การปลูกฟิล์มบาง Alq_3/ZnSe โครงสร้างบ่อควอนตัม โดยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน

GROWTH OF Alq_3/ZnSe QUANTUM WELL STRUCTURE THIN FILMS BY ELECTRON-BEAM EVAPORATION TECHNIQUE

สากล ระหงษ์

SAKON RAHONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1254-6

การปลูกฟิล์มบาง Alq_3/ZnSe โครงสร้างบ่อควอนตัม โดยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน

GROWTH OF Alq_3/ ZnSe QUANTUM WELL STRUCTURE THIN FILMS BY ELECTRON-BEAM EVAPORATION TECHNIQUE

สากล ระหงษ์
SAKON RAHONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-12554-6

การใช้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประ
ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่

GROWTH OF Alq_3/ ZnSe QUANTUM WELL STRUCTURE THIN FILMS BY ELECTRON-BEAM EVAPORATION TECHNIQUE

SAKON RAHONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTIUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-15-12554-6

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปลูกฟิล์มบาง Alq_3/ZnSe โครงสร้างบ่อควอนตัมโดยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน
นักศึกษา	นายสากล ระหงษ์
รหัสประจำตัว	44065009
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 กับสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์โครงสร้างบ่อควอนตัม โดยระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน ซึ่ง สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 จะเป็นบ่อควอนตัมและสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์เป็นส่วนของกำแพงศักย์ โดยจะศึกษาสมบัติทางพื้นผิวด้วย ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม และระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด พบว่าฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 มีลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่มของโมเลกุลและมีความขรุขระเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 เพิ่มขึ้น เมื่อทำการศึกษาสมบัติทางแสงโดย ระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ค่าการพลังงานการทรานซิชันในบ่อควอนตัมที่ได้จากระบบวัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างบ่อควอนตัมของ Alq_3 ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ควอนตัมคอนไฟน์เมนท์ จากนั้นจึงนำเอาฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 กับ สารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ โครงสร้างบ่อควอนตัม ทำการสร้างสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Growth of Alq_3/ ZnSe Quantum Well Structure Thin Films by Electron-Beam Evaporation Technique.
Student	Mr. Sakon Rahong
Student ID.	44065009
Degree	Master of Science
Programme	Applied Physics
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Jiti Nukeaw

ABSTRACT

The organic semiconductor tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq_3)/ZnSe quantum well structure thin films were grown by electron-beam evaporator system (Edwards Auto 306). Alq_3 and ZnSe were employed as quantum well and potential barrier, respectively. Morphology characterizations are investigated by atomic force microscope and scanning electron microscope. Morphology of Alq_3 thin film is molecular cluster and roughness increasing when thicknesses increase. Optical properties are characterized by photoreflectance spectroscopy. The subband transition energy increase when Alq_3 well width decreases that corresponding with quantum confinement effect. The Alq_3/ZnSe quantum well structure was fabricated for photovoltaic cell p-n quantum well application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากความกรุณาของ รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว ผู้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ทั้งทางด้านทฤษฎี และทางปฏิบัติ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานวิจัย ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำหรับทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทเวสเทอร์นดิจิตอล ประเทศไทย (WD) สำหรับ AFM

ขอบคุณ เพื่อนๆ ปรินส์รอแยลส์วิทยาลัย รุ่นสถาปนา 5090700 เพื่อนๆ ฟิสิกส์ประยุกต์ ลาดกระบังรุ่น15 เพื่อนและพี่ ปริญญาโท ปริญญาเอก ฟิสิกส์ประยุกต์ ลาดกระบัง ที่คอยเป็นห่วงข้าพเจ้าและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าในการทำงานวิจัย

ขอบคุณ สมาชิก ของห้องปฏิบัติการวิจัยควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีที่สุดแก่ข้าพเจ้า ในการทำงานวิจัยและในทุกสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ระหงษ์ และครอบครัว โกแสน สำหรับความอบอุ่นและทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขออุทิศแด่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่เข้ามาในชีวิตของข้าพเจ้า

สากล ระหงษ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...II

สารบัญ...III

สารบัญตาราง..VI

สารบัญรูป...VII

บทที่ 1 บทนำ...1

1.1 ความสำคัญและที่มาวิทยานิพนธ์...1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..2

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย..3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ...4

2.1 สมบัติและโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลสารอินทรีย์..................................4

2.1.1สมบัติคลื่นของอิเล็กตรอนในออร์บิทัล...4

2.1.2 ออร์บิทัลอะตอม...5

2.1.3 ออร์บิทัลโมเลกุล...7

2.1.4 ไฮบริดออร์บิทัล..9

2.2 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์..11

2.2.1 โมเลกุลขนาดเล็ก...14

2.2.2 คอนจูเกทพอลิเมอร์..15

2.3 ระดับพลังงานของโมเลกุล..15

2.3.1 ระดับพลังงานอันเนื่องมาจากการหมุน...16

2.3.2 ระดับพลังงานอันเนื่องมาจากการสั่น...17

2.3.3 การทรานซิชันของสารอินทรีย์...18

2.3.4 หลักการของแฟรงค์ คอนดอน...19

2.3.5 การวาวแสง...20

2.3.6 การเรืองแสง..20

2.4 สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์..22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 สมบัติของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3......24
2.6 สมบัติของผลึกอนินทรีย์ซิงค์ซีลีไนด์......26
2.7 โครงสร้างบ่อควอนตัม......28
2.7.1 กรณีบ่อสูงอนันต์......28
2.7.2 กรณีบ่อสูงจำกัด......29
2.8 ปรากฏการณ์ควอนตัมคอนไฟน์เมนต์......31
2.9 โฟโตรีเฟล็กแทนซ์ สเปกโทรสโคปี......32

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย......35
3.1 ระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูง......35
3.3.1 ห้องสุญญากาศ......36
3.1.2 ระบบปั๊มสุญญากาศ และอุปกรณ์วัดค่าความดันสุญญากาศ......37
3.1.3 ระบบควบคุมการทำงานระบบระเหยสาร......40
3.1.4 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของลำอิเล็กตรอน......41
3.2 การทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์......41
3.3 การปลูกฟิล์มบาง โครงสร้างกึ่งตัวนำอินทรีย์/อนินทรีย์ โดยวิธีระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน......42
3.3.1 การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3/ZnSe บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์......42
3.3.2 การปลูกฟิล์มบาง โครงสร้างบ่อควอนตัม Alq_3/ZnSe บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์......43
3.4 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบาง โครงสร้างสารอินทรีย์/อนินทรีย์......43
3.4.1 ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม......44
3.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด......45
3.4.3 ระบบวัดโฟโตรีเฟลกแทนซ์......46

บทที่ 4 ผลของการดำเนินงานวิจัย......47
4.1.การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 /ZnSe โดยวิธีระเหยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ด้วยลำอิเล็กตรอนบนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์.....................................47

4.2 การปลูกฟิล์มบาง โครงสร้างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3/ZnSe

แบบบ่อควอนตัม บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์.......................................50

4.2.1 ผลจากระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด....................50

4.2 2 ผลจากระบบวัดโฟโตรีเฟลกแทนซ์..53

4.2.3 ผลจากการกระตุ้นทางแสง...58

บทที่ 5 การประยุกต์ใช้งานโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม....60

5.1 หลักการทำงานของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็น

โครงสร้างบ่อควอนตัม...60

5.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็น

โครงสร้างบ่อควอนตัม...61

5.2.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นสารกึ่งตัวนำ..................................61

5.2.2 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบาง...62

5.2.3 ขั้นตอนการเคลือบขั้วโลหะทอง..63

5.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสง ของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็น

โครงสร้างบ่อควอนตัม...64

บทที่6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ...66

เอกสารอ้างอิง...68

บทความงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์..70

ประวัติผู้เขียน...75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงผลการวัดค่า α และ μ_0 ของ Chen....24

4.1 แสดงผลของพลังงานการทรานซิชันภายในบ่อควอนตัม ที่ได้จากระบบวัดโฟโต....55
รีเฟล็กแทนซ์

4.2 แสดงผลการคำนวณค่า E_e และ E_h....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1แสดงลักษณะของคลื่นนิ่ง โดยมี แอมพลิจูดเป็นกำลังสองของการกระจัดของคลื่น.............4
2.2 แสดงลักษณะของออร์บิทัล 1s ที่มีลักษณะเป็นแบบทรงกลม.......................................5
2.3 ออร์บิทัล 2p ที่ถูกแบ่งโดยระนาบบัพ คล้ายกับลูกตุ้มโดยทั้งสองด้านจะมีเฟสต่างกัน...........6
2.4 ออร์บิทัล d ตามลักษณะของการกระจาย...6
2.5 แสดงลักษณะการซ้อนทับของพันธะซิกมา...7
2.6 แสดงระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลเมื่อเกิดการซ้อนทับของพันธะซิกมา....................8
2.7 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เมื่ออะตอม ทั้งสองเข้ามาสร้างพันธะ.........................8
2.8 แสดงลักษณะการซ้อนทับของพันธะพาย...9
2.9 แสดง sp ออร์บิทัลแบบไฮบริด...9
2.10 แสดง sp^2 ออร์บิทัลแบบไฮบริด...10
2.11 แสดง sp^3 ออร์บิทัลแบบไฮบริด...11
2.12 แสดงตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์...11
2.13 แสดงการกระจายของอิเล็กตรอน และการเกิด sp^2 ออร์บิทัล ของคาร์บอน
ที่เป็นพันธะคู่..12
2.14 แสดงพันธะซิกมาในวงของเบนซีน และพันธะพายในวงของเบนซีน...........................12
2.15 แสดงระดับพลังงานพันธะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมข้างเคียงภายในวงเบนซีน........13
2.16 แสดงสารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบ โมเลกุลขนาดเล็ก...14
2.17 แสดงสารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบคอนจูเกทพอลิเมอร์..15
2.18 แสดงแบบจำลองของการหมุนระหว่างอะตอมคู่หนึ่ง..16
2.19 แสดงแบบจำลองของการสั่นระหว่างอะตอมคู่หนึ่ง..17
2.20 แสดงสถานะพลังงานของโมเลกุล (Molecular energy state) ทั้งสามระบบ.................18
2.21 แสดงกระบวนการเกิดการวาวแสง...19
2.22 แสดงกระบวนการเกิด การเรืองแสง...20
2.23 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ การการดูดกลืนแสง การวาวแสง และ
การเรืองแสง..21
2.24 แสดงแผนภาพของ Jablonski..21
2.25 แสดงลักษณะของการเคลื่อนประจุภายใต้อิทธิพลสนามไฟฟ้า.....................................22
2.26 แสดง hydroxyquinoline ring...24
2.27 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Alq_3..25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.28 แสดงสเปกตรัมของการกระตุ้น โฟโตลูมิเนสเซนส์ (PL) และอิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (EL)...25
2.29 แสดงโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์.....26
2.30 แสดงบริลลันโซนของโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลน.....27
2.31 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์.....27
2.32 แสดงช่วงการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์.....28
2.34 แสดงบ่อศักย์สี่เหลี่ยมแบบอนันต์ (Infinite Square well potential).....28
2.35 แสดงบ่อศักย์สี่เหลี่ยมแบบจำกัด (Finite square well potential) สูง V_0 29
2.36 แสดงผลเฉลยในการแก้ปัญหา.....31
2.37 แสดงปรากฏการณ์ควอนตัมคอนไฟน์เมนต์.....31
2.38 แสดงระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์สเปกโทรสโกปี.....32
3.1 ระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูง.....35
3.2 การจัดอุปกรณ์ในห้องสุญญากาศ.....36
3.3 แสดงลักษณะปั๊มกลโรตารี ของบริษัท EDWARDS รุ่น RV12.....38
3.4 ลักษณะของปั๊มกังหันโมเลกุล.....39
3.5 แสดงลักษณะของเกจพิรานิของบริษัท EDWARDS รุ่น PRM10K.....39
3.6 แสดงลักษณะของเกจเพ็นนิ่งของบริษัท EDWARDS รุ่น CP25K.....40
3.7 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของลำอิเล็กตรอนของระบบระเหยสาร.....41
3.8 (ก) สารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ (ข) สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3.....42
3.9 แสดงลักษณะชั้นของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์Alq_3/ZnSeบนแผ่นฐานรองรับ
กระจกสไลด์.....43
3.10 แสดงลักษณะชั้นของฟิล์มบาง โครงสร้างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3/ZnSe
แบบบ่อควอนตัม บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์.....43
3.11 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของ AFM.....44
3.12 แสดงลักษณะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด.....45
3.13 แสดงระบบวัดโฟโตรีเฟลกแทนซ์สเปกโทรสโกปี 46
4.1 ภาพจากระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ความหนาชั้น Alq_3 15 nm.....47
4.2 ภาพจากระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ความหนาชั้น Alq_3 20 nm.....48
4.3 ภาพจากระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ความหนาชั้น Alq_3 50 nm.....49
4.4 แสดงความขรุขระของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่ความหนาต่างๆ.....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ความหนา $Alq_3$15 nm....................51

4.6 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ความหนา $Alq_3$20 nm....................51

4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ความหนา $Alq_3$50 nm....................52

4.8 ค่าแถบพลังงานต้องห้ามของ Alq_3 ความหนา 1 μm จากระบบวัด โฟโตรีเฟล็กแทนซ์........53

4.9 ค่าของการทรานซิชันในบ่อควอนตัมจากระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ จากฟิล์มบาง ความหนาต่างๆ..54

4.10 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง การทรานซิชันในบ่อควอนตัม เมื่อความหนา..................55 ของชั้น Alq_3 เปลี่ยนแปลงไป

4.11 แสดง แถบพลังงานของฟิล์มบางโครงสร้างบ่อควอนตัม Alq_3/ZnSe บนแผ่น ฐานรองรับกระจกสไลด์ 56

4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/L^2$ และ E_e..57

4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/L^2$ และ E_h 57

4.14 แสดงผลกระทบของฟิล์มบาง Alq_3/ ZnSe โครงสร้างบ่อควอนตัม เมื่อได้รับการ กระตุ้นด้วยแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดซีนอน..58

5.1 แสดงลักษณะโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์...60

5.2 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์........61

5.3 ลักษณะแผ่นสารกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิด พี..61

5.4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ TPD และ Alq_3..62

5.5 แสดงโครงสร้างและความหนาของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครง............63 สร้างบ่อควอนตัม

5.6 แสดงลักษณะเครื่องสปัตเตอร์ริงกระแสตรง และ ตัวอย่างโฟโตโวลเตอิกเซลล์ที่เคลือบ.......63 ขั้วทองแล้ว

5.7 แสดงภาพถ่ายสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้าง...............64 บ่อควอนตัม

5.8 แสดงระบบวัดการตอบสนองทางแสง..64

5.9 แสดงการตอบสนองทางแสงของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็น....................65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาวิทยานิพนธ์

โดยทั่วไปแล้วสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะตอมของอินทรีย์ธาตุคือไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และ ไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ โดยจะมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามโครงสร้าง ราวปี 1950 ได้มีการค้นพบสารอินทรีย์ที่มีสมบัติคล้ายคลึงกับสารกึ่งตัวนำ โดยได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี เมื่อทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์จากสารดังกล่าวพบว่าสามารถนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ จึงเรียกสารดังกล่าวว่า สารกึ่งตัวนำแบบอินทรีย์ ในปี 1963 ได้มีการค้นพบปรากฏการณ์อิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (Electroluminescence, EL) จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์โดย Pope Kallmann และ Magnante [1] จึงเริ่มมีการนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronic)

ในปี 1987 C.W.Tang และ Vanslyke ได้สร้างไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์ (Organic Light emitting diode, OLED) แบบฟิล์มบางโมเลกุลขนาดเล็ก (Small molecule thin film) tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq_3) เป็นชั้นเปล่งแสงและใช้แรงดันในการไบแอสต่ำกว่า10 โวลท์ (Volt) [2][4] และในปี 1990 Burroughes และคณะวิจัย ได้สร้าง OLED แบบฟิล์มบางคอนจูเกทพอลิเมอร์ PPV (Conjugated polymer PPV) เป็นชั้นเปล่งแสง[3-4] จึงมีการริเริ่มที่จะพัฒนาไปประดิษฐ์เป็นจอแสดงผลแบนบาง (Flat panel display) นอกจากนี้ยังมีการนำเอา สารกึ่งตัวนำแบบอินทรีย์ไปประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ต่างๆเช่น โฟโตโวลเตอิกเซลล์(Photovoltaic cell), ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบพอลิเมอร์ (Polymer FET),เลเซอร์ (Laser)

ข้อดีของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์คือ

1. สามารถสังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ
2. การผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อน
3. ต้นทุนการผลิตต่ำเมื่อเทียบกับการสร้างอุปกรณ์จากสารกึ่งตัวนำอนินทรีย์
4. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการสร้างอุปกรณ์จากสารกึ่งตัวนำอนินทรีย์

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางแบบโมเลกุลขนาดเล็ก โดยสารอินทรีย์ที่ใช้คือ tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum(III) หรือ Alq_3 ซึ่งวิธีที่ใช้ในการเตรียมจะใช้การระเหยสาร โดยระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron beam evaporator) ในสุญญากาศสูง (High vacuum) แล้วทำการศึกษาสมบัติทางพื้นผิวของฟิล์มบาง จากนั้นจึงทำการสร้างฟิล์มบาง

เอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างควอนตัม โดยทำการปลูกฟิล์มบาง ซิงค์ซีลีไนด์(ZnSe) ซึ่งเป็นส่วนของกำแพงศักย์ ประกบฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 เป็นบ่อควอนตัม แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 หรือความกว้างของบ่อควอนตัม ในการตรวจสอบฟิล์มบางโครงสร้างบ่อควอนตัม สามารถทำได้โดยการวัดค่าพลังงานการ ทรานซิชันในโครงสร้างบ่อควอนตัม ซึ่งจะอาศัยระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ (Photoreflectance,PR) ในการตรวจสอบ

จากนั้นจึงทำการสร้างสิ่งประดิษฐ์ โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม โดยการตรวจสอบนั้นจะอาศัยระบบวัดผลการตอบสนองทางแสง(Wavelength Response) แล้วจึงทำการพัฒนาตัวสิ่งประดิษฐ์ให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบโมเลกุลขนาดเล็กโครงสร้างบ่อควอนตัม

1.2.2 ศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำที่ปลูกได้จากระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน

1.2.3 ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เมื่อเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ โครงสร้างบ่อควอนตัม

1.3 การดำเนินงานวิจัย

เริ่มจากการเรียนรู้ในการควบคุมระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูง ให้เกิดทักษะความชำนาญ ทำการศึกษาสารแต่ละชนิดที่จะนำมาทำการปลูกฟิล์มบางทั้งสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ทดลองปลูกฟิล์มบางโดยเฉพาะสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 พร้อมกับศึกษาเงื่อนไขต่างๆจากนั้นจึงเริ่มทดลองปลูกฟิล์มบางโครงสร้างบ่อควอนตัม แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 นำฟิล์มที่ได้มาศึกษาสมบัติทางพื้นผิวโดย ระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Scanning electron microscope, SEM) และระบบวัดกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope, AFM) แล้วจึงนำฟิล์มโครงสร้างดังกล่าวมาศึกษาสมบัติทางแสงเพื่อหาค่าพลังงานการทรานซิชันในบ่อควอนตัม (Transition energy) โดยระบบวัดโตรีเฟล็กแทนซ์ (Photoreflectance, PR) และทำการประยุกต์ใช้งานสร้างเป็น สิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1.4.1 มีความรู้และสามารถใช้งานระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูง เพื่อปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบโมเลกุลขนาดเล็ก Alq_3

1.4.2 มีความรู้ในการวัดและวิเคราะห์ผลการทดลอง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) ระบบวัดโตรีเฟล็กแทนซ์ (PR) และระบบวัดผลการตอบสนองทางแสง (Wavelength Response)

1.4.3 มีความรู้เกี่ยวกับสมบัติทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบโมเลกุลขนาดเล็ก Alq_3 และสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ (ZnSe)

1.4.4 มีความรู้ในการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ เพื่อประยุกต์ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

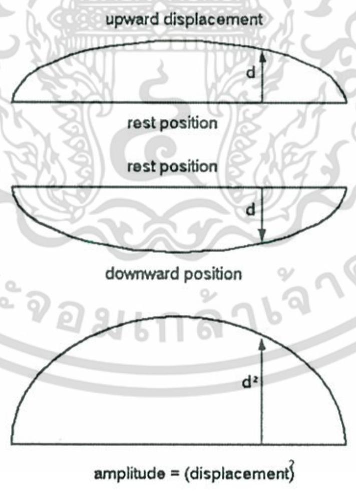
ทฤษฎีและหลักการ

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยประกอบด้วย สมบัติและโครงสร้างพื้นฐานโมเลกุลของสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบคอนจูเกท (Conjugate) สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic Semiconductor) สมบัติของผลึกอนินทรีย์ซิงค์ซีลีไนด์ ปรากฏการณ์ควอนตัมคอนไฟน์เมนต์

2.1 สมบัติและโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลสารอินทรีย์

2.1.1 สมบัติคลื่นของอิเล็กตรอนในออร์บิทัล

ปี 1923 Louis de Broglie ได้เสนอแนวคิดว่า แสงมีพฤติกรรมสองลักษณะคือ ประพฤติตนเป็นได้ทั้งอนุภาคและคลื่น ดังนั้นอนุภาคเช่นโปรตอน หรือ อิเล็กตรอนย่อมต้องมีสมบัติคลื่นเช่นกัน โดยให้มีลักษณะเป็นแบบคลื่นนิ่ง (Standing wave) ดังรูป2.1



รูป 2.1 แสดงลักษณะของคลื่นนิ่ง โดยมีแอมพลิจูดเป็นกำลังสองของการกระจัดของคลื่น

เมื่ออนุภาคแสดงสมบัติเป็นคลื่น จะมีค่าความยาวคลื่นของ เดอ บรอย เป็น

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{และ} \quad p = \hbar k$$

h คือค่าคงที่ของแพลงค์ (Planck constant) มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} J-s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p คือ โมเมนตัม

k คือ เวกเตอร์คลื่น (Wave vector)

เมื่ออิเล็กตรอนประพฤติตนเป็นคลื่นสามารถอธิบายลักษณะของคลื่นได้โดยฟังก์ชันคลื่น (Wavefunction) ψ จากสมการของชโรดิงเงอร์ (Schrödinger) ซึ่งในกรณีของอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่บนแกน x จะได้ว่า

$$\psi(x,t) = Ae^{-i(\omega t - kx)}$$

และความน่าจะเป็นที่จะพบอิเล็กตรอนในโคออร์ดิเนต r คือ

$$|\psi(r)|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi dr = 1$$

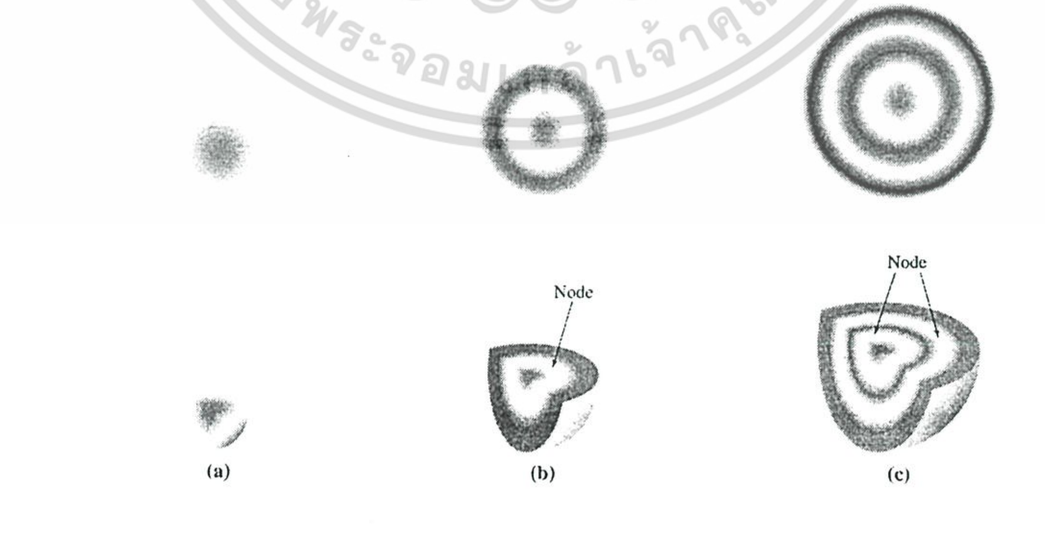
นั่นคือผลรวมของ ความน่าจะเป็น (Probability) ที่จะพบอนุภาคมีค่าเท่ากับ 1

2.1.2 ออร์บิทัลอะตอม (Atomic orbital)

ออร์บิทัลอะตอม คือบริเวณที่มีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนมากที่สุดรอบนิวเคลียส โดยมีลักษณะเป็นฟังก์ชันคลื่น[5]

1. s-ออร์บิทัล เป็นออร์บิทัลที่แสดงถึงโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสโดยมีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งการกระจายของอิเล็กตรอนจะไม่ขึ้นกับทิศทางเนื่องจากมีเลขควอนตัมเชิงมุม (Angular momentum quantum number) เท่ากับ ศูนย์

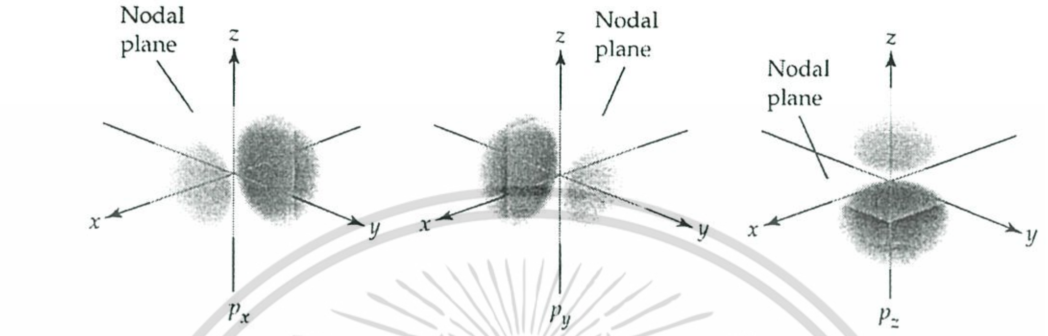
ในอะตอมที่มี s-ออร์บิทัล มากกว่าหนึ่งออร์บิทัล เช่นมีทั้ง 1s, 2s, 3s, … ภายในทรงกลม บริเวณระหว่าง 1s กับ 2s หรือ 2s กับ 3s โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนบริเวณนี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เรียกบริเวณนี้ว่าบัพ (node) แสดงดังรูป



รูป 2.2 แสดงลักษณะของออร์บิทัล 1s ที่มีลักษณะเป็นแบบทรงกลม

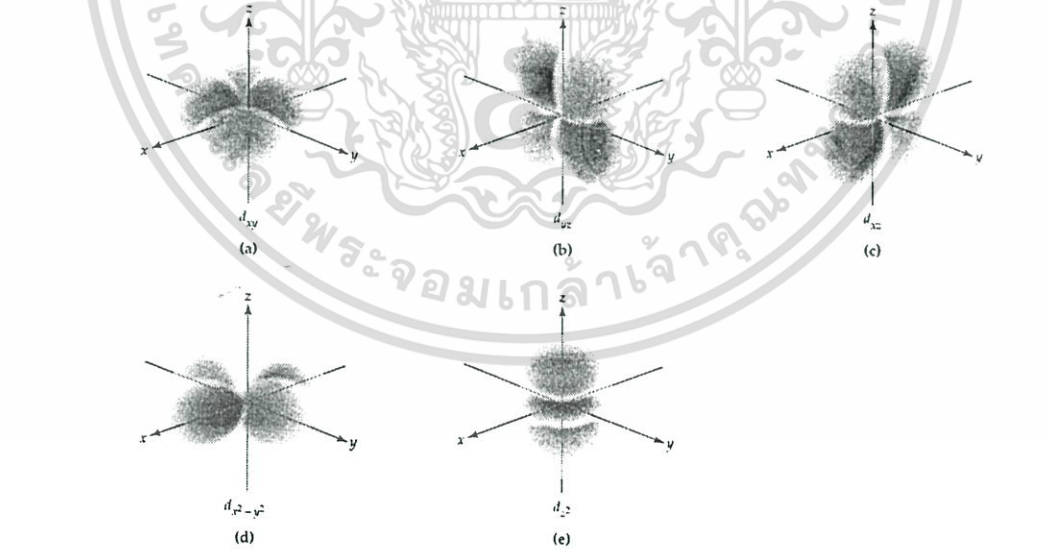
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ลักษณะคือ p_x, p_y, p_z



รูป 2.3 ออร์บิทัล 2p ที่ถูกแบ่งโดยระนาบบัพ คล้ายกับลูกตุ้มโดยทั้งสองด้านจะมีเฟสต่างกัน

3. d-ออร์บิทัล มีเลขควอนตัมเชิงมุม $l = 2$ โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนใน d-ออร์บิทัล จะขึ้นกับระยะจากนิวเคลียสและทิศทาง มีค่าเลขควอนตัมแม่เหล็ก (Magnetic quantum number) m_l = +2,+1,0,-1,-2 โดย d-ออร์บิทัล มีการกระจาย 5 ลักษณะคือ $p_{xy}, p_{xz}, p_{yz}, p_{x^2-y^2}, p_{z^2}$



รูป 2.4 ออร์บิทัล d ตามลักษณะของการกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

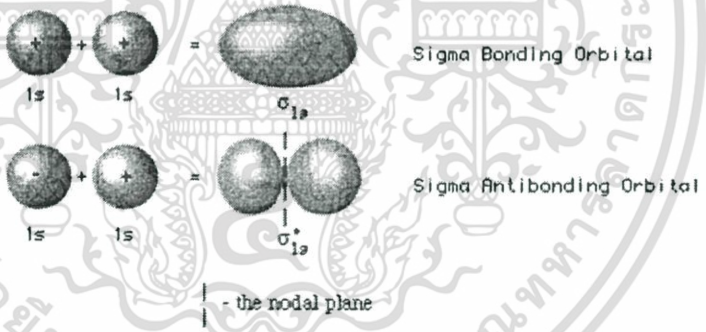
2.1.3 **ออร์บิทัลโมเลกุล** (Molecular Orbital)

ตามทฤษฎีแล้วโมเลกุลเกิดจากการเกิดอันตรกิริยาของออร์บิทัลอะตอมทำให้เกิดการซ้อนทับ หรือการผลักกันระหว่างออร์บิทัลอะตอม ซึ่งลักษณะการเกิดอันตรกิริยาของออร์บิทัลอะตอมจะมี 2 ลักษณะ

1. ออร์บิทัลโมเลกุลที่สร้างพันธะ (Bonding molecular orbital) เนื่องจากออร์บิทัลอะตอมมีสถานะที่ตรงกัน ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมีมากบริเวณนิวเคลียสของอะตอมทั้งสอง และทำให้เกิดเป็นพันธะระหว่างอะตอม
2. ออร์บิทัลโมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะ (Antibonding molecular orbital)) เนื่องจากออร์บิทัลอะตอมมีสถานะที่ตรงข้ามกัน ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะกระจายอยู่นอกบริเวณนิวเคลียสของอะตอมทั้งสอง

พันธะที่เกิดการซ้อนทับของออร์บิทัลโมเลกุล จะมี 2 ลักษณะคือ

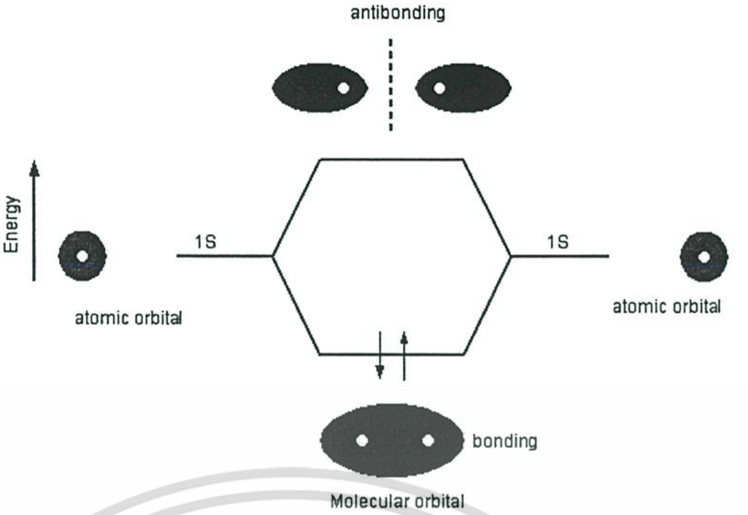
1.พันธะซิกมา (σ-bond) เกิดจากการซ้อนทับลักษณะปลายชนปลาย หรือ หัวชนหัว (Head to head) โดยมีลักษณะการซ้อนทับและการผลักกัน ดังรูป



รูป 2.5 แสดงลักษณะการซ้อนทับของพันธะซิกมา

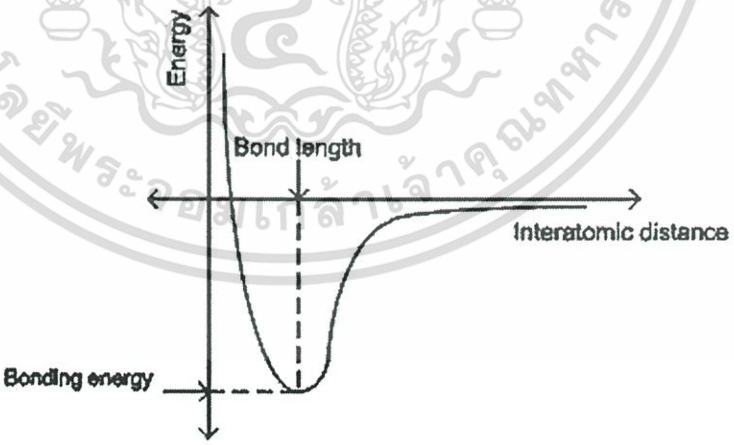
การรวมกันของออร์บิทัล s จะได้ออร์บิทัลโมเลกุลแบบซิกมาเท่านั้นและระดับพลังงานของออร์บิทัลที่สร้างพันธะจะต่ำกว่าระดับพลังงานของออร์บิทัลที่ต้านการสร้างพันธะและต่ำกว่าระดับพลังงานของออร์บิทัลอะตอมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.6 แสดงระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลเมื่อเกิดการซ้อนทับของพันธะซิกมา

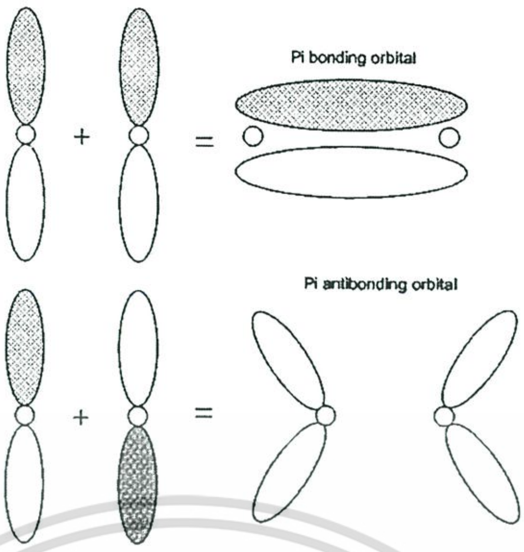
การเกิดพันธะทำให้พลังงานศักย์ของอะตอมลดลงเมื่อเทียบกับอะตอมที่อยู่เดี่ยวๆและมีพลังงานศักย์ต่ำสุดที่ระยะหนึ่งเรียกระยะนี้ว่า ความยาวพันธะ (Bond length) ระหว่างอะตอมทั้งสอง และค่าพลังงานที่ระยะพันธะจะเรียกว่า พลังงานพันธะ (Bonding energy) หากอะตอมทั้งสองเข้าใกล้กัน มากกว่าความยาวพันธะจะเกิดการผลักกัน ระหว่างเวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมทั้งสอง ทำให้ค่าพลังงานศักย์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูป 2.7 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เมื่ออะตอม ทั้งสองเข้ามาสร้างพันธะ

2.พันธะพาย (π-bond) เกิดจากการซ้อนทับด้านข้าง (side to side) ซึ่งเป็นการซ้อนทับและการผลักกัน ระหว่างออร์บิทัล p_x กับ p_x หรือ p_z กับ p_z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

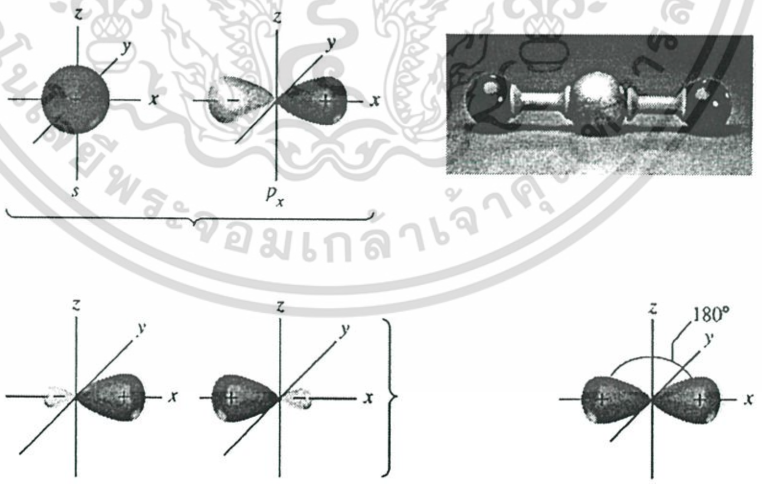


รูป 2.8 แสดงลักษณะการซ้อนทับของพันธะพาย

2.1.4 ไฮบริดออร์บิทัล (Hybrid orbital)

ไฮบริดออร์บิทัล เกิดจากการซ้อนทับกันระหว่างออร์บิทัลอะตอมต่างชนิดกันเช่น ออร์บิทัล s กับออร์บิทัล p

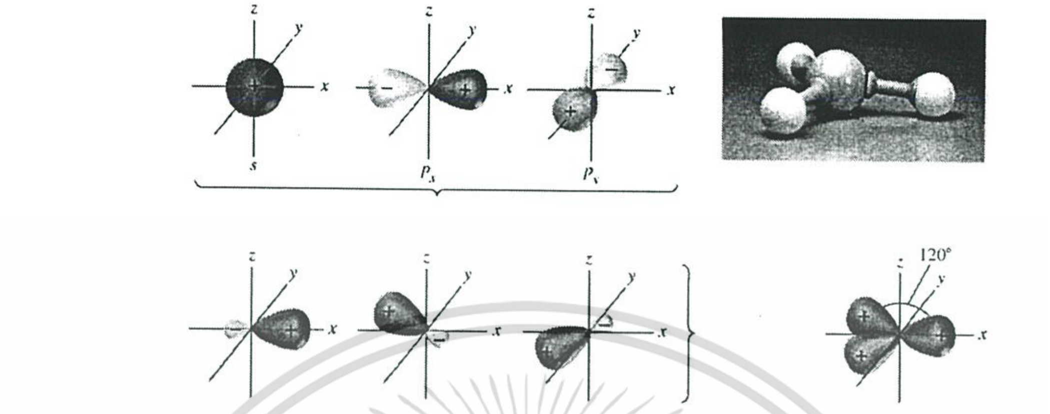
1. sp ไฮบริดออร์บิทัล เกิดจากการซ้อนทับระหว่างออร์บิทัล s 1 ออร์บิทัลกับออร์บิทัล p 1 ออร์บิทัล มีการจัดเรียงตัวเป็นแบบเชิงเส้น (Linear bonding arrangement)



รูปที่ 2.9 แสดง sp ออร์บิทัลแบบไฮบริด

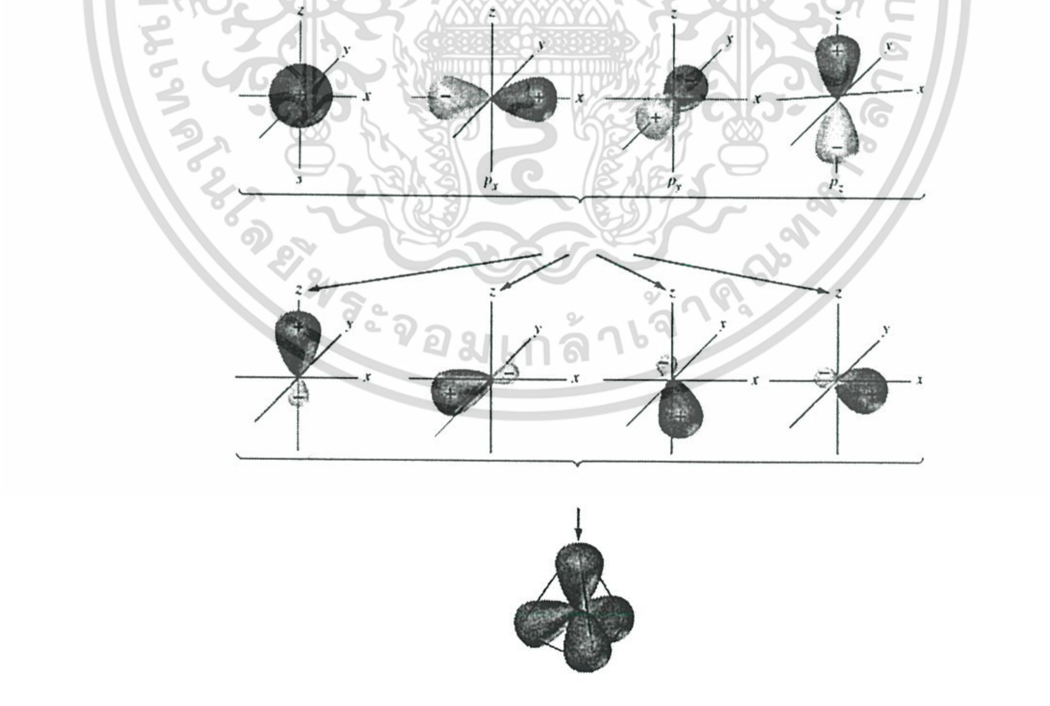
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.10 แสดง sp^2 ออร์บิทัลแบบไฮบริด

3. sp^3 ไฮบริดออร์บิทัลเกิดจากการซ้อนทับระหว่างออร์บิทัล s 1 ออร์บิทัลกับออร์บิทัล p 3 ออร์บิทัลมี การจัดเรียงตัวแบบเททระฮีดรอล (Tetrahedral arrangement) โดยแต่ละด้านทำมุมกัน 109.5°



รูปที่ 2.11 แสดง sp^3 ออร์บิทัลแบบไฮบริด

การเกิดไฮบริไดเซชั่นในพันธะต่างๆจะประกอบด้วยพันธะซิกมาและพันธะพายดังนี้

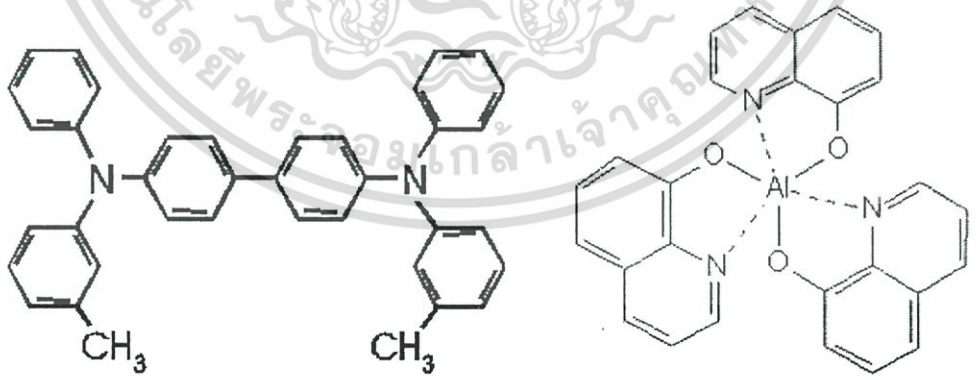
เอกสารนี้เป็ ... ชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พันธะเดี่ยว (Single bond) เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1คู่ โดยออร์บิทัลมีการซ้อนทับกันแบบซิกมา ดังนั้น พันธะเดี่ยวบางครั้งเรียกว่าพันธะซิกมา
2. พันธะคู่ (Double bond) เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ โดยออร์บิทัลมีการซ้อนทับกันแบบซิกมา1คู่ และแบบพาย 1 คู่
3. พันธะสาม (Triple bond) เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ โดยออร์บิทัลมีการซ้อนทับกันแบบซิกมา1คู่ และแบบพาย 2 คู่

2.2 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic semiconductor)

สารอินทรีย์ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะตอมของธาตุพื้นฐานคือ H, C, O, N ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างหลายแบบและมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสารบางชนิดสามารถสังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเฉพาะเมื่อนำมาทำการทดลองและวิเคราะห์ทางฟิสิกส์พบว่า สารอินทรีย์ดังกล่าวมีแถบพลังงานต้องห้าม (Forbidden bandgap) จึงเรียกสารดังกล่าวว่าเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic semiconductor) โดยลักษณะโครงสร้างส่วนใหญ่ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์จะมีลักษณะพันธะเป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว เรียกโครงสร้างลักษณะนี้ว่า โครงสร้างแบบคอนจูเกต (Conjugate system) ดังรูป



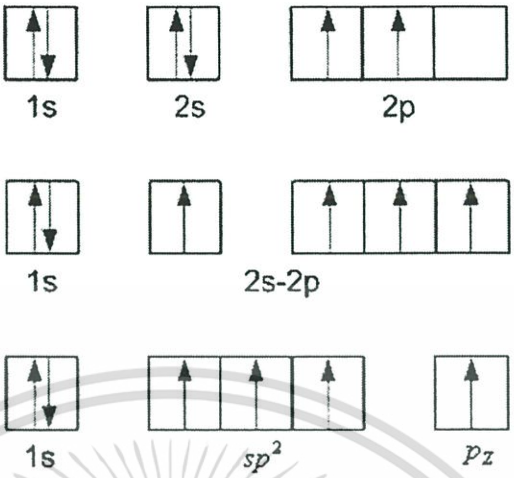
TPD Alq$_3$

รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์จะมีโครงสร้างพื้นฐานของอะตอมคาร์บอนซึ่งเป็นแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล เมื่อพิจารณาคู่พันธะของอะตอมคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่ ภายในพันธะคู่จะประกอบด้วย

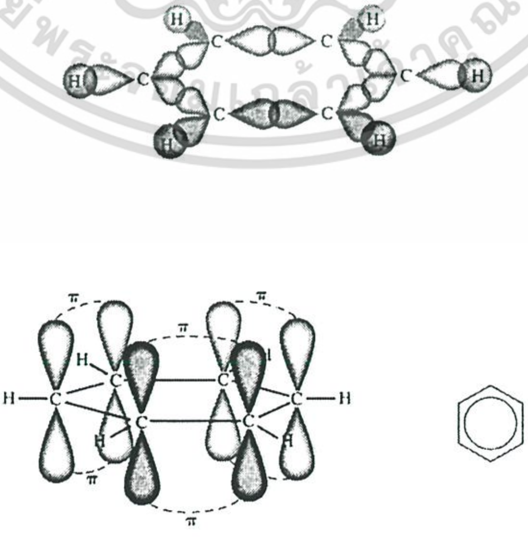
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะซิกมา 1 คู่ พันธะพาย 1 คู่ ส่วนพันธะที่เหลือจะเป็นพันธะซิกมาทั้งหมดเนื่องจากเป็นพันธะเดี่ยว



รูปที่ 2.13 แสดงการกระจายของอิเล็กตรอน และการเกิด sp^2 ออร์บิทัล ของคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่

พิจารณาอะตอมของคาร์บอนที่ภายในวงของเบนซีน (Benzene,C_6H_6) อะตอมของคาร์บอนเป็นแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล มีพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยว ในแนวระนาบของวงเบนซีน จะมีระนาบของพันธะซิกมาซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างอะตอมของ คาร์บอนกับคาร์บอน และ อะตอมของ คาร์บอนกับไฮโดรเจน และภายในวงของเบนซีนส่วนที่เป็น p_z ออร์บิทัล จะเกิดเป็นพันธะพายที่เกิดจากพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน 3 คู่

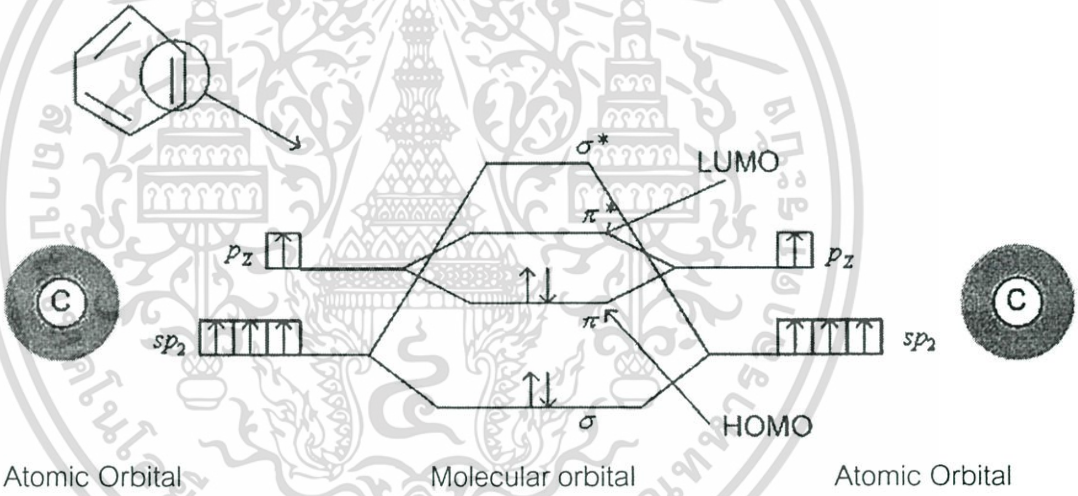


รูปที่ 2.14 แสดงพันธะซิกมาในวงของเบนซีน และพันธะพายในวงของเบนซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ในลักษณะของโมเลกุลออร์บิทัล แล้วจะพบว่าลักษณะของการเกิดพันธะระหว่างพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอน ส่วนที่เป็น sp^2 จะเป็นพันธะซิกมาที่มีความเสถียร ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้าง มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ ไฮบริดออร์บิทัล และระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลแบบต้านจะมีค่าสูงมากเนื่องจากต้องใช้พลังงานที่มีค่ามากเพื่อที่จะทำลายพันธะซิกมา

ส่วนที่เป็น p_z ออร์บิทัล จะเกิดเป็นพันธะพายระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่สร้าง มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ ออร์บิทัลอะตอม ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะจะมีค่าไม่มากนักเนื่องจากพันธะพาย เป็นพันธะที่เกิดจากการซ้อนทับด้านข้างของออร์บิทัล p ดังนั้นอิเล็กตรอนที่กระจายอยู่บริเวณนี้จะเป็นอิเล็กตรอนแบบไม่ประจำที่ (Delocalized electron) เนื่องจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนกระจายตัวอยู่นอกนิวเคลียส เมื่อมีพลังงานมากระตุ้นทำให้อิเล็กตรอนที่กระจายตัวอยู่สามารถเคลื่อนที่ไปตามพันธะพายได้ เสมือนเป็นการเคลื่อนประจุ



รูปที่ 2.15 แสดงระดับพลังงานพันธะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมข้างเคียงภายในวงเบนซีน

เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีออร์บิทัลโมเลกุล (Molecular orbital theory) ระดับพลังงาน ของอิเล็กตรอนใน p_z ออร์บิทัล ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่สร้าง (π Bonding Molecular orbital) จะเป็นระดับที่สูงที่สุดที่อิเล็กตรอนสามารถอาศัยอยู่ได้ จึงเรียกระดับพลังงานนี้ว่า Highest occupied molecular orbital (HOMO) และ ที่ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะ (π* Antibonding Molecular orbital) จะเป็นระดับที่ต่ำที่สุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอาศัยอยู่ได้ จึงเรียกระดับพลังงานนี้ว่า Lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) ระหว่างระดับ HOMO และ LUMO เสมือนเป็นช่องว่างแถบพลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกับสารกึ่งตัวนำ ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานชั้น HOMO เปรียบเสมือนแถบวาเลนซ์ (Valence band) ส่วนระดับพลังงานชั้น LUMO เปรียบเสมือนแถบนำ (Conduction band) จึงเรียกสารที่มีสมบัติดังกล่าวว่า สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic semiconductor)[6]

2.2.1 โมเลกุลขนาดเล็ก (Small molecule)

เป็นสารประกอบออร์แกนิกส์ที่มีโครงสร้างพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยวเป็นโครงข่ายจับตัวกันเป็นโมเลกุล สารบางชนิดจะมีอะตอมของโลหะเจืออยู่ด้วย จับกันเป็นโครงข่ายที่จำกัด[4] ดังรูป 2.17 สารแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ดังนี้

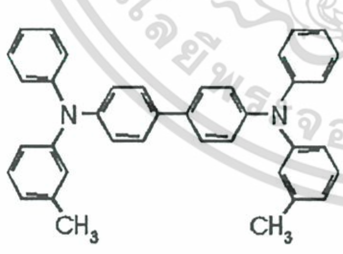
1.วัสดุนำพาอิเล็กตรอน (Electron transport material) มีความสามารถในการขนส่งอิเล็กตรอนได้ดีและประพฤติตนคล้ายกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

2.วัสดุนำพาโฮล (Hole transport material) มีความสามารถในการขนส่งโฮลได้ดีและประพฤติตนคล้ายกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี

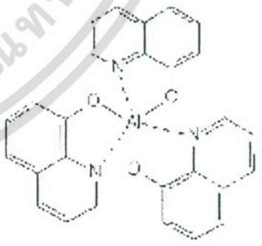
3.วัสดุเปล่งแสง (Emission material) เป็นวัสดุที่เปล่งแสงในช่วงของแสงสีที่ตาสามารถมองเห็นได้

4.วัสดุเจือ (Dopant material) เมื่อทำการเจือสารเหล่านี้ลงไปในวัสดุเปล่งแสง ทำให้แสงสีที่ออกมาสามารถเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

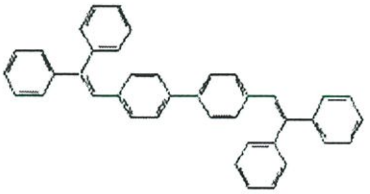
สารบางชนิดสามารถทำหน้าที่ได้หลายแบบ เช่น สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 มีสมบัติที่เป็นวัสดุนำพาอิเล็กตรอน และ วัสดุเปล่งแสง



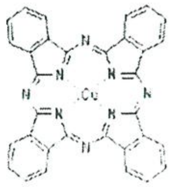
(ก) TPD



(ข) Alq_3



(ค) DPVBi



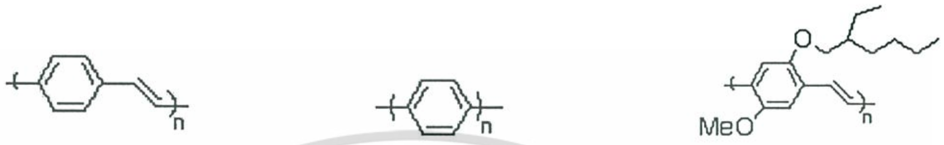
(ง) CuPc

รูปที่ 2.16 แสดงสารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบ โมเลกุลขนาดเล็ก (ก) TPD (ข) Alq_3 (ค) DPVBi (ง) CuPc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 **คอนจูเกทพอลิเมอร์** (Conjugated polymer)

คอนจูเกทพอลิเมอร์คือ สารที่มีหน่วยของมอนอเมอร์ (Monomer) ซ้ำๆกัน เรียงต่อกันไป โดยมีโครงสร้างพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยวเรียงต่อกันออกไปตามสายโซ่ของพอลิเมอร์ เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปตามสายโซ่ของพอลิเมอร์ [4] ดังรูป 2.18



PPV *ให้แสงสีเหลือและเขียว* | PPP *ให้แสงสีน้ำเงิน* | MEHPPV *.ให้แสงสีแดง*

รูปที่ 2.17 แสดงสารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบคอนจูเกทพอลิเมอร์

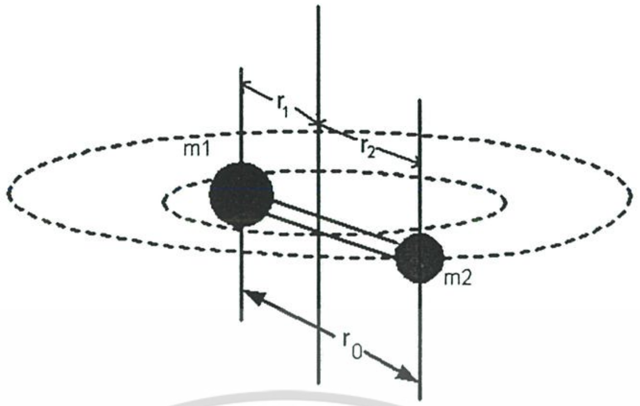
2.3 ระดับพลังงานของโมเลกุล

เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของอะตอมในโมเลกุลเป็นผลทำให้เกิดการทรานซิชัน ระหว่างระดับพลังงานภายในโมเลกุล ซึ่งการทรานซิชัน ภายในโมเลกุล ขึ้นอยู่กับลักษณะของการเคลื่อนที่ของอะตอมในโมเลกุล พิจารณาในโมเลกุลอะตอมคู่ (Diatom) ลักษณะการเคลื่อนที่จะมีอยู่ 3-ลักษณะแบ่งตามระดับพลังงานของการทรานซิชัน ได้เป็น

1. Electronic energy level เป็นผลจากการเกิดพันธะ ระหว่างอะตอมโดยมีพลังงานอยู่ในช่วงแสงสีที่ตามองเห็น
2. Vibrational energy level เป็นผลจากการสั่นของโมเลกุลมีพลังงานอยู่ในช่วงใกล้อินฟาเรด (Near infrared)
3. Rotational energy level เป็นผลจากการหมุนของโมเลกุลกับจุดศูนย์กลางมวลมีพลังงานอยู่ในย่านไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ระดับพลังงานอันเนื่องมาจากการหมุน (Rotational energy level)



รูปที่ 2.18 แสดงแบบจำลองของการหมุนระหว่างอะตอมคู่หนึ่ง

พิจารณาแบบจำลองของโมเลกุลอะตอมคู่ [7] ดังรูป 2.18 ประกอบไปด้วยมวล m_1 และมวล m_2 หมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลของระบบ ในกลศาสตร์แผนเดิม ค่าพลังงานในการหมุนจะมีค่าเป็น

$$E = \frac{1}{2}I\omega^2 \qquad (2.1)$$

เมื่อ I คือ โมเมนความเฉื่อย และ ω คือความถี่เชิงมุม หากเขียนให้อยู่ในรูปของโมเมนตัมเชิงมุมจะได้ว่า

$$E = \frac{(I\omega)^2}{2} = \frac{L^2}{2I} \qquad (2.2)$$

ผลเฉลยของสมการชโรดิงเงอร์ (Schrödinger's equation) สำหรับการหมุนนำไปสู่การทำให้เป็นควอนตัมของโมเมนตัมเชิงมุม ซึ่งค่าดังกล่าวถูกกำหนดโดย

$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar \qquad l = 0,1,2,3\ldots \qquad (2.3)$$

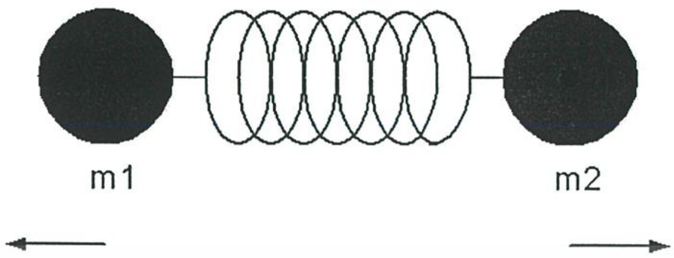
l คือ เลขควอนตัมของการหมุน (Rotational quantum number) เป็นเงื่อนไขเดียวกันกับโมเมนตัมเชิงมุมออร์บิทัลของอิเล็กตรอนในอะตอม ดังนั้นค่าพลังงานในการหมุนของโมเลกุลทั้งโมเลกุลที่กำลังหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลมีค่าเป็น

$$E = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2I} \qquad l = 0,1,2,3\ldots \qquad (2.4)$$

พลังงานอันเนื่องมาจากการหมุนมีพลังงานน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานในการกระตุ้นอิเล็กตรอน พลังงานที่ได้จะอยู่ในรูปของโฟตอนในย่านไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 **ระดับพลังงานอันเนื่องมาจากการสั่น** (Vibrational energy level)



รูปที่ 2.19 แสดงแบบจำลองของการสั่นระหว่างอะตอมคู่หนึ่ง

พิจารณาแบบจำลองของโมเลกุลอะตอมคู่ [7] ดังรูป 2.19 ประกอบไปด้วยมวล m_1 และมวล m_2 ยึดติดกันเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นมวลทั้งสองข้างจะเกิดการสั่น ซึ่งประพฤติตนเหมือนสปริงที่สั่นด้วยความถี่ ω และมีความถี่ธรรมชาติ ω_0

$$\omega_0^2 = k/m \tag{2.5}$$

มีค่าพลังงานรวมเป็น

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{k}{2}x^2 \tag{2.6}$$

เมื่อโมเลกุลทั้งสองไม่มีการเคลื่อนที่

$$E = \frac{k}{2}x^2 \tag{2.7}$$

ผลเฉลยของสมการชโรดิงเงอร์ สำหรับการสั่นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple harmonic) จะได้พลังงานของการสั่นมีค่าเป็น

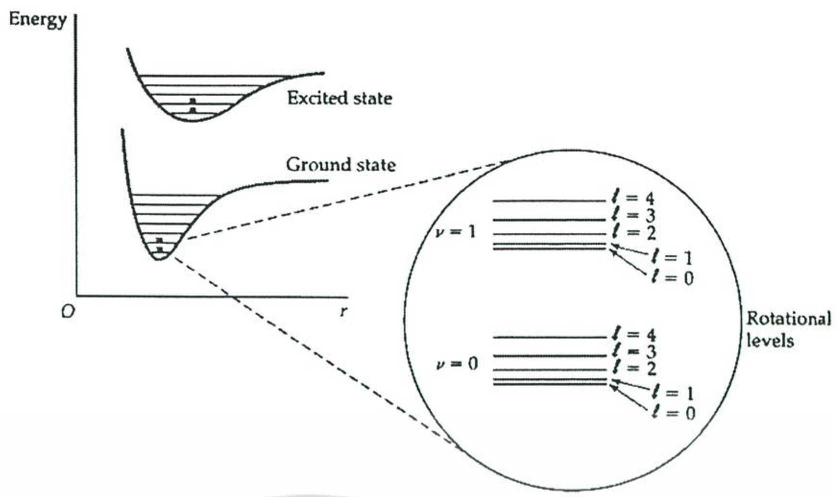
$$E_\upsilon = (\nu + \frac{1}{2})\hbar\omega_0 \qquad \nu = 0,1,2,... \tag{2.8}$$

โดย ν คือเลขควอนตัมจากการสั่น

$$h\nu = E_{\upsilon'} - E_\upsilon = \hbar\omega_0(\nu' + \frac{1}{2}) - \hbar\omega_0(\nu + \frac{1}{2})$$
$$= \hbar\omega_0(\nu' - \nu) = \hbar\omega_0\Delta\nu \tag{2.9}$$

การเปลี่ยนสถานะจากการสั่นจะอยู่ภายใต้เงื่อนไข $\Delta\nu = \pm 1$ ดังนั้นพลังงานโฟตอนที่ปลดปล่อย เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะจากการสั่นจะมีค่าเป็น $\hbar\omega_0$ ซึ่งพลังงานที่ได้จะมีค่ามากกว่าพลังงานการเปลี่ยนสถานะจากการหมุน และมากกว่าค่าของพลังงานความร้อน (Thermal energy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเ่ เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.20 แสดงสถานะพลังงานของโมเลกุล (Molecular energy state) ทั้งสามระบบ

จากระบบของสถานะพลังงานของโมเลกุลทั้งสาม มีลักษณะของระบบพลังงานดังรูป 2.20 เป็นแผนภาพระหว่างค่าพลังงานและระยะห่างของอะตอม (Interatomic distance) บริเวณบ่อศักย์ (Potential well) ของสถานะพื้น (Ground state) กับสถานะกระตุ้น (Excited state) จะไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน และระดับพลังงานอันเนื่องมาจากการหมุน จะอยู่ภายในระดับพลังงานจากการสั่น

2.3.3 **การทรานซิชันของสารอินทรีย์**

เมื่อโมเลกุลดูดกลืนรังสีจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดการทรานซิชันของอิเล็กตรอน จากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้น การทรานซิชันนั้นพิจารณาจากค่าของ m คือ Multiplicity ซึ่งแสดงถึง Orbital angular momentum โดยให้

$$m = 2|S|+1 \qquad (2.10)$$

โดย S คือ ผลรวมของ Spin quantum number ในโมเลกุล

ส่วนใหญ่ โมเลกุลของสารอินทรีย์จะมีผลรวมเท่ากับ ศูนย์เนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ ดังนั้นที่สภาวะที่มีพลังงานต่ำสุดหรือสถานะพื้น อิเล็กตรอนจะอยู่กันเป็นคู่ โดยมี Spin quantum number เป็น $+\frac{1}{2},-\frac{1}{2}$ ดังนั้น S มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น m มีค่าเป็น

$$m = 2|0|+1$$

$$= 1$$

การ ทรานซิชัน ของโมเลกุลจึงมีลักษณะเป็นสถานะเดี่ยว (Singlet state) ที่สถานะพื้นจะแทนเป็น S_0 ถ้าเป็น S_1,S_2 จะหมายถึง สถานะเดี่ยวที่สภาวะกระตุ้น ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะกระตุ้นนั้น อิเล็กตรอนมีโอกาสที่จะเปลี่ยน การสปินกลับทางได้ ทำให้ในขณะนั้นผลรวมของ Spin quantum number ในโมเลกุล มีค่า เป็น 1 ดังนั้น m มีค่าเป็น

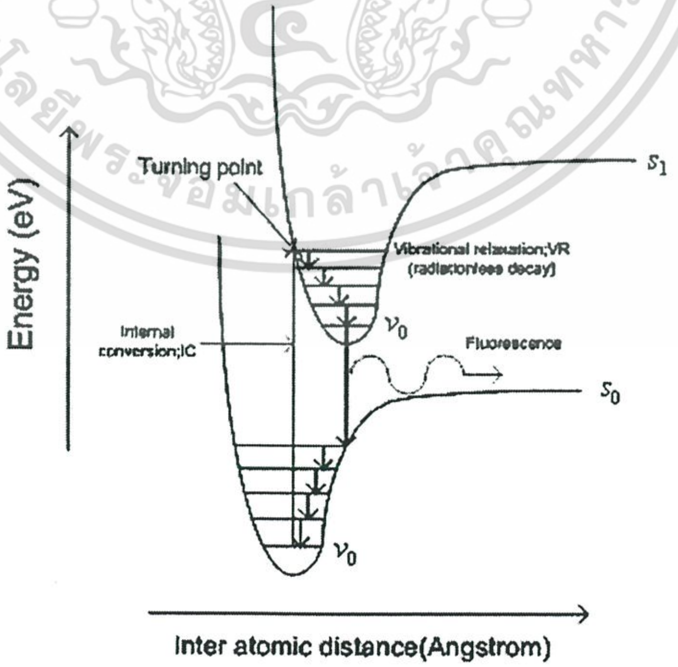
$$m = 2|1|+1$$
$$= 3$$

การทรานซิชัน ของโมเลกุลจึงมีลักษณะเป็นสถานะสาม (Triplet state) และ สถานะสามที่มีพลังงานต่ำสุดคือ T_1 เนื่องจากโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ จะไม่มี สถานะสามที่สถานะพื้น

2.3.4 **หลักการของแฟรงค์ คอนดอน** (Franck Condon Principle)

"ทรานซิชันของอิเล็กตรอนในโมเลกุลจะเกิดเร็วกว่าการเคลื่อนที่แบบสั่นของนิวเคลียสมาก จนกระทั่งโมเลกุลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างนิวเคลียสในขณะเกิดการทรานซิชัน" [8]

ดังนั้นการแสดงการเกิดทรานซิชัน สามารถเขียนแทนได้ด้วยเส้นตรงในแนวดิ่งที่ต่อระหว่างระดับพลังงานเริ่มต้น กับสุดท้ายตรงระยะห่างระหว่างนิวเคลียสค่าหนึ่ง โดยการทรานซิชันของอิเล็กตรอนจะเกิดได้ดีที่ระยะพันธะที่ระดับ Vibrational energy level $\nu = 0$ เนื่องจากมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุด และถูกกระตุ้นขึ้นไปยังระดับ Vibrational energy level ที่สภาวะกระตุ้นโดยจะเป็นฟังก์ชันกับค่าระยะห่างของอะตอม เรียกจุดนี้ว่า จุดวกกลับ (Turning point)

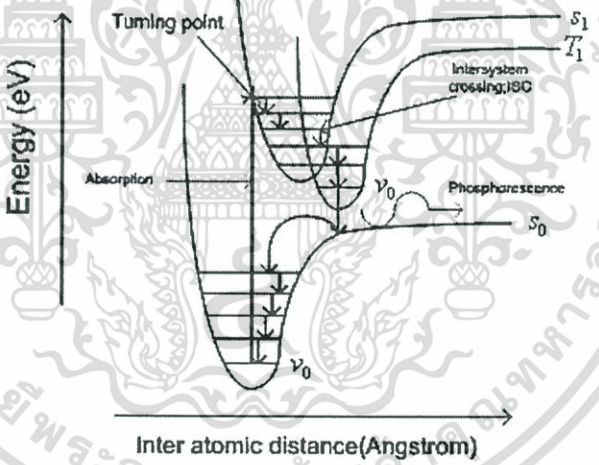


รูป 2.21 แสดงกระบวนการเกิดการวาวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 **การวาวแสง**(Fluorescence)

การทรานซิชันลักษณะนี้จะมี Orbital molecular momentum เท่ากับ 1 การ ทรานซิชันของโมเลกุลจึงเป็นการทรานซิชันระหว่างสถานะเดี่ยว เมื่ออิเล็กตรอนเกิดการ ทรานซิชัน ไปยังระดับพลังงานในสภาวะกระตุ้นที่จุดวกกลับ จากนั้นอะตอมจะเกิดการสั่นทำให้อิเล็กตรอนเกิดการทรานซิชันระหว่างระดับพลังงานของการสั่นจนกระทั่งอยู่ในระดับ Vibrational energy level ν =0 ในสภาวะกระตุ้นพร้อมกับปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อน เรียกการทรานซิชันลักษณะนี้ว่า การผ่อนคลายเชิงการสั่น (Vibrational relaxation, VR) อิเล็กตรอนจึงเกิดการทรานซิชัน กลับลงมายังระดับของสถานะพื้นที่ระยะห่างของการสั่นนั้น พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานแสงออกมาจากนั้นอะตอมจะเกิดการสั่นกลับมามีระยะห่างที่ระยะพันธะเท่าเดิม เรียกกระบวนการการปลดปล่อยแสงลักษณะนี้ว่า การวาวแสง โดยช่วงเวลาในการเกิดการวาวแสง จะมีค่าประมาณ 10^{-9}-10^{-5} วินาที



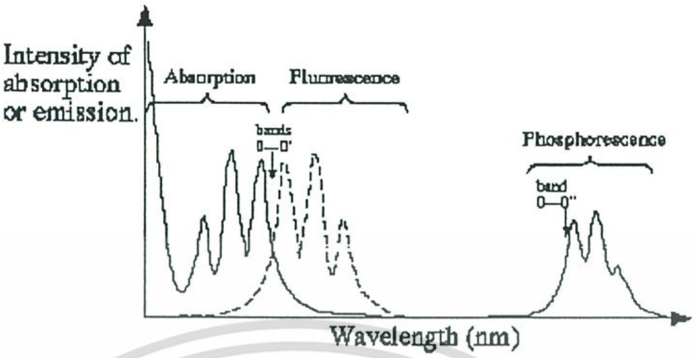
รูปที่ 2.22 แสดงกระบวนการเกิด การเรืองแสง

2.3.6 **การเรืองแสง**(Phosphorescence)

ขณะที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะกระตุ้น S_1 อิเล็กตรอนเกิดการเปลี่ยนแปลงการสปินทำให้ Orbital molecular momentum เท่ากับ 3 จึงเกิดการทรานซิชันจาก S_1 ไปยัง T_1 โดยเรียกการทรานซิชันลักษณะนี้ว่า กระบวนการไขว้ภายในระบบ (Intersystem crossing, ISC) โดยการทรานซิชันจะไม่ปลดปล่อยรังสีออกมา แล้วก็เกิดการผ่อนคลายเชิงการสั่น จนกระทั่งอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดใน T_1 จึงเกิดการทรานซิชันระหว่าง T_1 มายัง S_0 พร้อมกับปลดปล่อยพลังงาน

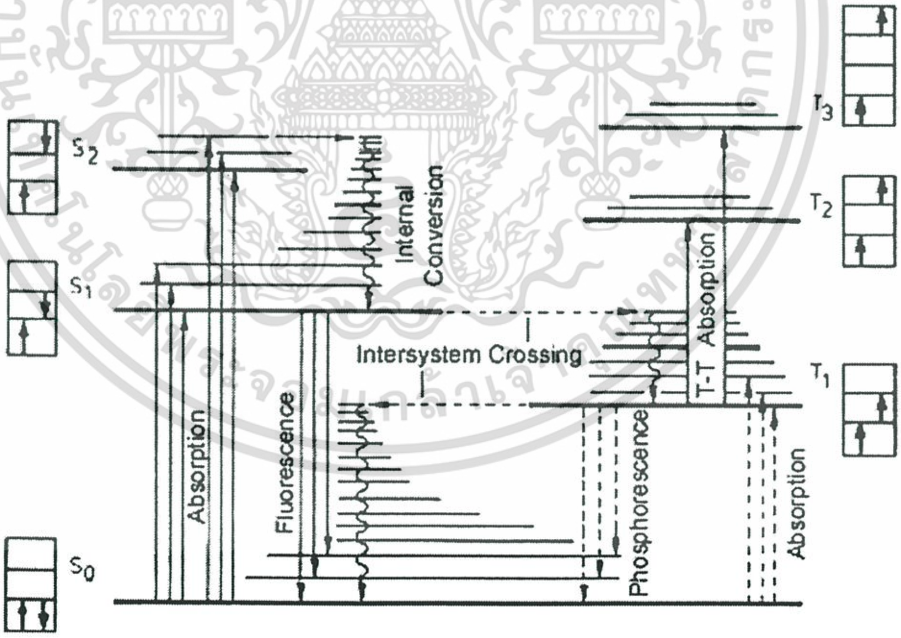
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงออกมาเรียกกระบวนการการปลดปล่อยแสงลักษณะนี้ว่าการเรืองแสง โดยช่วงเวลาในการเกิดการเรืองแสงมีค่าประมาณ 10^{-4}-10^{1} วินาที [9]



รูปที่ 2.23 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ การการดูดกลืนแสง การวาวแสง และ การเรืองแสง

เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างกระบวนการการเรืองแสง กับ การวาวแสง จะเห็นว่าสเปกตรัมของกระบวนการการเรืองแสง จะมีพลังงานที่น้อยกว่าสเปกตรัมของกระบวนการการวาวแสง



รูปที่ 2.24 แสดงแผนภาพของ Jablonski

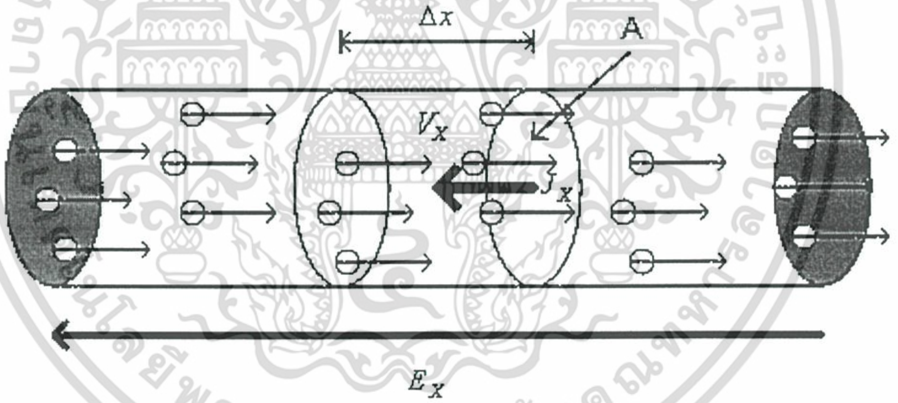
แผนภาพของ Jablonski ได้อธิบายถึงกระบวนการในการเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานในรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเปลี่ยนระดับพลังงานที่ สามารถเห็นได้ (Optical transition) ก็คือ การเกิดการวาวแสง $S_1 \rightarrow S_0$ และการเกิด การเรืองแสง $T_1 \rightarrow S_0$
2. การเปลี่ยนระดับพลังงานที่ ไม่สามารถเห็นได้ (Radiationless transition) การเกิดการผ่อนคลายเชิงการสั่น $\nu_n \rightarrow \nu_0$ (VR) และการเกิดกระบวนการไขว้ภายในระบบ $S_1 \rightarrow T_1$ (ISC)

2.4 สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

ในสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จะเกิดระหว่างพันธะพายไปตามสายโซ่ของสาร (Delocalized) โดยมีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนประจุของผลึกอสัณฐาน (Amorphous) แบบกระโดด (hopping transport) เมื่อมีการป้อนศักย์ไฟฟ้าคงที่คร่อมชิ้นสาร ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายใน เกิดแรงกระทำต่อประจุอิสระให้พัดพาไปในทิศทางของแรงกระทำนั้น หากประจุพาหะเป็นอิเล็กตรอน แรงที่กระทำต่อพาหะจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะของการเคลื่อนประจุภายใต้อิทธิพลสนามไฟฟ้า

ความหนาแน่นของกระแส (Current density) คือปริมาณของประจุพาหะที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วย ต่อ หนึ่งหน่วยเวลา [10]

$$J = \frac{\Delta q}{A \Delta t} \tag{2.11}$$

Δq คือ ผลรวมของประจุพาหะ

A คือ พื้นที่หน้าตัด

Δt คือ เวลาที่ประจุพาหะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ทิศทางของสนามไฟฟ้าอยู่ในทิศ x และสมมติให้ประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_x โดยมีจำนวนประจุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเป็น n (n=N/V) ในระยะเวลา Δt ประจุพาหะเคลื่อนที่ได้ระยะทาง Δx ซึ่งเท่ากับ v_x Δt ดังนั้นประจุพาหะ Δq ที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ A จึงเท่ากับ $enA\Delta x$ ดังนั้นความหนาแน่นของกระแส จึงมีค่าเป็น

$$J_X = \frac{\Delta q}{A\Delta t} = \frac{enAv_X\Delta t}{A\Delta t} = env_X \quad (2.12)$$

จากสมการการเคลื่อนที่

v = u +at

ประจุพาหะถูกเร่งด้วยแรง eE จึงได้ว่า ประจุพาหะถูกเร่งด้วยความเร่ง eE_x/m

ให้ τ คือ Mean free time ของประจุพาหะทั้งหมด ดังนั้นความเร็วในการเคลื่อนประจุจะเท่ากับ

$$v_X = \frac{e\tau}{m}E_X \quad (2.13)$$

ซึ่ง ค่า คงที่ $e\tau/m$ จะเรียกว่าค่าสภาพคล่อง (Mobility) โดยกำหนดให้

$$\mu = \frac{e\tau}{m} \quad (2.14)$$

ความหนาแน่นของกระแส จึงมีค่าเป็น

$$J_X = en\mu E_X \quad (2.15)$$

จากการทดลองโดยเครื่องมือ Time Of Flight (TOF) Measurement จากกลุ่มวิจัยของ B.J.Chen [11] พบว่าค่าสภาพคล่องของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ มีค่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ต่อสนามไฟฟ้าคือ

$$\mu(E) = \mu_0 \exp(\alpha\sqrt{E}) \quad (2.16)$$

โดย μ_0 คือ ค่าสภาพคล่องของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ เมื่อไม่มีค่าสนามไฟฟ้า (Zero field mobility)

α คือ ค่าคงที่ที่เกี่ยวกับสภาพคล่องของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Unknown parameter)

Chen ได้ทำการระเหยสาร Alq_3 ด้วยอัตราการระเหยที่ต่างกันแล้วทำการวัดค่าของพารามิเตอร์ทั้งสองเพื่อหาค่าสภาพคล่องของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ พบว่ามีค่าเป็นไปดังตาราง 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 แสดงผลการวัดค่า α และ μ_0 ของ Chen

อัตราการระเหยของ Alq_3 (nm/s)	μ_0 (cm^2/V.s)	α $(cm/V)^{1/2}$
0.2	3.04×10^{-7}	9.22×10^{-3}
0.4	1.80×10^{-8}	10.2×10^{-3}
0.7	2.97×10^{-8}	11.0×10^{-3}

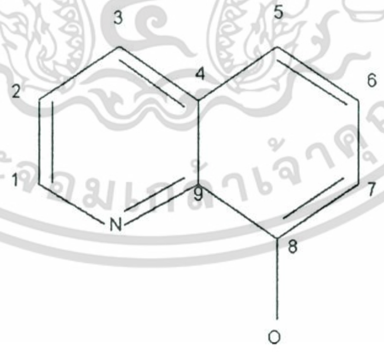
ความหนาแน่นของกระแสของสารกึ่งตัวนำ Alq_3 จึงมีค่าเป็น

$$J = en\mu_0 \exp(\alpha\sqrt{E})E \tag{2.17}$$

โดยมีผลจากสนามไฟฟ้าและค่าสภาพคล่องของวัสดุ

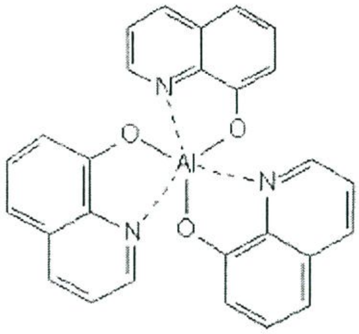
2.5 สมบัติของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 (Organic semiconductor thin film properties of Alq_3)

Alq_3 เป็นสารกึ่งตัวนำแบบอินทรีย์ แบบโมเลกุลขนาดเล็กที่มีชื่อว่า tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (III) ใช้งานเป็นวัสดุขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport Material) และวัสดุเปล่งแสง (Emission material)[12] มีโครงสร้างเป็นดังรูป2.26 ซึ่งประกอบด้วย hydroxyquinoline ring สามวง โดยคาร์บอนตำแหน่งที่แปด ของ hydroxyquinoline ring จับกับอะตอมของ Al



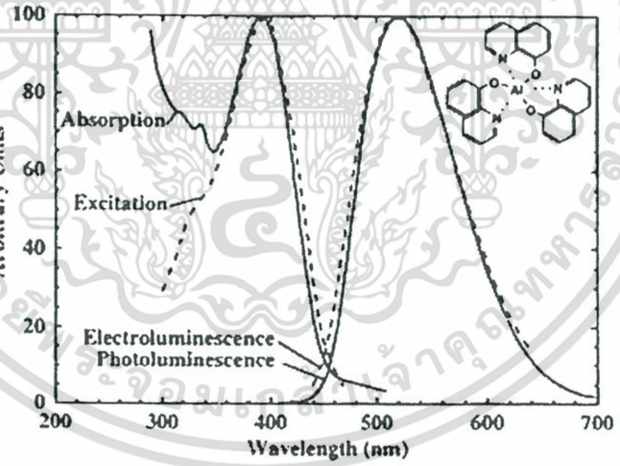
รูปที่ 2.26 แสดง hydroxyquinoline ring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Alq_3

CAS Number	2085-33-8
สูตรโครงสร้างทางเคมีคือ	$C_{27}H_{18}AlN_3O_3$
มีมวลโมเลกุลเท่ากับ	459.43976 g/mol
จุดหลอมเหลวเท่ากับ	413-414.5 ^{o}C
ความหนาแน่น	1.38 g/cm^3



รูปที่ 2.28 แสดงสเปกตรัมของการกระตุ้น โฟโตลูมิเนสเซนส์ (PL) และอิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (EL)

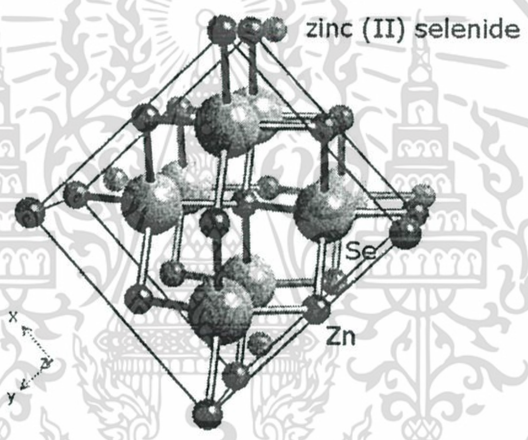
จากการศึกษาและทดลองพบว่า Alq_3 มีผลของโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ดังรูป2.28 โดยมีสเปกตรัมของการกระตุ้น (Excitation) เท่ากับ 393 nm สเปกตรัมของโฟโตลูมิเนสเซนส์ (PL) เท่ากับ 520 nm และมีสเปกตรัมของอิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (EL) เท่ากับ 519 nm [13] (Hamada) และ จากการทดลองของ Kepler ทำการวัดค่าสภาพคล่องของ Alq_3 ที่อุณหภูมิห้องภายใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้า 4×10^{5} V.cm^{-1} พบว่าสภาพคล่องของอิเล็กตรอน μ_e มีค่าเท่ากับ 1.4×10^{-6} cm^{2}V^{-1}s^{-1} และสภาพคล่องของโฮล μ_h มีค่าเท่ากับ 2×10^{-8} cm^{2}V^{-1}s^{-1}[14]

2.6 สมบัติของผลึกอนินทรีย์ซิงค์ซีลีไนด์(ZnSe inorganic thin film properties)

สารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ (Zinc selenide) [15] เป็นสารกึ่งตัวนำกลุ่ม II-VI โครงสร้างผลึกประกอบด้วย อะตอมของสังกะสี (Zinc) และอะตอมของซีลีเนียม (Selenium) จับกันเป็นโครงผลึกแบบ ซิงค์เบลน (Zinc blend structure) โดยอะตอมของสังกะสีมีเลขอะตอมเท่ากับ 30 การกระจายในสถานะควอนตัมคือ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$ และอะตอมของซีลีเนียมมีค่าเป็น 34 การกระจายในสถานะควอนตัมคือ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^4$



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ [16]

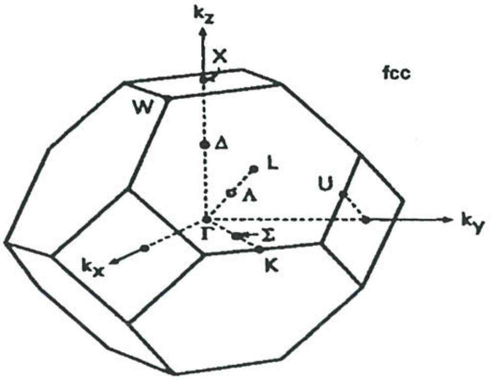
โดยโครงสร้างแบบซิงค์เบลน จะประกอบด้วยลูกบาศก์ชนิดเฟสเซนเตอร์ (Face center cubic; fcc) ที่แตกต่างกันรวมตัวกันดังนั้นในหนึ่งหน่วยเซลล์ของโครงสร้างจะมีอะตอมอยู่สองชนิด โดยมีตำแหน่งของอะตอมจะเป็นดังนี้

อะตอมของ Zn อยู่ที่ $000, 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}, \frac{1}{2}0\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\frac{1}{2}0$

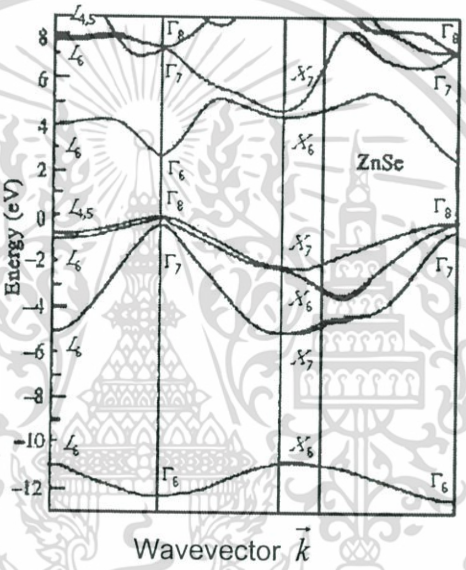
อะตอมของ Se อยู่ที่ $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}, \frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{3}{4}, \frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{1}{4}$

บริลลันโซน(Brillouin zone) ของโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลน และแถบโครงสร้างพลังงานของซิงค์ซีลีไนด์ แสดงดังรูป 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



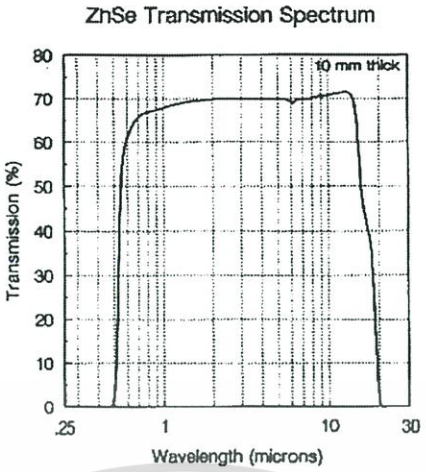
รูปที่ 2.30 แสดงบริลลันโซนของโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลน



รูปที่ 2.31 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์

โครงสร้างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ สามารถบอกถึงชนิดของแถบพลังงานต้องห้าม โดยพิจารณาจากตำแหน่งล่างสุดของแถบนำและตำแหน่งบนสุดของแถบวาเลนซ์ ถ้าตำแหน่งทั้งสอง อยู่ในแกนเดียวกันแสดงว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดแถบพลังงานแบบตรง (Direct bandgap) หากตำแหน่งทั้งสองไม่อยู่ในแกนเดียวกันก็จะเป็นเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดแถบพลังงานแบบอ้อม (Indirect bandgap) ซึ่งจากรูปโครงสร้างแถบพลังงานของซิงค์ซีลีไนด์ เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดแถบพลังงานแบบตรง มีขนาดของแถบพลังงานต้องห้ามเท่ากับ 2.82 eV ที่อุณหภูมิ 300K สารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ มีช่วงการทะลุผ่านของแสงในช่วงกว้างคือช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.55-20 μm มีช่วงการทะลุผ่านของแสงดังรูป 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

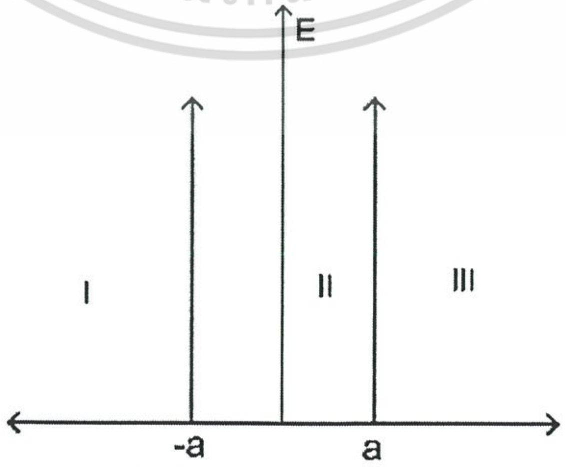


รูปที่ 2.32 แสดงช่วงการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์

2.7 โครงสร้างบ่อควอนตัม

การสร้างบ่อควอนตัมนั้นสามารถทำได้ โดยการปลูกสารที่มีค่าแถบพลังงานที่ต่างกันโดยให้สารที่มีค่าแถบพลังงานต่ำกว่าแทรกอยู่ตรงกลางเพื่อให้เกิดการกักพาหะภายในบ่อควอนตัม [17] โดยชั้นความหนาของสารที่เป็นบ่อควอนตัม จะต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าความยาวคลื่นของ เดอบรอย (De Broglie wavelength) มีค่าประมาณ 10 nm เพื่อให้เกิดปรากฏการณ์ควอนตัม ในการหาผลเฉลยของสมการชโรดิงเงอร์ทำให้ทราบค่าระดับพลังงานภายในบ่อควอนตัมเมื่อทราบค่าความกว้างและความสูงของบ่อ

2.7.1 กรณีบ่อสูงอนันต์ (Infinite well)



รูปที่ 2.34 แสดงบ่อศักย์สี่เหลี่ยมแบบอนันต์ (Infinite Square well potential)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ Time-independent equation

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2}+\frac{2m}{\hbar^2}E\psi(x)=0 \qquad |X|\geq a \qquad (2.18)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x)=E\psi(x) \qquad (2.19)$$

ได้ผลเฉลยเป็น

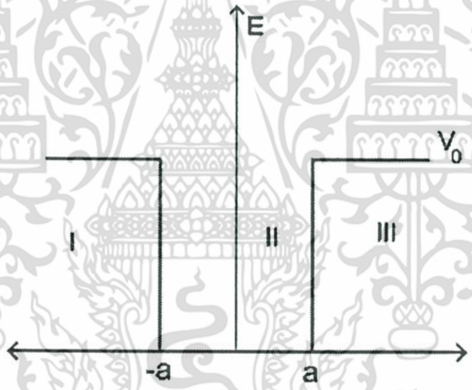
$$\psi(x)=B\cos\frac{n\pi x}{2a} \quad ; \quad \text{กรณี n เป็นเลขคี่} \qquad (2.20)$$

$$\psi(x)=A\sin\frac{n\pi x}{2a} \quad ; \quad \text{กรณี n เป็นเลขคู่} \qquad (2.21)$$

ได้ค่าพลังงานเป็น

$$E=\frac{\pi^2\hbar^2n^2}{8ma^2} \quad \text{เมื่อ ความกว้างของบ่อมีค่าเป็น 2a} \qquad (2.22)$$

2.7.2 กรณีบ่อสูงจำกัด (Finite well)



รูปที่ 2.35 แสดงบ่อศักย์สี่เหลี่ยมแบบจำกัด (Finite square well potential) สูง V_0

เมื่อพิจารณาบ่อศักย์สี่เหลี่ยมแบบจำกัด (Finite square well potential)

สมการที่บริเวณกำแพงศักย์ มีค่าเป็น

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x)+V_0\psi(x)=E\psi(x) \qquad |X|\geq a \qquad (2.23)$$

V_0 คือ Potential step

ภายใน Bound state ($E<V_0$) ผลเฉลยคือ

$$\psi_I = A\exp(\beta x) \qquad \text{เมื่อ } x\leq a \qquad (2.24)$$

$$\psi_{II} = B\cos(\alpha x)+C\sin(\alpha x) \qquad \text{เมื่อ } -a\leq x\leq a \qquad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\psi_{III} = D\exp(-\beta x) \qquad \text{เมื่อ} \qquad x \geq a \tag{2.26}$$

เมื่อ

$$\alpha = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$$
$$\beta = \sqrt{2m\frac{(V_0 - E)}{\hbar^2}} \tag{2.27}$$

เมื่อพิจารณาที่เงื่อนไขขอบเขต $x = \pm a$ โดยค่าของ ψ และอนุพันธ์ของ ψ มีค่าเป็น

$$B\cos(\alpha a) - C\sin(\alpha a) = A\exp(-\beta a)$$
$$\alpha B\sin(\alpha a) + \alpha C\cos(\alpha a) = -\beta A\exp(-\beta a)$$
$$B\cos(\alpha a) + C\sin(\alpha a) = D\exp(-\beta a)$$
$$-\alpha B\cos(\alpha a) + \alpha C\cos(\alpha a) = -\beta D\exp(-\beta a)$$

ได้ผลเฉลยคู่และคี่ตามลำดับเป็น

$$\tan(\alpha a) = \frac{\alpha}{\beta}$$
$$\cot(\alpha a) = -\frac{\alpha}{\beta} \tag{2.28}$$

$$\tan(\alpha a) = \left(\frac{V_0}{E} - 1\right)^{1/2}$$
$$\cot(\alpha a) = -\left(\frac{V_0}{E} - 1\right)^{1/2} \tag{2.29}$$

ให้

$$z = \tan\alpha a = \left(\frac{V_0}{E} - 1\right)^{1/2} \tag{2.30}$$

และ

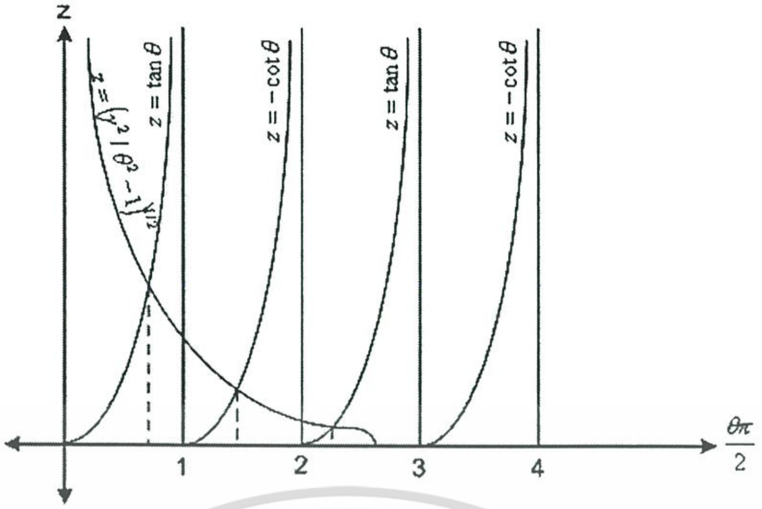
$$\theta = \frac{(2mE)^{1/2}a}{\hbar}$$
$$\gamma = \frac{(2mV_0)^{1/2}a}{\hbar} \tag{2.31}$$

สมการ(2.28) และ (2.29) จะกลายเป็น

$$z = \tan\theta = \left(\frac{\gamma^2}{\theta^2} - 1\right)^{1/2}$$
$$z = -\cot\theta = \left(\frac{\gamma^2}{\theta^2} - 1\right)^{1/2} \tag{2.32}$$

สมการทั้งสองสามามารถหาผลเฉลยได้โดยการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งวิธีหนึ่งที่สะดวกในการหาค่าระดับพลังงานคือการหาจุดตัดของกราฟระหว่างสมการดังกล่าว โดยจำนวนผลเฉลยจะขึ้นอยู่กับความสูงของ V_0 และ ความกว้างของบ่อศักย์ ดังรูป 2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

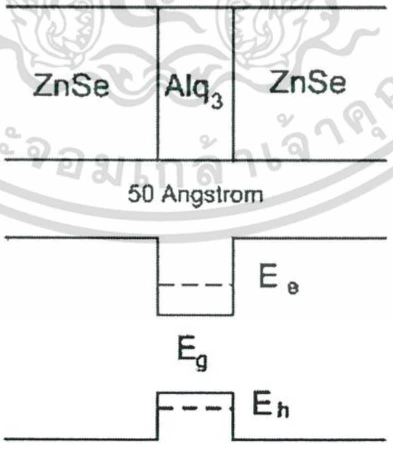


รูปที่ 2.36 แสดงผลเฉลยในการแก้ปัญหา

จากจุดตัดของสมการทั้งสองจะได้ค่า θ แล้วจึงนำค่าดังกล่าวไปแทนค่าในสมการ(2.31) ก็จะได้ค่าของพลังงานภายในบ่อศักย์ตามลำดับของผลเฉลย

2.8 ปรากฏการณ์ควอนตัมคอนไฟน์เมนต์

การสร้างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำแบบเฮเทอโร ในมิติที่แคบมากๆที่มีลักษณะโครงสร้าง และ ลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงาน [18] ดังรูป 2.33



รูปที่ 2.37 แสดงปรากฏการณ์ควอนตัมคอนไฟน์เมนต์

ภายในชั้นที่แคบมากๆของสารกึ่งตัวนำที่มีค่าแถบพลังงานที่ต่ำกว่า จะเกิดการกักขังของอิเล็กตรอนและโฮลซึ่งจะประพฤติตนเหมือนอนุภาคภายในบ่อศักย์ (Particle in potential well

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

problem) และระดับพลังงานในแถบนำจะมีค่าไม่ต่อเนื่องเช่นเดียวกัน ในแถบวาเลนซ์ ดังนั้นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนระหว่างแถบนำและแถบวาเลนซ์ จึงมีค่ามากกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำที่มีค่าแถบพลังงานที่ต่ำกว่า โดยพลังงานในการทรานซิชันจะมีค่าเป็น

$$E_{tran} = E_g + E_h + E_e \quad (2.33)$$

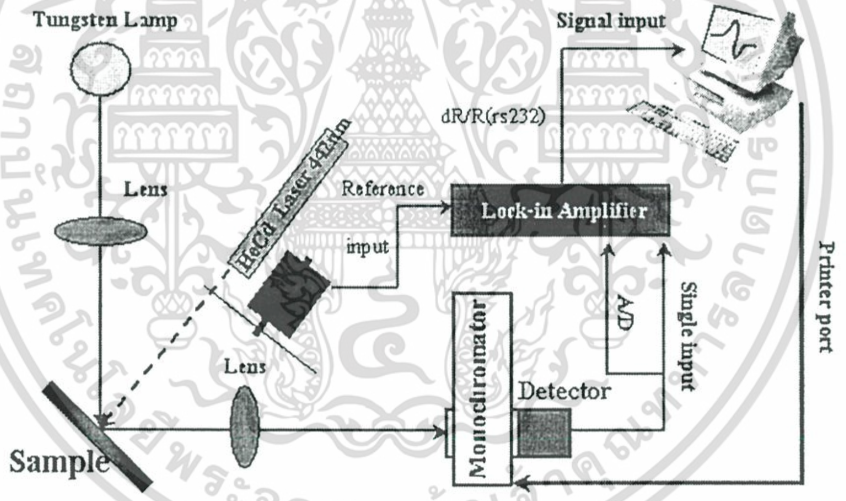
E_{Tran} ค่าพลังงานในการทรานซิชัน

E_g ค่าแถบพลังงานต้องห้าม

E_h ค่าพลังงานในแถบวาเลนซ์

E_e ค่าพลังงานในแถบนำ

2.9 โฟโตรีเฟล็กแทนซ์ สเปกโทรสโคปี (Photoreflectance Spectroscopy)



รูปที่ 2.38 แสดงระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์สเปกโทรสโกปี

ระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ (Photoreflectance) เป็นระบบวัดที่อาศัยการมอดุเลตแสงที่ตกกระทบสารตัวอย่าง ทำให้ความเข้มข้นของพาหะบริเวณที่แสงตกกระทบเกิดการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า (Built – in surface electric field) เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการสะท้อน $\Delta R(\lambda)$ ขึ้น เมื่อทำการบันทึกข้อมูล จะพบว่าจุดวิกฤตที่ได้จะเป็นค่าของพลังงานในการทรานซิชันของตัวอย่างที่สนใจ ณ บริเวณที่ถูกมอดุเลตเช่นเนื้อสารของแผ่นผลึก (Bulk) พื้นผิว (Surface) หรือรอยต่อ (Interface) ของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำที่สนใจ โดยจะได้จากการหาค่าจุดวิกฤต จากสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) โดยผู้ที่ค้นพบคือ Aspnes(1980),Pollak(1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และได้มีการพัฒนาเพื่อตรวจสอบและวัดหาปริมาณของสารประกอบ (Alloy) ค่าแถบพลังงานต้องห้าม (Energy gap) ค่าพลังงานการทรานซิชัน (Transition energies) และ ความเป็นเนื้อเดียวกันในโครงสร้างของอุปกรณ์ MODFET (Modulation doped field effect transistor) [19]

การเปลี่ยนแปลงของการสะท้อนเกี่ยวข้องกับ อนุพันธ์ของ ฟังก์ชันไดอิเล็กตริก (Dielectric function) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วฟังก์ชันไดอิเล็กตริก มีความสัมพันธ์คือ

$$\varepsilon(\omega,\vec{k}) = \varepsilon'(\omega,\vec{k}) + i\varepsilon''(\omega,\vec{k}) \tag{2.34}$$

ซึ่งเป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนสองตัวแปร ซึ่งในการแปรผันด้วยแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ฟังก์ชันไดอิเล็กตริกจะขึ้นกับความถี่เชิงมุมเพียงอย่างเดียว จึงได้สมการความสัมพันธ์ของฟังก์ชันไดอิเล็กตริกเป็น

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega) \tag{2.35}$$

การสะท้อนที่เกิดขึ้นเมื่อแสงกระทบกับสารตัวอย่าง เกิดการสะท้อนแบบเฟรสเนล มีความสัมพันธ์ของการสะท้อนคือ

$$R = \left|\frac{n-n_a}{n+n_a}\right|^2 \tag{2.36}$$

โดยสามารถประมาณค่าดัชนีหักเหเป็น

$$n^2 = \varepsilon$$
$$n_a^2 = \varepsilon_a$$

n คือ ดัชนีหักเหของฐานรอง

n_a คือดัชนีหักเหของอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1

ทำการหาอนุพันธ์ของสมการการสะท้อน และจัดรูปสมการ จะได้ว่า

$$\frac{\Delta R}{R} = \alpha_S \Delta\varepsilon' + \beta_S \Delta\varepsilon'' \tag{2.37}$$

โดย $$\Delta\tilde{\varepsilon} = \Delta\varepsilon' + i\Delta\varepsilon'' \tag{2.38}$$

α_S และ β_S คือ สัมประสิทธิ์ของ Seraphin

ภายใต้สนามไฟฟ้าต่ำๆ ลักษณะของสัญญาณที่บันทึกจากระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์จะบอกถึง Band-to-band transition ที่เป็นอนุพันธ์ลำดับที่สามของ ε เมื่อ

$$\Delta\varepsilon = (\hbar\Theta)^3 \frac{\partial^3(\varepsilon E^2)}{\partial E^3} \tag{2.39}$$

E คือพลังงานโฟตอน

$\hbar\Theta$ คือ Electro-optic energy parameter ซึ่ง

$$\hbar\Theta = \frac{e^2\hbar^2 E^2}{2\mu_{//}} \tag{2.40}$$

โดย E คือ Dominant electric field ซึ่งเป็นได้ทั้ง built-in DC หรือ External applied AC, DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu_{//}$ คือ มวลลดทอนของพาหะที่กระโดดระหว่างแถบ (Reduce interband effective mass) ในทิศของสนามไฟฟ้า E

สมการอนุพันธ์ของ Aspnes ที่ใช้ในการ fitting จะมีความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{\Delta R}{R} = \mathrm{Re}\left[Ae^{i\phi_{ex}}(E - E_i + i\Gamma_E)^{-n}\right] \tag{2.41}$$

โดย A คือ แอมปลิจูด (Amplitude)

E คือ พลังงานโฟตอน (Photon energy)

E_i คือ ค่าแถบพลังงานต้องห้าม (Energy gap)

Γ คือ พารามิเตอร์ความกว้างของเฟโนเมโลจิคัล (Phenomological broadening parameter) เป็นตัวตอบสนองสำหรับกลไกการกระเจิงที่ทำให้เกิดทรานซิชัน (Transition) เมื่อไม่มีการกระเจิง Γ จะมีค่าเป็น ศูนย์

ϕ_{ex} คือ แฟกเตอร์เฟส (Phase factor)

n คือ Dimensional critical point

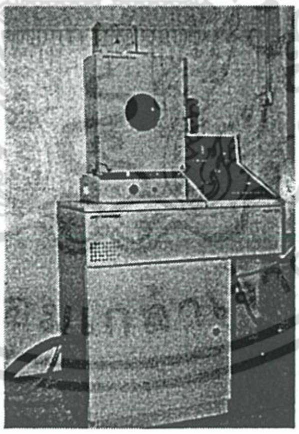
ผลที่ได้จากการวัด เมื่อทำ การหาค่าจุดวิกฤตจากสมการดังกล่าวทำให้เราได้ค่าแถบพลังงานต้องห้าม (Energy gap) และค่าพลังงานการทรานซิชัน (Transition energies) ในบ่อควอนตัมที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูง (Electron beam evaporator system)

หลักการของระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูงคือ การควบคุมลำอิเล็กตรอนด้วยสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าให้ตกลงบนสารที่ต้องการระเหยในเบ้าหลอม (Crucible liner) โดยลำอิเล็กตรอนกำเนิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดทังสเตนจนเกิดปรากฏการณ์เทอร์มิออนิกอีมิสชัน (Thermionic emission effect) อิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยออกมาและถูกบังคับ ให้ตกกระทบผิวหน้าของสารเกิดการถ่ายเทพลังงานจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อน เมื่อสารได้รับพลังงานความร้อนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอระเหยขึ้นไปเกาะบนแผ่นฐานรองรับและตัวคริสตอล ไอระเหยของสารที่ไปจับกับตัวคริสตอลเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการสั่นซึ่งสามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงนี้คำนวณเป็นความหนาของสารที่เกาะอยู่บนฐานรองรับได้



รูปที่ 3.1 ระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูง

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูงประกอบด้วย

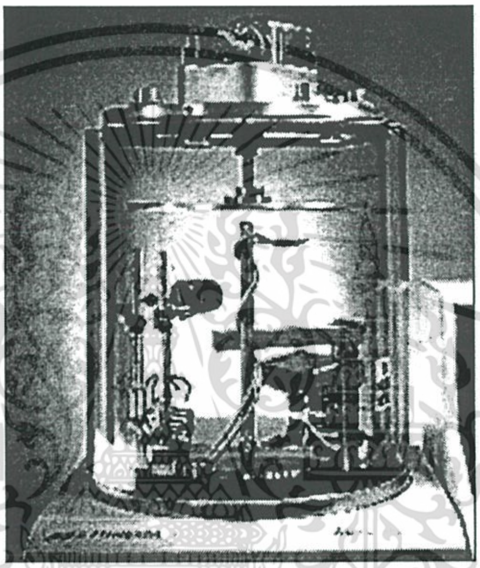
1. **ห้องสุญญากาศ** (Vacuum chamber)
2. **ระบบปั๊มสุญญากาศ และอุปกรณ์วัดค่าความดันสุญญากาศ** (Vacuum system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบควบคุมการทำงานระบบระเหยสาร (Controller)
4. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของลำอิเล็กตรอน (Power supply)

3.3.1 ห้องสุญญากาศ (Vacuum chamber)

ภายในห้องสุญญากาศใช้วัสดุที่เป็นเหล็กกล้ากันสนิม (Stainless) โดยสามารถทำความดันได้ถึง 1×10^{-7} mbar



รูปที่ 3.2 การจัดอุปกรณ์ในห้องสุญญากาศ

1. แหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอน (Electron beam source)

เป็นแหล่งกำเนิดของลำอิเล็กตรอนซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์เทอร์มิโอนิกอิมิสชันของอิเล็กตรอน

2. ชัตเตอร์ (Shutter)

มีหน้าที่ในการเปิด ปิด ไอจากเบ้าหลอมสารที่จะขึ้นไปเกาะฐานรองรับ เมื่อชัตเตอร์เปิดตัวตรวจวัดความหนาจะเริ่มวัดค่าความหนาของฟิล์มบางของสารที่ระเหย

3. คริสตอลตรวจวัดความหนา

คริสตอลทำมาจากควอทซ์ เป็นแผ่นวงกลมบางมีลักษณะเป็นแผ่นนูนมีการเคลือบทอง เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบวัดความหนาของฟิล์ม โดยในช่วงแรกคริสตอลจะมีค่าความถี่ประมาณ 6 เมกกะเฮิตรซ์ (MHz) ความถี่ของการสั่นสามารถวัดได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลของชั้นสารที่เกาะบนพื้นผิวคริสตอล และขณะที่ชั้นของสารระเหยกำลังถูกระเหยการสั่นจะมีค่าลดลง การคำนวณหาความหนาของฟิล์มบางเป็นดังสมการ

$$T_f = \frac{N_q D_q f^2 (f_q - f)}{D_f} \quad (3.1)$$

เมื่อ T_f คือความหนาของฟิล์มบาง (cm)

D_g คือความหนาแน่นของควอตซ์ ($g.cm^{-3}$)

D_f คือความหนาแน่นของฟิล์มบาง ($g.cm^{-3}$)

N_g คือค่าคงที่ความถี่ของการสั่นของคริสตอล ($Hz.cm^{-1}$)

f คือความถี่ของคริสตอลภายหลังการระเหยสาร (Hz)

f_g คือความถี่ของคริสตอลก่อนการระเหยสาร (Hz)

4. ตัวยึดจับฐานรองรับ (Substrate workholder)

ใช้ยึดจับฐานรองรับในระบบสุญญากาศในการระเหยสาร โดยตัวยึดจับฐานรองรับสามารถทำการหมุนฐานรองรับในความเร็วที่กำหนดได้เพื่อให้ฟิล์มบางมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

5. ตัวให้ความร้อนแก่ฐานรองรับ (Substrate heater)

ตัวให้ความร้อนแก่ฐานรองรับภายในห้องสุญญากาศจะเป็นตัวให้ความร้อนแบบควอทซ์ (Quartz heater) ซึ่งจะมี หลอดไฟควอทซ์ (Quartz lamp) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับบริเวณฐานรองรับ โดยสามารถสร้างความร้อนให้กับฐานรองรับได้ถึง 250 องศาเซลเซียส

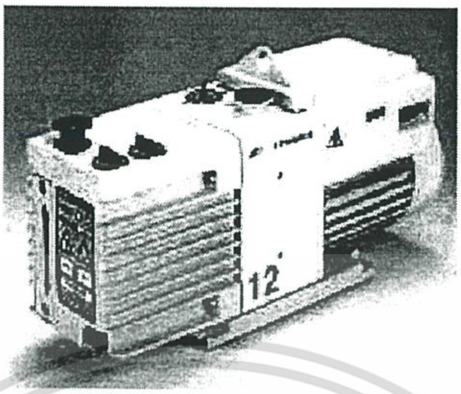
6. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิของฐานรองรับภายในห้องสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ระบบปั๊มสุญญากาศ และอุปกรณ์วัดค่าความดันสุญญากาศ (Vacuum system)

ปั๊มกลโรตารี (Mechanical rotary pump)



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะปั๊มกลโรตารี ของบริษัท EDWARDS รุ่น RV12

ปั๊มกลโรตารีใช้ในการสร้างสุญญากาศขั้นต้น สามารถสร้างสุญญากาศตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึงความดันประมาณ 10^{-3} มิลลิบาร์ หลักการอย่างง่าย คือ แก๊สหรืออากาศในภาชนะจุถูกขับออกโดยการเคลื่อนไหวของลูกสูบ ทำให้แก๊สในห้องสูบมีความดันเพิ่มมากขึ้นจนมากกว่าความดันบรรยากาศภายนอก แก๊สจะถูกขับออกมา ประสิทธิภาพของปั๊มขึ้นอยู่กับ

1. ผิวของสเตเตอร์และโรเตอร์จะต้องสะอาด มันเรียบและที่ซีล (seal) ด้านบนจะต้องไม่สึกกร่อนง่ายการซิลระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ อาศัยน้ำมันเป็นตัวซีลหล่อลื่น และระบายความร้อนไป
2. แก๊สที่อัดเพื่อขับออกจากปั๊มอาจมีไอน้ำปะปนอยู่ ไอน้ำหรือไอของ ๆ เหลวนี้อาจละลายในน้ำมันที่ความดันสูง จึงไม่ถูกขับออกโดยง่าย แต่จะถูกนำกลับเข้าไปในห้องสเตเตอร์ได้อีก ทำให้ประสิทธิภาพการปั๊มลดลง วิธีแก้ให้ใช้ แก๊สบัลลาสต์ (Gasballast)

ปั๊มกังหันโมเลกุล (Turbo molecular pump)

ปั๊มกังหันโมเลกุลจะใช้ในการสร้างสุญญากาศตั้งแต่ 10^{-3}-10^{-10} มิลลิบาร์ โดยแก๊สหรืออากาศในภาชนะจะถูกขับบออกโดยการหมุนของใบพัด ปั๊มกังหันโมเลกุลจะประกอบด้วยโรเตอร์แสเตเตอร์หลายชั้น ซึ่งแก๊สภายในภาชนะจะถูกขับออกจากใบพัด จากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างและถูกขับออกสู่ภายนอก ซึ่งประสิทธิภาพของปั๊มจะขึ้นอยู่กับ

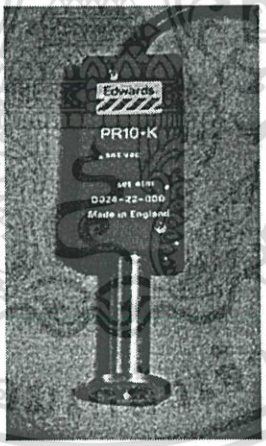
1. ความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ โดยจะอยู่ในช่วง 20000-30000 รอบต่อนาที (Revolution per minute; rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส โดยแก๊สที่มีค่ามวลโมเลกุลมากจะถูกขับออกจากภาชนะได้ดีกว่า แก๊สที่มีค่ามวลโมเลกุลน้อย เช่นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สที่ขับออกจาก ภาชนะได้ยาก

รูปที่ 3.4 ลักษณะของปั๊มกังหันโมเลกุล

เกจพิรานิ (Pirani gauge)

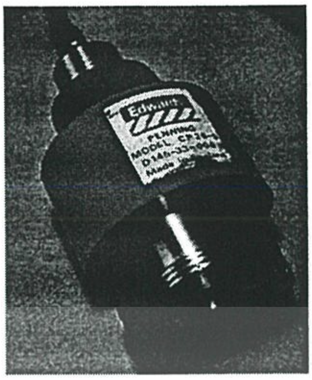


รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของเกจพิรานิของบริษัท EDWARDS รุ่น PRM10K

ใช้วัดความดันอยู่ในช่วงความดันบรรยากาศถึง 10^{-3} มิลลิบาร์ ภายในเกจพิรานิมีเส้นลวดซึ่งเผาให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าอุณหภูมิของเส้นลวดจะเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากความร้อนถูกพาไปโดยโมเลกุลของแก๊สที่มาปะทะ การสูญเสียความร้อนจะมากที่ความดันสูง ที่ความดันต่ำลงอุณหภูมิของลวดจะสูงขึ้นค่าความต้านทานของลวดก็จะสูงขึ้นด้วย ความต้านทานของเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ วัดได้โดยใช้วงจรวีตสโตนบริจด์ (Whetstone bridge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกจเพ็นนิ่ง (Penning gauge)



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของเกจเพ็นนิ่งของบริษัท EDWARDS รุ่น CP25K

อาจเรียกชื่ออื่นได้ คือ เกจฟิลลิปไอออไนเซชัน (Philip ionization gauge) เกจขั้วแคโทดเย็น (Cold cathode ionization gauge) ใช้วัดความดันในช่วง 10^{-2}-10^{-8} มิลลิบาร์ สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วแคโทดเย็นทำให้เกิดการแตกตัวของแก๊ส ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและไอออนบวก อิเล็กตรอนจะถูกเร่งไปยังขั้วแอโนด และถูกบังคับให้วิ่งวนโดยสนามแม่เหล็ก จนกระทั่งถูกจับด้วยขั้วแอโนด ส่วยไอออนบวกจะวิ่งไปยังขั้วแคโทดและปล่อยอิเล็กตรอนลำดับที่สองพร้อมกับอะตอมที่เป็นกลาง ซึ่งกระแสไฟฟ้าในการแตกตัวของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของความดัน

3.1.3 **ระบบควบคุมการทำงานระบบระเหยสาร**

ระบบควบคุมการทำงานระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนจะประกอบด้วย

- Main Switch

  ใช้ในการเปิด/ปิดแผงควบคุมการทำงาน

- Status Control

  ใช้ควบคุมและแสดงค่าความดันภายในห้องสุญญากาศ

- Thickness Monitor

  ใช้ในการวัดและแสดงผล อัตราการเคลือบและความหนาของฟิล์มในขณะที่ทำการระเหยฟิล์มบางในระบบสุญญากาศ

- Rotary Workholder Control

  ใช้ในการควบคุมการหมุนของตัวยึดจับแผ่นฐานรองรับ

- Source Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการควบคุมการทำงานของแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอน

- Sweep Control

  ใช้ในการควบคุมลำอิเล็กตรอนให้กวาดไปตามแนวได้ 2 ทิศทางได้แก่

  - ทิศทาง X คือทิศทางที่อยู่ในแนวเดียวกับ Source
  - ทิศทาง Y คือทิศทางที่อยู่ตามขวางกับ Source

- Substrate Heater Control

  ใช้ในการควบคุมตัวให้ความร้อนแก่แผ่นฐานรองรับ

- Turret Control

  ใช้ในการควบคุมการหมุนปรับตำแหน่งของเบ้าหลอมสาร

- Shutter Control

  ใช้ในการควบคุมการเปิด/ปิดของชัตเตอร์

3.1.4 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของลำอิเล็กตรอน

รูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของลำอิเล็กตรอนของระบบระเหยสาร

เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอน แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของลำอิเล็กตรอนของระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศแสดงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

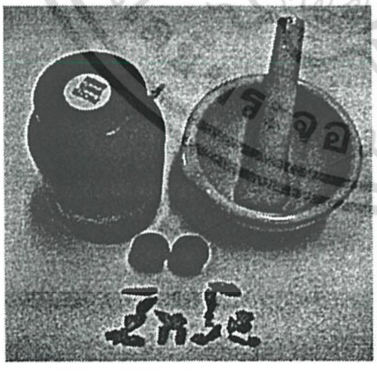
3.2 การทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับ (Substrate cleaning) กระจกสไลด์

แผ่นฐานรองรับที่ใช้ เป็นกระจกสไลด์ ขนาด 75×25 มิลลิเมตร ในการทำความสะอาดกระจกสไลด์จะมีขั้นตอนการทำความสะอาดดังนี้

1. ล้างกระจกสไลด์ด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลทราโซนิกส์ (Ultrasonic cleaner) ซึ่งทำการล้างคราบสกปรกด้วยน้ำไร้ไอออน (De-ionized water) เป็นเวลา 15 นาที
2. นำไปล้างคราบไขมันบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยน้ำยาอะซิโตน (Acetone) ด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลทราโซนิกส์ (Ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 15 นาที
3. ล้างในน้ำยาเมทิลแอลกอฮอล์ (Methanol) ด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลทราโซนิกส์ (Ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 15 นาที
4. ล้างในน้ำยาไอโซโพรพานอล (Isopropanal) ด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลทราโซนิกส์ (Ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 15 นาที

3.3 การปลูกฟิล์มบาง โครงสร้างกึ่งตัวนำอินทรีย์/อนินทรีย์ โดยวิธีระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน

การเตรียมฟิล์มบางด้วยลำอิเล็กตรอนจะทำในระบบสุญญากาศสูงประมาณ 10^{-6} มิลลิบาร์ สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98-และสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ที่ใช้มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.995 โดยจะระเหยสารทั่วทั้งแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์



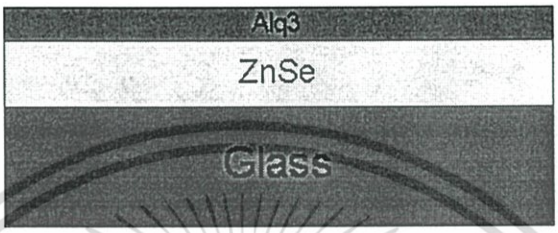
(ก) (ข)

รูปที่ 3.8 (ก) สารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ (ข) สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3/ZnSeบนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์

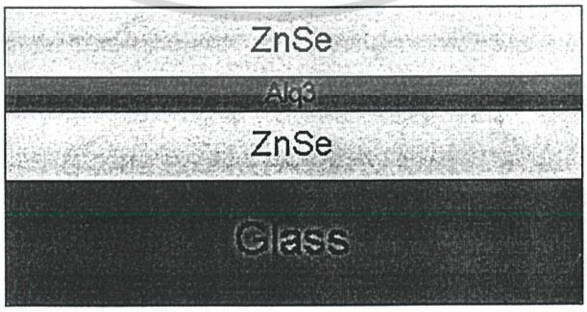
ปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ความหนา 200 nm ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นจึงทำการปลูกฟิล์มบาง Alq_3 โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาชั้น Alq_3 15nm, 20nm และ 50 nm ที่ความดัน 5.0×10^{-6} mbar ด้วยอัตราการระเหย 1nm/sec โดยจะมีลักษณะโครงสร้างดังรูป3.12



รูป 3.9 แสดงลักษณะชั้นของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์Alq_3/ZnSeบนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์

3.3.2 การปลูกฟิล์มบาง โครงสร้างบ่อควอนตัม Alq_3/ZnSe บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์

ปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ความหนา 200 nm ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นจึงทำการปลูกฟิล์มบาง Alq_3 โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาชั้น Alq_3 5nm,10 nm,15nm, 20nm และ 50 nm แล้วทำการปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ความหนา 200 nm ประกบ ที่ความดัน 5.0×10^{-6} mbar ด้วยอัตราการระเหย 1nm/sec โดยจะมีลักษณะโครงสร้างดังรูป



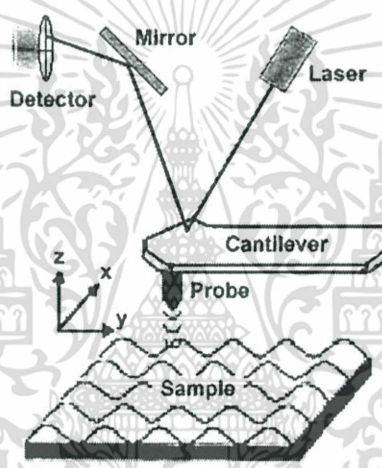
รูป 3.10 แสดงลักษณะชั้นของฟิล์มบาง โครงสร้างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3/ZnSe แบบบ่อควอนตัม บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบาง โครงสร้างบ่อควอนตัม Alq_3/ZnSe

ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์/อนินทรีย์ จะทำการตรวจสอบสมบัติทางพื้นผิวโดยอาศัย กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscope,AFM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Scanning Electron Microscope,SEM) และ ทำการตรวจสอบสมบัติทางแสงโดยระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ (Photoreflectance measurement system, PR) เพื่อหาค่าพลังงานการทรานซิชัน (Transition energy)

3.4.1 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscope, AFM)



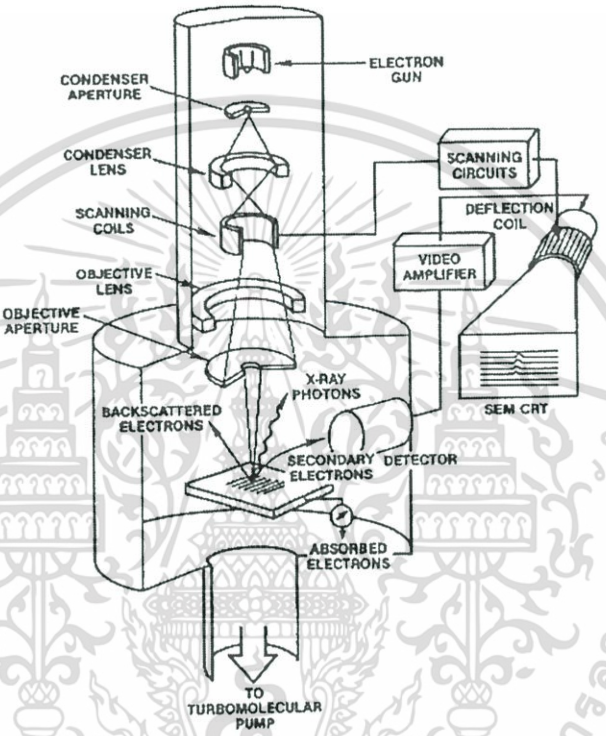
รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของ กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

องค์ประกอบหลักของระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม คือการวัดแรงโดยใช้คานยื่น (Cantilever) ซึ่งเป็นแผ่นวัสดุแข็งที่มีวัสดุปลายแหลม หรือ " ทิป " (Tip) ติดอยู่ที่ปลาย คานยื่นทำจากวัสดุที่มีความแข็งสูงเช่น Silicon nitride (Si_3N_4) ยาว 100 –500 μm หนา 0.5- 5 μm แผนภาพแสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 ทิปที่ติดปลายคานยื่นจะทำหน้าที่วัดแรงกระทำระหว่างตัวอย่างกับทิป โดยทิปจะสัมผัสกับตัวอย่างด้วยแรงในระดับนาโนนิวตัน และเคลื่อนที่ไป กลับบนพื้นผิวตัวอย่าง ซึ่งวางอยู่บนวัสดุเพียโซอิเลคทริกส์ (Piezoelectric scanners) โดยสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ในสามทิศทาง (แกน x,yและz) ทิปที่เคลื่อนที่ขึ้น – ลง ตามความสูง – ต่ำของพื้นผิวตัวอย่าง ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ระบบวัดอะตอมมิคฟอร์ซไมโครสโคปจะวัดการตำแหน่งของทิปได้จากการใช้ลำแสงเลเซอร์ส่องไปที่คานยื่น แล้วสะท้อนกลับไปที่ส่วนรับสัญญาณแบบโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Photodiode detector) ทำให้ทราบข้อมูลการเคลื่อนที่ขึ้นลงของคานยื่น หรือความสูงต่ำของพื้นผิวตัวอย่างได้ จากข้อมูลความสูงต่ำของแต่ละจุดเทียบกับตำแหน่งของทิป (โคออร์ดิเนต x,y,z) ทำให้ ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม สามารถสร้างภาพของพื้นผิวตัวอย่างได้ทั้งสอง มิติ และ สาม มิติ

3.4.2 **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด** (Scanning electron microscope, SEM)

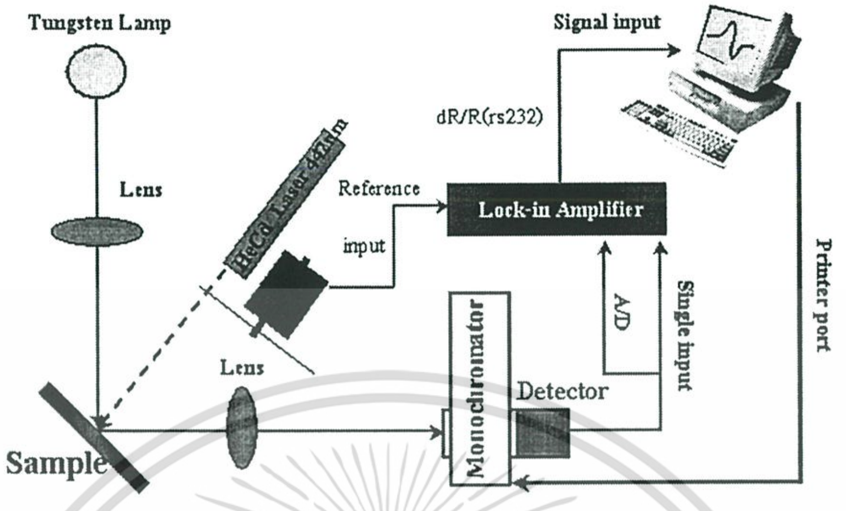


รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดใช้ในการส่องดูลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง โดยการบังคับลำอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิว ลักษณะของภาพจะเป็นภาพขาวดำ มีกำลังขยาย 10 – 300,000 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง หลักการทำงาน คือ อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับตัวอย่างทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) รังสีเอกซ์ และและอิเล็กตรอนที่เกิดการกระเจิง (Backscattered electron) จะถูกจับสัญญาณโดยตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector) แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปขยาย และสร้างภาพบนจอภาพหลอดรังสีแคโทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 **ระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์** (Photoreflectance measurement system, PR)



รูปที่ 3.13 แสดงระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์สเปกโทรสโกปี

ระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เป็นการมอดูเลตของสนามไฟฟ้าในสารตัวอย่างโดยอาศัยหลักการกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยการกระตุ้นจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ผ่านตัวตัดแสง (Chopper) ที่ความถี่ Ω_m เมื่อมีการกระตุ้นจากแสงเลเซอร์โดยผ่านตัวตัดแสงจะทำให้เกิดการทรานซิชัน คือมีกระบวนการเกิด (Generation) ในช่วงที่ผ่านช่องว่างตัวตัดแสง และเกิดกระบวนการรวมตัวใหม่ (Recombination) ในช่วงที่ไม่ผ่านตัวตัดแสง ซึ่งในจังหวะของกระบวนการเกิดและกระบวนการรวมตัวใหม่จะเกิดมากที่สุดบริเวณที่เป็นแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำหมายถึงมีค่าของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Critical point) ที่บริเวณแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำ สัญญาณที่วัดได้มี 2 ส่วน คือ สัญญาณ a.c. ที่มีความสัมพันธ์กับค่าการเปลี่ยนแปลงรีเฟล็กติวิตี (Reflectivity,ΔR) และสัญญาณ d.c. ที่มีความสัมพันธ์กับ ค่ารี เฟล็กติวิตี (Reflectivity,R)

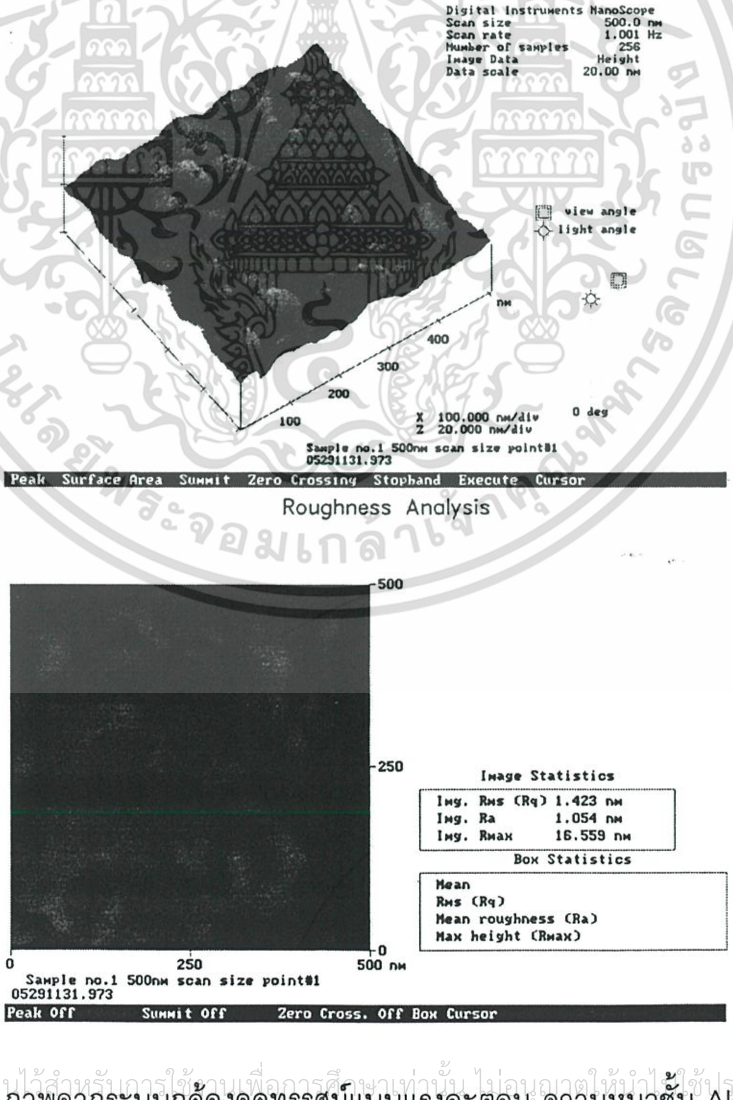
เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบจะทำการควบคุมการหมุนสเตปปิงมอเตอร์ (Stepping motor) ของโมโนโครมาเตอร์ ผ่านทางพริ้นเตอร์พอร์ตแบบฟูลสเตปและทำการอ่านค่าสัญญาณ a.c. และ d.c. จากเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อคอินผ่านทาง RS-232 พร้อมทั้งเขียนกราฟสเปกตรัมที่วัดได้ปรากฏบนจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยตั้งสเกลอัตโนมัติ เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานโปรแกรมจะทำการหาค่าสเปกตรัมของ ΔR/R กับพลังงานโฟตอนพร้อมแสดงผลอีกครั้งบนจอภาพ และจะทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้วิเคราะห์ผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

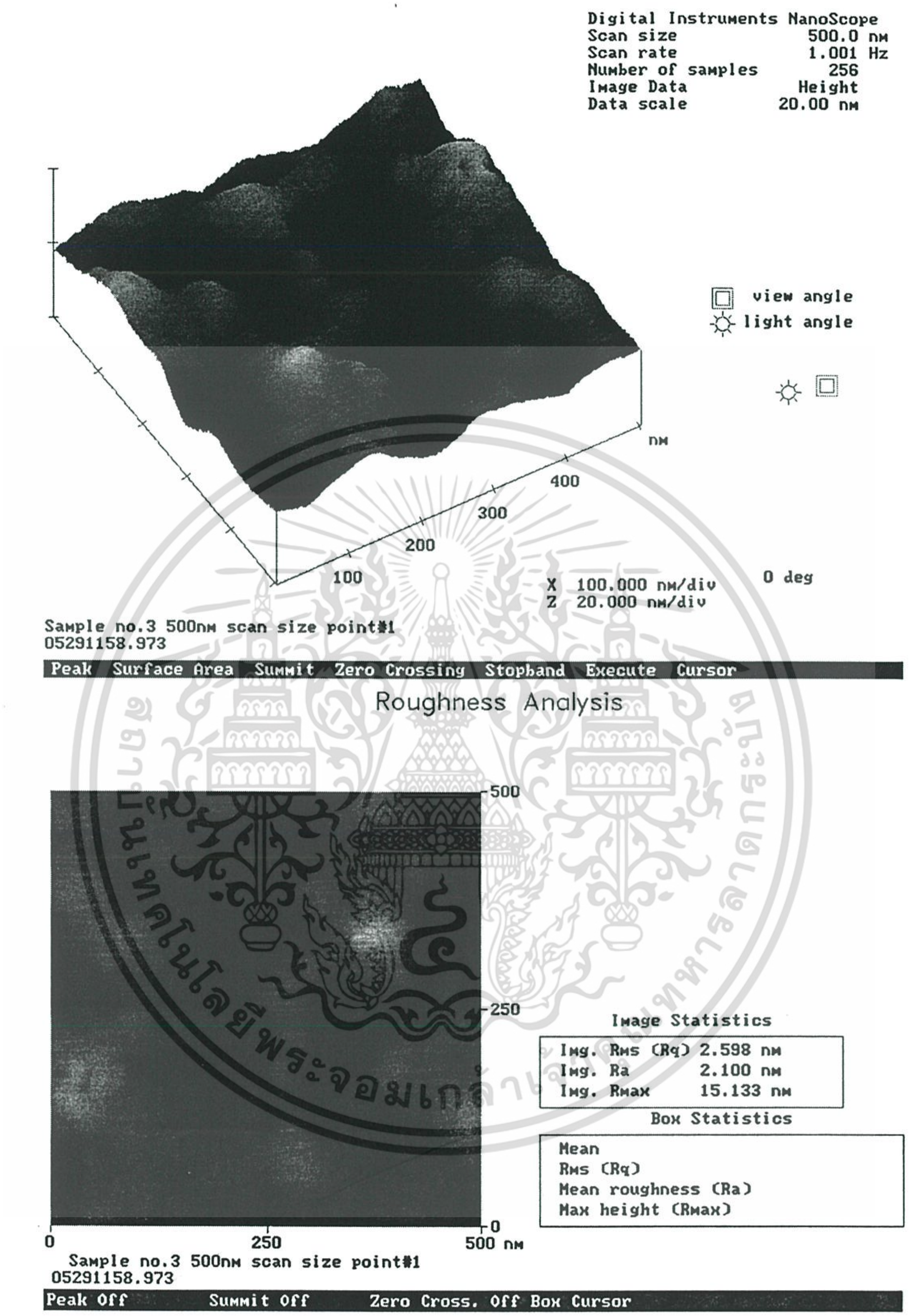
4.1 การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 /ZnSe โดยวิธีระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนบนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์

ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3/ZnSe ที่ปลูกโดยวิธีระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนบนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์ โดยเริ่มจากการปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ ความหนา 200 nm จากนั้นจึงทำการปลูกฟิล์มบาง Alq_3 โดยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความหนาคือ15, 20,50 nm ตามลำดับด้วยอัตราการระเหย 0.1-0.2 nm/sec ซึ่งโครงสร้างของฟิล์มบางจะได้ตามรูปที่ 3.9 จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาตรวจสอบพื้นผิวโดย ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope) โดยมีขนาดของการสแกน (Scan size) เป็น 500 nm มีผลดังรูป 4.1, 4.2 และ 4.3



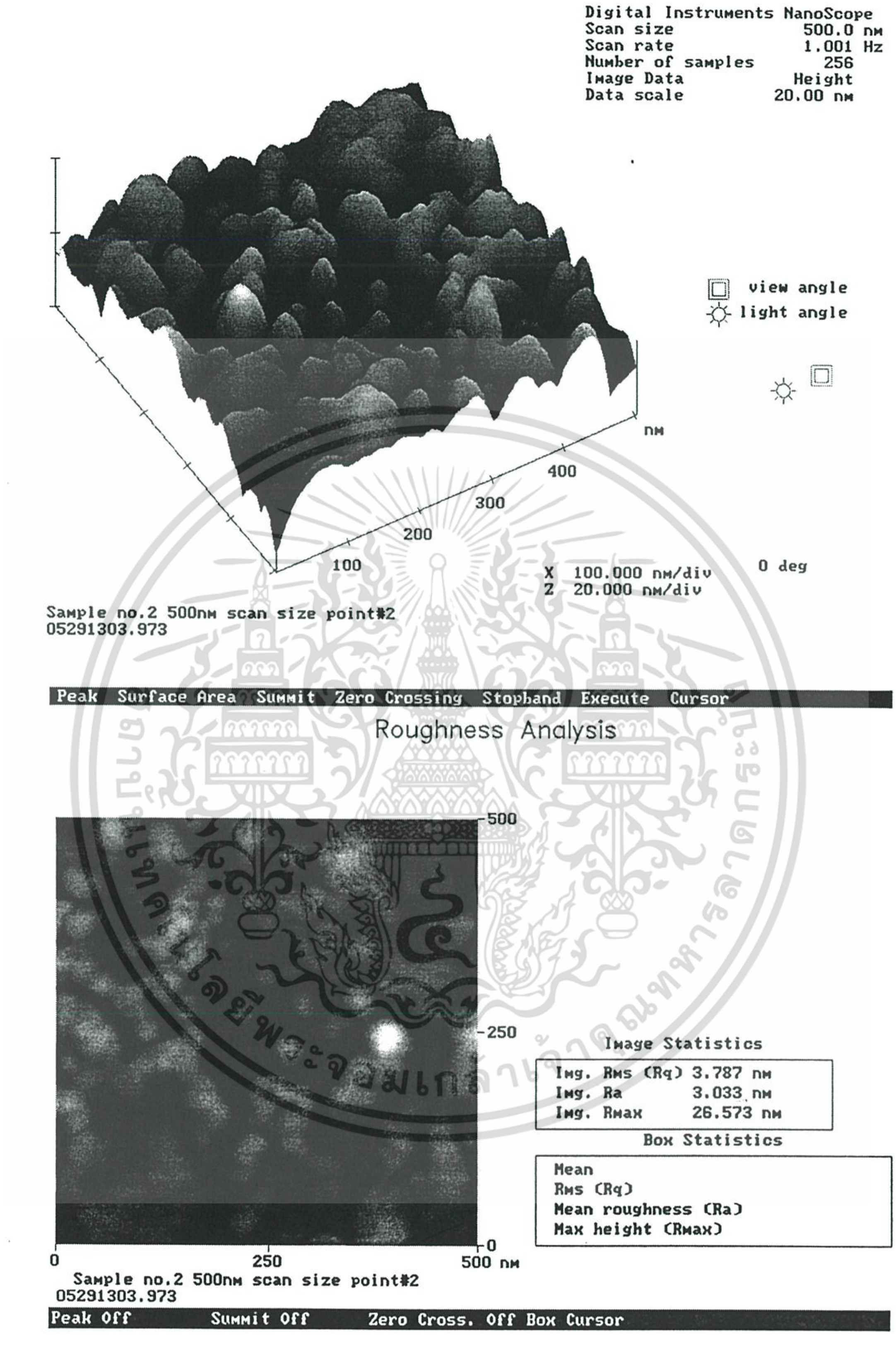
รูปที่ 4.1 ภาพจากระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ความหนาชั้น Alq_3 15 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



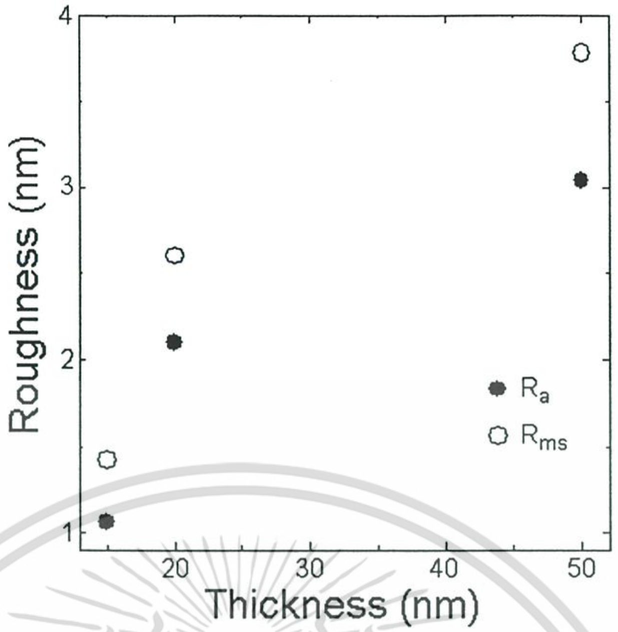
รูปที่ 4.2 ภาพจากระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ความหนาชั้น Alq_3 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ภาพจากระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ความหนาชั้น Alq_3 50 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงความขุรขระของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่ความหนาต่างๆ

ผลของค่าความขรุขระ(Roughness) ที่ได้จากระบบวัดอะตอมมิคฟอร์ซไมโครสโคปของฟิล์มบางโครงสร้างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ $Alq_3/ZnSe$ โดยวิธีระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนบนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์ตามรูป 3.9 ด้วยอัตราการระเหย 0.1nm/sec จากรูปที่ 4.4 มีค่าอยู่ในระดับนาโนเมตร และมีค่าความขรุขระเพิ่มมากขึ้นเมื่อ ความหนาของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟิล์มบาง Alq_3 ที่ได้จากการปลูกโดยวิธีนี้มีลักษณะการจับตัวกันเป็นโมเลกุล ซึ่งไม่เป็นโครงผลึกแบบสารกึ่งตัวนำ ทำให้ภาพที่ได้จากระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม จึงมีลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่มโมเลกุล (Molecular cluster)

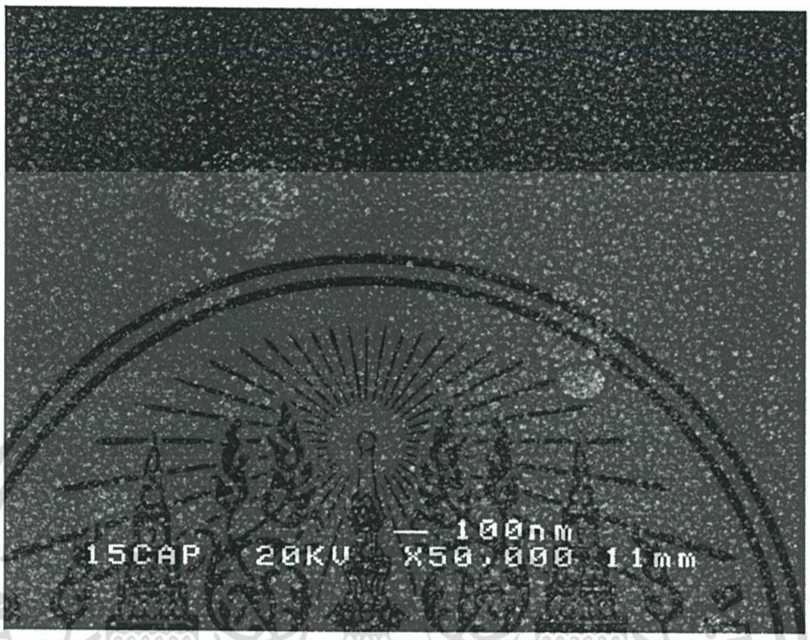
4.2 การปลูกฟิล์มบาง โครงสร้างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ $Alq_3/ZnSe$ แบบบ่อควอนตัม บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์

4.2.1 ผลจากระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

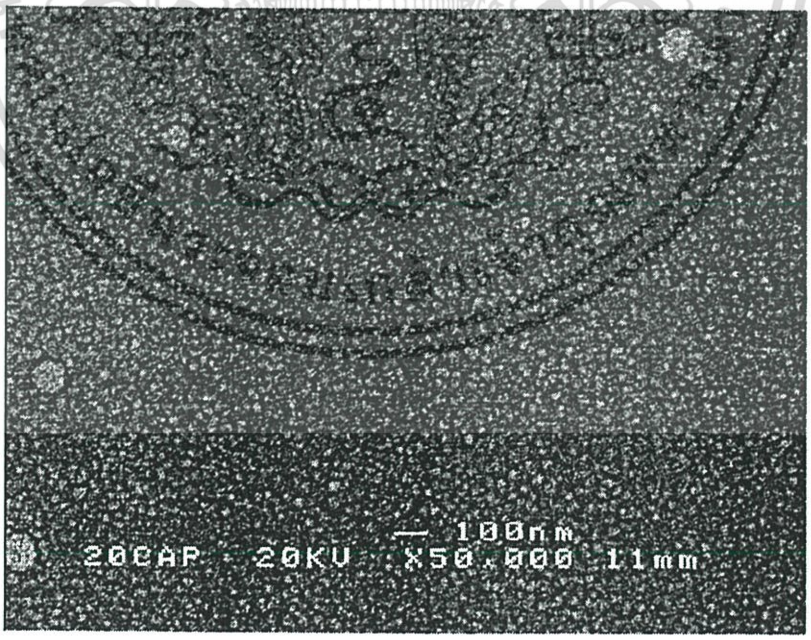
ปลูกฟิล์มบางโครงสร้างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ $Alq_3/ZnSe$ แบบบ่อควอนตัม โดยวิธีระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนบนแผ่นฐานรองรับ โดยเริ่มจากการปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ ความหนา 200 nm จากนั้นจึงทำการปลูกฟิล์มบาง Alq_3 โดยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความหนาคือ15, 20,50 nm ตามลำดับ แล้วจึงทำการปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ ความหนา 200 nm ประกบ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการระเหย 0.1-0.2 nm/sec ซึ่งโครงสร้างของฟิล์มบางจะได้ตามรูปที่ 3.10 จากนั้นจึงนำฟิล์มที่ได้มาตรวจสอบทางพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า มีผลดังรูป 4.5, 4.6 และ 4.7

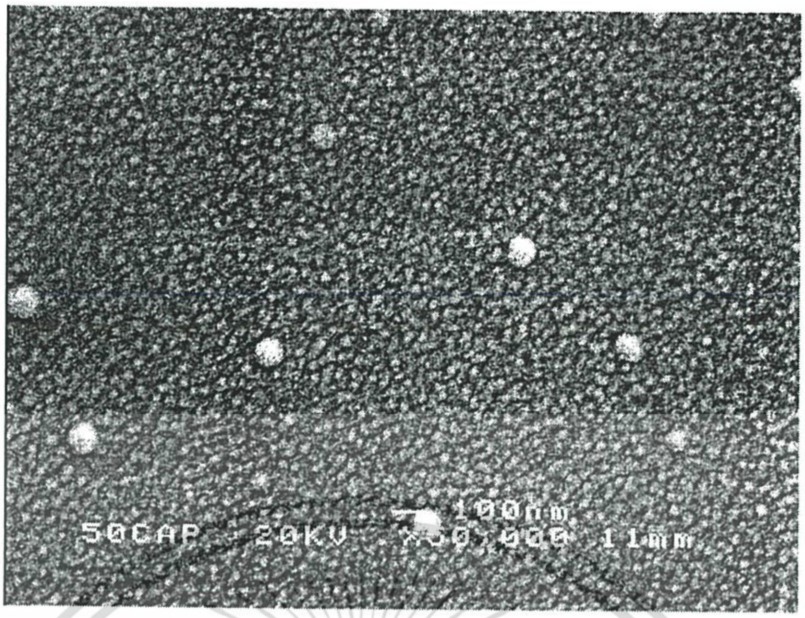


รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ความหนา Alq_3 15 nm



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ความหนา Alq_3 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



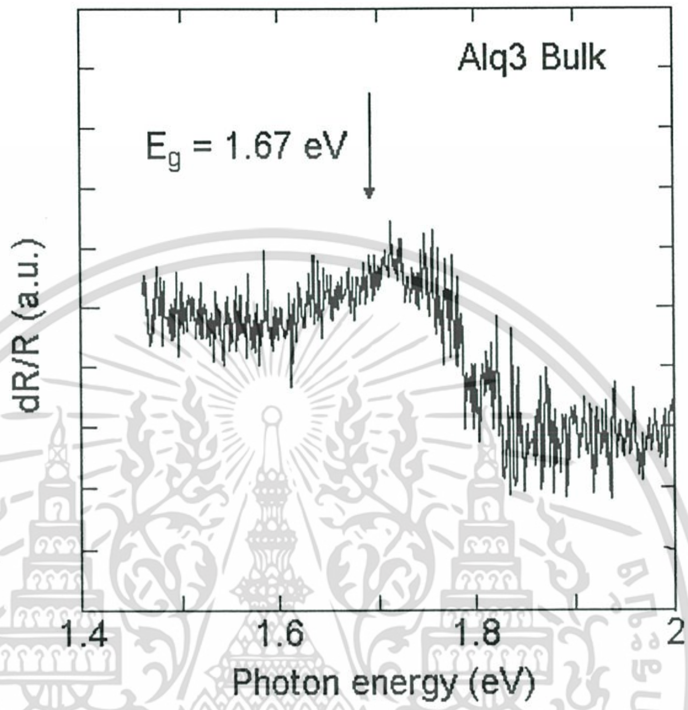
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ความหนา $Alq_3$50 nm

เมื่อทำการตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มบาง โดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด พบว่ามีผลการทดลองดังรูปที่ 4.5-4.7 ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดผลึกซิงค์ซีลีไนด์ชั้นบนสุดที่กำลังขยาย 50000 เท่า จะมีค่าประมาณ 30 nm และพบว่าความหนาของชั้นฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์Alq_3 ไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดผลึกซิงค์ซีลีไนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 2 ผลจากระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์

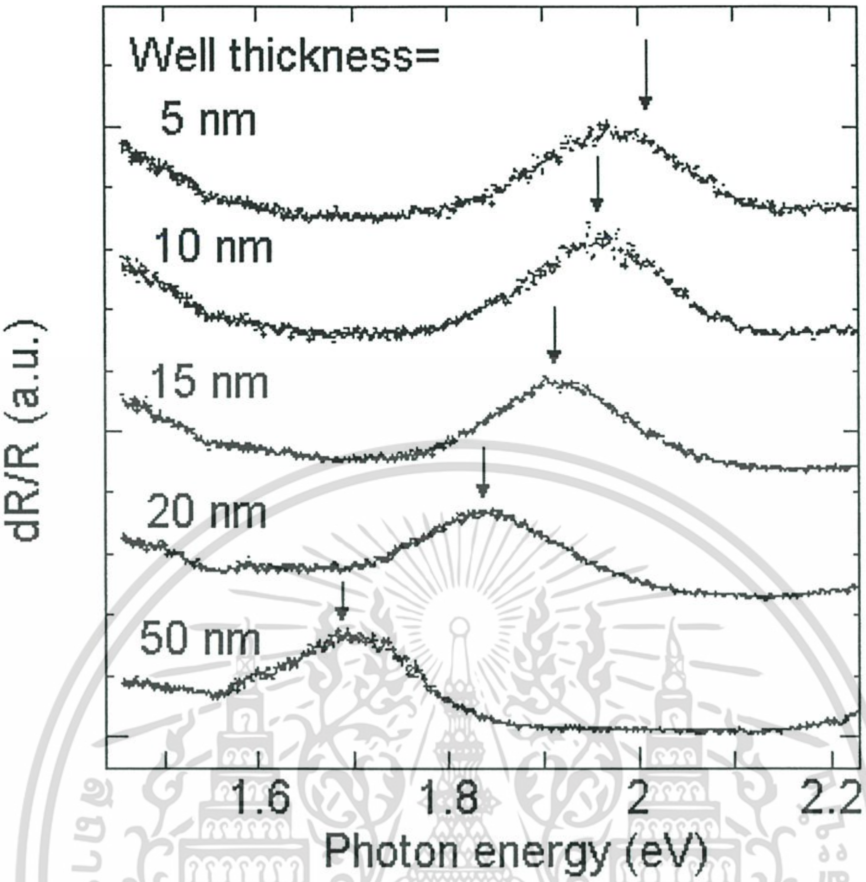
เมื่อนำไปตรวจวัดหาแถบพลังงานต้องห้าม Alq_3 หนา 1 μm จากระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ จะได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.8 ค่าแถบพลังงานต้องห้ามของ Alq_3 ความหนา 1 μm จากระบบวัด โฟโตรีเฟล็กแทนซ์

จากรูป4.8 ค่าแถบพลังงานต้องห้ามของ Alq_3 ความหนา 1 μm มีค่าเท่ากับ 1.67 eV จากนั้นจึงนำฟิล์มบางเงื่อนไขต่างๆมาทำการวัดหาการทรานซิชันในบ่อควอนตัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่าของการทรานซิชันในบ่อควอนตัมจากระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ จากฟิล์มบางความหนาต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 ทำให้ทราบค่าของพลังงานการทรานซิชันดังตาราง 4.1 ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากการทดลองโดยระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์

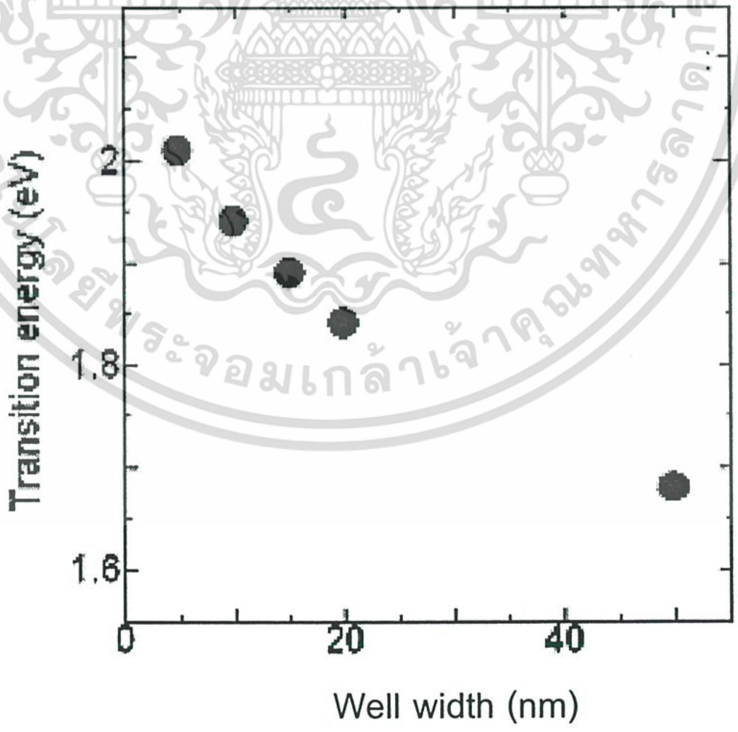
ตาราง 4.1 แสดงผลของพลังงานการทรานซิชันภายในบ่อควอนตัม ที่ได้จากระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์

Well width (nm)	Transition Energy (eV)
5	2.13
10	1.93
15	1.89
20	1.83
50	1.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง Alq_3 ความหนา 1 ไมโครเมตร พบว่า เมื่อความหนาของชั้น Alq_3 ลดลงค่าพลังงานของการทรานซิชันในบ่อควอนตัมมีค่าเพิ่มขึ้น ปลูกฟิล์มบางโครงสร้างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3/ZnSe แบบบ่อควอนตัมบนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์ เริ่มจากการปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ความหนา 200 nm ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงทำการปลูกฟิล์มบาง Alq_3 แล้วทำการปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ความหนา 200 nm ประกบ ตามโครงสร้างดังรูป3.13 ในการทดลองนั้นได้เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการปลูกฟิล์มบาง Alq_3 ด้วยค่าความหนา 5,10,15,20 และ 50 nm โดยมีอัตราการระเหยเป็น 0.1 nm/sec

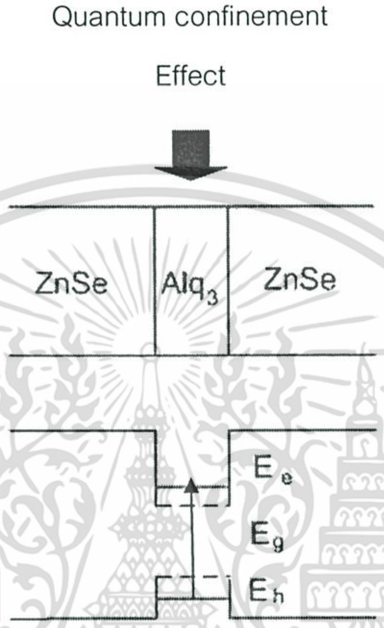
นำฟิล์มเงื่อนไขต่างๆมาตรวจสอบสมบัติทางแสงโดยระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ เพื่อตรวจสอบการทรานซิชันในบ่อควอนตัมซึ่งได้ผลการทดลองดังรูป 4.8 และ 4.9 โดยรูป 4.8 เป็นค่าแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ความหนา 1 μm มีค่า 1.67 eV ซึ่งจะนำมาใช้อ้างอิงกับฟิล์มบางเงื่อนไขต่างๆ ที่ได้ผลดังรูป 4.9 จากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ความหนา 1 μm เมื่อความหนาของชั้นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ลดลงค่าของการทรานซิชันในบ่อควอนตัมมีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยจะมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังรูป 4.10



รูป 4.10 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง การทรานซิชันในบ่อควอนตัม เมื่อความหนาของชั้น Alq_3 เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.10 เป็นผลจากปรากฏการณ์การควอนตัมคอนไฟน์เมนท์ (Quantum confinement effect) ของบ่อศักย์ (Potential well) ที่เกิดในชั้นของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ดังรูปที่ 4.11 เมื่อความกว้างของบ่อศักย์แคบลงทำให้การทรานซิชันในบ่อควอนตัมก็จะมีค่าสูงขึ้นโดยจะสอดคล้องกับสมการ (2.33)



รูปที่ 4.11 แสดงแถบพลังงานของฟิล์มบางโครงสร้างบ่อควอนตัม Alq_3/ZnSe บนแผ่นฐานรองรับกระจกสไลด์

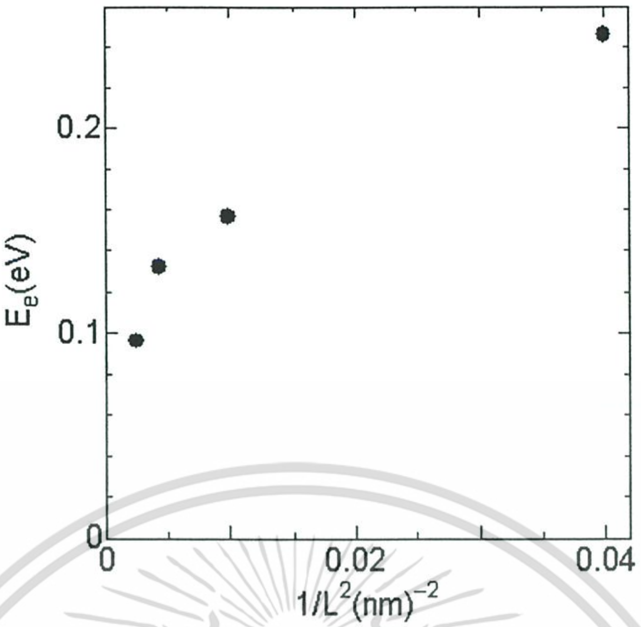
จากตารางที่ 4.1 เมื่อทำการคำนวณผลจากค่า E_e และ E_h จากค่าพลังงานการทรานซิชันในบ่อควอนตัม ทำให้ได้ผลดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 แสดงผลการคำนวณค่า E_e และ E_h

Well width, L (nm)	$1/L^2$ (nm)$^{-2}$	E_e(eV)	E_h(eV)
5	0.04	0.246	0.184
10	0.01	0.156	0.104
15	4.4×10^{-3}	0.132	0.088
20	2.5×10^{-3}	0.096	0.064

จากข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่าง E_e และ $1/L^2$ เป็นดังรูป4.12

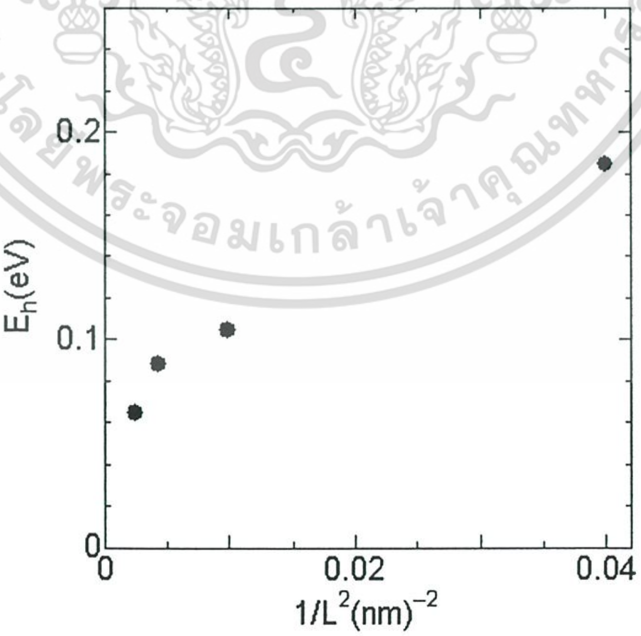
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/L^2$ และ E_e

เมื่อให้ข้อมูลดังกล่าวมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น คำนวณหาค่าความชันของกราฟระหว่าง$1/L^2$ และ E_e เท่ากับ 4.8 eV.(nm)$^{-2}$

จากข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่าง E_e และ $1/L^2$ เป็นดังรูป 4.13



รูป 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/L^2$ และ E_h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ข้อมูลดังกล่าวมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นคำนวณหาค่าความชันของกราฟระหว่าง $1/L^2$ และ E_h เท่ากับ **3.2 eV.(nm)$^{-2}$**

นำค่าที่ได้ทั้งสองลงไปแทนในสมการ

$$E_e = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m^*_e L^2} = \frac{2.3517}{m^*_e L^2}$$
$$E_h = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m^*_h L^2} = \frac{2.3517}{m^*_h L^2} \quad (4.1)$$

ทำให้ได้ค่ามวลประสิทธิผลของอิเล็กตรอนเท่ากับ m^*_e **= 0.490** m_0

และได้ค่ามวลประสิทธิผลของโฮลเท่ากับ m^*_h **= 0.73490** m_0 ตามลำดับ

4.2.3 ผลจากการกระตุ้นทางแสง

ผลการทดลองที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Alq_3 ความหนา 1 μm เมื่อความหนาของชั้น Alq_3 ลดลงค่าของการทรานสิชันในบ่อควอนตัมมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อทดลองทำการกระตุ้นฟิล์มบาง Alq_3/ ZnSe โครงสร้างบ่อควอนตัมด้วยแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดซีนอน (Xenon lamp) มีผลกระทบทางแสงดังรูป 4.14

รูป 4.14 แสดงผลกระทบของฟิล์มบาง Alq_3/ ZnSe โครงสร้างบ่อควอนตัม เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดซีนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง เมื่อนำเอาแหล่งกำเนิดแสงซีนอนเข้าไปกระตุ้น จะเห็นว่าแสงที่ได้มีค่าความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปจากแสงสีแดงจนถึงแสงสีฟ้า เนื่องจาก

1.ผลของการทรานซิชันภายในบ่อควอนตัมซึ่งมีค่าเป็นไปตามสมการ (2.33)

2.ผลของการทรานซิชันจากการสั่นของโมเลกุล ตามหลักการของ Franck Condon ทำให้ค่าพลังงานในปลดปล่อยแสงมีค่าเป็น

$$E_{Lum} = E_g + E_e + E_h + E_{Vib} \quad (4.2)$$

โดย E_{vib} คือ พลังงานแสงที่ปลดปล่อยจากการสั่นของโมเลกุล

เป็นผลทำให้สเปกตรัมของแสงที่ได้เมื่อทำการกระตุ้นฟิล์มบางโครงสร้างบ่อควอนตัม มีค่าไม่เท่ากับค่าพลังงานการทรานซิชันที่วัดจากระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

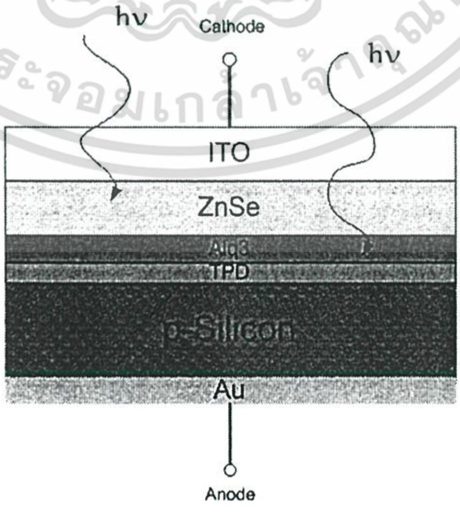
บทที่ 5

การประยุกต์ใช้งานโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

ปัจจุบันอุปกรณ์ตรวจวัดแสงมีอยู่หลายชนิดและหลายช่วงความยาวคลื่นแสง ซึ่งโฟโตโวลเตอิกเซลล์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ทำการเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ดังกล่าวได้นำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันมากมาย อาทิ ระบบวัดแสงในกล้องถ่ายภาพ การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง และยังสามารถประยุกต์ใช้ เซลล์สุริยะ (Solar cell) ได้

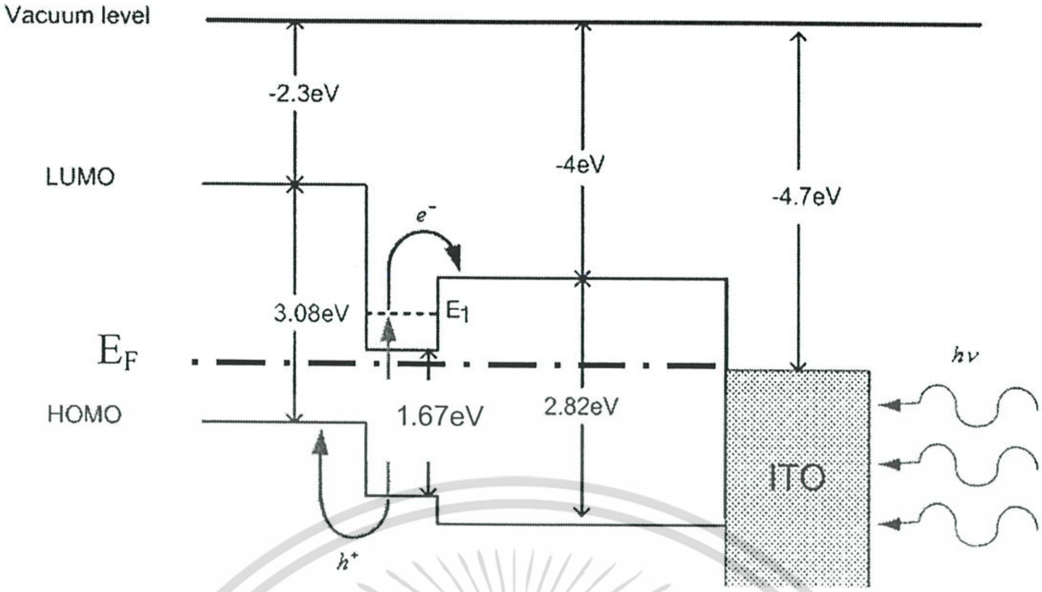
5.1 หลักการทำงานของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

หลักการทำงานของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม แสดงดังรูป 5.1 และ โครงสร้างแถบพลังงานแสดงดังรูป 5.2 ตามลำดับ โดยทางด้านรับแสงจะเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใส ITO จากนั้นแสงจะผ่านสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ไปยังสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ที่บริเวณนี้จะเป็นส่วนของบ่อควอนตัมที่มีอิเล็กตรอนขังอยู่ โดยมีสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ TPD เป็นกำแพงศักย์ และประพฤติตนคล้ายกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์

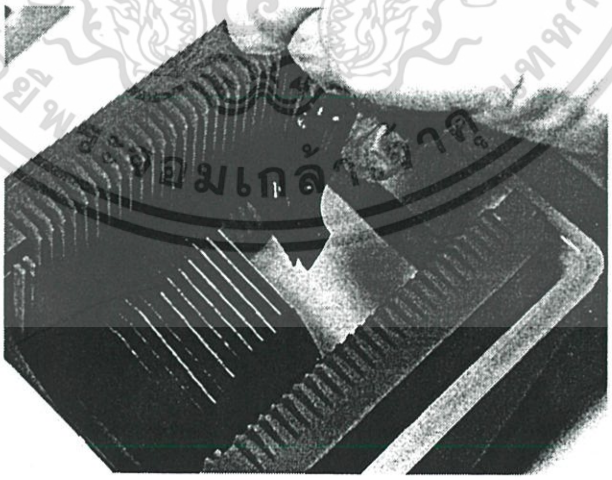
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

5.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

5.2.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นสารกึ่งตัวนำ (Substrate Cleaning)



รูปที่ 5.3 ลักษณะแผ่นสารกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิด พี

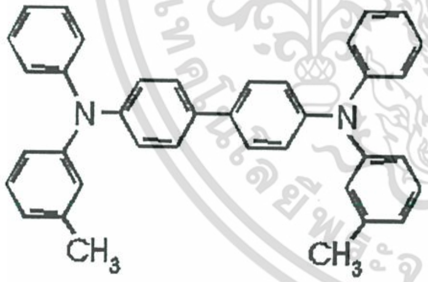
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับ ซิลิกอนชนิด พี

1. ล้างใน ไตรคลอโรเอธีลีน (Trichloroethylene) จากนั้นจึงนำไปล้างในน้ำยาอะซิโตน(acetone) และน้ำไร้ไอออน (DI water) ตามลำดับในเครื่องทำความสะอาดอัลทราโซนิก (Ultrasonic cleaner)อย่างละ 10 นาที
2. ล้างใน ไตรคลอโรเอธีลีน (Trichloroethylene) เดือดเป็นเวลา 5 นาที ล้างในน้ำยาอะซิโตน (acetone) เดือดเป็นเวลา 10 นาทีและล้างในน้ำไร้ไอออน (DI water) เดือดเป็นเวลา 5 นาที
3. จุ่มในกรดไนตริก HNO_3 เดือด 10 นาที ล้างในน้ำไร้ไอออน(DI water) เดือดเป็นเวลา 5 นาที แล้วเป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
4. จุ่มในกรด HF ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ 2-3 นาที ล้างในน้ำไร้ไอออน(DI water) เดือดเป็นเวลา 5 นาที แล้วเป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน

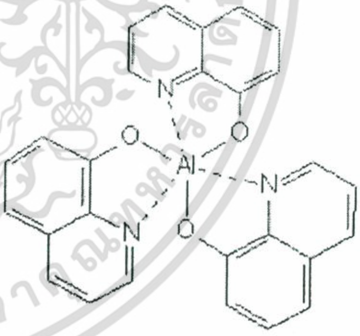
กระบวนการเหล่านี้จะกัดชั้นแผ่นฐานรองรับ ซิลิกอน ออกไปประมาณ 10-20 อังสตรอม [20]

5.2.2 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบาง



TPD

N,N'-Bis(3-methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidine



Alq_3

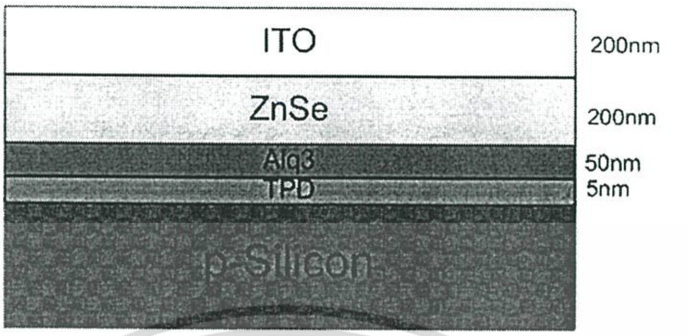
Tris(8-hydroxyquinoline) aluminum

รูปที่ 5.4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ TPD และ Alq_3

ทำการปลูกฟิล์มบางโดยระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน ลงบนแผ่นฐานรองรับซิลิกอนชนิดพี ที่ได้ทำการความสะอาดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว เริ่มจากทำการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์TPD ความหนา 5 nm ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นจึงทำการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq3 ความหนา 50 nm แล้วทำการปลูกฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ความหนา 200 nm ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

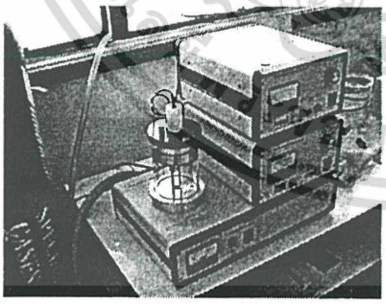
ทำการปลูกฟิล์มบางขั้วไฟฟ้าโปร่งใส ITO ความหนา 200 nm ที่อุณหภูมิฐานรองรับ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

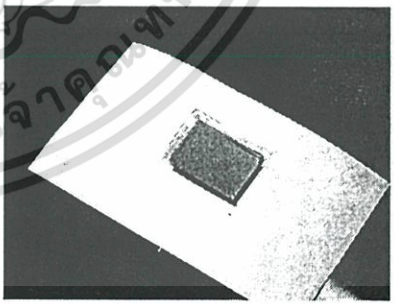


รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างและความหนาของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

5.2.3 **ขั้นตอนการเคลือบขั้วโลหะทอง** (Au coating)

ในการเคลือบขั้วทองสำหรับสร้างอุปกรณ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์ แบ่งเป็น 2ชนิดคือ ขั้วไฟฟ้าโปร่งใส ITO ด้านบนเป็นแบบรอยต่อชอตต์กี ต่อจากซิงค์ซีลีไนด์ และขั้วทองด้านล่างเป็นแบบรอยต่อโอห์มมิก (ด้านหลังแผ่นสารกึ่งตัวนำซิลิกอน) โดยเครื่องสปัตเตอร์ริงกระแสตรง ด้วยความหนา 500 nm จากนั้นจึงนำไปแอนนีลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที





รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะเครื่องสปัตเตอร์ริงกระแสตรง และ ตัวอย่างโฟโตโวลเตอิกเซลล์ที่เคลือบขั้วทองแล้ว

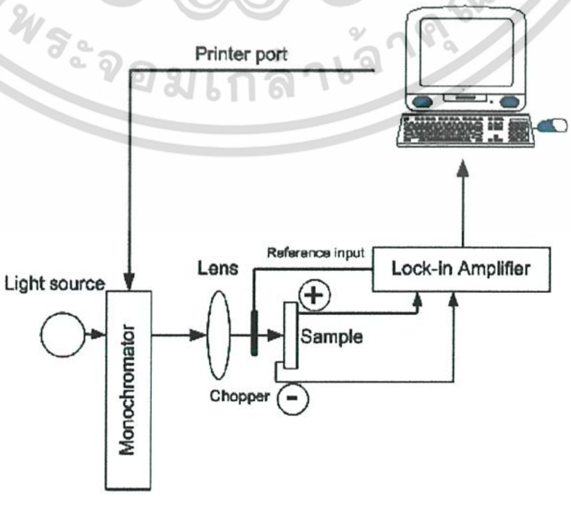
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ได้ทำการต่อขั้วแล้ว จะมีลักษณะดังภาพถ่าย ดังรูป 5.7

รูปที่ 5.7 แสดงภาพถ่ายสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

5.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสง ของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม

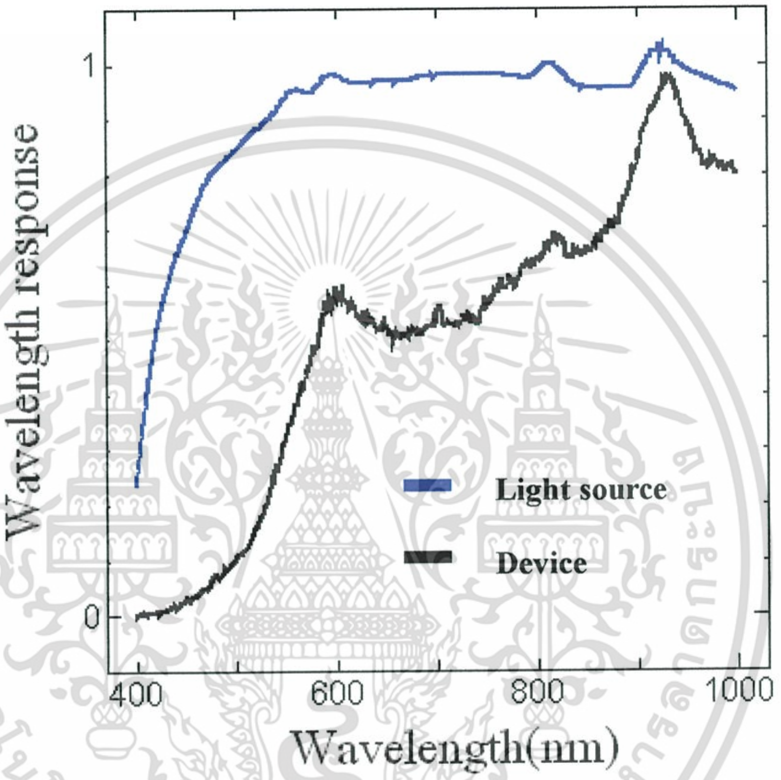
การตรวจสอบสมบัติทางแสงของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม ทำได้โดยการวัด สเปคตรัมการตอบสนองทางแสง (Wavelength response) ของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็น ดังรูป



รูปที่ 5.8 แสดงระบบวัดการตอบสนองทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบวัดการตอบสนองทางแสงจะทำการใช้แสงจากแหล่งกำเนิด ส่องไปยังโมโนโครมาเตอร์ ซึ่งถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ควบคุมการหมุนของสเตปปิงมอเตอร์ (Stepping motor) ผ่านทางพริ้นเตอร์พอร์ต แสงที่ผ่านโมโนโครมาเตอร์จะตกกระทบอุปกรณ์ ที่ต้องการวัด จากนั้นกระแสไฟฟ้าภายในอุปกรณ์ จะถูกวัดโดย ล็อคอินแอมปลิฟลาย (Lock – in Amplifier) ก่อนถูกบันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 5.9 แสดงการตอบสนองทางแสงของโฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็น

เมื่อนำเอาสิ่งประดิษฐ์ไปทำการวัดหาค่าการตอบสนองทางแสง (Wavelength Response) พบว่ามีผลของการตอบสนองทางแสงตั้งแต่ความยาวคลื่น 580-1000 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 5.8 โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัมที่สร้างขึ้น เป็นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่ได้ทำการจดสิทธิบัตร เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 สามารถทำได้โดยระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูง (Electron beam evaporator) ซึ่งให้ผลของฟิล์มที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 เมื่อนำฟิล์มบางไปตรวจวัดทางพื้นผิว โดย ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope) พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นกลุ่มของโมเลกุล (Molecular cluster) ของสารอินทรีย์ที่สม่ำเสมอ และมีค่าความขรุขระเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น

จากนั้นจึงทำการสร้างฟิล์มบางโครงสร้างบ่อควอนตัม เพื่อทำการศึกษาการทรานซิชันในบ่อควอนตัม โดยทำการสร้างฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ ประกบฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 บนฐานรองรับกระจกสไลด์ โดยมีส่วนของบ่อศักย์คือชั้นของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 และส่วนของกำแพงศักย์คือ ฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ แล้วทำการตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ซีลีไนด์ด้านบน โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าขนาดของผลึกซิงค์ซีลีไนด์ ขนาดของผลึกไม่ขึ้นกับค่าความหนาของฟิล์มบางขนาดของผลึกไม่ขึ้นกับค่าความหนาของฟิล์มบาง Alq_3 และ มีขนาดประมาณ 30 นาโนเมตร

เมื่อนำเอาฟิล์มดังกล่าวไปตรวจสอบสมบัติทางแสงโดยระบบวัดโฟโตรีเฟล็กแทนซ์ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ความหนา 1 μm มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามเป็น 1.67eV เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 พบว่า ค่าพลังงานการทรานซิชันในบ่อควอนตัม มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 ลดลง จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าการทรานซิชันในบ่อควอนตัม และหาค่า มวลประสิทธิผลของอิเล็กตรอน และโฮลตามลำดับพบว่ามีค่า $m^*_e = 0.490m_0$ และ $m^*_h = 0.735m_0$

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 โดยระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน ในสุญญากาศสูง ประกบกับสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ เพื่อสร้างเป็นโครงสร้างบ่อควอนตัม และทำการเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 พบว่าเมื่อชั้นความหนาลดลง หรือความกว้างของบ่อควอนตัมแคบลง ทำให้พลังงานการทรานซิชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการทรานซิชันในระดับพลังงานย่อย (Subband energy) เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลจากปรากฏการณ์ควอนตัมคอนไฟน์เมนท์ (Quantum confinement effect) ซึ่งจะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดกับชั้นของความกว้างของบ่อศักย์ที่แคบมากๆ (ระดับนาโนเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการประยุกต์ใช้งานของงานวิจัยนี้ ได้ทำการสร้างสิ่งประดิษฐ์ โฟโตโวลเตอิกเซลล์สารอินทรีย์ แบบพีเอ็นโครงสร้างบ่อควอนตัม โดยทำการสร้างฟิล์มบางสารอินทรีย์ TPD ความหนา 5nm และ ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ PD Alq_3 ความหนา 50 nm จากนั้นจึงทำการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำซิงค์ซีลีไนด์ ความหนา 200 nm ลงบนแผ่นฐานรองรับ ซิลิกอนชนิดพี ที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ แล้วจึงทำการสร้างขั้วไฟฟ้าโปร่งใส ITO ความหนา 200 nm ที่อุณหภูมิฐานรองรับ 200 องศาเซลเซียส พบว่าสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวมีโครงสร้างเป็นบ่อควอนตัม โดยมีชั้นของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 เป็นบ่อกึ่งตัวนำอินทรีย์ TPD และสารกึ่งตัวนำ ซิงค์ซีลีไนด์ เป็นส่วนของกำแพงศักย์ เมื่อทำการตรวจสอบผลตอบสนองทางแสงของสิ่งประดิษฐ์ พบว่ามีผลของการตอบสนองทางแสงตั้งแต่ความยาวคลื่น 540-1000 นาโนเมตร

ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศสูงไม่สามารถควบคุมอัตราการระเหยสารได้อย่างแม่นยำ ทางห้องปฏิบัติการฯ ได้รับทุนวิจัยและกำลังจัดซื้อ Organic source ที่สามารถควบคุมอัตราการระเหยสารอินทรีย์ที่เที่ยงตรงได้
- หลังจากที่สร้างฟิล์มบางสารอินทรีย์แล้ว ควรป้องกันไม่ให้ฟิล์มบางได้รับความชื้นโดยการเก็บไว้ในตู้เก็บความชื้นหรือโถเก็บความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Pope, M. Kallmann, H. Magnante. "Electroluminescence in Organic Crystals" J.Chem. Phys., Vol.38, April 1963, pp. 2042 - 2043

[2] C.W. Tang,S.A. Van Slyke."Organic electroluminescent diodes" Appl. Phys. Lett.,Vol.51, September 1987, pp. 913-915

[3] J.H. Burroughes, D.D.C. Bradley,A.R. Brown,R.N. Marks,K. Mackey, R.H. Friend, P.L.Burns,A.B. Holmes, "Electroluminescence in conjugated polymers" Nature, Vol.347, 1990, pp.539.

[4] Georges Hadziioannou,Paul F.van Hutten. Semiconducting Polymers Chemistry Physics and Engineering. Weinheim : WILEY-VCH.2000

[5] L.G. Wade Jr. Organic chemistry, 2nd ED Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991

[6] Stefan Riechel. "Organic semiconductor lasers with two-dimensional distributed feedback." Doktorarbeiten of Ludwig Maximilians Universtat Munchen, Germany 2001

[7] Arthur Beiser.Concept of Modern Physics. 5th ED .New York: McGraw-Hill, Inc.1995

[8] Dr. Richard F.W. Bader. An Introduction to the Electronic Structure of Atoms and Molecules, [Online] Available:http://www.chemistry.mcmaster.ca/esam. 2004

[9] Edward Castner, Jr, Electronic Spectroscopy, [online] Available: http://rutchem.rutgers.edu. 2004

[10] S.O. Kasap, Principle of Electronic Materials and Devices.2nd ED Boston: McGraw-Hill.Inc.2002

[11] B.J. Chen, W.Y. Lai, Z.Q Gao, C.S Lee, S.T. Leeand W.A Gambling. "Electron drift mobility and electroluminescent efficiency of tris(8-hydroxyquinolinolato) aluminum".Appl.Phys.Lett. Vol 75, December 1999, pp. 4010-4012

[12] H.W. SANDS CORP. "OLED catalog 2002". [Online] Available: http://www.hwsands.com. 2002

[13] Y. Hamada, T. Sano, M. Fujita, T.Fujii, Y.Nishio and K.Shibata, "Organic Electroluminescent Devices with 8-Hydroxyquinoline Derivative-Metal Complexes as an Emitter" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, February 1993,pp.L514-L515

[14] RG Kepler, PM Beeson, SJ Jacobs, RA Anderson, MB Sinclair, VS Valencia, and PA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cahill. "Electron and hole mobility in *tris*(8-hydroxyquinolinolato-N1,O8) aluminum.":**Appl.Phys.Lett**, Vol.66, April 1995 ,pp.3618

[15] Harry E. Ruda. **Widegap II-VI Compounds for Opto-electronic Applications.** : London, Chapman & Hall.1992

[16] Chemistry Periodic Table. **"Compounds of zinc (II) selenide"**. [Online] Available: http://www.webelements.com. 2004

[17] Jasprit Singh. **Quantum Mechanics fundamentals & application to technology.** New York :John Wiley & Sons Inc.1997

[18] Ben G. Streetman. **Solid state electronic devices.** 4th ED.The University of Texas at Austin. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc.1995

[19] Irving P.Herman. **Optical diagnostics for thin film processing.** San Diego: Academic Press.1996

[20] ดุสิต เครืองาม. **สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน เล่ม 1**. : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พศ.2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์

J. Nukeaw, K. Upprakhot, S. Rahong, B. Tunhoo, and W. Yindeesuk. "Observation of optical transition energy in ZnSe/ tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq3) / ZnSe single quantum wells by photoreflectance spectroscopy." **Physica E.** Vol 21.March 2004.pp.1070-1073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com
SCIENCE DIRECT®

Physica E 21 (2004) 1070–1073

PHYSICA E

www.elsevier.com/locate/physe

Observation of optical transition energy in ZnSe/tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq3)/ZnSe single quantum wells by photoreflectance spectroscopy

J. Nukeaw*, K. Upprakhot, S. Rahong, B. Tunhoo, W. Yindeesuk

Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Abstract

The optical transition energy in ZnSe/tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq3)/ZnSe single quantum wells (SQW) thin films with well thickness from 5 to 50 nm was investigated by room-temperature photoreflectance (PR) measurements. PR features due to optical transition energy were observed in the SQWs of well thicknesses. The transition energies were determined by fitting the PR spectra to the theoretical line-shape expression. The transition energy decreased with increasing well thickness.
© 2003 Elsevier B.V. All rights reserved.

PACS: 61.66.Hq; 71.20.Rv; 78.66.Qn

Keywords: Photoreflectance; ZnSe; Alq3; Single quantum wells

1. Introduction

The organic light-emitting material such as tris(8-hydroxyquinoline)aluminum(III), Alq3, has been expected to play a significant role in future display technology, since it has the high fluorescence quantum efficiency and properties that of a semiconductor. The Alq3 is used in organic light-emitting diodes (OLEDs) as an electron transport material and emitting layer. The unique structural characteristics of the organic and inorganic materials provide for equally interesting and potentially useful physical properties. For example, thermal evaporation of amorphous multilayers of copper pthalocyanine (CuPc) and TiO_2, with a periodicity of 5 nm forms a composite material with a modulated electronic structure analogous to that of type-II quantum well (QW) structures [1,2]. The physical properties of the organic and inorganic QW structure have two-dimensional quantum confinement effect due to the large difference in the band gaps and the dielectric constants between the layers.

Modulation spectroscopy is an important technique for the study and characterization of energy-band structures of semiconductors. Modulation techniques such as electroreflectance (ER) and photoreflectance (PR) are particularly useful since they yield spectra with sharp features at the critical-point energies. The features in the spectra appear at energies corresponding to the band gap characteristic points or other peculiarities in the dielectric function. PR is of considerable interest because it is contactless, requires

* Corresponding author. Tel.: +66-2-326-4341x330; fax: +66-2-326-4354.

E-mail address: knjiti@kmitl.ac.th (J. Nukeaw).

1386-9477/$ - see front matter © 2003 Elsevier B.V. All rights reserved.
doi:10.1016/j.physe.2003.11.181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

no special mounting of the sample, can be performed in a variety of transparent ambients, and is sensitive to surface and interface electric fields [3,4]. Reddy et al. [5] have reported PR results on GaAs/(Al,Ga)As multiple QWs of different well thicknesses. Their results were concerned with transitions involving the so-called 'unconfined' states. Furthermore Reddy et al. [6], have performed PR studies on a series of InGaAs/GaAs single quantum well (SQWs) of different wells thicknesses in the range from 80 to 120 Å.Their study indicated that the conduction-band discontinuity is 0.420 eV. Yaguchi et al. [7] have studied the band offsets at the heterointerface $GaAs/GaAs_{1-x}P_x$ SQWs structures of different well thicknesses in the range from 50 to 200 Å using PR. The band offsets were found to be almost linearly dependent on the phosphorus composition in the range of $x < 0.23$. However, few researches of PR study on organic and inorganic SQW structure are reported.

In this report, we investigated optical transition energy of ZnSe/Alq3/ZnSe SQW structure with well thickness from 5 to 50 nm by PR measurements.

2. Experimental

The samples were prepared using high vacuum multi-pocket electron-beam evaporator (Edwards AUTO306). The film thickness measured by x-tal as thickness monitor (Edwards FTM7). A 200 nm ZnSe buffer layer was grown on glass substrates at room temperature, followed by Alq3 layers with varied thicknesses from 5 to 50 nm, and a 200 nm ZnSe cap layer, respectively. The Alq3 bulk sample with thickness of 1 μm was used as a reference.

In our PR measurements, a modulation light was provided by a 442 nm 5 mW He–Cd laser. The chopped laser light was irradiated onto the sample with a spot radius of about 1 mm. The chopper frequency is 400 Hz. A 100 W tungsten lamp was dispersed by a 25 cm monochromator and used as a probe light. The reflected probe light from the sample was detected by Si detector, and the signal from the detector was fed to a lock-in amplifier.

3. Results and discussion

The PR spectrum of bulk Alq3 is shown in Fig. 1, while PR spectra of all the samples are shown in Fig. 2. The transition energies from the Alq3 well are observed. The PR spectrum of the bulk Alq3 is similar to that of 50 nm SQW.

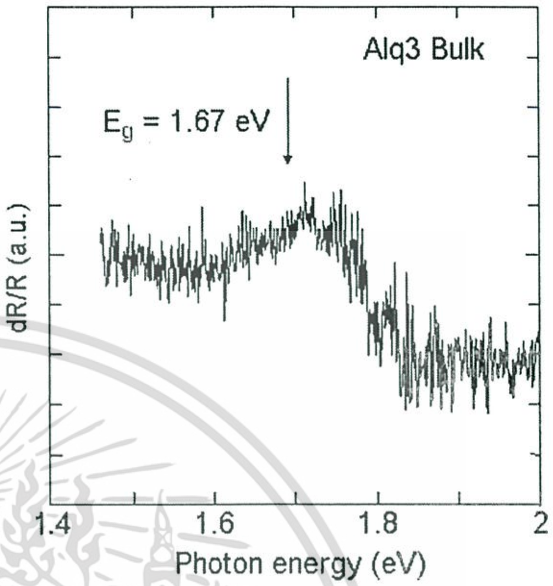


Fig. 1. Room-temperature PR spectra of bulk Alq3 sample.

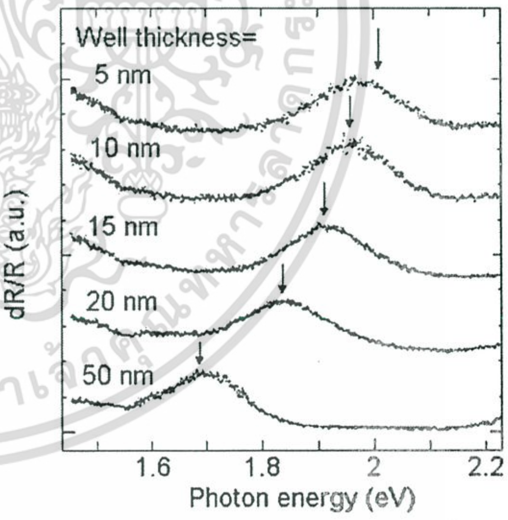


Fig. 2. Room-temperature PR spectra as a function of the well thickness. The transition energies determined by the fittings are indicated by arrows.

The PR spectra as a function of photon energy can be analyzed using the familiar Aspnes third-derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

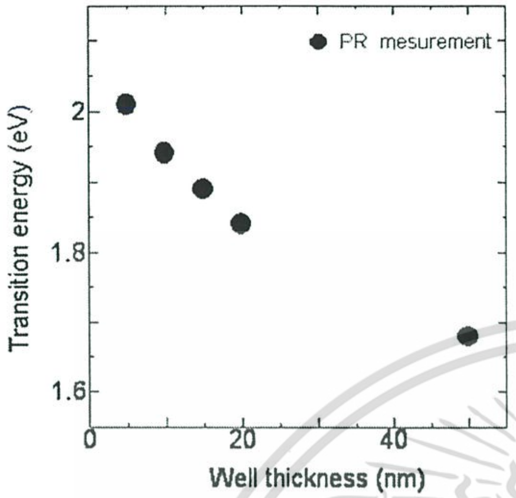


Fig. 3. Dependence of transition energy on well thickness.

function in the low electric field limit [8], i.e.,

$$\frac{\Delta R}{R} = \mathrm{Re}\sum_{j=1}^{p} C_j \mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta_j}(E - E_{gj} + \mathrm{i}\Gamma_j)^{-n}. \quad (1)$$

Here, R is the reflectance, ΔR is the induced change in the reflectance by modulation light, E is the photon energy, p is the total number of spectral structures to be fitted. E_{gi}, Γ_j, C_j and θ_j are transition energy, broadening parameter, amplitude and phase, respectively, of the feature corresponding to the jth critical point. The parameter n is a factor used to specify the critical point dimension.

The energy level associated with transition energy was determined by least-square fitting of Eq. (1) to PR spectra obtained experimentally. In this calculation, the n value is 3 for the QW transition feature [9,10]. The transition energy obtained from these fittings as a function of the well thickness is shown in Fig. 3. The transition energy decreased with increasing well thickness.

Huang et al. [11] reported for the first time, organic multiple-QW-like electroluminescent (EL) devices fabricated by the doping technique. The EL device consists of N,N' bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine used as a hole transporter, undoped Alq3 as a barrier potential or an electron transporter, and Alq doped with 5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene as a potential well and a light emitter. The quantum confinement effects of well width and well number on EL device properties were demonstrated. Tokito et al. [12] reported that a new class of superlattice materials consisting of alternating layers of organic and inorganic materials has been prepared from Alq3 and MgF_2 by vacuum deposition. The Alq3 layer thickness in the superlattices was varied from 10 to 50 Å From the optical absorption and photoluminescence measurements, it was found that the exciton energy shifts to higher energy with decreasing Alq3 layer thickness. The changes of the exciton energy could be interpreted as the confinement effects of exciton in the Alq3 thin layers.

The electronic structure of the conduction and valence bands of ZnSe have been measured to be at −4 and −6.7 eV below the vacuum level. The lowest unoccupied molecular orbital and highest occupied molecular orbital levels of Alq3 are at −4.8 and −6.4 eV, respectively [13]. From the configuration and the energy band diagrams, the structure was like inorganic QW structure, so conveniently, it was called organic–inorganic QW structure, where ZnSe act as barrier potential and Alq3 as potential well. The transition energy decreases with increasing thickness might be due to the increase of well results in the reduction of quantum confinement energies. The decrease in the size should affect the properties of film. The properties of larger size film should be similar to that of bulk where the effect of quantum confinement is small.

4. Conclusions

PR measurements were used to investigate optical transition energies in ZnSe/Alq3/ZnSe SQWs with well thicknesses from 5 to 50 nm grown by electron-beam evaporator. The PR spectra showed the optical transition energy in the SQWs. The transition energy was determined by fitting the PR spectra to the theoretical line-shape expression. The optical transition energy decreased with the increasing thickness which might be due to the increase of well size in addition to reduction of quantum confinement energy.

Acknowledgements

We would like to acknowledge National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thailand for Research Grant and Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Thailand for the research facilities. This work was supported in part by the Scientific Research and Development No. NT-B-06-4A-22-314 from NECTEC.

References

[1] J. Takada, H. Awaji, M. Koshioka, A. Nakajima, W.A. Nevin, Appl. Phys. Lett. 61 (1992) 2184.

[2] J. Takada, Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) 3864.

[3] J. Nukeaw, Y. Fujiwara, Y. Takeda, Jpn. J. Appl. Phys. 36 (1997) 7019.

[4] J. Nukeaw, Y. Fujiwara, Y. Takeda, M. Funato, S. Aoki, Sz. Fujita, Sg. Fujita, Thin Solid Films 334 (1998) 11.

[5] U.K. Reddy, G. Ji, T. Henderson, H. Morkoc, J.N. Schulman, J. Appl. Phys. 62 (1987) 145.

[6] U.K. Reddy, G. Ji, T. Henderson, D. Huang, R. Houdre, H. Morkoc, J. Vac. Sci. Technol. B 7 (1989) 1106.

[7] H. Yaguchi, X. Zhang, K. Ota, M. Nagahara, K. Onabe, Y. Shiraki, R. Ito, Jpn. J. Appl. Phys. 32 (1993) 544.

[8] D.E. Aspnes, Surf. Sci. 37 (1973) 418.

[9] Y. Misiewicz, P. Markiewicz, J. Rebisz, Z.Gumienmy, M. Panek, B. Sciana, M. Tlaczala, Phys. Stat. Sol. (b) 183 (1994) 143.

[10] P. Basmaji, A. M. Ceschin, M. Siu Li, O. Hipolito, A.A. Bernussi, F. Iikawa, P. Motisuke, Surf. Sci. 228 (1990) 356.

[11] J. Huang, K. Yang, Z. Xie, B. Chen, H. Jiang, S. Liu, Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 3348.

[12] S. Tokito, J. Sakata, Y. Taga, Appl. Phys. Lett. 64 (1994) 1353.

[13] M.G. Mason, C.W. Tang, L.-S. Hung, P. Raychaudhuri, J. Madathil, D.J. Giesen, L. Yan, Q.T. Le, Y. Gao, S.-T. Lee, L.S. Liao, L.F. Cheng, W.R. Salaneck, D.A. dos Santos, J.L. Bredas, J. Appl. Phys. 89 (2001) 2756.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย สากล ระหงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	8 กันยายน พ.ศ 2521 ที่เชียงใหม่
ที่อยู่	34 หมู่ 5 ตำบล หนองจ๊อม อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ 50210
ประวัติการศึกษา	2538 มัธยมศึกษา โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่
	2542 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้