

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปล่งแสงของฟิล์มบางสารอินทรีย์/อนินทรีย์



รพ.
วชบ47
2650

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **81590**
วันเดือนปี **19** ส.ย. **2551**

b..... **1193A840**.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photoluminescence of Organic/Inorganic Thin Film



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การแปลงแสงของฟิล์มบางสารอินทรีย์/อนินทรีย์
นักศึกษา นายประยุทธ์ โปธิลักษณ์
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ. เบนจพล ต้นธุ์	
กรรมการ อ. สุรชาติ กมลดีถก	
กรรมการ อ. ทูตยาภรณ์ ทิววงศ์	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร. วิษณุ เพชรภา	



(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การเปล่งแสงของฟิล์มบางสารอินทรีย์/อนินทรีย์	
นักศึกษา	นายประยูทธ โพรธิลักษณ์	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการเปล่งแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์โดยโฟโตลูมิเนสเซนส์ได้มีการใช้ตัวอย่างในการทดลองคือ ZnSe/Alq₃/ZnSe ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็น (heterostructure) ที่ทำการปลูกแบบ electron beam evaporator ซึ่งพลังงานความยาวคลื่นของโฟโตลูมิเนสเซนส์ได้อธิบายถึง ค่าความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งจะพบว่าพีคของพลังงาน โฟตอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามชั้นความหนาของ Alq₃ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการจำกัดความของพื้นฐานที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ใน โครงสร้างที่เป็น (quantum well) จะพบว่าค่าพลังงานความยาวคลื่นของ PL ที่ขึ้นกับอุณหภูมิแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของความเข้ม PL ที่ได้มีการเลื่อนไปในช่วงที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้น (Blue shift) พบว่าอุณหภูมิได้มีการลดลง การวิเคราะห์ได้อาศัยค่าของ PL intensity และ PL peak พบว่าพารามิเตอร์ที่ได้มานั้นมีลักษณะเหมือนกันซึ่งได้จาก E_g , E_B , α_B , Θ_B และ E_A

Special Project Title	Photoluminescence of Organic/Inorganic Thin Film	
Name	Mr.Paryut Potirak	
Department	Applied Physics	Faculty of Science
Program	Applied Physics	
Academic Year	2007	
Special Project Adviser	Assoc. Prof.Dr.Wisanu Pecharapa	

ABSTRACT

This special project is proposed to study photoluminescence phenomena of organic semiconductor. The sample used in this study is ZnSe/Alq3/ZnSe heterostructure grown by electron beam evaporator. The PL spectra exhibit two distinct spectra, which peak photon energy increases with decreasing Alq3-layer thickness, reflecting the confined electronic state in quantum well structure. The temperature dependent PL spectra showed increment of PL intensity and blue shift with decreasing temperature. The dependence of PL intensity and PL peak were analyzed and the corresponding parameters such E_g , E_B , α_B , Θ_B and E_A as were obtained.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ประสบกับปัญหาและอุปสรรคต่างๆมากมาย แต่สุดท้ายก็ทำสำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับความแนะนำและความช่วยเหลือจากเหล่าคณาจารย์ทั้งหลายเหล่านี้ ถ้าไม่มีพวกท่านที่คอยให้คำแนะนำปรึกษา และช่วยเหลือไม่งั้น โครงการพิเศษฉบับนี้ก็คงจะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถึงเพียงนี้เพราะฉะนั้นผมจึงขอขอบคุณท่านเหล่านี้เป็นอย่างสูง

1. รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือต่างๆมากมายพร้อมด้วยแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆเพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
2. QOS Lab ที่ใช้เป็นสถานที่ทดลองและใช้อุปกรณ์ทางด้านแสงต่างๆมากมาย
3. พี่น้องภาควิชาฟิสิกส์ที่ให้คำปรึกษาทุกท่าน

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็เพราะความร่วมมือจากทุกๆฝ่ายที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานดังนั้นข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายประยูทธ โพธิ์ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic semiconductor)	3
2.2 ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence)	7
2.3 โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence)	8
2.4 กลไกการเปล่งแสงแบบลูมิเนสเซนซ์	8
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	
3.1 ระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์สเปกโตรสโกปี (Photoluminescence Spectroscopy Set Up)	13
3.2 อุปกรณ์ของ Photoluminescence Spectroscopy	14
3.3 แหล่งกำเนิดแสงหลอด Deuterium กับหลอด Tungsten-Halogen	16
3.4 เครื่อง Chopper	17
3.5 โฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector)	18
3.6 โมโนโครมาเตอร์ (monochromator)	18
3.7 Lock-in amplifier	19
3.8 ฟิลเตอร์ (filter)	19
3.9 แท่นยึดสาร	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ตัวอย่างที่ใช้การทดลอง	20
4.2 การเปล่งแสงของฟิล์มตัวอย่าง	21
4.3 สเปกตรัมการเปล่งแสงที่ความหนาของ Alq ₃ ที่ต่างกัน	22
4.4 Photoluminescence ที่ทำการวัดความหนาของ Alq ₃ ที่อุณหภูมิต่างกัน	27
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	
5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ	39
เอกสารอ้างอิง	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 Transition energy และ maximum amplitude ของ PL peak Alq ₃ 20 nm ซึ่งทำการเลือกค่าในการ fitting	29
ตารางที่ 4.2 Transition energy และ maximum amplitude ของ PL peak Alq ₃ 50 nm ซึ่งทำการเลือกค่าในการ fitting	35
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองซึ่งทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ความหนา 20 nm และ 50 nm	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ Alq ₃ , CuPc ,และ TPD	4
รูปที่ 2.2 รูปออร์บิทัลอะตอม s และ p	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไฮบริดเซชัน	5
รูปที่ 2.4 มุมระหว่างพันธะของ sp ² ออร์บิทัลซึ่งมีอยู่ 3 ตัว	5
รูปที่ 2.5 พันธะไพจะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันทางด้านข้างของ 2p _z	5
รูปที่ 2.6 ระดับพลังงานในบ่อควอนตัมสถานะพลังงานทางซ้ายมือคือกราฟด์เสดท	6
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนสถานะแบบเปล่งแสงของพาหะอิสระระหว่างแถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์	9
รูปที่ 2.8 การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับแอกเซ็ปเตอร์ (กรณีซ้าย) และการเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับ โคนเนอร์และ โฮลอิสระ (กรณีขวา)	9
รูปที่ 2.9 การแสดงเอกซิตอนซึ่งถูกจับที่ระดับ โคนเนอร์	11
รูปที่ 2.10 การเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะระหว่างคู โคนเนอร์และแอกเซ็ปเตอร์	12
รูปที่ 3.1 แบบแผนวิธีการติดตั้งของ Photoluminescence spectroscopy	13
รูปที่ 3.2 ระบบปั๊มสุญญากาศ	15
รูปที่ 3.3 cryogenic systems; (ก) cold-finger chamber (ข) Helium Dewar (ค) temperature controller	16
รูปที่ 3.4 แหล่งกำเนิดแสงหลอด Deuterium กับหลอด Tungsten-Halogen	17
รูปที่ 3.5 เครื่อง Chopper	17
รูปที่ 3.6 Optical Si-detector	18
รูปที่ 3.7 เครื่อง Monochromator	18
รูปที่ 3.8 เครื่อง lock-in amplifier	19
รูปที่ 4.1 รูปโครงสร้างของ ZnSe/Alq ₃	20
รูปที่ 4.2 (ก) ชั้นความหนา 20 nm (ข) ชั้นความหนา 50 nm	21
รูปที่ 4.3 แสดงค่า PL ของฟิล์มตัวอย่างที่ความหนาของชั้น Alq ₃ ที่ต่างกัน 5 nm, 10 nm, 20 nm และ 50 nm	22
รูปที่ 4.4 (ก) ความหนา 15 nm Alq ₃ , (ข) ความหนา 10 nm Alq ₃ , (ค) ความหนา 20 nm Alq ₃ และ (ง) ความหนา 50 nm Alq ₃	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.5 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ความหนาต่างกันเทียบกับ PL intensity	26
รูปที่ 4.5 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ความหนาต่างกันเทียบกับ Transition energy	26
รูปที่ 4.6 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนส์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆที่ความหนา 20 nm ของ Alq ₃	27
รูปที่ 4.7 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนส์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆที่ความหนา 20 nm ของ Alq ₃ เมื่อ curve fitting	28
รูปที่ 4.8 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq ₃ 20 nm	29
รูปที่ 4.9 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq ₃ 20 nm โดยทำการ fitting โดยสมการ Vina	30
รูปที่ 4.10 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq ₃ 20 nm	31
รูปที่ 4.11 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq ₃ 20 nm โดยทำการ curve fitting	32
รูปที่ 4.12 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนส์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆที่ความหนา 50 nm ของ Alq ₃	33
รูปที่ 4.13 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนส์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆที่ความหนา 50 nm ของ Alq ₃ เมื่อ curve fitting	34
รูปที่ 4.14 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq ₃ 50 nm	35
รูปที่ 4.15 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq ₃ 50 nm โดยทำการ fitting โดยสมการ Vina	36
รูปที่ 4.16 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq ₃ 50 nm	37
รูปที่ 4.17 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq ₃ 50 nm โดยทำการ curve fitting	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำเพื่อนำมาใช้งานทางแสง ดังนั้นขบวนการการวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์มบางจึงมีความจำเป็น เพื่อให้ทราบถึงสมบัติทางแสงที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงเกิดความสนใจที่จะใช้ระบบการวัด Photoluminescence Spectroscopy เพื่อที่จะวัดการเปล่งแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากสารอินทรีย์ เพื่อนำไปหาค่าสมบัติทางแสงที่เกี่ยวข้องกับกลไกการเปล่งแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบวัดของ Photoluminescence Spectroscopy
2. เพื่อศึกษาระบบวัดดังกล่าว เพื่อทำการวัดการเปล่งแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
3. เพื่อศึกษากลไกการเปล่งแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
4. เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปล่งแสง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาระบบวัดแบบ Photoluminescence Spectroscopy
2. ทำการจักระบบ Photoluminescence
3. ทำการวัด Photoluminescence ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์/อนินทรีย์ (ZnSe/Alq_3)
4. วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการเปล่งแสงฟิล์มบางอินทรีย์/อนินทรีย์ (ZnSe/Alq_3)

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวัด Photoluminescence Spectroscopy ว่ามีการทำงานอย่างไร ต่อมาได้มีการวางแผนการทดลองโดยนำสารกึ่งตัวนำของสารอินทรีย์/อนินทรีย์มาทำการวัด กลไกการเปล่งแสงและผลกระทบของอุณหภูมิต่อกลไกการเปล่งแสง ทำการบันทึกผลการทดลองและตรวจสอบผลที่ได้จากการทดลอง ขั้นตอนสุดท้ายจัดทำเอกสารประกอบและตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

1. สามารถใช้เครื่องวัด Photoluminescence Spectroscopy ได้อย่างถูกต้อง
2. ทำให้ทราบถึงปรากฏการณ์การเปล่งแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์/อนินทรีย์
3. สามารถนำอุปกรณ์มาใช้ทดลองวัดการเปล่งแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์/อนินทรีย์



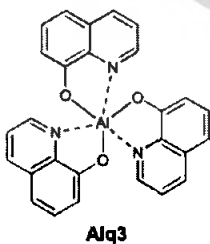
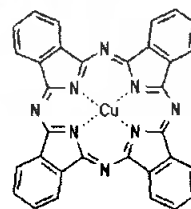
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

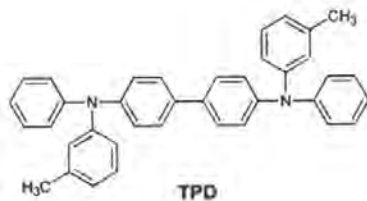
2.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic semiconductor)

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์(organic semiconductor) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (low molecular-weight compounds) เช่น Alq₃(tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq₃)) ซึ่งโมเลกุลไม่จับเป็นพันธะยาวๆแต่จะออกมาเป็นโมเลกุลเล็กๆ และอีกชนิดหนึ่งคือ polymers เช่น TPD(N-N'-diphenyl-N , N'-bis(3-methyphenyl)-1 , 1'- diphenyl-4,4'-diamine (TPD)) , CuPc(Copper Phthalocyanine) ซึ่งทั้งหมดเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq₃ จะทำหน้าที่เป็น electron transport ส่วน TPD จะทำหน้าที่เป็น hole transport โดยสามารถนำมาใช้ประยุกต์ในด้านต่างๆ ได้หลายด้านด้วยกัน เช่น LED (ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าไปเป็นแสงสว่าง) สร้างจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ GaAs ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้และ OLED ที่ใช้ในจอโทรทัศน์ยุคใหม่ซึ่งดีกว่าจอโทรทัศน์ที่เป็นแบบ CRT(cathode ray tube) ที่ใช้หลักการยิงอิเล็กตรอนเนื่องจากมีรูปร่างที่ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายหรือพกพา ต่อมาคือ LCD(Liquid Crystal Display) ซึ่งมีลักษณะกะทัดรัดแต่มีข้อเสียคือความสว่างน้อยและถ้ามองในมุมที่ต่างกันจะมีความสว่างไม่เท่ากัน แต่ถ้าเป็น LED ข้อดีของมันคือสามารถสร้างบนฟิล์มบางได้และไม่ต้องใช้อิเล็กตรอนคอยยิงยิงแต่ใช้หลักการเปล่งแสงจากตัวเซลล์เลยดังนั้นค่าความละเอียด (resolution) ก็จะมีค่าสูง(ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการปลูก)

Alq₃โครงสร้าง โมเลกุลของ Alq₃

โครงสร้าง โมเลกุลของ CuPc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครงสร้างโมเลกุลของ TPD

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ Alq3, CuPc, และ TPD

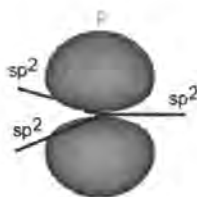
การเกิดพันธะเคมีของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้จะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันของออร์บิทัลอะตอม โดยเกิดการไฮบริไดเซชันกันขึ้นระหว่างอะตอมที่จะสร้างพันธะกันเพื่อให้เกิดเป็นโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์นั้น สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้จะมีไฮบริไดเซชันที่เป็นแบบ sp^2 ซึ่งเป็นการไฮบริไดเซชันกันระหว่าง 2s ออร์บิทัลกับ 2p ออร์บิทัล โดยการย้ายอิเล็กตรอนที่มีอยู่สองตัวในออร์บิทัล 2s มาไว้ที่ออร์บิทัล 2p ตามหลักของเพาลี (Pauli Exclusion Principle) ซึ่งจะทำให้แต่ละออร์บิทัลมีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวและสามารถเกิดไฮบริดกันได้ระหว่างออร์บิทัล 2s และ ออร์บิทัล 2p ตามจำนวนของอิเล็กตรอนเดี่ยวที่มีอยู่ทั้งหมดซึ่งในที่นี้เป็นการผสมกันระหว่าง 2s ออร์บิทัลกับ 2px และ 2py ออร์บิทัลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปออร์บิทัลอะตอม s และ p

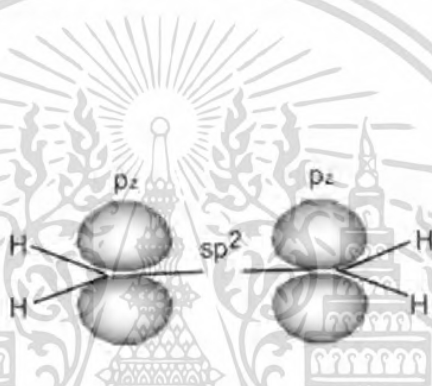
เมื่อผสมกันแล้วจะทำให้เกิดออร์บิทัลใหม่ 3 ออร์บิทัลและอีกหนึ่งออร์บิทัลที่ว่าง (หมายเหตุ: เมื่อออร์บิทัลอะตอมมารวมกันเป็นโมเลกุลเราจะเรียกมันใหม่ว่าเป็นออร์บิทัลโมเลกุล หรือ MO) ไฮบริไดเซชันกันแล้วจะได้ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



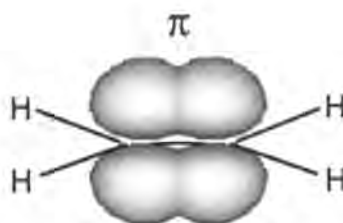
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไฮบริไดเซชัน

ซึ่งจะได้มุมระหว่างพันธะของ sp^2 ออร์บิทัลซึ่งมีอยู่ 3 ตัว (จากการรวมกันของ $2s$ ออร์บิทัลกับ $2p_x$ และ $2p_y$) เป็น 120° ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 มุมระหว่างพันธะของ sp^2 ออร์บิทัลซึ่งมีอยู่ 3 ตัว

การเกิดพันธะในลักษณะนี้จะก่อให้เกิดพันธะที่เรียกว่า พันธะซิกมาและพันธะไพ (π -bond) โดยพันธะซิกมา (σ -bond) ทั้งหมดจะเกิดมาจากการซ้อนเหลื่อมกันของพันธะ sp^2 ทั้งสามตัวซึ่งจะให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงที่บริเวณตรงกลางระหว่างนิวเคลียสทั้งสองของพันธะซิกมา (ในที่นี้พันธะซิกมาทั้งหมดคือพันธะของอะตอมคาร์บอนสร้างพันธะกับอะตอมไฮโดรเจน) ส่วนพันธะไพจะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันทางด้านข้างของ $2p_z$ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 พันธะไพจะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันทางด้านข้างของ $2p_z$

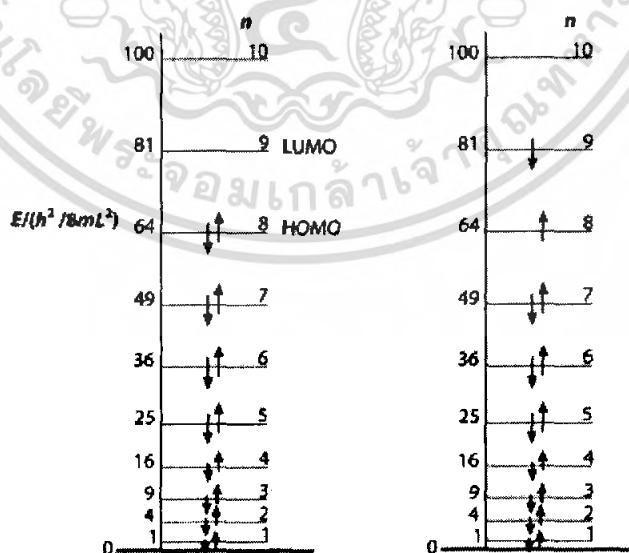
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะที่เกิดขึ้นจะให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง ที่บริเวณเหนือและใต้ระนาบของอะตอมที่สร้างพันธะ โดยมีหลักการว่าออร์บิทัลอะตอมสองตัวที่มาทำปฏิริยากันสร้างออร์บิทัลโมเลกุล (ซึ่งเป็นแบบ sp^2) เพื่อให้เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์นั้นจะเกิดเป็นทั้งแบบ ออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้างพันธะ(bonding molecular orbital)และออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้างต้านพันธะ(antibonding molecular orbital) ขึ้น โดย bonding molecular orbital จะมีพลังงานต่ำกว่า antibonding molecular orbital ซึ่งหมายถึงว่า bonding molecular orbital สนับสนุนหรือก่อให้เกิดการสร้างพันธะขึ้นนั่นเอง ซึ่งกลับกันกับ antibonding molecular orbital ขนาดของโมเลกุลจะใหญ่ขึ้น และจำนวนออร์บิทัลโมเลกุล(MO) เพิ่มขึ้น

ทฤษฎี “Free Electron Approximation” ใช้เพื่ออธิบายสถานะพลังงานทางควอนตัมที่แตกต่างกันของ “delocalized electron” ตาม “conjugated system” โดยสมมุติว่า “core electron” ซึ่งอยู่ในบริเวณของพันธะซิกมาระหว่างอะตอมในโซ่ (chain) โคนบังคับให้อยู่ระหว่างอะตอม (ไม่เคลื่อนที่อย่างอิสระไปตามสายโซ่ของ polymer)

การคำนวณระดับพลังงานในบ่อควอนตัมเป็นไปตามสมการ(2.1)โดยพลังงานของอนุภาค แสดงให้เห็นดังรูป2.6

$$E_n = p^2/2m = n^2h^2/8ML^2 \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.6 ระดับพลังงานในบ่อควอนตัมสถานะพลังงานทางซ้ายมือคืออ็อกทาวด์สเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะพลังงานทางซ้ายมือคือกราวด์สเตตต่ำสุดและเป็นระบบที่พบได้ทั่วไป การเติมเต็มของออร์บิทัลในในแต่ละระดับพลังงาน เป็นไปตามกฎของ “Aufbau principle” โดยออร์บิทัลโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงสุดที่ยังถูกรอบครองโดยออร์บิทัล Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) ถูกเติมเต็มด้วยคู่อิเล็กตรอนที่มีสปินตรงข้ามกัน โดยโมเมนตัมเชิงมุม (spin angular momentum) ทั้งหมดสำหรับคู่อิเล็กตรอนใน HOMO เป็น 0 ($S = 0$) และที่สถานะทางขวามือซึ่งเป็นสถานะที่ถูกกระตุ้น ระบบจะมีระดับพลังงานสูงกว่า เนื่องจากการกระตุ้นจากปัจจัยภายนอกและอิเล็กตรอนจะถูกยกไปสู่ Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) level ซึ่งสปินของอิเล็กตรอนในกรณีนี้ทั้งหมดยังคงเป็น 0 ($S = 0$) สถานะนี้ไม่เสถียรและจะค่อยๆ ปล่อยอิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้น

2.2 ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence)

ลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) เป็นชื่อเรียกปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเปล่งแสงทั้งหมด นอกเหนือจากการเปล่งแสงชนิดการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation) การเปล่งแสงแบบลูมิเนสเซนซ์เกิดจากการที่อะตอมหรืออิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากระดับพลังงานสูงลงมาสู่สถานะที่ระดับพลังงานต่ำกว่า ลูมิเนสเซนซ์สังเกตได้ทั้งในวัสดุก๊าซ ของเหลว และของแข็งและทั้งวัสดุชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ วิธีการกระตุ้นให้พลังงานแก่วัสดุก็มีได้หลายวิธี เช่น การส่องแสง การยิงลำอิเล็กตรอน การยิงลำไอออน การเพิ่มความกดดัน การเพิ่มความร้อน การทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี การป้อนสนามไฟฟ้า และการฉีดกระแสไฟฟ้า ฯลฯ เป็นต้น เรามีชื่อเรียกชนิดของลูมิเนสเซนซ์โดยแบ่งตามวิธีการกระตุ้นเหล่านี้ดังนี้

ชนิดของลูมิเนสเซนซ์	วิธีการกระตุ้น
(ก) โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photo-luminescence) (นิยมย่อว่า PL) -ชนิดสโตกส์ (Stokes type) -ชนิดแอนติสโตกส์ (Anti-Stokes type)	แสง
(ข) อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Electro-luminescence) (นิยมย่อว่า EL) -อินทรินซิกอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Intrinsic EL) -ไดโอดเปล่งแสง (Carrier Injection EL (LED))	ไฟฟ้า
(ค) แคโทดลูมิเนสเซนซ์ (Cathode-luminescence)	อิเล็กตรอน
(ง) เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermo-luminescence)	ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(จ) ไทโรโบลูมิเนสเซนซ์ (Tribo-luminescence)	การเสียดสี
(ฉ) เคมีกลูมิเนสเซนซ์ (Chemical-luminescence)	ปฏิกิริยาเคมี
(ช) เอกซ์เรย์ลูมิเนสเซนซ์ (X-ray-luminescence)	รังสีเอกซ์

จำนวนทั้งหมดนี้ ที่สังเกตพบในสารกึ่งตัวนำมากที่สุดนั้น คือ แบบ (ก) – (ค) การสังเกตปรากฏการณ์เหล่านี้ ทำให้เราสามารถวิเคราะห์ระดับพลังงานและการเปลี่ยนสถานะพลังงานในสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี ส่วนแบบ (ง) และ (จ) นั้น พบในวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีช่องว่างพลังงานกว้างมาก ๆ และทำให้สามารถวิเคราะห์ระดับพลังงานของจุดบกพร่องที่เกิดในผลึกต่าง ๆ ได้ และ (ฉ) แบบสุดท้ายนั้นจะพบมากในวัสดุพวกอนินทรีย์

2.3 โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence)

โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) คือ ปรากฏการณ์การเปล่งแสงอันเนื่องจากการกระตุ้นพาหะด้วยวิธีการส่องแสง (excitation by light) แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

(1) **Stoke type luminescence** เกิดขึ้นจากพลังงานโฟตอนในการเปล่งแสงบางส่วนมีการสูญเสียไปเป็นพลังงานความร้อนทำให้มีค่าน้อยกว่าพลังงานโฟตอนในการกระตุ้นด้วยแสง

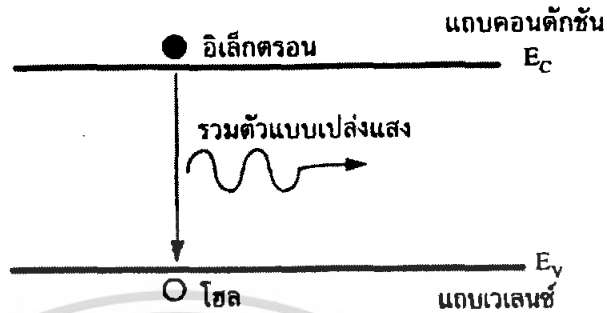
(2) **Anti-Stoke type luminescence** เกิดขึ้นได้เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟนอนจากโครงผลึก (คูคกลืนโฟนอน) หรืออิเล็กตรอนคูคกลืนพลังงานโฟตอนจากแสงหลาย ๆ ชั้นคอนและเปล่งแสงเพียงครั้งเดียว ทำให้พลังงานในการเปล่งแสงมีค่ามากกว่าพลังงานโฟตอนในการกระตุ้นด้วยแสง

2.4 กลไกการเปล่งแสงแบบลูมิเนสเซนซ์

กลไกการเปล่งแสงแบบลูมิเนสเซนซ์ เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานสูงลงสู่ระดับพลังงานต่ำ และสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

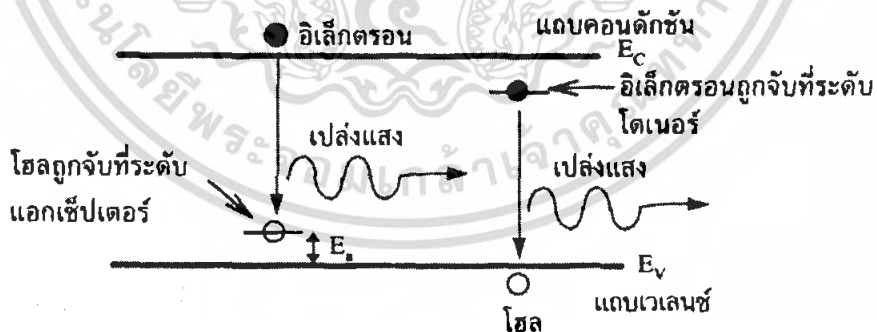
(2.4.1) การเปล่งแสงที่เกิดจากการที่อิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันรวมตัวโดยตรงกับโฮลในแถบเวเลนซ์ เป็นการเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะระหว่างแถบพลังงานของอิเล็กตรอน (band-to-band transition) กล่าวคือ เป็นการรวมตัวกันโดยตรงระหว่างอิเล็กตรอนและโฮล โดยอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบคอนดักชันตกลงมารวมตัวกับโฮลที่อยู่ในแถบเวเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวัสดุสารกึ่งตัวนำเป็นชนิดช่องว่างพลังงานแบบตรง (direct band gap) แสงที่เปล่งออกมาจะมีพลังงานโฟตอนเท่ากับขนาดของช่องว่างพลังงาน



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนสถานะแบบเปล่งแสงของพาหะอิสระระหว่างแถบคอนดักชันและแถบเวเลนซ์

(2.4.2) การเปล่งแสงที่เกิดจากการที่อิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันรวมตัวกับโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับแอกเซ็ปเตอร์หรืออิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับ โดเนอร์รวมตัวกับโฮลที่อยู่ในแถบเวเลนซ์ กล่าวคือ เกิดจากการทรานซิชันของอิเล็กตรอนอิสระกับระดับพลังงานของสารเจือ (free carrier-impurity level transition) ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลถูกจับอยู่ที่ระดับแอกเซ็ปเตอร์ (กรณีซ่าย) และการเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับ โดเนอร์และโฮลอิสระ (กรณีซวา)

(2.4.3) การเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนชนิดระหว่างระดับโลคัลไลซ์ กล่าวคือ เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนระหว่างระดับโลคัลไลซ์ (localized states-to-localized states) ตัวอย่างเช่น การเปล่งแสงจากศูนย์กลางชนิดเอฟ (F-centers) ในวัสดุชนิดอัลคาไลแฮไลด์ (alkali halide) ซึ่งผลึกของวัสดุชนิดนี้เมื่อถูกอบให้ร้อนภายในบรรยากาศของโลหะตระกูลอัลคาไล (เช่น Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) จะทำให้อะตอมของโลหะอัลคาไลแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อผลึกอัลคาไลแฮไลด์และทำให้เนื้อผลึกนั้นมีจำนวนอะตอมแฮไลด์ (เช่น F, Cl, Br, I, At) ที่ไม่สมดุลกับอะตอมอัลคาไล นั่นคือ เปรียบเสมือนกับเกิดช่องว่างที่ขาดอะตอมแฮไลด์จากนั้นเพื่อให้สภาพทางไฟฟ้าเป็นกลาง อิเล็กตรอนจะวิ่งไปจับอยู่ที่ช่องว่างของแฮไลด์นั้นซึ่งเปรียบเสมือนว่าช่องว่างนั้นเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนถูกแรงดึงดูดบีบอัดไว้คล้ายกับแบบจำลองของอะตอมของไฮโดรเจน และอิเล็กตรอนเหล่านั้นมีสถานะอยู่ที่ระดับพื้น (ground states) ต่อจากนั้นเมื่อมีแสงส่องเข้าสู่ผลึกชนิดนี้ แสงนั้นจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากสถานะพื้นให้ขึ้นไปสู่สถานะกระตุ้น (excited states) จึงเกิดการดูดกลืนแสงขึ้น และทำให้ผลึกนั้นมีสีตามความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืน เราเรียกการเกิดจุดบกพร่อง (defects) ของโครงผลึกเช่นนี้ว่าเป็นการเกิดศูนย์กลางสี (color centers) หรือ ศูนย์กลางเอฟ (F-centers)

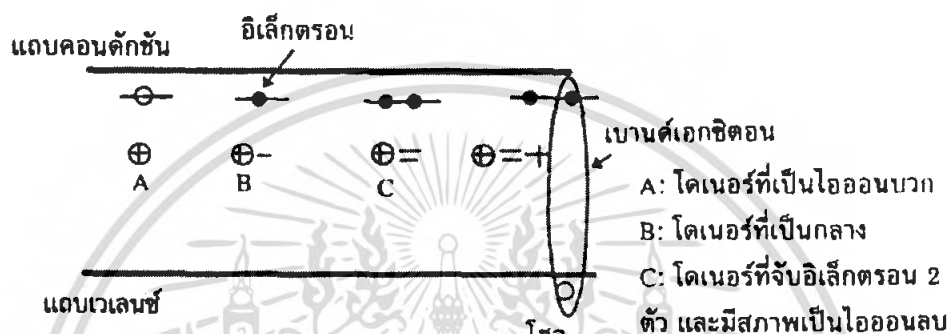
(2.4.4) การเปล่งแสงจากเอกซิตอน (Exciton)

เอกซิตอน คือ คู่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกกระตุ้น แต่พลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นนั้นยังมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้พาหะทั้งคู่แยกออกจากกันเป็นอิสระได้ กล่าวคือ ยังมีแรงดึงดูดบีบอัดให้อิเล็กตรอนและโฮลจับอยู่กันเป็นคู่ ๆ และระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและของโฮลยังอยู่ภายในช่องว่างพลังงานต้องห้าม เอกซิตอนมี 2 ชนิด ตามระยะห่างระหว่างอิเล็กตรอนและโฮล ถ้าระยะห่างระหว่างอิเล็กตรอนมีค่าใกล้เคียง ค่าคงที่ผลึก (lattice constant) เราเรียกว่าเป็นแบบเฟรเนล (Frenkel) ถ้าระยะห่างระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลมีค่ามากกว่าค่าคงที่โครงผลึกหลายเท่าถึงหลายสิบเท่า เราเรียกว่าเป็นแบบแวนเนียร์ (Wannier) เอกซิตอนชนิดอิสระ (Free exciton) การเปล่งแสงจากเอกซิตอนชนิดอิสระนี้ มีค่าพลังงานโฟตอนน้อยกว่าขนาดของช่องว่างพลังงานต้องห้ามเล็กน้อย เอกซิตอนชนิดแบนด์ (Bound exciton) เนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลในเอกซิตอนชนิดนี้อยู่ใกล้กันมาก ดังนั้นพลังงานโฟตอนของแสงที่ถูกเปล่งพลังงานออกมาจากการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอนและโฮลจึงมีค่าน้อยกว่าขนาดของช่องว่างพลังงานต้องห้าม

ตัวอย่างเช่น การโคปสารประกอบกึ่งตัวนำชนิด GaP (ตระกูล III-V) ด้วยอะตอม S (ตระกูล VI) จะทำให้อะตอม S เข้าไปแทนที่อะตอม P และอะตอม S ปลอ่ยให้อิเล็กตรอนกระโดดขึ้นไปในแถบคอนดักชัน อะตอม S จะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอออนบวก ถ้ากำหนดให้สัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“ \oplus ” แทนไอออนบวกและสัญลักษณ์ “ $\oplus-$ ” แทนโคเนอร์ S ที่เป็นกลาง ดังนั้นถ้ามีอิเล็กตรอนอีกหนึ่งตัวมาจับโคเนอร์กลางนี้จะทำให้โคเนอร์กลางเปลี่ยนสภาพเป็นไอออนลบซึ่งสามารถแทนไอออนลบได้ด้วยสัญลักษณ์ “ $\oplus =$ ” ในสภาพเช่นนี้ ถ้าบังเอิญมีโฮลวิ่งเข้ามาใกล้ไอออนลบนี้ โฮลจะถูกแรงดึงดูดจากไอออนลบดึงดูดไว้และทำให้เกิดเป็นเบานด์เอกซิตอนดังแสดงในรูปที่ 2.9 ด้านริมขวา และ ถ้าคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้มีการรวมตัวกันก็จะเกิดการเปล่งแสงออกมา

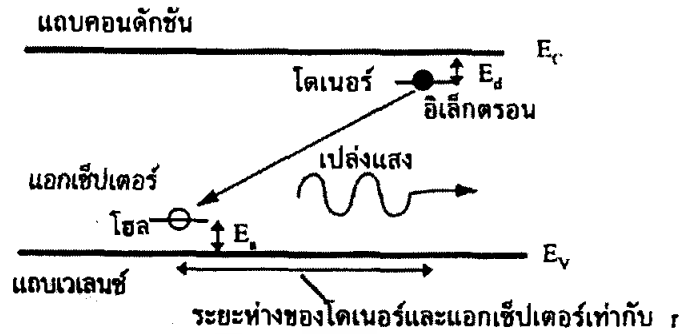


รูปที่ 2.9 การแสดงเอกซิตอนซึ่งถูกจับที่ระดับโคเนอร์

ตามปกติการโคปสารกึ่งตัวนำให้เป็นชนิด n หรือ p ทำได้โดยการเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์มากกว่าหรือน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะทำให้เกิดระดับโคเนอร์ หรือ แอกเซ็ปเตอร์ แต่ในกรณีที่เราเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์เท่ากับสารกึ่งตัวนำพอดี สารเจือปนนั้นจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างไปจากโคเนอร์ หรือ แอกเซ็ปเตอร์ทั่ว ๆ ไป สารเจือปนที่มีวาเลนซ์เท่ากับสารกึ่งตัวนำจะสร้างระดับพลังงานในช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ และเป็นตัวคอยกับดัก (trap) พาหะชั่วคราวได้ และมีชื่อเรียกว่า Isoelectronic trap มีความสำคัญมากในการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสง

(2.4.5) การเปล่งแสงจากคู่อิเล็กตรอนและแอกเซ็ปเตอร์ (DA pair)

การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับโคเนอร์และโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับแอกเซ็ปเตอร์โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพดีมาก รูปที่ 3.0 แสดงกลไกการรวมตัวของพาหะชนิดนี้ ตัวอย่าง ได้แก่ การโคป GaP ด้วย S (โคเนอร์) และ C (แอกเซ็ปเตอร์) พร้อม ๆ กัน



รูปที่ 2.10 การเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะระหว่างคู่โหนดอร์และแอคเซ็ปเตอร์

คุณสมบัติของการเปล่งแสงชนิดนี้มีลักษณะเด่นหลายข้อ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้
ความน่าจะเป็นของการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮล $W(r)$ ขึ้นกับระยะห่างของ
โหนดอร์และแอคเซ็ปเตอร์ (r) โดยที่ถ้า r มีค่าน้อย การเปล่งแสงก็จะดีดังนี้

$$W(r) = W_{\max} e^{-r/R_d}$$

โดยที่ W_{\max} : ค่าคงตัว

R_d : ค่าครึ่งหนึ่งของรัศมีโบร์ ของวงจรรอบโหนดอร์

-พลังงานโฟตอนของการเปล่งแสง มีค่า

$$h\nu = E_g - (E_a + E_d) + (q^2/\epsilon_s)$$

โดยที่ E_g : ช่องว่างพลังงานของวัสดุให้อาศัย

E_a, E_d : ระดับพลังงานของแอคเซ็ปเตอร์และโหนดอร์ตามลำดับ

q : ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

ϵ_s : ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุให้อาศัย

-ถ้าเพิ่มความเข้มของแสงที่ใช้กระตุ้น จะทำให้สเปกตรัมของการเปล่งแสง เคลื่อนตัว
ไปทางพลังงานโฟตอนมากขึ้น

-หลังจากตัดแสงที่ใช้กระตุ้นออก และเมื่อเวลาผ่านไป สเปกตรัมของการเปล่งแสง
จะเคลื่อนตัวไปทางพลังงานโฟตอนที่มีค่าน้อยลง

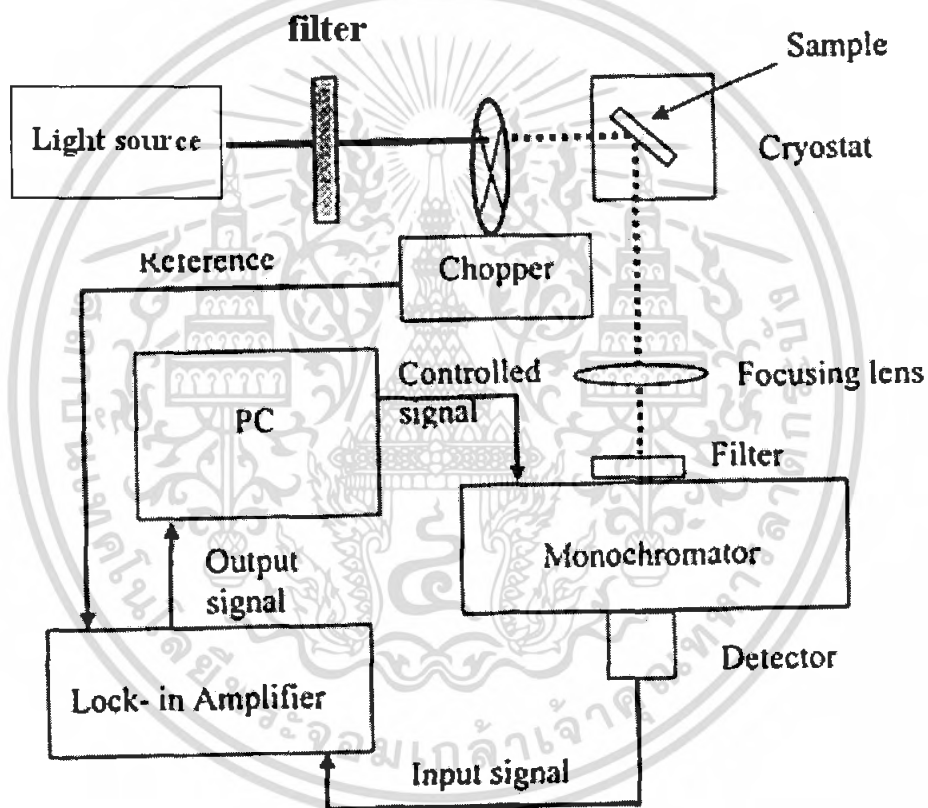
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ photoluminescence spectroscopy ดังต่อไปนี้

3.1 ระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์สเปกโตรสโกปี (Photoluminescence spectroscopy)



รูปที่ 3.1 แบบแผนวิธีการติดตั้งของ Photoluminescence spectroscopy

รูปที่ 3.1 ได้แสดงแผนผังวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์สเปกโตรสโกปี จากแผนผังนั้นได้ทำการเลือกแหล่งกำเนิดแสงชนิดที่เป็นหลอด UV ซึ่งทำหน้าที่ปล่อยแสงผ่านเข้าไปใน filter จากแผนผัง filter มีหน้าที่ทำการเลือกความคลื่นที่เหมาะสมเพื่อที่จะไปทำการกระตุ้นตัวอย่างของฟิล์มบาง อุปกรณ์ต่อมาคือ chopper มีหน้าที่ทำการตัดแสงจากแหล่งกำเนิดให้ออกมาเป็นพัลส์ซึ่งจะพบว่าสัญญาณของ chopper ที่ส่งมาเป็นสัญญาณอ้างอิงของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องขยายสัญญาณที่ทำการจับค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท (lock-in amplifier) เมื่อ chopper ทำการตัดแสงจากแหล่งกำเนิดให้เกิดพัลส์ จากแผนผังจะพบว่าเส้นประคือ แสงจากแหล่งกำเนิดที่เป็นพัลส์ ซึ่งแสงที่ได้จะไปทำหน้าที่กระตุ้นตัวอย่างที่อยู่ภายในระบบสุญญากาศ (cryostat) เมื่อตัวอย่างที่อยู่ในระบบเกิดการกระตุ้นแสงที่เป็นพัลส์จะเกิดการเปล่งแสงขึ้นที่ตัวอย่าง ซึ่งแสงที่ได้จากการกระตุ้นจะถูกส่งมาที่เลนส์เพื่อที่จะทำหน้าที่รวมแสงที่เกิดจากกระตุ้น จากนั้นแสงที่ได้จากการรวมกันจะถูกส่งไปที่ filter ที่วางอยู่ข้างหน้าช่องรับแสงของโมโนโครมาเตอร์เพื่อทำหน้าที่ตัดความยาวคลื่นที่ได้จากแหล่งกำเนิดซึ่งจะทำให้ความยาวคลื่นของการลูมิเนสเซนซ์ผ่านเข้าไปได้อย่างเดียว เมื่อแสงที่ผ่าน filter เข้าไปในโมโนโครมาเตอร์เพื่อทำการหาค่าความยาวคลื่น ซึ่งจะพบว่าการทำงานของโมโนโครมาเตอร์นั้นได้มีการควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ปรับโมโนโครมาเตอร์เพื่อปรับความยาวคลื่น อุปกรณ์ต่อมาคือ ดีเทคเตอร์ (detector) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากแสงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อจะได้ทำการส่งสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปในเครื่องขยายสัญญาณ (lock-in Amplifier) มีหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อที่จะทำการส่งสัญญาณอ้างอิงไปที่ chopper กับส่งสัญญาณเอาต์พุทออกไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะทำการขยับมอเตอร์ของโมโนโครมาเตอร์โดยมีการควบคุมสัญญาณจากคอมพิวเตอร์

3.2 อุปกรณ์ของ Photoluminescence Spectroscopy

รายละเอียดของระบบวัด photoluminescence spectroscopy

3.2.1 Temperature Controller and Vacuum Unit

จากวิธีการวัดโดยใช้ อุณหภูมิต่ำ เครื่องมือ 2 ชนิดที่มีความสำคัญและมีความจำเป็น ได้แก่

(ก) บั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ที่แสดง (ดังรูป 3.2) ใช้สูบอากาศออกจาก cryostat chamber ได้มีการลดความดันลงไปถึงประมาณ 10^{-6} mbar ระบบบั๊มสุญญากาศประกอบด้วยเครื่องบั๊ม 2 ชนิดคือ turbo molecular pump ซึ่งสามารถทำการลดความดันที่ 10^{-3} ถึง 10^{-7} mbar และ backing rotary pump ซึ่งสามารถทำการสูบอากาศภายใน chamber ที่ความดันปกติจนถึง 10^{-3} mbar ซึ่งตัวควบคุมความดันสุญญากาศแต่ละที่ ได้แก่ Active Pirani Gauge ทำหน้าที่ตรวจวัดความดันบรรยากาศได้ถึง 10^{-4} mbar และ Penning Gauge ทำหน้าที่ตรวจวัดความดันบรรยากาศที่ 10^{-3} ถึง 10^{-7} mbar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ระบบปั๊มสุญญากาศ

(ข) ระบบของ Cryogenic ระบบนี้สามารถทำให้อุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดขึ้นอยู่กับสารหล่อเย็น ในระบบนี้จะประกอบด้วย chamber ทำหน้าที่ใส่ตัวอย่างเพื่อที่จะทำการวัดในระบบสุญญากาศโดยภายในมีแท่นจับยึดชิ้นงาน ซึ่งลักษณะภายนอกของ chamber มีกระจกควอทซ์อยู่ทั้ง 4 ด้าน เพื่อที่จะสามารถทำการปรับแสงที่ทำการส่องไปยังตัวอย่างออกมาอีกด้านหนึ่งแสดงดังรูป 3.3 (ก) ถังฮีเลียม (Helium Dewar) ทำหน้าที่เก็บสารหล่อเย็น โดยทำการปล่อยสารออกมาทางท่อหล่อเย็นเข้าไปใน chamber เพื่อที่จะทำการหล่อเย็นตัวอย่างที่อยู่ในระบบ cryogenic แสดงดังรูปที่ 3.3 (ข) เครื่องควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิที่แท่นจับยึดชิ้นงานซึ่งอยู่ภายใน chamber เพื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิให้มากขึ้นหรือลดลงโดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.3 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.3 cryogenic systems; (ก) cold-finger chamber (ข) Helium Dewar
(ค) temperature controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3 แหล่งกำเนิดแสงหลอด Deuterium กับหลอด Tungsten-Halogen

แหล่งกำเนิดแสงชนิด Deuterium และ Tungsten มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 190 ถึง 400 nm แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แหล่งกำเนิดแสงหลอด Deuterium กับหลอด Tungsten-Halogen

3.4 เครื่อง Chopper

ทำหน้าที่ตัดแสงให้ให้เป็นพัลส์และสัญญาณของ chopper ที่ส่งมาเป็นสัญญาณอ้างอิงของเครื่องขยายสัญญาณที่ทำการจับค่าความถี่ของสัญญาณอินพุตจากเครื่องขยายสัญญาณ (lock-in amplifier)



รูปที่ 3.5 เครื่อง Chopper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector)

โฟโตดีเทคเตอร์ทำหน้าที่วัดสัญญาณแสงและทำหน้าที่เปลี่ยนจากพลังงานแสงไปเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้คือ Si-detector รุ่น (DT-210) สามารถวัดความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 ถึง 1100 nm



รูปที่ 3.6 Optical Si-detector

3.6 โมโนโครมาเตอร์ (monochromator)

เป็นอุปกรณ์ที่เลือกความยาวคลื่นที่ต้องการโดยอาศัยเกรตติง ซึ่งโมโนโครมาเตอร์สามารถควบคุมและเลือกความยาวคลื่นได้โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โมโนโครมาเตอร์ที่ใช้รุ่น (SDMC 1-04)



รูปที่ 3.7 เครื่อง Monochromator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 Lock-in amplifier

เป็นเครื่องที่ทำหน้าช่ายสัญญาณเพื่อที่จะทำการส่งสัญญาณอ้างอิงไปที่ chopper กับส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะทำการขยับมอเตอร์ของโมโนโครมาเตอร์ โดยมีการควบคุมสัญญาณจากคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.8 เครื่อง lock-in amplifier

3.8 ฟิเตอร์ (filter)

ทำหน้าที่กรองแสงในช่วงความยาวคลื่นที่จะไปกระตุ้น ซึ่ง filter มีอยู่ 3 ประเภท

1. High pass filter คือ ทำหน้าที่กรองแสงที่มีความยาวคลื่นมากผ่านไปได้
2. low pass filter คือ ทำหน้าที่กรองแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยผ่านไปได้
3. Band pass filter คือ ทำหน้าที่กรองแสงความยาวที่ต้องการผ่านไปได้

3.9 แท่นยึดสาร

เป็นแท่นยึดชิ้นงานขณะวัดและกำหนดอุณหภูมิที่ต้องการ

การเซตระบบ photoluminescence spectroscopy และทำการวัด PL แสดงถึงการเปล่งแสงของสารตัวอย่างที่ความหนาต่างกัน ซึ่งสามารถวัดค่าตัวแปรต่างๆเมื่อทำการวัดความหนาเทียบกับอุณหภูมิที่ต่างกัน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ เช่น E_c , E_B , Θ_B , α_B , E_A

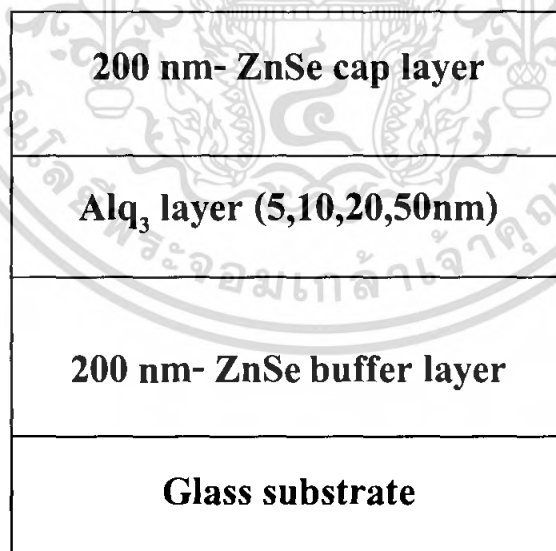
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ตัวอย่างที่ใช้การทดลอง

ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ ฟิล์มบางสาร อนินทรีย์/อินทรีย์ (ZnSe/Alq₃) มีลักษณะโครงสร้างแบบแตกต่างกัน โดยฟิล์มบางดังกล่าวปลูกด้วยเครื่อง high vacuum multi-pocket electron-beam evaporator (Edwards AUTO306) บนแผ่นแก้วชนิด (superfrost) ลักษณะโครงสร้างของชิ้นงานตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.1 จากรูปแสดงถึงโครงสร้างแต่ละชั้น ชั้นแรกคือแผ่นแก้วซึ่งทำหน้าที่รองสาร ชั้นที่สองมีการปลูกสาร ZnSe-200 nm ทำหน้าที่เป็นชั้นรองที่ผิวหน้าของกระจก ชั้นที่สามคือ Alq₃ ที่ทำการปลูกบนชั้นรองผิวหน้าของ ZnSe ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงความหนาซึ่งมีผลต่อการเปล่งแสง ชั้นสุดท้ายมีการปลูกสาร ZnSe-200 nm ทำหน้าที่เคลือบที่ผิวหน้าสารตัวอย่างฟิล์มบาง



รูปที่ 4.1 รูปโครงสร้างของ ZnSe/Alq₃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเปล่งแสงของฟิล์มตัวอย่าง

การทดลองวัดการเปล่งแสงที่อุณหภูมิห้องของฟิล์มตัวอย่างที่มีความหนาของชั้น Alq_3 ต่างกันแสดงดังรูป 4.2



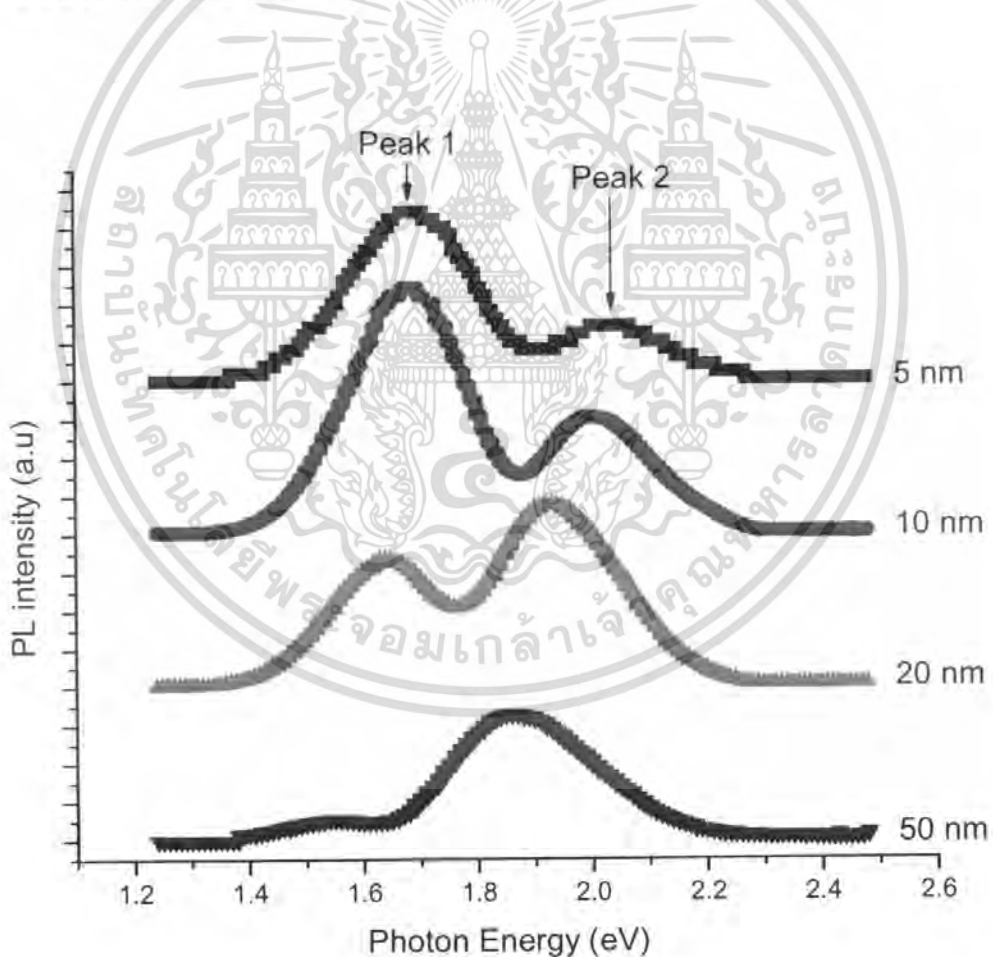
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินที่เอกสารต้นฉบับสูญหายซึ่งออกโดยไม่ตั้งใจโดยไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 (ก) ชั้นความหนา 20 nm (ข) ชั้นความหนา 50 nm
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปพบว่าที่ความหนาของ Alq₃ ที่ต่างกันจะเกิดการเปล่งแสงต่างกัน ที่ชั้นความหนา 20 nm มีการเปล่งแสงส้ม และ 50 nm มีการเปล่งแสงแดง ซึ่งเป็นผลจากการกักกันทางควอนตัม (Quantum Confinement Effect)

4.3 สเปกตรัมการเปล่งแสงที่ความหนาของ Alq₃ ที่ต่างกัน

จากการทดลองมีการใช้ความหนาของ Alq₃ ที่ต่างกันซึ่งความหนาที่มีค่า 5 nm , 10 nm , 20 nm และ 50 nm ซึ่งการทดลองนี้จะทำการวัดกราฟหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Photon Energy (eV) และ PL intensity (a.u) แสดงดังรูปที่ 4.3

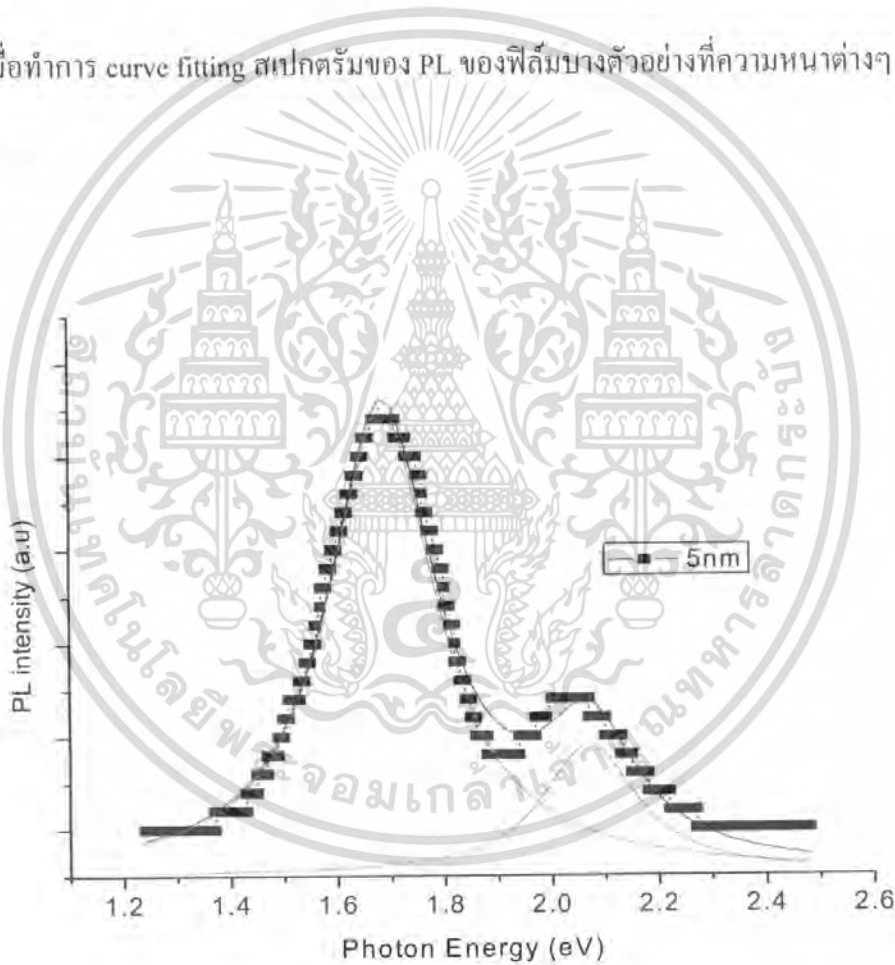


รูปที่ 4.3 แสดงค่า PL ของฟิล์มตัวอย่างที่ความหนาของชั้น Alq₃ ที่ต่างกัน 5 nm, 10 nm, 20 nm และ 50 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

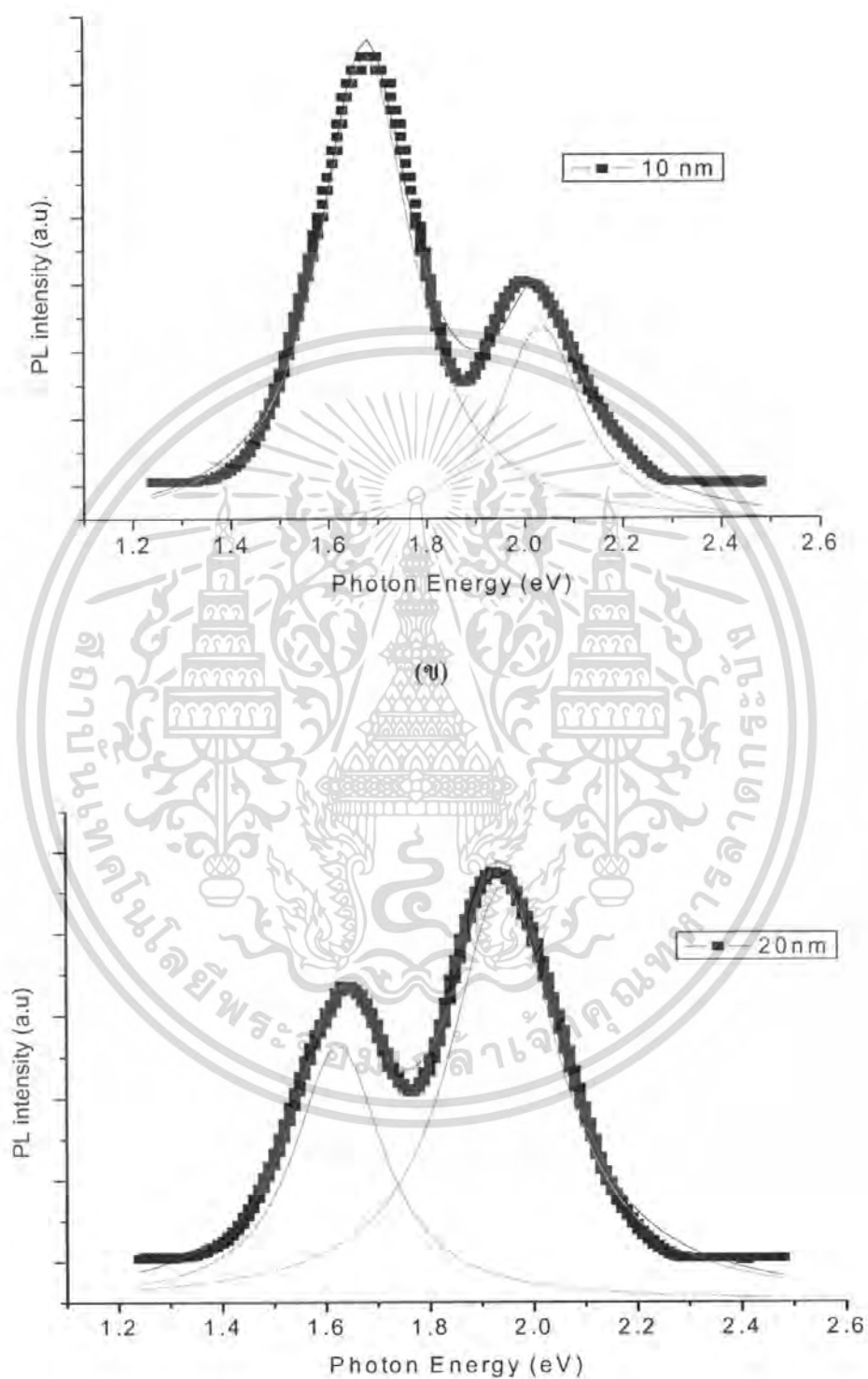
จากรูปที่แสดงนั้นพบว่ากราฟมีอยู่ 2 พีก ซึ่งพบว่ากราฟนั้นมีการเคลื่อนที่และได้มีการเปลี่ยนแปลงที่ตรงกันข้ามกัน ซึ่งพบว่า พีก 1 เมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้นความเข้มจะลดน้อยลง ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของ energy gap ที่เกิดจากการปลูกสาร Alq_3 ซึ่งจะพบที่ชั้นความหนาที่ 5 nm และ 10 nm และพีก 2 เป็นพีกที่มีช่วงอยู่ระหว่างสาร Alq_3 กับ ZnSe ซึ่งมี quantum confinement effect ที่ดีจะพบที่ความหนา 20 nm และ 50 nm จากกราฟยังสังเกตเห็นว่ามี spectrum ของ PL จะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นสั้นเรียกว่า Blue shift

เมื่อทำการ curve fitting สเปกตรัมของ PL ของฟิล์มบางตัวอย่างที่ความหนาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.4



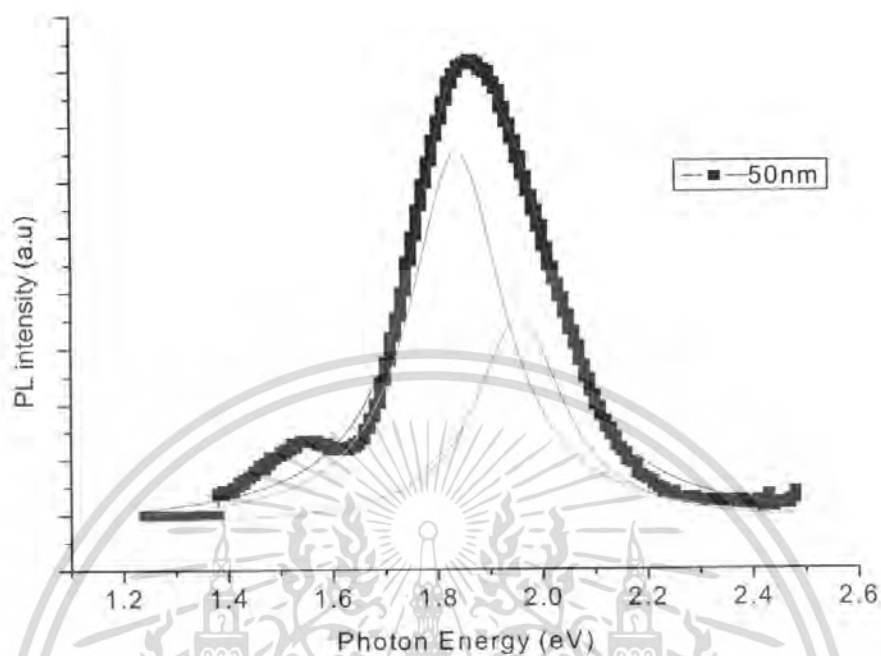
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

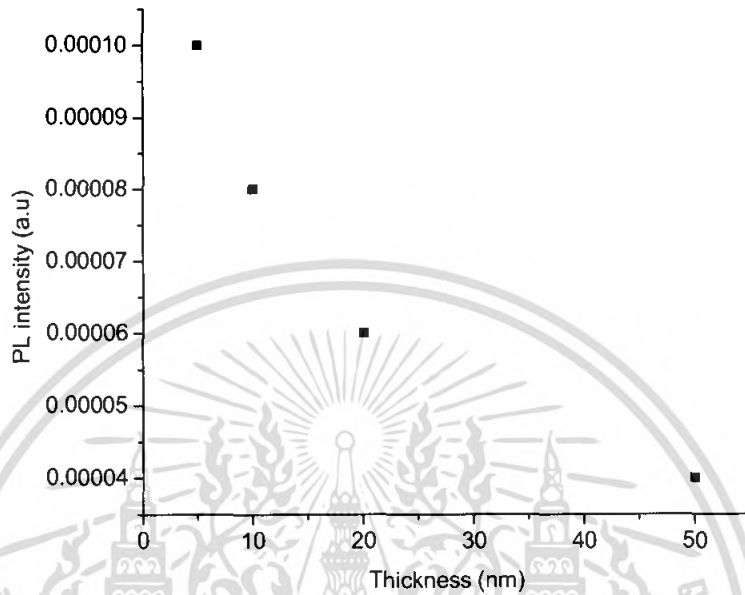


รูปที่ 4.4 (ก) ความหนา 15 nm Alq₃, (ข) ความหนา 10 nm Alq₃, (ค) ความหนา 20 nm Alq₃, และ (ง) ความหนา 50 nm Alq₃

จากกราฟพบว่าสเปกตรัมในการเปล่งแสงที่ความหนาของ Alq₃ ที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าพลังงานของ Photon Energy มีค่าลดลงตามลำดับซึ่งจะพบได้ในกราฟที่ทำการ fitting จากรูปที่ 4.4

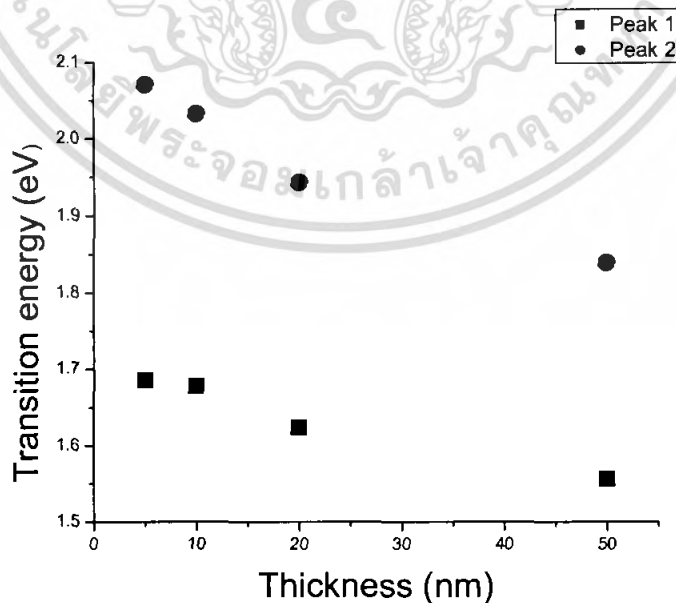
ผลของความหนาต่างๆเทียบกับ PL intensity และ Transition energy แสดงดังรูปที่ 4.5 (ก)

และ (ข)



รูปที่ 4.5 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ความหนาต่างๆเทียบกับ PL intensity

จากกราฟ (ก) ที่ทำการวัดเมื่อความหนามีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าของ PL intensity มีค่าลดลงตามความหนาที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ความหนาต่างๆเทียบกับ Transition energy

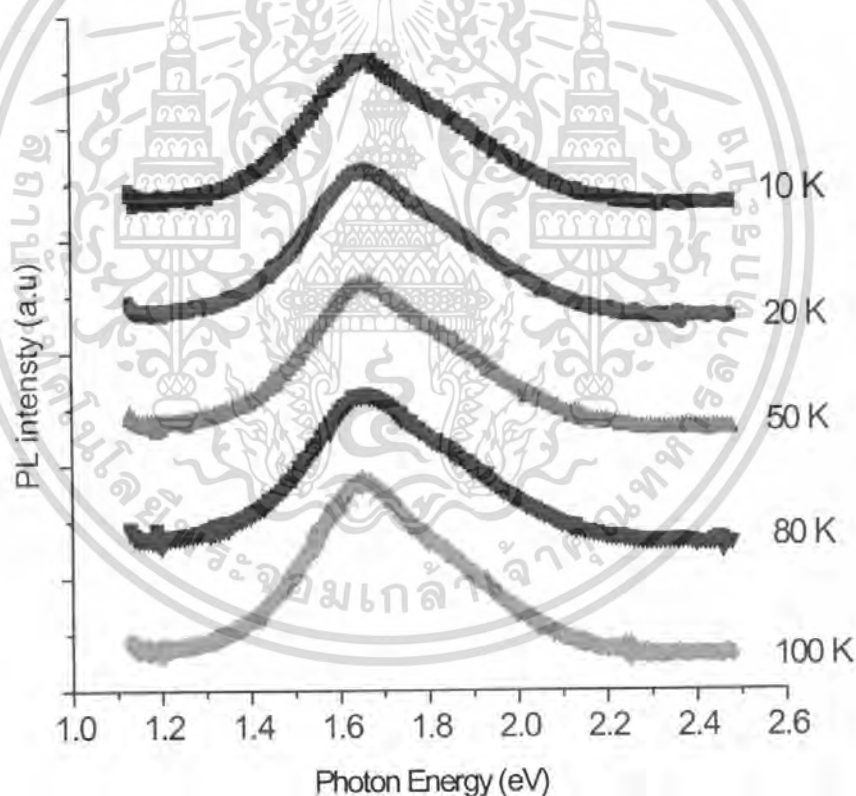
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ (ข) จะพบว่าเมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้นค่า transition energy จะมีค่าลดลงตามความหนาที่เพิ่มขึ้น

4.4 Photoluminescence ที่ทำการวัดความหนาของ Alq₃ ที่อุณหภูมิต่างกัน

4.4.1 ทำการวัดอุณหภูมิที่ความหนา 20-nm ซึ่งทำการวัดที่อุณหภูมิต่างกัน

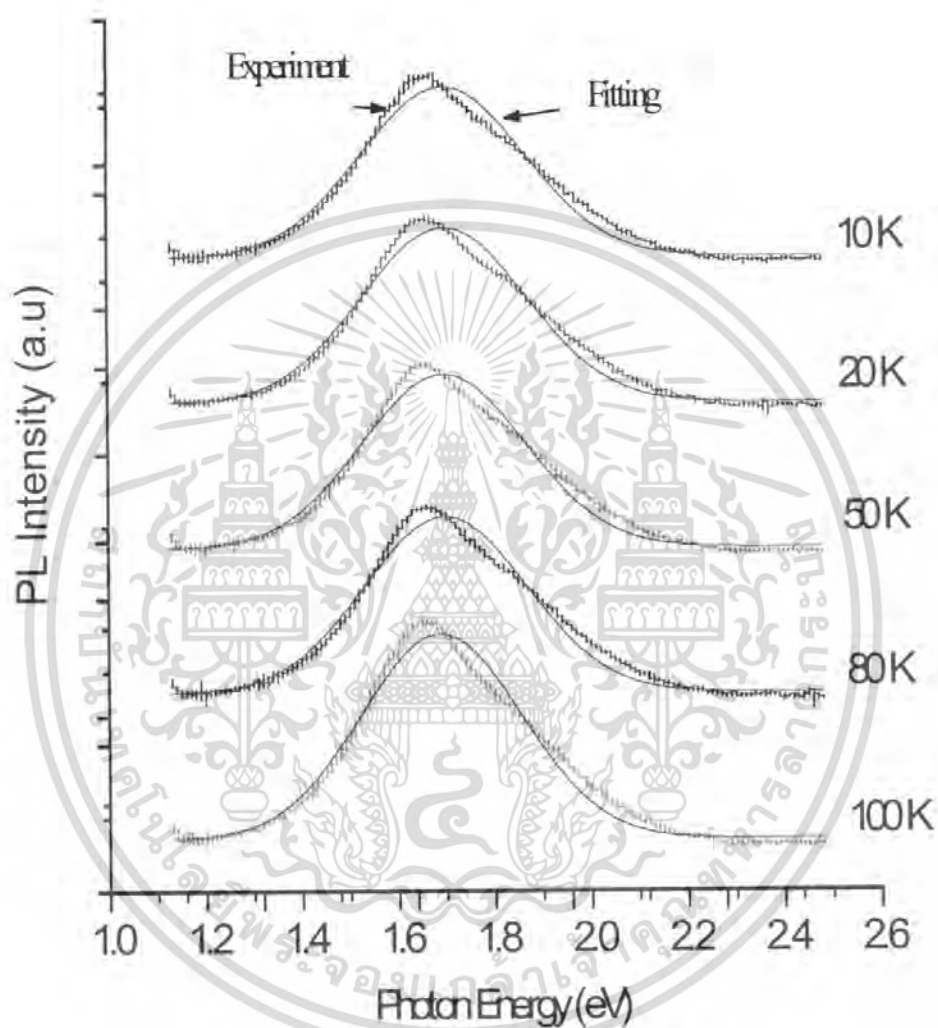
จากการทดลองนำ Alq₃ ที่มีความหนา 20 nm มาทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งอุณหภูมิที่วัดนั้นเริ่มวัดที่ 10 k, 20 k, 50 k, 80k และ 100 k ซึ่งพบว่ากราฟมีลักษณะดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนซ์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ที่ความหนา 20 nm ของ Alq₃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาได้ทำการ curve fitting จะพบว่ากราฟมีลักษณะดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนส์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆที่ความหนา 20 nm ของ Alq₃ เมื่อ curve fitting

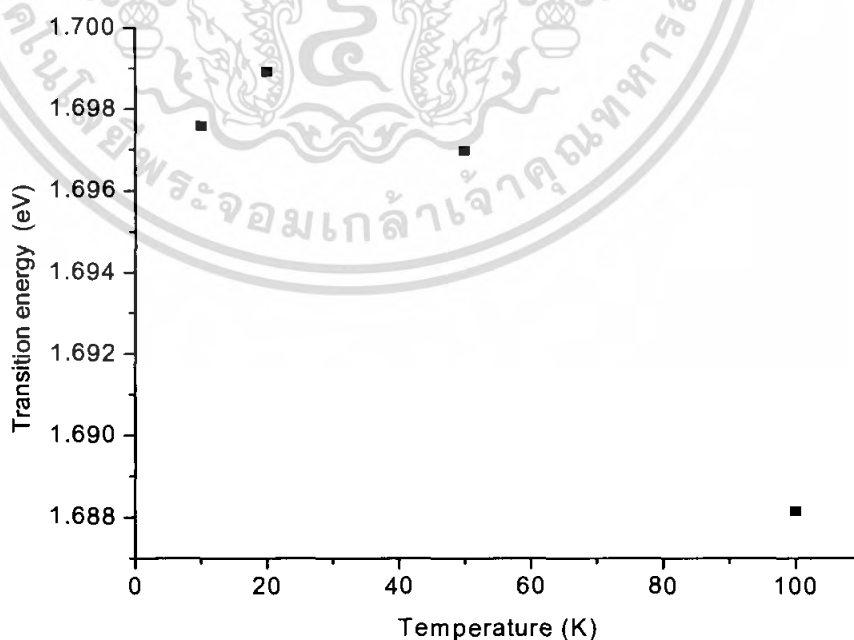
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อทำการ fitting ค่าพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้คือ Transition energy และ maximum amplitude ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการ fitting ของค่าความหนา Alq₃ 20 nm แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 Transition energy และ maximum amplitude ของ PL peak Alq₃ 20 nm ซึ่งทำการเลือกค่าในการ fitting

อุณหภูมิ (K)	Transition energy (eV)	PL intensity (a.u)
10	1.697	7.355E-6
20	1.698	6.351E-6
50	1.696	5.354E-6
80	1.698	4.356E-6
100	1.688	3.357E-6

จากการ fitting ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาเพื่อทำการวัดเทียบกับอุณหภูมิทำให้กราฟของ Transition energy แสดงดังรูปที่ 4.8



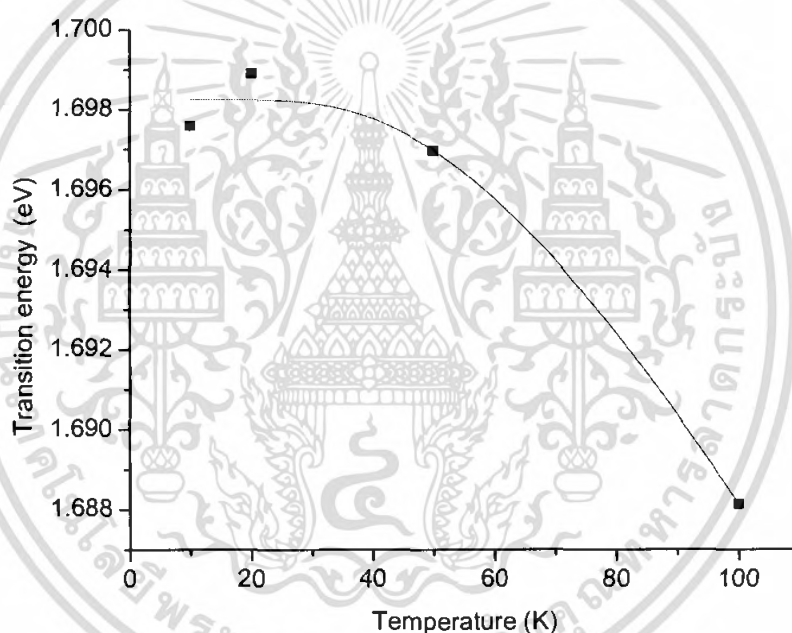
รูปที่ 4.8 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq₃ 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ Transition energy สามารถนำมาทำการ fitting โดยการใส่สมการของ Vina เป็นสมการที่ (4.1)

$$E_g(T) = E_B - \alpha_B \left[1 + \frac{2}{\exp(\Theta_B/T) - 1} \right] \quad (4.1)$$

ซึ่งสมการของ Vina สามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้ 3 ค่า E_B , α_B , Θ_B ซึ่งสามารถทำการสร้างกราฟ ด้วยวิธีการ fitting จากสมการแสดงดังรูปที่ 4.9

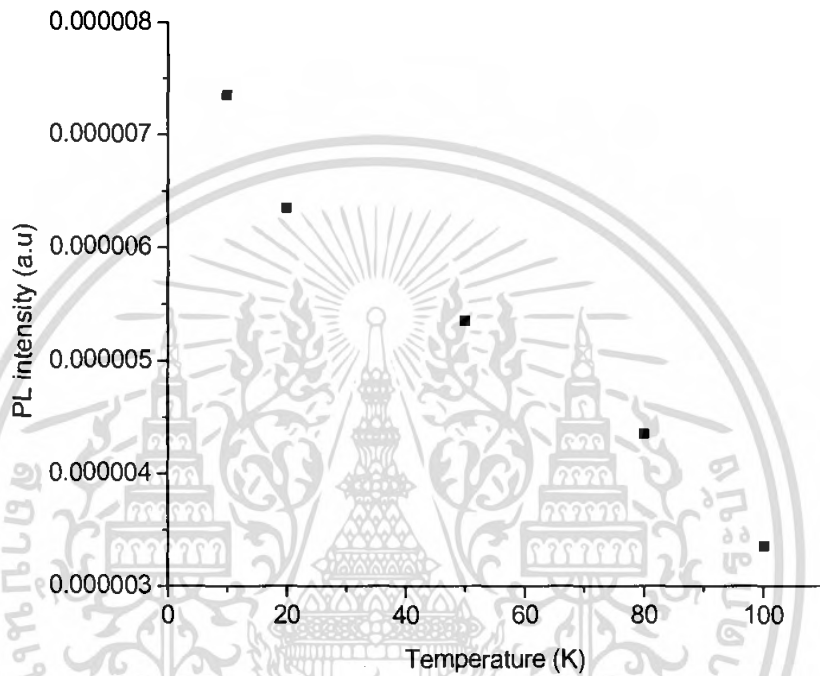


รูปที่ 4.9 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq₃ 20 nm โดยทำการ fitting โดยสมการ Vina

จากกราฟเมื่อทำการ fitting เราสามารถหาค่า $E_B = 1.728$ eV, $\alpha_B = 30.13$ meV และ phonon temperature: $\Theta_B = 194$ K ซึ่งเป็นพื้นฐานของสมการ Vina ในที่นี้เมื่อพบ energy gap ของ Alq₃ มีค่าเท่ากับ 0 K เราสามารถหาความสัมพันธ์ได้โดย $E_g(0K) = E_B - \alpha_B = 1.698$ eV ซึ่งจะพบว่า transition energy ที่ 0 เควิล หาโดยสมการของ Vina ในที่นี้สิ่งที่เพิ่มเข้ามานั้นคือ ค่าของ electron-phonon interaction ภายใน Alq₃ มีค่าประมาณ 30.13 meV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการ fitting ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาเพื่อทำการวัดเทียบกับอุณหภูมิทำให้กราฟ PL intensity (a.u) แสดงดังรูปที่ 4.10

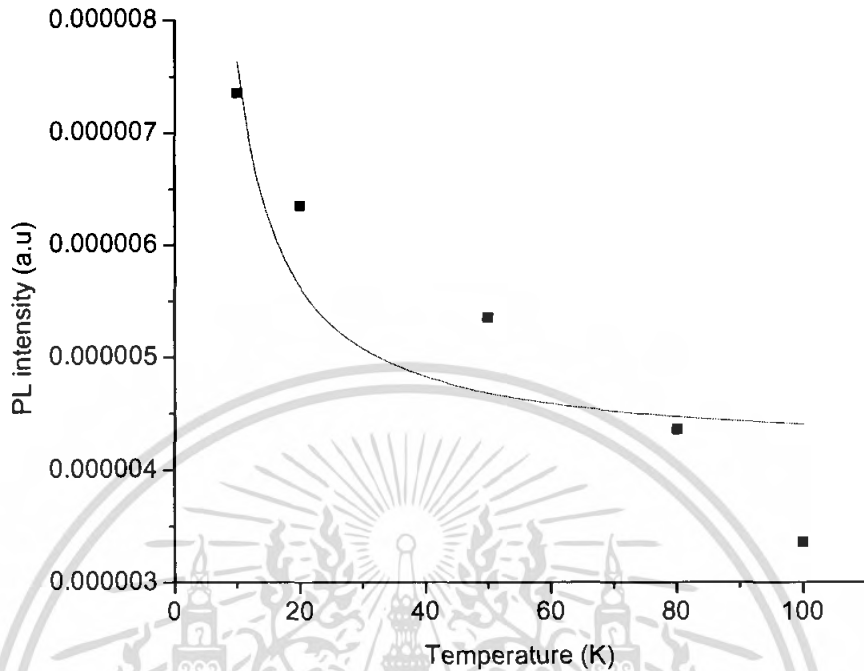


รูปที่ 4.10 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq₃ 20 nm

จากกราฟ PL intensity สามารถนำมาทำการ fitting โดยสมการที่ (4.2)

$$I_{PL}(T) = I_0 \exp\left(\frac{E_A}{k_B T}\right) \quad (4.2)$$

ซึ่งสมการของ PL intensity สามารถทำการหาค่าพารามิเตอร์ได้ 1 ค่าคือ E_A สามารถทำการสร้างกราฟที่ fitting จากสมการแสดงดังรูปที่ 4.11

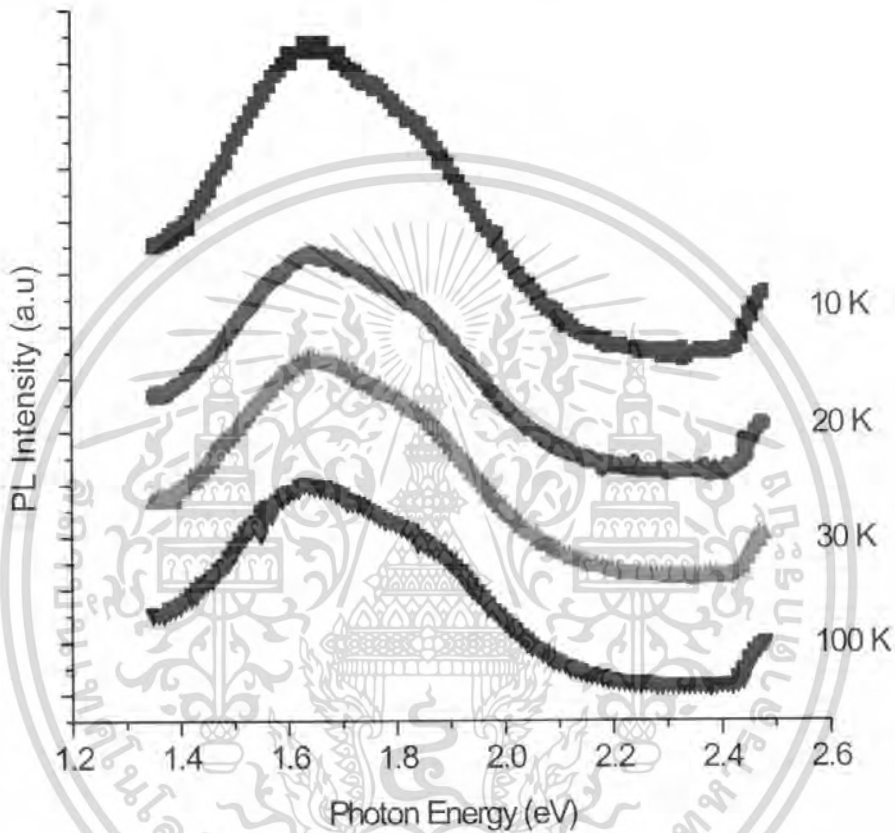


รูปที่ 4.11 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq₃ 20 nm โดยทำการ curve fitting

ซึ่งเมื่อทำการ fitting นั้นจะพบว่าค่าของ E_A คือ thermal activation energy ซึ่งมาจากวิธีการ fitting PL intensity ในช่วงที่ทำการวัด PL โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิจะมีค่า $E_A = 52.82$ meV

4.4.2 ทำการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ความหนา 50-nm ซึ่งทำการวัดที่อุณหภูมิต่างกัน

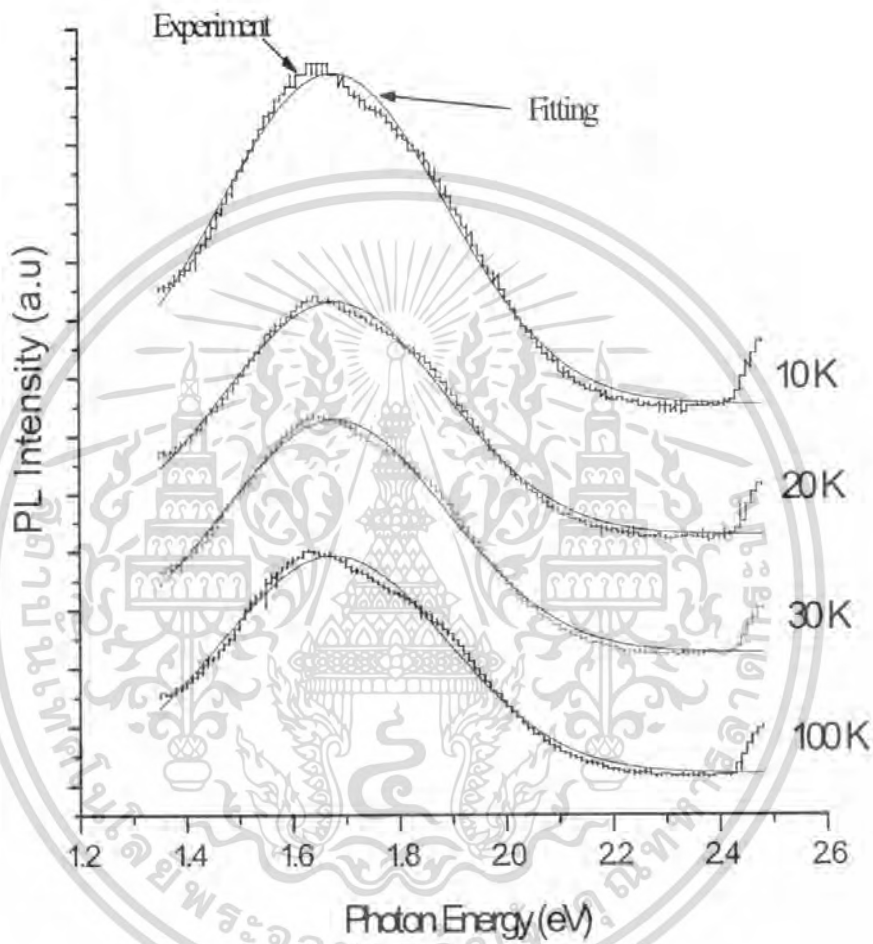
จากการทดลองนำ Alq_3 ที่มีความหนา 50 nm มาทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่นั้นเริ่มวัดที่ 10 K, 20 K, 30 K, และ 100 K ซึ่งพบว่ากราฟมีลักษณะดังรูป 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนส์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ที่ความหนา 50 nm ของ Alq_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาทำการ fitting พบว่ากราฟมีลักษณะดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟโฟโตลูมิเนสเซนส์เทียบกับอุณหภูมิต่างๆที่ความหนา 50 nm ของ Alq₃ เมื่อ curve fitting

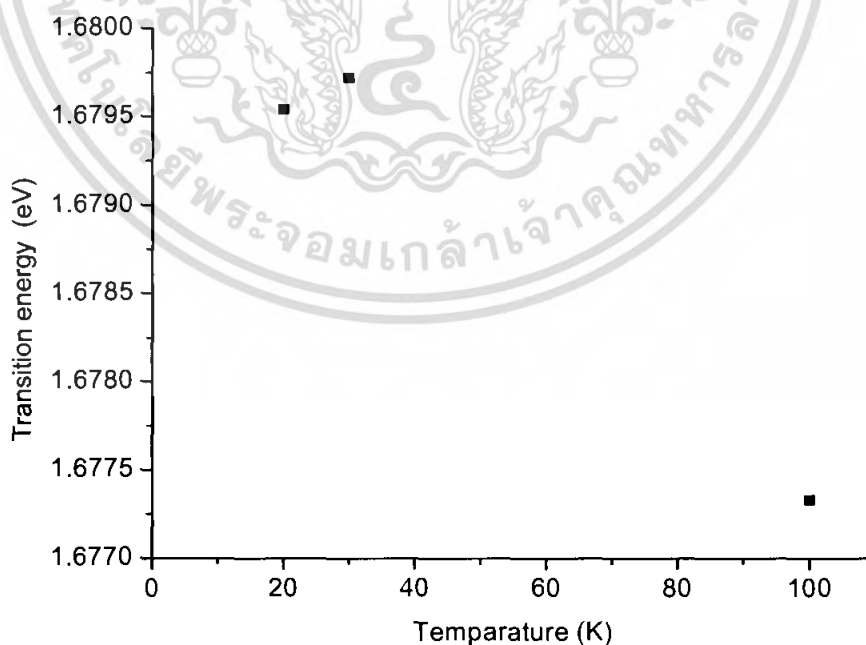
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อทำการ fitting ค่าพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้คือ Transition energy และ maximum amplitude ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการ fitting ของความหนา Alq₃ 50 nm แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 Transition energy และ maximum amplitude ของ PL peak Alq₃ 50 nm ซึ่งทำการเลือกค่าในการ fitting

อุณหภูมิ (K)	Transition energy (eV)	PL intensity (a.u)
10	1.678	7.267E-6
20	1.679	6.141E-6
30	1.679	5.130E-6
100	1.667	4.104E-6

ซึ่งจากการ fitting ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาเพื่อทำการวัดเทียบกับอุณหภูมิทำให้กราฟของ Transition energy แสดงดังรูปที่ 4.14



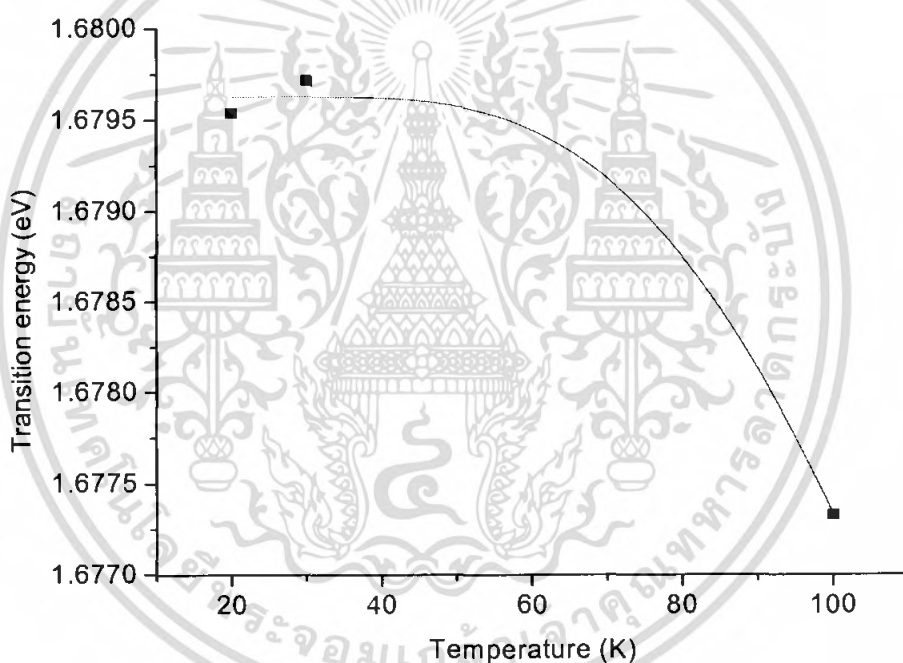
รูปที่ 4.14 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq₃ 50 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ Transition energy สามารถนำมาทำการ fitting โดยสมการของ Vina เป็นดัง
สมการ

$$E_g(T) = E_B - \alpha_B \left[1 + \frac{2}{\exp(\Theta_B/T) - 1} \right]$$

ซึ่งสมการของ Vina สามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้ 3 ค่า E_B , α_B , Θ_B สามารถทำการสร้าง
กราฟด้วยวิธีการ fitting จากสมการแสดงดังรูปที่ 4.15

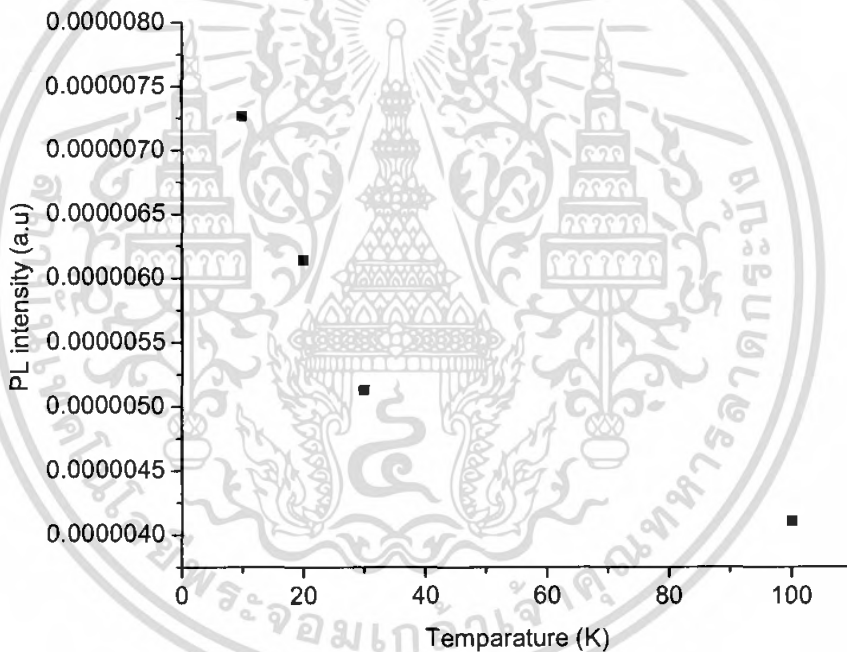


รูปที่ 4.15 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ Transition energy ของ Alq₃, 50 nm โดยทำการ
fitting โดยสมการ Vina

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟเมื่อทำการ *fitting* เราสามารถหาค่า $E_B = 1.729$ eV, $\alpha_B = 49.82$ meV และ phonon temperature: $\Theta_B = 379$ K ซึ่งเป็นพื้นฐานของสมการ Vina ในที่นี้เมื่อพบ energy gap ของ Alq₃ ที่มีค่าเท่ากับ 0 K เราสามารถหาความสัมพันธ์ได้โดย $E_B(0K) = E_B - \alpha_B = 1.680$ eV ซึ่งจะพบว่า transition energy ที่ 0 เคลวิน หาโดยสมการของ Vina ในที่นี้สิ่งที่เพิ่มเข้ามานั้นคือ ค่าของ electron-phonon interaction ภายใน Alq₃ มีค่าประมาณ 49.82 meV

จากการ *fitting* ค่าพารามิเตอร์ที่ได้เพื่อทำการวัดเทียบกับอุณหภูมิทำให้กราฟของ PL intensity (a.u) แสดงดังรูปที่ 4.16



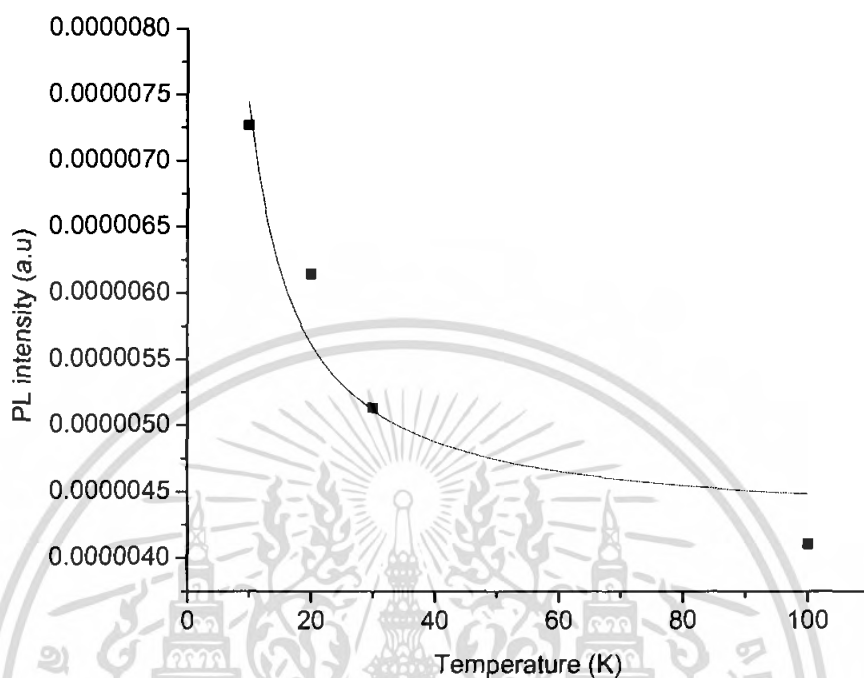
รูปที่ 4.16 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq₃ 50 nm

จากกราฟ PL intensity สามารถนำมาทำการ *fitting* โดยสมการดังต่อไปนี้

$$I_{PL}(T) = I_0 \exp\left(\frac{E_A}{k_B T}\right)$$

ซึ่งสมการของ PL intensity สามารถทำการหาค่าพารามิเตอร์ได้ 1 ค่าคือ E_A สามารถทำการสร้างกราฟด้วยวิธีการ *fitting* จากสมการแสดงดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟอุณหภูมิต่างๆเทียบกับ PL intensity ของ Alq₃ 50 nm โดยทำการ curve fitting

ซึ่งเมื่อทำการ fitting นั้นพบว่าค่าของ E_A คือ thermal activation energy ซึ่งได้มาจากวิธีการ fitting PL intensity ในช่วงที่ทำการวัด PL โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิจะมีค่า $E_A = 48.61$ meV

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ

จากการศึกษาโครงการพิเศษเรื่องการเปล่งแสงของฟิล์มบาง ซึ่งทำการเซตระบบวัด Photoluminescence spectroscopy เพื่อทำการวัดค่าการเปล่งแสงของฟิล์มบางที่ความหนา 20 nm แสงที่เปล่งออกมาเป็นส้มและที่ความหนา 50 nm เป็นสีแดง พบว่าสเปกตรัมในการเปล่งแสงที่ความหนาของ Alq₃ ที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานของ Photon Energy มีค่าลดน้อยลงตามลำดับซึ่งเป็นผลจากการกักกันทางควอนตัม ที่ได้จากการเปล่งแสงก็จะมีสีที่ต่างกัน ผลการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่อุณหภูมิต่างกันของฟิล์มบางที่ความหนาของ Alq₃ ต่างกันทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการโดยใช้สมการ Vina กับ สมการ PL intensity ทำการ fit กราฟเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ความหนาของฟิล์มบาง 20 nm และ 50 nm ผลแสดงเป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองซึ่งทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ความหนา 20 nm และ 50 nm

พารามิเตอร์	ความหนา 20 nm	ความหนา 50 nm
Electron-phonon interaction strength; α_B	30.13 meV	49.82 meV
อุณหภูมิเฉพาะ; Θ_B	194 K	379 K
พลังงานโฟนอน; E_B	1.728 eV	1.729 eV
$E_g(0K) = E_B - \alpha_B$	1.698 eV	1.680 eV
พลังงานความร้อนที่ถูกกระตุ้น; E_A	52.82 meV	48.61 meV

จากผลสรุปว่าที่ความหนาของ Alq₃ ที่ 20 nm และ 50 nm พบว่าค่าพารามิเตอร์ของ E_B มีค่าที่ใกล้เคียงกันเพราะว่าในการทดลองซึ่งมีการใช้สารตัวอย่างฟิล์มบางที่เป็นชนิดเดียวกันจึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าของพลังงานโฟนอนต้องมีค่าเหมือนกันเมื่อทำการวัด โดย photoluminescence

เอกสารอ้างอิง

วิทยุ เพชรภา. 2550. **THE STUDY OF ELECTRONIC STATES OF
HETEROSTRUCTURE SEMICONDUCTORS BY
PHOTOLUMINESCENCE AND PHOTOCURRENT SPECTROSCOPIES.**

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้