

การพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์สำหรับวัดคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ
DEVELOPMENT OF PHOTOLUMINESCENCE SYSTEM
FOR MEASUREMENTS OF CHARACTERISTICS IN
SEMICONDUCTOR MATERIALS

นาย วิวัฒน์ มุสิกบุตร
นางสาว สุภาวดี ศรีชมแพง

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยอาชีวศึกษา
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์สำหรับการวัดสมบัติของสารกึ่งตัวนำ
DEVELOPMENT OF PHOTOLUMINESCENCE SYSTEM
FOR MEASUREMENTS OF CHARACTERISTICS IN
SEMICONDUCTOR MATERIALS

นายวัลลภ มุลออด
นางสาวสุฎฐารัตน์ ชมเชย

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

**DEVELOPMENT OF PHOTOLUMINESCENCE SYSTEM
FOR MEASUREMENTS OF CHARACTERISTICS IN
SEMICONDUCTOR MATERIALS**

Mr. WANLOP MOONOU

Miss. SUDARAT CHOMCHOEY

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

หัวข้อโครงการ	การพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์สำหรับการวัดสมบัติของสารกึ่งตัวนำ	
ชื่อนักศึกษา	นายวัลลภ	มุลอูด
	นางสาวสุภาวรัตน์ ชมเชย	
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วราวุฒิ	เถาถัดดา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศ.ทิพวรรณ	คล้ายบุญมี

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการนำเสนอวิธีการวัดช่องระหว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบออร์แกนิกเซมิคอนดักเตอร์ซึ่งเป็นที่ได้รับความนิยมและมีประโยชน์ โดยช่องว่างแถบพลังงานจะถูกวัดด้วยเทคนิคการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนส์ที่อุณหภูมิห้อง โดยระบบการวัดปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนส์ประกอบด้วยเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน เลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัส 70 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการรวมแสงให้ส่งผ่านไปยังเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งเชื่อมต่อกับเลนส์รวมแสงและที่ปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เลเซอร์ไดโอดมีความยาวคลื่น 452 นาโนเมตร และมีกำลัง 2 วัตต์ ถูกใช้เพื่อกระตุ้นอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำแบบออร์แกนิกเซมิคอนดักเตอร์ ค่าความเข้มของโฟโตลูมิเนสเซนส์ถูกวัดจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optics HR4000 ที่มีความละเอียดในการวัดมากถึง 0.02 นาโนเมตร และประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Spectra Suite ปลายด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาด 600 ไมครอน ถูกเชื่อมเข้ากับตัวรับข้อมูลของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และปลายอีกด้านหนึ่งรับการปล่อยพลังงานแสงจากตัวอย่างแบบออร์แกนิกเซมิคอนดักเตอร์ซึ่งติดอยู่กับแท่นยึด สำหรับการเก็บรวบรวมความเข้มแสงของโฟโตลูมิเนสเซนส์ การรวมเวลาของชุดสเปกโตรมิเตอร์ในซอฟต์แวร์ Spectra Suite คือ 20,000 ms ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์ของสารตัวอย่างแบบออร์แกนิกเซมิคอนดักเตอร์ แสดงความสามารถในการเรืองแสงสูงสุดที่สเปกตรัม 877.68 นาโนเมตร โฟตอนเกิดการเรืองแสงที่มีพลังงานของโฟตอนที่ปล่อยออกมาเป็นการวัดโดยตรงของแถบพลังงานมีค่า 1.41 อิเล็กตรอนโวลต์

คำสำคัญ แบบออร์แกนิกเซมิคอนดักเตอร์, โฟโตลูมิเนสเซนส์, แถบพลังงาน, เลเซอร์ไดโอด, สเปกโตรมิเตอร์

Title	Development of photoluminescence system for measurements of characteristics in semiconductor materials
Students	Mr. Wanlop Moonoud Miss. Sudarat Chomchoey
Degree	Bachelor of Science
Program	Physics
Academic Year	2013
Advisor	Assoc. Prof.Dr. Warawoot Thowladda
Co-Advisor	Dr. S.Tipawan khlayboonme

ABSTRACT

In this special project, the energy band gap of GaAs that is a popular and useful semiconductor material was measured using the photoluminescence (PL) technique at room temperature. The experimental setup for the PL technique consists of a blue laser diode, a lens with 70 mm focal length for collecting, focusing laser beam, an optical fiber connected with a collecting lens at the one end, and a spectrophotometer. The laser diode with a wavelength of 452 nm and power of 2 W was used to photoexcite electrons in the GaAs semiconductor. The PL intensity was measured by an Ocean Optics HR4000 spectrometer with a resolution of 0.02 nm and acquired by Spectra Suite Software. The one end of the 600 micron core fiber optic was connected to the spectrometer input and the other end was optimum aligned to collect the photo emission from the GaAs sample mounted on a holder. All optical components including the GaAs sample holder were mounted on an optical breadboard with an isolation system. For collecting the incoming PL intensity, the integration time of the spectrometer set in Spectra Suite software was 20,000 ms. The experimental result showed that the PL measurement of the GaAs sample displayed luminescence peaks in the spectra at 877.68 nm. This luminescent photon that is the energy of the emitted photon was a direct measure of the band gap energy, 1.41 eV.

Keyword Gallium Arsenic , Photoluminescence , Energy gap , Laser Diode , Spectrometer

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ไปได้ด้วยดีนั้น ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด ตลอดจนพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.ศ. ทิพวรรณ กล้ายบุญมี อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำงานวิจัย และช่วยเหลือในการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของรูปเล่มงานวิจัยจนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วิษณุ เพชรภา อาจารย์วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับการจัดหาสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมือและคอยอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผลงานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่ข้าพเจ้าใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและทำการศึกษาจนเกิดความรู้ ความเข้าใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งหวังว่ารายงานโครงการพิเศษเล่มนี้คงจะเกิดประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบโฟโตนิกส์สำหรับการวัดสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

สุดท้ายขออนุญาตขอบคุณใจที่เกิดจากงานวิจัยเล่มนี้ ข้าพเจ้าขอขอบให้แก่บิดา มารดาและครอบครัวที่เป็นที่รักยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดและประสิทธิ์ประสาทวิชาวิชาความรู้ต่างๆให้แก่ข้าพเจ้า

วัลลภ มุลลुक

สุภูรรัตน์ ชมเชย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารกึ่งตัวนำ	4
2.2 เลเซอร์	5
2.3 ปฏิกิริยาการเรืองแสง	11
2.4 โฟโตลูมิเนสเซนซ์	12
2.5 กลไกการเรืองแสงแบบลูมิเนสเซนซ์	16
2.5.1 การเรืองแสงที่เกิดจากอิเล็กทรอนิกส์ในแถบนำรวมตัวโดยตรง กับโฮลในแถบวาเลนซ์	16
2.5.2 การเรืองแสงเนื่องจากอิเล็กทรอนิกส์และโฮลที่อยู่ในระดับพลังงานย่อยร่วมกัน	17
2.5.3 การเรืองแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอิเล็กทรอนิกส์ระหว่าง ระดับโลคอลไลซ์	17
2.5.4 การเปล่งแสงจากเอกซิทอน	18
2.6 การเรืองแสงจากคู่ของอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับ	18
2.7 การตรวจสอบวัสดุด้วยโฟโตลูมิเนสเซนซ์	19
2.8 การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยใช้ Monochromater ในการหาสเปกตรัม	20
2.9 หลักการติดตั้งโฟโตลูมิเนสเซนซ์	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.10 หลักการทำงานของระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์	22
2.10.1 พลังงานกระตุ้น	23
2.10.2 การควบคุมอุณหภูมิ	23
2.11 โปรแกรม SolidWorks	24
2.11.1 ประสิทธิภาพการทำงาน	25
2.11.2 ลักษณะการทำงาน	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	29
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดจับยึดเลเซอร์และชุดเลนส์ ของเส้นใยแก้วนำแสง	29
3.1.1 ออกแบบชุดจับเลเซอร์	29
3.1.2 ออกแบบชุดจับเลนส์ของเส้นใยแก้วนำแสง	32
3.2 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ทางแสงและสารกึ่งตัวนำเปลวเลียมอาร์เซไนด์	33
3.2.1 เลเซอร์ไอโอด	33
3.2.2 Neutral-density filter	34
3.2.3 Collection lens	35
3.2.4 Sample	35
3.2.5 ชุดเลนส์ของใยแก้วนำแสง	36
3.2.6 Ocean optic HR 4000	36
3.2.7 Optical fiber	37
3.2.8 Bread Board Optics	37
3.2.9 โต๊ะลม	38
3.2.10 แวนตากันแสง	38
3.2.11 HEX KEY	39
3.3 การจัดระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์	39
3.4 การวัดการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำเปลวเลียมอาร์เซไนด์ที่เกิดขึ้นในงานวิจัย	41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	43
4.1 เลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว	43
4.2 เลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน	46

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
5.1 วิเคราะห์ผลการเรียงแสงของแกดเลียมอาร์เซไนด์จากระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์	51
5.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์	52
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์	52
เอกสารอ้างอิง	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางคุณสมบัติต่างๆของแกลเลียมอาร์เซไนด์	5
2.2 ตารางแสดงชนิดของสารเรืองแสงตามวิธีการกระตุ้น	11
3.1 ชนิดและเบอร์ขนาดต่างๆของฟิลเตอร์	34
4.1 ค่า Energy gap ของแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่วัดได้จากระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์	48
4.2 พลังงานของเลเซอร์ไดโอดที่วัดได้จากระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การปลดปล่อยพลังงานเมื่อถูกกระตุ้น	7
2.2 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด	10
2.3 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด (ต่อ)	10
2.4 แผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน	12
2.5 กระบวนการการรวมตัวของพาหะที่ทำให้เกิดการเรืองแสงและไม่เรืองแสง	13
2.6 แผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน	14
2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่เรืองแสงออกมากับความยาวคลื่น	14
2.8 แผนภาพกระบวนการการเรืองแสงโดยการเจือสาร 2 ชนิดจะมีเซนซิไทซ์เซอร์เป็นตัว ดูดกลืนแสงและแอกติเวเตอร์เป็นตัวปลดปล่อยแสงโดยรับพลังงานมาจากเซนซิไทซ์เซอร์	15
2.9 แผนภาพแสดงกระบวนการเรืองแสงของพาหะ	15
2.10 แผนภาพแสดงการเรืองแสงในระดับพลังงานของสารเจือที่มีระดับพลังงานภายในช่องว่างแถบพลังงานหลายค่า	16
2.11 แผนภาพแสดงการย้ายสถานะพลังงานแบบมีการเรืองแสงของพาหะอิสระระหว่างแถบนำและแถบวาเลนซ์	16
2.12 แสดงการเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่ถูกจับอยู่ในระดับพลังงานของอะตอมผู้รับ (กรณีย้าย) และ การเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้และโฮลอิสระ	17
2.13 แผนภาพแสดงการเรืองแสงที่เกิดจากการย้ายสถานะพลังงาน	18
2.14 การจัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์	20
2.15 ไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์วัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์	21
2.16 ภาพตัวอย่างโปรแกรม SolidWork	25
2.17 การขึ้นรูปชิ้นงานเสมือนชิ้นงานจริง หรือ Part	26
2.18 ภาพฉายเอกซโนเมตริก ใน Drawing Mode	26
2.19 การประกอบ Part ต่างๆเข้าด้วยกัน	27
3.1 Drawing ฐานรองรับเลเซอร์	30
3.2 Drawing ฐานล็อกเลเซอร์ด้านบนกับฐานรองรับเลเซอร์	30
3.3 Drawing นี้อตเลือกฐานล็อกเลเซอร์ด้านบนกับฐานรองรับเลเซอร์	31
3.4 Drawing แท่งเหล็กสแตนเลส	31
3.5 Drawing ชุดจับเลนส์ของเส้นใยแก้วนำแสง	32

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 เลเซอร์ไดโอด	33
3.7 Neutral-density filter	34
3.8 Collection lens	35
3.9 สารเคลือบผิวอะลูมิเนียม	35
3.10 ชุดเลนส์ของใยแก้วนำแสง	36
3.11 Ocean optic HR 4000	36
3.12 เส้นใยแก้วนำแสง	37
3.13 Bread Board Optic	37
3.14 โตะลม	38
3.15 แวนตากันแสง	38
3.16 HEX KEY	39
3.17 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optic HR4000	39
3.18 โครงสร้างภายในของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optics HR4000	40
3.19 ไดอะแกรมของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์	40
3.20 ระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์	41
3.21 โปรแกรม software ของสเปกโตรมิเตอร์	41
3.22 การตรวจวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสเปกโตรมิเตอร์	42
4.1(ก) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว ที่ความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำเคลือบอะลูมิเนียม (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300K	43
4.1(ข) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว ที่ความยาวคลื่น 500-1100 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำเคลือบอะลูมิเนียม (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300K	44
4.2 สเปกตรัมและการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวใส่สารกึ่ง ตัวนำเคลือบอะลูมิเนียม (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300K	44
4.3 การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำเคลือบอะลูมิเนียม เมื่อยิงเลเซอร์ ไดโอดแสงสีเขียวใส่สารกึ่งตัวนำเคลือบอะลูมิเนียม (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300K	45
4.4(ก) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำเคลือบอะลูมิเนียม (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300K	46
4.4(ข) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน ที่ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำเคลือบอะลูมิเนียม (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300K	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5(ก) การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินใส่สารกึ่งตัวนำ แกลเลียม อาร์เซไนด์ (GaAs) ในช่วงความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 300K	47
4.5(ข) การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินใส่สารกึ่งตัวนำ แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ในช่วงความยาวคลื่น 850-900 นาโนเมตร ที่ อุณหภูมิ 300K	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

แกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำที่มีบทบาทสูงทางด้านออปโตอิเล็กทรอนิกส์ จึงถูกพัฒนาทำเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางแสงมากมาย การพัฒนาระบบโฟโตนิกส์ของสารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ทำให้สามารถสร้างเลเซอร์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในอุณหภูมิห้อง และเป็นหัวใจสำคัญในการประยุกต์ระบบสื่อสารด้วยแสงผ่านเส้นใยแสง ประเด็นสำคัญในการวิจัยและพัฒนาวัสดุชนิดนี้ได้แก่การเตรียมสารแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่มีคุณภาพดี เพื่อใช้สร้างเลเซอร์หรือไดโอดเปล่งแสงที่มีกำลังสูง มีเสถียรภาพดี ใช้งานได้นานหลายหมื่นชั่วโมง ปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) นี้ได้ใช้งานอย่างกว้างขวางในเชิงการค้าของระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง เพื่อใช้ติดต่อข้อมูลข่าวสารระหว่างทางไกลได้ แล้วนอกจากนี้ยังมีการนำเอาไปใช้กับด้านการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ใช้ในระบบอาวุธทางทหาร ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์

การประยุกต์ใช้งานของสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ในอดีต ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์และเลเซอร์ปริ้นเตอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่โตมาก ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) นี้จึงเป็นที่น่าสนใจและมีประโยชน์ สำหรับการสร้างศักยภาพ และรากฐานของอุตสาหกรรมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคต

แกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานแบบตรง (Direct Bandgap) ดังนั้นการรวมตัวระหว่างคู่อิเล็กตรอน-โฮลข้ามแถบพลังงานจะยังส่งผลให้เกิดการเรืองแสงหรือปลดปล่อยโฟตอนที่มีประสิทธิภาพและมีพลังงานโฟตอนใกล้เคียงกับค่าแถบพลังงานของสารนั้น ค่าความยาวคลื่นของโฟตอนจึงกำหนดได้จาก $E_g = \frac{hc}{\lambda}$ โดยที่ h เป็นค่าคงที่ของพลังค์ และ c เป็นความเร็วแสงในสุญญากาศ ความยาวคลื่นของโฟตอนที่ปลดปล่อยจากแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) มีค่าประมาณ 870 nm ที่อุณหภูมิ 300K ความกว้างเชิงสเปกตรัมของการเรืองแสงจะกำหนดได้จากฟังก์ชันของความหนาแน่นของสถานะพลังงาน (density of states function) ความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนสถานะ (transition probabilities) และอุณหภูมิ

คุณสมบัติต่างๆของผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ใช้ทำสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ โดยเฉพาะสิ่งประดิษฐ์ทางแสง เช่น ไดโอดเปล่งแสง เลเซอร์ไดโอด จะสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ได้

จากการเรืองแสง (Luminescence) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์ ปฏิกิริยาการเรืองแสงนี้เรียกว่า โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) ข้อมูลที่ได้จากโฟโตลูมิเนสเซนซ์นี้จะบอกถึงคุณภาพของผลึก ชนิดของสารเจือปน ปริมาณสารเจือปน ประสิทธิภาพในการเรืองแสง สเปกตรัมของการเรืองแสงที่เปล่งออกมา ฯลฯ

การทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์นี้จะใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวกระตุ้น เพราะแสงเลเซอร์มีความเข้มสูงและสามารถยิงได้เฉพาะจุดที่ต้องการศึกษา พลังงานโฟตอนของแสงเลเซอร์ที่ใช้ควรมีค่าสูง จึงต้องเลือกแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น เช่น เลเซอร์ไดโอด (แสงสีน้ำเงิน) การศึกษาโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของแกเลียมอาร์เซไนด์ ค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ไดโอดคือ 450 นาโนเมตรซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการเรืองแสงที่ประมาณ 870 นาโนเมตร จากตัวอย่างแกเลียมอาร์เซไนด์ที่อุณหภูมิ 300 K

การศึกษาและพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของแกเลียมอาร์เซไนด์ เป็นพื้นฐานและขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาคุณภาพของสารประกอบกึ่งตัวนำที่มีใช้งานในการผลิตสิ่งประดิษฐ์ทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่มีบทบาทในเชิงการค้าและใช้งานอย่างกว้างขวางในชีวิตประจำวัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การเรืองแสง (Photoluminescence) ของสารกึ่งตัวนำ
2. เพื่อศึกษาเทคนิคที่สำคัญสำหรับการวัดคุณภาพความบริสุทธิ์และผลึกของสารกึ่งตัวนำ
3. เพื่อศึกษาการกระตุ้น โฟตอนของแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะถูกดูดซับและโฟตอนเทียบเท่าการปล่อยพลังงานออกมา
4. เพื่อพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์และสามารถวัดแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและคุณสมบัติของการเรืองแสง (Photoluminescence)
2. วิเคราะห์คุณสมบัติเทคนิคต่างๆที่ใช้สำหรับวัดคุณภาพของสารกึ่งตัวนำ
3. ศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเรืองแสง
4. ศึกษาคุณสมบัติโฟตอนในการกระตุ้นซึ่งทำให้เกิดการเรืองแสง
5. ศึกษาการจัดระบบและอุปกรณ์ของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์

1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน
1. หาหัวข้องานวิจัยและศึกษาทำความเข้าใจ	เมษายน – กรกฎาคม 2556
2. หาข้อมูลและศึกษาทฤษฎีเพิ่มเติม	กรกฎาคม – ตุลาคม 2556
3. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยและเตรียมการทดลอง	ตุลาคม – พฤศจิกายน 2556
4. ลงมือปฏิบัติทำการทดลอง	พฤศจิกายน 2556 – กุมภาพันธ์ 2557

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

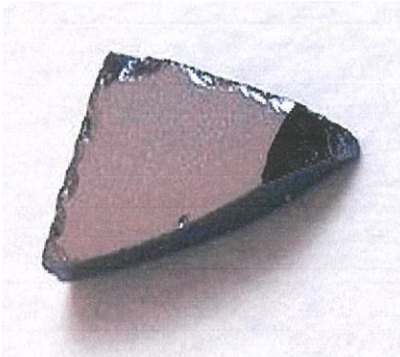
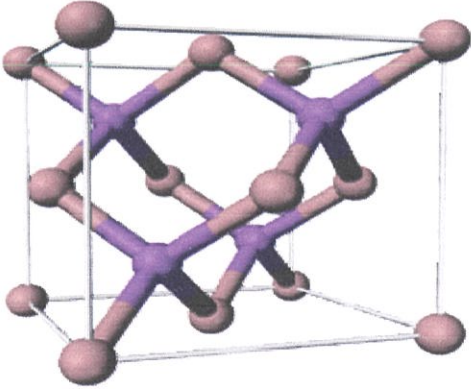
1. สามารถนำไปใช้ตรวจวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์กิ่งตัวนำได้
2. สามารถตรวจสอบแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำได้
3. สามารถนำความรู้ในการเรื่องแสงมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านแสง
4. สามารถนำงานวิจัยมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้จริง
5. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยใช้เป็นแนวทางในการนำไปศึกษาต่อหรือพัฒนาให้ดีขึ้น

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs)

แกลเลียมอาร์เซไนด์มีสูตรเคมี GaAs เป็นสารประกอบระหว่างธาตุ Gallium และ Arsenic (สารหนู) เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำ (semiconductor) ที่ใช้ใน diode, field-effect transistor และ integrated circuit ตัวนำขารัจประจุซึ่งส่วนใหญ่เป็นอิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงภายในอะตอม สิ่งนี้ทำให้ชิ้นส่วน GaAs มีประโยชน์ที่ความถี่วิทยุสูงมาก (ultra-high radio frequency) และในการประยุกต์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์มีเพิ่มมาก อุปกรณ์ GaAs สร้างการรบกวน (noise) น้อยกว่าชิ้นส่วนกึ่งตัวนำประเภทอื่น ส่วนใหญ่สิ่งนี้สำคัญมากในการขยายสัญญาณอ่อนแกลเลียมอาร์เซไนด์ ได้รับการใช้ในการผลิต light emitting- diode (LED) ซึ่งพบได้ในการสื่อสารใยแก้วนำแสงและระบบควบคุมแกลเลียมอาร์เซไนด์ถูกแทนที่ในการผลิตไอซีเชิงเส้นและไอซีดิจิทัล อุปกรณ์เชิงเส้น (เรียกว่าอนาล็อก) รวมออสซิลเลเตอร์และเครื่องขยาย อุปกรณ์ดิจิทัลได้รับการใช้สำหรับสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบคอมพิวเตอร์ด้วย

คุณสมบัติ Gallium arsenide	
สูตรโครงสร้าง	GaAs
ลักษณะทางกายภาพ	รูปโครงสร้าง
	
มวล	144.645 g /mol
ลักษณะ/รูปร่าง	มีสีแดงเข้ม / ผลึกลายแก้ว
ความหนาแน่น	5.3176 กรัม / cm ³
จุดหลอมเหลว	1238 ° C, 1511 k, 2260 ° F

การละลายในน้ำ	ไม่ละลายละลายใน HCL ไม่ละลายใน เอทานอล , เมทานอล , อะซีโตน
Band gap	1.424 eV (300 K)
Electron mobility	8500 cm. ² / (v · s) (300 K)
Thermal conductivity	0.55 W / (cm. · K) (300 K)
Refractive (n_D)	3.8

ตารางที่ 2.1 ตารางคุณสมบัติต่างๆของแกเลียมอาร์เซไนด์

2.2 เลเซอร์ (Laser)

เลเซอร์ (Laser ย่อมาจากคำว่า light amplification by stimulated emission of radiation) ในทางฟิสิกส์คือ อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดลำแสง ที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่รวมกันระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมกับอุณหพลศาสตร์ ซึ่งพลังงานแสงเลเซอร์ สามารถมีคุณสมบัติได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการออกแบบ เลเซอร์ส่วนมากจะเป็นลำแสงที่มีขนาดเล็ก มีการเบี่ยงเบนน้อย (low-divergence beam) และสามารถระบุนความยาวคลื่นได้ง่าย โดยดูจากสีของเลเซอร์ ถ้าอยู่ในสเปกตรัมที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible spectrum) ซึ่งเลเซอร์นี้อาจกล่าวได้ว่า เป็นการรวมพลังงานแสงที่ส่งออกมาจากหลายความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

เลเซอร์จะหมายรวมไปถึงการให้พลังงานผ่านทางสื่อ นำแสง ซึ่งสื่อ นำแสงอาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว ก๊าซ หรืออิเล็กตรอนอิสระที่มีคุณสมบัติสามารถนำแสงได้ ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด ออปติคัล คาวิตี (Optical cavity) จะประกอบไปด้วยกระจก 2 อัน ที่จะจัดเรียงแสงเข้าด้วยกันครั้งแล้วครั้งเล่า โดยที่แต่ละครั้งจะผ่านสื่อ นำแสง โคนหนึ่งในกระจกนั้น (Output coupler) จะส่งลำแสงออกมา

ลำแสงเลเซอร์ที่ผ่านทางสื่อ นำแสงจะมีความยาวคลื่นเฉพาะและมีพลังงานเพิ่ม ซึ่งกระจกนี้จะพยายามทำให้แสงส่วนมาก สามารถผ่านทางสื่อ นำแสงให้ได้ และออกมาเป็นลำแสงเลเซอร์ กระบวนการเหนี่ยวนำลำแสงเพื่อเพิ่มพลังงานนี้ จะใช้พลังงานไฟฟ้าหรือแสงในหลายความยาวคลื่น ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้ง ความยาวคลื่นของแสงในแต่ละความยาวคลื่น จะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติ รูปร่าง และความยาวคลื่นของลำแสงเลเซอร์ที่สร้างออกมา

การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเลเซอร์ เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อเดือนพฤษภาคม ปี 1960 โดย ทีโอดอร์ ไมแมน (Theodore Maiman) ที่สถาบันวิจัยฮิวจ์ (Hughes Research Laboratories) ทุกวันนี้เลเซอร์กลายเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้หลายพันล้านดอลลาร์ ผลผลิตจากงานวิจัยเลเซอร์ และ

กลายเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย มีให้เห็นอย่างเช่น แผ่นซีดี แผ่นซีดี เครื่องเล่นซีดี เครื่องอ่านบาร์โค้ด อุปกรณ์ตัดโลหะด้วยเลเซอร์ ฯลฯ จะเห็นได้ว่าเลเซอร์มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นด้านวิทยาศาสตร์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ หรือแม้กระทั่งด้านการทหาร ก็เพราะว่าเลเซอร์สามารถควบคุมความยาวคลื่นตามที่ต้องการได้

คุณสมบัติของเลเซอร์

1. มีทิศทางเดียวที่แน่นอน (Directionality) ลำแสงเลเซอร์จะขนานกันไปตลอดระยะทางไกลๆ ไม่มีการบานปลายออก ดังนั้นความเข้มของแสงเลเซอร์จะลดลงน้อยมากในระยะทางไกลๆ

2. เป็นแสงเอกรงค์ (Monochromaticity) แสงเลเซอร์มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว แสงกำเนิดแสงที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น หลอดไฟฟ้า และ ดวงอาทิตย์จะเป็นแสงสีขาว ถ้าให้แสงสีขาวนี้ผ่านปริซึม จะเห็นแถบสีต่างๆเรียงกันอย่างต่อเนื่องจากสีม่วงถึงสีแดง เรียกว่า แถบสเปกตรัมของแสงเลเซอร์ เช่น เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน เมื่อให้แสงสีแดงของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนผ่านปริซึม จะไม่มีการแยกเป็นหลายเส้นแต่ยังคงมีเพียง 1 เส้นที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

3. มีความเจิดสว่าง (Brightness) แสงเลเซอร์มีลักษณะโดดเด่นไม่ซ้ำแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นในเชิงความเข้มสูงและเมื่อลำแสงตกกระทบวัตถุ ก็เกิดความระยิบระยับของลำแสงขึ้น (Laser Speckle) โดยเฉพาะเมื่อวัตถุนั้นมีความหยาบหรือแม้แต่ในบรรยากาศที่มีฝุ่นละอองหรือควันซึ่งเป็นอนุภาคแขวนลอยอยู่อย่างกระจาย ทั้งนี้เนื่องจากแสงเลเซอร์เกิดการสะท้อนแบบไม่มีทิศทางกับอนุภาค หรือผิวของวัตถุ และเกิดการแทรกสอดของลำแสง ทำให้เกิดความระยิบระยับขึ้นจึงเป็นมิติของการมองเห็นโดยใช้ Laser displays แสงเลเซอร์กำลังต่ำๆ เช่น เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ขนาด 1 mW ก็มีความเข้มสูงกว่าแสงพระอาทิตย์ ฉะนั้นถ้าฉายเข้าตามนุษย์โดยตรงแล้วจะเป็นอันตรายต่ออวัยวะตาถึงตาบอดได้

4. มีความเป็นอาพันธ์ (coherence) หลอดไฟฟ้าที่เปล่งแสงประกอบด้วยอะตอมที่เล็กจำนวนมาก โดยแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดแสง ดังนั้นแต่ละอะตอมก็ปล่อยแสงออกมาอย่างอิสระซึ่งกันและกัน แสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟจึงมีเฟส และความยาวคลื่นต่างๆกัน ยิ่งกว่านั้นแต่ละคลื่นที่ถูกปล่อยออกมามีทิศทางไม่แน่นอนหรือเป็น random แสงจากแหล่งต้นกำเนิดแสงธรรมดาโดยทั่วไปจะเรียกว่า แสงอินโคฮีเรนซ์ (incoherence light) ต้นกำเนิดของแสงเลเซอร์นอกจากจะให้แสงสีเดียวทุกๆ คลื่นของแสงเลเซอร์จะมีเฟสเดียวกันหมด ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเรียกว่า แสงโคฮีเรนซ์ (coherence light)

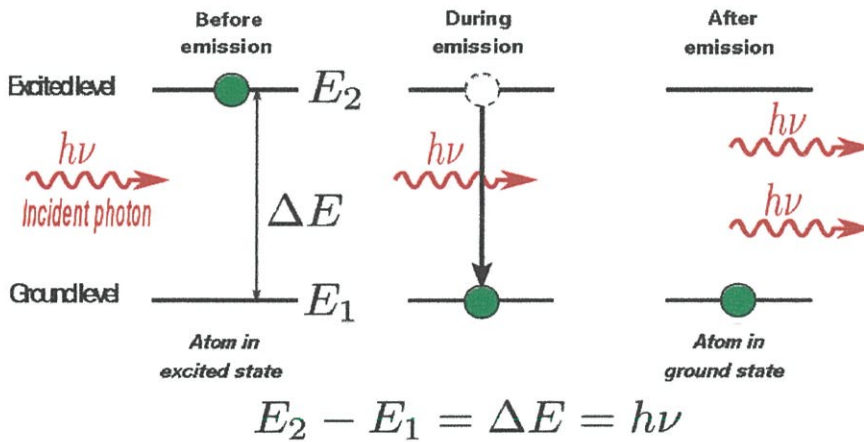
การออกแบบ

เลเซอร์ประกอบด้วยสื่อตัวกลางที่มีกลไกในการป้อนพลังงานเพื่อให้เกิดอัตราการขยายของตัวมันเองและสิ่งที่จะให้ผลลัพธ์ตอบสนองทางด้านแสงกลับคืนมา สื่อตัวกลางที่มีอัตราการขยายเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่อนุญาตให้ขยายแสงโดยการปลดปล่อยด้วยการถูกกระตุ้น แสงของความยาวคลื่นเฉพาะที่ผ่านตัวกลางนั้น ได้ถูกขยาย (เพิ่มกำลัง)

สำหรับสื่อตัวกลางที่ได้รับการขยายแสงมันจะต้องถูกจ่ายพลังงานมาจากแหล่งพลังงานที่นำมาใช้ กระบวนการนี้เรียกว่าการสูบหรือการปั๊ม (pumping) พลังงาน

การปลดปล่อยโดยการกระตุ้น

ในมุมมองแบบฟิสิกส์คลาสสิก พลังงานของอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสมีขนาดใหญ่สำหรับวงโคจรที่ห่างจากนิวเคลียสของอะตอม อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ทางกลศาสตร์ควอนตัมบังคับให้อิเล็กตรอนอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในวงโคจร ดังนั้นอิเล็กตรอนจะถูกพบว่ามีอยู่ในระดับพลังงานที่เฉพาะเจาะจงของอะตอมสองแห่งดังที่แสดงอยู่ด้านล่าง



รูปที่ 2.1 การปลดปล่อยพลังงานเมื่อถูกกระตุ้น

เมื่ออิเล็กตรอนดูดซับพลังงานทั้งจากแสง (โฟตอน) หรือความร้อนเข้าไว้ซึ่งเป็นอุบัติการณ์ทางควอนตัมของพลังงาน แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นในระหว่างระดับพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น ระดับพลังงานสองระดับดังแสดงไว้ด้านบนจะทำให้เกิดเส้นการปลดปล่อย (emission lines) และเส้นการดูดกลืน (absorption lines) ขึ้น

การประยุกต์ใช้งานเลเซอร์

เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติเด่น คือ เป็นคลื่นแสงที่มีระเบียบ มีลักษณะเป็นลำแสง ความเข้มแสงสูง จึงมีศักยภาพในการประยุกต์มากมาย ได้แก่ การใช้เลเซอร์เพื่อเจาะ ตัด เชื่อม เลเซอร์เป็นแสงที่มีความเข้มสูง และเป็นลำแสง เมื่อโฟกัสจะมีขนาดเล็กสามารถ เจาะ ตัด เชื่อมวัสดุต่างๆได้ รูปที่เจาะ รอยเชื่อม จะมีขนาดเล็กและคมชัดมาก ทำให้สามารถทำงานที่มีความละเอียดสูงได้ เลเซอร์ที่ใช้งานต้องมีกำลังสูงเช่น เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์

1. การใช้เลเซอร์ด้านการแพทย์

เลเซอร์ถูกนำมาใช้ในการผ่าตัดและรักษาทางการแพทย์และจักษุแพทย์ เช่น การผ่าตัดที่มีขนาดเล็ก (Microsurgery) การผ่าตัดต่อ เป็นต้น เลเซอร์ที่ใช้ ได้แก่ เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ เลเซอร์อาร์กอน การเลือกใช้เลเซอร์แบบต่างๆขึ้นอยู่กับว่าอวัยวะที่ต้องการผ่าตัดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงสีอะไร และขนาดกำลังของเลเซอร์ เช่น เส้นเลือดแดงจะดูดกลืนสีแดงได้น้อย จึงใช้เลเซอร์แสงสีเขียวที่ได้จากเลเซอร์ก๊าซอาร์กอน

ในการใช้งานจริงๆอาจใช้ลำแสงที่มีกระจกเลนส์อยู่ภายใน และหักงอได้เป็นตัวนำแสงเลเซอร์ ไปยังบริเวณรอยโรคที่จะผ่าตัด หรือใช้ลำแสงเลเซอร์ผ่านกล้องจุลทรรศน์ผ่าตัด ในการรักษาโรคมะเร็ง เลเซอร์ที่ใช้จะต้องมีความหนาแน่นพลังงาน 300-500 ลูกบาศก์เซนติเมตร แสงเลเซอร์จะทำลายเซลล์เนื้องอก โดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อปกติโดยรอบ บาดแผลภายหลังการผ่าตัดจะฟื้นตัวเร็ว ในงานจุลศัลยกรรมของเส้นเลือด เลเซอร์สามารถห้ามเลือดให้หยุดไหลโดยการเชื่อมเส้นเลือดเล็กๆภายในบริเวณจำกัดให้ติดกัน วิธีการอาจใช้ท่อนำแสงเข้าช่วยด้วย เพื่อนำแสงเลเซอร์ไปตามช่องอวัยวะที่เข้าถึงยาก

2. การใช้เลเซอร์ด้านสื่อสารโทรคมนาคม

การสื่อสารในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้คลื่นไมโครเวฟหรือใช้โทรศัพท์ อย่างไรก็ตามหลังจากที่มีการพัฒนาเลเซอร์ไดโอด (semiconductor diode laser) และเส้นใยแก้วนำแสง (optical fiber) แล้ว การสื่อสารด้วยแสง (optical communication) หรือการส่งข้อมูลข่าวสารจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรือระหว่างเมืองต่างๆก็เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ในอนาคตการสื่อสารด้วยเลเซอร์จะเข้ามาแทนที่ระบบโทรศัพท์ที่ใช้ลวดตัวนำที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แสงเลเซอร์นี้มีจุดเด่นที่จะไม่มีสัญญาณรบกวน เพราะเป็นคลื่นแสง มีความจุข้อมูลสูงมากเพราะมีความถี่สูงกว่าคลื่นวิทยุ ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงเส้นหนึ่งสามารถจุคู่สายโทรศัพท์ได้เป็นพันๆคู่

3. การใช้เลเซอร์ด้านการสร้างภาพสามมิติ

ปัจจุบันได้ใช้เลเซอร์ในการสร้างภาพ 3 มิติหรือภาพฮอโลกราฟี (Holography) หมายถึงกระบวนการสร้างภาพโฮโลแกรม (Hologram) ซึ่งเป็นภาพ 3 มิติ แตกต่างจากการสร้างภาพเชิง 3 มิติ โดยโฮโลแกรมนั้นเป็นภาพที่บันทึกลงบนฟิล์มหรือแผ่นเคลือบด้วยสารสำหรับบันทึกแสง ซึ่งผ่านเทคนิคการบันทึกด้วยการใช้ แสงที่มีหน้าคลื่นสอดคล้องกัน (coherence) เช่น แสงเลเซอร์ และเมื่อถูกส่องสว่างอย่างเหมาะสม จะแสดงให้เห็นภาพที่มีลักษณะ 3 มิติ

ฮอโลกราฟี เป็นเทคนิคที่ช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จะบันทึก และได้ถูกสร้างขึ้นใหม่ต่อมา เพื่อให้ปรากฏเป็นวัตถุอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับการบันทึก การเปลี่ยนแปลงรูปแบบตำแหน่งและทิศทางของการระบบการมองเห็น เปลี่ยนแปลงไปอย่างถูกต้องเหมือนกับถ้าวัตถุยังคงเป็นปัจจุบันจึงทำให้ภาพที่บันทึก (โฮโลแกรม) ปรากฏเป็นสามมิติ

เทคนิคของฮอโลกราฟียังสามารถใช้ในการเก็บ คัด และประมวลผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแสง ในขณะที่ฮอโลกราฟีเป็นที่นิยมใช้เพื่อใช้แสดงภาพ 3 มิติแบบคงที่ แต่ก็ยังไม่สามารถสร้างจากตามต้องการโดยการแสดงปริมาตรของ Holographic ได้

เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกลเลียมอาร์เซไนด์) , GaAlAs (แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) , InGaAsP (อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานต่างๆ กัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

เลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้นๆ เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดง จะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด ได้แก่ หัวต่อพีเอ็นแบบเฮเทอโรจังชัน (Heterojunction) เช่น GaAlAs / GaAs ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอดมีค่าสูงขึ้น เพราะใช้กระแสที่เลเซอร์ไดโอดเริ่มทำงานน้อยลง การฉีดกระแสไฟฟ้าผ่านหัวต่อพีเอ็นของเลเซอร์ไดโอด เป็นวิธีการปั๊มพลังงาน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของพาหะนำไฟฟ้า ในสารกึ่งตัวนำ และนำมาสู่การเปล่งแสง แสงที่เปล่งออกมาจะถูกขยายสัญญาณให้มีความเข้มสูงขึ้น ด้วยควาวิต่แสงที่เกิดจากผิวมัน สะท้อนแสงของผิวผลึกที่ทำให้แตกโดยธรรมชาติ (Cleaved surface)

2.3 ปรากฏการณ์การเรืองแสงของสาร (Luminescence)

ปรากฏการณ์การเรืองแสงของสาร (Luminescence) เป็นชื่อเรียกปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงทั้งหมด นอกเหนือจากการเรืองแสงชนิดการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) และชนิดการแผ่รังสีเชเรนโกฟ (Cerenkov radiation) การเรืองแสงของสารเกิดจากการที่อะตอมหรืออิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากระดับพลังงานสูงลงมาสู่สถานะระดับพลังงานที่ต่ำกว่าการเรืองแสงของสาร การเรืองแสงของสารเกิดได้ทั้งในวัสดุที่เป็นก๊าซ ของเหลว และของแข็ง รวมไปถึงวัสดุชนิดอนินทรีย์และอินทรีย์ วิธีการกระตุ้นให้พลังงานแก่วัสดุมีได้หลายวิธี เช่น การฉายแสง การยิงลำอิเล็กตรอน การยิงลำไอออน การเพิ่มความกดดัน การเพิ่มความร้อน การทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี การป้อนสนามไฟฟ้า และการผ่านสนามไฟฟ้า เป็นต้น โดยชนิดของลูมิเนสเซนซ์จะมีการแบ่งตามวิธีการกระตุ้นดังตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของสารเรืองแสงตามวิธีการกระตุ้น

ชนิดของลูมิเนสเซนซ์	วิธีการกระตุ้น
- โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence : PL) - ชนิดสโตก (Stoke type) - ชนิดแอนติสโตก (Anti-Stoke type)	แสง
- อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence : EL) - อินทรินซิกอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ - ไดโอดเปล่งแสง	ไฟฟ้า
- แคโทดลูมิเนสเซนซ์ (Cathode - luminescence)	อิเล็กตรอน
- เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Turmo - luminescence)	ความร้อน
- ไทโรโบลูมิเนสเซนซ์ (Tribo - luminescence)	การเสียดสี
- เคมีคอลลูมิเนสเซนซ์ (chemical - luminescence)	ปฏิกิริยาเคมี
- เอกซ์เรย์ลูมิเนสเซนซ์ (x-ray - luminescence)	รังสีเอกซ์

ในกรณีของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์จะทำงานโดยเริ่มจากปรอทที่บรรจุอยู่ในหลอดจะถูกกระตุ้นโดยสนามไฟฟ้าให้เกิดการคายประจุ (Discharge) ทำให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากนั้นรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่บริเวณผิวด้านในของหลอดทำให้เกิดแสงสว่างที่ตามนุษย์มองเห็น กรณีจอภาพโทรทัศน์ชนิด CRT (cathode ray tube) สว่างได้เพราะสารเรืองแสงชนิดฟอสเฟอร์ (phosphors) ถูกกระตุ้นด้วยลำอิเล็กตรอนที่ถูกยิงออกมาจากปืนอิเล็กตรอน (electron gun) กรณีไดโอดเปล่งแสง (LED) นั้นเปล่งแสงได้เพราะมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

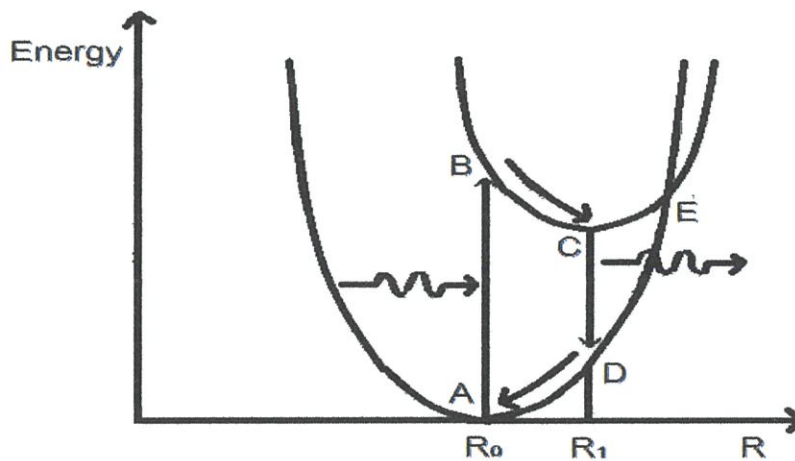
เข้าไป ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์เหล่านี้มีความสำคัญมากต่อประสาทตาของมนุษย์ทำให้ตาของมนุษย์มองเห็นสิ่งต่างๆได้ ทำให้มนุษย์สามารถรับรู้และอ่านข้อมูลจากหน่วยแสดงผลได้ด้วยตา และทำให้มนุษย์สามารถดำรงอยู่ได้อย่างมีความสุข

2.4 โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)

โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) คือ ปรากฏการณ์การเปล่งแสงอันเนื่องจากการกระตุ้นพาหะด้วยวิธีการส่องแสง (excitation by light) แบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

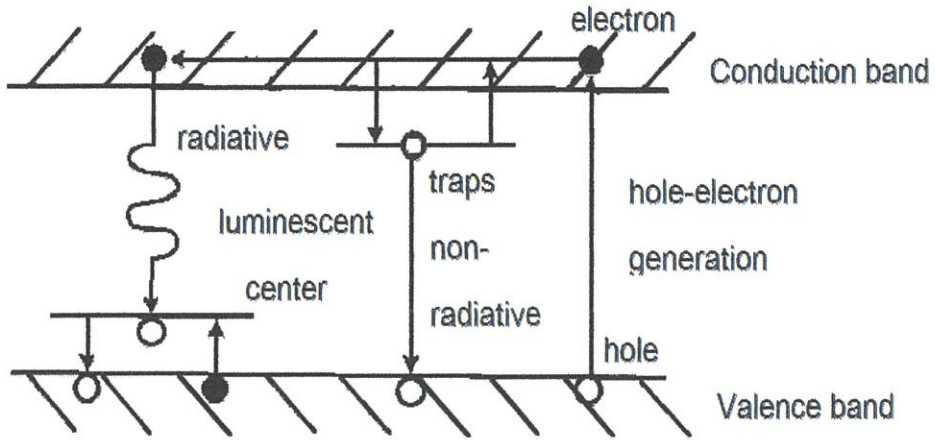
1. Stoke type luminescence เกิดขึ้นจากพลังงานโฟตอนในการเปล่งแสงบางส่วนมีการสูญเสียไปเป็นพลังงานความร้อนทำให้มีค่าน้อยกว่าพลังงานโฟตอนในการกระตุ้นด้วยแสง

2. Anti-Stoke type luminescence เกิดขึ้นได้เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟนอนจากโครงผลึก (คูคกลืนโฟนอน) หรืออิเล็กตรอนคูคกลืนพลังงานโฟตอนจากแสงหลายๆชั้นตอน และเปล่งแสงเพียงครั้งเดียว ทำให้พลังงานในการเปล่งแสงมีค่ามากกว่าพลังงานโฟตอนในการกระตุ้นด้วยแสง



รูปที่ 2.4 แผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน

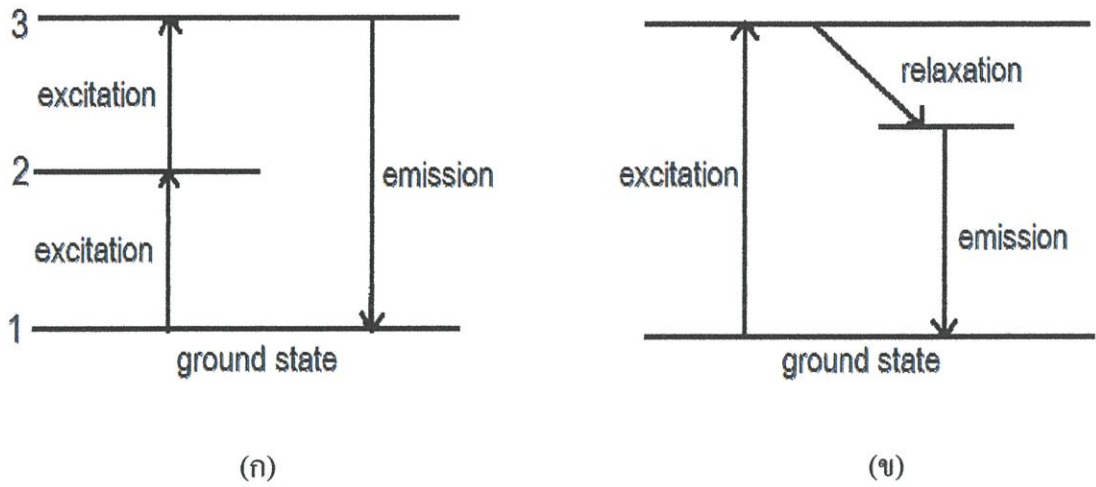
จากรูปที่ 2.4 จากอิเล็กตรอนที่อยู่ตำแหน่ง A เมื่อคูคกลืนพลังงานโฟตอนจะถูกกระตุ้นจนไปอยู่ที่ตำแหน่ง B และหลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะย้ายสถานะพลังงานไปอยู่ในตำแหน่งใหม่ (R_1) และอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากตำแหน่ง B ไปยัง C ได้ปล่อยโฟนอน (non-radiative) ออกไป หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะย้ายสถานะพลังงานจากจุด C ไปยัง D และเรืองแสง (radiative) โดยจะมีโฟตอนเกิดขึ้น และที่ตำแหน่ง D อิออนรอบๆจะรีแลกเซชันเพื่อกลับไปยังตำแหน่ง (R_0) ที่ตำแหน่ง C เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้การเรืองแสงหายไป (quenching temperature) อิเล็กตรอนจะไปอยู่ที่ตำแหน่ง E จะทำให้อิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้น (excited state) สามารถกลับมาที่สถานะพื้น (ground state) ได้เลย โดยพลังงานค่าเดิมจะไม่มี การเรืองแสงออกมา (non-radiative)



รูปที่ 2.5 กระบวนการการรวมตัวของพาหะที่ทำให้เกิดการเรืองแสงและไม่เรืองแสง

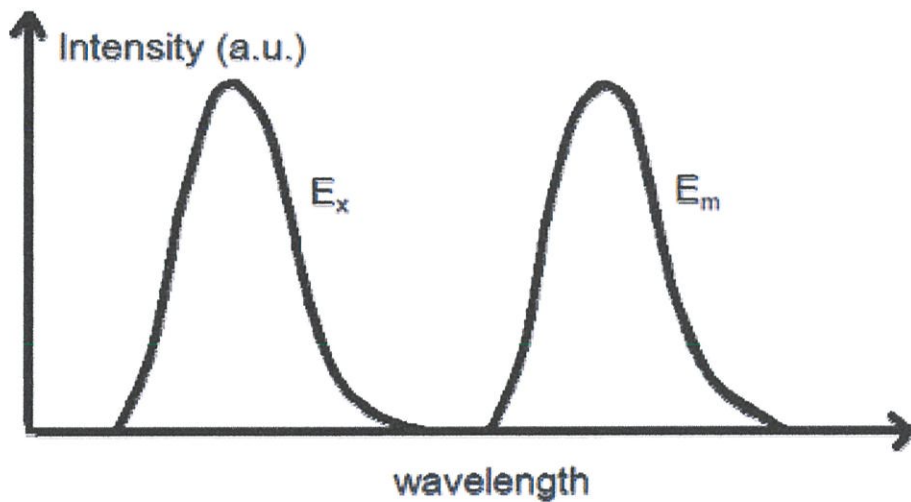
จากรูปที่ 2.5 เมื่ออิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ถูกกระตุ้น อิเล็กตรอนจะเกิดการเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม หากอิเล็กตรอนนี้ถูกจับไว้ในกับดักอิเล็กตรอน (trap) มากกว่าจึงทำให้สารกึ่งตัวนำไม่ค่อยเกิดการเรืองแสง

จากปรากฏการณ์การเรืองแสงแบบปกติ พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาในการเรืองแสงจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานกระตุ้น แต่ในปรากฏการณ์ Anti-Stoke พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีค่าสูงกว่าพลังงานกระตุ้น เนื่องจากอะตอมของธาตุบางชนิดมีระดับพลังงานที่ตรงกึ่งกลางพอดี เมื่อเราใส่พลังงานกระตุ้นที่มีค่าเท่ากับระดับพลังงาน 1 ไป 2 นั้น จะเปรียบเสมือนว่าให้พลังงานกระตุ้นจากระดับพลังงาน 2 ไป 3 ด้วย ดังนั้นในที่สุดอิเล็กตรอนจะย้ายสถานะพลังงาน จากระดับพลังงาน 1 ไป 3 เมื่อให้พลังงานกระตุ้นภายในครั้งเดียว และจากนั้นจะย้ายสถานะ พลังงานจากระดับพลังงาน 3 มายังระดับพลังงาน 1 โดยปลดปล่อยพลังงานออกมาดังนั้น พลังงานโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาจึงมีค่ามากกว่าพลังงานโฟตอนกระตุ้นที่ใส่เข้าไป ดังรูป 2.6 (ก)



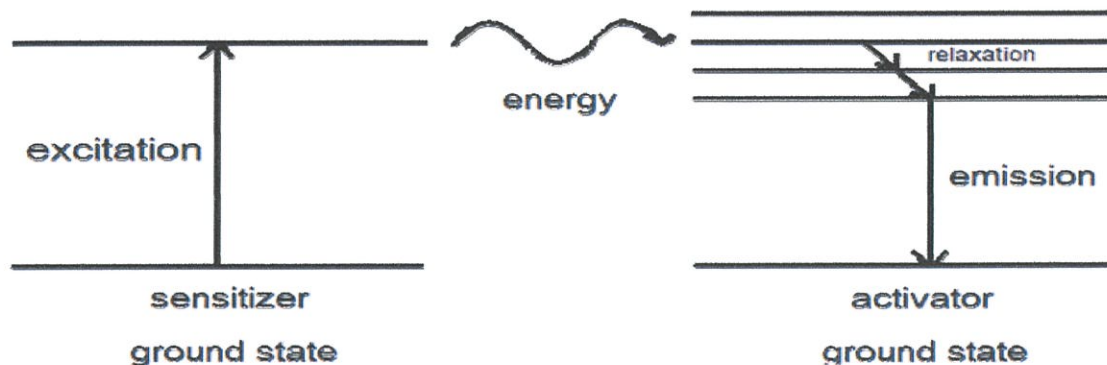
รูปที่ 2.6 แผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน

- ก. แอนติสโตก (anti-stoke)
- ข. ปราคฏการณ์การเรืองแสงแบบปกติ

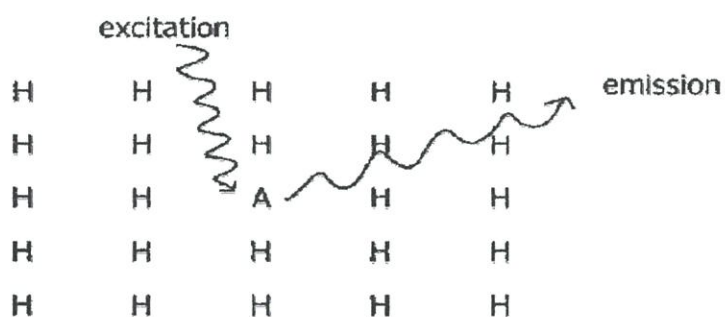


รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่เรืองแสงออกมากับความยาวคลื่น

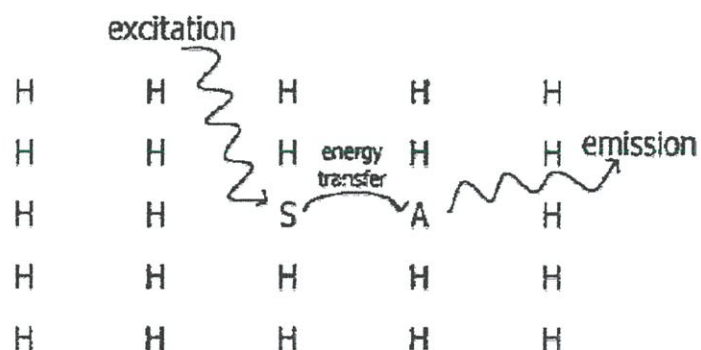
จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าพลังงานของการเรืองแสงจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานกระตุ้น เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเลื่อนไปของสโตก (stoke shift) พลังงานที่หายไปจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนให้กับโครงผลึก (lattice) โดยที่ E_x และ E_m คือ แถบพลังงานการกระตุ้นและแถบพลังงานของการเรืองแสงตามลำดับ



รูปที่ 2.8 แผนภาพกระบวนการการเรืองแสงโดยการเชื่อมสาร 2 ชนิดจะมีเซนซิไทซ์เซอร์เป็นตัวดูดกลืนแสงและแอกติเวเตอร์เป็นตัวปลดปล่อยแสงโดยรับพลังงานมาจากเซนซิไทซ์เซอร์



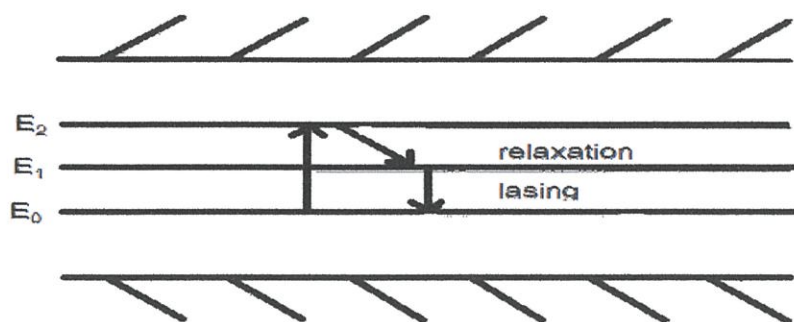
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงกระบวนการเรืองแสงของพาหะ

- ก. แสดงถึงตัวแอกติเวเตอร์ (A) ในโครงผลึกเจ้าบ้าน (H)
- ข. แสดงทั้งเซนซิไทซ์เซอร์ (S) และแอกติเวเตอร์ (A) ในโครงผลึกเจ้าบ้าน (H)



รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการเรืองแสงในระดับพลังงานของสารเจือที่มีระดับพลังงานภายในช่องว่างแถบพลังงานหลายค่า

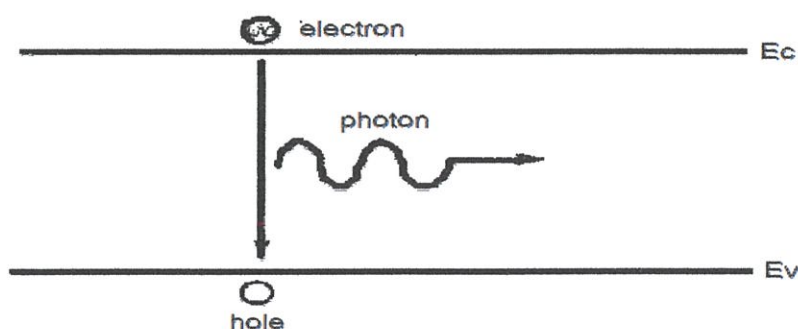
เมื่อไอออนถูกกระตุ้นจะย้ายสถานะพลังงานขึ้นไปสู่ระดับพลังงานสูงสุดของสารเจือ จากนั้นจะเกิดการผ่อนคลาย (relaxation) หลังจากนั้นจะเกิดการเรืองแสง (lasing) ตกกลับลงมาที่ระดับพลังงานต่ำที่สุดของสารเจือและจะเรืองแสงในตัวของมันเองออกมา

2.5 กลไกการเรืองแสงแบบลูมิเนสเซนซ์

กลไกการเรืองแสงแบบลูมิเนสเซนซ์เกิดจากการย้ายสถานะของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานสูงลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ โดยสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

2.5.1 การเรืองแสงที่เกิดจากอิเล็กตรอนในแถบนำรวมตัวโดยตรงกับโฮลในแถบวาเลนซ์

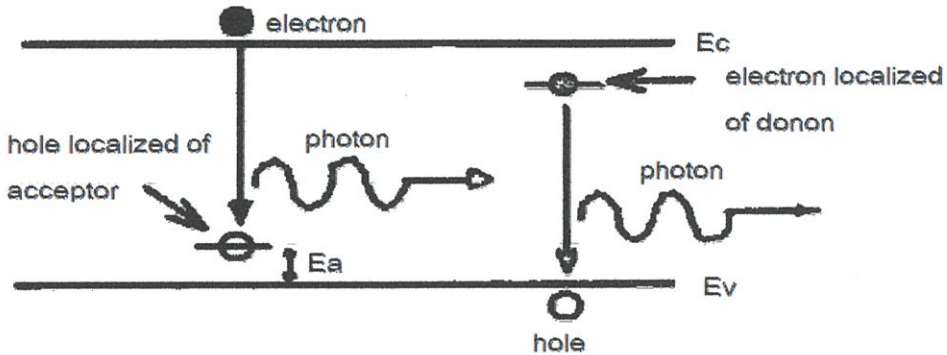
เป็นการเรืองแสงที่เกิดจากการย้ายสถานะระหว่างแถบพลังงานของอิเล็กตรอน (band - to - band transition) กล่าวคือเป็นการรวมตัวกันโดยตรงระหว่างอิเล็กตรอนและโฮล โดยอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนำตกลงมารวมตัวกัน โฮลที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ถ้าสารกึ่งตัวนำเป็นชนิดช่องว่างแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap) แสงที่เปล่งออกมา จะมีพลังงานโฟตอนเท่ากับขนาดของช่องว่างพลังงาน



รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงการย้ายสถานะพลังงานแบบมีการเรืองแสงของพาหะอิสระระหว่างแถบนำและแถบวาเลนซ์

2.5.2 การเรืองแสงเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลที่อยู่ในระดับพลังงานย่อยร่วมกัน

เกิดจากอิเล็กตรอนในแถบนำรวมกับโฮล ที่ถูกจับอยู่ในระดับพลังงานของอะตอมผู้รับ หรืออิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ในระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้รวมตัวกับโฮลที่อยู่ในแถบวาเลนซ์โดยการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนดังกล่าวได้แสดงไว้ใน รูปที่ 2.9



รูปที่ 2.12 แสดงการเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่ถูกจับอยู่ในระดับพลังงานของอะตอมผู้รับ (กรณีซ้าย) และ การเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้และ โฮลอิสระ

2.5.3 การเรืองแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอิเล็กตรอนระหว่างระดับโลคอลไลซ์

เกิดจากการย้ายสถานะของอิเล็กตรอนที่มีสถานะพลังงานแบบ โลคอลไลซ์ (localized states-to-localized states) ตัวอย่างเช่น การเปล่งแสงจากศูนย์กลางชนิด F (F-centers) ในวัสดุชนิดอัลคาไลด์เฮไลด์ซึ่งผลึกของวัสดุชนิดนี้เมื่อถูกอบให้ร้อนภายในบรรยากาศของโลหะตระกูลอัลคาไลด์ เช่น Li, Na, K, Rb, Cs และ Fr จะทำให้อะตอมของโลหะอัลคาไลด์แพร่ซึมเข้าไปในเนื้อผลึกอัลคาไลด์เฮไลด์และทำให้ในเนื้อผลึกนั้นมีจำนวนอะตอมชนิดเฮไลด์ เช่น F, Cl, Br, I และ At ที่ไม่สมดุลกับอะตอมอัลคาไลด์นั่นคือเปรียบเสมือนกับเกิดช่องว่างที่ขาดอะตอมเฮไลด์ จากนั้นเพื่อให้สภาพทางไฟฟ้าเป็นกลางอิเล็กตรอนจะวิ่งไปจับอยู่ที่ช่องว่างของเฮไลด์เปรียบเสมือนว่าช่องว่างนั้นเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนจะถูกแรงดึงดูดบังคับคู่ควบไว้คล้ายกับแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจน และอิเล็กตรอนเหล่านั้นมีสถานะพลังงานอยู่ที่สถานะพื้น ต่อจากนั้นเมื่อมีแสงส่องเข้าสู่ผลึกชนิดนี้ แสงนั้นจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากสถานะพื้นให้ขึ้นไปสู่สถานะกระตุ้น (excited state) จึงเกิดการดูดกลืนแสงขึ้น และทำให้ผลึกนั้นมีสีตามความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืน เราเรียกการเกิดจุดบกพร่อง (defects) ของโครงผลึกเช่นนี้ว่าเป็นการเกิดศูนย์กลางสี (color centers) หรือ ศูนย์กลางเอฟ (F-centers)

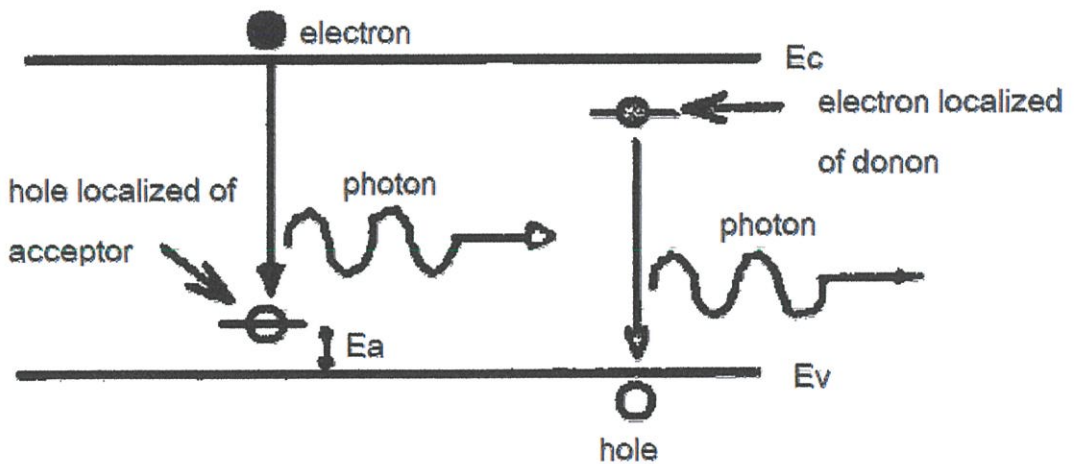
2.5.4 การเปล่งแสงจากเอกซิตอน (Exciton)

เอกซิตอน คือ คู่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกกระตุ้น แต่พลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นนั้นยังมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้พาหะทั้งคู่แยกออกจากกันเป็นอิสระได้ กล่าวคือยังมีแรงคูลอมบ์ดึงดูดให้อิเล็กตรอนและโฮลจับกันอยู่เป็นคู่ๆ และระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและของโฮลยังอยู่ภายในช่องว่างพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนและโฮลดังกล่าวเกิดการรวมกันจะปลดปล่อยพลังงานออกมา โดยเอกซิตอนมี 2 ชนิด คือ

1. เอกซิตอนชนิดที่เป็นอิสระ (free exciton) การเรืองแสงจากเอกซิตอนชนิดอิสระนี้มีค่าพลังงานโฟตอนน้อยกว่าขนาดของช่องว่างพลังงานเล็กน้อย
2. เอกซิตอนชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยว (bound exciton) เนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลในเอกซิตอนชนิดนี้อยู่ใกล้กันมาก ดังนั้นพลังงานโฟตอนของแสงที่ถูกเรืองออกมาจากการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอน และโฮลจึงมีค่าน้อยกว่าขนาดของช่องว่างพลังงานมาก

2.6 การเรืองแสงจากคู่ของอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับ (DA pair)

การเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานผู้ให้และโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานผู้รับ โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพดีมาก รูปที่ 2.9 แสดงกลไก การรวมตัวของพาหะชนิดนี้



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงการเรืองแสงที่เกิดจากการย้ายสถานะพลังงาน

คุณสมบัติของการเรืองแสงชนิดนี้มีลักษณะเด่นหลายข้อซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

- ความน่าจะเป็นของการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮล $W(r)$ ขึ้นกับระยะทาง (r) ของอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับถ้าระยะห่างของอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับมีค่าน้อย จะมีการเรืองแสงก็จะดีจะดีดังนี้

$$W(r) = W_{\max} e^{\frac{-r}{R_d}} \quad (2.1)$$

โดย W_{\max} คือ ค่าคงที่
 R_d คือ ค่ารัศมีของวงโคจรอิเล็กตรอนรอบอะตอมผู้ให้

พลังงานโฟตอนของการเรืองแสง มีค่า

$$h\nu = E_g - (E_a + E_d) + \frac{q^2}{\epsilon_r} \quad (2.2)$$

โดย E_g คือ ช่องว่างของแถบพลังงาน
 E_a, E_d คือ ระดับของพลังงานของอะตอมผู้รับและอะตอมผู้ให้ ตามลำดับ
 q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน
 ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุ

- ถ้าเพิ่มความเข้มแสงที่ใช้กระตุ้นจะทำให้สเปกตรัมของการเรืองแสง เคลื่อนตัวไปทางพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากขึ้น
- หลังจากตัดแสงที่ใช้กระตุ้นออก และเมื่อเวลาผ่านไปสเปกตรัมของการเรืองแสงจะเคลื่อนตัวไปทางพลังงานโฟตอนที่มีค่าน้อยลง

2.7 การตรวจสอบวัสดุด้วยโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence : PL)

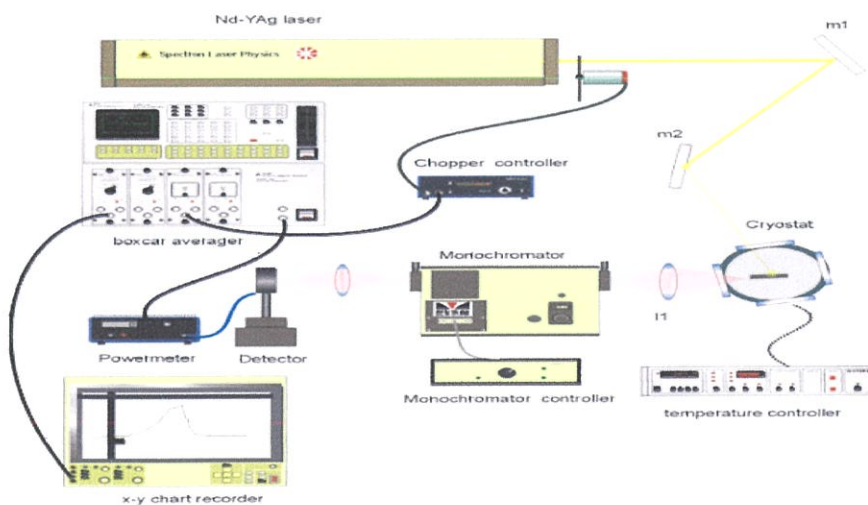
โฟโตลูมิเนสเซนซ์ คือ การเรืองแสงของวัสดุเนื่องจากถูกกระตุ้นด้วยแสง จะใช้ศึกษา ลักษณะเฉพาะที่หลากหลายของวัสดุ เช่น ลักษณะพื้นผิว ความบริสุทธิ์ของ โลหะผสม รวมไปถึง ความขรุขระของพื้นผิว

การทดสอบวัสดุด้วยโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เป็นการตรวจสอบที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับสารตัวอย่าง นอกจากนี้เวลาในการทำการทดสอบด้วยวิธีนี้ค่อนข้างน้อยจึงสามารถใช้ทดสอบกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในวัสดุได้ การสั้นของความเข้มของสัญญาณโฟโตลูมิเนสเซนซ์ จะเกิดขึ้นได้หากให้สนามไฟฟ้าให้ที่ผิวของชิ้นงาน นอกจากนี้ยังพบว่าความร้อนมีผลต่อความเข้มของสัญญาณโฟโตลูมิเนสเซนซ์ด้วย

ข้อเสียของการตรวจสอบวัสดุด้วยโฟโตลูมิเนสเซนซ์ จะเกิดขึ้นเนื่องจากการศึกษารังสีที่ถูกปล่อยของวัสดุ ดังนั้นหากใช้ทดสอบวัสดุที่มีค่าประสิทธิภาพการเรืองแสง (radiative efficiency) ต่ำจะเป็นการยากที่จะศึกษาด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนซ์ และการทดลองต้องจัดด้วยมือหรือต้องควบคุมสภาพแวดล้อมเป็นอย่างดี เนื่องจากชิ้นงานจะต้องถูกกระตุ้นด้วยแสงซึ่งจะเกิดอย่างรวดเร็ว

2.8 การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยใช้ Monochromator ในการหาสเปกตรัม

เครื่องมือทดลองมีแสดงในรูปที่ 2.11 แหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ เลเซอร์อาร์กอนที่มีแสงสีน้ำเงิน ($\lambda = 4880 \text{ \AA}$) ซึ่งมากำลัง 50 มิลลิวัตต์ แสงนี้จะถูก chopper เป็นพัลส์และผ่านเลนส์เพื่อบีบลำแสงให้เล็กลง จุดโฟกัสจะตกลงบนตัวอย่างสารบนจุดที่ต้องการจะศึกษา ที่ chopper จะมีตัวจับแสง และหลอดไฟเพื่อสร้างสัญญาณอ้างอิงสำหรับส่งไปเข้าเครื่อง Lock - in Amplifier ตัวอย่างสารเคลือบอาร์เซนไนค์จะอยู่ใน Cryostat ที่เติมไนโตรเจนเหลวไว้ ดังนั้นอุณหภูมิของตัวอย่างจึงเท่ากับ 77 K แสงที่เรืองจากตัวอย่างจะถูกเก็บรวบรวมด้วยระบบเลนส์ที่มีขนาดโตและจุดโฟกัสสั้น และส่งเข้าไปวิเคราะห์หาสเปกตรัมในเครื่อง Monochromator ซึ่งใช้ระบบ Grating สัญญาณแสงที่แยกสเปกตรัมแล้วจะถูกวัดความเข้มด้วยหลอด Photomultiplier ซึ่งหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวเช่นเดียวกัน เพื่อลดสัญญาณรบกวน สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปขยายให้มีขนาดโตด้วย Lock - in Amplifier โดยถือให้สัมพันธ์ตรงกับสัญญาณอ้างอิง จากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่องบันทึก X - Y หรือดูด้วยเครื่อง Dual Beam Oscilloscope



รูปที่ 2.14 การจัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์

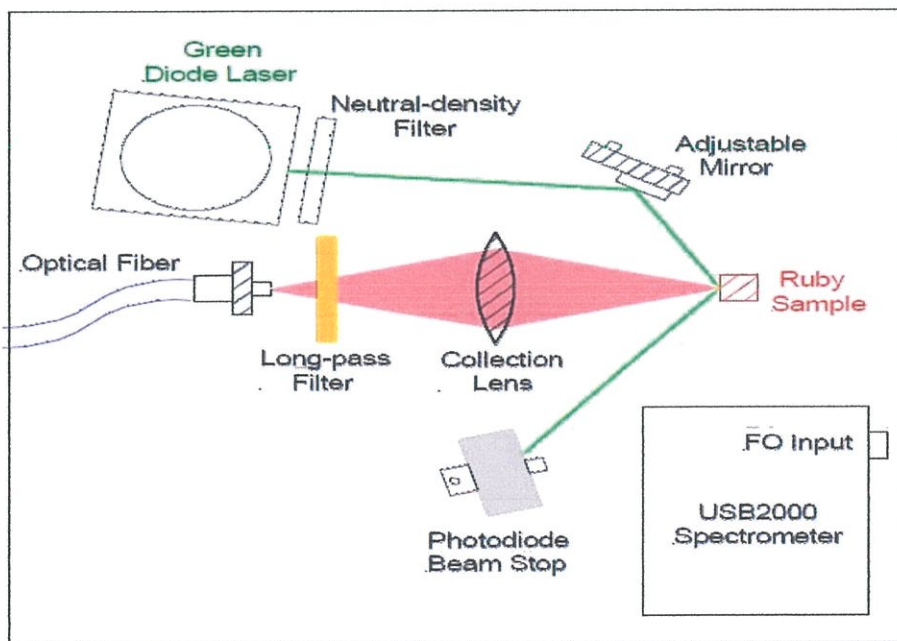
ในการจัด Alignment ทางแสงนั้นจะมีส่วนสำคัญในการทดลองที่มีประสิทธิภาพเพราะสัญญาณโฟโตลูมิเนสเซนซ์จะมีขนาดต่ำ จึงต้องพยายามรวบรวมแสงให้เข้าเครื่อง Monochromator มากที่สุด และใช้แรงดันไฟกับหลอด Photomultiplier อย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่ม Sensitivity ในขณะที่เดียวกันมีสัญญาณรบกวนน้อยด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณของโฟโตลูมิเนสเซนซ์

การนำเอาเครื่อง Data logger เข้ามาต่อกับระบบการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ยังทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณหาของแถบพลังงานของสาร และปริมาณ AI Content ในสารประกอบเกลือผลึกโมลิบดีนัมอาร์เซไนต์ได้ด้วย

สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นเกลือผลึกอาร์เซไนต์นั้นจะให้การเรืองแสงในช่วงอินฟราเรด (8400 Å) ตามมองไม่เห็น

2.9 หลักการติดตั้งโฟโตลูมิเนสเซนซ์

พื้นฐานการติดตั้งอุปกรณ์วัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์จะติดตั้งตัว neutral-density (ND) filter หรือฟิลเตอร์ ND เพื่อใช้ลดปริมาณแสงที่มากเกินไปจนความต้องการไวตรงส่วนของด้านหน้าตรงแสงเลเซอร์ และให้ลำแสงเลเซอร์จะตกกระทบบนกระจกสะท้อนที่ปรับเปลี่ยนทิศทางของลำแสงให้อยู่ในระนาบเดียวกัน แล้วให้แสงเลเซอร์ไปตกกระทบบน Photodiode Beam Stop เพื่อเราต้องการหยุดลำแสงเลเซอร์ให้มาตกเพียงที่เดียวคือบริเวณ Beam Stop



รูปที่ 2.15 โค้ดแกรมการติดตั้งอุปกรณ์วัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์

ในลำดับถัดไป collection optics จะสอดคล้องกับการใช้สูตรในการคำนวณหาระยะภาพ และระยะวัตถุ ซึ่งค่าโฟกัสมีค่าเท่ากับ 25 mm จากแผนภาพใส่ปลายด้านหนึ่งของ 600 micron ต่อตรง FO ดังตัวอย่างภาพที่ชี้ที่ collection optics และจากนั้นส่องแสงสีขาวลงไปในส่วนอื่น ๆ ดังในแผนภาพแล้วให้แสงขาวตกกระทบบนด้านหน้าของวัสดุ ปรับตำแหน่งของเลนส์และ FO เพื่อให้ลำแสงสีขาวตกกระทบบนแล้วเน้นไปที่ด้านหน้าของวัสดุ หลังจากนั้นก็ปรับกระจกให้ลำแสงซ้อนกันแสงเลเซอร์สีเขียวและภาพจุดสีขาวบนคริสตัลข้อควรวาง เราควรวาง bread board มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมเพื่อป้องกันแสงหักเห แสงสะท้อน จากแสงรอบข้างเพื่อที่เราจะป้องกันระบบให้เกิดการรบกวนน้อยที่สุด

2.10 หลักการทำงานของระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์

เมื่อแสงที่มีพลังงานเพียงพอตกกระทบบนวัสดุ โฟตอนจะถูกดูดกลืนและอิเล็กตรอนจะกระโดดไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ในที่สุดการกระตุ้นเหล่านี้จะหยุดลงและอิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้นและจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง เรียกว่า โฟโตลูมิเนสเซนซ์ เนื่องจากสเปกตรัมของโฟโตลูมิเนสเซนซ์จะขึ้นอยู่กับพลังงานของการทรานซิชัน ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณหาระดับพลังงานได้จากสเปกตรัมของโฟโตลูมิเนสเซนซ์

นอกจากนี้ความแตกต่างของความเข้มของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ ซึ่งเกิดจากปัจจัยภายนอกก็สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิและความต่างศักย์ที่ใช้กระตุ้น จะถูกใช้เพื่อศึกษาลักษณะของแถบพลังงาน

สัญญาณโฟโตลูมิเนสเซนซ์ มักจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมความเข้มแสงที่ยิงเข้าไปสู่ชิ้นงาน หากชนิดหรือคุณภาพของวัสดุที่ต้องการศึกษาเปลี่ยนไป จะทำให้สัญญาณของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เปลี่ยนตำแหน่งไปด้วยเนื่องจากโฟโตลูมิเนสเซนซ์ มักจะเกิดบริเวณใกล้พื้นผิวของวัสดุ ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยโฟโตลูมิเนสเซนซ์จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาพื้นผิว

แสงที่เปล่งออกมาจากชิ้นตัวอย่างจะถูกแยกสเปกตรัมโดยโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ก่อนที่จะวัดโดยหัววัดสัญญาณแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งต่อไปยังภาคแสดงการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

1. กำหนดค่าความยาวคลื่นของโฟตอนที่ใช้ในการกระตุ้นคงที่แล้วทำการสแกนช่วงความยาวคลื่นโฟตอนที่สารตัวอย่างเปล่งออกมา โดยปกติพลังงานโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา มักจะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานโฟตอนกระตุ้นซึ่งเป็นไปตามกฎของสโตกส์
2. กำหนดให้หัววัดเลือกวัดความยาวคลื่นโฟตอนคงที่อย่างหนึ่งแล้วทำการสแกนความยาวคลื่นโฟตอนที่ใช้กระตุ้น

- กำหนดให้ความยาวคลื่นของโฟตอนที่ใช้กระตุ้นและที่ปลดปล่อยออกมาคงที่และทำการวัดสเปกตรัมการเกิดลูมิเนสเซนซ์ เทียบกับเวลาเมื่อโฟตอนที่ใช้กระตุ้นเป็นพัลส์เดี่ยว

โดยปกติสเปกตรัมในแบบที่ 1 และ 2 ที่ทำการบันทึกจะเป็นค่าระหว่างความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นนาโนเมตร (nm) กับความเข้มของโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมามีหน่วยเป็นหน่วยใดๆ (arbitrary unit, a.u.)

2.10.1 พลังงานกระตุ้น

การเลือกแหล่งกำเนิดโฟตอนเพื่อใช้เป็นพลังงานกระตุ้นนั้น ขึ้นกับว่าเราต้องการวัดลูมิเนสเซนซ์ในรูปแบบไหน เช่น เลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดโฟตอนอาพันธ์ มีลำแสงขนาน และเลเซอร์บางชนิดเป็นพัลส์สัญญาณค่อนข้างสั้น เหมาะกับการวัดในรูปแบบที่ 1 และ 3 การใช้เลเซอร์ทำให้มีสัญญาณรบกวนต่ำแต่มีข้อเสียคือ การปรับเลือกช่วงความยาวคลื่นทำได้ยาก การใช้หลอดไปสฟลูออโรสก็จะทำให้แก้ปัญหาดังนี้ได้เนื่องจากมีช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband) จึงเหมาะกับการวัดในรูปแบบที่ 2 ซึ่งหลอดไฟมีให้เลือกใช้หลายชนิดและหลายความเข้ม

2.10.2 การควบคุมอุณหภูมิ

วัสดุตัวอย่างส่วนมากถูกนำมาใส่ไว้ในโครโอสแตท (cryostat) เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิการวัดได้ปกติการวัดในอุณหภูมิต่ำบางครั้งอาจต่ำถึง 1 K ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีฮีเลียมเหลวหรือไนโตรเจนเหลวหมุนเวียนผ่านระบบอย่างต่อเนื่องเพื่อดึงพลังงานความร้อนออกไปยังตัวแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทั่วไปใช้คอมเพรสเซอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอก อีกทั้งภายในโครโอสแตทชิ้นสารตัวอย่างจะถูกยึดติดกับแท่งโลหะ (cold finger) พลังงานความร้อนจะถูกถ่ายเทผ่านโลหะแท่งนี้ นอกจากนี้ภายในโครโอสแตทยังมีสภาพเป็นสุญญากาศประมาณ 10^{-2} Torr เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำบนชิ้นส่วนวัสดุและป้องกันความร้อนภายนอกถ่ายเทเข้าสู่ระบบภายในตัวโครโอสแตทนี้จะมีช่อง (window) ทางเข้าและออกของโฟตอนที่ใช้กระตุ้นและปลดปล่อยออกมาจากชิ้นวัสดุ

การเปลี่ยนพลังงานโฟตอนที่วัสดุปลดปล่อยออกมาไปเป็นสัญญาณไฟฟ้านั้นมีปัจจัยทางฟิสิกส์หลายอย่างที่มีผลต่อการวัด สมบัติที่สำคัญของหัววัด (detector) ทั่วไปได้แก่

1. ความไว (sensitivity) โดยทั่วไปคือกระแสในหน่วยแอมแปร์ที่เกิดขึ้นเทียบกับพลังงานของโฟตอนที่ตกกระทบในหน่วยวัตต์ บางครั้งเรียก ประสิทธิภาพเชิงควอนตัม
2. ช่วงความยาวคลื่นที่วัดได้
3. ค่าอัตราส่วนสัญญาณที่วัดต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) ปกติเกิดจากโฟตอนที่มาจากแหล่งกระตุ้น

4. การตอบสนองในการเปลี่ยนพลังงานโฟตอนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าเมื่อโฟตอนที่ตกมากระทบมีลักษณะเป็นพัลส์
5. ความเป็นเชิงเส้นในช่วงความยาวคลื่นที่วัด

หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) เป็นหลอดที่มีการตอบสนองต่อโฟตอนในช่วงความยาวคลื่นกว้างมากประกอบด้วยโฟโตแคโทด (photo cathode) ไดโนด (dynode) แอโนด (anode) โดยส่วนโฟโตแคโทดจะมีตัวรับแสงหรือโฟตอนเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกขึ้น โดยโฟโตอิเล็กตรอนจะถูกเร่งไปยังขั้วไดโนดที่หนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการชน แล้วถูกเร่งไปยังไดโนดที่สองและสามทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ ปกติอัตราการขยายกระแส (gain) จะอยู่ที่ 10^7 ถึง 10^{10} เท่า และความไวในการเปลี่ยนพลังงานโฟตอนเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ 10^{-9} วินาที สัญญาณทั้งหมดที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังหน่วยประมวลผลซึ่งโดยมากมักจะเป็นคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์และแสดงผลออกมา

2.11 โปรแกรม SolidWorks

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศส เป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้พนักงานออกแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting)

โปรแกรม Solidwork เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาวางในใบงานแล้วขนาด จะมองเห็นได้ว่าผู้ใช้งาน สามารถที่จะประหยัดเวลาในการทำงานและสนุกกับการทำงานอีกด้วย



รูปที่ 2.13 ภาพตัวอย่างโปรแกรม SolidWork

2.11.1 ประสิทธิภาพการทำงาน

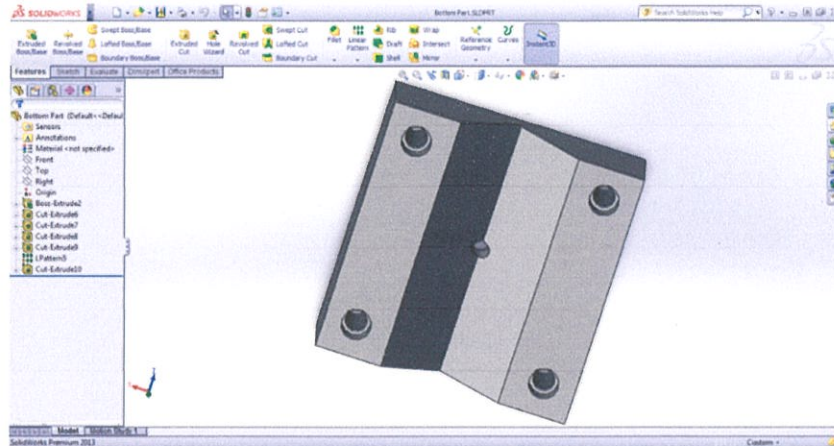
ประสิทธิภาพของ SolidWorks เป็นการเจาะลึกให้แก่ออกแบบสามารถสร้างชิ้นงานจำลองทางด้าน Mechanical Engineering Design ได้อย่างสมบูรณ์แบบ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม และการตรวจสอบความผิดพลาดของ 3D Solid Models เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และลดระยะเวลาการทำงานในการออกแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัท และองค์กร

2.11.2 ลักษณะการทำงาน

SolidWorks แบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวดคือ Part , Assembly และ Drawing โดยรูปแบบการทำงานทั้ง 3 หมวดมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1. Part Mode

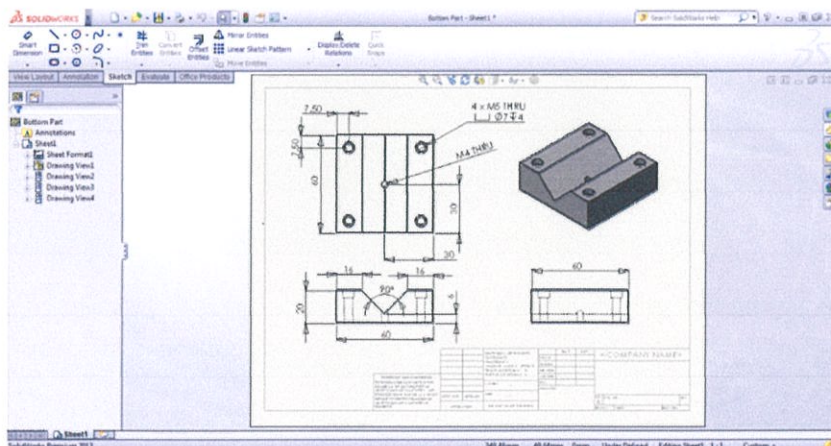
การขึ้นรูปชิ้นงานเสมือนชิ้นงานจริงหรือ Part Mode เป็นการเขียนแบบเบื้องต้นเพื่อสร้างชิ้นงาน โดยเราจะสร้างภาพสเก็ตจาก 2 มิติ ไปเป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งมีลักษณะคล้ายความเป็นจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การขึ้นรูปชิ้นงานเสมือนชิ้นงานจริง หรือ Part

2. Drawing Mode

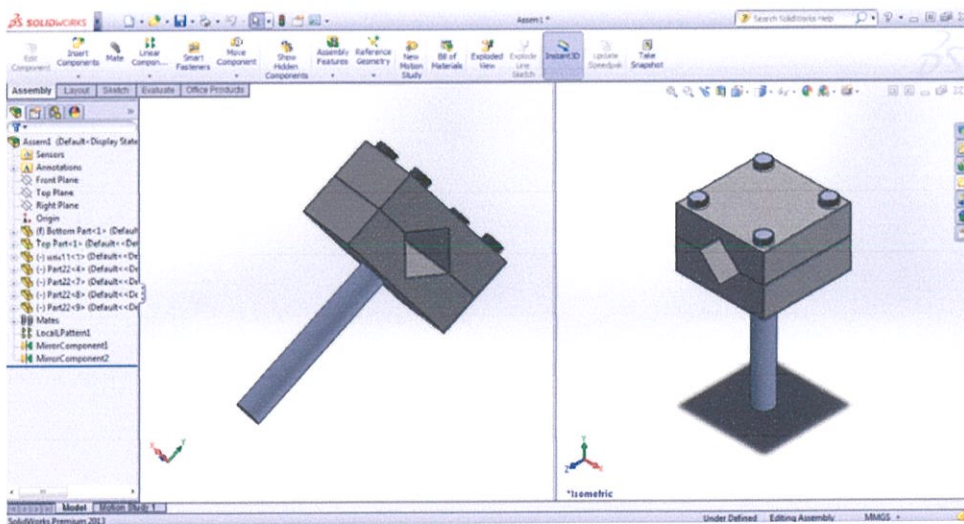
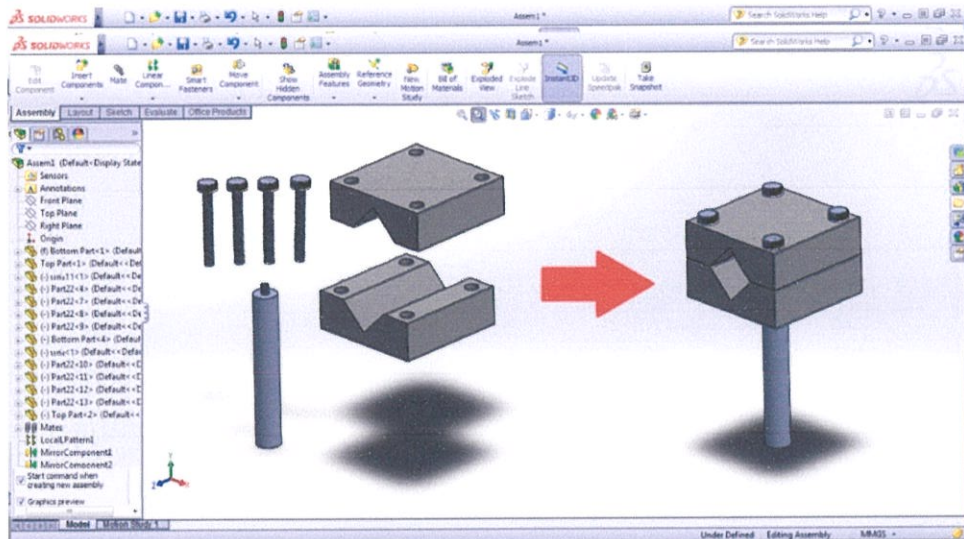
การแสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหรือชิ้นงาน ในรูปแบบภาพฉายออร์โทกราฟิก คือ ภาพฉายแบบหลายมุมมอง (Multi-view) และ ภาพฉายแอกโซโนเมตริก (Axonometric) Drawing Mode เป็นส่วนที่สำคัญเช่นกันในการคุยกันกับฝ่ายผลิต จำเป็นต่อการสั่งผลิต และยังช่วยอีกหลายด้าน เช่น งบประมาณ, การจัดซื้อ ฯลฯ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ภาพฉายแอกโซโนเมตริก ใน Drawing Mode

3. Assembly Mode

การแสดงองค์ประกอบของเครื่องจักรกล หรือ Assembly Mode หรือเป็นการนำ Part Model ที่ได้สร้างไว้นามาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้การออกแบบที่สามารถตรวจสอบสิ่งต่างๆ ได้รวมถึงการจำลองการทำงานของเครื่องจักรด้วย ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การประกอบ Part ต่างๆเข้าด้วยกัน

การทำงานใน Assembly Mode มีลักษณะการทำงาน 2 กรณีได้แก่

1. Bottom-Up Assembly คือ การนำ 3D Models ต่างๆที่สร้างเสร็จแล้วใน Part Mode ไปวางในหน้าต่าง Assembly เพื่อทำการประกอบ โดยการใช้คำสั่ง Mate หรือ Smart Mate ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับผู้ใช้ในระดับเริ่มต้นหรือขั้น Basic

2. Top-Down Assembly คือการสร้าง 2D Sketch เป็นโครงร่างระหว่างชิ้นส่วนต่างๆระหว่าง Part หรือการสร้าง Part ใน Assembly โดยให้มีขนาดและรูปร่างที่มีการอ้างอิงกับ Part อื่นๆ ทั้งในส่วน Sketch และ Feature วิธีนี้เหมาะกับผู้ใช้ในระดับ Advance

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence Systems) ที่ใช้สำหรับวัดคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ เพื่อใช้ในการตรวจสอบลักษณะและคุณสมบัติการเรืองแสงที่เกิดขึ้น ซึ่งการพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence Systems) ที่ทำการวิจัยนั้นจะเป็นการนำอุปกรณ์ทางแสงต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการสร้างระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์(Photoluminescence Systems) ขึ้น โดยการสร้างระบบนั้นจะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างชุดจับยึด Laser และ ชุดเลนส์ของเส้นใยแก้วนำแสง
2. การเตรียมอุปกรณ์ทางแสงและสารกึ่งตัวนำแกเลียมอาเซไนด์ (GaAs) เพื่อใช้ในการสร้างระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์(Photoluminescence Systems)
3. การจัดระบบของอุปกรณ์ทางแสงและใช้สารกึ่งตัวนำแกเลียมอาเซไนด์ (GaAs) เป็นสารตัวอย่าง (Sample) ในงานวิจัยของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence Systems)
4. การตรวจวัดการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำแกเลียมอาเซไนด์ (GaAs) ที่เกิดขึ้นจากงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดจับยึดเลเซอร์และชุดเลนส์ของเส้นใยแก้วนำแสง

การดำเนินงานวิจัย อุปกรณ์มีส่วนสำคัญในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งบางครั้งอุปกรณ์บางประเภทไม่สามารถใช้ในการดำเนินการวิจัยได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับการดำเนินงานวิจัย และในการวิจัยนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์เสริมเพิ่มคือ ออกแบบชุดจับเลเซอร์ และออกแบบชุดเลนส์สำหรับเส้นใยแก้วนำแสง

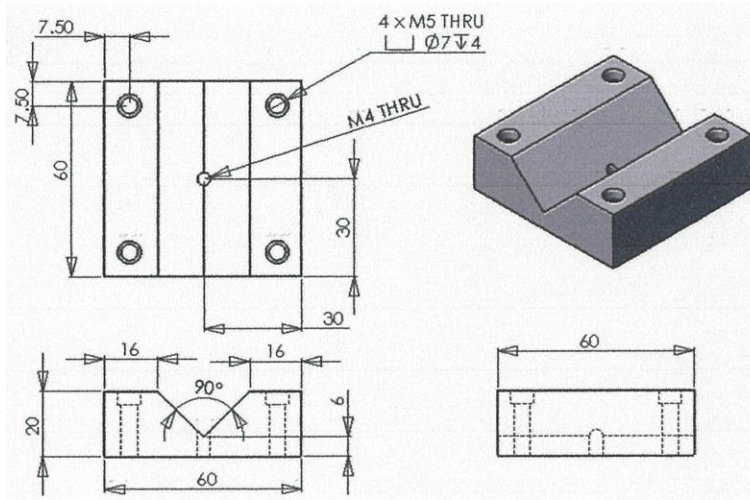
3.1.1. ออกแบบชุดจับเลเซอร์

เลเซอร์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยเป็นเลเซอร์ไดโอด ที่มีลักษณะเป็นแท่งยาวทรงกระบอก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบอุปกรณ์สำหรับยึดจับแท่งเลเซอร์กับ Bread Board Optics ซึ่งแบบชิ้นส่วนออกเป็น 3 ชิ้น ได้แก่

1. ฐานรองรับเลเซอร์
2. ฐานล็อกเลเซอร์ด้านบนกับฐานรองรับเลเซอร์
3. Stainless Steel Mounting Posts (แท่งเหล็กสแตนเลส)

1. ฐานรองรับเลเซอร์

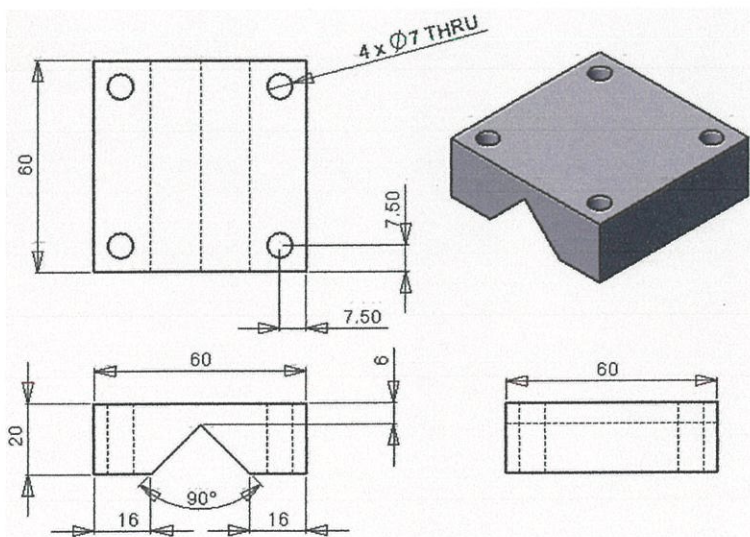
ฐานรองรับเลเซอร์มีลักษณะ เป็นอลูมิเนียมชุบดำ มีลักษณะรูปร่าง ขนาดตามรูปที่ 3.1



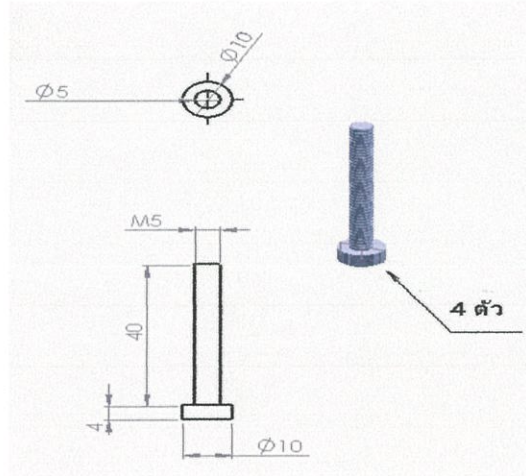
รูปที่ 3.1 Drawing ฐานรองรับเลเซอร์

2. ฐานล็อกเลเซอร์ด้านบนกับฐานรองรับเลเซอร์

ฐานล็อกเลเซอร์ด้านบนกับฐานรองรับเลเซอร์ เป็นอลูมิเนียมชุบดำ มีลักษณะรูปร่าง ขนาดตามรูปที่ 3.2 และมีน๊อตเป็นตัวล็อกเข้ากับฐานรองรับเลเซอร์ จำนวน 4 ตัว สามารถ ออกแบบได้ตามรูปที่ 3.3



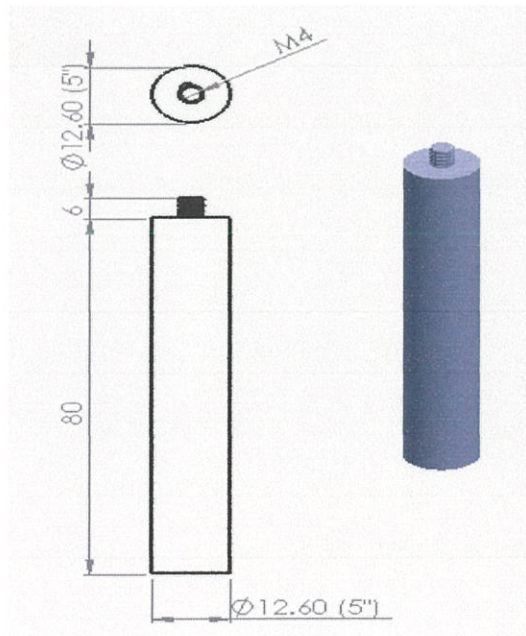
รูปที่ 3.2 Drawing ฐานล็อกเลเซอร์ด้านบนกับฐานรองรับเลเซอร์



รูปที่ 3.3 Drawing นี้ออกฐานลึอกเลเซอร์ค้ำบนกับฐานรองรับเลเซอร์

3. Stainless Steel Mounting Posts (แท่งเหล็กสแตนเลส)

แท่งเหล็กสแตนเลสหรือเหล็กกล้าไร้สนิม ลักษณะเป็นแท่งยาว ใช้สำหรับยึดติดกับฐานรองรับเลเซอร์ เข้ากับ Bread Board Optics โดยมี Post Holders เป็นตัวยึดติดให้อยู่กับ Bread Board Optics อีกที

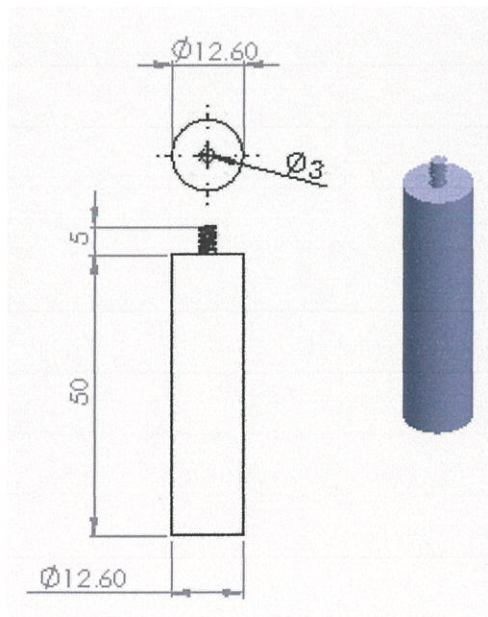
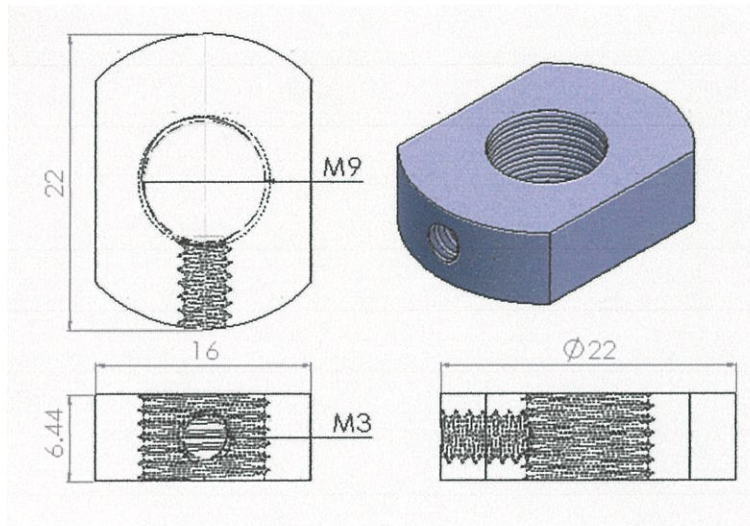


รูปที่ 3.4 Drawing แท่งเหล็กสแตนเลส

3.1.2. ออกแบบชุดจับเลนส์ของเส้นใยแก้วนำแสง

เลนส์ที่ใช้สำหรับรวมแสงก่อนแสงเข้าสู่ไฟเบอร์ออฟติก ซึ่งมีลักษณะพิเศษดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบชุดจับเลนส์ ซึ่งแบบชิ้นส่วนออกเป็น 2 ชิ้น ได้แก่

1. ตัวล็อกเลนส์
2. Stainless Steel Mounting Posts (แท่งเหล็กสแตนเลส)



รูปที่ 3.5 Drawing ชุดจับเลนส์ของเส้นใยแก้วนำแสง

3.2 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ทางแสงและสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs)

ในการดำเนินงานวิจัยจะต้องมีการเตรียมอุปกรณ์และสารตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence systems) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวที่ต้องเตรียมมีดังนี้

3.2.1. เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)

เลเซอร์ไดโอด (LD) เป็นเลเซอร์ที่ใช้สารตัวกลางเลเซอร์เป็นสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดกลางเกิดขึ้นจากรอยต่อ P-N ของสารกึ่งตัวนำที่คล้ายกันกับที่พบในไดโอดเปล่งแสงที่มีใช้งานกันอยู่ เลเซอร์ไดโอดจะเกิดขึ้นได้จากการให้กระแสไฟฟ้าเข้าไป

ในการวิจัยเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) ที่ใช้ให้เป็นแหล่งกำเนิดแสงจะใช้เป็นเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน โดยเลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีความถี่สูงและมีความยาวคลื่นต่ำ (450-500 nm) จึงทำให้เลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงินมีพลังงานงานสูง

การทำงานและคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอด

- ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา laser diode ดันแบบวัดได้น้อยกว่าหนึ่งมิลลิเมตรด้านตัดขวาง และน้ำหนักเป็นเศษส่วนของกรัม ทำให้เป็นแนวคิดสำหรับการใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา

- ความต้องการกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าต่ำ laser diode ส่วนใหญ่ต้องเพียงไม่กี่มิลลิวัตต์ของไฟฟ้ากระแสตรงที่ 3 ถึง 12 โวลต์ และหลายมิลลิแอมแปร์ ดังนั้นสามารถทำงานกับแหล่งพลังงานแบตเตอรี่ขนาดเล็ก

- ความเข้มข้นพลังงานต่ำ laser diode ไม่สามารถใช้สำหรับวัตถุประสงค์พิเศษ เช่น หลุมเผาในโลหะ นำดาวเทียมลงมา หรือ blinding aircraft pilot อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์การส่งออกคิดเน้นในความถี่สูงและ modulation ง่ายสำหรับการสื่อสารและการประยุกต์ควบคุม



รูปที่ 3.1 เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)

3.2.2. Neutral-density filter

Neutral-density filter (ND) มีหน้าที่อย่างเดียวกันคือ “ตัดแสง” ไม่ว่าจะในสภาพแสงแบบไหน Neutral-density filter จะลดทอนแสงให้น้อยลง โดยแผ่นฟิลเตอร์จะมีลักษณะเป็นสีดำ โดยจะตัดแสงมากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับเบอร์ของฟิลเตอร์ที่เลือกใช้ จะมีตั้งแต่ ND ที่ลดทอนแสงไป 1 stop ไปจนถึงลด 10+ stop



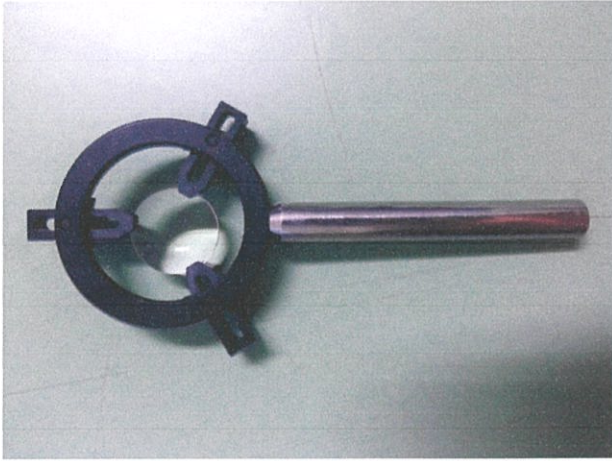
รูปที่ 3.2 Neutral-density filter

	lens area opening, as fraction of the complete lens	optical density	f-stop reduction	% transmittance
	1	0.0		100%
ND2	1/2	0.3	1	50%
ND4	1/4	0.6	2	25%
ND8	1/8	0.9	3	12.5%
ND16	1/16	1.2	4	6.25%
ND32	1/32	1.5	5	3.125%
ND64	1/64	1.8	6	1.563%
ND128	1/128	2.1	7	0.781%
ND256	1/256	2.4	8	0.391%
ND512	1/512	2.7	9	0.195%
ND1024	1/1024	3.0	10	0.098%
ND2048	1/2048	3.3	11	0.049%
ND4096	1/4096	3.6	12	0.024%
ND8192	1/8192	3.9	13	0.012%

ตารางที่ 3.1 ชนิดและเบอร์ขนาดต่างๆของฟิลเตอร์

3.2.3. Collection lens

เลนส์ที่โค้งออกด้านนอก มีขอบแคบ และตรงกลางกว้าง แสงที่ผ่านเลนส์นูนจะรวมเป็นจุดเดียว เรียกจุดนี้ว่า จุดโฟกัส เลนส์นูนสามารถสร้างภาพจริงหรือภาพเสมือนได้



รูปที่ 3.3 Collection lens

3.2.4. Sample

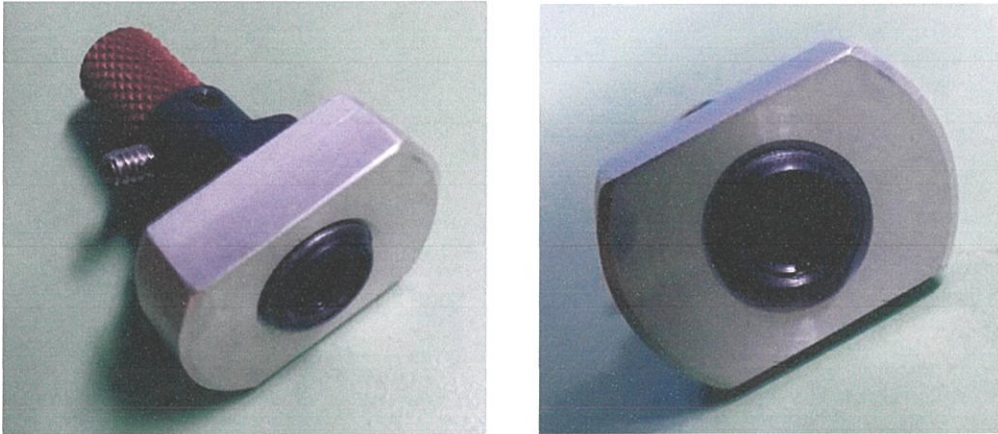
เป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า ส่วนของ Sample คือ เป็นอุปกรณ์ส่วนที่เป็นสารตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิจัยของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence System) ซึ่งใช้แกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นสารตัวอย่างในการวิจัย



รูปที่ 3.4 สารแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs)

3.2.5. ชุดเลนส์ของใยแก้วนำแสง

ชุดเลนส์ของใยแก้วนำแสงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับสาย fiber optics เพื่อเป็นตัวที่ช่วยในการส่งแสง โดยด้านหน้าจะเป็นเลนส์นูนเพื่อรับแสงและรวมแสงมาที่จุดโฟกัสแล้วส่งต่อไปยังสาย fiber optics เพื่อส่งต่อไปวัดค่าโดยสเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 3.5 ชุดเลนส์ของใยแก้วนำแสง

3.2.6. Ocean optic HR 4000

Ocean optics HR 4000 เป็นเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ซึ่งความละเอียดถึง 0.02nm ในการวัดความเข้มของแสงซึ่งภายในเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าโดยจะสามารถต่อเข้ากับสาย fiber optics และต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวัดค่าได้เลย ซึ่งสามารถวัดค่าได้ในช่วง 200 - 1100 nm



รูปที่ 3.6 Ocean optic HR 4000

3.2.7. Optical fiber

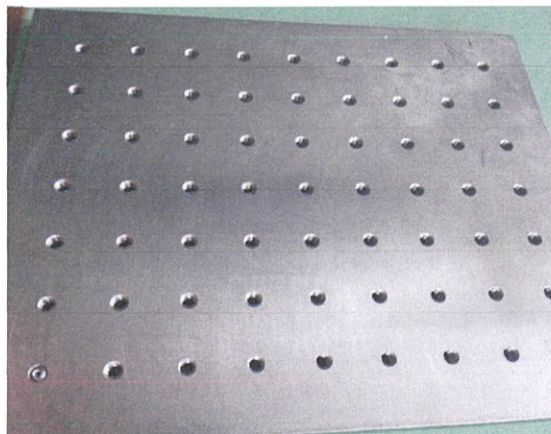
ใยแก้วนำแสงนอกจากประกอบด้วยใยแก้วที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกคุณภาพสูงแล้ว ยังประกอบด้วยเปลือกหุ้มด้านในหรือ cladding ที่มีค่าดัชนีในการหักเหของแสงต่ำ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 ไมครอน เคลือบด้วยสีซิลิโคนหนา 125 ไมครอน โดยรอบสายใยแก้วถูกมัดรวมกันเป็นชุดๆละไม่เกิน 12 เส้นอยู่ในหลอดพลาสติกคล้ายหลอดกาแฟ เรียกว่า loose tube



รูปที่ 3.7 เส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optics)

3.2.8. Bread Board Optics

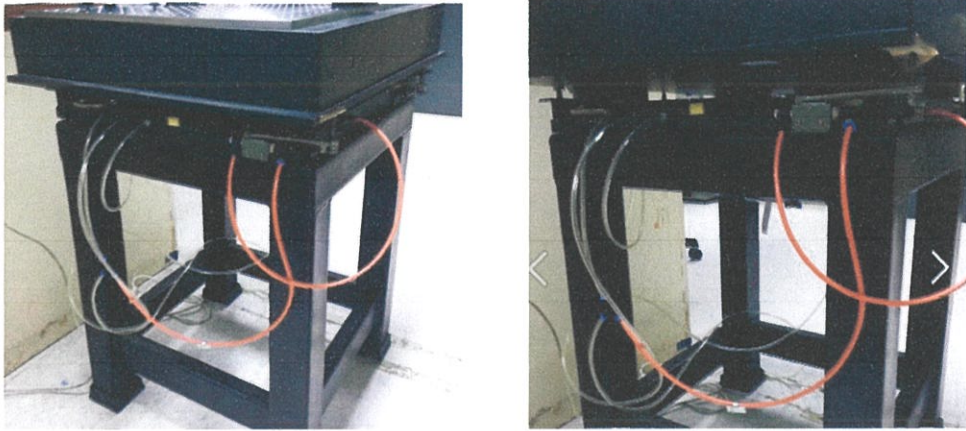
แผ่น Bread Board Optics เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดระบบโดยจะเป็นฐานยึดสำหรับอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ในระบบโฟโตนิกส์ โดยจะมีรูที่ใช้สำหรับยึดอุปกรณ์และมีน็อตเป็นตัวถือระหว่าง Bread Board กับอุปกรณ์ทางแสง



รูปที่ 3.8 Bread Board Optic

3.2.9. โตะกลม

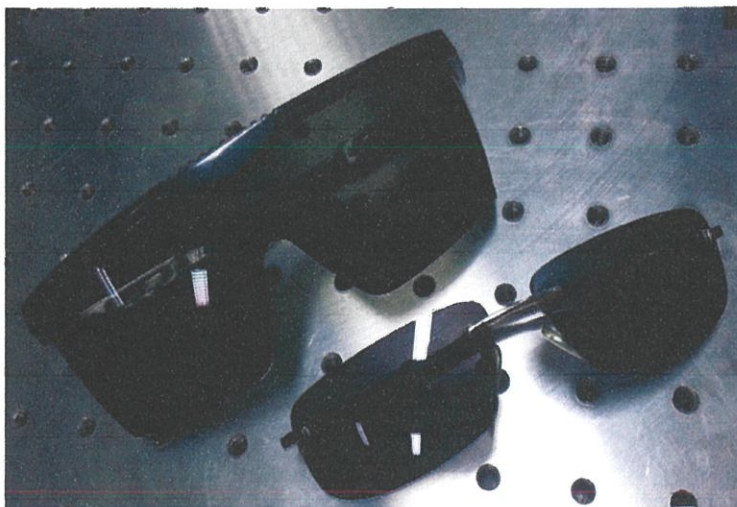
โตะกลมคืออุปกรณ์ที่ช่วยลดความสั่นสะเทือนของระบบโดยจะนำ Bread Board มาวางไว้บน โตะแล้วจึงทำการติดตั้งระบบเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลกระทบต่อระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์



รูปที่ 3.9 โตะกลม

3.2.10. แว่นตากันแสง

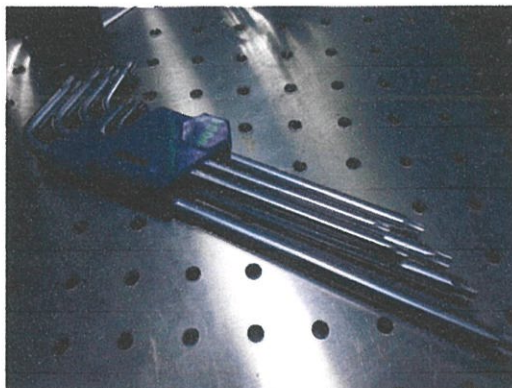
แว่นตากันแสงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดทอนความเข้มของแสงเลเซอร์ เพราะแสงเลเซอร์มีความเข้มมากไม่สามารถมองได้โดยตรงจึงมีความจำเป็นมากในมองและช่วยป้องกันอันตรายจากแสงอีกด้วย



รูปที่ 3.10 แว่นตากันแสง

3.2.11. HEX KEY

Hex Key เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการไขน็อตในขณะที่ติดตั้งระบบ โดยจะมีหกเหลี่ยม หรือที่เรียกกันว่า “ไขควงหกแฉก” หรือ “ประแจหกเหลี่ยม”



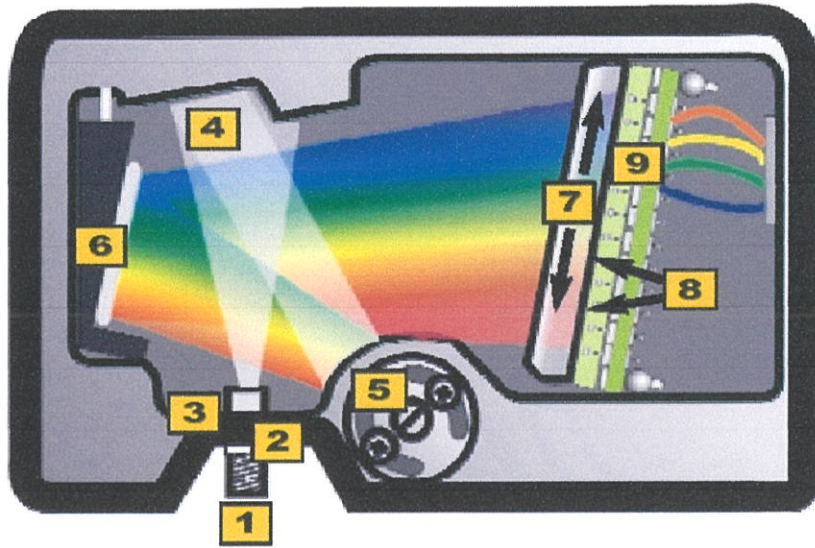
รูปที่ 3.11 HEX KEY

3.3 การจักระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence Systems)

การวิจัยศึกษาและพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence System) เป็นการนำเอาอุปกรณ์ที่ได้เตรียมไว้มารวมกันจนเป็นระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence System) ซึ่งการจักระบบนั้นสามารถทำการวิจัย



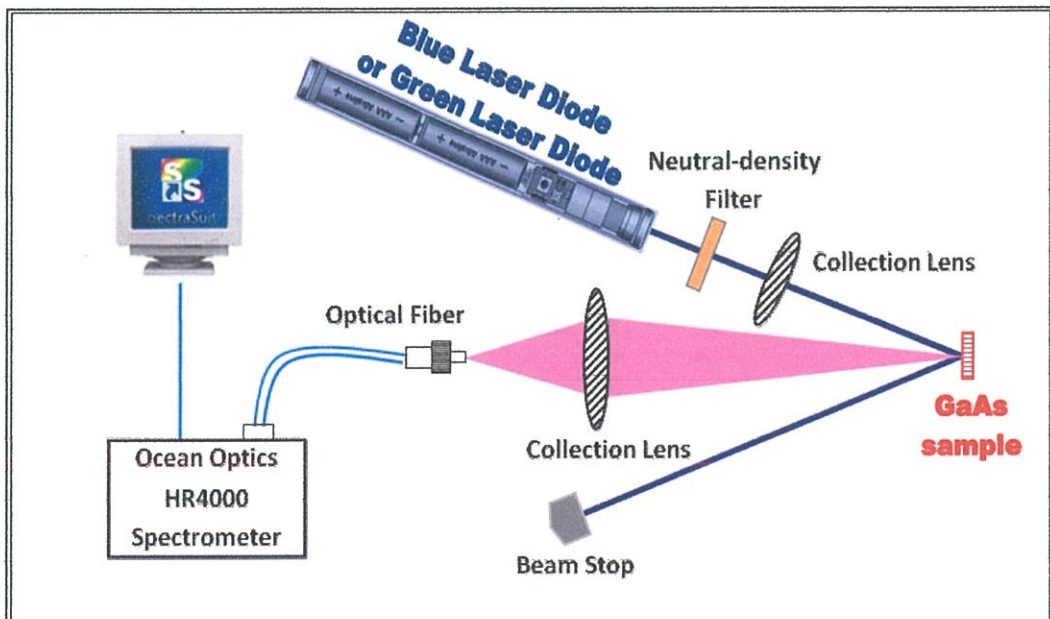
รูปที่ 3.12 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optic HR4000



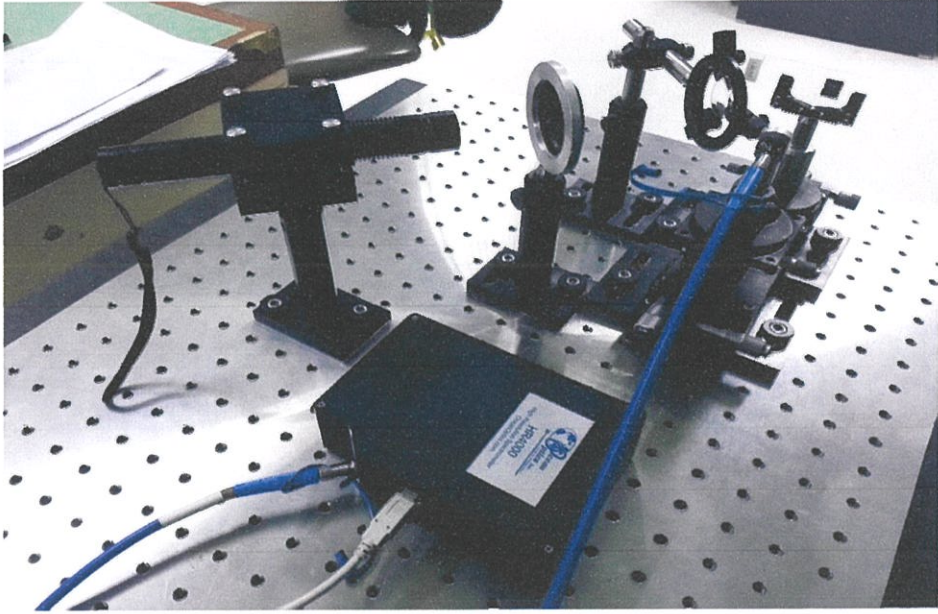
รูปที่ 3.13 โครงสร้างภายในของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optics HR4000

โครงสร้างของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ รูปที่ 3.5 มีดังนี้

- เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) #1
- Collimating mirror #4
- Grating #5
- Reflects from focusing mirror #6
- Detector #9



รูปที่ 3.14 ไลอะแกรมของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์



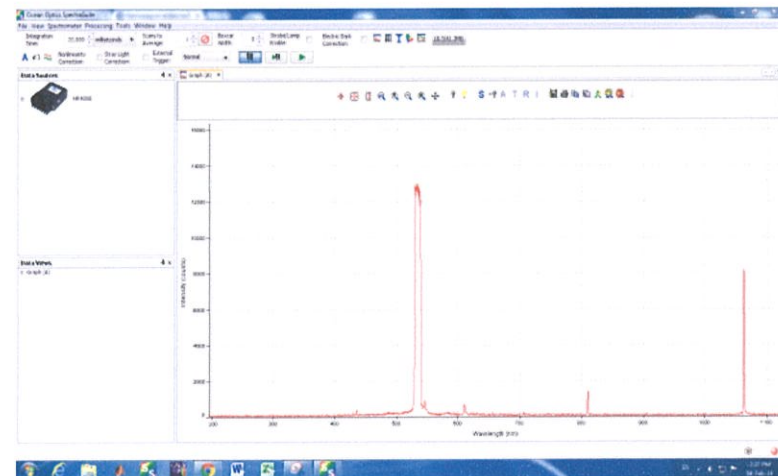
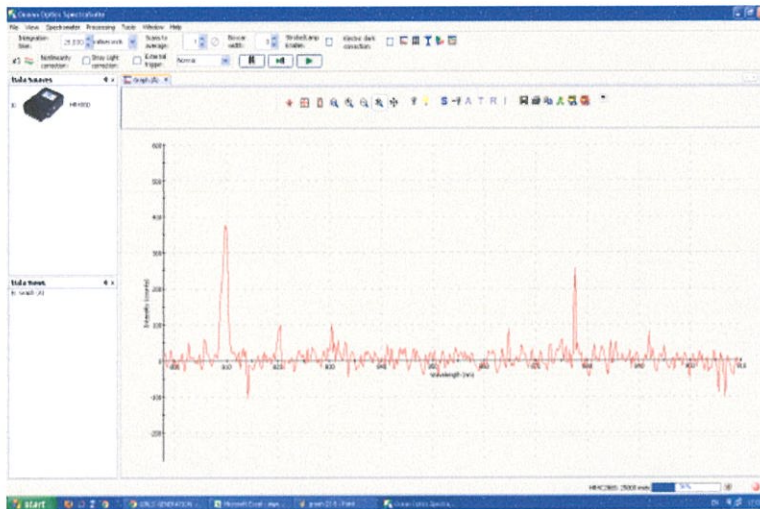
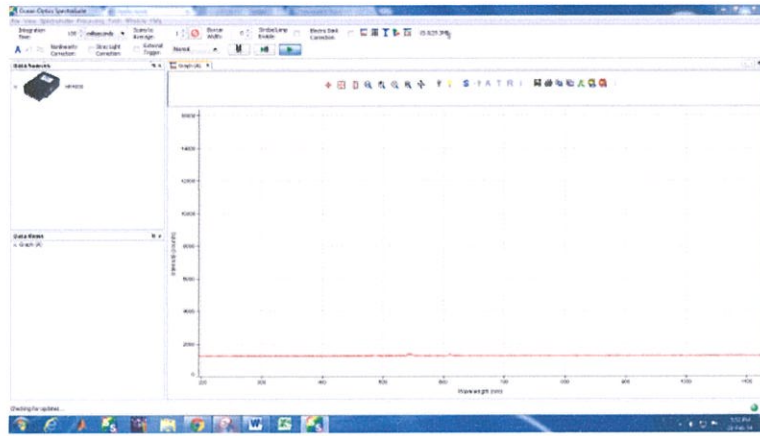
รูปที่ 3.15 ระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์

3.4 การวัดการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

การตรวจวัดการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescences) โดยลำแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดจะเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูป 3.5 ซึ่งเมื่อลำเลเซอร์เคลื่อนที่ผ่านจนถึงจุดสุดท้าย การเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำจะถูกวัดด้วย สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความเข้มของแสงที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.14 โปรแกรม software ของสเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 3.15 การตรวจวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสเปกโทรมิเตอร์

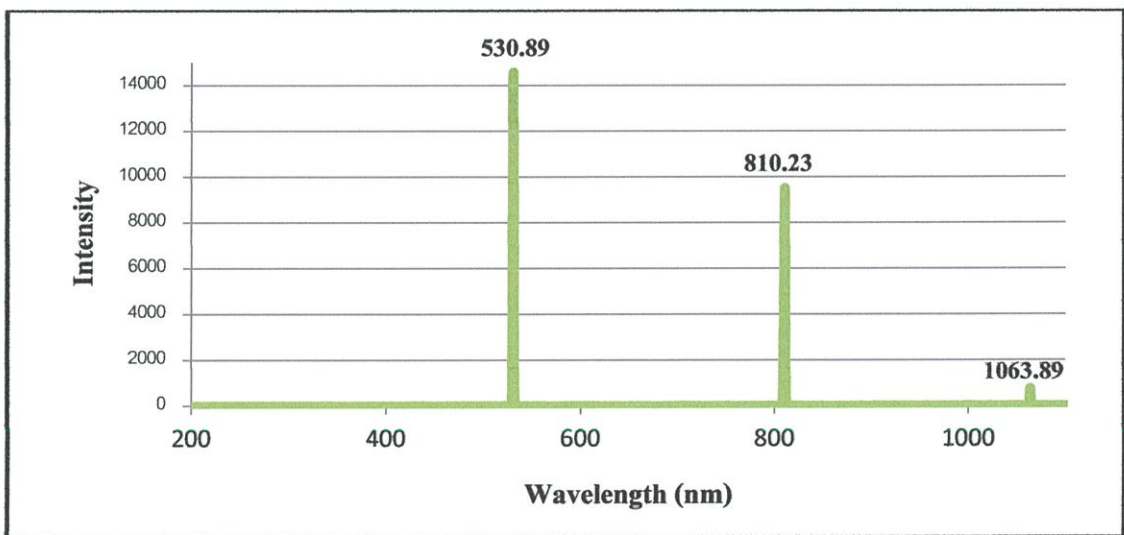
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

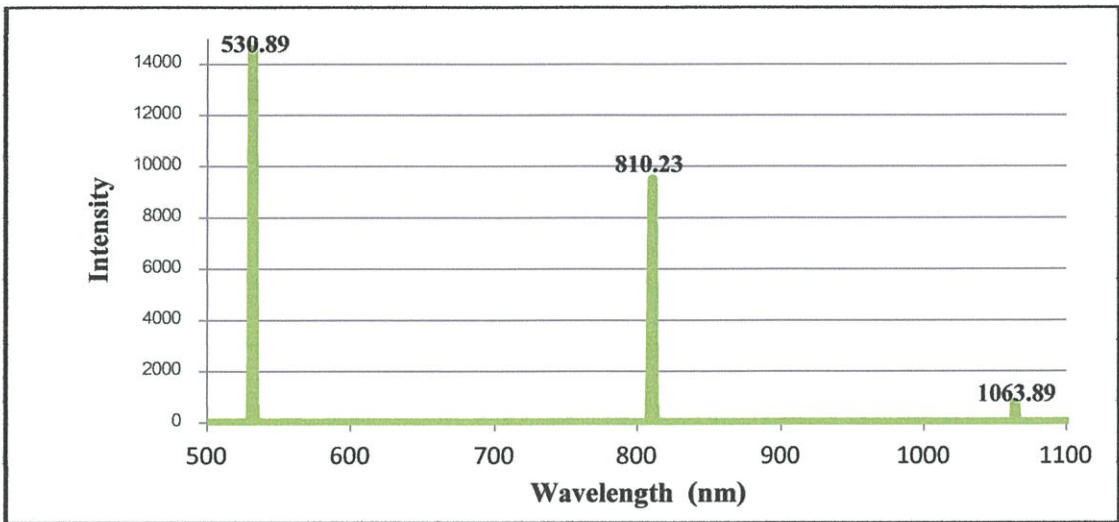
จากการศึกษาวิจัยการทดลองเรื่อง การพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์สำหรับการวัดสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งได้ทำการทดลองระบบโดยจัดระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์เพื่อวัดสมบัติการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำ GaAs โดยใช้แสงจากเลเซอร์ไดโอดเป็นตัวกระตุ้นในการให้พลังงาน ซึ่งการทดลองได้ใช้เลเซอร์ไดโอด 2 ชนิด คือ เลเซอร์ไดโอดสีเขียว และ เลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงิน ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.1 เลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว

ผลการวัดสเปกตรัมแสงของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวที่วัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optics HR4000 ที่อุณหภูมิ 300 K



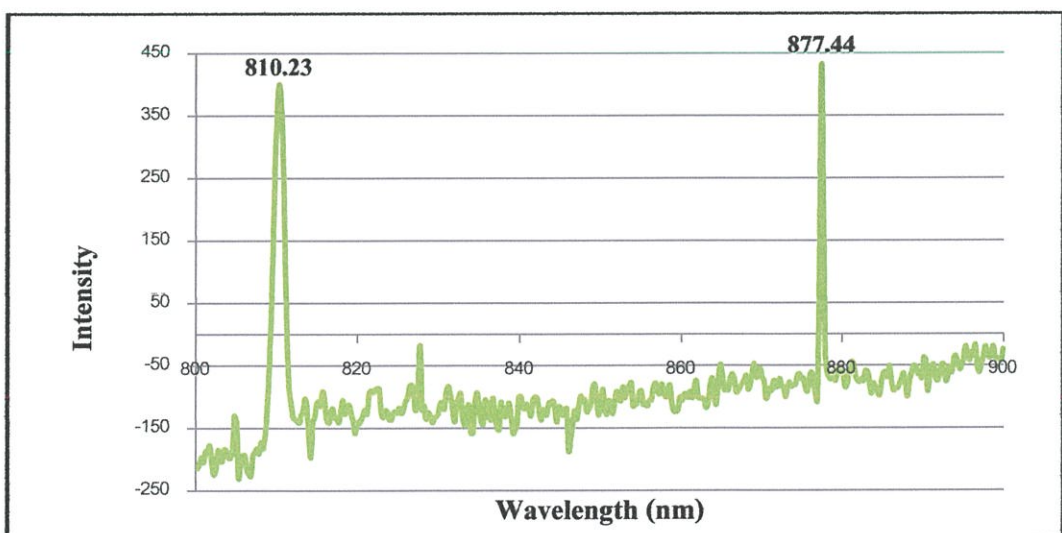
รูปที่ 4.1(ก) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว ที่ความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำ GaAs ที่อุณหภูมิ 300 K



รูปที่ 4.1(ข) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว ที่ความยาวคลื่น 500-1100 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนต์ (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300 K

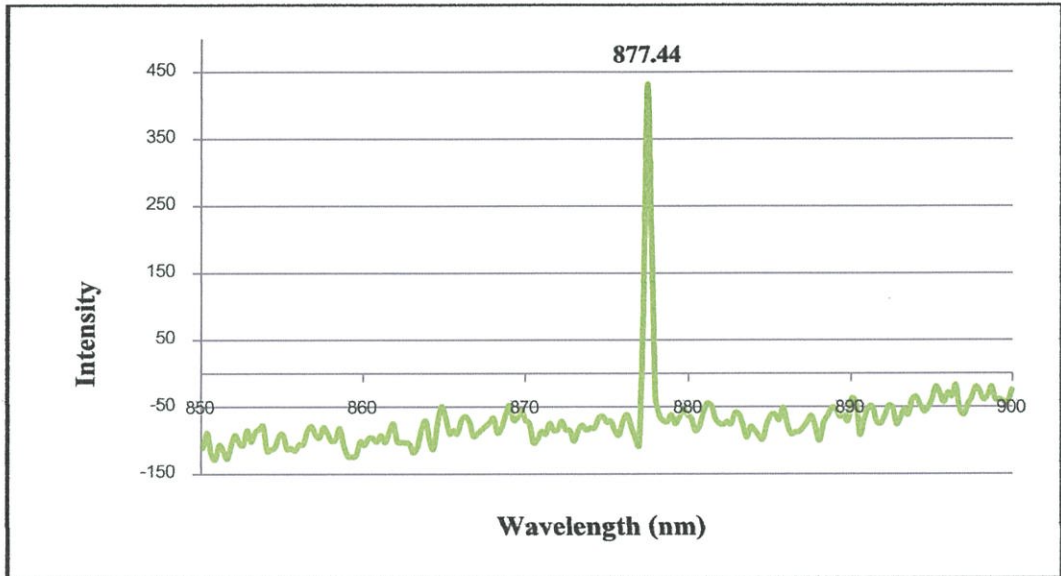
ผลการวัดค่าสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวที่ได้จากระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Ocean Optic HR4000 เพื่อให้ทราบค่าสเปกตรัมของเลเซอร์ ซึ่งพบว่ากราฟที่ได้มี 3 พีกที่มีค่าความเข้มแสงสูงขึ้นมา คือ ที่ความยาวคลื่น 530.89 , 810.23 และ 1063.89 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว ในช่วงความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตรดังรูปที่ 4.1(ก) และ แสดงสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวในช่วงความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตรดังรูปที่ 4.1(ข)

ผลการเกิด Photoluminescence ของเลเซอร์ไดโอดสีเขียว ที่ยิงใส่สารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนต์ (GaAs) ซึ่งวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optics HR4000 ที่อุณหภูมิ 300 K



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมและการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวใส่สารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนต์ (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300 K

จากรูป 4.2 เป็นกราฟที่แสดงสเปกตรัมและการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำ แกลเลียมอาร์เซไนด์ โดยใช้เลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งกราฟที่ได้อยู่นช่วง 800-900 นาโนเมตร มีช่วงความเข้มแสงสูงสุด 2 พีก คือ พีกแรกที่มีความยาวคลื่น 810.23 นาโนเมตรเป็น พีกของสเปกตรัมเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว ซึ่งแสดงคังรูป 4.1ก และ 4.1ข และพีกที่สองที่มีความยาวคลื่น 877.44 นาโนเมตร เป็นพีกของการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่วัดได้ เมื่อใช้เลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวยิงใส่สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300 K

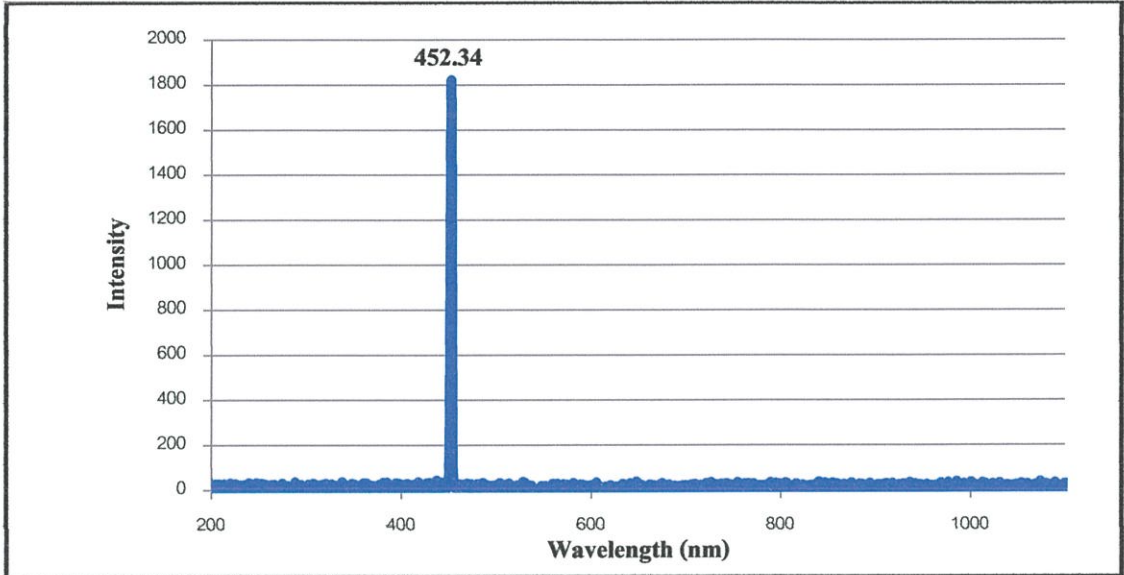


รูปที่ 4.3 การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวใส่สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300 K

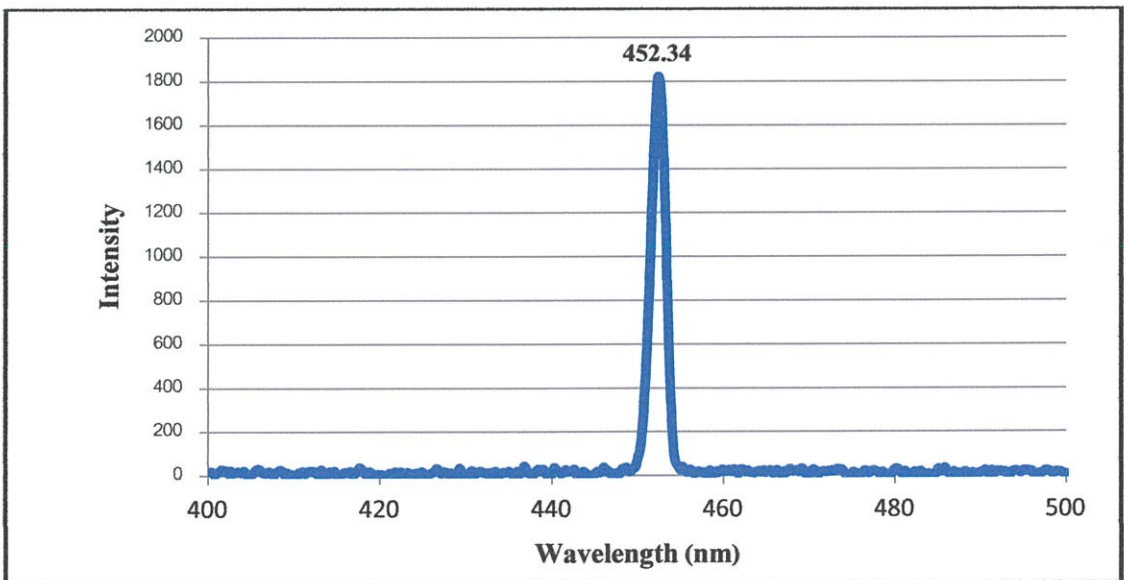
จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟที่แสดงการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เมื่อถูกเลเซอร์สีเขียวยิงใส่ โดยช่วงการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่วัดได้มีค่าความยาวคลื่น 877.44 นาโนเมตร

4.2 เลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน

ผลการวัดสเปกตรัมแสงของเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินที่วัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Opics HR4000 ที่อุณหภูมิ 300K



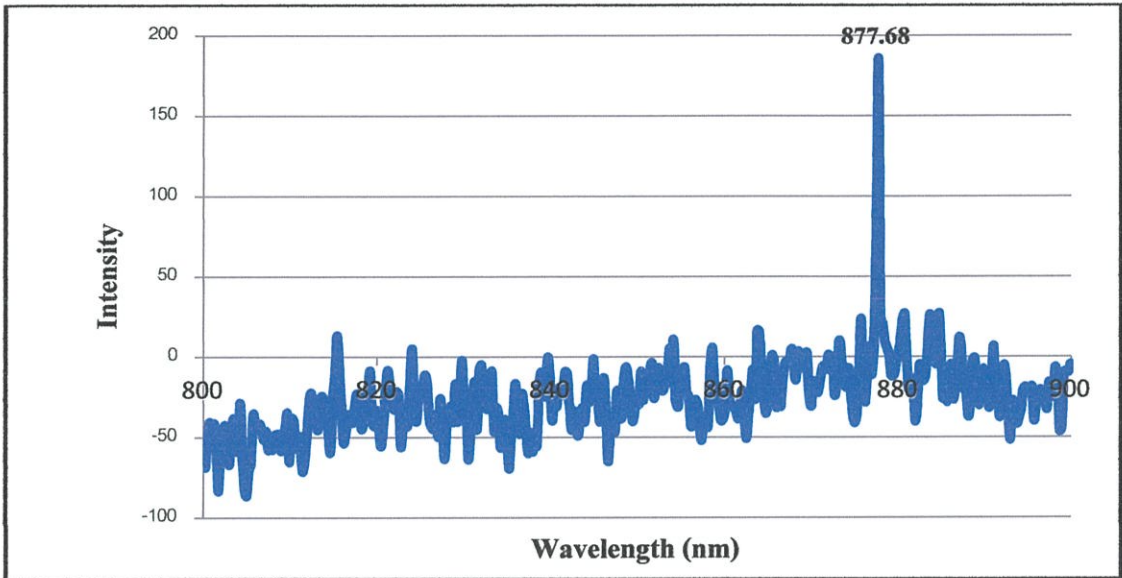
รูปที่ 4.4(ก) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300 K



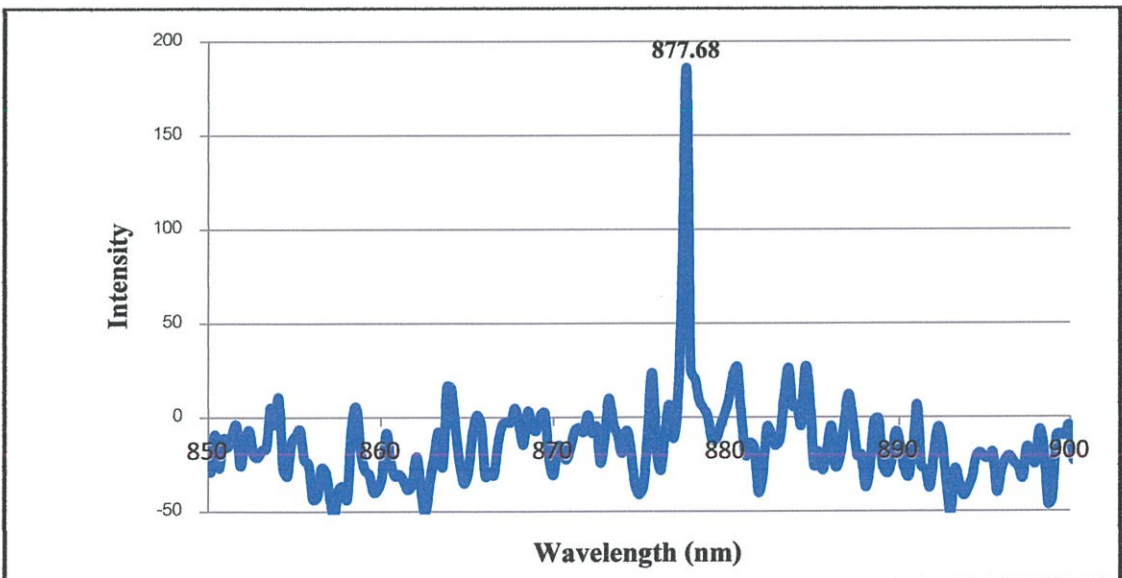
รูปที่ 4.4(ข) สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน ที่ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร เมื่อไม่ยิงแสงใส่สารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่อุณหภูมิ 300 K

ผลการวัดสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินที่วัดจากระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optic HR4000 เพื่อให้ทราบค่าของสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน พบว่ากราฟที่ได้มีพิกที่มีความเข้มสูงสุดเพียงค่าเดียว คือ ที่ค่าความยาวคลื่น 452.34 นาโนเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.4(ก) และ 4.4(ข)

ผลการเกิด Photoluminescence ของเลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงิน ที่ยิงใส่สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ซึ่งวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Ocean Optics HR4000 ที่อุณหภูมิ 300K



รูปที่ 4.5(ก) การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินใส่สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ในช่วงความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 300 K



รูปที่ 4.5(ข) การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินใส่สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ในช่วงความยาวคลื่น 850-900 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 300 K

จากรูปที่ 4.5(ก) และ 4.5(ข) เป็นกราฟแสดงการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำ แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เมื่อถูกยิงด้วยเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน โดยช่วงการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่วัดได้มีความยาวคลื่น 877.68 นาโนเมตร โดยรูปที่ 4.5(ก) แสดงการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ในช่วง 800-900 นาโนเมตร และ รูปที่ 4.5(ข) แสดงการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ในช่วง 850-900 นาโนเมตร

เมื่อทดลองระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์โดยวัดจากสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ โดยใช้เลเซอร์ไดโอดทั้งสองชนิด คือ เลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว และ เลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน พบว่าเมื่อยิงแสงจากเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวใส่สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์จะเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่มีความยาวคลื่น 877.44 นาโนเมตร และเมื่อยิงจากเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินใส่สารแกลเลียมอาร์เซไนด์จะเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่มีความยาวคลื่น 877.68 นาโนเมตร ซึ่งจากค่าความยาวคลื่นที่วัดได้จากระบบนั้นสามารถคำนวณหาค่า Energy gap ของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งคำนวณได้จากสูตร $E_g = \frac{hc}{\lambda}$ โดยแสดงค่าดังตารางที่ 4.1 และคำนวณค่าพลังงานของเลเซอร์ไดโอด โดยแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่า Energy gap ของแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่วัดได้จากระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์

เลเซอร์ไดโอด	สเปกตรัมของ GaAs (nm)	Energy gap ของ GaAs (eV)
สีเขียว	877.44	1.41
สีน้ำเงิน	877.68	1.41

ตารางที่ 4.2 พลังงานของเลเซอร์ไดโอดที่วัดได้จากระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์

เลเซอร์ไดโอด	ความยาวคลื่นของเลเซอร์ (nm)	พลังงานของเลเซอร์ไดโอด (eV)
สีเขียว	530.89	2.33
สีน้ำเงิน	452.34	2.73

คำนวณหาค่า Energy gap ของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียวและเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงิน
ที่ได้จากการทดลองของระบบ Photoluminescence

เลเซอร์สีเขียว

$$\begin{aligned} E_g &= \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{(6.626 \times 10^{-34})(2.99 \times 10^8)}{(530.89 \times 10^{-9})} \\ &= 3.7318 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

แปลงหน่วย J ให้เป็น eV โดยที่ $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ เท่ากับ 1 eV

ดังนั้น

$$\begin{aligned} E_g &= 3.7318 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{3.7318 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \end{aligned}$$

$$E_g = 2.3324 \text{ eV} \quad \#$$

เลเซอร์สีน้ำเงิน

$$\begin{aligned} E_g &= \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{(6.626 \times 10^{-34})(2.99 \times 10^8)}{(452.34 \times 10^{-9})} \\ &= 4.3789 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

แปลงหน่วย J ให้เป็น eV โดยที่ $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ เท่ากับ 1 eV

ดังนั้น

$$\begin{aligned} E_g &= 4.3789 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{4.3789 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \end{aligned}$$

$$E_g = 2.7368 \text{ eV} \quad \#$$

คำนวณหาค่า Energy gap ของสารกึ่งตัวนำอาร์เซไนด์ (GaAs) ที่ได้จากการทดลองของระบบ Photoluminescence

เลเซอร์สีเขียว

$$\begin{aligned} E_g &= \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{(6.626 \times 10^{-34})(2.99 \times 10^8)}{(877.44 \times 10^{-9})} \\ &= 2.2579 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

แปลงหน่วย J ให้เป็น eV โดยที่ $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ เท่ากับ 1 eV

ดังนั้น

$$\begin{aligned} E_g &= 2.2579 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{2.2579 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \\ E_g &= 1.4112 \text{ eV} \quad \# \end{aligned}$$

เลเซอร์สีน้ำเงิน

$$\begin{aligned} E_g &= \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{(6.626 \times 10^{-34})(2.99 \times 10^8)}{(877.68 \times 10^{-9})} \\ &= 2.2573 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

แปลงหน่วย J ให้เป็น eV โดยที่ $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ เท่ากับ 1 eV

ดังนั้น

$$\begin{aligned} E_g &= 2.2573 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{2.2573 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \\ E_g &= 1.4108 \text{ eV} \quad \# \end{aligned}$$

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 วิเคราะห์ผลการเรืองแสงของแกเลียมอาร์เซไนด์จากระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์

ระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์เป็นระบบที่สำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพของสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะคุณสมบัติของการเรืองแสงตลอดจนสเปกตรัมของการเรืองแสงที่ปล่อยออกมา ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์จึงมีประโยชน์ สำหรับค่าพลังงานของตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดของสารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนด์ที่นำมาวัดด้วยระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์จะมีค่าสองค่าคือกับค่า Energy gap ของสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้สารกึ่งตัวนำที่นำมาวัดในระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ต้องเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานแบบตรง (Direct Bandgap) จึงเกิดการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำ

จากการทดลองโดยนำสารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนด์มาทดลองวัดในระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยใช้แสงจากเลเซอร์ไดโอด 2 ชนิด เป็นตัวกระตุ้น ได้แก่ เลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงิน และเลเซอร์ไดโอดสีเขียว

ในการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและค่าความยาวคลื่นที่วัดได้จากการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำ สามารถนำมาแทนค่าในสมการเพื่อหาค่าพลังงานจากสูตร $E_g = \frac{hc}{\lambda}$ โดยที่ E_g คือ ค่า Energy gap ของสารกึ่งตัวนำ, h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่า 6.626×10^{-34} Js, c คือ ค่าความเร็วแสง มีค่า 3×10^8 m/s และ λ คือ ค่าความยาวคลื่นที่ความเข้มแสงสูงสุด

จากผลการทดลองการวัดการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำในระบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความยาวคลื่นของแกเลียมอาร์เซไนด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดแสงสีน้ำเงินและสีเขียว ที่วัดได้จากระบบมีค่าประมาณ 877.68 และ 877.44 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 300 K
2. ค่า Energy gap ของแกเลียมอาร์เซไนด์สามารถคำนวณได้โดยค่าความยาวคลื่นที่เกิดความเข้มสูงสุด โดยค่า Energy gap ของเลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงินและสีเขียว มีค่าประมาณ 1.41 อิเล็กตรอนโวลต์

ระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อหา

1. ความสามารถในการเกิดลูมิเนสเซนส์
2. คุณภาพของผลึก (ความสม่ำเสมอ , จุดบกพร่อง)
3. สเปกตรัมของการเรืองแสง
4. ชนิดและปริมาณเชิงเปรียบเทียบของสารเจือ
5. ขนาดแถบพลังงานที่เรืองแสง

การพัฒนา ระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์จึงมีประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ซึ่งเป็นวัสดุที่จำเป็นทางด้านออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือเหล่านี้ยังคงถูกใช้งานสม่ำเสมอและเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์สำหรับปัจจุบันและในอนาคต

5.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์

1. สัญญาณโฟโตลูมิเนสเซนส์ที่วัดได้จากระบบมีการรบกวนจากการสั่น จึงทำการแก้ไขโดยนำระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์มาวางไว้บนโต๊ะลมเพื่อลดการสั่นสะเทือน
2. การเรืองแสงของแกเลียมอาร์เซไนด์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การจัดตั้งอุปกรณ์จึงจำเป็นต้องมีความละเอียดมาก จึงควรปรับมุมโดยใช้ฐานที่สามารถปรับระยะได้ด้วยไมโครมิเตอร์
3. เลเซอร์สีน้ำเงินมีแสงที่บานออก ดังนั้นจึงควรนำเลนส์มาวางเพื่อช่วยในการรวมแสง

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์

1. เลเซอร์ไดโอดไม่ควรเปิดค้างนานไว้จนเกินไป เพราะจะทำให้เลเซอร์ไดโอดเกิดความเสียหายได้
2. ควรจัดระบบให้มีการสั่นสะเทือนให้น้อยที่สุด เพื่อลดการรบกวนต่อระบบ
3. ก่อนทำการวัดด้วยระบบโฟโตลูมิเนสเซนส์ต่อสาย USB ระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ก่อนแล้วจึงเปิดโปรแกรม และเมื่อใช้งานเสร็จควรปิดโปรแกรมก่อนแล้วจึงนำสาย USB ออก เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวโปรแกรมและเครื่องสเปกโตรมิเตอร์
4. การจัดตั้งอุปกรณ์ไม่ควรขันน็อตแน่นจนเกินไป เพราะอาจทำให้หัวน็อตขาดและยากต่อการนำออก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Photoluminescence Spectroscopy. Physics U600, Adv Lab I – Physics of Waves and Optics – Summer 2004. D. Heiman, Northeastern University, 6/1/2004
- [2]ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร, ดร.บรรยง โดประเสริฐพงศ์, ดร.เกรียงศักดิ์ เฉลิมศิริสกุล, ดร.ชุมพล อัครเสน. รายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัย “การศึกษาโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารประกอบกึ่งตัวนำ แกลเลียมอาร์เซना이드” (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2530) ; เลขที่ 29G-EE-2530.
- [3]สุจิตรา สงฆ์เจริญ, อัปสรศรี มากจันทร์. 2544 การสร้างต้นแบบระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4][Online]. OceanOptics, Inc. 2008. USB4000 Fiber Optic Spectrometer Installation and Operation Manual. Dunedin, FL: Halma Group Company.
- [5]J.WISON, J.F.B.Hawkes. Lasers Principles and Applications. แปลและเรียบเรียง รศ.สุรพล รักรวิชัย, 2544.
- [6][Online]. Brozel, M. R. and Stillman, G. E. (1996). Properties of Gallium Arsenide.
- [7]หนังสือคู่มือสำหรับผู้ใช้ SolidWork ฉบับสมบูรณ์ โดย ทวีศักดิ์ ศรีช่วย
- [8]รศ.ดร.ฐิตินัย แก้วแดง และคณะ. 2546 ปฏิกิริยาการแผ่โฟโตลูมิเนสเซนซ์