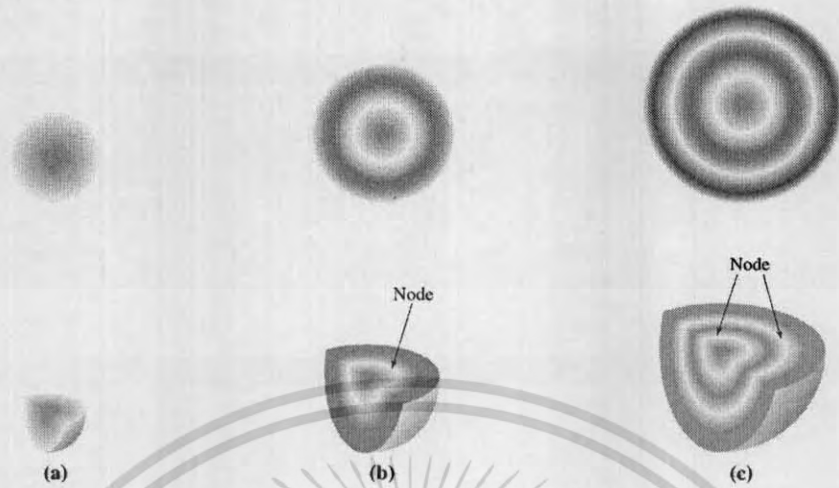
2.1.1 พันธะของสารอินทรีย์

2.1.1.1 ออร์บิทัลอะตอม (atomic orbital)

ออร์บิทัลอะตอม คือบริเวณที่มีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนมากที่สุดรอบนิวเคลียส โดยมีลักษณะเป็นฟังก์ชันคลื่น

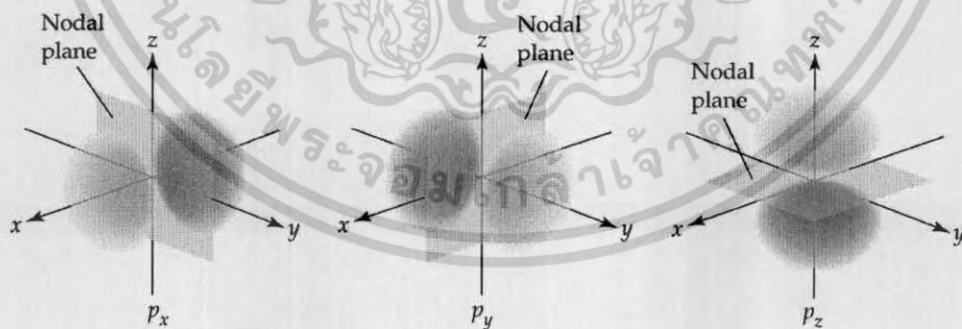
1. *s*-ออร์บิทัล เป็นออร์บิทัลที่แสดงถึงโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส โดยมีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งการกระจายของอิเล็กตรอนจะไม่ขึ้นกับทิศทางเนื่องจากมีเลขควอนตัมเชิงมุม (angular momentum quantum number) เท่ากับศูนย์

ในอะตอมที่มี *s*-ออร์บิทัล มากกว่าหนึ่งออร์บิทัล เช่นมีทั้ง 1s, 2s, 3s, ... ภายในทรงกลมบริเวณระหว่าง 1s กับ 2s หรือ 2s กับ 3s โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนบริเวณนี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์เรียกบริเวณนี้ว่า โหนด (node) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของออร์บิทัล 1s ที่มีลักษณะเป็นแบบทรงกลม

2. *p*-ออร์บิทัล มีเลขควอนตัมเชิงมุม $l = 1$ โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนใน *p*-ออร์บิทัล จะขึ้นกับระยะจากนิวเคลียสและทิศทาง มีค่าเลขควอนตัมแม่เหล็ก (magnetic quantum number) $m_l = +1, 0, -1$ โดย *p*-ออร์บิทัล มีลักษณะเป็นเหมือนห่วง (loop) 2 ห่วงต่อกันและมีการกระจาย 3 ลักษณะ คือ p_x, p_y, p_z แสดงดังรูปที่ 2.2

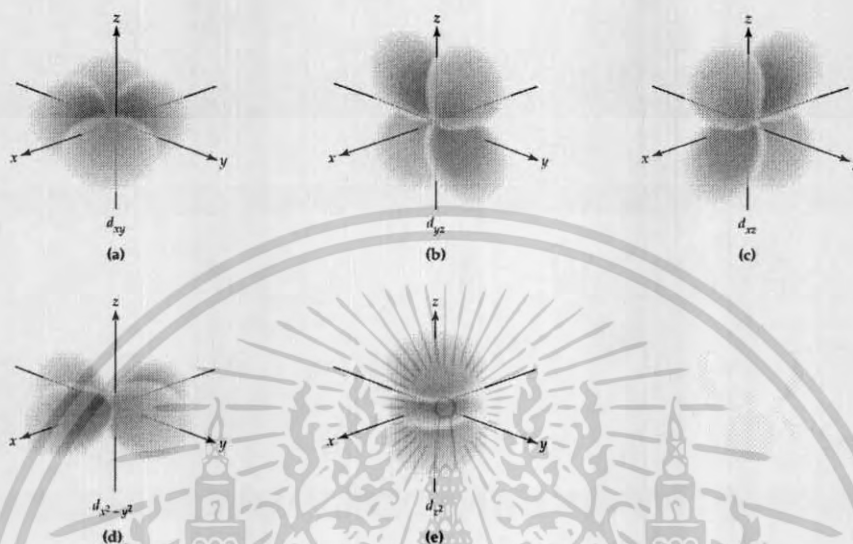


รูปที่ 2.2 ออร์บิทัล 2p ที่ถูกแบ่งโดยระนาบัพ คล้ายกับลูกตุ้ม โดยทั้งสองด้านจะมีเฟสต่างกัน

3. *d*-ออร์บิทัล มีเลขควอนตัมเชิงมุม $l = 2$ โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนใน *d*-ออร์บิทัล จะขึ้นกับระยะจากนิวเคลียสและทิศทาง มีค่าเลขควอนตัมแม่เหล็ก (magnetic quantum number) $m_l =$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+2,+1,0,-1,-2 โดย d-ออร์บิทัล มีการกระจาย 5 ลักษณะคือ d_{xy} , d_{xz} , d_{yz} , $d_{x^2-y^2}$, d_{z^2} แสดงดัง รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ออร์บิทัล d ตามลักษณะของการกระจาย

2.1.1.2 ออร์บิทัลโมเลกุล (Molecular Orbital)

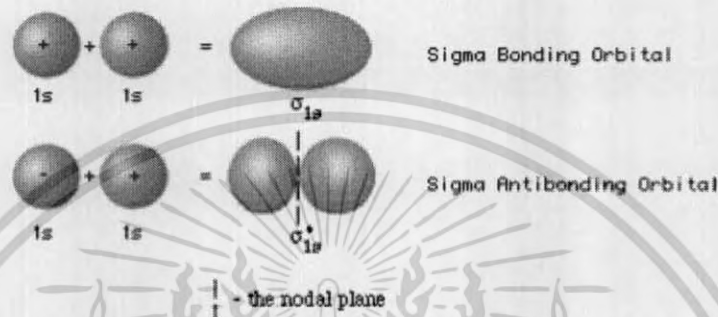
ตามทฤษฎีแล้ว โมเลกุลเกิดจากการเกิดอันตรกิริยาของออร์บิทัลอะตอมทำให้เกิดการซ้อนทับ หรือการผลักรันระหว่างออร์บิทัลอะตอม ซึ่งลักษณะการเกิดอันตรกิริยาของออร์บิทัลอะตอมจะมี 2 ลักษณะ

1. ออร์บิทัล โมเลกุลที่สร้างพันธะ (*bonding molecular orbital*) เนื่องจากออร์บิทัลอะตอมมีสถานะที่ตรงกัน ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมีมากบริเวณนิวเคลียสของอะตอมทั้งสอง และทำให้เกิดเป็นพันธะระหว่างอะตอม
2. ออร์บิทัล โมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะ (*antibonding molecular orbital*) เนื่องจากออร์บิทัลอะตอมมีสถานะที่ตรงข้ามกัน ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะกระจายอยู่นอกบริเวณนิวเคลียสของอะตอมทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

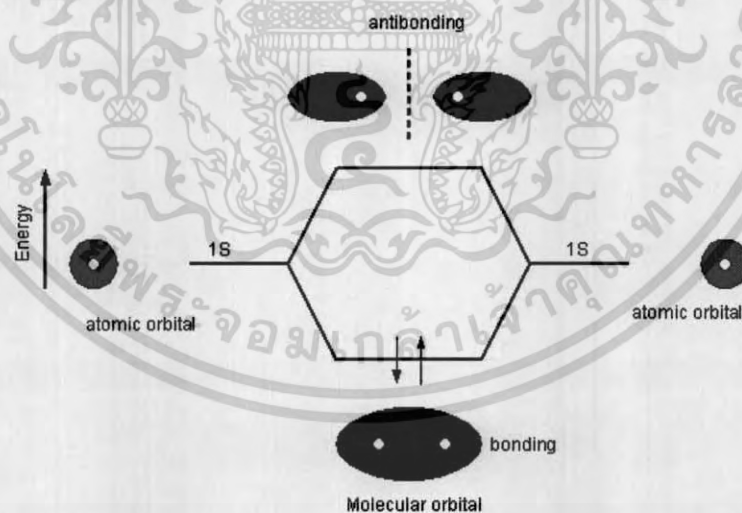
พันธะที่เกิดการซ้อนทับของออร์บิทัลโมเลกุล จะมี 2 ลักษณะคือ

1. พันธะซิกมา (σ -bond) เกิดจากการซ้อนทับลักษณะปลายชนปลาย หรือ หัวชนหัว (Head to head) โดยมีลักษณะการซ้อนทับและการผลึกกัน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการซ้อนทับของพันธะซิกมา

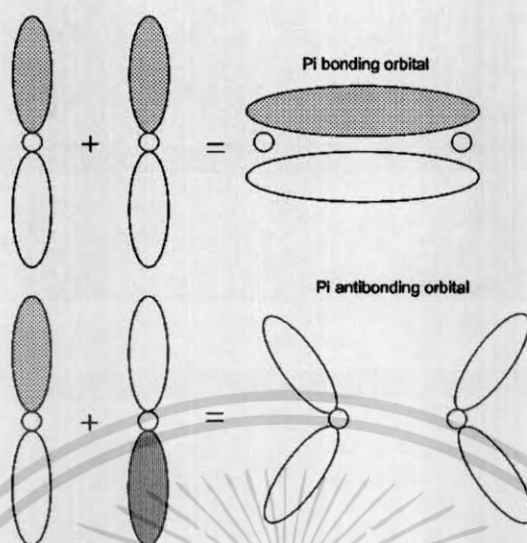
การรวมกันของออร์บิทัล s จะได้ออร์บิทัลโมเลกุลแบบซิกมาเท่านั้นและระดับพลังงานของออร์บิทัลที่สร้างพันธะจะต่ำกว่าระดับพลังงานของออร์บิทัลที่ดำเนินการสร้างพันธะและต่ำกว่าระดับพลังงานของออร์บิทัลอะตอมด้วยแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลเมื่อเกิดการซ้อนทับของพันธะซิกมา

2. พันธะพาย (π -bond) เกิดจากการซ้อนทับด้านข้าง (side to side) ซึ่งเป็นการซ้อนทับและการผลึกกัน ระหว่างออร์บิทัล p_x กับ p_x หรือ p_y กับ p_y แสดงดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

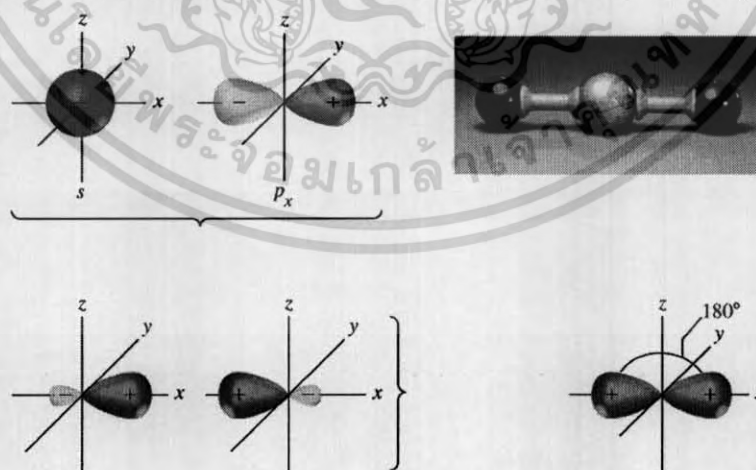


รูปที่ 2.6 ลักษณะการซ้อนทับของพันธะพาย

2.1.1.3 ไฮบริดออร์บิทัล (hybrid orbital)

ไฮบริดออร์บิทัล เกิดจากการซ้อนทับกันระหว่างออร์บิทัลอะตอมต่างชนิดกันเช่น ออร์บิทัล s กับ ออร์บิทัล p

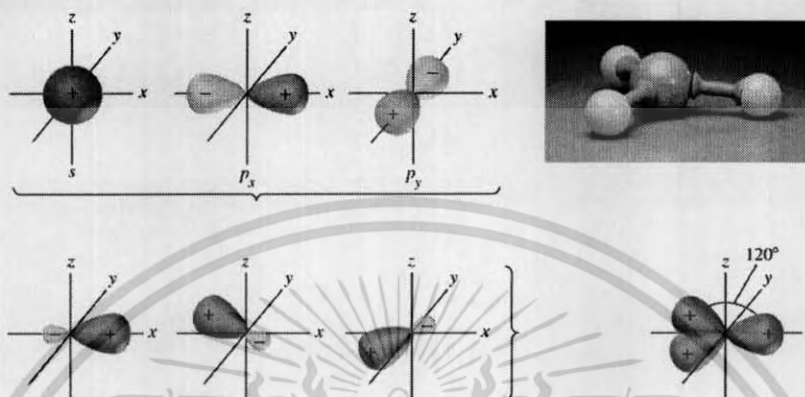
1. *sp* ไฮบริดออร์บิทัล เกิดจากการซ้อนทับระหว่างออร์บิทัล s 1 ออร์บิทัลกับออร์บิทัล p 1 ออร์บิทัล มีการจัดเรียงตัวเป็นแบบเชิงเส้น (linear bonding arrangement) แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 *sp* ออร์บิทัลแบบไฮบริด

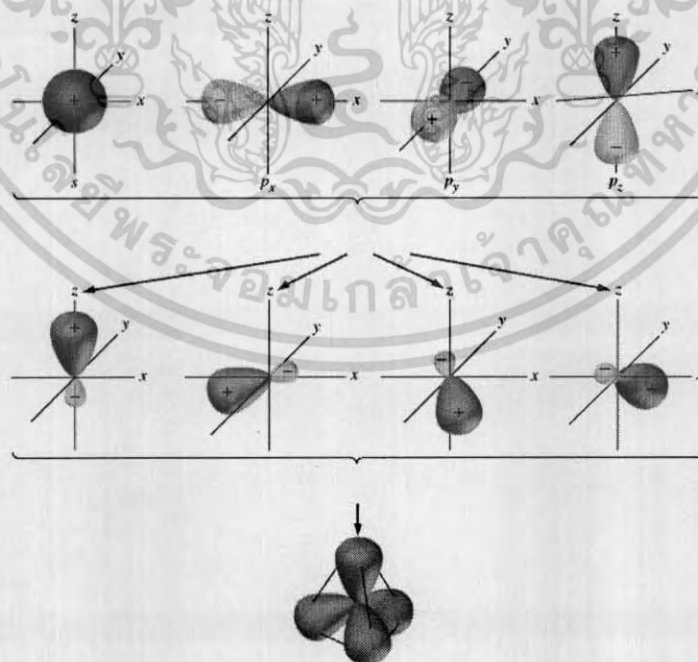
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล เกิดจากการซ้อนทับระหว่างออร์บิทัล s 1 ออร์บิทัลกับออร์บิทัล p 2 ออร์บิทัลมีการจัดเรียงตัวแบบไตรโกนอล (trigonal arrangement) แต่ละด้านจะทำมุมกัน 120° แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 sp^2 ออร์บิทัลแบบไฮบริด

3. sp^3 ไฮบริดออร์บิทัล เกิดจากการซ้อนทับระหว่างออร์บิทัล s 1 ออร์บิทัลกับออร์บิทัล p 3 ออร์บิทัลมีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (tetrahedral arrangement) โดยแต่ละด้านจะทำมุมกัน 109.5° แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 sp^3 ออร์บิทัลแบบไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดไฮบริดเซชันในพันธะต่างๆจะประกอบด้วยพันธะซิกมาและพันธะพายดังนี้

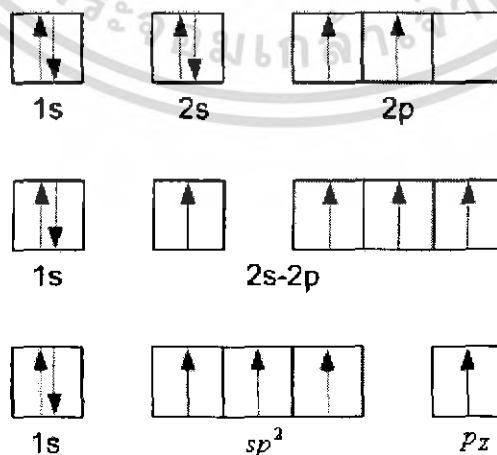
1. พันธะเดี่ยว (single bond) เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ โดยออร์บิทัลมีการซ้อนทับกันแบบซิกมา ดังนั้น พันธะเดี่ยวบางครั้งเรียกว่าพันธะซิกมา
2. พันธะคู่ (double bond) เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ โดยออร์บิทัลมีการซ้อนทับกันแบบซิกมา 1 คู่ และแบบพาย 1 คู่
3. พันธะสาม (triple bond) เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ โดยออร์บิทัลมีการซ้อนทับกันแบบซิกมา 1 คู่ และแบบพาย 2 คู่

2.2 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (organic semiconductor)

สารอินทรีย์ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะตอมของธาตุพื้นฐานคือ H, C, O, N ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างหลายแบบและมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสารบางชนิดสามารถสังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ

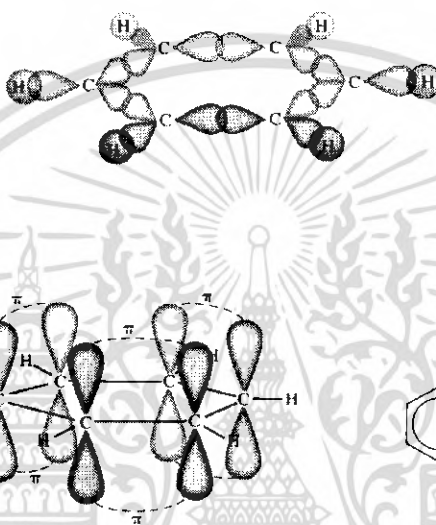
สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเฉพาะเมื่อนำมาทำการทดลองและวิเคราะห์ทางฟิสิกส์พบว่า สารอินทรีย์ดังกล่าวมีแถบพลังงานต้องห้าม (forbidden bandgap) จึงเรียกสารดังกล่าวว่าเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์จะมีโครงสร้างพื้นฐานของอะตอมคาร์บอนซึ่งเป็นแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล เมื่อพิจารณาพันธะของอะตอมคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่ ภายในพันธะคู่จะประกอบด้วยพันธะซิกมา 1 คู่ พันธะพาย 1 คู่ ส่วนพันธะที่เหลือจะเป็นพันธะซิกมาทั้งหมดเนื่องจากเป็นพันธะเดี่ยวดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การกระจายของอิเล็กตรอน และการเกิด sp^2 ออร์บิทัล ของคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาอะตอมของคาร์บอนที่ภายในวงของเบนซีน (benzene, C_6H_6) อะตอมของคาร์บอนเป็นแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล มีพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยว ในแนวระนาบของวงเบนซีนจะมีระนาบของพันธะซิกมาซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างอะตอมของ คาร์บอนกับคาร์บอน และอะตอมของ คาร์บอนกับไฮโดรเจน และภายในวงของเบนซีนส่วนที่เป็น p_z ออร์บิทัล จะเกิดเป็นพันธะพายที่เกิดจากพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน 3 คู่ ดังรูปที่ 2.11

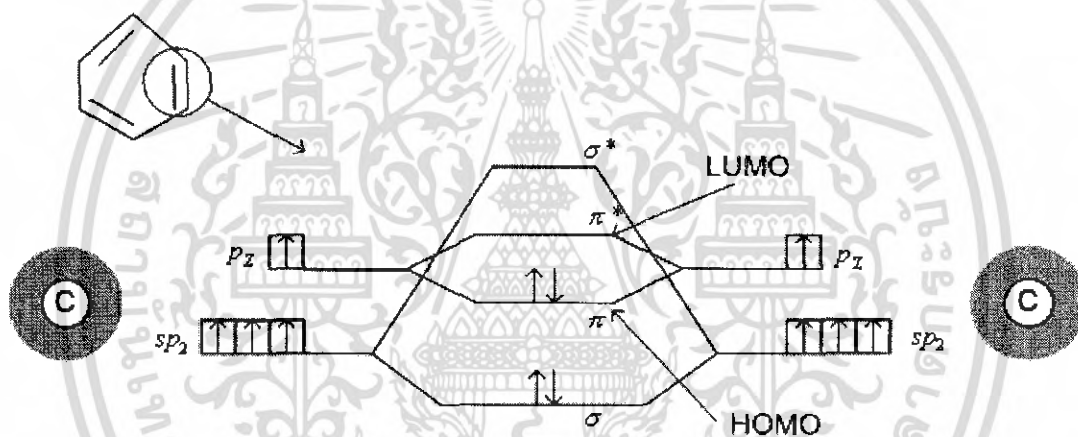


รูปที่ 2.11 พันธะซิกมาในวงของเบนซีน และพันธะพายในวงของเบนซีน

เมื่อพิจารณาถึงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ในลักษณะของโมเลกุลออร์บิทัลแล้วจะพบว่าลักษณะของการเกิดพันธะระหว่างพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอน ส่วนที่เป็น sp^2 จะเป็นพันธะซิกมาที่มีความเสถียร ระดับพลังงานของออร์บิทัล โมเลกุลแบบสร้าง มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับไฮบริดออร์บิทัล และระดับพลังงานของออร์บิทัล โมเลกุลแบบต้านจะมีค่าสูงมากเนื่องจากต้องใช้พลังงานที่มีค่ามากเพื่อที่จะทำลายพันธะซิกมา

ส่วนที่เป็น p_z ออร์บิทัล จะเกิดเป็นพันธะพายระดับพลังงานของออร์บิทัล โมเลกุลที่สร้าง มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ ออร์บิทัลอะตอม ระดับพลังงานของออร์บิทัล โมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะจะมีค่าไม่มากนักเนื่องจากพันธะพาย เป็นพันธะที่เกิดจากการซ้อนทับด้านข้างของออร์บิทัล p ดังนั้นอิเล็กตรอนที่กระจายอยู่บริเวณนี้จะเป็นอิเล็กตรอนแบบไม่ประจำที่ (delocalized electron) เนื่องจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนกระจายตัวอยู่นอกนิวเคลียส เมื่อมีพลังงานมากกระตุ้นทำให้อิเล็กตรอนที่กระจายตัวอยู่สามารถเคลื่อนที่ไปตามพันธะพายได้ เสมือนเป็นการเคลื่อนประจุ

เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีออร์บิทัลโมเลกุล (molecular orbital theory) ระดับพลังงาน ของอิเล็กตรอนใน p_x ออร์บิทัล ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่สร้าง (π bonding molecular orbital) จะเป็นระดับที่สูงที่สุดที่อิเล็กตรอนสามารถอาศัยอยู่ได้ จึงเรียกระดับพลังงานนี้ว่า highest occupied molecular orbital (HOMO) และ ที่ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่ด้านการสร้างพันธะ (π^* antibonding molecular orbital) จะเป็นระดับที่ต่ำที่สุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอาศัยอยู่ได้ จึงเรียกระดับพลังงานนี้ว่า lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) ระหว่างระดับ HOMO และ LUMO เสมือนเป็นช่องว่างแถบพลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกับสารกึ่งตัวนำ ระดับพลังงานชั้น HOMO เปรียบเสมือนแถบวาเลนซ์ (valence band) ส่วนระดับพลังงานชั้น LUMO เปรียบเสมือนแถบนำ (conduction band) จึงเรียกระบบที่มีสมบัติดังกล่าวว่า สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ [4] ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระดับพลังงานพันธะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมข้างเคียงภายในวงเบนซีน

2.2.1 โมเลกุลขนาดเล็ก (small molecule)

เป็นสารประกอบออร์แกนิกที่มีโครงสร้างพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยวเป็นโครงข่ายจับตัวกันเป็นโมเลกุล สารบางชนิดจะมีอะตอมของโลหะเจืออยู่ด้วย จับกันเป็นโครงข่ายที่จำกัด ดังรูปที่ 2.11 สารแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ดังนี้

1. วัสดุนำพาอิเล็กตรอน (electron transport material) มีความสามารถในการขนส่งอิเล็กตรอนได้ดีและประพุดิตนคล้ายกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

2. วัสดุนำพาโฮล (hole transport material) มีความสามารถในการขนส่งโฮลได้ดีและประพุดิตนคล้ายกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี

3. วัสดุเปล่งแสง (emission material) เป็นวัสดุที่เปล่งแสงในช่วงของแสงสีที่ตาสามารถมองเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วัสดุเจือ (dopant material) เมื่อทำการเจือสารเหล่านี้ลงไปวัสดุเปล่งแสง ทำให้แสงสีที่ออกมาสามารถเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2.3 สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำโฟโตโวลตาอิก

2.3.1 รอยต่อของโลหะและสารกึ่งตัวนำ (Metal-semiconductor junction)

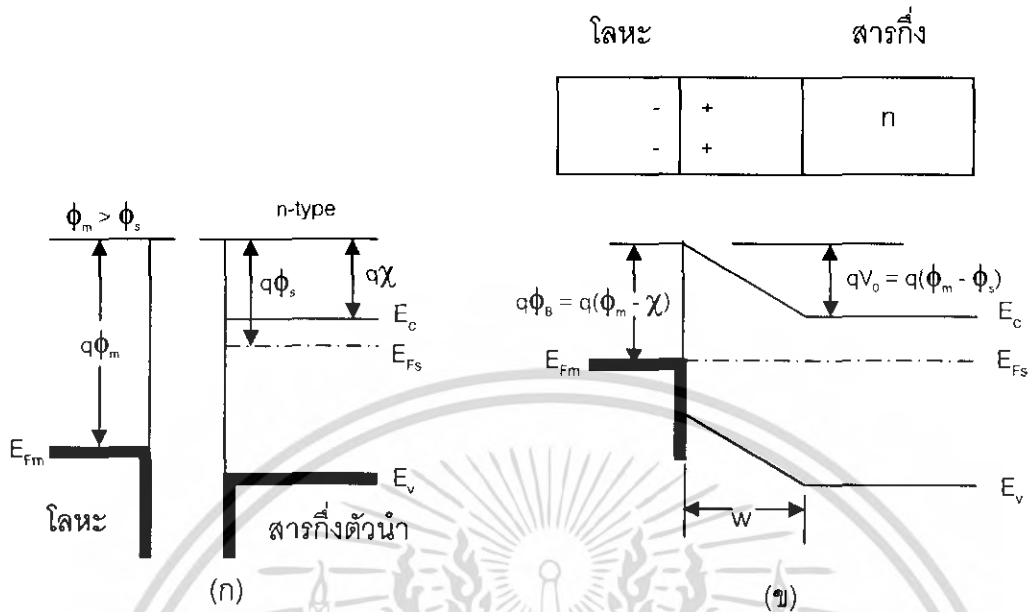
ปรากฏการณ์การไหลทางเดียว (rectify) ของกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ เริ่มมีการศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1904 โดยเฉพาะตัวกรองกระแสชนิดรอยต่อแบบจุด (point contact rectifier) เป็นไดโอดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในสมัยก่อนซึ่งในขณะนั้นทฤษฎีการนำไฟฟ้ายังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย ต่อมาในปี พ.ศ. 1938 Schottky ได้เสนอแนวคิดว่า การไหลทางเดียวของกระแสเกิดจากกำแพงศักย์ที่รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำซึ่งเรียกว่า รอยต่อชอตต์กีแบบเรีย (Schottky barrier contact) ส่วนในกรณีของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำที่ไม่มีปรากฏการณ์การไหลทางเดียวและมีค่าความต้านทานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานของเนื้อสารเรียกว่า รอยต่อโอห์มมิก (ohmic contact) ซึ่งในการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำจะมีการใช้ทั้งรอยต่อแบบชอตต์กีแบบเรียและรอยต่อแบบโอห์มมิก

2.3.1.1 รอยต่อแบบชอตต์กีแบบเรีย (schottky barriers contact)

ถ้าหากว่าประจุลบถูกนำมาใกล้ผิวของโลหะ ซึ่งในโลหะจะเกิดประจุบวกซึ่งถูกเหนี่ยวนำขึ้น เมื่อแรงนี้รวมเข้ากับสนามไฟฟ้าซึ่งถูกใส่เข้ามาจะทำให้ค่าประสิทธิผลของฟังก์ชันงาน (work function) ลดต่ำลง การที่กำแพงลดต่ำลงเช่นนี้เราเรียกว่า ปรากฏการณ์ชอตต์กี (schottky effect) แต่ผิวสัมผัสแบบเรียงกระแสมีถูกเรียกว่า ไดโอดชอตต์กีแบบเรีย (Schottky barrier diode)

เมื่อโลหะซึ่งมีฟังก์ชันงานเท่ากับ ϕ_m ถูกนำมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำซึ่งมีฟังก์ชันงาน ϕ_s การเคลื่อนย้ายประจุจะเกิดขึ้น จนกระทั่งระดับเฟอร์มิในสารทั้งสองเรียงตัวกันเป็นเส้นตรงที่สภาวะสมดุล ตามรูปที่ 2.13 ตัวอย่างเช่น เมื่อ $\phi_m > \phi_s$ ในขณะเริ่มแรกระดับเฟอร์มิในสารกึ่งตัวนำจะอยู่สูงกว่าในโลหะ (ก่อนการสัมผัส) เพื่อให้ระดับเฟอร์มิทั้งสองอยู่ในแนวเดียวกันศักย์ไฟฟ้าสถิตย์ในสารกึ่งตัวนำต้องถูกยกขึ้นทำให้พลังงานอิเล็กตรอนลดลงเมื่อเทียบกับของโลหะ ในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น รูปที่ 2.13 จะเกิดย่านปลอดพาหะ W ขึ้นใกล้ๆ กับรอยต่อ ประจุบวกซึ่งเกิดจาก อีออนแบบผู้ให้ภายใน W จะเท่ากับประจุลบภายในโลหะสนามไฟฟ้าและการโค้งงอแถบพลังงานภายใน W จะคล้ายๆ กับในรอยต่อพี-เอ็น (PN junction)

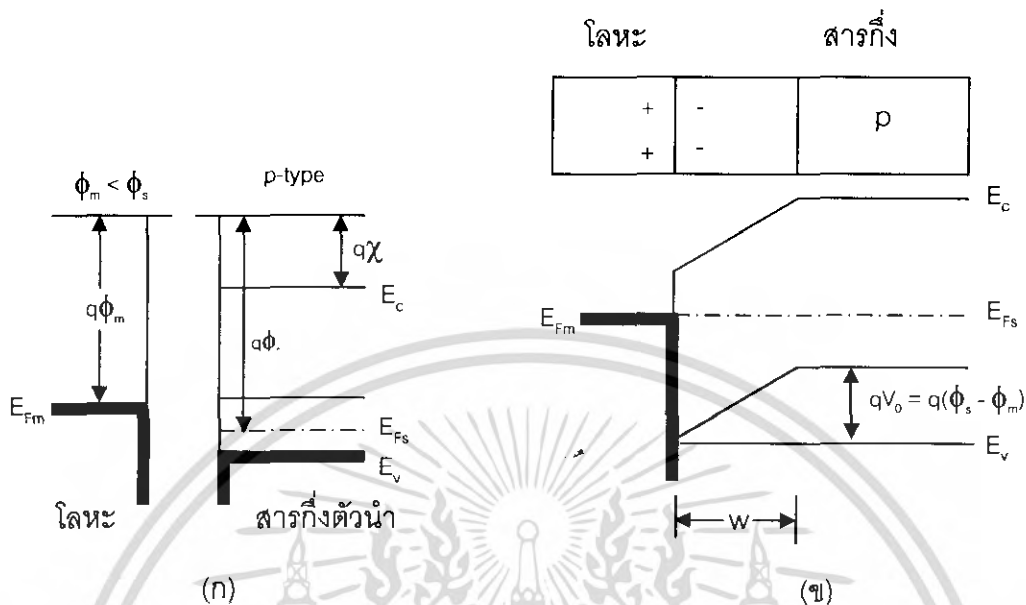
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงรอยต่อแบบชอตกกีแบบเรียงซึ่งเกิดจากการที่สารกึ่งตัวนำแบบเอ็นสัมผัสกับโลหะ ซึ่งมีค่าฟังก์ชันงานสูงกว่า (ก) แผนภาพพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการต่อกัน (ข) แผนภาพพลังงานของรอยต่อที่สภาวะสมดุล

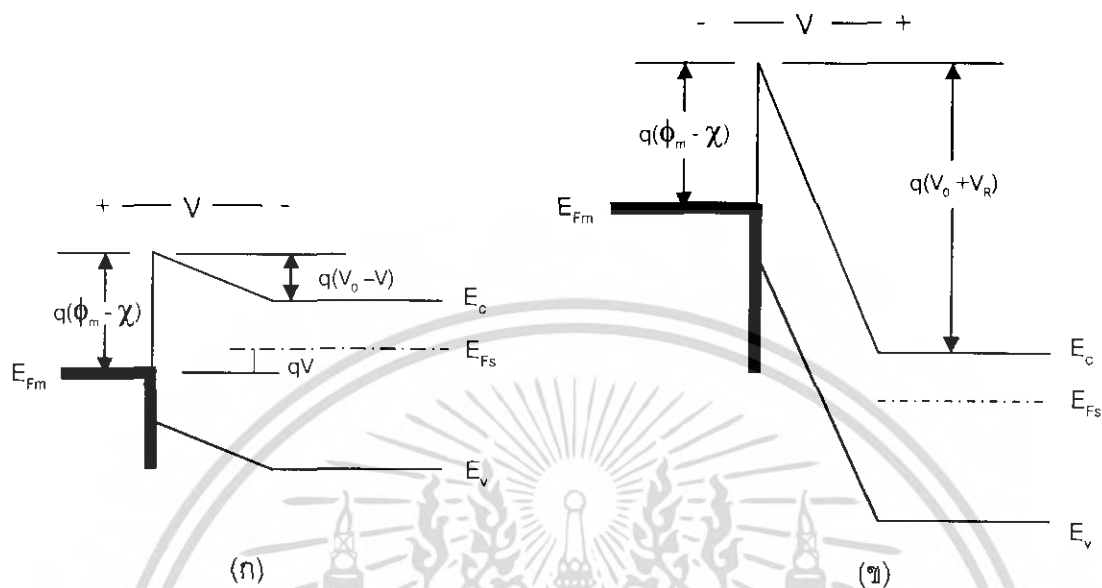
ศักย์ไฟฟ้า V_0 บริเวณผิวสัมผัสที่สภาวะสมดุล จะมีค่าเท่ากับผลต่างของฟังก์ชันงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะทำหน้าที่หยุดการแพร่ของอิเล็กตรอนจากแถบการนำ (Conduction band) ในสารกึ่งตัวนำ ไปยังโลหะ ความสูงของกำแพงศักย์ ϕ_b ซึ่งกั้นการหนีอิเล็กตรอนจากโลหะไปยังแถบการนำในสารกึ่งตัวนำ มีค่าเท่ากับ $\phi_m - \chi$ เมื่อ χ เรียกว่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity) คือระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนใช้ในการย้ายอิเล็กตรอนจากบริเวณขอบล่างของแถบการนำไปยังระดับสุญญากาศ ค่า V_0 อาจถูกเพิ่มหรือลดได้โดยการไบอัสย้อนหรือไบอัสตาม

รูปที่ 2.14 แสดงรอยต่อชอตกกีแบบเรียงบนสารกึ่งตัวชนิดพี ซึ่งมี $\phi_m < \phi_s$ ในกรณีนี้เพื่อให้เกิดการเรียงตัวของระดับเฟอร์มิจะต้องมีประจุบวกในด้านโลหะและประจุลบในด้านสารกึ่งตัวนำที่บริเวณรอยต่อ ประจุลบจะเกิดจากอ็อนแบบผู้รับในสารกึ่งตัวนำชนิดพี กำแพงศักย์ไฟฟ้า V_0 ที่ต้านทานการแพร่ซึมของโฮลจากสารกึ่งตัวนำไปสู่โลหะมีค่าเท่ากับ $\phi_s - \phi_m$ ค่า V_0 นี้จะลดลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้เนื่องจากการไบอัส



รูปที่ 2.14 แสดงรอยต่อขอตึกแบบเรียบซึ่งเกิดจากการที่สารกึ่งตัวนำแบบพี สัมผัสกับโลหะซึ่งมีค่าฟังก์ชันงานต่ำกว่า (ก) แผนภาพพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการต่อกัน (ข) แผนภาพพลังงานของหัวต่อที่สภาวะสมดุล

เมื่อ ไบอัสตามถูกใช้กับฉนวนสัมผัสแบบขอตึกแบบเรียบ ตามรูปที่ 2.13(ข) ศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณฉนวนสัมผัสจะมีค่าลดลงจาก V_0 เป็น $V_0 - V$ ดังรูปที่ 2.14 ผลลัพธ์ก็คือ อิเล็กตรอนในแถบการนำของสารกึ่งตัวนำสามารถแพร่ซึมข้ามย่านปลอดพาหะเข้าไปใน โลหะได้ ซึ่งทำให้เกิดกระแสไบอัสตาม (จากโลหะสู่สารกึ่งตัวนำ) ข้ามรอยต่อ ในทางตรงกันข้าม ไบอัสย้อนจะเพิ่มขนาดของกำแพงเป็น $V_0 + V_R$ และอิเล็กตรอนที่ข้ามจากสารกึ่งตัวนำไปสู่โลหะจะมีปริมาณน้อยจนตัดทิ้งไปได้ในทั้งสองกรณีการไหลของอิเล็กตรอนข้ามโลหะ ไปสู่สารกึ่งตัวนำจะถูกต้านด้วยกำแพง $\phi_m - \chi$



รูปที่ 2.15 ผลของการไบอัสผิวสัมผัสตามรูปที่ 2.13 (ก) ไบอัสตาม (ข) ไบอัสย้อน

ในกรณีรอยต่อขอตึกแบเรีย ตามรูปที่ 2.15 การไบอัสตามก็คือ การให้สารกึ่งตัวนำเป็นบวกเมื่อเทียบกับโลหะ กระแสไบอัสตามเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันที่ใส่เข้ามาลดค่ากำแพงศักย์ไฟฟ้าลงเป็น $V_0 - V$ และโฮลจะไหลจากสารกึ่งตัวนำเข้าสู่โลหะ ส่วนแรงดันไบอัสย้อนจะเพิ่มค่ากำแพงศักย์สำหรับกั้นการไหลของโฮลทำให้กระแสมีค่าน้อยมาก

ในทั้งสองกรณีรอยต่อขอตึกแบเรียโคโอดจะเรียงกระแสได้เราจะสังเกตได้ว่าในแต่ละกรณีกระแสไบอัสตามจะเกิดเนื่องจากการฉีดพาหะข้างมากข้ามจากสารกึ่งตัวนำไปสู่โลหะ การที่ไม่มี การฉีดพาหะข้างน้อยและการที่มี ค่าเวลากักเก็บหน่วง(storage delay time) ค่า ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของขอตึกแบเรียโคโอด ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติที่ความถี่สูงและความเร็วในการสวิตซ์ที่ดี

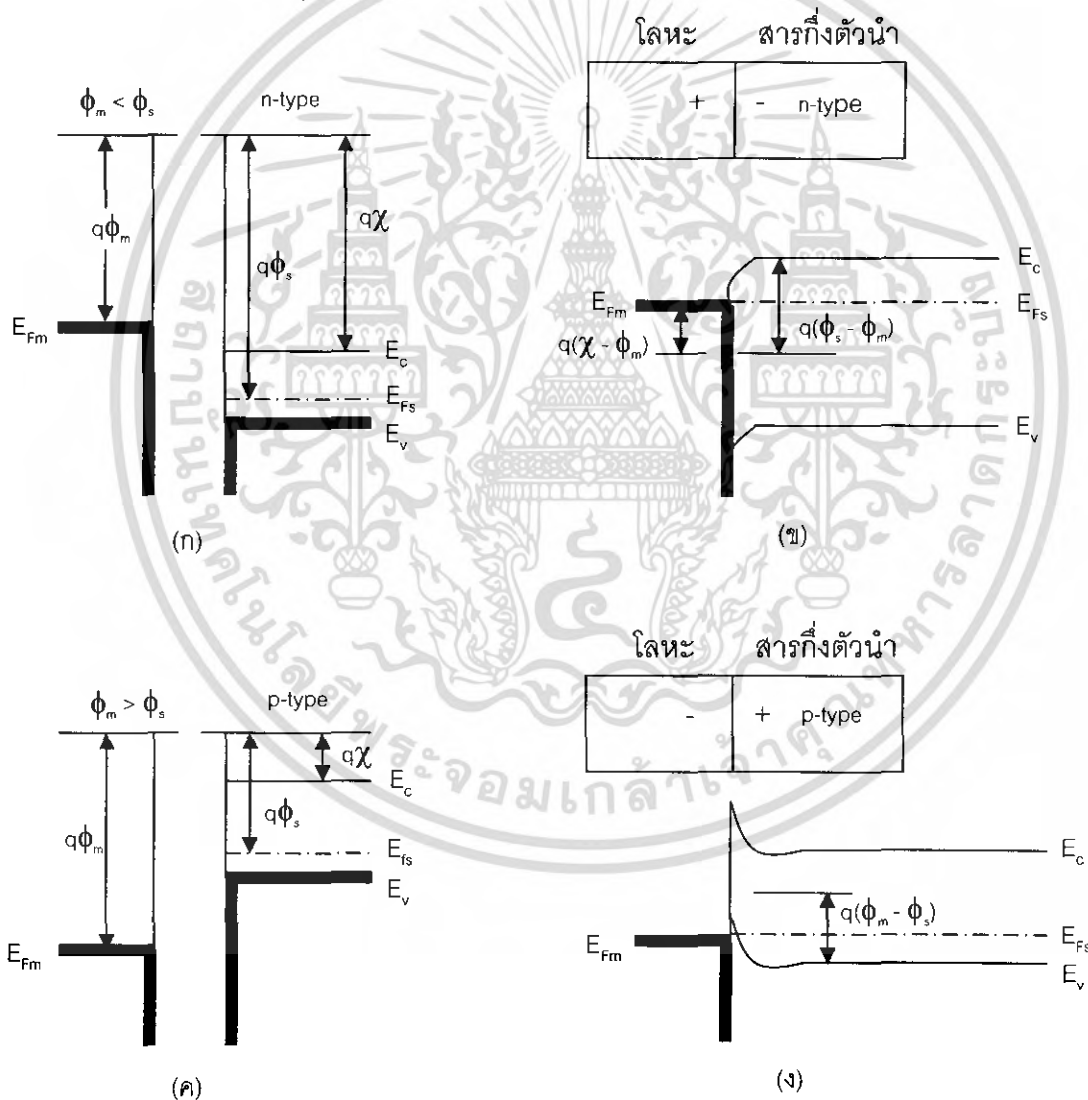
2.3.1.2 รอยต่อโอห์มมิก (Ohmic Contact)

ในงานหลายประเภทเราต้องการผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำที่เป็นแบบโอห์มมิก นั่นคือ มีลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันเป็นแบบเส้นตรงทั้งสองทิศทางของการไบอัส ตัวอย่างเช่น ในวงจรไอซีซึ่งมีทั้งย่านพีและเอ็น เราต้องการเชื่อมวงจรเหล่านี้เข้าด้วยกัน ดังนั้นผิวสัมผัสเพื่อการเชื่อมต่อนี้ จึงต้องเป็นโอห์มมิกซึ่งมีความต้านทานน้อยที่สุด และไม่มีแนวโน้มที่จะเรียงกระแส

ผิวสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำในอุดมคตินั้นจะเป็น โอห์มมิกได้ ก็ต่อเมื่อประจุที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้น เพื่อให้ระดับเฟอร์มิอยู่ในแนวเดียวกัน เป็นผลมาจากพาหะข้างมาก ตามรูปที่ 2.16 ในกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ที่มี $\phi_m < \phi_s$ ดังแสดงในรูปที่ 11(ก) การเรียงเป็นเส้นตรงของระดับเฟอร์มิที่สภาวะสมดุล จะเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากโลหะเข้าสู่สารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะเป็นการทำให้พลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงขึ้น (ศักย์ไฟฟ้าสถิตมีค่าลดลง) เมื่อเทียบกับโลหะที่สภาวะสมดุล (รูปที่ 2.16(ข)) ในกรณีนี้กำแพงที่กั้นการไหลของอิเล็กตรอนจะต่ำ ทำให้เกิดการไหลข้ามกำแพงได้ง่าย แม้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ใส่เข้ามาจะมีค่าต่ำ ในทำนองเดียวกับสารกึ่งตัวนำชนิดที่ $\phi_m > \phi_s$ รูปที่ 2.16(ง) จะทำให้โวลเทจไหลข้ามรอยต่อได้ง่าย รอยต่อโอห์มมิกจะต่างกับรอยต่อแบบขดกั๊แบบเรียคือจะไม่มีย่านปลอดพาหะเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำเนื่องจากการจัดระดับเฟอร์มิให้เป็นเส้นตรงที่สภาวะสมดุลเกิดจากพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำ



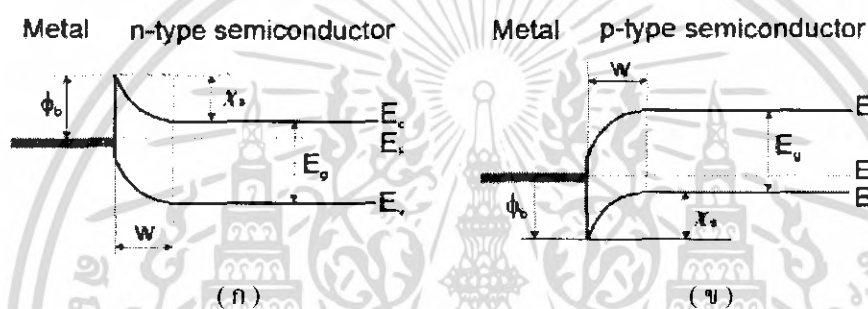
รูปที่ 2.16 แสดงรอยต่อโลหะ-สารกึ่งตัวนำแบบโอห์มมิก (ก) $\phi_m < \phi_s$ ในกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น (ข) แผนภาพพลังงานของรอยต่อที่สภาวะสมดุล (ค) $\phi_m > \phi_s$ ในกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดที่ (ง) รอยต่อที่สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแ 76643 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติ การสร้างรอยต่อแบบโอห์มมักทำโดยการเติมสารเจือปนจำนวนมากลงไป
บริเวณผิวสัมผัส ดังนั้นแม้ว่าจะเกิดกำแพงขึ้นที่บริเวณระหว่างผิว(Interface) ความกว้างของชั้น
ปลอดพาหะก็จะแคบพอที่จะทำให้พาหะเกิดการลอดทะลุ (Tunneling) ผ่านกำแพงไปได้

2.3.2 หลักการทำงานของตัวตรวจจับแสงชอตткиแบเรีย

ตัวตรวจจับแสงชอตткиแบเรีย (Schottky barrier photodiode) ได้รับความศึกษาอย่างมาก
เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการที่ดี กว่า p – n photodiode คือ ทำการสร้างได้ง่าย ไม่เกิดการ
แพร่ซึมในขณะที่มีการปลูกที่อุณหภูมิสูง และ มีการตอบสนองที่เร็ว



รูปที่ 2.17 แสดง energy band diagram ของรอยต่อชอตткиแบเรีย

(ก) โลหะ – สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (ข) โลหะ – สารกึ่งตัวนำชนิดพี

ตามโมเดลของ Schottky – Mott คุณสมบัติการเรียงกระแส (rectifying property) ของ
รอยต่อโลหะ – สารกึ่งตัวนำ เกิดจากกำแพงศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำที่มีค่า
work function ที่ต่างกันคือ ϕ_m และ ϕ_s สำหรับ work function ของโลหะและของสารกึ่งตัวนำ
ตามลำดับ ตัวอย่างเช่นถ้าเป็นรอยต่อระหว่างโลหะ – สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะได้ว่า ϕ_m จะต้องมี
ค่าที่มากกว่าค่า ϕ_s ในขณะที่ถ้าเป็นรอยต่อระหว่างโลหะ – สารกึ่งตัวนำชนิดพี จะได้ว่า ϕ_m จะต้องมี
ค่าที่น้อยกว่า สำหรับความสูงของกำแพงศักย์แสดงดังรูปที่ 2.17 ซึ่งจะได้ว่า

$$\phi_{bn} = \phi_m - \chi_s \quad (2.21)$$

และ

$$\phi_{bp} = \chi_s + E_g - \phi_m \quad (2.22)$$

เมื่อ χ_s คือ electron affinity ของสารกึ่งตัวนำ

ค่ากำแพงศักย์ระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำและภายในเรียกว่า band bending ซึ่งจะได้ว่า

$$\psi_s = \phi_m - \phi_s \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 กระบวนการเกิดการไหลของกระแส (Current transport process)

การที่กระแสไหลผ่านในรอยต่อระหว่างโลหะ – สารกึ่งตัวนำ ในขณะที่ไบอัสตรง สามารถเกิดได้หลายกระบวนการตามรูปที่ 13 ซึ่งอาจเกิดเป็น 4 กระบวนการหลักคือ

- ก) เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำที่บนสุดของกำแพงศักย์ไปยังโลหะ
- ข) เกิดการทะลุผ่านกำแพงศักย์
- ค) เกิดการรวมตัวในบริเวณ space charge
- ง) เกิดการรวมตัวในบริเวณ neutral region ซึ่งในกรณีนี้จะเท่ากับ เกิดการฉีดโฮลจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ

ในกรณีที่ถ้าเราทำการไบอัสกลับก็จะเกิดกระบวนการที่กลับกัน ซึ่งอาจจะเกิดกระแสรั่วไหลได้เมื่อเกิดสนามไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อด้านนอก สำหรับการที่กระแสไหลผ่านกำแพงศักย์สามารถอธิบายได้ในหลายๆทฤษฎีเช่น diffusion, thermionic emission เป็นต้น

สำหรับทฤษฎี thermionic emission โดย Bethe จะพิจารณาว่าความสูงของกำแพงศักย์มีค่ามากกว่า kT ที่สมดุลทางความร้อน (thermal equilibrium) ซึ่งจะได้ว่าผลที่ทำให้กระแสไหลมีผลมาจากความสูงของกำแพงศักย์แต่ไม่มีผลมาจากความกว้างของกำแพงศักย์ และกระแสอิมิตัวจะไม่ขึ้นกับการไบอัส จะได้ว่าความหนาแน่นกระแสของพาหะข้างมากจากสารกึ่งตัวนำที่ข้ามกำแพงศักย์ไปยังโลหะคือ

$$J_{MSI} = J_{st} \left[\exp\left(\frac{qV}{\beta kT}\right) - 1 \right] \quad (2.24)$$

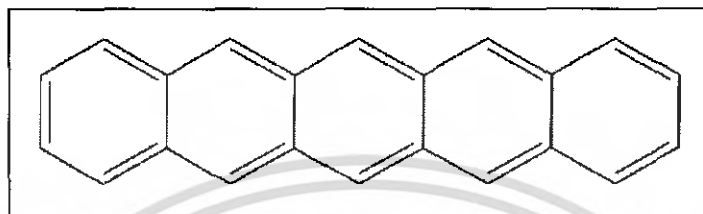
และกระแสอิมิตัวคือ

$$J_{st} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{\phi_b}{kT}\right) \quad (2.25)$$

และ $A^* = 4\pi q k^2 m^* / h^3 = 120(m^* / m) A \text{ cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ ซึ่งก็คือ Richardson constant, m^* คือ effective electron mass และ β คือ empirical constant ซึ่งปกติแล้วจะมีค่าเป็น 1

2.4 สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างโฟโตไดโอดสารอินทรีย์

ในรายงานใช้สารอินทรีย์เพนทาซีน(pentacene)ที่มีความบริสุทธิ์ 99.8% ซึ่งมีโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพ แสดงดังรูปที่ 2.13 และมีคุณสมบัติดังนี้



รูปที่ 2.18 แสดง โครงสร้างของเพนทาซีน

ชื่อสารอินทรีย์	Pentacene
ชื่อทางเคมี	Polycyclic aromatic hydrocarbon pentacene
สูตรทางเคมี	$C_{22}H_{14}$
Molecular Weight	278.35 g/mol
จุดหลอมเหลว	300 °C
ลักษณะทางกายภาพ	ผงสีดำ- น้ำตาล
HOMO	4.95 eV
LUMO	2.75 eV

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของสารอินทรีย์เพนทาซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

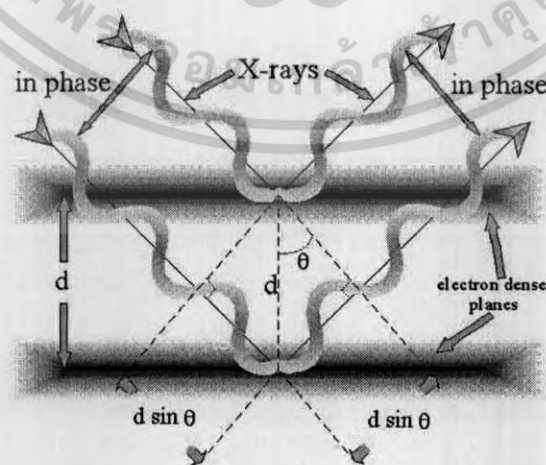
2.5 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง

2.5.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง รังสีเอ็กซ์เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งในสนามไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงแล้ววิ่งชนเป้าซึ่งทำด้วยโลหะหนัก ผลของการชนก่อให้เกิดรังสีเอ็กซ์ 2 ชนิดคือ รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-Ray) กับรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-Ray) รังสีเอ็กซ์จะเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึก เมื่อคลื่นผ่านโครงสร้างผลึกออกมาจะเกิดการแทรกสอด (Interference) ทั้งแบบเสริมและหักล้างกัน วิลเลียม เฮนรี แบรกก์ (William Henry Bragg) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในโครงสร้างผลึกไว้ว่า รังสีเอ็กซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุดเมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยความแตกต่างของทางเดินคลื่น (Path different) เป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เรียกกฎนี้ว่า กฎของแบรกก์ (Bragg's law) [5] ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.1

$$N\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (2.1)$$

- เมื่อ
- N คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...
 - λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
 - d_{hkl} คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ
 - θ คือ มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอ็กซ์ซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ



รูปที่ 2.19 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนเสมอไป ระนาบใดที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์เรียกว่า ระนาบแบรกก์ (Bragg plane) แสดงดังรูปที่ 2.11 และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่า มุมเลี้ยวเบน (Diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ความเข้ม (Intensity) ของรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนและมุมเลี้ยวเบนต่างๆ จะถูกตรวจหาด้วย X-Ray diffractometer ดังแสดงดังรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 นำค่าทั้งสองที่บันทึกไว้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึก



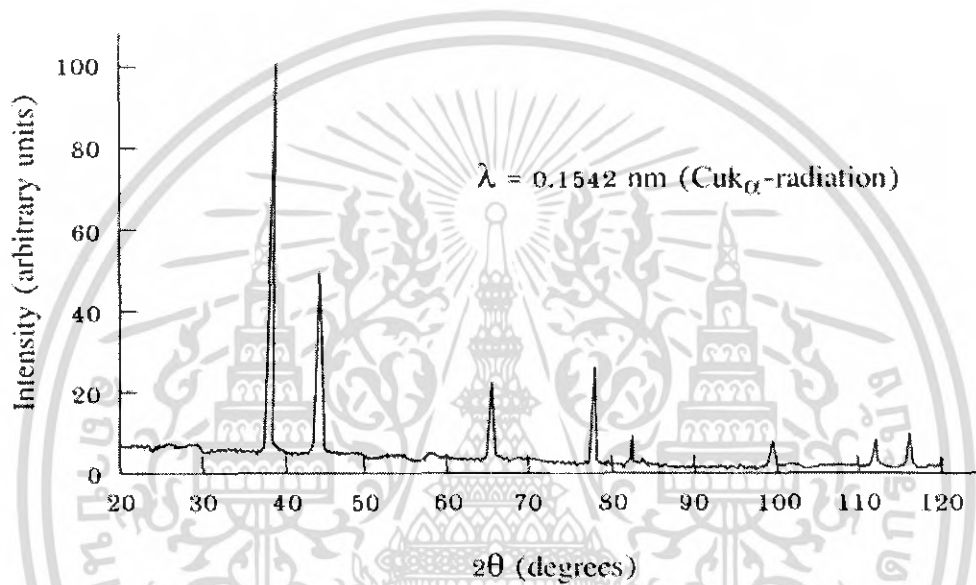
รูปที่ 2.20 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer



รูปที่ 2.21 แสดงตัวตรวจวัดของ X-ray diffractometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและมุมเลี้ยวเบนที่ได้เรียกว่า รูปแบบการเลี้ยวเบน (Diffraction pattern) ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะตัวสำหรับธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกัน จากการเลี้ยวเบนแล้วแทรกสอดกันแบบเสริม ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ก็จะมีค่ามากซึ่งจะสังเกตได้จากยอด (Peak) ในรูปแบบการเลี้ยวเบน และยอดเหล่านี้จะปรากฏที่มุมเลี้ยวเบนเดิมเสมอสำหรับธาตุหรือสารประกอบชนิดเดียวกัน



รูปที่ 2.22 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะสามารถหาค่าตัวแปรซึ่งแสดงถึงสมบัติความเป็นผลึกของฟิล์มบางได้ดังนี้

ค่าคงที่แลตทิซ (Lattice constant) จากกฎการเลี้ยวเบนของแบรกก์แอมป์ลิจูดของการเลี้ยวเบนของคลื่นคือ F เวกเตอร์คลื่นของคลื่นระนาบที่ตกกระทบคือ k เวกเตอร์คลื่นของคลื่นสะท้อนคือ k' ดังนั้น

$$F = \int n_G e^{i(\vec{G} + \vec{k} - \vec{k}') \cdot \vec{r}} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n_G คือ แอมพลิจูดของการเลี้ยวเบน
 G คือ แลตทิซส่วนกลับ (Reciprocal lattice)

สามารถหาค่าแลตทิซส่วนกลับได้จากสมการ

$$\vec{G} = \vec{k}' - \vec{k} \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$|\vec{k}'| = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.4)$$

จะได้

$$|G|^2 = \vec{G} \cdot \vec{G} = (\vec{k}' - \vec{k}) \cdot (\vec{k}' - \vec{k}) \quad (2.5)$$

$$|G|^2 = 2|k|^2 - 2\vec{k}' \cdot \vec{k} \quad (2.6)$$

$$|G|^2 = 4\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (1 - \cos 2\theta) \quad (2.7)$$

เมื่อ 2θ คือมุมระหว่าง \vec{k} และ \vec{k}' แก้สมการหาค่า λ จะได้ว่า

$$\lambda = \frac{4\pi}{|G|} \sin \theta \quad (2.8)$$

และจากสมการการหาค่าของ $|G|^2$

$$|G|^2 = \left(\frac{2\pi}{a}\right)^2 (h^2 + k^2 + l^2) \quad (2.9)$$

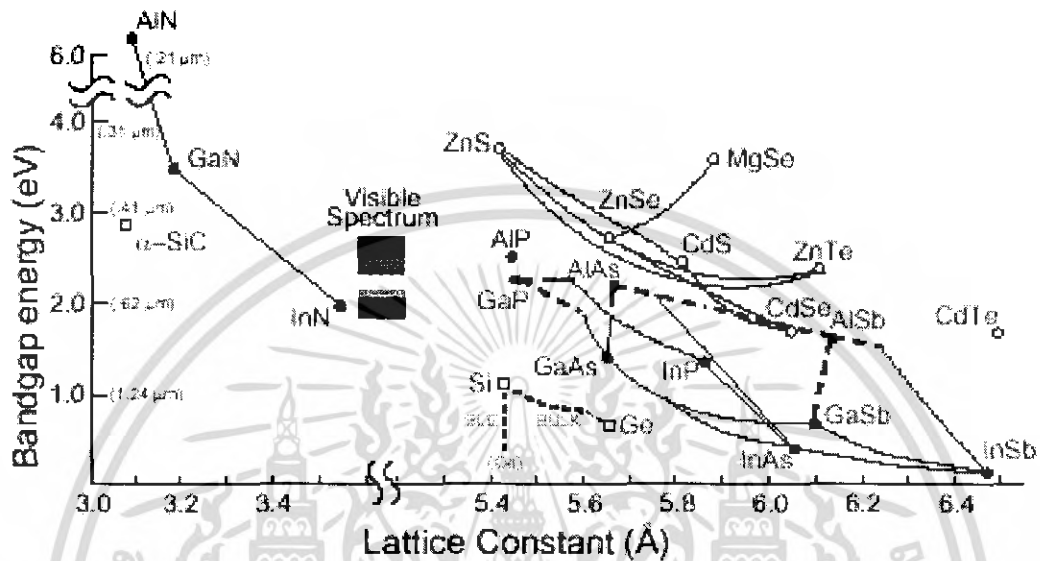
จะได้สมการของค่าคงที่แลตทิซเป็น

$$a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2.10)$$

เมื่อ a คือ ค่าคงที่แลตทิซ
 λ_x คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
 θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technologically Accessible Photonic Materials



รูปที่ 2.23 แสดงค่าคงที่แลตทิซของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ

ขนาดของเม็ดผลึก (Grain size) จากสมการ Sherrer's equation สามารถหาค่าขนาดของเม็ดผลึกได้ดังนี้

$$D = \frac{K\lambda_x}{\beta_{2\theta} \cos \theta} \quad (2.11)$$

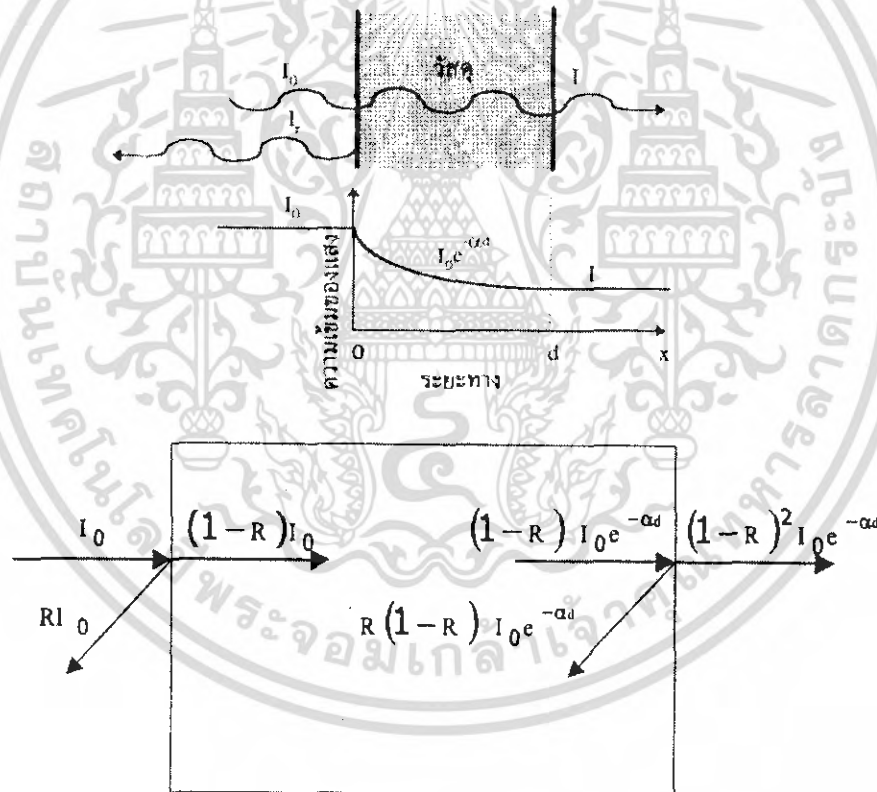
- เมื่อ D คือ ขนาดของเม็ดผลึก
 K คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับขนาดและรูปร่างของเม็ดผลึก ($0.89 \leq K \leq 0.94$)
 θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน
 $\beta_{2\theta}$ คือ ค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบน (Full width at half-Maximum of the diffraction peak : FWHM)
 λ_x คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การศึกษาสมบัติทางแสงด้วยวิธีวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง

ในการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำนั้น เราจะทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง ซึ่งจะทำให้เราทราบค่าระดับพลังงานของ localized states และได้ข้อมูลเกี่ยวกับค่าแถบพลังงานต้องห้าม เนื่องจากการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นพลังงานใดๆหรืออยู่ที่ localized states ดูดกลืนแล้วคายพลังงานที่เปลี่ยนแปลง (transition) ค่าความแตกต่างของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะมีค่าเท่ากับพลังงานโฟตอนที่อิเล็กตรอนดูดกลืนหรือคายออกมา

เมื่อแสงเดินทางไปตกกระทบวัสดุ แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิววัสดุและจะมีแสงบางส่วนเดินทางเข้าไปข้างในวัสดุ แสงบางส่วนดังกล่าวจะถูกดูดกลืนและจะมีบางส่วนที่ทะลุออกมา ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงทะลุผ่านตัวกลาง

- เมื่อ I_0 คือ ความเข้มแสงที่ตกกระทบผิววัสดุ
- I_r คือ ความเข้มแสงที่สะท้อนจากผิววัสดุ
- I_t คือ ความเข้มแสงที่ทะลุผ่านผิววัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถให้นิยามของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง R (Optical Reflectivity Coefficient) สัมประสิทธิ์การดูดกลืน α (Optical Absorption Coefficient) และสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (Optical Transmittance Coefficient) ได้ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง} \quad R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2.12)$$

ดังนั้นความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่วัตถุมืดค่า

$$I_0 - I_r = I_0 - RI_0 = (1-R)I_0 \quad (2.13)$$

จากนั้นเมื่อแสงเดินทางเข้าไปในวัสดุแสงจะถูกดูดกลืน จากรูปจะเห็นว่าแสงจะมีค่าความเข้มแสงลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง d

ในกรณีที่มีการสะท้อนที่ผิวด้านหลัง ความเข้มข้นของแสงที่ทะลุผ่านออกด้านหลังของวัสดุคือ

$$I_t = (1-R)^2 I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.14)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง} \quad T_1 = \frac{I_t}{I_0} = (1-R)^2 e^{-\alpha d} \quad (2.15)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง} \quad \alpha = -\frac{1}{d} \ln \left[\frac{T}{(1-R)^2} \right] \quad (2.16)$$

ในกรณีที่สมมติให้แสงส่วนใหญ่สะท้อนเฉพาะผิวน้ำที่รับแสงเท่านั้น ความเข้มข้นแสงที่ทะลุออกด้านหลังของวัสดุคือ

$$I_t = (1-R)I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.17)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง} \quad T_1 = \frac{I_t}{I_0} = (1-R)e^{-\alpha d} \quad (2.18)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง} \quad \alpha = -\frac{1}{d} \ln \left[\frac{T}{1-R} \right] \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสงที่ตกกระทบและทะลุผ่านฟิล์มบางนั้น เราจะใช้ระบบวัด Transmittance Spectroscopy ในการวัด

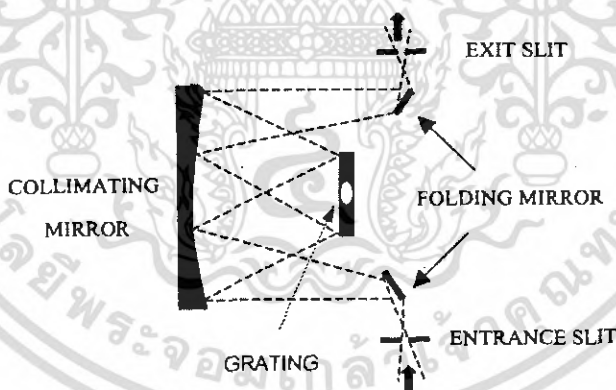
องค์ประกอบของระบบวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง โมโนโครเมเตอร์ ตัวตัดแสง ตัวตรวจจับแสง แท่นยึดสาร เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินและ ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ ดังนี้

- แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

ใช้หลอดทำจากทังสแตน (Tungsten) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงกำลัง 100 วัตต์ ให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่น 200-2,200 นาโนเมตร เพื่อให้เป็นแสงที่ตกกระทบสารตัวอย่างในรูปของสัญญาณ d.c.

- โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

ทำหน้าที่แยกแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยโคอะแกรมของโมโนโครมาเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.23 หลักการคือเมื่อแสงเข้ามาทางสลิต (Slit) จะสะท้อนผ่านกระจก (Folding mirrors) ไปตกกระทบที่คอลลิเมตติ้ง (Collimating mirror) และสะท้อนไปยังเกรตติ้ง (Grating) เกรตติ้งจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆตามการตกกระทบบนเกรตติ้งและแสงจากเกรตติ้งจะสะท้อนกลับไปยังคอลลิเมตติ้งสะท้อนกระจกออกไปยังสลิตต่อไป



รูปที่ 2.25 แสดงโคอะแกรมของโมโนโครเมเตอร์

- ตัวตรวจจับแสง (Detector)

ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มแสงให้อยู่ในรูปของกระแสและแรงดัน ไฟฟ้า

- เลนส์ (Lens)

ทำหน้าที่ให้ความเข้มแสงที่จุดยาวโฟกัสของเลนส์ โดยความยาวโฟกัสพิจารณาจาก

ระยะทางความเหมาะสมของระบบวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

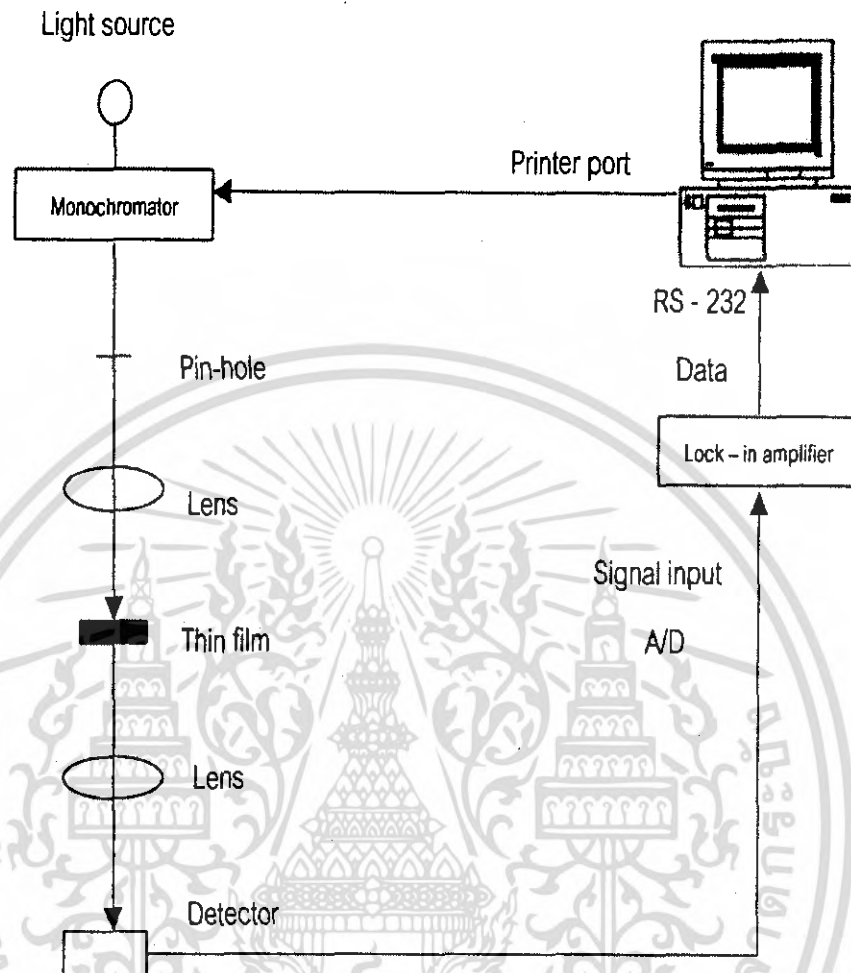
- แทนยี่ดสาร
ทำหน้าที่ยี่ดสารกึ่งตัวนำและปรับปรุงมุมสะท้อนไปยังตัวตรวจจับสัญญาณ
- เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอิน (Lock in amplifier)
ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ออกมาจากตัวตรวจจับสัญญาณ ซึ่งเป็นสัญญาณ A/D เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินมี 4 ช่องสัญญาณ
- สเตปปีงมอเตอร์ (Stepping motor)
ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของเกรตติงภายในโมโนโครเมเตอร์โดยส่งงานควบคุมสเตปปีงมอเตอร์แบบฟูลสเตปนั้นเป็นการส่งงานโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าพร้อมกันทีเดียวสองเฟส (Two excitation) คือคู่เฟสระหว่าง 1-2, 2-3, 3-4 และ 4-1 หมุนเวียนกันไป
- ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer)
ทำหน้าที่ควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ โดยควบคุมการหมุนเกรตติงภายในโมโนโครเมเตอร์ทำให้ได้แสงความยาวคลื่นต่างๆ และรับข้อมูลจากเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินผ่านทาง Rs-232 เพื่อทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 2.26 แสดงเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

ซึ่งองค์ประกอบของระบบวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงสามารถจัดเรียงไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.25

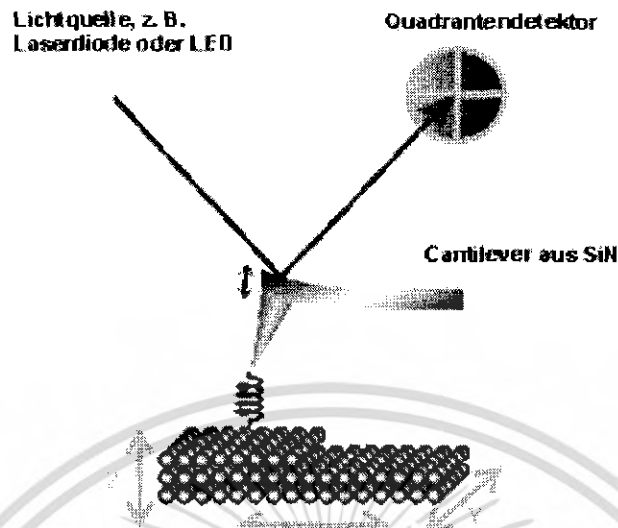
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงระบบวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง

2.5.4 การศึกษาสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)

AFM ได้สร้างขึ้นในปี 1986 โดย Binnig, Quate และ Gerber ซึ่งใช้หัวโพรบ (probe) ปลายแหลมเคลื่อนที่กวาดไปทั่วทั้งผิวหน้าของชิ้นงาน โดยที่โพรบก็คือเข็มปลายแหลมเล็กๆ ที่ติดอยู่บริเวณปลายของคาน (Cantilever) ที่สามารถโค้งงอได้ตามแรงที่เกิดขึ้นระหว่างปลายเข็มกับชิ้นงาน



รูปที่ 2.28 แผนภาพระบบแสงที่ใช้วัดการโค้งงอของคาน (Cantilever)

ในช่วงเริ่มแรก AFM ใช้การทะลุผ่านกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนที่ปลายคานเพื่อตรวจสอบการโค้งงอของคาน แต่ในปัจจุบัน AFM ใช้เทคนิคทางแสงเพื่อตรวจสอบการโค้งงอของคานแทน ดังรูปที่ 1 ได้แสดงให้เห็นการทำงานของ AFM ซึ่งคานสามารถโค้งงอได้ โดยแสงเลเซอร์เดินทางตกกระทบลงบนคานแล้วสะท้อนออกมาตกกระทบลงบนตัวตรวจจับทางแสงสองตัวที่อยู่ติดกัน จากนั้นทำการวัดผลต่างของสัญญาณที่ที่ได้จากตัวตรวจจับทางแสง A และ B จึงทำให้สามารถวัดการโค้งงอของคานได้

การโค้งงอของคานนั้นเป็นไปตามกฎของฮุก โดยระยะของการโค้งขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำ ดังนั้นแรงที่กระทำระหว่างปลายเข็มกับตัวชิ้นงานจึงสามารถวัดได้ การเคลื่อนที่ของเข็มหรือชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูงนั้นใช้อุปกรณ์ที่สร้างจากสารเซรามิกเปียโซอิเล็กทริก ซึ่งส่วนมากมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ตัวควบคุมการเคลื่อนที่นี้สามารถควบคุมได้แม่นยำในระดับอังสตรอมในแนวแกน x , y และ z โดยที่แกน z คือแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน

การทำงานด้วยการควบคุมแบบย้อนกลับ

AFM สามารถทำงานได้ในสองโหมดหลักคือ

- 1.) การทำงานแบบมีการควบคุมแบบย้อนกลับ
- 2.) การทำงานแบบไม่มีการควบคุมแบบย้อนกลับ

การทำงานแบบมีการควบคุมแบบย้อนกลับนั้นเปียโซที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน (หรือ เข็ม) สามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลงได้โดยขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของแรงที่วัดได้ และ

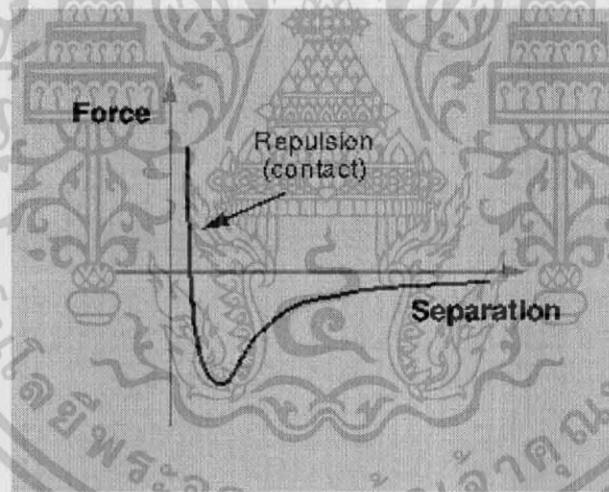
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถรักษาระยะห่างระหว่างเข็มกับชิ้นงานมีค่าคงที่ส่งผลให้แรงระหว่างเข็มกับชิ้นงานมีค่าคงที่ด้วย ซึ่งโหมดนี้เรียกว่า โหมดแรงคงที่ (Constant force) ทำให้สามารถแสดงให้เห็นภาพลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่น่าเชื่อถือได้

ส่วนการทำงานแบบไม่มีการควบคุมแบบย้อนกลับ เป็นโหมดที่ควบคุมให้มีตำแหน่งในแนวแกน z คงที่ และวัดการโค้งงอของคาน ซึ่งโหมดนี้มีประโยชน์สำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบมากที่ความละเอียดสูง จะเป็นการดีกว่าถ้าให้มีสัญญาณควบคุมย้อนกลับเล็กน้อยเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากการมีบางส่วนของพื้นผิวไม่เรียบทำให้เข็มหรือคานเกิดความเสียหายได้

อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเข็มกับชิ้นงาน

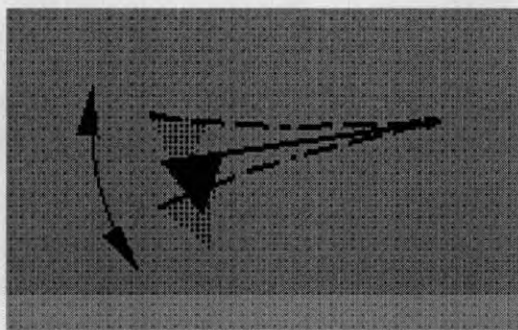
การวัดเพื่อให้ได้ภาพ AFM นั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยการใช้อันตรกิริยาที่แตกที่เกิเกิดขึ้นระหว่างเข็มกับชิ้นงานต่าง ซึ่งอันตรกิริยาที่ใช้วัดหลักๆมีอยู่ด้วยกันสามวิธี คือ โหมดสัมผัส (contact mode), โหมดสัมผัสแบบตบ (tapping mode) และ โหมดไม่สัมผัส (non-contact mode)



รูปที่ 2.29 กราฟแรงอันตรกิริยาระหว่าง โมเลกุลที่ขึ้นอยู่กับระยะห่าง

โหมดสัมผัส คือ เป็นวิธีการวัดพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไปของ AFM ซึ่งเข็มและชิ้นงานมีระยะใกล้กันมากขณะที่ลากเข็มผ่านชิ้นงาน โดยการสัมผัสกันระหว่างเข็มกับชิ้นงานนั้น ใกล้กันในระดับที่มีแรงผลักระหว่าง โมเลกุลเกิดขึ้น บริเวณที่เกิดแรงผลักระหว่างโมเลกุลคือบริเวณที่เส้นกราฟอยู่เหนือแกน x ปัญหาที่สำคัญของโหมดสัมผัส นั่นคือมีแรงซึ่งมีค่ามากเกิดในแนวตามพื้นผิวขณะที่ลากเข็มผ่านชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 ลักษณะการสั่นของคาน

โหมคสัมผัสแบบสั้น เป็นโหมคการทำงานพื้นฐานอีกชนิดหนึ่งที่ใช้กับ AFM ทั่วไป ขณะทำงานคานจะเกิดการสั่นด้วยความถี่ที่เหมาะสมและมีตำแหน่งอยู่เหนือพื้นผิวของชิ้นงาน ด้วยการสัมผัสพื้นผิวชิ้นแบบสั้นนี้ทำให้แรงเสียดทานมีค่าน้อยมาก แต่การสัมผัสระหว่างเข็มกับชิ้นงานนั้นยังอยู่ในช่วงที่เกิดการผลึกเหมือนเดิม เนื่องจากว่าการสัมผัสระหว่างเข็มกับชิ้นงานเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้แรงตามแนวพื้นผิวลดลงขณะที่เข็มลากผ่านพื้นผิวชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานมีความอ่อนมาก การวัดด้วยโหมคสัมผัสแบบสั้นจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการวัดด้วยโหมคสัมผัส

โหมคไม่สัมผัส เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการสร้างภาพของ AFM ได้ คานต้องอยู่เหนือพื้นผิวของชิ้นงาน โดยที่ระยะห่างระหว่างเข็มกับชิ้นงานต้องไม่ห่างเกินกว่าขอบเขตของแรงผลักระหว่างโมเลกุล โหมคการทำงานนี้สร้างขึ้นได้ยากภายใต้สภาวะปกติ ซึ่งสามารถใช้วัดสิ่งเจือปนที่อยู่บนผิวหน้าของน้ำได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวหน้า



รูปที่ 2.31 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอมของบริษัท Seiko รุ่น SPA400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยการปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน โดยระบบระเหยสารอินทรีย์ มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย สรุปพอสังเขป ดังนี้

1. ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน โดยระบบระเหยสารอินทรีย์ โดยเปลี่ยนความหนาของฟิล์มบาง
2. ขั้นตอนการตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบาง
3. ขั้นตอนการสร้างโฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์ และสรุปผล

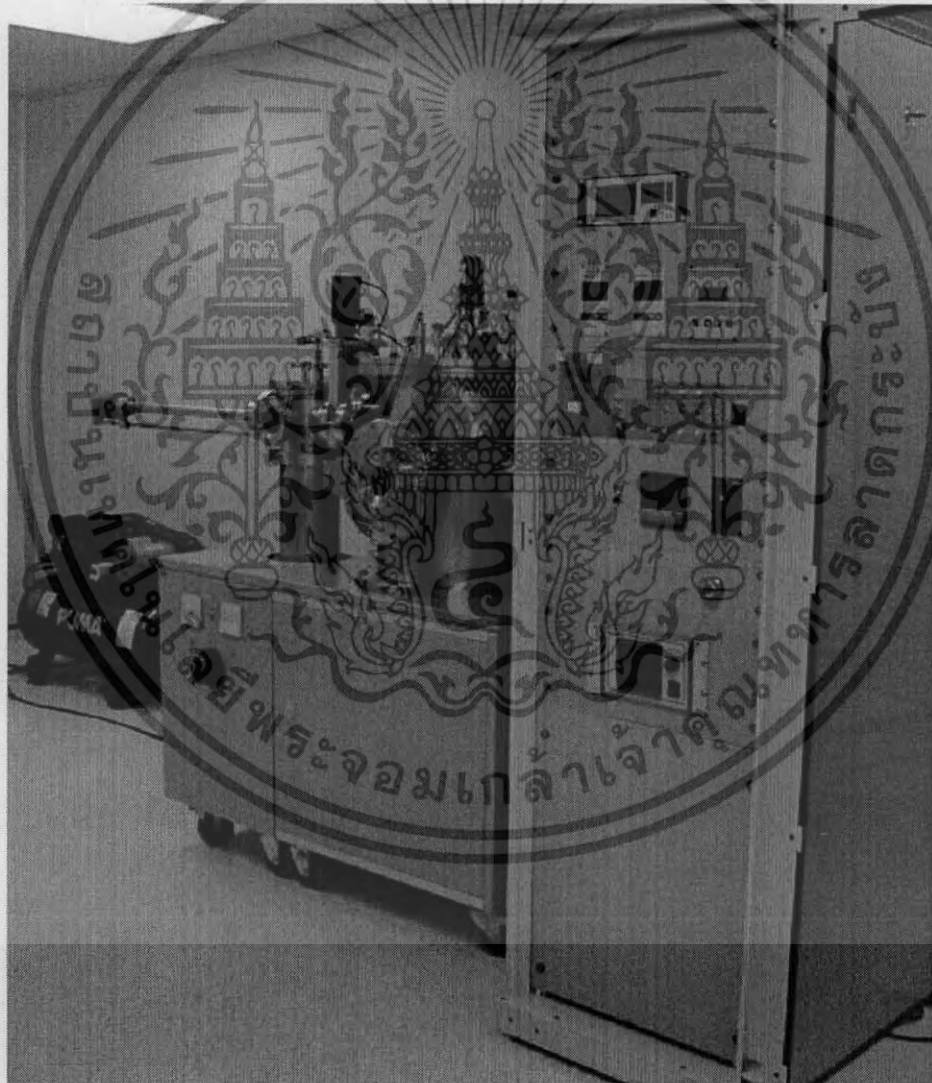


รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์ (Low Temperature Evaporation System ; LTE)

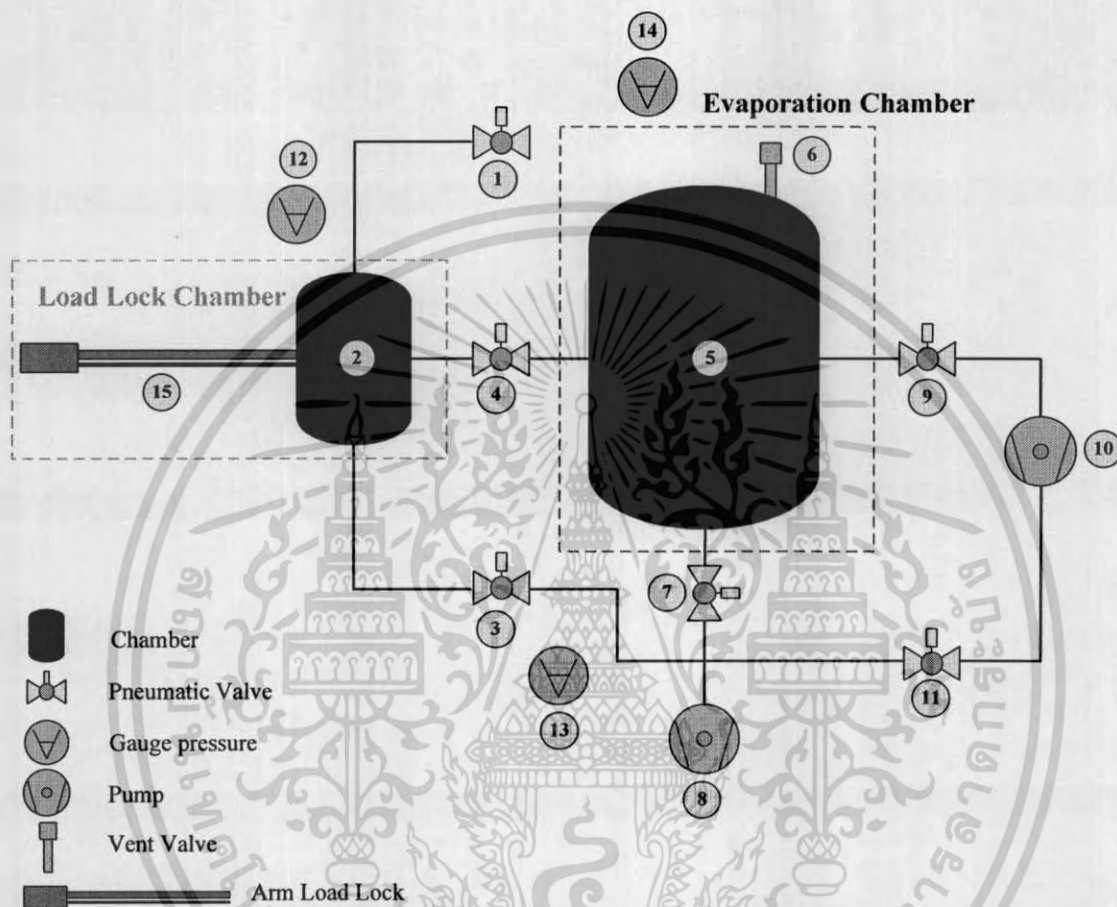
ระบบระเหยสารอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบระบบโดยห้องปฏิบัติการวิจัยควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง (QOSLab) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ระบบถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถระเหยสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสารอินทรีย์มีอุณหภูมิในการระเหยต่ำเมื่อเทียบกับสารอนินทรีย์โดยทั่วไป ดังนั้นระบบจึงออกแบบให้สามารถควบคุมการให้อุณหภูมิกับสารอินทรีย์ได้อย่างละเอียดและแม่นยำ เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราการระเหยของสารอินทรีย์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำและมีความสม่ำเสมอ



รูปที่ 3.2 ระบบระเหยสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งระบบระเหยสารอินทรีย์มีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 3.3



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. load lock vent valve (VENT VALVE) | 9. high vacuum valve (HV) |
| 2. load lock chamber | 10. turbo molecular pump (TMP) |
| 3. roughing load lock valve (LL SYATEM) | 11. backing valve (BV) |
| 4. load lock valve (LLV) | 12. pirani gauge |
| 5. evaporation chamber | 13. pirani gauge |
| 6. evaporation chamber vent valve | 14. full range gauge |
| 7. roughing evaporation chamber valve (RV) | 15. arm load lock |
| 8. rotary pump (RP) | |

รูปที่ 3.3 แผนภาพระบบสุญญากาศของระบบระเหยสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในห้องสุญญากาศ (vacuum chamber) ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. ระบบระเหยสารอินทรีย์ (Low Temperature Evaporator System ; LTE) เป็นระบบที่ใช้สำหรับระเหยสารอินทรีย์โดยระบบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ หัวระเหยสารอินทรีย์ และ ชุดควบคุมการระเหยสารอินทรีย์ของบริษัท Kurt J. Lesker ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ซึ่งสามารถให้ความร้อนแก่สารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ มีเทอร์โมคัปเปิล type K ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่สารอินทรีย์ได้รับเพื่อนำมาใช้ควบคุมอุณหภูมิที่ให้แก่สารอินทรีย์ ซึ่งระบบที่ใช้สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ให้ได้อย่างแม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส



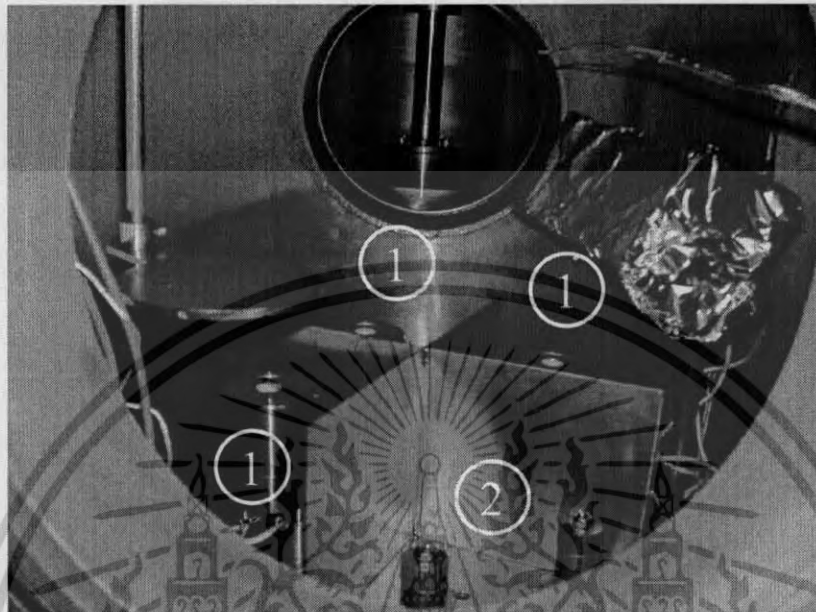
รูปที่ 3.4 หัวระเหยสารอินทรีย์



รูปที่ 3.5 ชุดควบคุมการระเหยสารของระบบระเหยสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยภายในห้องสุญญากาศทำการติดตั้งระบบระเหยสารอินทรีย์อยู่ทั้งหมด 3 ชุดดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง

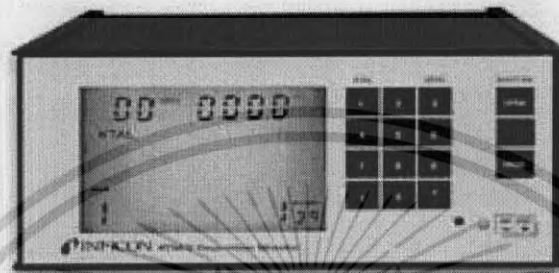
- รูปที่ 3.6
2. ระบบระเหยสารด้วยความร้อนเป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อทำการระเหยสารอินทรีย์ดัง
 3. ระบบตรวจวัดความหนาของฟิล์มบาง ความหนาของฟิล์มบางถูกตรวจสอบความหนาโดยใช้ผลึกควอตซ์ของ INFICON ดังแสดงในรูปที่ 3.7



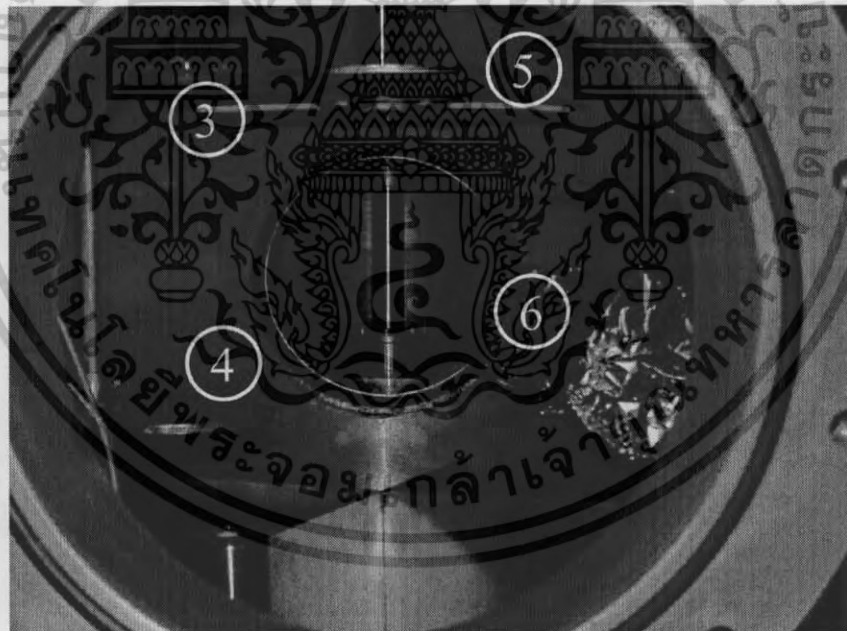
รูปที่ 3.7 ผลึกควอตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่ตรวจวัดวัดความหนาของสารที่กำลังระเหยโดยจะทำการวัดจากค่าความถี่การสั่นของคริสตอลที่มีค่าลดลงเมื่อมีสารมาเคลือบเกาะที่ผิวของคริสตอลมากขึ้น โดยความถี่ที่ได้จะคำนวณอัตราการระเหยสารและความหนาโดย XTM/2 Thin Film Deposition Monitor ของ INFICON แสดงดังรูปที่ 3.8 โดยที่อุปกรณ์ 3, 4, 5 และ 6 ภายในห้องสุญญากาศแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 เครื่องแสดงผลความหนาฟิล์มบาง



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง

4. ซัดเตอร์มีหน้าที่ในการเปิด-ปิดไอระเหยของสารที่จะขึ้นไปเกาะฐานรองรับ
5. ตัวยึดจับฐานรองรับมีหน้าที่ใช้ยึดจับฐานรองรับที่ใช้และสามารถทำการหมุนได้ขณะที่

ทำการระเหยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ชุดให้ความร้อนแก่ฐานรองรับเป็นระบบที่ให้ความร้อนแก่ฐานรองรับโดยหลอดไฟควอทซ์ และมีเทอร์โมคัปเปิลที่สามารถวัดอุณหภูมิของฐานรองรับได้

ระบบปั๊มสุญญากาศและอุปกรณ์การวัดความดันสุญญากาศ

1. ปั๊มกลโรตารี (Mechanical rotary pump)

ปั๊มกลโรตารีใช้ในการสร้างสุญญากาศขั้นต้น สามารถสร้างสุญญากาศตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึงความดันประมาณ 10^{-3} มิลลิบาร์ หลักการทำงานคือ แก๊สหรืออากาศในภาชนะจะถูกขับออกโดยการเคลื่อนไหวของลูกสูบ ทำให้แก๊สในห้องสูบมีความดันเพิ่มมากขึ้นจนมากกว่าความดันบรรยากาศภายนอกและแก๊สจะถูกขับออกมา ประสิทธิภาพของปั๊มขึ้นอยู่กับ

- 1.) ผิวของสเตเตอร์ (Stator) และ โรเตอร์ (Rotor) จะต้องสะอาด มันเรียบและที่กำบัง (Shield) ด้านบนจะต้องไม่สึกกร่อนง่าย
- 2.) การกำบังระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ อาศัยน้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นและระบายความร้อนไปในตัว
- 3.) แก๊สที่อัดเพื่อขับออกจากปั๊มอาจมีไอน้ำปะปนอยู่ ไอน้ำหรือไอของของเหลวนี้อาจละลายในน้ำมันที่ความดันสูง จึงไม่ถูกขับออกโดยง่าย แต่จะถูกนำกลับ เข้าไปในห้องสเตเตอร์ได้อีก ทำให้ประสิทธิภาพการปั๊มลดลง วิธีแก้ไขให้ใช้ แก๊สบัลลาสต์ (Gasballast)

ลักษณะของปั๊มกลโรตารีแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ลักษณะของปั๊มกลโรตารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัมป์กังหันโมเลกุล (Turbomolecular pump)

ปัมป์กังหันโมเลกุลจะใช้ในการสร้างสุญญากาศตั้งแต่ 10^{-3} - 10^{-10} มิลลิบาร์ หลักการทำงานคือ แก๊สหรืออากาศในภาชนะจะถูกขับออกเนื่องจากการหมุนของใบพัด ปัมป์กังหันโมเลกุลจะประกอบด้วยโรเตอร์และสเตเตอร์หลายชั้น ซึ่งแก๊สภายในภาชนะจะถูกขับออกจากใบพัดชั้นบนสุดลงสู่ชั้นล่างและถูกขับออกสู่ภายนอก ประสิทธิภาพของปัมป์ขึ้นอยู่กับ

1.) ความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 20,000 – 30,000 รอบต่อนาที (Revolutions per minute ; rpm)

2.) น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส ซึ่งแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะถูกขับออกจากภาชนะได้ดีกว่าแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า เช่น แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สฮีเลียมจะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจึงถูกขับออกจากภาชนะได้ยาก

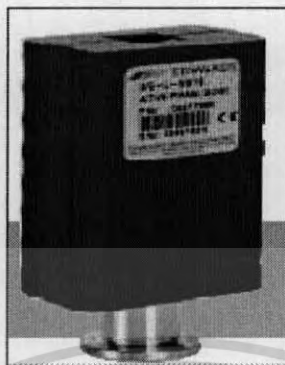
ลักษณะของปัมป์กังหัน โมเลกุลแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลักษณะของปัมป์กังหัน โมเลกุล

3. เกจพิรานี (Pirani gauge)

ใช้วัดความดันในช่วงความดันบรรยากาศถึง 10^{-3} มิลลิบาร์ ภายในเกจพิรานีมีเส้นลวดซึ่งถูกเผาให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของเส้นลวดจะเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากความร้อนถูกพาไปโดยโมเลกุลของแก๊สที่มาปะทะ ที่ความดันต่ำอุณหภูมิของเส้นลวดจะสูงขึ้นทำให้ค่าความต้านทานของเส้นลวดสูงขึ้นด้วย ความต้านทานของเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงจะวัดได้โดยใช้วงจรวีตสโตนบริจด์ (Wheatstone bridge) ลักษณะของเกจพิรานีแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ลักษณะของเกจพิรานี

4. เกจเพนนิ่ง (Penning gauge)

เรียกอีกอย่างว่า เกจไอออไนเซชัน (Ionization gauge) หรือ เกจแบบขั้วแคโทดเย็น (Cold cathode ionisation gauge) ใช้วัดความดันบรรยากาศในช่วง 10^{-3} - 10^{-10} มิลลิบาร์ หลักการทำงานคือใช้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วแคโทดเย็นทำให้เกิดการแตกตัวของแก๊สทำให้เกิดอิเล็กตรอนและไอออนบวก อิเล็กตรอนที่เกิดจากการแตกตัวจะถูกเร่งไปยังขั้วแอโนด และจะถูกบังคับให้วิ่งกลับไปมาระหว่างขั้วแคโทดกับขั้วแอโนดโดยสนามแม่เหล็ก จนกระทั่งถูกจับไว้โดยขั้วแอโนด ส่วนไอออนบวกจะวิ่งไปปะทะขั้วแคโทดแล้วปลดปล่อยอิเล็กตรอนลำดับที่สองและอะตอมที่เป็นกลาง ซึ่งกระแสไฟฟ้าในการแตกตัวของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของความดัน ลักษณะของเกจเพนนิ่งแสดงดังรูปที่ 3.13

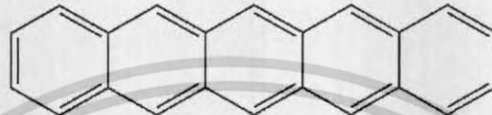


รูปที่ 3.13 ลักษณะของเกจเพนนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารอินทรีย์ที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง

ในงานวิจัยนี้ใช้สารอินทรีย์เพนทาซีน (pentacene) ของบริษัท Aldrich Chem. Co. ที่มีความบริสุทธิ์ 99.8% ซึ่งมีโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพ แสดงดังรูปที่ 3.14 และแสดงสมบัติของเพนทาซีน ดังตารางที่ 3.1



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.14 (ก) แสดงโครงสร้างของเพนทาซีน (ข) สารเพนทาซีน

ชื่อสารอินทรีย์	Pentacene
ชื่อทางเคมี	Polycyclic aromatic hydrocarbon pentacene
สูตรทางเคมี	$C_{22}H_{14}$
Molecular Weight	278.35 g/mol
จุดหลอมเหลว	$300^{\circ}C$
ลักษณะทางกายภาพ	ผงสีดำ- น้ำตาล
HOMO	4.95 eV
LUMO	2.75 eV

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของสารอินทรีย์เพนทาซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทำความสะอาดฐานรองรับ

ขั้นตอนการทำความสะอาดฐานรองรับเป็นขั้นตอนที่มีขึ้นก่อนการปลูกฟิล์มบาง เพื่อเป็นการขจัด ะละ้าง สิ่งสกปรก ฝุ่นละออง และคราบไขมัน บริเวณพื้นผิวหน้ากระจก ซึ่งฐานรองรับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นกระจกสไลด์ รุ่น superior จาก เยอรมัน ขนาด 76×26 มิลลิเมตร และกระบวนการทำความสะอาดฐานรองรับที่เป็นกระจก ถูกเรียกว่า กระบวนการ ปิรันฮา (Piranha Process) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำกระจกไปล้างด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน
2. จากนั้นนำกระจกไปต้มในสารละลายระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ด้วยอัตราส่วนของ (H_2O_2) ต่อ (H_2SO_4) คือ 1 : 2 เป็นเวลา 15 นาที
3. นำไปล้างซ้ำด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน
4. ล้างด้วยน้ำไร้ไอออน (De-ionized water)
5. นำไปแช่ในไอโซโพรพานอล ($CH_3CH(OH)CH_3$)
6. นำไปแช่ในอะซิโตน (CH_3COCH_3) และเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
7. นำไปอบให้แห้งในเตาอบเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.15 แสดงอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการล้างฐานรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน

ดำเนินการปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน โดยระบบระเหยสารอินทรีย์ โดยทำการศึกษาเงื่อนไขในการปลูกเพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีคุณภาพดี ซึ่งในงานวิจัยนี้เงื่อนไขของการปลูกที่จะศึกษา คือ ความหนาของฟิล์มบาง

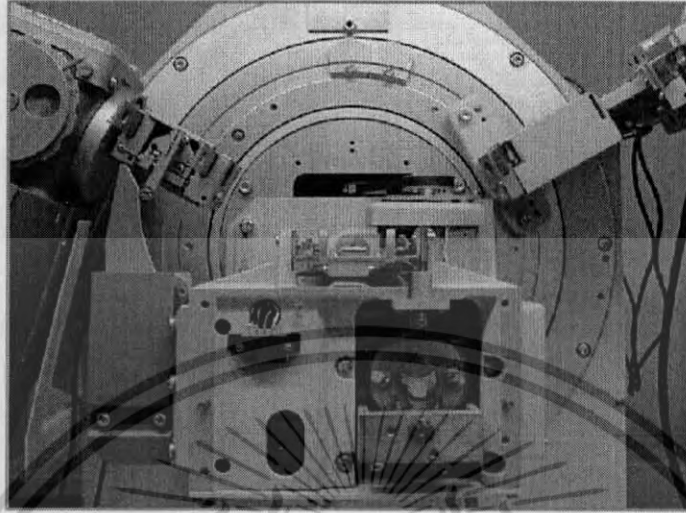
3.4.1 การปลูกฟิล์มบางของสารอินทรีย์ เพนทาซีน ที่ความหนาต่างกัน

ในการทดลองได้นำสารเพนทาซีนความบริสุทธิ์ 99.8% แล้วนำไปทำการระเหยสารในระบบระเหยสารที่ความดันสุญญากาศประมาณ 5×10^{-6} mbar โดยใช้ฐานรองรับที่เป็นกระจก แล้วทำการปลูกฟิล์มโดยไม่ให้อุณหภูมิแก่ฐานรองรับ ซึ่งมีการควบคุมอัตราการระเหยที่ $0.1 \text{ \AA}/\text{s}$ และความหนาของฟิล์มที่ทำการปลูกคือ 10, 50, 80, 100 และ 200 นาโนเมตรตามลำดับ ซึ่งฟิล์มที่ได้จะถูกนำไปตรวจสอบคุณลักษณะด้วยการวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ การวัดการทะลุผ่านของแสง ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอม

3.5 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบางเพนทาซีน

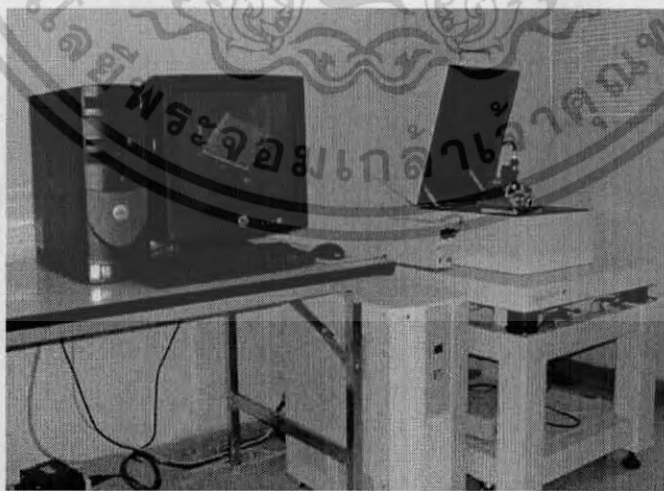
3.5.1 การตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้างโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์ กราฟที่ได้จากการตรวจสอบจะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์และมุมของการเลี้ยวเบนเรียกว่า รูปแบบการเลี้ยวเบน ซึ่งธาตุและสารประกอบแต่ละชนิดจะมีลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนเฉพาะตัว ในการตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้างโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะใช้เครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8 Advance ของบริษัท Bruker แสดงดังรูปที่ 3.16 ซึ่งค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์เท่ากับ 1.5406 อังสตรอม



รูปที่ 3.16 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8 Advance

3.5.2 การตรวจสอบพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอม
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอมเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะ
พื้นผิวและขนาดของเกรน (Grain) ของฟิล์มบางที่ปลูก โดยอาศัยหลักการแรงระหว่างอะตอม
(atomic force) ระหว่างตัวเข็มวัดในระดับนาโนกับพื้นผิวของสาร และประมวลผลออกมาใน
ลักษณะของภาพสามมิติ และสภาพพื้นผิว



รูปที่ 3.17 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอมของบริษัท Seiko รุ่น SPA400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสงด้วย UV-VIS Spectrophotometer

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและช่วงที่ตามองเห็น นั่นก็คือช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร(nm) ของสารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ (organic compound) สารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (inorganic compound) โดยนำสารตัวอย่างใส่ในเซลล์ควอร์ตซ์ (quart) แล้ววางในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดแสง สารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสี หรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังตัวตรวจวัดแสงที่เป็น photomultiplier tube (PMT) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมา โดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลผลเป็นเส้นสเปกตรัม ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าความยาวคลื่น



รูปที่ 3.18 แสดงเครื่อง UV-VIS spectrometer ของบริษัท thermo Spectronic รุ่น Heλ105Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการสร้างโฟโตโวลต์ตาอิกสารอินทรีย์

3.6.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับ

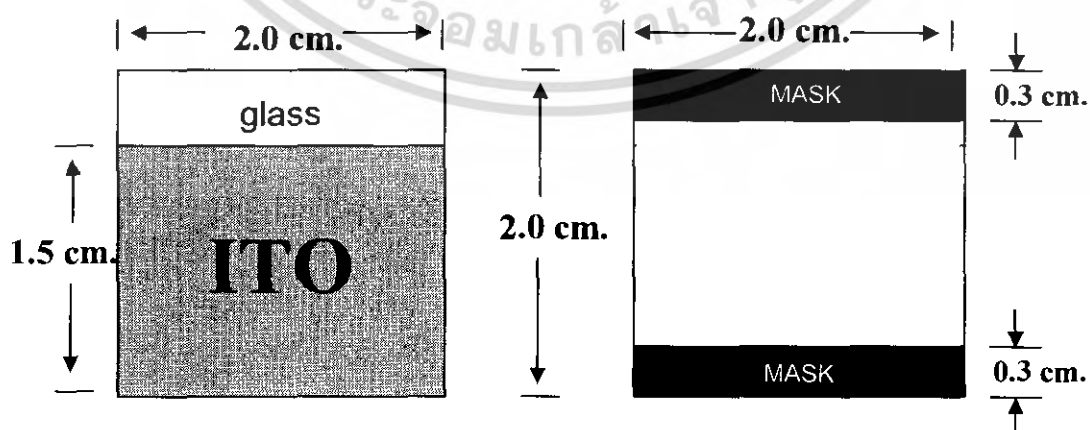
ก่อนที่จะทำการระเหยสารลงบนฐานรองรับ ITO จะต้องมีการขั้นตอนการทำความสะอาดเพื่อล้างส่งสกปรก ผุ่น และคราบไขมันที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ล้างฐานรองรับด้วยน้ำไร้ประจุ (DI Water) ในเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaner) เป็นเวลา 15 นาที
2. ล้างฐานรองรับด้วยอะซิโตน (Acetone ; CH_3COCH_3) ในเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaner) เป็นเวลา 15 นาที
3. ล้างฐานรองรับด้วยเมทานอล (Methanol ; CH_3OH) ในเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaner) เป็นเวลา 15 นาที
4. ล้างฐานรองรับด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanol ; $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$) ในเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaner) เป็นเวลา 15 นาที
5. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2)

3.6.2 ขั้นตอนการสร้างโฟโตโวลต์ตาอิกด้วยสารอินทรีย์เพนทาซีนและขั้วไฟฟ้าด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ด้วยความร้อน

โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำฐานรองรับ ITO ที่ทำความสะอาดแล้วมาติดหน้ากาก (Mask) สำหรับระเหยสารอินทรีย์เพนทาซีนดังรูป

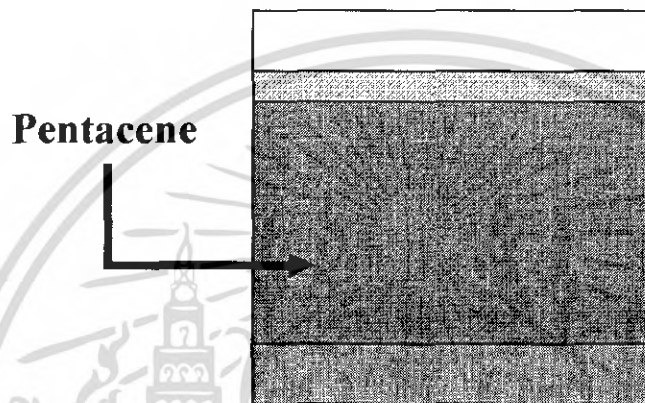


รูปที่ 3.19 แสดงหน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์เพนทาซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

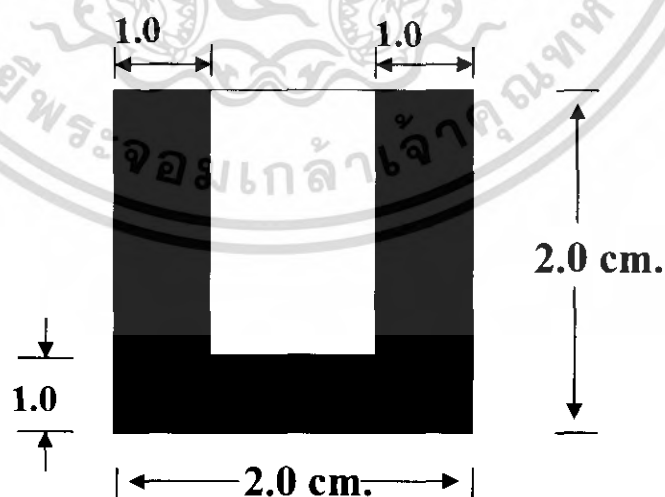
2. นำไปปลูกสารอินทรีย์เพนทาซีน ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ด้วยความร้อน โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการระเหยดังต่อไปนี้

- Base Pressure ประมาณ 5×10^{-6} mbar
- Evaporation Rate ประมาณ $0.1 \text{ \AA} / \text{s}$
- ไม่มีการให้ความร้อนแก่ฐานรองรับ



รูปที่ 3.20 แสดงภาพหลังจากการปลูกฟิล์มบางเพนทาซีน

3. นำไปทำการระเหยขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียม โดยนำหน้ากาก (Mask) สำหรับระเหยสารอินทรีย์จากชั้นคอนก่อนหน้าออก แล้วนำหน้ากากสำหรับการระเหยขั้วอลูมิเนียมมาติดแทน ดังรูป

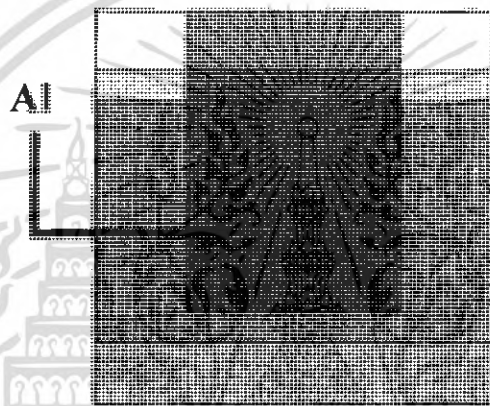


รูปที่ 3.21 แสดงหน้ากากสำหรับระเหยขั้วอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

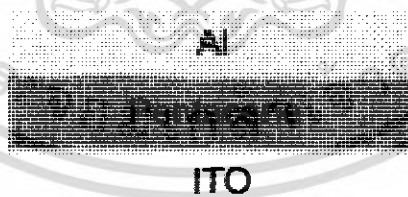
4. ทำการระเหยขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียม ด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน โดยมีเงื่อนไขในการระเหยดังนี้

- Based Pressure ประมาณ 5×10^{-6} mbar
- Evaporation Rate ประมาณ $> 20 \text{ \AA/s}$
- ความหนา 200 นาโนเมตร
- ไม่มีการให้ความร้อนแก่ฐานรองรับ



รูปที่ 3.22 แสดงภาพหลังจากการปลูกขั้วอลูมิเนียม

เมื่อทำการทดลองตามขั้นตอนข้างต้น จะได้โครงสร้างของโฟโตโวลตาอิก ดังนี้



รูปที่ 3.21 แสดงโครงสร้างของโฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์เพนทาซีน

5. นำโฟโตโวลตาอิกที่ได้ไปวัดค่าความต่างศักย์ขณะที่ฉายแสง

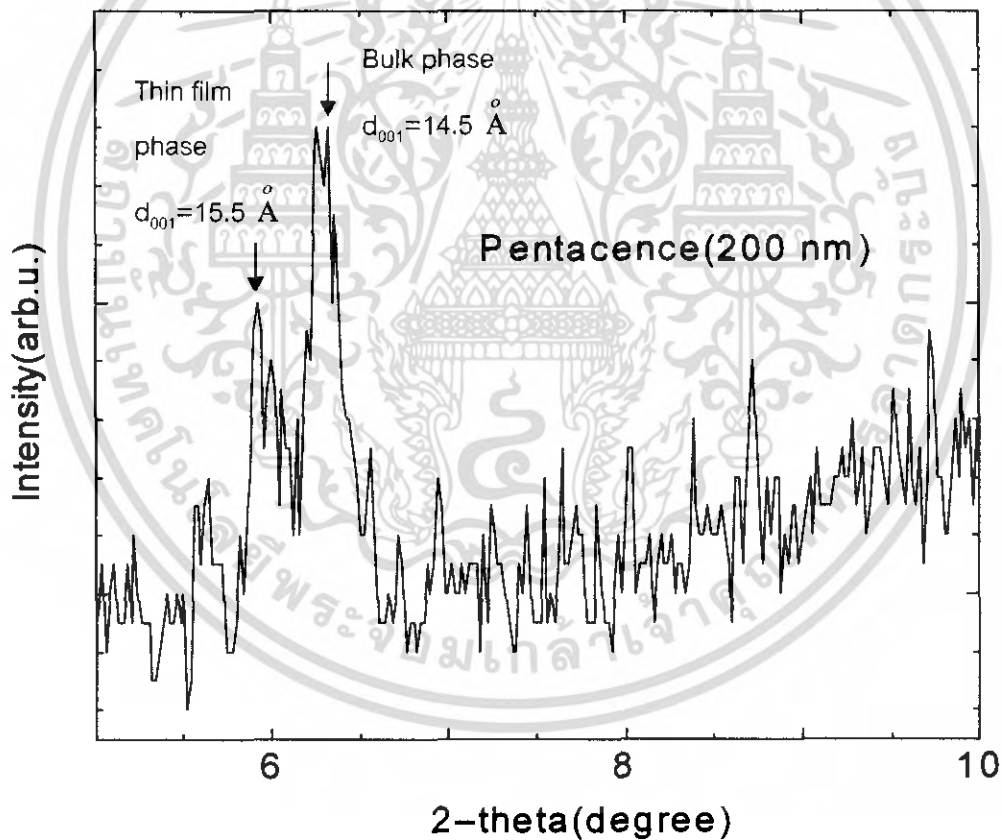
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ภายหลังจากการปลูกฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีน ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ จากนั้น นำฟิล์มบางที่ได้มาทำการตรวจสอบลักษณะของฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีน และทำการสร้างเป็นโพโตไดโอดด้วยสารอินทรีย์เพนทาซีน

4.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีน

4.1.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางเพนทาซีน ที่ความหนา 200 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 4.1 จะพบว่าจากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางเพนทาซีน

ที่ความหนา 200 นาโนเมตร ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จะพบว่า เกิดฟิสิกที่มุม $2\theta = 5.8$ ซึ่งตรงกับระนาบของผลึก (001) และมีค่าคงที่ของแลตทิซคือ 15.5 \AA และ เกิดฟิสิกที่มุม $2\theta = 6.2$ ซึ่งตรงกับระนาบของผลึก (001) และมีค่าคงที่ของแลตทิซคือ 14.5 \AA โดยฟิสิกที่มุม $2\theta = 5.8$ จะมีความสูงต่ำกว่าฟิสิกที่มุม $2\theta = 6.2$

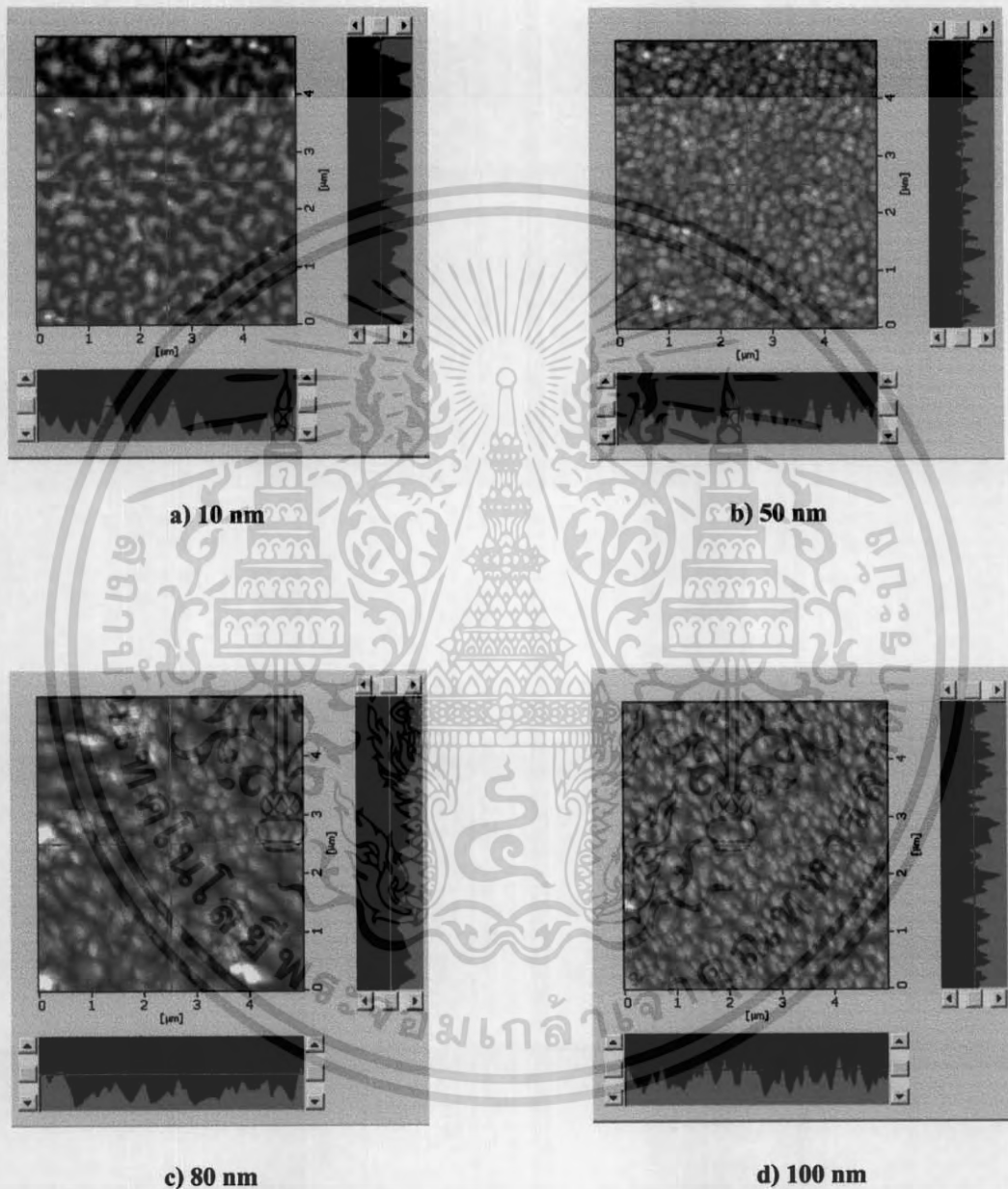
ซึ่งฟิสิกที่เกิดขึ้นที่มุม $2\theta = 5.8$ เรียกว่า thin film phase ส่วนฟิสิกที่เกิดขึ้นที่มุม $2\theta = 6.2$ เรียกว่า bulk phase โดยฟิล์มบางเพนทาซีนมีโครงสร้างเป็นแบบไตรคลินิก



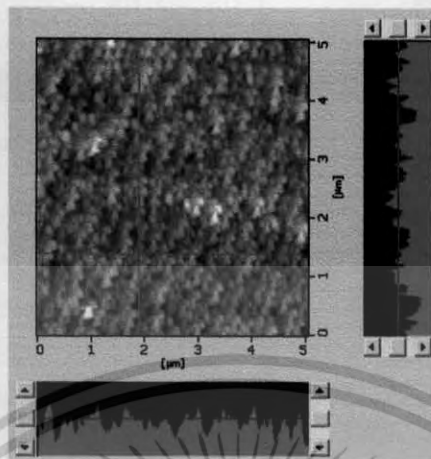
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

นำฟิล์มที่ได้มาทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางที่ความหนาต่างๆกันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม(Atomic Force Microscope)จะได้ดังรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



d) 200 nm

รูปที่ 4.2 รูปแสดงผลจากการวัดกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนา ในช่วง 10 nm, 50 nm, 80 nm, 100 nm และ 200 nm

จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมเมื่อฟิล์มบางมีความหนาต่างกัน จะสังเกตได้ว่าเมื่อความหนาของฟิล์มเปลี่ยนไปจาก 10 นาโนเมตร ไปจนถึง 200 นาโนเมตร ลักษณะของ morphology grain ก็จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

- ที่ความหนา 10 นาโนเมตร สารอินทรีย์เพนทาซีนที่ระเหยไปเกาะกับฐานรองรับมีขนาดบางมากทำให้ไม่สามารถปกคลุมได้ทั่วทั้งฐานรองรับ และมีค่า roughness RMS ที่ 3.063 nm
- ที่ความหนา 50 นาโนเมตร ฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีนมีการรวมตัวกันจนสามารถสังเกตเห็น morphology grain ขนาดเล็กๆ และมีค่า roughness RMS ที่ 3.588 nm
- ที่ความหนา 80 นาโนเมตร พบว่าฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีนมีขนาด morphology grain ของฟิล์มบางที่ใหญ่ขึ้น และมีค่า roughness RMS ที่ 1.048E+01 nm
- ที่ความหนา 100 นาโนเมตร พบว่าฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีนมีขนาด morphology grain ของฟิล์มบางเล็กลง และมีค่า roughness RMS ที่ 7.150 nm

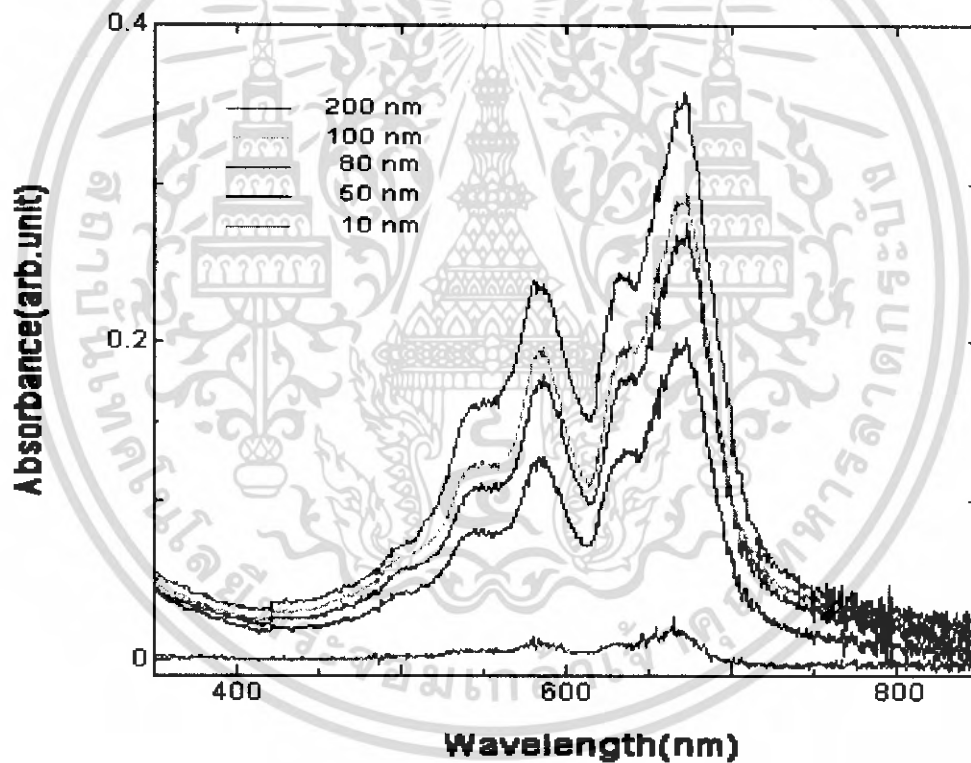
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ความหนา 200 นาโนเมตร พบว่าฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีนมีขนาด morphology grain ของฟิล์มบางเล็กกลง และมีค่า roughness RMS ที่ 3.120 nm

4.1.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง

4.1.3.1 การวัดการดูดกลืนแสงที่ขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่น ที่ความหนาต่างๆกัน

ผลในการวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 350 – 850 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นค่า absorbance เทียบกับค่าความยาวคลื่นดังรูปที่ 4.3



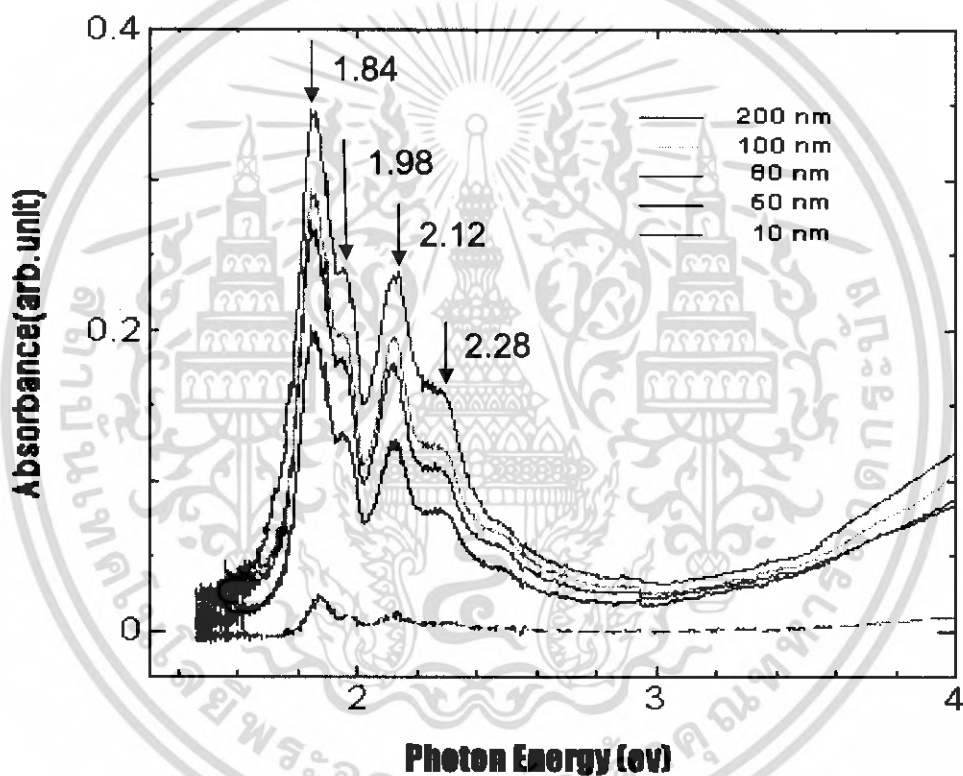
รูปที่ 4.3 รูปแสดงค่าของการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยแกนแนวนอนเป็นแกนของความยาวคลื่น โดยทำการปลูกสารที่ความหนา ต่างๆ โดยไม่มีการให้อุณหภูมิกับฐานรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์เพนทาซีน เทียบกับค่าความยาวคลื่นจะพบว่า มีช่วงการดูดกลืนที่ประมาณ 400-700 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้

4.1.3.2 การวัดการดูดกลืนแสงที่ขึ้นอยู่กับค่าของ Energy ที่ความหนาต่างๆกัน

จากกราฟรูปที่ 4.3 เราสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าพลังงานโฟตอนได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4

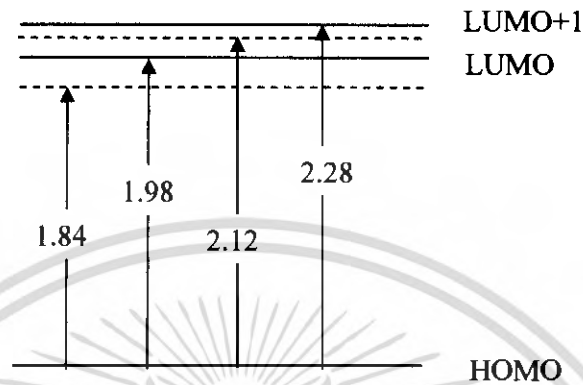


รูปที่ 4.4 รูปแสดงค่าของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยแกนแนวนอนเป็นแกนของพลังงานโฟตอน โดยทำการปลูกสารที่ความหนา ต่างๆ โดยไม่มีการให้อุณหภูมิกับฐานรองรับ

และเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์เพนทาซีน เทียบกับค่าของ Photon Energy จะเห็นได้ ว่าเกิดพีคที่เด่นชัดทั้งหมด 4 จุด คือเกิดขึ้นที่ 1.84 eV, 1.98 eV, 2.12 eV และ 2.28 eV และ เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นการแสดงค่าของการดูดกลืนของแสงก็จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งสาเหตุของการเกิดพีคขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายพีคั้นนั้นจะอธิบายด้วยทฤษฎีของ Frenkel exciton โดยที่เราสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมของการเกิดได้ดังรูปที่ 4.5



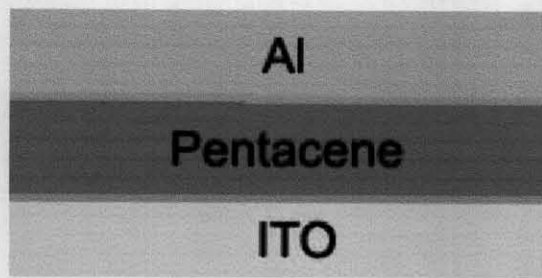
รูปที่ 4.5 รูปแสดงไดอะแกรมของชั้นพลังงานที่ได้จากวัดค่าของการดูดกลืนที่ช่วงต่างๆ

เมื่อมีการให้พลังงานโฟตอนไปยังสารอินทรีย์เพนทาซีน ถ้าพลังงานโฟตอนนั้นมีค่าเทียบเท่าหรือเกินกว่าช่องว่างแถบพลังงานก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงขึ้น โดยที่พลังงานโฟตอน 1.82 eV จะเกิดเป็น exciton level ส่วนที่พลังงานโฟตอน 1.98 eV จะเป็น fundamental gap (คือ เป็นช่องว่างของแถบพลังงานระหว่าง HOMO และ LUMO ส่วนที่พลังงานโฟตอน 2.12 eV จะเกิดเป็น exciton level และที่พลังงานโฟตอน 2.28 eV จะเป็นช่องว่างของแถบพลังงานระหว่าง HOMO และ LUMO+1

4.2 ทำการสร้างโฟโตโวลตาอิกด้วยสารอินทรีย์เพนทาซีน

4.2.1 ผลจากการทดลองโฟโตโวลตาอิกจากลักษณะโครงสร้าง ของ ITO/Pentacene/AI

นำฟิล์มบางเพนทาซีนมาสร้างเป็นโฟโตโวลตาอิกสารอินทรีย์ ซึ่งมีโครงสร้างคือ ITO/Pentacene/AI โดยในการเตรียมสร้างสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิกเริ่มจากการเตรียมขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) แล้วจึงทำการปลูกฟิล์มบางเพนทาซีนที่ความหนา 200 นาโนเมตร โดยไม่ให้อุณหภูมิแก่ฐานรองรับ แล้วทำการปลูกโลหะอลูมิเนียม (AI) เป็นชั้นบนสุด สำหรับเป็นขั้วไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 แสดงโฟโตโวลตาอิกจากโครงสร้าง ITO/Pentacene/Al



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะโฟโตโวลตาอิกจากโครงสร้าง ITO/Pentacene /Al

เมื่อนำสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิกที่ได้ไปวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยทำการฉายแสงด้วยหลอดไฟทั้งสแตน จะพบว่าได้ค่าความต่างศักย์อยู่ที่ 139 mV ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงโฟโตโวลตาอิก หลังจากทำการฉายแสง จะได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่

139 mV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การปลูกฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีน โดยระบบระเหยสารอินทรีย์ เป็นการศึกษาการปลูกฟิล์มบางโดยการให้ความร้อนแก่สารอินทรีย์เพนทาซีน ที่บรรจุอยู่ในเบ้าหลอม (crucible) จากนั้นสารอินทรีย์ก็จะเกิดการระเหยขึ้นไปเกาะกับแผ่นฐานรองรับ

ในโครงการพิเศษนี้จะทำการปลูกฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีน ความหนา 10 , 50 , 80, 100 และ 200 นาโนเมตรตามลำดับ จากการตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้างด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ความหนาของฟิล์มบาง 200 นาโนเมตรจะพบว่าจากรูปแบบการเลี้ยวเบน จะเกิดพีคขึ้นที่ $2\theta = 5.5$ ซึ่งตรงกับระนาบของผลึก (001) และมีค่าคงที่ของแลตทิซ คือ 15.5 \AA ซึ่งเรียกว่า Thin film phase และ เกิดพีคขึ้นที่ $2\theta = 7$ ซึ่งตรงกับระนาบของผลึก (001) และมีค่าคงที่ของแลตทิซคือ 14.5 \AA ซึ่งเรียกว่า Bulk phase โดยฟิล์มบางที่ความหนานี้ จะแสดงความเป็น Bulk phase มากกว่า Thin film phase

จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมจะสังเกตเห็นว่าลักษณะของ morphology grain มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มบางจาก 10 นาโนเมตร ไปยัง 200 นาโนเมตร

จากการตรวจสอบสมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer จะเห็นว่าฟิล์มบางเพนทาซีนสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ คือ 400-700 นาโนเมตร และเมื่อฟิล์มบางมีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 10 นาโนเมตร ไปจนถึง 200 นาโนเมตร ตามลำดับ จะพบว่าสามารถดูดกลืนแสงได้เพิ่มขึ้น และจะพบว่ามีค่าพลังงานโฟตอนหลายค่าที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการดูดกลืนแสงได้ สังเกตได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของพลังงานโฟตอน และการดูดกลืนของแสง ที่จะเกิดพีคขึ้นหลายพีค

สุดท้าย นำฟิล์มบางสารอินทรีย์เพนทาซีน ไปสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิกบนฐานรองรับ ITO ซึ่งสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิกที่สร้างขึ้นพบว่าเมื่อทำการฉายแสงมาตกกระทบโฟโตโวลตาอิกจะทำให้มีค่าแรงดันวงจรเปิดประมาณ 139 มิลลิโวลต์

ข้อเสนอแนะ

ในโครงการพิเศษนี้ เลือกฟิล์มบางเพนทาซินที่ความหนา 200 นาโนเมตรมาประดิษฐ์เป็น สิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิก เนื่องจากที่มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงสูงที่สุด อันจะส่งผลดีต่อ ประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิกด้วย อีกทั้งถ้าเลือกฟิล์มบางเพนทาซินที่ความหนา ต่ำๆ จะทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรขึ้นได้ที่ระหว่างรอยต่อ เพื่อป้องกันปัญหานี้จึงเลือกฟิล์มบางเพนทาซินที่ความหนาสูงๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เบญจพล ต้นอู๋. “การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ CuPc โดยเทคนิคระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [2] อนุศิษย์ แก้วประจักษ์. “การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงสารกึ่งตัวนำอินทรีย์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [3] C.C. Mattheus et al. “ **Identification of polymorphs of pentacene**” Synthetic Metals , vol.138 ,October, 2002. pp.475–481
- [4] Christine Corinne Mattheus. “ **Polymorphism and electronic properties of pentacene.**” Ter verkrijging van het doctoraat in de Wiskunde en Natuurwetenschappen aande Rijksuniversiteit Groningen op gezag van de. 2002
- [5] I.P.M. Bouchoms, W.A. Schoonveld, J.Vrijmoeth, T.M. Klapwijk. “ **Morphology identification of the thin film phases of vacuum evaporated pentacene on SiO₂ substrates** ” Synthetic Metals , vol.104 ,January, 1999. pp.175–178
- [6] Jagadish Yernagula. “**Contact effects in thermally evorated pentacene thin films and aspectsof microsystem hybrid integration.**” B.Tech., Jawaharlal Nehru Technological University, Hyderabad, India. 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้