เป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ฟิล์มเรืองแสง
LUMINESCENCE FILM ELECTRONIC TARGET

นายวัชรพงษ์ คงจรูญ
WATCHARAPONG KONGJAROON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันประเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-M-011-211

เป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ฟิล์มเรืองแสง

LUMINESCENCE FILM ELECTRONIC TARGET

นายวัชรพงษ์ คงจรูญ

WATCHARAPONG KONGJAROON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-011-211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LUMINESCENCE FILM ELECTRONIC TARGET

WATCHARAPONG KONGJAROON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN DEFENCE ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

KMITL-2017-EN-D-011-211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ฟิล์มเรืองแสง
Thesis Title Luminescence Film Electronic Target
นักศึกษา นายวัชรพงษ์ คงจรูญ
รหัสประจำตัว 55613957
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมป้องกันประเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.เติมพงษ์ เพ็ชรกูล
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-011-211

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.อัมพร	โพธิ์ใย	
รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์	ขันเงิน	
ผศ.ดร.วีระ	เพ็งจันทร์	
รศ.ดร.สมศักดิ์	ชุมช่วย	
รศ.ดร.เติมพงษ์	เพ็ชรกูล	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2560 เวลา 08.30-10.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 5

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ฟิล์มเรืองแสง
นักศึกษา นายวัชรพงษ์ คงจรูญ
รหัสประจำตัว 55613957
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมป้องกันประเทศ
พ.ศ. 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.เติมพงษ์ เพ็ชรกูล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้หลักการของฟิล์มเรืองแสง โดยนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับแสงเลเซอร์เพื่อลดจำนวนของเซนเซอร์ โดยเลือกใช้สาร Rhodamine 6G ซึ่งเป็นสารที่มีความเสถียรภาพทางแสงสูงมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วง 500-550 นาโนเมตร และปลดปล่อยแสงในช่วง 555- 585 นาโนเมตร ซึ่งสาร Rhodamine 6G จะทำการตอบสนองเฉพาะย่านในย่านสเปกตรัมที่เขียว โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มทั้งการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงรวมถึงความไวต่อการตอบสนองของฟิล์มเรืองแสง เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์และ 10^{-4} โมลาร์ พบว่าที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ฟิล์มเรืองแสงจะสามารถดูดกลืนและปลดปล่อยแสงได้ดีกว่าความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ เมื่อนำฟิล์มเรืองแสงทำการวัดความไวต่อการตอบสนอง หลังจากที่สารเรืองแสงถูกกระตุ้นพบว่าฟิล์มสามารถตอบสนองได้รวดเร็วโดยมีขอบเวลาขาขึ้นที่ 35.3 มิลลิวินาที และขอบเวลาขาลงที่ 28.4 มิลลิวินาที โดยได้นำคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มเรืองแสงที่ได้ทำการเคลือบฟิล์มลงบนแผ่นอะคริลิคที่มีลักษณะเหมือนเป้าปืนที่มีขนาด 170 × 170 มม. และมีความหนา 3 มิลลิเมตร และติดตั้งโฟโต้ไดโอดที่บริเวณขอบของวงเป้าแต่ละวงเพื่อตรวจจับแสงเลเซอร์ที่ยิง ซึ่งแสงเลเซอร์สีเขียวที่ใช้มีค่าความยาวคลื่นที่ 530 นาโนเมตรและมีกำลัง 10 มิลลิวัตต์ ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง แสงที่ถูกปลดปล่อยจากโมเลกุลจะเดินทางไปยังขอบและถูกวัดค่าด้วยโฟโต้ไดโอดซึ่งด้วยต่อเข้ากับ NodeMCU ซึ่งทำการประมวลผลค่าสัญญาณและส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT ไปยัง Raspberry Pi ที่ทำเป็นที่เป็นโบรกเกอร์ เพื่อนำไปทำการแสดงผลผ่านเว็บเบราเซอร์ให้กับผู้ใช้งาน

จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถที่จะนำฟิล์มรวมแสงไปประยุกต์ใช้ในการสร้างเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถที่จะลดจำนวนของเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับ รวมถึงสามารถที่จะเคลื่อนย้ายได้ง่ายนำไปใช้งานการฝึกซ้อมยิงปืนเพื่อให้เกิดความชำนาญในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของประเทศ รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ต่อยอดเพื่อสร้างระบบจำลองการซ้อมรบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	LUMINESCENCE FILM ELECTRONIC TARGET
Student	Mr.Watcharapong Kongjaroon
Student ID	55613957
Degree	Master of Engineering
Program	Defence Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Toempong Petchakul

ABSTRACT

This thesis presents about electronic target using principles of luminescence applied to target for reduced amount of sensor. Luminescence film coated with Rhodamine 6G which fluorescence can absorb light in the range 500 – 550 nm and emission light in the range 555 – 585 nm. Rhodamine 6G responds in green light only. In this thesis, it is studied characteristics of absorption and emission of luminescence film. A comparison of luminescence films by using a concentrate of 10^{-3} molar and concentrate of 10^{-4} molar showed that a higher concentration of the fluorescence film it can be absorbed and emit light better. When measured the response time of the stimulated fluorescence film found that it can quickly respond. The rise time of luminescence film is 35.3 ms and the fall time of luminescence film is 28.1 ms. We made the film by coating on acrylic sheet that has a size like standard target at 170×170 mm and the thickness 3 mm and install photodiode at the edge of the target each band to detect light. Green laser light source has wavelength 530 nm and optical power output 10 mw. A light of luminescence that is refraction and travels to the edge were measured by photodiode connected with NodeMCU which processes signal and send through MQTT protocols to Raspberry Pi that is Broker to showed result through a web browser.

From this thesis, it can be applied luminescence film to make electronic target as well. It can reduce amount of sensor and can be easy to move and used for shooting practice to achieve mastery of the agencies involved in national security and can be applied to create a model system for maneuver.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง.....VIII
สารบัญภาพ..... IX
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน.....3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1 การดูดกลืนแสง.....4
2.2 หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์.....5
2.2.1 กระบวนการดูดกลืน.....5
2.2.2 กระบวนการกระตุ้น..... 6
2.2.3 กระบวนการกลับสู่สถานะพื้น..... 7
2.2.4 กระบวนการการผ่อนคลายโดยการสั่น.....8
2.2.5 การเกิดการเปลี่ยนภายใน..... 8
2.2.6 การเกิดการเปลี่ยนภายนอก..... 9
2.2.7 การเกิดข้ามระหว่างระบบ..... 9
2.2.8 การเกิดแสงฟลูออเรสเซนต์.....9
2.2.9 การกิดแสงฟอสฟอเรสเซนต์..... 10
2.3 การเคลื่อนที่ของแสงภายในแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์..... 11
2.4 หลักการพิมพ์สกรีน..... 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 หลักการของเครื่องมือวิเคราะห์ทางแสง..... 16
2.5.1 หลักการทำงานของเครื่อง Ultraviolet Visible Spectroscopy.....17
2.5.2 หลักการทำงานและส่วนประกอบในเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer...19
2.5.3 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น.....19
2.5.4 องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง UV-Vis Spectrometer.....20
2.6 MQTT (MQ Telemetry Transport).....21
2.6.1 MQTT Topics.....23
2.6.2 MQTT Connections.....24
2.6.3 MQTT Quality of Service (QoS).....27
2.6.4 Retained Message.....28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 30
3.1 บทนำ..... 30
3.2 เทคนิคการสร้างแผนฟิล์มรวมแสง.....31
3.2.1. การเตรียมสารเพื่อสร้างฟิล์มเคลือบลงบนแผ่นกระจกเพื่อใช้ในการยืนยันเพื่อใช้ในการยืนยันคุณสมบัติของการดูดกลืนและการเปล่งแสง.....32
3.3 หลักการและขั้นตอนในการวัด.....35
3.3.1 การศึกษาเพื่อหาฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G..... 35
3.3.2 สเปกโตรมิเตอร์.....35
3.3.3 ฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัม.....35
3.3.4 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G.....35
3.3.5 การวัดสเปกตรัมการเรืองแสงของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G.....37
3.4 การทดลอง..... 39
3.4.1 การทดสอบการตอบสนองของแผ่นฟิล์มที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทำเป้า.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การออกแบบระบบและนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เป็นเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์ 40
3.5.1 เลเซอร์ไดโอด 40
3.5.2 เซนเซอร์ตรวจวัดแสง 41
3.5.3 เป้าปืน 43
3.5.4 NodeMCU 44
3.5.5 Raspberry Pi 45
3.6 การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงาน 46
3.6.1 การเขียนโปรแกรมบน NodeMCU 47
3.6.2 การเขียนโปรแกรมบน Raspberry Pi 49
3.6.3 อัลกอริทึมซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดลองวัด 52

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 54
4.1 บทนำ 54
4.2 ผลของฟิล์มรวมแสงที่เคลือบด้วยความเข้มข้นต่างกัน 55
4.3 ผลการตอบสนองของฟิล์มที่เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำเป้า 57
4.4 การสร้างเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์จากแผ่นฟิล์มรวมแสง 59
4.5 การรับ – ส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT 60
4.6 การนับคะแนน 62

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ 67

เอกสารอ้างอิง 69

ภาคผนวก 71
ภาคผนวก ก สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง 72
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย 74
ภาคผนวก ค เซนเซอร์วัดแสง 76
ภาคผนวก ง เลเซอร์ไดโอด 90
ภาคผนวก จ โปรแกรมระบบการทำงานของเป้า 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฉ ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....104

ประวัติผู้เขียน..... 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ระยะเวลาชีวิตของกระบวนการโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของโมเลกุล....10

2.2 แสดงแพ็กเกตควบคุม (Control Packets) ทั้งหมดที่ใช้ในการสื่อสารระหว่าง Broker กับ Client ใน MQTT....24

3.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมแต่ละวง....43

4.1 แสดงคะแนนของโฟโตไอโอดแต่ละตัว....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
2.1 แผนภาพการเดินทางของแสงผ่านแผ่นรวมแสงความหน้า Δx 4
2.2 แผนภาพการหมุนของอิเล็กตรอนในสถานะต่างๆ 6
2.3 แผนภาพการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงรูปแบบต่างๆ 7
2.4 แผนภาพการสะท้อนของแสงที่พื้นผิวเรียบ (ก) และหยาบ (ข) 11
2.5 แผนภาพมุมการสะท้อนของแสง 12
2.6 แผนภาพการหักเหของแสงที่ตัวกลางต่างกัน 13
2.7 แผนภาพแสงการหักเหและการสะท้อนกลับหมด 14
2.8 แผนภาพการเคลื่อนที่ของแสงภายในแผ่นรวมแสง 14
2.9 ภาพแสดงสเปกตรัมของการดูดกลืนและการเปล่งแสงของกระบวนการ Re-absorption 15
2.10 แผนภาพหลักการการพิมพ์สกรีน 16
2.11 ภาพแสงการเคลื่อนที่ของแสงผ่านตัวกลาง 18
2.12 สมการ Beer - Lambert law 19
2.13 แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrometer 21
2.14 แผนผังการสื่อสารโปรโตคอล MQTT 22
2.15 ผังการรับส่งข้อความสุดท้าย (Last Will Message) 26
2.16 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 0 28
2.17 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 1 28
2.18 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 2 29
3.1 โครงสร้างของระบบ 30
3.2 ภาพโครงสร้างทางเคมีของสาร Rhodamine 6G 32
3.3 สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6G 32
3.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบสาร 33
3.5 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มเคลือบผิวหน้ากระจก 33
3.6 สารละลาย Rhodamine 6G 34
3.7 Ultrasonic bath 34
3.8 แผ่นกระจกสไลด์ที่จะนำมาเคลือบด้วยฟิล์ม 34
3.9 แผนภาพการวัดการดูดกลืน 36
3.10 แผนภาพการวัดการเรืองแสง 38
3.11 การทดสอบการตอบสนองของฟิล์ม 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.12 เลเซอร์ไดโอด....41
3.13 โฟโตไดโอด....42
3.14 การทำงานของโฟโตไดโอด....42
3.15 รูปแบบของเป้าปืน....44
3.16 NodeMCU....44
3.17 โครงสร้างของ NodeMCU....45
3.18 Raspberry Pi....46
3.19 หน้าโปรแกรม Arduino IDE....47
3.20 การเลือกรุ่นบอร์ด NodeMCU....48
3.21 การ Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง....48
3.22 การ Upload โปรแกรมลงบนบอร์ด NodeMCU....49
3.23 คำสั่งในการเรียกการใช้งาน Node-RED....49
3.24 หน้าต่าง command หลังจากเรียกโปแกรม Node-RED เสร็จสิ้น....50
3.25 หน้า UI ของโปรแกรม Node-RED....50
3.26 แสดงการใช้งาน Node-RED....51
4.1 ภาพรวมของระบบเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์....54
4.2 ภาพลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ได้จากเทคนิคพิมพ์สกรีน....55
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความยาวคลื่นของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วย สารละลาย Rhodamine 6G ที่ความเข้มข้นต่างกัน....55
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเรืองแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นรวมแสงที่เจือ ด้วยสาร Rhodamine 6G ที่ความเข้มข้นต่างกัน....56
4.5 วิธการวัเการตอบสนองของฟิล์ม....57
4.6 กราฟการตอบสนองของฟิล์ม....57
4.7 ภาพการเดินทางของแสงในเป้าปืนเมื่อถูกยิงด้วยเลเซอร์....58
4.8 ภาพการจัดตั้งชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....59
4.9 ภาพส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการทดลอง....59
4.10 การส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT....61
4.11 การประกาศ Topic เพื่อรับข้อมูลจาก Client....61
4.12 การส่งข้อมูลผ่าน Topic ในลักษณะของ multi-level wildcard....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.13 UI ของหน้าเว็บที่ใช้ผล..... 62
4.14 การนับคะแนนในกรณีที่ไม่แสงเลเซอร์ตกกระทบนอกเป้า..... 63
4.15 การนับคะแนนในกรณีที่แสงเลเซอร์ตกกระทบเป้าวงใดวงหนึ่ง..... 64
4.16 การนับคะแนนในกรณีที่แสงเลเซอร์ตกกระทบเป้าในบริเวณรอยต่อวงเป้า..... 65
4.17 การเปรียบเทียบคะแนนระหว่าง 2 ค่า..... 65
4.18 ภาพการรวมคะแนน..... 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์

ในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของชาติเช่นทหารและตำรวจจะมีการ การฝึกใช้อาวุธปืนเพื่อให้เกิดความชำนาญและคุ้นเคยในการใช้อาวุธ รวมไปถึงเป็นการฝึกความแม่นยำในการยิงปืนเพื่อให้พุ่งตรงไปยังเป้าหมายที่ต้องการทำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้อาวุธได้อย่างสูงสุด หน่วยงานต่างๆ จึงได้มีการฝึกยิงปืนเป็นประจำซึ่งอาวุธที่ใช้ในการฝึกนั้นจะเป็นการใช้อาวุธปืนจริงในการฝึก ซึ่งในการฝึกแต่ละครั้งค่อนข้างสิ้นเปลืองในส่วนของลูกกระสุนปืนเป็นอย่างมาก ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากเนื่องจากประเทศของเราไม่สามารถที่ผลิตลูกกระสุนปืนได้เองจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาที่แพง จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการฝึกในด้านของงบประมาณทำให้ไม่สามารถฝึกการใช้อาวุธปืนได้อย่างเต็มที่ รวมไปถึงในด้านของความปลอดภัยที่ค่อนข้างอันตรายสำหรับการฝึกด้วยอาวุธปืนจริง

ในทุกวันนี้จึงได้มีการเริ่มนำระบบของเป้าอิเล็กทรอนิกส์มาใช้งาน โดยที่ระบบของเป้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อยู่ในทุกวันนี้มีหลายแบบ เช่น ระบบที่เป็น image processing ซึ่งเป็นการออกแบบ software ที่ใช้การประมวลผลภาพที่จากกล้อง โดยอาศัยหลักการของสีที่เปลี่ยนมาเป็นตัววิเคราะห์การตกกระทบของเลเซอร์โดยจะใช้ image filter เพื่อทำการกรองภาพในส่วนอื่นๆออกไปเพื่อให้สามารถเหลือเพียงแต่แสงเซอร์[1] เนื่องจากในการกรองแสงในระบบสี RGB[2-3] นั้นจะมีความยากลำบากในการกำหนดช่วงของสี เนื่องจากถ้าหากภาพที่เข้ามามีความสว่างมากก็จะทำให้ค่าของสีนั้นเปลี่ยนไป ในโปรแกรมเพื่อทำการแยกภาพส่วนมากจะใช้ระบบ HSL (Hue, Saturation, Lightness) ซึ่งจะวิเคราะห์ในแต่ละพิกเซลของภาพซึ่งจะต้องมีการตั้งค่าให้เหมาะสมเพื่อให้ได้จุดตามที่ต้องการ[4] และอีกประเภทที่สามารถเห็นได้ตามท้องตลาดทั่วไปคือการใช้โฟโต้ไดโอดหรือ LDR นำมาใช้เป็นตัวรับค่าจากแสงเลเซอร์ซึ่งในการใช้งานโฟโต้ไดโอดหรือ LDR จะมีความยุ่งยากในการสร้างพื้นที่ผ่านรับขนาดใหญ่ เนื่องจากจะต้องนำเซนเซอร์มาต่อเข้าด้วยกันในลักษณะของ multi-array sensor ซึ่งถ้าจะนำมาใช้งานจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการต่อวงจรในกรณีที่ต้องการให้เป้ามีขนาดใหญ่ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internet of Things หรือ IoT เริ่มมีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวันมากขึ้น เป็นโครงข่ายของเน็ตเวิร์คที่เชื่อมต่อกันและทำให้สามารถบันทึกและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเซนเซอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน ในปัจจุบันสามารถเห็นการใช้งาน IoT ในการทำ smart home ซึ่งใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านเช่น หลอดไฟ แอร์ หรือทำระบบแจ้งเตือนจับการเคลื่อนไหว ซึ่งมีขนาดเล็กและราคาไม่แพงมากนัก โดยทั้งหมดจะเชื่อมต่อกันผ่านโปรโตคอล MQTT ซึ่งจะใช้แบนด์วิธในการส่งข้อมูลหากันน้อยมากเพียงพอต่อการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารที่มีการส่งข้อมูลในปริมาณน้อย

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้แผ่นฟิล์มรวมแสงในการนำมาประยุกต์ใช้ในการทำเป้าปืนโดยแผ่นฟิล์มรวมแสงได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยจะทำการดูดกลืนแสงและเปล่งแสงให้กับโซล่าเซลล์[5] ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้หลักการดูดกลืนและเปล่งแสงของสารเรืองแสงมาประยุกต์ใช้โดยการนำสารเรืองแสงมาเคลือบลงบนพื้นผิวที่จะใช้ในการทำเป้าปืนเพื่อตรวจจับแสงเลเซอร์ โดยสารเรืองแสงจะมีย่านในการดูดกลืนแสงที่มีค่าความยาวคลื่นเฉพาะและเปล่งแสงออกมาในอีกค่าความยาวคลื่นหนึ่งเราจึงนำหลักการตรงนี้มาใช้ในการประยุกต์ทำเป้าปืนโดยใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวกระตุ้นให้โมเลกุลของสารเรืองแสงเกิดการเปล่งแสงและเดินทางไปยังบริเวณขอบ จากนั้นใช้อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับแสงซึ่งวิธีนี้จะสามารถทำให้สามารถลดจำนวนเซนเซอน์ที่มาใช้งานได้ทำให้สามารถทำเป้าให้มีขนาดที่ต้องการได้ในราคาที่ต่ำลง[6]

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการประยุกต์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับฟิล์มบางเรืองแสง โดยเป็นการประยุกต์หลักการของแสงทางฟิสิกส์และทางเคมี โดยใช้แสงหรือโฟตอนเป็นตัวกระตุ้นทำปฏิกริยากับสารเคมีแล้วเกิดการคายพลังงานออกมาทำให้เกิดการเรืองแสงเราเรียกหลักการนี้ว่า (Photoluminescence) ซึ่งในกรณีนี้เราจะนำฟิล์มบางมาทำเป็นตัวรับแสงเมื่อมีการยิงแสงจากแหล่งกำเนิดไปตกกระทบที่ฟิล์มบางรวมแสงจะทำให้เกิดปฏิกริยาการกระตุ้นในโมเลกุลของสารและเปล่งแสงออกมาโดยแสงจะเดินทางหักเหภายในไปยังขอบซึ่งได้ประกบเข้ากับโฟโต้ไดโอดซึ่งจะเป็นตัวรับแสงและแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยถูกต่อเข้ากับ NodeMCU เพื่อทำการประมวลผลที่ได้จากโฟโต้ไอโอดและส่งค่าที่ได้จากการประมวลผลต่อไปยัง Raspberry Pi โดยผ่านโปรโตคอล MQTT เพื่อนำไปประมวลและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการเคลือบผิวฟิล์มด้วยเทคนิคการพิมพ์สกรีน
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มรวมแสงที่จัดเตรียมขึ้น
3. เพื่อศึกษาการตอบสนองของฟิล์มรวมแสง
4. เพื่อนำฟิล์มที่ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์
5. เพื่อนำฟิล์มที่ได้จากศึกษาการจัดทำเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการเคลือบผิวฟิล์มด้วยเทคนิคการพิมพ์สกรีน
2. ศึกษาหลักการทำงานของฟิล์มรวมแสงชนิดฟิล์มรวมถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาทฤษฎีและหลักการวัดประสิทธิภาพทางแสงของแผ่นรวมแสง
4. ศึกษาการตอบสนองของแผ่นฟิล์มที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการทำเป้า
5. นำฟิล์มที่ได้จากการเคลือบมานำไปประยุกต์ใช้เป็นเป้า
6. ศึกษาระบบการส่งข้อมูลผ่านโปรโตตอล MQTT
7. สรุปผลการวัดและอภิปรายผลการศึกษา

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอน 1 เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลวิจัยของการพัฒนาแผ่นฟิล์มรวมแสงและศึกษาหลักการทำงานของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอน 2 ทดลองและจัดเตรียมเทคนิคในการสร้างแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์ชนิดฟิล์ม

ขั้นตอน 3 ทดสอบการตอบสนองฟิล์มและนำประยุกต์ใช้ในการทำเป้าปืน

ขั้นตอน 4 จัดทำระบบของเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นตอน 5 จัดทำรายงานผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการการดูดกลืนและการเรืองแสงของแผ่นฟิล์มรวมแสง
2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการของการเคลื่อนที่ของแสงที่เกิดการหักเห การดูดกลืน การเรืองแสง ของแผ่นฟิล์มรวมแสง
3. ได้เทคนิคที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มรวมแสง
4. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการวัดคุณสมบัติทางแสงของแผ่นฟิล์มรวมแสง
5. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโปรโตคอล MQTT สามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อได้

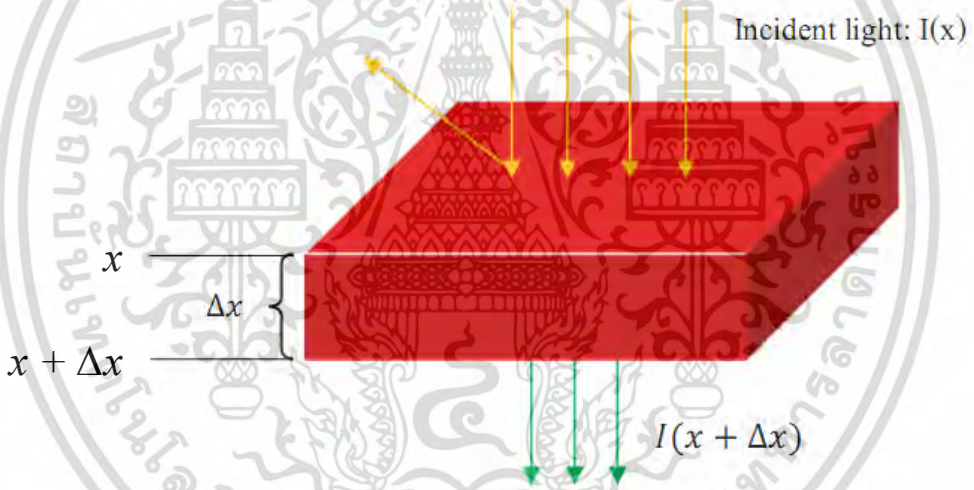
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดูดกลืนแสง

เมื่อแสงมาตกกระทบที่ผิวหน้าของแผ่นรวมแสง แสงบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับบางส่วนจะเกิดการทะลุผ่านแผ่นรวมแสงออกไปและบางส่วนจะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของสารเรืองแสง ซึ่งปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่แสงเดินทางดังภาพที่ 2.1 ถ้าให้ $\Delta I(x)$ เป็นปริมาณแสงที่เปลี่ยนไป สมการความสัมพันธ์คือ

$$\Delta I(x) = I(x + \Delta x) - I(x)\ \Delta I(x) \tag{2.1}$$



ภาพที่ 2.1 แสดงแผนภาพการเดินทางของแสงผ่านแผ่นรวมแสงความหนา Δx

สมการดังกล่าวใช้พิจารณาในกรณีสำหรับตัวกลางที่มีเนื้อเดียวอย่างสม่ำเสมอ $\Delta I(x)$ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับทั้งระยะทางและความเข้มแสงคือ $\Delta I(x) = -\alpha I(x)\ \Delta x$ เมื่อ α คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption coefficient) ซึ่งเครื่องหมายลบแสดงถึงค่าความเข้มแสงที่ลดลงตามระยะทางที่แสงเดินทางผ่านเนื่องจากเกิดการดูดกลืน เมื่อเขียนสมการในเชิงอนุพันธ์จะได้ว่า

$$\frac{dI(x)}{dx} = -\alpha I(x) \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเฉลยของสมอนุพันธ์คือ

$$I = I_0 \exp(-\alpha x) \tag{2.3}$$

เมื่อ α คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

x คือความหนาของวัสดุ

สมการที่ (2.3) จะเป็นไปตามกฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต ซึ่งปริมาณแสงที่โมเลกุลสารเรืองแสงดูดกลืนเข้าไปจะใช้เป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของโมเลกุลสารเรืองแสงไปอยู่ที่ระดับชั้นพลังงานสูงขึ้น ซึ่งก็คือกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้นอิเล็กตรอนในสถานะดังกล่าวจะตกกลับลงมายังสถานะพื้นเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล การตกกลับลงมาอิเล็กตรอนคายพลังงานจากสถานะกระตุ้นไปยังสถานะพื้นจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งสิ่งที่สนใจคืออิเล็กตรอนคายพลังงานออกมาในภาพของพลังงานแสงซึ่งก็คือ Photoluminescence

2.2 หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Principles of Photoluminescence)

โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) คือการเปล่งแสงชนิดหนึ่งโดยแสงที่เปล่งออกมาเกิดจากโมเลกุลได้รับการกระตุ้นโดยโฟตอนทำให้เกิดการเปล่งแสง การเปล่งแสงแบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 แบบ คือ การวาวแสงหรือฟลูออเรสเซนซ์ (Florescence) และการเรืองแสงหรือฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) ในหัวข้อถัดไป

2.2.1 กระบวนการดูดกลืน (Absorption)

การดูดกลืนพลังงานจะเกิดขึ้นระหว่างการสั่นและพลังงานการหมุนของสถานะกระตุ้นในโมเลกุลในออบิทัลต่างๆ ระดับพลังงานจะเกี่ยวข้องกับการดูดกลืนและการเปล่งแสง การดูดกลืนแสงนั้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการปลดปล่อยของโฟตอนด้วยวิธีฟลูออเรสเซนซ์หรือฟอสฟอเรสเซนซ์สามารถนำมาคำนวณโดยใช้สูตรทางควอนตัมได้ โดยใช้สมการของ Planck’s Law

$$E = h\boldsymbol{\upsilon} = \boldsymbol{hc/\lambda} \tag{2.4}$$

เมื่อ E คือพลังงาน

h คือค่าคงที่ของ Planck’s

$\boldsymbol{\nu}$ คือความถี่

$\boldsymbol{\lambda}$ คือความยาวคลื่น

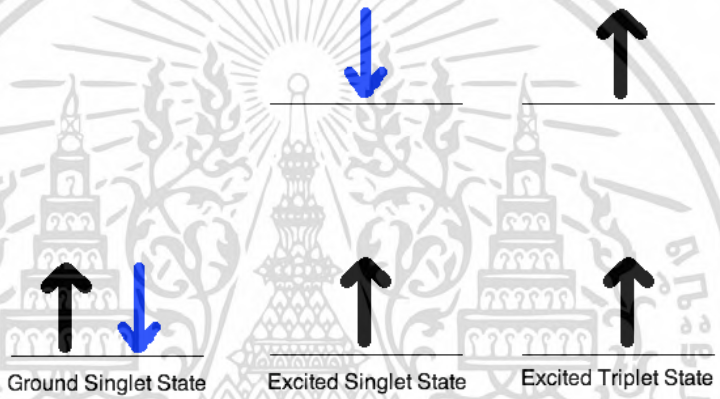
c คือความเร็วแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Planck's Law จะบอกถึงการแผ่นรังสีของพลังงานในการดูดกลืนของโฟตอนซึ่งจะมีสัดส่วนพอเหมาะกับความถี่และมีสัดส่วนพอเหมาะกับความยาวคลื่น การดูดกลืนโฟตอนของพลังงานที่จะทำให้เกิดการเรืองแสงเกิดขึ้นเนื่องจากการทำอันตรกริยาของเวคเตอร์การสั่นของคลื่นแสงกับอิเล็กตอนในโมเลกุล

2.2.2 กระบวนการกระตุ้น (Excitation)

โมเลกุลทั่วไปจะมีสถานะพลังงานต่ำสุดหรือสถานะพื้น (Ground State) ซึ่งจะอยู่เป็นคู่ในออบิทัลและมีทิศของการหมุนตรงข้ามกันโดยทิศการหมุนเมื่อให้พลังงานไปกระตุ้นจะทำให้อิเล็กตอนเคลื่อนที่จากสถานพื้นไปยังสถานะกระตุ้นซึ่งดูได้จากภาพที่ 2.2

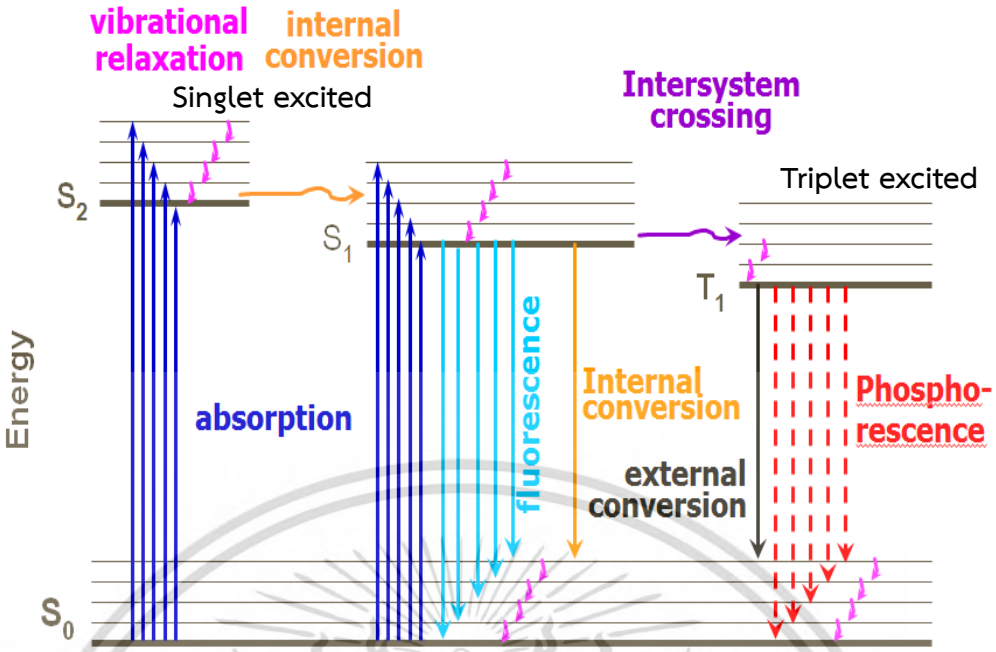


ภาพที่ 2.2 แผนภาพแสดงการหมุนของอิเล็กตรอนในสถานะต่างๆ

เมื่อโมเลกุลถูกกระตุ้นจะทำให้ย้ายจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้น ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น โดยการกระตุ้นนั้นมี 2 แบบ คือกระตุ้นไปสถานะเดี่ยวในสถานะพื้น (Excited singlet state) และสถานะสามในสถานะกระตุ้น (Triplet singlet state) ดังภาพที่ 2 ซึ่งในกรณีหลังเกิดจากการที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจะมีโอกาสที่จะหมุนกลับทิศทำให้ค่า Spin Quantum number เปลี่ยนไปกลายเป็นสถานะสาม (Triplet State) ซึ่งเป็นสถานะพื้นของสถานะสามหรือสถานะที่มีค่าพลังงานต่ำสุดของสถานะสามแทนด้วย T_1

เมื่อโมเลกุลถูกกระตุ้นไปสู่สถานะกระตุ้น (excited state) S_2 การที่โมเลกุลจะกลับลงมาสถานะพื้นจะต้องมีกลไกต่างๆเกิดขึ้นหลายขั้นตอนดังภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 แผนภาพแสดงการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงภาพแบบต่างๆ

2.2.3 กระบวนการกลับสู่สถานะพื้น (Deactivation Process)

โมเลกุลที่อยู่ในสถานะกระตุ้นจะกลับสู่สถานะพื้นโดยกระบวนการต่างๆ ได้หลายแบบเมื่อดูภาพที่ 1 การปล่อยโฟตอนมีสองแบบ ได้แก่ การวาวแสงและการเรืองแสงแทนด้วยลูกศรในแนวดิ่งขั้นตอนการคาย พลังงานแบบอื่นแทนด้วยลูกศรแบบลูกคลื่น กระบวนการนี้ไม่มีการปล่อยรังสีออกมา การกลับสู่สถานะพื้นเป็นวิธีการหนึ่งที่ลดระดับพลังงานของสถานะกระตุ้น ถ้าการกลับสู่สถานะพื้นโดยการปล่อยรังสีฟลูออเรสเซนซ์เกิดขึ้นรวดเร็วกว่ากระบวนการคายพลังงานแบบไม่ให้รังสี

ระบบที่มีปรากฏการณ์การปล่อยรังสีฟลูออเรสเซนซ์มีไม่มาก ระบบนี้เกิดขึ้นเกี่ยวกับโครงสร้างและสภาพแวดล้อมของสาร ถ้าอัตราเร็วในการคายพลังงานโดยไม่ให้รังสีมีน้อย ปฏิกิริยาการปล่อยรังสีฟลูออเรสเซนซ์จะเกิดขึ้นมาก ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการปล่อยรังสีสามารถนำมาทำปริมาณวิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การผ่อนคลายโดยการสั่น (Vibrational Relaxation)

เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากการกระตุ้น อิเล็กตรอนในโมเลกุลนี้จะขึ้นไปสู่สถานะกระตุ้น ซึ่งมีระดับพลังงานสั่นหลายค่า ถ้าโมเลกุลที่อยู่สถานะกระตุ้นอยู่ในสารละลาย โมเลกุลนี้จะเสียพลังงานโดยการชนกับตัวทำละลาย มีผลทำให้ตัวทำละลายมีพลังงานมากขึ้น ดูในภาพที่ 2.3 การคายพลังงานแบบนี้เรียกว่า การผ่อนคลายโดยการสั่น (Vibrational Relaxation) โมเลกุลที่อยู่สถานะกระตุ้นที่มีพลังงานในการสั่นต่ำสุดจะกลับสู่สถานะพื้นโดนการปล่อยรังสีนอร์มอลฟลูออเรสเซนซ์ออกมา นอร์มอลฟลูออเรสเซนซ์ที่ออกมาอาจมีหลายพีค เนื่องจากสถานะพื้น S_0 มีระดับพลังงานการสั่นอีกหลายค่า ดังนั้นโมเลกุลที่อยู่ในสถานะพื้นแต่มีระดับพลังงานในการสั่นสูง จะกลับสู่ระดับพลังงานในการสั่นต่ำ โดยการผ่อนคลายโดยการสั่นออกมา

เมื่อเกิดปรากฏการณ์การผ่อนโดยการสั่น จะมีผลทำให้รังสีนอร์มอลฟลูออเรสเซนซ์ที่ออกมามีความถี่ลดลงหรือความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ส่วนเรโซแนนซ์ฟลูออเรสเซนซ์จะเกิดการแทรนซิชันระหว่างสถานะพื้นที่มีระดับพลังงานในการสั่นต่ำสุดกับสถานะกระตุ้นที่เกิดการดูดกลืนรังเข้าไปเท่ากัน ความถี่เรโซแนนซ์ฟลูออเรสเซนซ์จะมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีที่โมเลกุลดูดกลืนเข้าไป

2.2.5 การเกิดเปลี่ยนภายใน (Internal conversion)

ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงระหว่างโมเลกุล ที่มีพลังงานอิเล็กตรอนสองชนิดที่มีค่าพลังงานต่างกันไม่มาก หรือช่วงระดับพลังงานในการสั่นซ้อนทับกันได้ ดูภาพที่ 2.3 สถานะกระตุ้นซิงเกล็ตมีสองสภาพ พลังงานศักย์ของสถานะทั้งสองที่ซ้อนทับกันมีค่าเท่ากัน จึงเกิดการแทรนซิชันแบบการเปลี่ยนภายใน เปลี่ยนจาก $S_2 \rightarrow S_1$ พลังงานของฟลูออเรสเซนซ์จากสถานะกระตุ้นซิงเกล็ตที่มีพลังงานสูง โดยรังสี λ_2 มักให้รังสีฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความยาวคลื่น λ_3 หลังเกิด internal conversion มาอยู่ที่สถานะกระตุ้น S_1 ที่มีพลังงานการสั่นต่ำสุด โดยกระบวนการผ่อนคลายโดนการสั่น แล้วโมเลกุลที่อยู่ในสถานะกระตุ้น S_1 ที่มีระดับพลังงานในการสั่นต่ำสุดจะกลับสู่สถานะพื้นที่ระดับ S_0 ความยาวคลื่นที่ถูกกลืนเข้าไปโดยให้รังสีนอร์มอลฟลูออเรสเซนซ์ λ_3 ออกมาดูในภาพที่ 2.3 ซึ่งมีความยาวคลื่นยาวกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 การเปลี่ยนแปลงภายนอก (External conversion)

การคายพลังงานการกระตุ้นของสถานะกระตุ้นอิเล็กตรอนเกี่ยวกับอันตรกิริยาและการถ่ายโอนพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในสถานะกระตุ้นกับตัวทำละลายหรือตัวถูกทำละลายอื่นๆ เรียกการบวนการนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงภายนอก การเปลี่ยนแปลงภายนอกมีผลต่อความเข้มของฟลูออเรสเซนซ์เช่นเดียวกับผลตัวทำละลายนอกจากนี้สถานะที่ทำให้อนุภาคเกิดการชนกันน้อยลง (อุณภูมิต่ำ ความหนืดสูง) จะทำให้ความเข้มของฟลูออเรสเซนซ์เพิ่มขึ้น การแทรนซิชันโดยไม่มีการปล่อยรังสีเปลี่ยนจากสถานะการกระตุ้นซิงเกล็ตและสถานะทริเพล็ตที่พลังงานสุดไปสู่สถานะพื้นซิงเกล็ตที่มีระดับพลังงานการสั่นสูงดูที่ภาพที่ 2.3 เกิดจากการเปลี่ยนภายนอกและการเปลี่ยนภายใน กลไกการเปลี่ยนแปลงทั้งสองนี้ยังไม่เป็นที่เข้าใจนัก

2.2.7 การเกิดข้ามระหว่างระบบ (Intersystem Crossing)

เกิดจากการสปินของอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะกระตุ้นกลับไปมาและมีผลทำให้มัลติพลิซิตีของโมเลกุลเปลี่ยน ปรากฏการณ์นี้จะมีการเกิดขึ้นได้ดี ถ้าระดับพลังงานการสั่นของสถานะซิงเกล็ตและทริเลพ็ตตรงกัน ดูภาพที่ 2.3 การแทรนซิชันจากสถานะซิงเกล็ตที่มีระดับการสั่นต่ำสุดไปสู่สถานะกระตุ้นทริเพล็ตที่มีระดับพลังงานการสั่นมาก การแทรนซิชันแบบนี้มีการเปลี่ยนสถานะการสปินไม่เข้าคู่ (Opposite spin เป็น parallel spin) หรือจาก $S_1 \rightarrow T_1$ โมเลกุลที่อยู่สถานะ T_1 หลังจากการลดพลังงานด้วยการเกิด Vibrational Relaxation เป็น T_1 พลังงานต่ำแล้วเกิดแทรนซิชันไปอยู่ที่สภาวะพื้น S_0 จะได้ฟอสเรสเซนซ์ ออกมา ซึ่งใช้เวลา 10^{-4} – 10 วินาที หรือนานกว่า ความยาวคลื่นของฟอเรสเซนซ์จะยาวกว่าของฟลูออเรสเซนซ์

2.2.8 การเกิดแสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence)

เมื่อโมเลกุลได้รับการกระตุ้นจนมีพลังงานสูงมากจนถูกกระตุ้นไปยัง S_2 ได้ผ่านกระบวนการลดระดับพลังงานต่างๆ จนกระทั่งอิเล็กตรอนในโมเลกุลลดระดับพลังงานมาถึงพลังงานการสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นจะเกิดการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้น ซึ่งการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้นจะเกิดการคายพลังงานออกมาในภาพของแสงเรียกว่าฟลูออเรสเซนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9 การเกิดแสงฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence)

ในการคายพลังงานในกระบวนการนี้จะแตกต่างจากการคายพลังงานแบบฟลูออเรสเซนซ์ เนื่องจากฟอสฟอร์เรสเซนซ์จะเป็นการลดระดับพลังงานอิเล็กตรอนในระดับพลังงานสั่นต่ำที่สุดของสถานะสามในสถานะกระตุ้น ซึ่งถ้าเป็นฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น

การคายพลังงานแบบที่เกิดแสงทั้งสองชนิดจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกในย่านความยาวคลื่นที่ยาวกว่าความยาวคลื่นที่มากระตุ้นโมเลกุล และความยาวคลื่นในการวาวแสงจะสั้นกว่าความยาวคลื่นของการเรืองแสงเพราะว่าชั้นพลังงานของสถานะสามในสถานะกระตุ้นจะต่ำกว่าสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น

อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะกระตุ้นหลังถูกกระตุ้นจะต้องตกกลับมายังสถานะพื้น โดยผ่านกระบวนการลดระดับพลังงานซึ่งระยะเวลาชีวิต (Lifetime) ของกระบวนการต่างๆจะต่างกันออกไป ดังตารางที่ 2.1 ระยะเวลาชีวิตของฟลูออเรสเซนต์จะน้อยกว่าฟอสฟอร์เรสเซนต์เนื่องจากฟอสฟอร์เรสเซนซ์จะต้องมีการลดระดับพลังงานแบบ Intersystem crossing เพื่อไปยังสถานะสามได้

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาชีวิตของกระบวนการโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของโมเลกุล

กระบวนการ	ระยะเวลาชีวิต (วินาที)
Absorption	10^{-15}
Internal conversion	$10^{-14} - 10^{-11}$
Intersystem crossing	10^{-8}
External conversion (S_1 -> S_0)	$10^{-7} - 10^{-5}$
Fluorescence	$10^{-9} - 10^{-7}$
External conversion (T_1 -> S_0)	$10^{-3} - 10^{2}$
Phosphorescence	$10^{-5} - 10^{2}$
Vibration relaxation	10^{-12}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

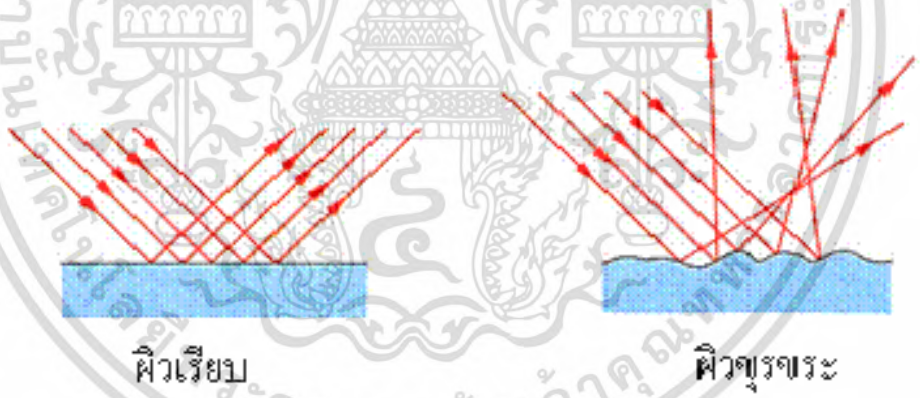
2.3 การเคลื่อนที่ของแสงภายในแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์

คุณสมบัติพื้นฐานของแสงที่ใช้เป็นหลักการของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์คือ การสะท้อน (Reflection) และการหักเห (Refraction) ของแสงตามกฎของสเนลล์

แสงที่เคลื่อนที่ในตัวกลางหนึ่งตกกระทบกับพื้นผิวของอีกตัวกลางหนึ่งจะเกิดสะท้อนกลับในบางส่วนและบางส่วนจะเกิดการหักเห การสะท้อนของแสงจะแตกต่างกันไปตามมุมและสภาพพื้นผิวที่ตกกระทบ ดังภาพที่ 2.4 แสงที่เดินทางมาตกกระทบพื้นผิวที่มีสภาพพื้นผิวเรียบจะสะท้อนในทิศทางขนาน เรียกว่าการสะท้อนจากผิวเรียบ แต่ถ้าแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวที่มีสภาพพื้นผิวขรุขระจะเกิดการสะท้อนแบบไม่มีทิศทางเรียกว่าการสะท้อนแบบกระจาย

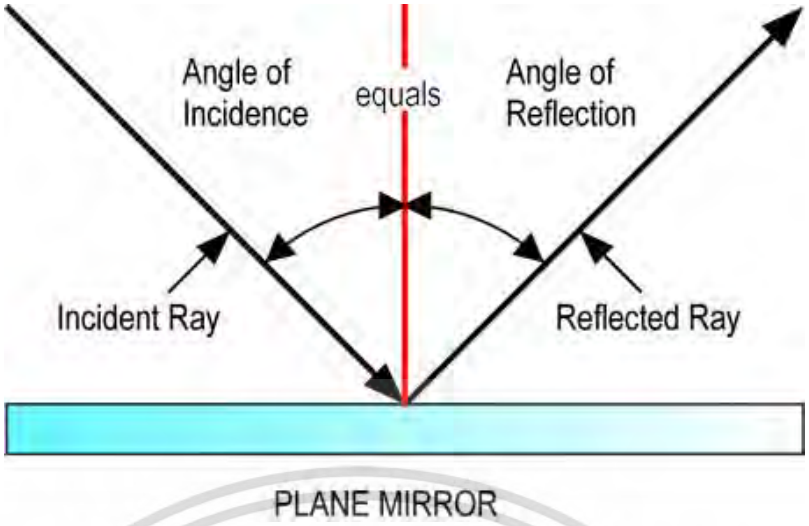
แสงที่ตกกระทบในพื้นผิวเรียบจะมีมุมที่ตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนที่อ้างอิงจากเส้นปกติที่เป็นเส้นที่ตั้งฉากกับระนาบของตัวกลาง

$$\theta_i = \theta_r \tag{2.5}$$



ภาพที่ 2.4 แผนภาพแสดงการสะท้อนของแสงที่พื้นผิวเรียบ (ก) และหยาบ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แผนภาพแสดงมุมการสะท้อนของแสง

เมื่อแสงเกิดการสะท้อนไปบางส่วน ในส่วนที่เหลือของแสงจะเกิดการหักเหขึ้น ในการหักเหของแสงคือแนวของแสงเกิดการเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม การหักเหของแสงเกิดเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่งซึ่งมีค่าดัชนีหักเห (Refractive index: n) ของแสงไม่เท่ากัน โดยความสัมพันธ์ของแสงและค่าดัชนีหักเหจะเป็นดังสมการ

$$n = \frac{C}{V} \tag{2.6}$$

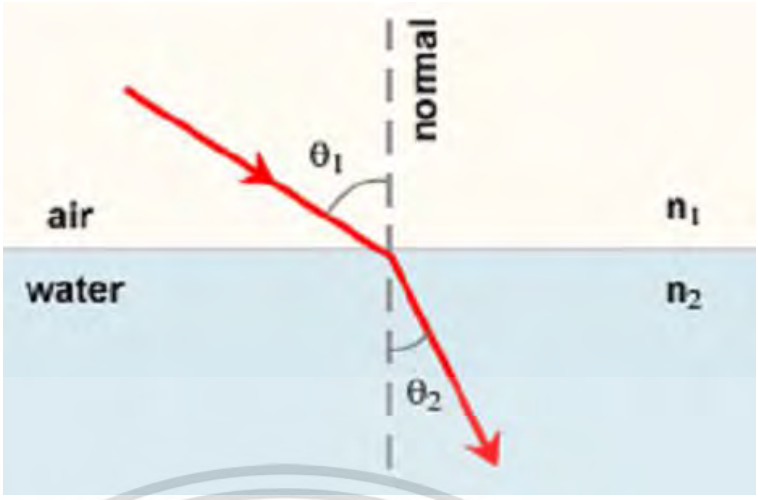
เมื่อ C คืออัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ

V คืออัตราเร็วของแสงในตัวกลางชนิดหนึ่ง

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหค่าหนึ่งมาตกกระทบพื้นผิวของอีกตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหอีกค่าหนึ่งด้วยมุมตกกระทบ θ_1 และหักเหออกไปด้วยมุม θ_2 จะมีความสัมพันธ์ในการหักเหของแสงดังสมการตามกฎของสเนลล์ (Snell's law)

$$n_1 sin\theta_1 = n_2 sin\theta_2 \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 แผนภาพแสดงการหักเหของแสงที่ตัวกลางต่างกัน

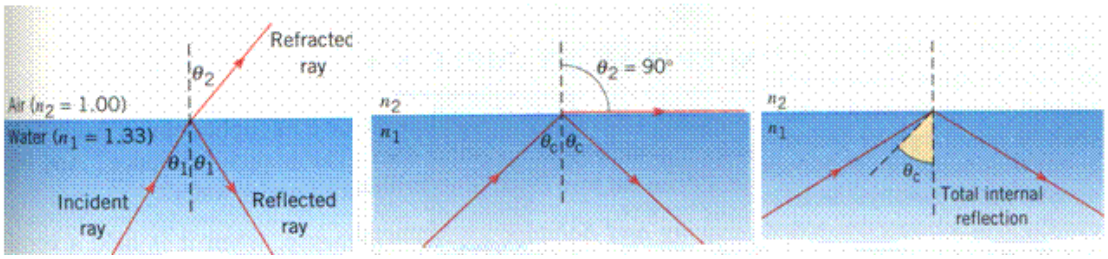
เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่า (อากาศ) ดังภาพที่ 2.6 ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหสูงกว่า (น้ำ) มุมหักเหจะมีค่าน้อยกว่ามุมตกกระทบ ดังนั้นแสงจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ในทำนองเดียวกันถ้าแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหสูงกว่าไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าจะทำให้มุมหักเหมากกว่ามุมสะท้อน ดังนั้นแสงจะเบนออกจากเส้นปกติ

ดังนั้นแสงที่ตกกระทบแผ่นรวมแสงจะเกิดได้สองกรณีคือเกิดการสะท้อนกลับที่ผิวหน้าของแผ่นรวมแสงและเกิดการหักเหเข้าไปในแผ่นรวมแสง หลังจากที่หักเหแล้วก็จะถูกโมเลกุลของสารเรืองแสงดูดกลืนและปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์ออกมา แสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเดินทางไปยังขอบของแผ่นรวมแสงโดยอาศัยการสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection)

การสะท้อนกลับหมดของแสงจะอาศัยหลักการหักเหของแสง เมื่อแสงที่มาตกกระทบพื้นผิวทำมุมค่าหนึ่งแล้วทำให้มุมหักเหมีค่าเป็น 90 องศากับเส้นปกติ เรียกมุมนั้นว่า มุมวิกฤต (Critical angle : θ_c) และค่ามุมที่มาตกกระทบพื้นผิวที่มีค่ามากกว่ามุมวิกฤตจะทำให้แสงนั้นไม่เกิดการหักเหแต่จะเกิดการสะท้อนกลับหมด ดังภาพที่ 2.7 ซึ่งสามารถหาค่ามุมวิกฤตได้จากสมการ

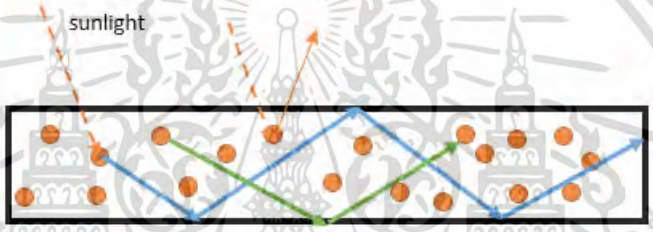
$$\theta_c = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 แผนภาพแสงการหักเหและการสะท้อนกลับหมด

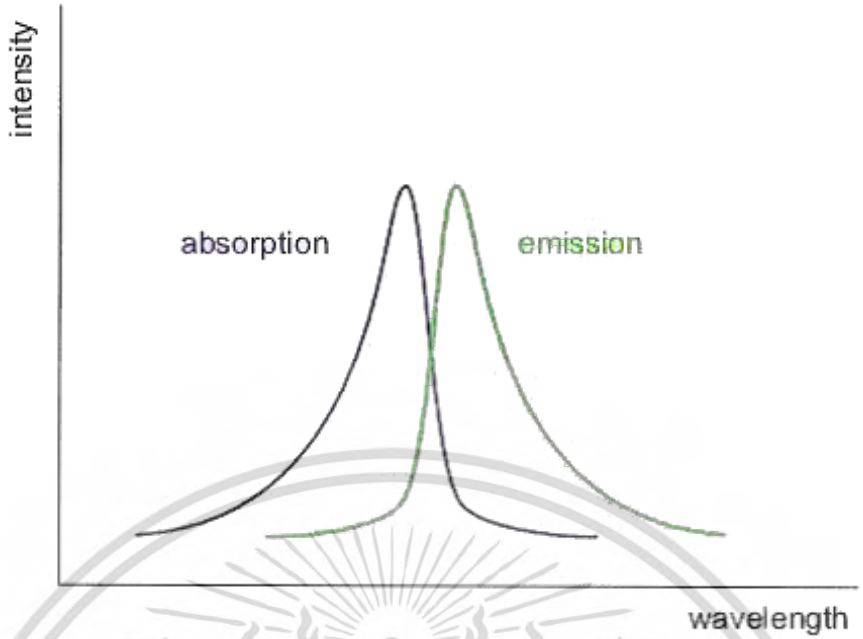
การสะท้อนกลับหมดของแสงในตัวกลางที่ต่างกันจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางของแสงตกกระทบจะต้องมากกว่าในตัวกลางของแสงที่ผ่านออกไป



ภาพที่ 2.8 แผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของแสงภายในแผ่นรวมแสง

การเคลื่อนที่ของแสงภายในแผ่นรวมแสงหลังจากที่โมเลกุลของสารเรืองแสงได้ปลดปล่อยฟลูออเรสเซนซ์แล้ว นอกจากแสงจะเกิดการหักเหออกนอกแผ่นรวมแสงไปและสะท้อนกลับหมดภายในแผ่นรวมแสงแล้วอาจเกิดการดูดกลืนแสงที่ปลดปล่อยออกมาด้วยโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงกันได้ ซึ่งเรียกการดูดกลืนนี้ว่า Re-absorption การดูดกลืนดังกล่าวสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 2.9 ว่าสเปกตรัมการดูดกลืนและการปลดปล่อยของแสงจะมีส่วนที่ซ้อนทับกันอยู่ บริเวณนั้นคือการ Re-absorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

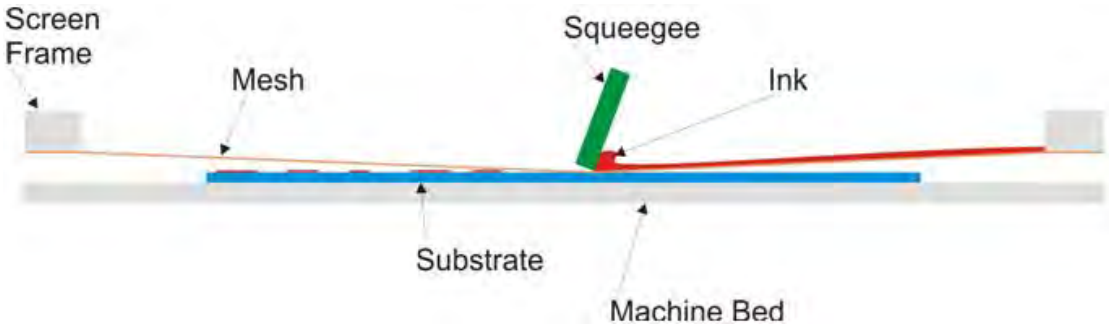


ภาพที่ 2.9 ภาพแสดงสเปกตรัมของการดูดกลืนและการเปล่งแสงของกระบวนการ Re-absorption

2.4 หลักการพิมพ์สกรีน

การพิมพ์สกรีนเป็นระบบการพิมพ์ที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัวคือ เป็นการพิมพ์โดยการกดปาดหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดพอเหมาะด้วยยางปาดผ่านรูเปิดของผ้าสกรีน (Screen fabric) บนแม่พิมพ์สกรีนเพื่อให้หมึกไหลลงบนวัสดุรองรับแล้วเกิดเป็นลวดลายต่างๆ ตามแม่แบบ (artwork) ที่อยู่บนแม่พิมพ์สกรีน ทั้งนี้ การพิมพ์สกรีนจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ พร้อมทั้งกรรมวิธีและเทคนิคการพิมพ์ เพื่อให้สามารถพิมพ์ลงบนวัสดุที่ต้องการโดยต้องพิจารณาถึงภาพร่าง ขนาด พื้นผิว ฯลฯ ที่นำมาใช้พิมพ์ ในขณะเดียวกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์สกรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ผู้พิมพ์ต้องคัดเลือกและนำมาใช้ให้ได้ตรงตามความต้องการของชิ้นงาน ที่พิมพ์ เช่น หมึกพิมพ์ กรอบสกรีน ผ้าสกรีน ยางปาด เครื่องพิมพ์สกรีน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 แผนภาพแสดงหลักการการพิมพ์สกรีน

เนื่องจากการพิมพ์สกรีนสามารถพิมพ์ลงบนวัสดุหลายประเภท เช่น ไม้ ผ้า กระดาษ โลหะ พลาสติก และวัสดุสังเคราะห์อื่นๆ เป็นจำนวนมาก และมีภาพร่างที่แตกต่าง เช่น แผ่นราบ ทรงกลม ทรงกระบอก รวมทั้งสามารถพิมพ์ให้เกิดลวดลายพิเศษ เช่น นูนขึ้นจากพื้นวัสดุ เทคนิคที่ใช้เพื่อให้การพิมพ์ลงบนวัสดุเหล่านี้ได้อย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาให้เข้าใจถึงหลักการพิมพ์เป็นอย่างดี[8]

2.5 หลักการของเครื่องมือวิเคราะห์ทางแสง

2.5.1 เครื่อง Ultraviolet Visible Spectroscopy (UV-VIS Spectroscopy)

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่นำเทคนิค UV-Vis spectroscopy ไปใช้งาน เครื่องมือตัวนี้ทำหน้าที่ในการตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่านหรือสะท้อนจาก ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด เครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลักๆ ที่เหมือนกัน ได้แก่แหล่งกำเนิดแสง เกรตติ้งหรือโมโนโครเมเตอร์ เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง และเครื่องตรวจวัดแหล่งกำเนิดแสงจะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ตัวที่นิยมใช้คือ หลอดทังสเตน-ฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2,500 นาโนเมตร สำหรับแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวีนั้นจะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอดดิวที เรียมซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 160-375 นาโนเมตร แต่แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นต่างๆ ดังนั้นจึงต้องใช้โมโนโครเมเตอร์เป็นตัวกระจายแสงออกเพื่อให้แสงที่จะผ่านไป ยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียวตามที่ต้องการหลังจากนั้นแสงความยาวคลื่น ค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบ (cuvettes) ซึ่งมีภาพร่างต่างๆ กันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างภายใน 1 เซนติเมตร (ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าระยะทางเดินของแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างตามกฎของ Beer-Lambert) เครื่อง UV-Vis spectrophotometer บางรุ่น สามารถใช้หลอดทดลองเป็น cuvettes ได้ แต่ cuvettes ที่ดีที่สุดนั้นทำมาจากควร์ตที่มีคุณภาพสูง สำหรับ cuvettes ที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้นก็เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่สามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงแสงขาวเท่านั้นเพราะแก้วและพลาสติกดูดกลืนแสงใน ช่วงรังสียูวีแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านตัวอย่างมาถึงเครื่อง ตรวจวัด สำหรับเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ ได้แก่ PMT (photomultiplier tube), diode arrays และ CCDs (charge coupled devices) เครื่องจะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่ เกิดการดูดกลืน ผลของสเปคตรัมที่ได้จะแสดงในภาพของกราฟระหว่างค่า absorbance และค่าความยาวคลื่น

เครื่อง UV-Vis spectrophotometer สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ แบบลำแสงเดี่ยวและแบบลำแสงคู่ สำหรับเครื่องแบบ ลำแสงเดี่ยวเป็นเครื่องที่ใช้ลำแสงเดียวจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องมือนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่ายสะดวก และมีราคาไม่แพงมากนัก สำหรับเครื่องแบบลำแสงคู่นั้น แสงจะถูกแยกออกเป็น 2 ลำ ก่อนที่จะไปตกลงบนตัวอย่าง โดยแสงลำหนึ่งจะใช้เป็นลำแสงอ้างอิงขณะที่อีกลำจะผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องมือที่เป็นแบบลำแสงคู่บางรุ่นจะมีเครื่องตรวจวัด 2 ตัวเพื่อที่จะตรวจวัดแสงอ้างอิงและแสงที่มาจากตัวอย่างได้พร้อมกัน แต่ในบางรุ่นจะมีเครื่องตรวจวัดเพียงตัวเดียว โดยแสงทั้งสองลำจะผ่านตัว beam chopper ซึ่งจะทำหน้าที่กักแสงลำหนึ่งไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เครื่องตรวจวัดจึงสามารถตรวจวัดความแตกต่างของแสงทั้งสองลำได้

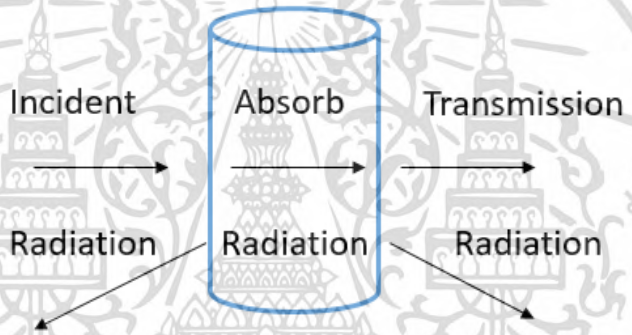
2.5.2 หลักการทำงานของเครื่อง Ultraviolet Visible Spectroscopy

สเปกโทรสโคปี (spectroscopy) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการวัดการดูดกลืน (absorption) หรือการคาย (emission) รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ของสาร โดยเฉพาะสารส่วนใหญ่สามารถดูดกลืนคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet UV) และช่วงแสงที่มองเห็นได้ (visible) ได้ จากสมบัตินี้จึงนำมาใช้เป็นเทคนิควิเคราะห์ที่เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Vis spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัตราไวโอเลตและวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 – 800 นาโนเมตร ของสารเคมี สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำและมีสภาพไว (sensitivity) สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในภาพของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้ แต่การที่จะพิสูจน์ว่าสารตัวอย่างเป็นสารอะไร มีโครงสร้างอย่างไร จำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นเข้าช่วยเพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำ

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน (continuous beam of radiation) ผ่านเข้าไปในวัตถุใส จะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนทะลุออกไปดังภาพ



ภาพที่ 2.11 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของแสงผ่านตัวกลาง

ถ้าให้ลำแสงที่ทะลุออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึม หรือเกรตติง) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปบางส่วน ส่วนที่หายไปจะเรียกว่า absorption spectrum และพลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับของพลังงานจากสถานพื้นไปยังสถานะกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 หลักการทำงานและส่วนประกอบในเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

Spectrophotometer และ Beer - Lambert's

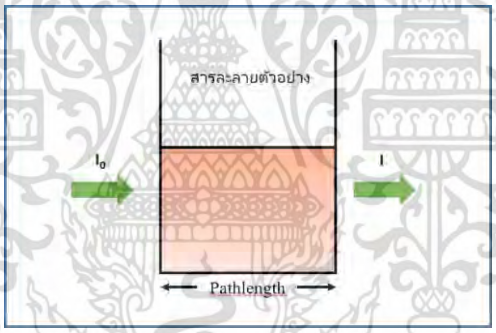
แสง UV-Visible จัดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร โดยที่แสงเมื่อส่องผ่านสารสามารถดูดกลืนแสงได้ แสงจะถูกดูดกลืน เรียกว่า Absorbance (A) โดยสัมพันธ์กับค่า Transmittance (T) ดังนี้

$$A = \log(\frac{I_0}{I}) \tag{2.9}$$

โดยที่

I_0 = ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

I = ความเข้มของแสงที่เหลือ (Transmittance)



ภาพที่ 2.12 สมการ Beer - Lambert law

2.5.4 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น (absorbance and concentration)

ค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงปริมาณวิเคราะห์เนื่องจากค่าการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ดังสมการ

$$A = \varepsilon cl \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)

ε = เป็นสมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวค่าหนึ่ง

เรียกว่า molar absorptivity (L mol^{-1} cm^{-1})

l = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง หรือความกว้างของเซลล์นั่นเอง (cm)

c = ความเข้มข้นเป็น โมล/ลิตร หรือโมลาร์ (M)

ถ้าความเข้มข้นของสารอยู่ในหน่วยอื่นจะเขียนสมการเป็น

$$A = acl \tag{2.11}$$

2.5.5 องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง UV-Vis Spectrometer แบ่งออกได้เป็น

1. Source หรือแหล่งกำเนิดแสงซึ่งให้กำเนิดแสงในช่วง UV และ visible โดยแหล่งกำเนิดแสงในช่วง UV ได้แก่ Deuterium หรือ Hydrogen lamps ซึ่งจะให้แสงในช่วง 160 - 375 นาโนเมตร ส่วนแหล่งกำเนิดแสงในช่วง visible จะนิยมใช้ Tungsten filament lamp หรือ Tungsten/Halogen lamp ซึ่งจะให้แสงในช่วง 350 – 2500 นาโนเมตร

2. Monochromator (Wavelength Selector) ทำหน้าที่แยกลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยแสงจะผ่านเข้าที่ Entrance slit และจะถูกแยกด้วย Grating หรือ Prism จากนั้นแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ เท่านั้นจะออกจาก Monochromator โดยผ่านทาง Exit slit

3. Sample container (Cuvette) เป็นอุปกรณ์สำหรับใส่ตัวอย่างที่ต้องการจะวิเคราะห์ โดยจะต้องมีลักษณะโปร่งแสง วัสดุที่นิยมใช้ได้แก่ Quartz หรือ Fused silica นิยมใช้ใน การวิเคราะห์ในช่วง UV และวัสดุที่เป็น Silicate glasses จะนิยมใช้ในการวิเคราะห์ช่วงVisible

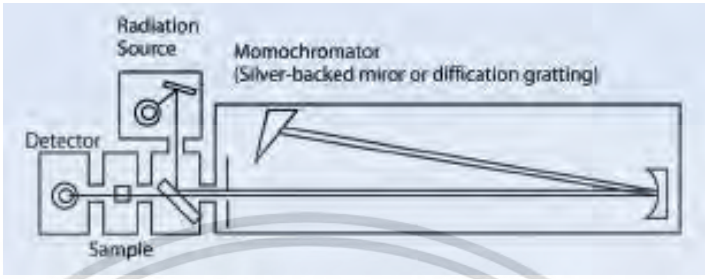
4. Detector เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแสงที่ผ่านสารตัวอย่างออกมา โดย Detector ที่ใช้มีหลายชนิดได้แก่

a) Photomultiplier tube เป็น detector ที่ไวต่อแสงทั้งในช่วง UV และ visible โดยสามารถตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว และตรวจวัดสารที่มีปริมาณต่ำๆได้ดีในช่วงความยาวคลื่น 190-900 นาโนเมตร

b) Photodiode array detector เป็น Detector ที่สามารถตรวจวัดในทุกความยาวคลื่นของแสงได้ในเวลาเดียวกัน โดยมีราคาถูกและตรวจวัดได้ตั้งแต่ช่วง 190 – 1100 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการวิเคราะห์ในภาพสารละลายแล้ว เทคนิคนี้ก็ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในภาพของแข็งได้อีกด้วย เช่น การตรวจสอบวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก กระจก แก้ว ผ้า การตรวจสอบเพชร พลอย การวิเคราะห์ทางด้านโปรตีน DNA RNA การวิเคราะห์ด้านสี ด้านอาหาร และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

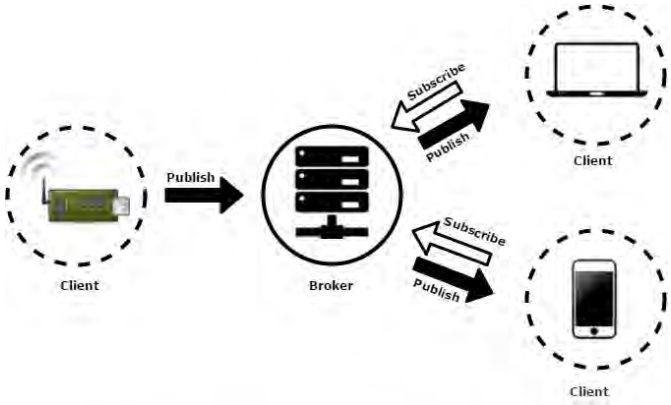


ภาพที่ 2.13 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrometer

2.6 MQTT (MQ Telemetry Transport)[9]

MQTT เป็นโปรโตคอลสื่อสารชั้นแอปพลิเคชั่นที่รันบน TCP/IP ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1999โดย IBM และ Eurotech สำหรับการมอนิเตอร์สถานะท่อส่งน้ำมันส่วนที่วางผ่านเขตทะเลทราย ที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (machine-to-machine) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์ สนับสนุนเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) คือเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรทัศน์ ตู้เย็น เข้ากับอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถ ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ จากที่อื่นได้ เช่นการสั่งปิดเปิดไฟในบ้านจากที่อื่นๆ โปรโตคอลนี้ใช้วิธีการเหมือนกับ Message Queue ปกติแต่พัฒนาให้รองรับงานด้าน Internet of Things นอกจากจะรอรับและอ่านค่าแล้ว ยังสามารถสั่งงานอุปกรณ์ที่ใช้ MQTT ได้ด้วย การใช้งานโปรโตคอลนี้ต้องจะต้องมีอุปกรณ์ที่ฝัง MQTT Broker มาเพื่อทำหน้าที่รับส่งข้อมูลไปยัง อุปกรณ์อื่นที่ใช้ MQTT เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 แผนผังแสดงการสื่อสารโปรโทคอล MQTT

โปรโตคอลแบบ Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดค่าใช้จ่าย โดยที่โปรโตคอล MQTT นั้นมีลักษณะคือ

- Open เป็นมาตรฐานเปิด สามารถนำไปพัฒนาได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
- Lightweight เป็นโปรโตคอลขนาดเล็ก ใช้ bandwidth ต่ำ
- Reliable เป็นโปรโตคอลที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถทำ Quality of Services (QoS) ได้
- Simple เป็นโปรโตคอลที่ง่ายต่อการใช้งาน ใช้ภาพแบบการทำงานแบบ Publish/Subscribe

MQTT Protocol จะประกอบไปด้วย Broker, Publisher และ Subscriber ซึ่งแต่ละตัวมีหน้าที่ดังนี้

- Broker จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางคอยจัดการ message โดยอ้างอิงด้วย topic
- Subscriber จะทำหน้าที่คอยดูการเปลี่ยนแปลงของ message ที่อ้างอิงด้วย topic
- Publisher จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังหัวข้อนั้นๆ

โบรกเกอร์ เป็นจุดศูนย์กลางในการรับส่งข้อความระหว่างไคลเอนต์ วิธีการกำหนดเส้นทาง(Routing) กระทำผ่าน Topic โดยไคลเอนต์ Subscribe ใน Topic ที่ตนต้องการ จากนั้นโบรกเกอร์จะส่งข้อความทั้งหมดที่ถูก Publish ใน Topic นั้นๆ ไปให้ ดังนั้นไคลเอนต์จึงสื่อสารกันได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้จักกัน ช่วยลดความเกี่ยวพันระหว่างผู้สร้างข้อมูลและผู้ใช้ข้อมูล ส่งผลให้การขยายตัวของเครือข่ายทำได้ง่ายนอกจากนี้หน้าที่ที่สำคัญอีกประการของโบรกเกอร์คือการรักษาความปลอดภัยของไคลเอนต์ (Authorization, Authentication) ซึ่งในส่วนนี้สามารถขยายเพิ่มเติม หรือนำไปเชื่อมกับกลไกความปลอดภัยของระบบหลังบ้านที่มีอยู่แล้วได้ ช่วยให้นำโบรกเกอร์เข้าไปใช้งานเป็นส่วนหนึ่งของระบบอื่นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคลเอนต์ จะเป็นได้ทั้ง Publisher หรือ Subscriber หรือ Publisher/Subscriber พร้อมๆ กัน และจะเป็นอุปกรณ์ใดๆ ก็ได้ที่สามารถรัน MQTT Client Library บน TCP/IP Stack การที่ MQTT ใช้โมเดล Publish/Subscribe ตรรกะส่วนใหญ่จึงไปตกอยู่ในฝั่งโบรกเกอร์ ทำให้ Library มีขนาดเล็ก ติดตั้งได้ง่าย ใช้งานได้กับอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด ไคลเอนต์จำเป็นต้องเปิดการเชื่อมต่อ TCP ไว้ตลอดเพื่อที่โบรกเกอร์จะสามารถผลักข้อความไปให้ได้ หากการเชื่อมต่อถูกตัดขาด โบรกเกอร์จะเก็บข้อความทั้งหมดที่เข้ามาไว้จนกว่าไคลเอนต์จะกลับมาออนไลน์อีกครั้ง

2.6.1 MQTT Topics

MQTT Topic เป็น UTF-8 String ในลักษณะเดียวกับ File Path คือสามารถจัดเป็นลำดับชั้นได้ด้วยการขั้นด้วย “/” ตัวอย่างเช่น myhome/floor-one/room-c/temperature ไคลเอนต์สามารถเลือก Publishหรือ Subscribe เฉพาะ Topic หรือ Subscribe หลาย Topic พร้อมๆ กัน โดยใช้ Single-Level Wildcard(+) เช่น myhome/floor-one/+/temperature หมายถึงการขอเขียนหรือรับข้อความ temperature จากทุกๆห้องของ myhome/floor-one หรือ Multi-Level Wildcard (#) เช่น myhome/floor-one/# หมายถึงการขอเขียนหรือรับข้อความทั้งหมดที่มี Topic ขึ้นต้นด้วย myhome/floor-one เป็นต้น

เราสามารถกำหนด Topic อย่างไรก็ได้ โดยมีข้อยกเว้นการขึ้นต้น Topic ด้วยเครื่องหมาย “$” ซึ่งจะจำกัดไว้สำหรับการเก็บสถิติภายในของตัวโบรกเกอร์เท่านั้น ดังนั้นไคลเอนต์จะไม่สามารถ Publish หรือSubscribe ไปยัง Topic เหล่านี้ได้ โดยทั่วไป Topic เหล่านี้จะขึ้นต้นด้วย $SYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 MQTT Connections

ตารางที่ 2.2 แสดงแพ็กเกตควบคุม (Control Packets) ทั้งหมดที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโบรกเกอร์กับไคลเอนต์ใน MQTT

แพ็กเกตควบคุม	ผู้ส่ง		คำอธิบาย
	โบรกเกอร์	ไคลเอนต์	
CONNECT		X	ขอเชื่อมต่อ
CONNACK	X		รับทราบขอเชื่อมต่อ
PUBLISH	X	X	ข้อความที่จะขอ Publish
PUBACK	X	X	แจ้งว่าได้ Publish แล้ว (QoS Level 1)
PUBREC	X	X	แจ้งว่าได้ Publish แล้ว (QoS Level 1)
PUBREL	X	X	รับทราบข้อความถูก Publish แล้วและลบแล้วให้อีกผู้รับลบค่าสถานะได้ (QoS Level 2)
PUBCOM	X	X	แจ้งว่า Publish เสร็จสิ้นและสถานะถูกลบ (QoS Level 2)
SUBSCRIBE		X	ขอ Subscribe
SUBACK	X		รับทราบการขอ Subscribe
UNSUBSCRIBE		X	ขอยกเลิก Subscribe
UNSUBACK	X		รับทราบการขอยกเลิก Subscribe
PINGREQ		X	PING Request
PINGRESP	X		PING Response
DISCONNECT		X	ขอยกเลิกการเชื่อมต่อ

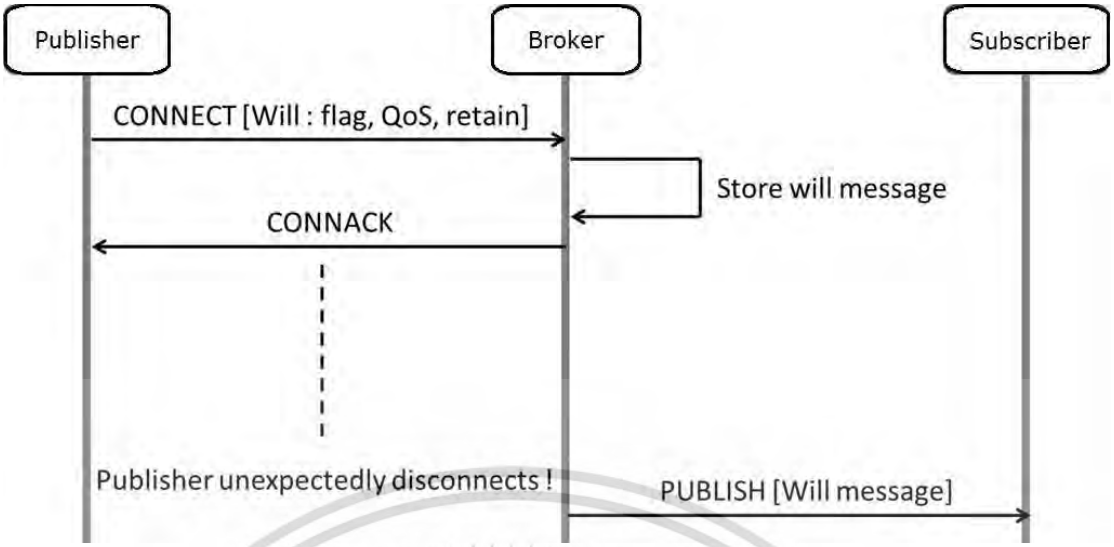
การเชื่อมต่อ MQTT จะเริ่มต้นจากฝั่งไคลเอนต์ส่งแพ็กเกตควบคุม CONNECT ไปยังโบรกเกอร์ โบรกเกอร์จะตอบรับด้วยแพ็กเกตควบคุม CONNACK วิธีนี้ช่วยแก้ปัญหาไคลเอนต์ที่ติดตั้งอยู่หลังเราท์เตอร์หรือไม่มีเลขไอพีสาธารณะ เพราะมีเลขไอพีสาธารณะและจะรักษาการเชื่อมต่อสองทางไว้ตลอดหลังจากได้รับแพ็กเกตควบคุม CONNECT หากโบรกเกอร์พบว่าแพ็กเกต CONNECT ที่ได้รับไม่ถูกต้องหรือไคลเอนต์ใช้เวลานานเกินไปนับตั้งแต่เปิดซ็อกเก็ตจนกระทั่งเริ่มส่งแพ็กเกต โบรกเกอร์จะปิดการเชื่อมต่อ เพื่อป้องกันไคลเอนต์ไม่ประสงค์ดีที่ต้องการถ่วงการทำงานของโบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคลเอนต์จะเป็นผู้ระบุค่าการเชื่อมต่อในแพ็กเกตควบคุม CONNECT ค่าเหล่านี้ได้แก่

- Client ID เพื่อให้โบรกเกอร์ใช้ระบุตัวตนของไคลเอนต์และเก็บค่าสถานะเซสชั่นได้แก่ Subscriptions และข้อความทั้งหมดที่ไคลเอนต์ยังไม่ได้รับไว้ให้ (ส่วนนี้เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าระดับ QoS ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) ดังนั้น Client ID จึงจำเป็นที่จะต้องไม่ซ้ำกัน แต่หากไม่ต้องการให้โบรกเกอร์เก็บค่าสถานะ ไคลเอนต์สามารถเว้นส่วนนี้ว่างไว้ได้
- Clean Session มีค่า True หรือ False เพื่อระบุว่าไคลเอนต์ต้องการให้โบรกเกอร์รักษาค่าสถานะของเซสชั่นไว้ให้หรือไม่ หากต้องการ ให้ระบุค่าเป็น False หากไม่ ให้ระบุค่าเป็น Trueดังนั้นหากไคลเอนต์ไม่ระบุค่า Client ID ในแพ็กเกต CONNECT จะต้องระบุ Clean Session เป็น True ด้วย มิฉะนั้นโบรกเกอร์จะไม่รับการเชื่อมต่อ
- Username และ Password เพื่อให้โบรกเกอร์ใช้ในการ Authentication และ Authorizationซึ่งตามมาตรฐานปัจจุบัน (MQTT 3.1.1) โปรโตคอล MQTT เองไม่มีการเข้ารหัสหรือแฮชในส่วนนี้ กล่าวคือ Username/Password จะถูกส่งเป็น Plaintext ดังนั้นจึงมีข้อควรระวังในการใช้ MQTT หากไม่มีชั้นความปลอดภัยเพิ่มเติมเช่น TLS ในชั้นทรานสปอร์ต
- Last Will Topic, Last Will QoS และ Last Will Message มีไว้ให้โบรกเกอร์ Publish ข้อความสั่งเสียสุดท้าย (Last Will Message) ไปยัง Topic ที่ระบุ (Last Will Topic) เพื่อให้ไคลเอนต์อื่นรับรู้ในกรณีการเชื่อมต่อของไคลเอนต์รายนี้ขาดลงแบบไม่เจตนา
- Keep Alive เป็นค่าตัวเลขคาบเวลาที่ไคลเอนต์ตกลงกับโบรกเกอร์ว่าจะส่งแพ็กเกตควบคุม PINGREQ มาเป็นระยะๆ ซึ่งโบรกเกอร์จะตอบด้วยแพ็กเกต PINGRESP เพื่อให้ทั้งสองฝ่ายรับรู้ว่าการเชื่อมต่อยังคงอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 ผังการรับส่งข้อความสุดท้าย (Last Will Message)

ไคลเอนต์ Publish ข้อความ โดยบรรจุลงในส่วน Payload ของแพ็กเกตควบคุม PUBLISH ซึ่งจะต้องระบุ Packet ID, ชื่อ Topic, ระดับของ QoS, Duplicate Flagและ Retain Flagโบรกเกอร์จะตอบกลับด้วยแพ็กเกต PUBACK หรือ PUBREC ขึ้นอยู่กับระดับ QoS ที่ระบุในแพ็กเกต PUBLISH ในทางกลับกันเมื่อต้องการรับข้อมูล ไคลเอนต์ส่งแพ็กเกตควบคุม SUBSCRIBE ไปยังโบรกเกอร์ โดยระบุรายชื่อ Topic ที่ต้องการ ซึ่งอาจมีได้มากกว่าหนึ่ง และสามารถเลือกตั้งค่าระดับ QoS ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละ Topicและโบรกเกอร์จะตอบด้วยแพ็กเกต SUBACK โดยยืนยันค่าระดับ QoS ของแต่ละ Topic ที่ไคลเอนต์ขอSubscribe กลับมาอีกครั้ง หาก Topic ใดที่ไม่อนุญาตหรือไม่ปรากฏบนโบรกเกอร์ โบรกเกอร์จะตอบกลับด้วยค่า 128 แทนที่ค่าระดับ QoS

เมื่อ Client ต้องการยกเลิกการรับข้อมูล ทำได้โดยการส่งแพ็กเกตควบคุม UNSCRIBE ไปยังโบรกเกอร์ โดยระบุรายชื่อ Topic ที่ต้องการบอกเลิกในคราวเดียวกันได้มากกว่าหนึ่ง โบรกเกอร์จะยืนยันการยกเลิกด้วยแพ็กเกต UNSUBACK

เมื่อไคลเอนต์ต้องการเลิกการเชื่อมต่อ ทำได้โดยการส่งแพ็กเกตควบคุม DISCONNECT ไปยังโบรกเกอร์ หากไคลเอนต์ CONNECT โดยตั้งค่า Clean Session เป็น True โบรกเกอร์จะยกเลิก Subscription ทั้งหมดของไคลเอนต์ให้เองโดยอัตโนมัติ ในทางกลับกันหาก Clean Session เป็น False โบรกเกอร์จะยังคงเก็บค่าต่างๆ ของเซสชั่นไว้ เมื่อไคลเอนต์เชื่อมต่อเข้ามาใหม่ด้วย Client ID เดิม จึงไม่จำเป็นต้องเริ่มSubscribe ใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 MQTT Quality of Service (QoS)

ไคลเอนต์จะเป็นผู้กำหนดระดับของบริการส่งและรับข้อความหรือ QoS ที่ต้องการในแต่ละ Topic ในแพ็กเกต PUBLISH หรือ SUBSCRIBE และโบรกเกอร์จะตอบสนองด้วย QoS ระดับเดียวกันสำหรับTopic นั้นๆ

QoS ใน MQTT แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ

2.6.3.1 อย่างมากหนึ่งครั้ง (At Most Once) แทนด้วยโค้ด 0

QoS 0 เป็นระดับบริการที่ต่าที่สุด กล่าวคือไม่รับประกันว่าข้อความจะถูกส่งถึงผู้รับใดๆ เลย หรือไม่หากไคลเอนต์ Publish ข้อความด้วย QoS 0 โบรกเกอร์จะไม่มีการตอบรับใดๆ ว่าได้ Publish ต่อไปให้ผู้รับรายอื่นหรือไม่ หากไม่มีผู้รับข้อความ โบรกเกอร์อาจเก็บข้อความไว้หรือลบทิ้งก็ได้ ขึ้นอยู่กับนโยบายของผู้ให้บริการเซิร์ฟเวอร์ ในทางกลับกันหากไคลเอนต์ที่เป็นผู้รับ Subscribe ไว้ด้วย QoS 0 เมื่อได้รับข้อความจากโบรกเกอร์ ก็ไม่ต้องส่งข้อความตอบรับใดๆ กลับ ทำให้การส่งข้อความแบบนี้รวดเร็วที่สุด เพราะไม่มีโอเวอร์เฮดในการตอบรับ ขณะเดียวกันหากข้อความถูกส่งไม่ถึง ก็ไม่มีทางทราบได้เช่นกัน

2.6.3.2 อย่างน้อยหนึ่งครั้ง (At Least Once) แทนด้วยโค้ด 1

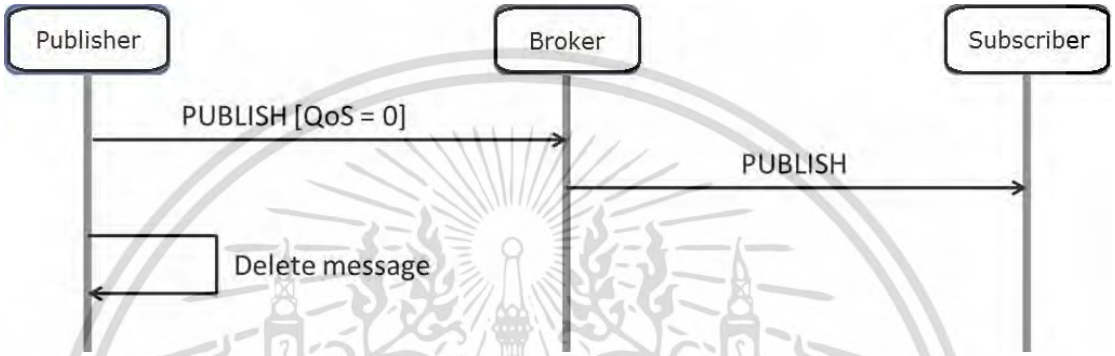
QoS 1 รับประกันว่าข้อความจะถูกส่งถึงผู้รับอย่างน้อยหนึ่งครั้ง การส่งลักษณะนี้ ผู้ส่งจะเก็บข้อความเอาไว้ จนกว่าจะได้รับแพ็กเกต PUBACK จากผู้รับ ในกรณีไคลเอนต์ขอ Publish ผู้รับข้อความซึ่งเป็นโบรกเกอร์จะต้อง Publish ต่อไปยังไคลเอนต์ที่ Subscribe ไว้อย่างน้อยหนึ่งครั้ง จึงจะสามารถส่งแพ็กเกตตอบรับไปกลับยังผู้ส่ง ในกรณี Subscribe ผู้ส่งซึ่งก็คือโบรกเกอร์จะต้องเก็บข้อความไว้จนกว่าไคลเอนต์ที่ตนส่งข้อความไปให้จะยืนยันตอบรับ ดังนั้นแพ็กเกต PUBACK จึงต้องมีหมายเลขไอดีเดียวกับแพ็กเกต PUBLISH เพื่อให้ผู้ส่งทราบว่าข้อความใดถูกส่งถึงแล้วและสามารถลบออกได้

2.6.3.3 หนึ่งครั้งเท่านั้น (Exactly Once) แทนด้วยโค้ด 2

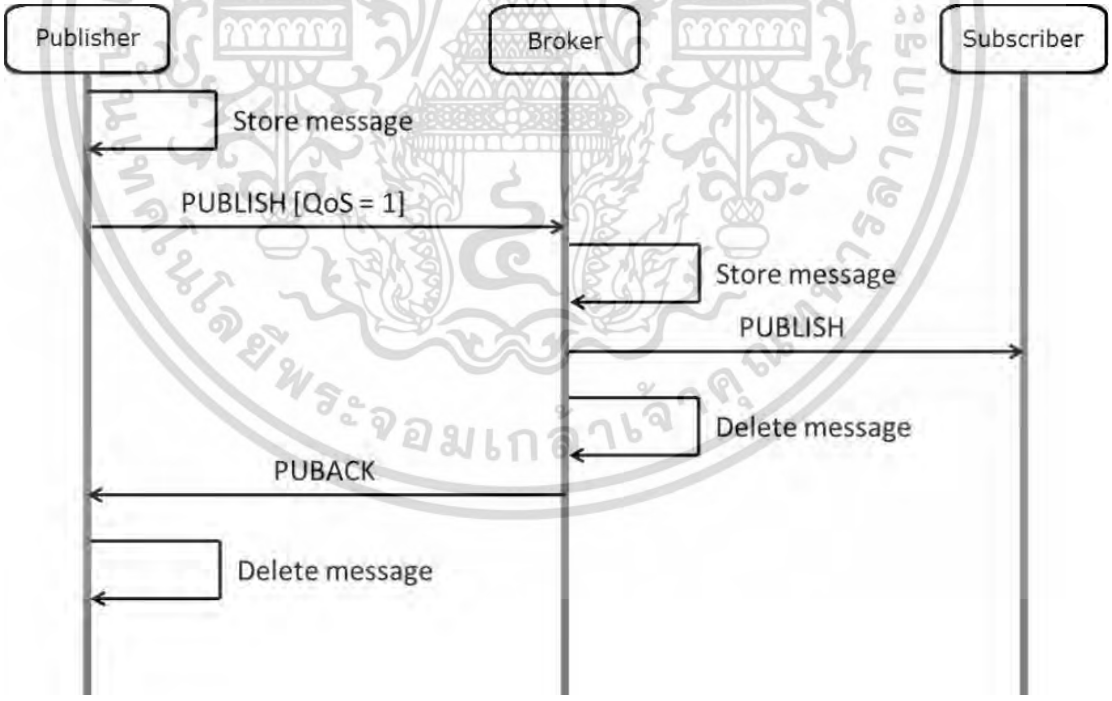
QoS 2 รับประกันว่าแต่ละข้อความจะถูกส่งถึงผู้รับเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น เป็นบริการที่ปลอดภัยที่สุดและช้าที่สุดของโปรโตคอล MQTT เนื่องจากผู้รับและผู้ส่งต้องส่งแพ็กเกตควบคุมไปกลับถึงสองรอบ เริ่มต้นด้วยผู้ส่งส่งข้อความไปในแพ็กเกต PUBLISH เมื่อผู้รับได้รับข้อความจะเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพ็กเกตไว้และยืนยันกลับไปยังผู้ส่งด้วยแพ็กเกต PUBREC ผู้ส่งจึงสามารถลบข้อความนั้นของจากหน่วยเก็บข้อมูลของตนได้ และส่งแพ็กเกต PUBREL ไปยังผู้รับเพื่อให้ผู้รับสามารถลบสถานะการส่งข้อความนี้ออกได้ หากผู้รับเป็นไคลเอนต์ปลายทางที่ Subscribe ข้อความเอาไว้ ผู้รับจะส่งแพ็กเกต PUBCOM เพื่อยืนยันว่าข้อความถูกส่งถึงแล้วเรียบร้อยหนึ่งครั้ง หากผู้รับเป็นโบรกเกอร์ ทันทีที่ได้ Publish ข้อความต่อไปยังไคลเอนต์ปลายทางหนึ่งครั้งจึงจะลบข้อความนั้นออก และปิดเซสชั่นด้วยการส่งแพ็กเกต PUBCOM กลับไปยังผู้ส่ง

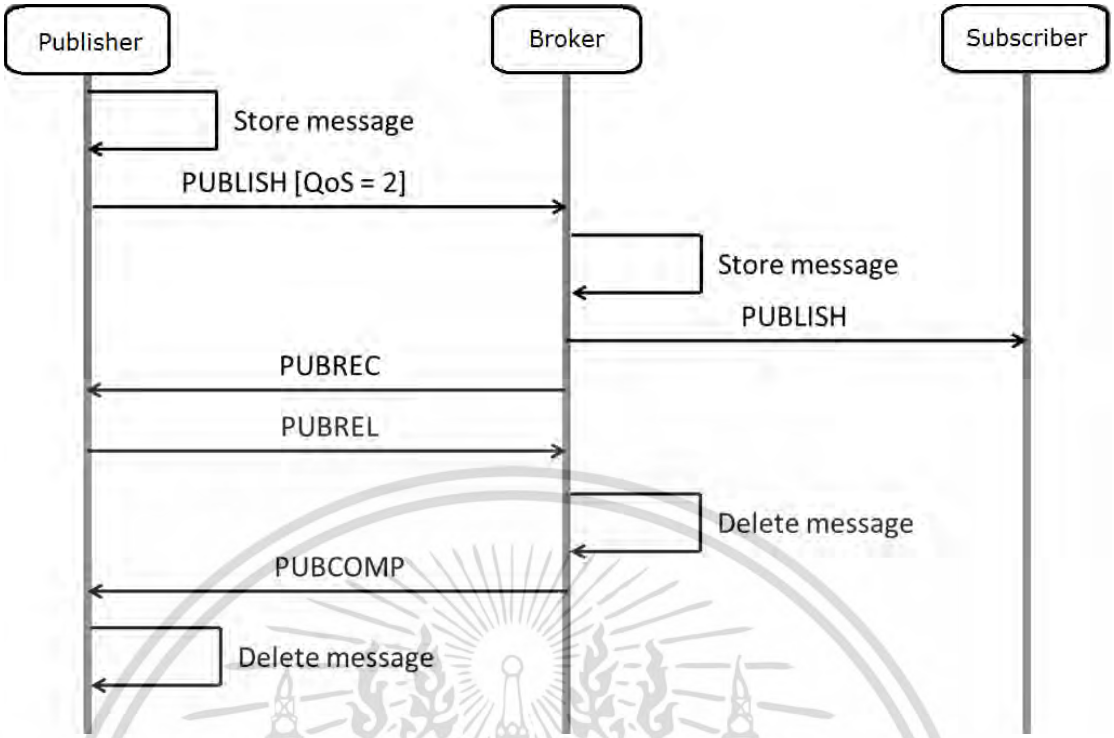


ภาพที่ 2.16 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 0



ภาพที่ 2.17 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.18 ผังการสื่อสารเพื่อ Publish ข้อความด้วย QoS 2

2.6.4 Retained Messages

เมื่อไคลเอนต์ Publish ข้อความแบบ Retained Message โดยการตั้ง Retain Flag เป็น True จะทำให้โบรกเกอร์เก็บข้อความนั้นไว้ใน Topic ที่ระบุอย่างถาวร จนกว่าจะมี Retained Message อื่นที่ถูก Publish ภายหลังมาเก็บแทนที่ โดยโบรกเกอร์จะเก็บ Retained Message ไว้ให้เพียง Topic ละหนึ่งข้อความ ดังนั้นทุกครั้งที่มีไคลเอนต์ Subscribe เข้ามาใหม่ ก็จะได้รับ Retained Message ทันที ไม่ต้องรอจนกว่าจะมี Publication ใหม่เกิดขึ้น จึงมองได้ว่า Retained Message คือข้อมูลสุดท้ายที่ Subscriber ทุกรายควรต้องทราบ ดังนั้น Retained Message จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับแอปพลิเคชั่นที่เกี่ยวข้องกับการอัพเดทสถานะ หากไคลเอนต์ต้องการลบ Retained Message ใน Topic ใดๆ ก็สามารถทำได้ไม่ยาก ด้วยการส่งแพ็กเกต PUBLISH ที่ไม่มี Payload และตั้ง Retain Flag เป็น True ไปยัง Topic นั้นๆ หรือหากมีข้อมูลจะอัพเดท ก็ไม่มีความจำเป็นต้องลบ Retained Message เก่าออกก่อน แต่สามารถส่ง Retained Message เข้าไปเขียนทับได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

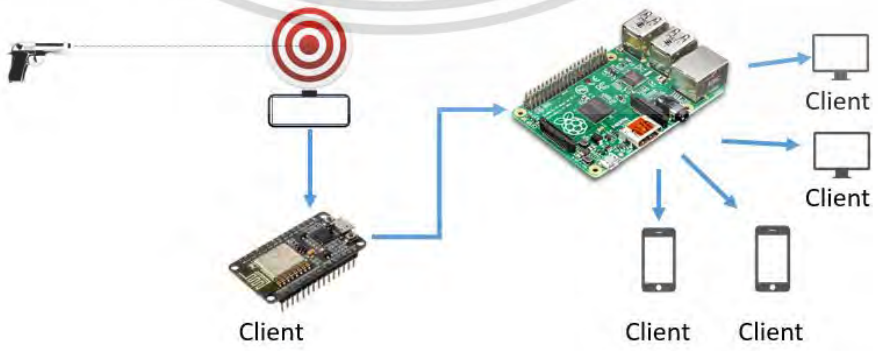
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการศึกษา ออกแบบ และจัดสร้างชุดต้นแบบเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงของสารเรืองแสง โดยงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนที่ 1. เทคนิคการสร้างแผ่นฟิล์มรวมแสงเพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีหาความหนาและความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดกลืนและเปล่งแสงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำเป็นเป้าเพื่อรับแสงเลเซอร์ ส่วนที่ 2. การนำฟิล์มรวมแสงไปประยุกต์ใช้เป็นเป้าปืนที่โดยทำงานผ่าน NodeMCU และ Raspberry Pi เพื่อนำไปแสดงผลผ่านเว็บเบราเซอร์

โดยในส่วนที่ 2 จะถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆอีก 3 ส่วนคือ ส่วนที่1 การส่งข้อมูลจากเป้าปืนเข้าสู่โบรเกอร์ ส่วนที่2 ส่วนของการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน และส่วนที่ 3 การแสดงผลผ่านเว็บเบราเซอร์ หลักการทำงานของเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อยิงแสงเลเซอร์มาตกกระทบลงบนเป้าสารเรืองแสงจะทำการดูดกลืนแสงและปลดปล่อยแสงในอีกย่านของความยาวคลื่นและแสงที่เปล่งออกมาจะเกิดการหักเหภายในทำให้แสงเดินทางไปยังขอบซึ่งทำการติดตั้งเซนเซอร์รับแสงไว้ NodeMCU จะนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์มาทำการส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT ไปยัง Raspberry Pi ซึ่งทำหน้าที่เป็นโบรกเกอร์และเป็นส่วนของโปรแกรมควบคุมและประมวลผลซึ่งทำงานผ่าน Node-RED ที่เป็นโปรแกรมมิ่งแบบ Flow-based และแสดงผลผ่านเว็บเบราเซอร์โดยภาพรวมของโครงสร้างระบบมีดังนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

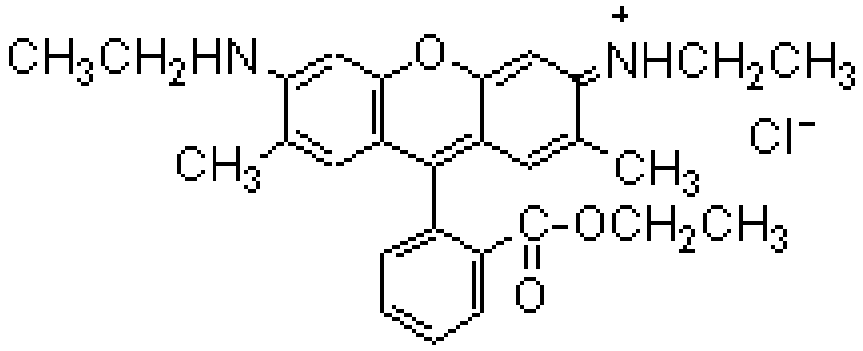
3.2 เทคนิคการสร้างแผ่นฟิล์มรวมแสง

ในการสร้างแผ่นรวมแสงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพจะต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเรียบ และความใสที่ผิวของแผ่นรวมแสงจะมีผลต่อการสะท้อนของแผ่นรวมแสงจึงต้องใช้เทคนิคที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความเรียบที่เหมาะสม ซึ่งในการทำแผ่นรวมแสงนี้เราได้ใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีนลงไปยังวัสดุที่จะใช้ในการทำเป็นเป้าปืนไว้สำหรับรับแสงเลเซอร์ โดยปริมาณของการเรืองแสงที่ขอบจะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นรวมแสงและชนิดของสารเรือง โดยชนิดของสารเรืองแสงก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จำเป็นว่าจะต้องมีค่าการดูดกลืน และการปลดปล่อยที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้เราได้เลือกใช้สาร Rhodamine 6G ซึ่งเป็นสารที่มีค่าเสถียรภาพทางแสงสูง โดยสาร Rhodamine 6g จะดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 550 – 550 nm และมีการปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 555 – 580 nm จากการศึกษาพบว่าที่ปริมาณ PMMA 0.5 กรัม และความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ จะให้ค่าการดูดกลืนและการปลดปล่อยที่เหมาะสมที่สุด เราจึงนำปริมาณของ PMMA และค่าความเข้มข้นของสาร Rhodamine 6G มาทดลองพิมพ์สกรีนลงบนแผ่นกระจกขนาด 3×1 นิ้ว เพื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนและการปลดปล่อยเพื่อยืนยัน โดยเราได้ทำการสร้างแผ่นรวมแสงที่ 2 ความเข้มข้น ซึ่งใช้ค่าความเข้มข้นที่ 10^{-3} โมลาร์ และ 10^{-4} โมลาร์ และใช้ปริมาณ PMMA ที่ 0.5 กรัม เท่ากันและใช้วิธีการพิมพ์สกรีนเหมือนกันเพื่อทำการเปรียบเทียบและยืนยันผลที่ได้ของการดูดกลืนและการเปล่งแสงของสารเรืองแสง

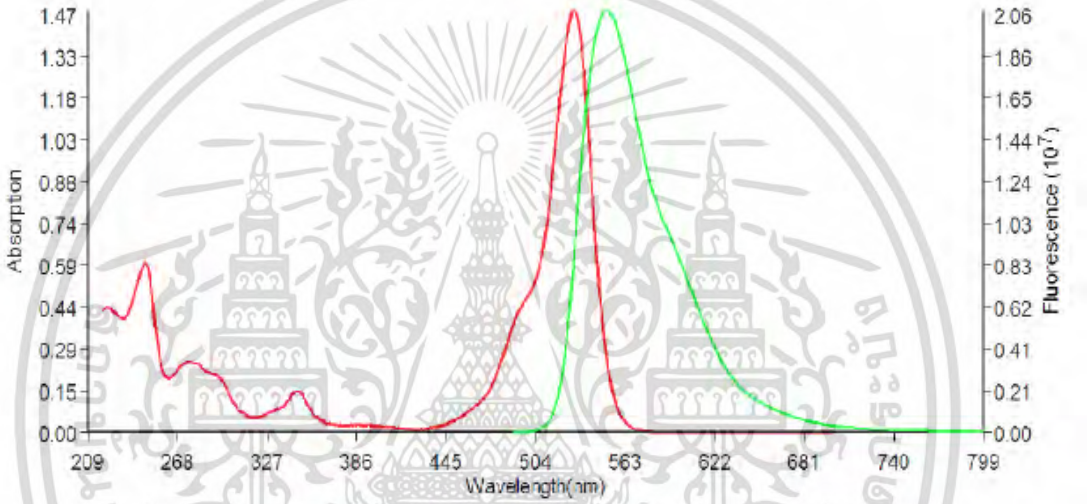
Rhodamine 6G

สารประกอบทางเคมีและเป็นสารสีย้อม ซึ่งมีความเสถียรภาพทางแสงสูง มีค่า Quantum-yield สูง ประมาณ 0.95 และมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ 500 – 550 nm และสามารถดูดกลืนแสงได้สูงที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 530 nm การปลดปล่อยแสงอยู่ในช่วง 555-585 nm โดยมีค่าการปลดปล่อยสูงที่สุดคือ 566 nm มีสูตรทางเคมีคือ $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 479.02 g/mol โดยมีลักษณะของสารเป็น Dark reddish purple, brown or black crystalline solid มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.26 g/cm^3 มีการละลายในน้ำ 20 g/l (25 C^0) และมีการละลายในเมทานอล 400 g/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ภาพแสดงโครงสร้างทางเคมีของสาร Rhodamine 6G



ภาพที่ 3.3 สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6G

3.2.1 การเตรียมสารเพื่อสร้างฟิล์มเคลือบลงบนแผ่นกระจกเพื่อใช้ในการยืนยันเพื่อใช้ในการยืนยันคุณสมบัติของการดูดกลืนและการเปล่งแสง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมฟิล์มเพื่อยืนยันคุณสมบัติการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มในความเข้มข้นที่เราเลือกใช้ โดยเราจะทำการเตรียมฟิล์มที่ 2 ความเข้มข้นได้แก่ 10^{-3} โมลาร์ และ 10^{-4} โมลาร์ โดยทั้งสองความเข้มข้นเราใช้ปริมาณของ PMMA เท่ากันที่ปริมาณ 0.5 กรัม และใช้เทคนิคของการพิมพ์สกรีนเพื่อเคลือบสารลงบนกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

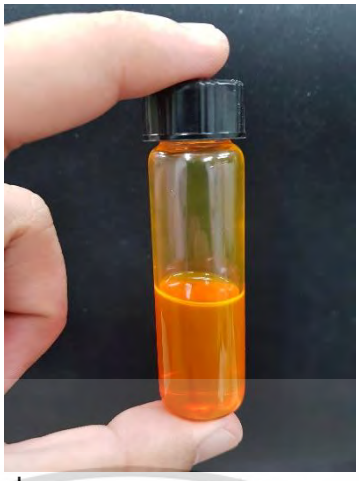
ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบสาร

ก. Rhodamine 6G ข. Polymethyl Methacrylate (PMMA) ค. Dichloromethane

ภาพที่ 3.5 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มเคลือบผิวหน้ากระจก

1. เตรียมสารละลาย Rhodamine 6G ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ โดยใช้ไดโครโรมีเทน ปริมาตร 100 ml และ สาร Rhodamine 6G 0.047 กรัม
2. ละลายสารละลายด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิคเป็นเวลา 15 นาที
3. นำสารละลาย Rhodamine 6G ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ เป็นสารตั้งต้นเพื่อผสมกับตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนปริมาณ 10 ml เพื่อให้ได้สารละลาย Rhodamine 6G ที่ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์
4. ละลายสารละลายด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิคเป็นเวลา 15 นาที

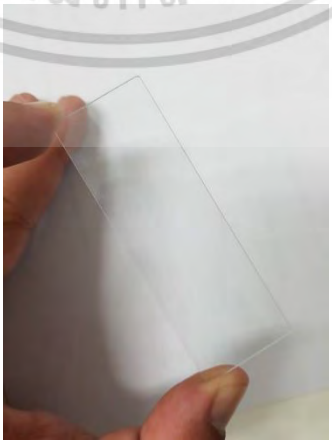
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 สารละลาย Rhodamine 6G

ภาพที่ 3.7 Ultrasonic bath

5. นำสารแต่ละความเข้มข้นมาผสมกับ PMMA 0.5 กรัม
6. ละลายสารละลายด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิคเป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 3.8 แผ่นกระจกสไลด์ที่จะนำมาเคลือบด้วยฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการพิมพ์สกรีนบนแผ่นกระจก
8. ทำความสะอาดหลังฟิล์มด้วยอะซิโตน
9. นำแผ่นฟิล์มที่ได้มาทำการวัดการดูดกลืนและการเรืองแสงด้วยเครื่องสเปคโตรมิเตอร์

3.3 หลักการและขั้นตอนในการวัด

3.3.1 การศึกษาเพื่อหาฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G

ในการทดลองเพื่อพัฒนาแผ่นรวมแสงเป็นการศึกษาเพื่อสร้างแผ่นรวมแสงประสิทธิภาพที่ดี แต่ในการหัวข้อนี้จะนำแผ่นรวมแสงที่สร้างขึ้นจากเงื่อนไขที่ได้มาจากการทดลองก่อนหน้านี้มาหาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการฟลูออเรสเซนซ์ของแสงจากเงื่อนไขต่างกันปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนและความเข้มของการฟลูออเรสเซนซ์จะแตกต่างกันออกไป โดยในการทดลองจะใช้แผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G

3.3.2 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

สเปกโตรมิเตอร์คือเครื่องมือวัดเชิงแสงชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดคุณสมบัติเฉพาะของแสง โดยในการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการฟลูออเรสเซนซ์จะใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น AvaSpec-2048 ในการวัดสเปกตรัมของแผ่นรวมแสงสเปกโตรมิเตอร์

3.3.3 ฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัม (Fluorescence spectrum)

ในการบันทึกค่าความเข้มของการฟลูออเรสเซนซ์นั้นจะบันทึกออกมาในลักษณะรูปแบบของกราฟ โดยเรียกว่าฟลูออเรสเซนต์สเปกตรัม (Fluorescence spectrum) โดยจะทำการบันทึกค่าความเข้มของการฟลูออเรสเซนซ์กับความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น (Excitation wavelength) หรือความยาวคลื่นที่เรืองแสงออกมา (Emission wavelength) ซึ่งมี 2 ชนิดคือ สเปกตรัมการกระตุ้น (Excitation spectrum) และสเปกตรัมการเรืองแสงหรือการเรืองแสง (Emission spectrum)

3.3.4 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G

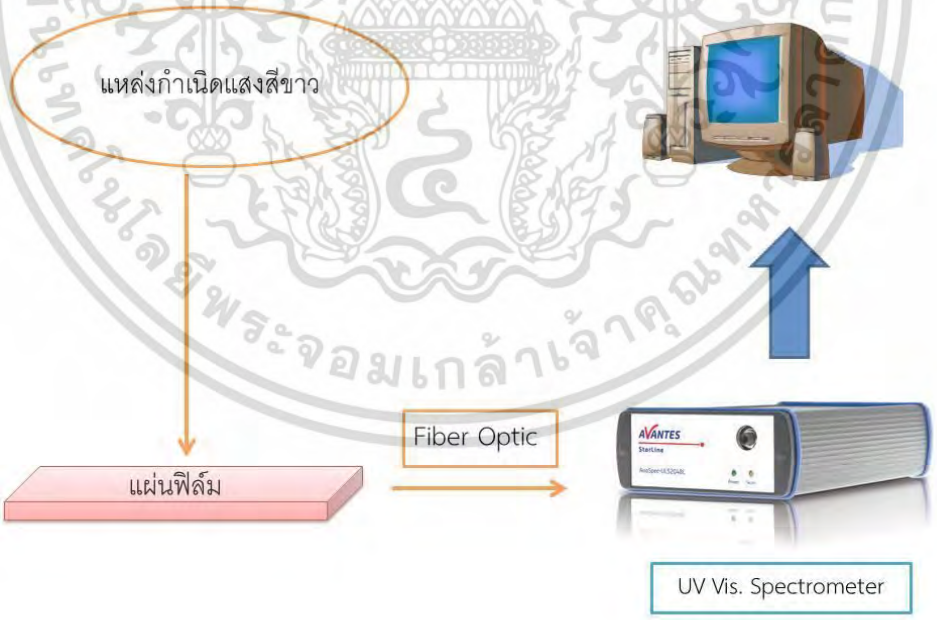
วิธีการจัดวางอุปกรณ์และขั้นตอนของการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเราจำเป็นต้องทำการวัดปริมาณแสงอ้างอิงโดยการวัดแสงจากแผ่นรวมแสงที่ไม่มีการเจือสารซึ่งจะทำให้ได้ประมาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างค่าหนึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่าการวัด White นอกจากนั้นเราจะทำการวัดแสงมืดคือเป็นการวัดแสงในกรณีที่ไม่มีแสงเราเรียกวิธีการนี้ว่าการวัด Dark เพื่อใช้ในการอ้างอิงในกรณีที่ไม่มีแสง

การจัดวางอุปกรณ์ในการวัดสเปกตรัมการดูดกลืน

1. แหล่งกำเนิดแสง ในที่นี้ใช้หลอดไฟทังสเตน
2. แผ่นรวมแสงที่ต้องการวัด
3. แผ่นรวมแสงที่ไม่เจือสาขนาดเท่ากับแผ่นรวมแสงที่ต้องการวัด
4. สาย Fiber optic
5. ชุดเครื่องมือวัด Spectrometer ของ Avantes รุ่น 2048
6. คอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3.9 แผนภาพแสดงการวัดการดูดกลืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขั้นตอนการใช้โปรแกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์คือ

1. เปิดโปรแกรม

2. เลือกการวัดแบบ Absorption

3. นำสาย Fiber optic ออกจากเครื่อง Spectrometer และปิดช่องรับแสงของเครื่องให้มิด

4. กดวัด Dark

5. นำสาย Fiber optic ประกอบกับเหมือนเดิม และนำแผ่นรวมแสงที่ไม่เจือสารวางในตำแหน่งกึ่งกลาง โดยแผ่นจะต้องมีขนาดเท่ากับแผ่นรวมแสงที่ต้องการวัด จากนั้นกดวัด White

6. นำแผ่นรวมแสงที่ไม่เจือสารออกและนำแผ่นรวมแสงที่ต้องการวัดมาวาง

7. บันทึกสเปกตรัมที่ได้

3.3.5 การวัดสเปกตรัมการเรืองแสงของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G

การจัดวางอุปกรณ์และขั้นตอนการวัดสเปกตรัมการเรืองแสงในการวัดสเปกตรัมการเรืองแสงจะวัดที่ส่วนขอบของแผ่นรวมแสง เนื่องจากโฟตอนที่ถูกคายออกมาจากโมเลกุลของสารเรืองแสงจะเดินทางมายังขอบของแผ่นรวมแสงด้วยการสะท้อนกลับหมดภายในแผ่นรวมแสง ซึ่งการจัดวางอุปกรณ์ในการวัดสเปกตรัมการเรืองแสงจะคล้ายกับการวัดการดูดกลืนและการส่องผ่าน ต่างกันตำแหน่งในการวางสาย Fiber optic ที่เชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์สเปกโตรมิเตอร์ ในการวัดการดูดกลืนและการส่องผ่านสายจะวางอยู่ด้านล่างของแผ่นรวมแสง แต่ในกรณีนี้สายจะวางอยู่ที่ขอบของแผ่นรวมแสง

ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้วัดมีดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง ในที่นี้ใช้หลอดLEDสีเขียว (520nm)

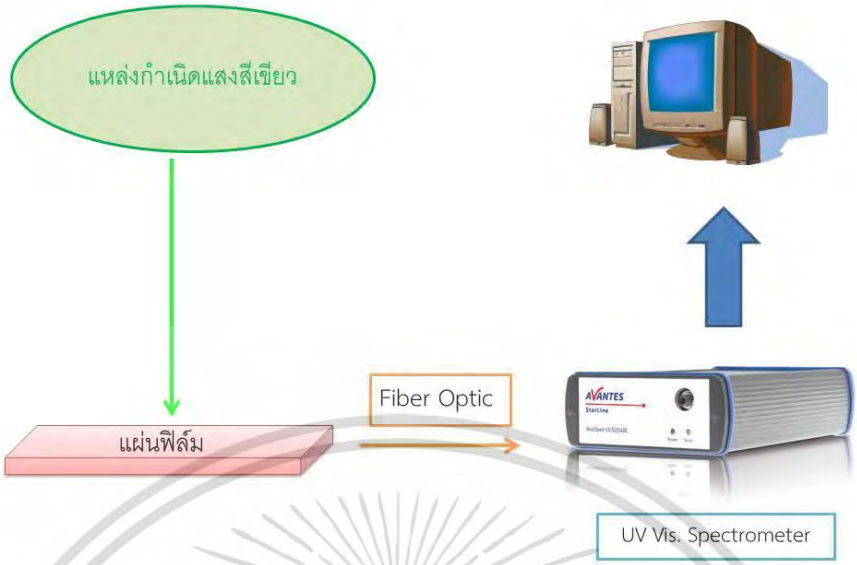
2. แผ่นรวมแสงที่ต้องการวัด

3. สาย Fiber optic

4. ชุดเครื่องมือวัด Spectrometer ของ Avantes รุ่น 2048

5. คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 แผ่นภาพแสดงการวัดการเรืองแสง

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์คือ

1.เปิดโปรแกรม

2.เลือกการวัดแบบ Fluorescence

3.นำสาย Fiber optic ออกจากเครื่อง Spectrometer และปิดช่องรับแสงของเครื่องให้มิด

4.กดวัด Dark

5.นำสาย Fiber optic ประกอบกับเหมือนเดิม

6.นำแผ่นรวมแสงที่ต้องการวัดมาวาง

7.บันทึกสเปกตรัมที่ได้

ในการวัดสเปกตรัมของการดูดกลืนและการฟลูออเรสเซนต์ของแสงนั้นจะมีวิธีการวัดที่ต่างกันเล็กน้อยโดยในการวัดการดูดกลืนเราจะใช้แสงจากแหล่งกำเนิดฉายแสงไปยังแผ่นรวมแสงอ้างอิงและทำการวัดการส่องผ่านว่าแสงสามารถผ่านได้เท่าไหร่ จากนั้นทำการสลับเป็นแผ่นรวมแสงที่เจือสาร โดยในการวัดแสงจะถูกรวมแสงด้วยสาย Fiber optic ที่ต่อเข้ากับเครื่อง Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

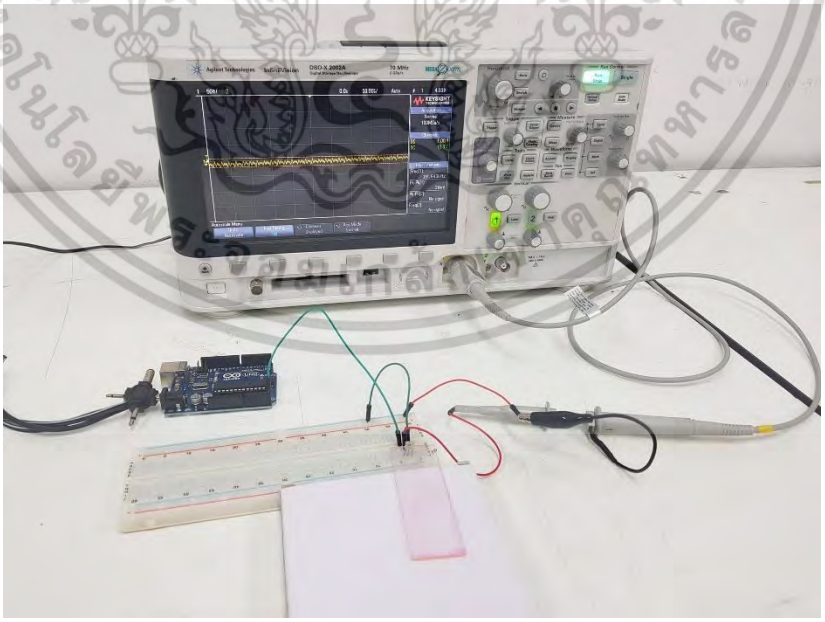
หลังจากนั้นเครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะทำการเปรียบเทียบแสงที่ได้จากการวัดแผ่นรวมแสงอ้างอิงเป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับปริมาณของแสงที่วัดได้จากแผ่นรวมแสงที่เจือสารและจะถูกคำนวณค่าการดูดกลืนภายในเครื่องเองและจะส่งผลข้อมูลออกมาทางสายข้อมูลเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องมายังแผ่นรวมแสงจะถูกรวมแสงด้วยสาย Fiber optic และแสงที่ผ่านออกมาจากแผ่นรวมแสงจะถูกวัดด้วยเครื่อง Spectrometer ผ่านทางสาย Fiber optic จะถูกคำนวณค่าการดูดกลืนภายในเครื่องเองและจะส่งผลข้อมูลออกทางสายข้อมูลเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

3.4 การทดลอง

3.4.1 การทดสอบการตอบสนองของแผ่นฟิล์มที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทำเป้า

หลังจากที่เราได้ความเข้มข้นและความหนาของฟิล์มที่เหมาะสมแล้ว ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบการตอบสนองของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยสารเรืองแสงว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์เป็นเป้าในการตรวจจับแสงเลเซอร์หรือไม่ โดยในการทดลองเราจะใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่นที่ 530 นาโนเมตร ที่มีกำลัง 10 mW เป็นแหล่งกำเนิดแสงยิงไปยังแผ่นฟิล์มที่ทำการเคลือบด้วยสารเรืองแสง



ภาพที่ 3.11 แสดงการทดสอบการตอบสนองของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 3.5
2. นำแผ่นฟิล์มที่ได้จากการเคลือบสารรวมแสงมาประกบเข้ากับโฟโตไดโอด
3. ใช้ออสซิโลสโคปจับที่ขา 3 เพื่อทำการวัดขอบเวลาขาขึ้นและขอบเวลาขาลง
4. ยิงเลเซอร์ลงบนแผ่นฟิล์มและหยุด
5. บันทึกภาพของกราฟที่ได้จากออสซิโลสโคป
6. สรุปและวิเคราะห์ผล

3.5 การออกแบบระบบและนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เป็นเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์

หลังจากที่เราได้ทำการศึกษาหาความหนาและความเข้มข้นที่เหมาะสมรวมถึงเทคนิคการพิมพ์สกรีนสารลงวัตถุที่ต้องการแล้ว เราจะต้องทำการตรวจสอบว่าฟิล์มเรืองแสงสามารถตอบสนองได้ดีเหมาะสมกับการที่จะนำมาทำเป็นเป้าปืนหรือไม่โดยเราจะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำเป็นเป้าปืนโดยสกรีนลงบนอะคริลิคที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งอะคริลิคที่ใช้จะมีขนาดความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ที่ได้ทำการออกแบบไว้จากนั้นทำการต่อเข้ากับเซนเซอร์แสงเพื่อทำการตรวจวัดแสงที่บริเวณขอบของเป้าจากนั้นทำการต่อเข้า NodeMCU เพื่อส่งเอาท์พุตผ่านทางไว-ไฟโดยใช้โปรโตคอล MQTT ในการสื่อสารไปยัง Raspberry pi ทำหน้าที่เป็นโบรเกอร์และตัวประมวลผลและแสดงผล

3.5.1 เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกลเลียมอาร์เซไนด์) GaAlAs (แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) In GaAsP (อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสฟายด์) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานต่างๆ กัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

เลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้นๆ เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดง จะใช้ในเครื่องคอมแพคดิสก์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.12 เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กจิ๋ว กินไฟน้อย สามารถผลิตได้จำนวนมากๆ ด้วยเทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ไดโอด ถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่การใช้เป็นเลเซอร์ พอยน์เตอร์ (Laser Pointer) ใช้ในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ใช้เป็นหัวอ่านของเครื่องคอมแพคดิสก์ เครื่องวิดีโอเลเซอร์ดิสก์ และเครื่องถ่ายเอกสารประเภทเลเซอร์ พริ้นเตอร์ (Laser Printer) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาวิจัยการสร้างเลเซอร์ไดโอด ด้วยเทคโนโลยีด้านการปลูกผลึกจากของเหลว (Liquid Phase Epitaxy : LPE) และเทคโนโลยีการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy : MBE)

เลเซอร์ไดโอดมีกำลังแสงต่ำตั้งแต่ระดับ ไมโครวัตต์ จนสูงถึงวัตต์ (W) และเป็นเลเซอร์ที่มีจุดเด่นคือ สามารถโมดูเลตสัญญาณได้โดยตรง โดยผ่านเข้าไปทางด้านกระแสไฟฟ้า ที่ฉีดผ่านตัวสิ่งประดิษฐ์ จึงสะดวกต่อการใช้งาน โดยเฉพาะการสื่อสารทางด้านแสง

3.5.2 เซนเซอร์ตรวจวัดแสง

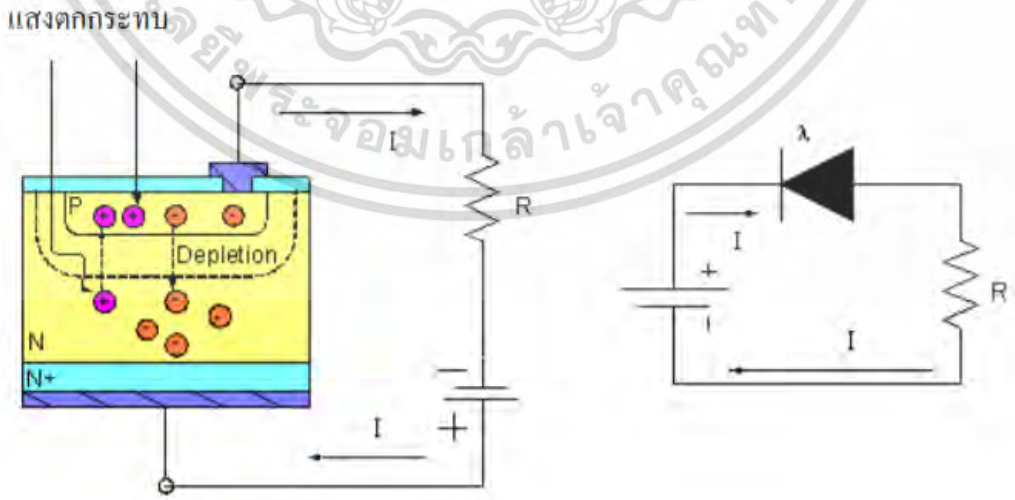
เครื่องมือตรวจวัด (sensor) คืออุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณทางกายภาพและแปลงเป็นสัญญาณที่สามารถอ่านได้โดยผู้สังเกตการณ์โดยในงานวิจัยนี้เราจะใช้อุปกรณ์ประเภทออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่เซนเซอร์วัดความเข้มแสงซึ่งเป็นโฟโตไดโอดโดยทำการวัดค่าความเข้มของแสงและแปลงค่าออกมาเป็นค่าโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.13 โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอด (Photo Diode) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟาเรด ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ

โฟโตไดโอด (Photo Diode) จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มาตกกระทบมีความยาวคลื่นหรือแลมด้าที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาคือยอมให้กระแสไหลผ่านได้



ภาพที่ 3.14 การทำงานของโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 เป้าปืน

เป้าปืนมีหลายรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานโดยเป้าปืนที่สร้างขึ้นไว้เพื่อฝึก โดยเป้าปืนในแต่ละแบบจะมีมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละประเทศ โดยเป้าปืนนี้จะถูกนำใช้ในกีฬายิงปืนหรือไว้เพื่อฝึกความแม่นยำ โดยในงานวิจัยนี้ได้จัดทำเป้ามาตรฐานสำหรับปืนอัดลมสั้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับฟิล์มรวมแสง โดยขนาดของเป้านั้นจะขนาดดังตารางที่ 3.1

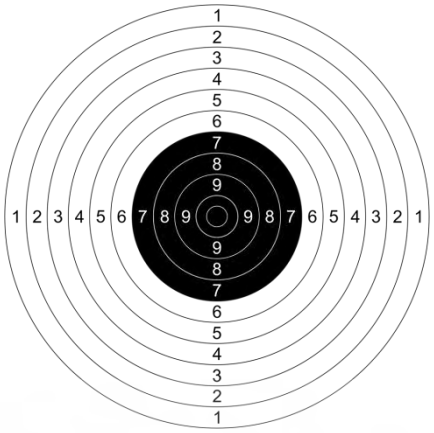
ตาราง 3.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมแต่ละวง[11]

วงที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)
10	11.5 ± 0.1
9	27.5 ± 0.2
8	43.5 ± 0.2
7	59.5 ± 0.5
6	75.5 ± 0.5
5	91.5 ± 0.5
4	107.5 ± 0.5
3	123.5 ± 0.5
2	139.5 ± 0.5
1	155.5 ± 0.5

รูปแบบของเป้าปืน

1. เป้าปืนจะต้องมีขนาดที่เห็นได้ขัดเจน 170 มม × 170 มม เป็นอย่างน้อย
2. เส้นวงมีความหนา 0.1 มม. ถึง 0.2 มม.
3. วงที่ 7 ถึง 10 จะเป็นสีดำ ขนาด 59.5 มม. ± 0.5 มม.
4. เครื่องหมายคะแนนจะมีทั้งแนวตั้งและแนวนอน โดยจะยกเว้นวงที่ 9 และวงที่ 10 โดยตัวอักษรจะต้องมีความสูงไม่เกิน 2 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 รูปแบบของเป้าปืน

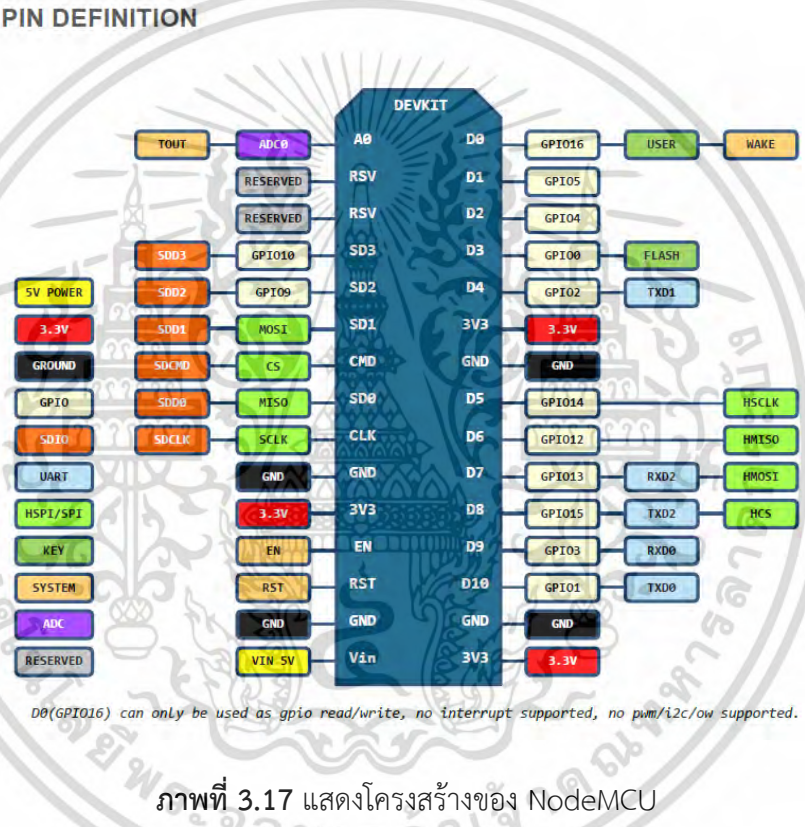
3.5.4 Node MCU

NodeMCU เป็นโมดูลไมโครคอนโทรเลอร์ 32 บิตพร้อม Wi-Fi ซึ่งเกิดจากการนำโมดูล ESP8266-123E มาต่อร่วมกับชิปแปลงสัญญาณ USB เป็น UART เบอร์ CP2102 ของ Slilcon Lab มีสวิตช์เพื่อเข้าสู่โหมดโปรแกรมเฟิร์มแวร์มาพร้อม บรรจุรวมกันอยู่บนแผงวงจนขนาดเล็กที่ออกแบบมาให้ติดตั้งลงบนเบรดบอร์ดหรือแผงต่อวงจรได้ โดยใช้ไฟเลี้ยงภายนอก +5V มีวงจรควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงสำหรับอุปกรณ์ 3.3V กระแสไฟฟ้า 800mA มีพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (GPIO) จำนวน 10 ขา โดยรองรับสัญญาณลอจิก 3.3V

ภาพที่ 3.16 NodeMCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NodeMCU เป็นแพลตฟอร์มที่ออกแบบทุกอย่างเป็น Node การทำงานย่อยๆ และ ใช้ภาษา Lua ในการเขียนโปรแกรม แต่ด้วยแพลตฟอร์มที่สะดวกในการใช้งาน ทางกลุ่มนักพัฒนาของ ESP8266 ก็เลยนำ NodeMCU (ESP8266) มันบรรจุในเป็นบอร์ดหนึ่งของ ARDUINO IDE (ESP8266) ด้วยเลย ได้จึงได้มีการพัฒนาต่อให้สามารถเขียนในภาษา C++ ซึ่งพลอยเองได้มาลองเริ่มเล่น หลังจากที่บอร์ด NodeMCU (ESP8266) นี้มีการพัฒนาบน ARDUINO IDE เรียบร้อยแล้ว หากเป็นผู้ที่นิยมเล่นไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ก่อนจะนิยมเล่นเป็นภาษา C/C++ ซึ่งภาษานี้สามารถไปได้กว้างเล่นได้หลายอย่างกว่า Lua



ภาพที่ 3.17 แสดงโครงสร้างของ NodeMCU

3.5.5 Raspberry Pi

Raspberry Pi เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่มีขนาดเล็กเพียงเท่ากับบัตรเครดิต แต่มีความสามารถเทียบเท่ากับคอมพิวเตอร์ขนาดย่อมๆ รองรับการใช้งานได้เหมือนคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่ง โดยทำงานผ่านระบบปฏิบัติการ Linux สามารถต่อจอภาพและอุปกรณ์ USB เพื่อใช้งานได้ ไม่ว่าจะเป็นเมาส์ คีย์บอร์ดรวมถึงมี Wi-Fi ในตัว แต่ที่แตกต่างจากคอมพิวเตอร์ทั่วไปคือมีพอร์ตอินพุตเอาต์พุตหรือ GPIO ให้ใช้งาน ทำให้ Raspberry Pi สามารถนำไปต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อประยุกต์การทำงานที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.18 Raspberry Pi

ในบอร์ดของ Raspberry Pi ประกอบไมโครคอนโทรเลอร์ ARM Cortex-A53 แบบ 64 บิต ทำงานที่ความเร็ว 1.2Ghz และที Cache 32kB ที่ Level 1 เพื่อช่วยให้ซีพียูเข้าถึงคำสั่งที่ใช้บ่อยได้เร็วขึ้นและ Cache 512kB ที่ Level 2 ทำให้ซีพียูสามารถทำงานได้เร็วขึ้นกว่าเดิม เชื่อมต่อกับหน่วยความจำแรมที่มีขนาด 1GB เป็นแบบ LPDDR2 (Low Power DDR2) ที่กินพลังงาต่ำรวมถึงมีชิปประมวลผลกราฟิก รองรับจุดเชื่อมต่อภายนอกโดยมีจุดต่อ HDMI, จุดต่อแหล่งจ่ายไฟ +5V ผ่าน MicroUSB รวมถึงรองรับการเชื่อมต่อผ่านเครื่องข่าย LAN ผ่านจุดต่ออีเธอร์เน็ตและจุดต่อพอร์ต USB 4 ช่อง เพื่อต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

จุดต่อพอร์ต GPIO ของ Raspberry Pi มีทั้งหมด 40 ขาเพื่อนำไปต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยขาพอร์ตรองรับสัญญาณลอจิก 3.3V จำนวน 26 ขา รองรับ UART, I^2C และ SPI แต่ไม่รองรับอินพุตเอาต์พุตอะนาลอกโดยตรง

3.6 การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงาน

ในการเขียนโปรแกรมจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1 การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานให้กับ NodeMCU และส่วนที่ 2 การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานให้กับ Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 การเขียนโปรแกรมบน NodeMCU

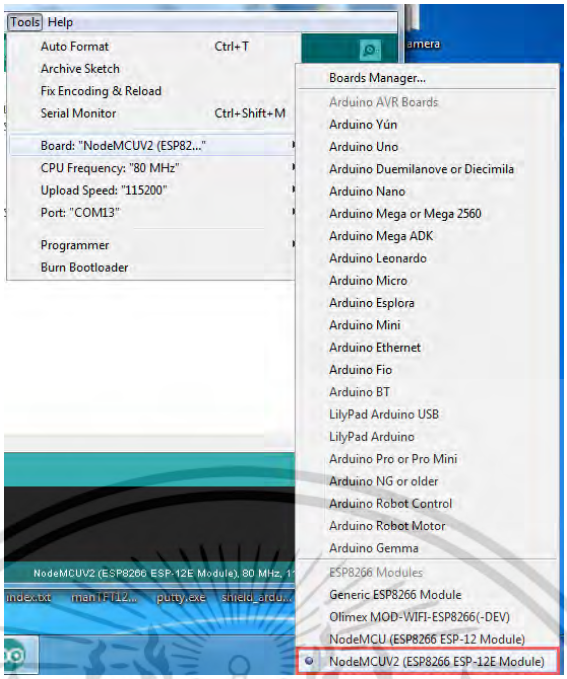
3.6.1.1 การใช้งานโปรแกรม Arduino IDE

- เชื่อมต่อ NodeMCU เข้ากับคอมพิวเตอร์ และเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Arduino IDE ดังภาพที่ 3.19

ภาพที่ 3.19 แสดงหน้าโปรแกรม Arduino IDE

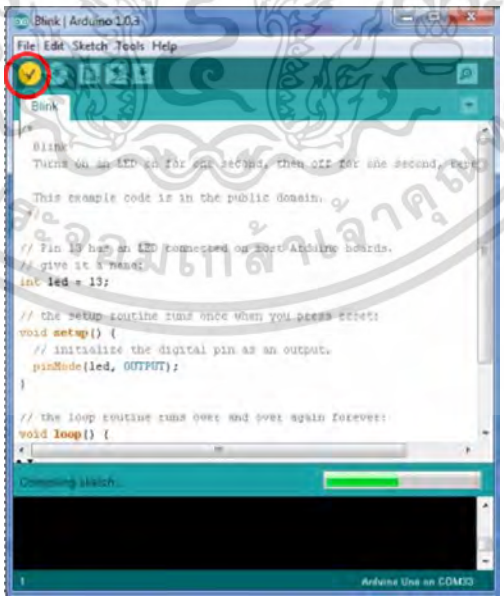
- ทำการเลือกรุ่นบอร์ด NodeMCUV2 (ESP8266 ESP-12E Module)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



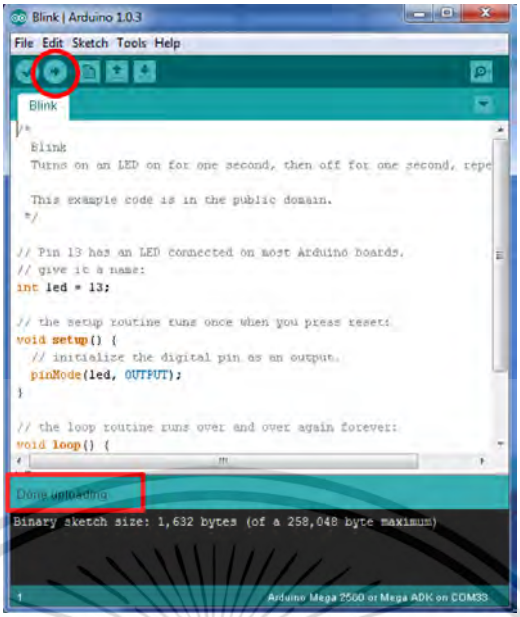
ภาพที่ 3.20 แสดงการเลือกรุ่นบอร์ด NodeMCU

- กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โปรแกรม เมื่อตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม Upload โปรแกรมจะทำการ Upload โปรแกรมลง NodeMCU และรอจนกว่าจะขึ้นข้อความว่า “Done compiling” ดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.21 แสดงการ Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



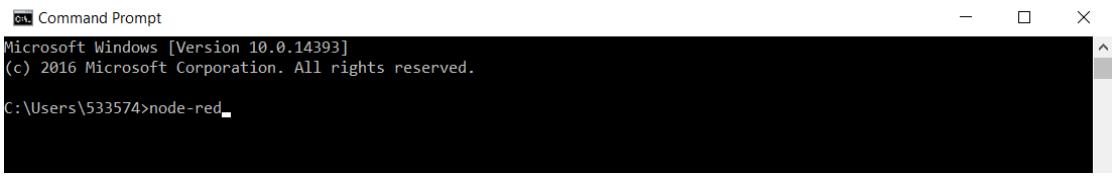
ภาพที่ 3.22 แสดงการ Upload โปรแกรมลงบนบอร์ด NodeMCU

3.6.2 การเขียนโปรแกรมบน Raspberry Pi

เนื่องจาก Raspberry Pi ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Linux ทำให้สามารถ Raspberry Pi พัฒนาโปรแกรมได้หลายภาษาทั้ง C, BASIC, JAVA, Pascal, Assembly หรือ python ซึ่งเหมือนกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป โดยในงานวิจัยนี้เราจะใช้ Node-Red ซึ่งโปรแกรมมิ่งแบบ Flow based มีหน้า UI สำหรับนักพัฒนาให้ใช้งานผ่านเว็บเบราเซอร์ ซึ่งทำให้เราสามารถใช้งานได้งานและไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมที่ยุ่งยากและซับซ้อนมากนักโดยใช้การเชื่อมต่อเส้นทางการไหลของข้อมูลเท่านั้น

3.6.2.1 การใช้งาน Node-RED

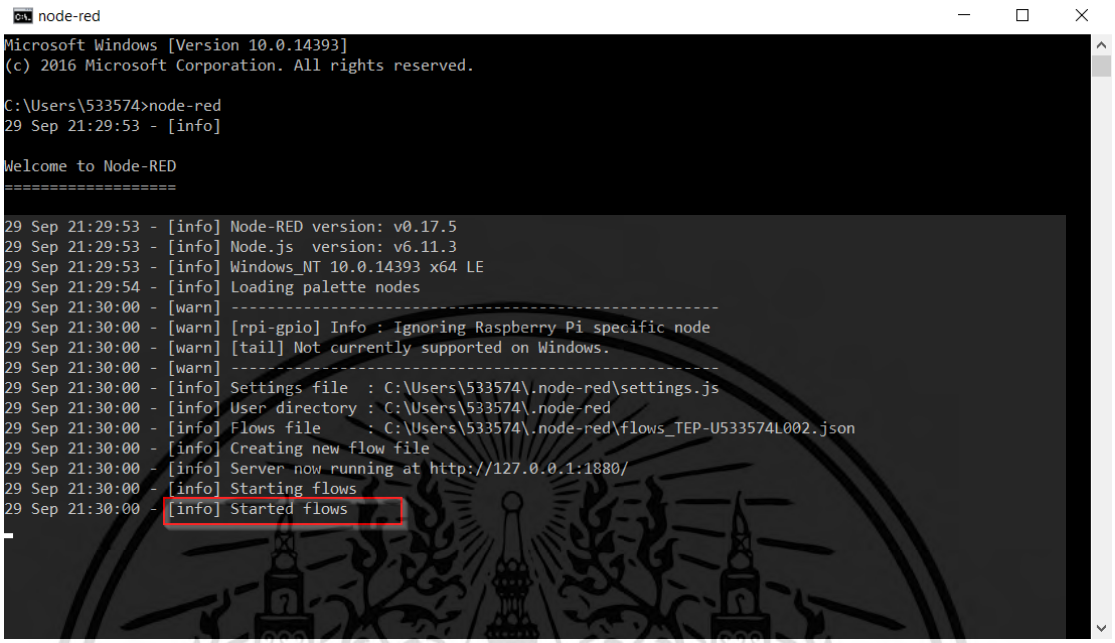
เริ่มจากเปิด Command เพื่อเรียกการทำงานของ Node-RED โดยใช้คำสั่ง node-red



ภาพที่ 3.23 แสดงคำสั่งในการเรียกการใช้งาน Node-RED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Node-RED จะทำการ Run โปรแกรม เมื่อสำเร็จจะขึ้นข้อความว่า “Started flows”



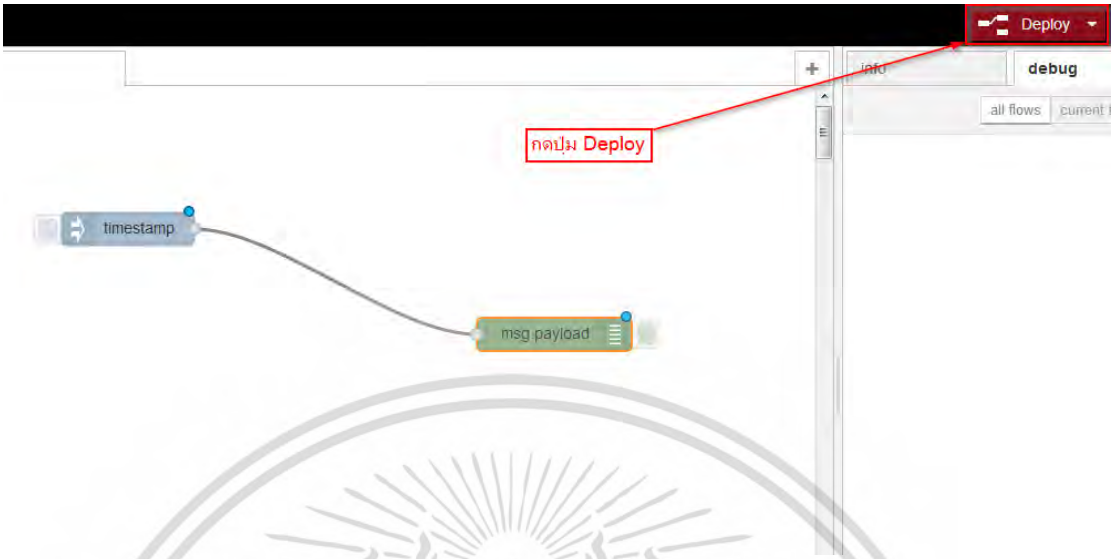
ภาพที่ 3.24 แสดงหน้าต่าง command หลังจากเรียกโปแกรม Node-RED เสร็จสิ้น

เมื่อทำการเรียกโปแกรม Node-RED เสร็จสิ้น ให้ทำการเปิดเว็บเบราเซอร์แล้วใส่ address เป็นlocalhost:1880/ จะปรากฏหน้า UI ของโปรแกรม Node-RED ดังภาพที่ 3.25

ภาพที่ 3.25 แสดงหน้า UI ของโปรแกรม Node-RED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน Node-RED นั้นจะเป็นการใช้งานแบบ Flow-based programing



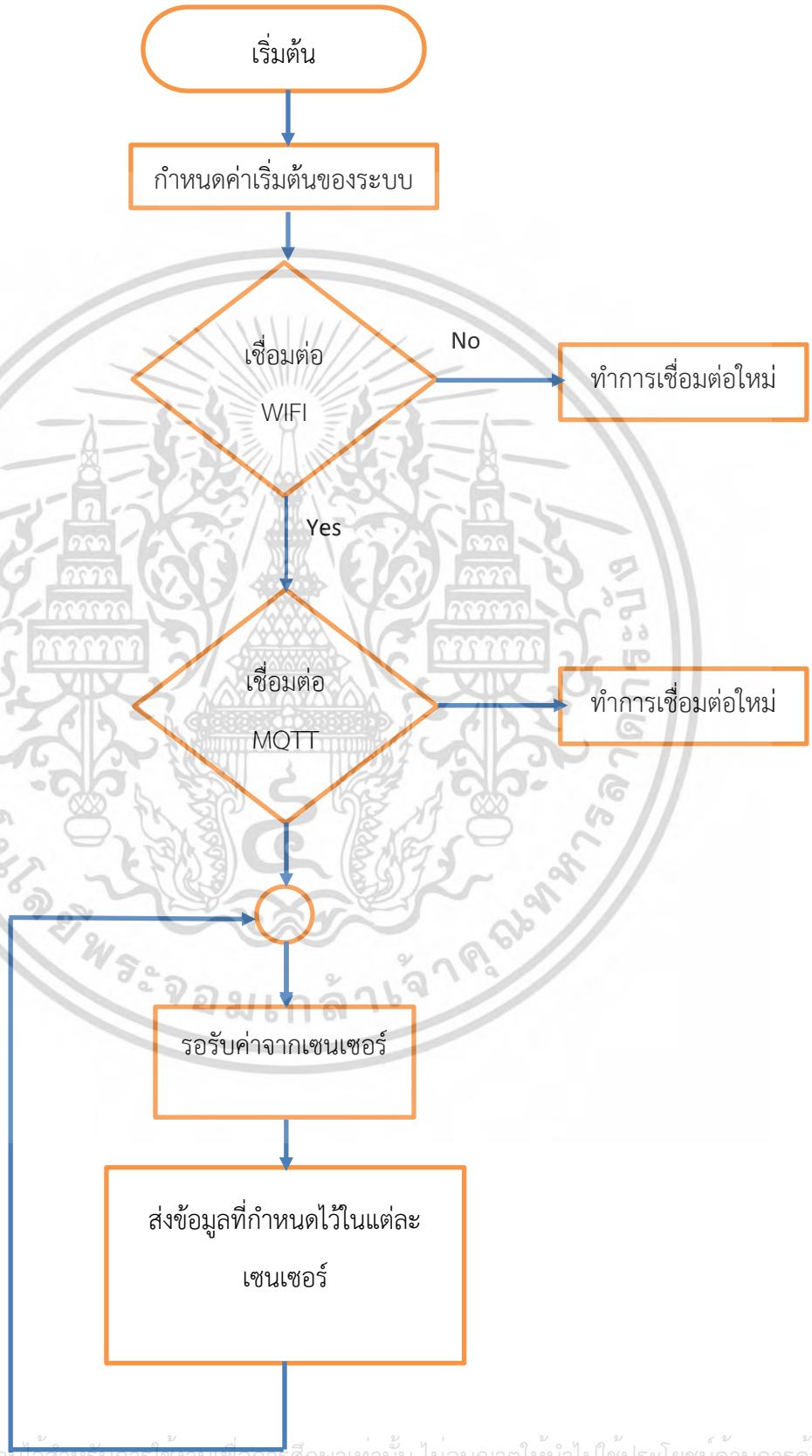
ภาพที่ 3.26 แสดงการใช้งาน Node-RED

เราสามารถที่จะเลือก Node ที่ต้องการใช้งานจากทางด้านซ้ายแล้วลากมาวางไว้ใน workspace ได้ทันที ในส่วนของช่อง info จะทำการอธิบายการทำงานของ node แต่ละ node และสามารถตรวจสอบการทำงานของ node แต่ละ node โดยการใช้ node debug ในการตรวจสอบการทำงาน ทำการเชื่อมต่อ node ทั้งสองเข้าด้วยกัน จากนั้นทำการกดปุ่ม deploy ซึ่งจะเป็นการ compile และ upload คำสั่งให้พร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

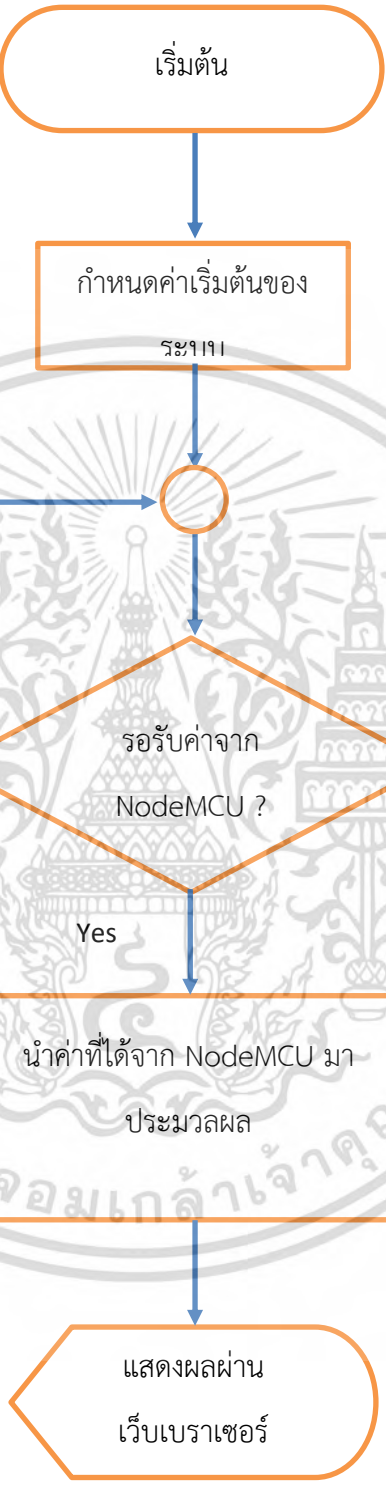
3.6.3 อัลกอริทึมซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

3.6.3.1 Flow chart แสดงการทำงานของระบบเป้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.2 Flow chart แสดงการทำงานของระบบการรับข้อมูลและแสดงผลจาก Raspberry Pi

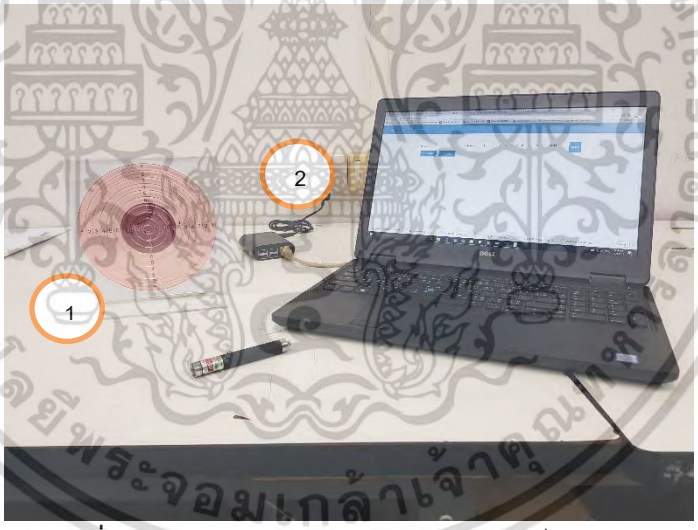


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของฟิล์มที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยเราได้เลือกเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสร้างฟิล์มบางและทำการทดสอบเปรียบเทียบกับอีกเงื่อนไข โดยเราจะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มทั้งสองเงื่อนไขเพื่อยืนยันผลของการดูดกลืนและการเปล่งแสงว่าเป็นไม่ตามทฤษฎีหรือไม่ ซึ่งขั้นตอนแรกของการสร้างฟิล์มนั้นเราจำเป็นจะต้องสร้างฟิล์มให้มีผิวหน้าที่เรียบเพื่อลดการสะท้อนแสง หลังจากที่ได้ฟิล์มทั้งสองเงื่อนไขที่มีความเรียบเพียงพอแล้วเราจึงทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงเพื่อยืนยันผลการทดลอง หลังจากที่เราได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติของการดูดกลืนและเปล่งแสงตามที่ต้องการแล้วจึงทำฟิล์มที่ได้มาทดสอบดูการตอบสนองของฟิล์มโดยทำการวัดขอบเวลาขาขึ้นและขอบเวลาขาลงเพื่อดูการตอบสนองต่อแสงเลเซอร์ จากนั้นนำผลของฟิล์มที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดไปประยุกต์ทำเป้าปืนโดยมีภาพรวมระบบดังภาพที่ 4.1

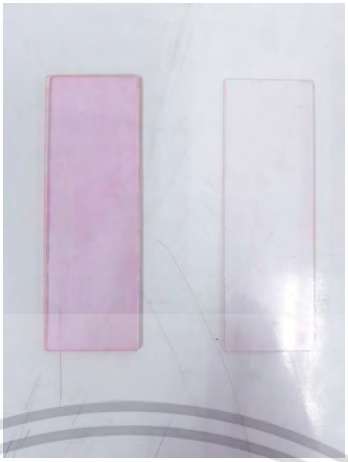


ภาพที่ 4.1 แสดงภาพรวมของระบบเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์

ภาพที่ 4.1 เป็นการแสดงภาพรวมของระบบเป้าอิเล็กทรอนิกส์ หมายเลข 1 คือเป้าที่ได้ทำการเคลือบสารเรืองแสงและติดตั้งเซนเซอร์แสงในบริเวณของของวงเป้าแต่ละวงโดยต่อเข้ากับ NodeMCU ซึ่งจะติดอยู่บริเวณด้านหลังของเป้าปืน หมายเลข 2 คือ Raspberry Pi ซึ่งทำหน้าที่เป็น Broker เพื่อรับ – ส่งข้อมูลในโปรโตคอล MQTT รวมไปถึงการนำค่าที่ได้มาประมวลผลและแสดงค่าออกทางหน้าจอหรือเว็บเบราเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

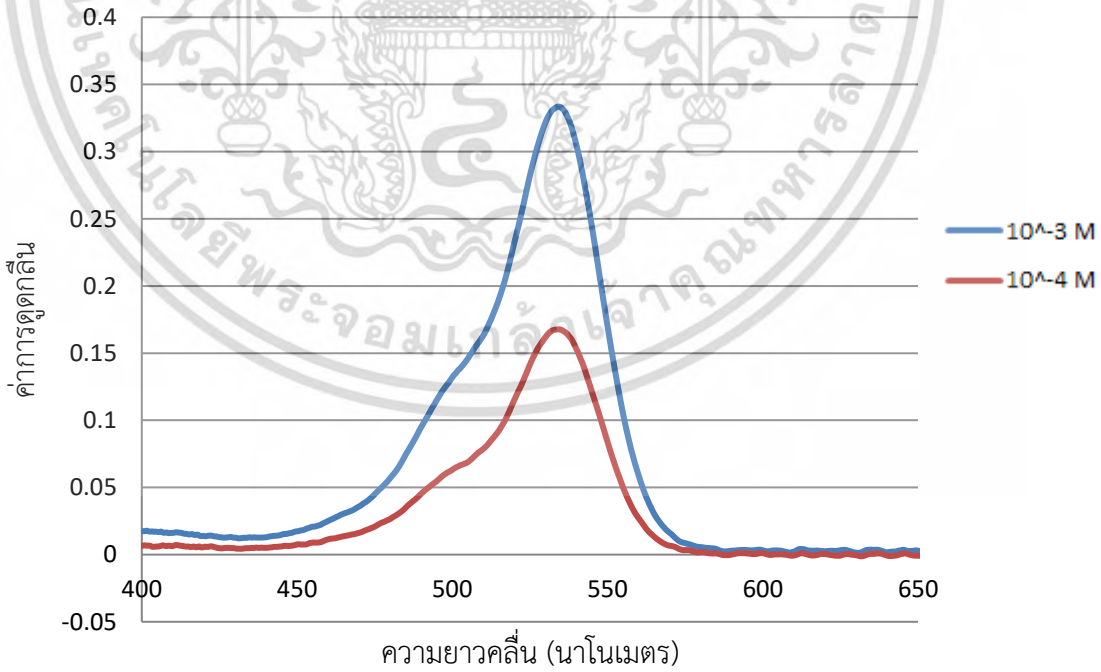
4.2 ผลของฟิล์มรวมแสงที่เคลือบด้วยความเข้มข้นต่างกัน



ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ได้จากเทคนิคพิมพ์สกรีน

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงความเรียบของฟิล์มทั้ง 2 ความเข้มข้นที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนมีความเรียบที่เพียงพอที่จะนำมาใช้งาน ซึ่งจะทำให้แสงที่เกิดการหักเหภายในฟิล์มนั้นสามารถหักเหและสะท้อนแสงที่เปล่งออกไปยังขอบ

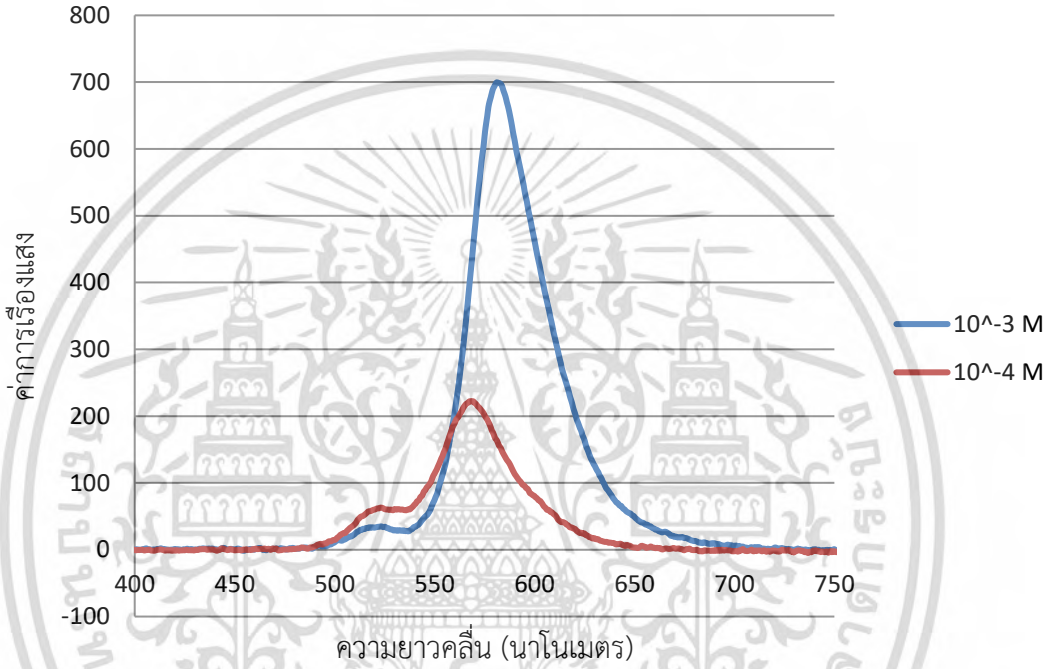
ในการวัดการดูดกลืนแสงเราจะใช้หลอดไส้ทังสเตนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เพื่อวัดการดูดกลืนแสงของสารเรืองแสงโดยวิธีการและขั้นตอนการวัดการดูดกลืนแสงได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้ว



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความยาวคลื่นของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสารละลาย Rhodamine 6G ที่ความเข้มข้นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟภาพที่ 4.3 เห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเรืองแสง โดยที่ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์จะมีค่าการดูดกลืนมากที่สุด ส่วนที่ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์จะสามารถดูดกลืนแสงได้น้อยกว่า ซึ่งเมื่อดูจากค่าสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ มีค่าสูงสุดของการดูดกลืนอยู่ที่ 537 นาโมเมตร ส่วนค่าสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนที่ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ มีค่าสูงสุดของการการดูดกลืนอยู่ที่ 538 นาโนเมตร โดยทั้งสองความเข้มข้นนั้นให้ค่าสูงสุดของการดูดกลืนแทบจะเท่ากัน



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเรืองแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นรวมแสงที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G ที่ความเข้มข้นต่างกัน

จากกราฟภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ สามารถเปล่งแสงออกมาได้มากกว่าความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ เนื่องจากที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์สามารถดูดกลืนสารเรืองแสงได้มากกว่า จากสเปคตรัมของการเปล่งแสงพบว่าที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ จะมีค่าการเปล่งแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 578 นาโนเมตร และที่ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ จะมีค่าการเปล่งแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร ซึ่งทั้งสองความเข้มข้นมีค่าการเปล่งแสงสุดใกล้เคียงกัน

เมื่อนำกราฟสเปกตรัมของการดูดกลืนมาเปรียบเทียบกับกราฟสเปกตรัมของการเปล่งแสงนั้นพบว่าเมื่อความเข้มข้นน้อยลงจะทำให้ค่าการดูดกลืนน้อยลง รวมไปถึงการเปล่งแสงของสารเรืองแสงนั้นก็จะน้อยลงไปด้วยซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสงที่โมเลกุลของสารเรืองแสงเรืองออกมาจะต้องแปรผัน

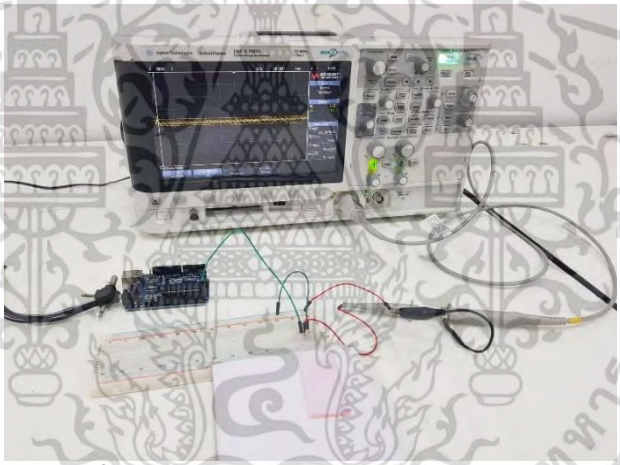
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามความเข้มข้นของการดูดกลืนซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายิ่งความเข้มข้นของสารเรือแสงมากจะทำให้เกิดการดูดกลืนได้มากและสามารถเปล่งแสงออกมาได้มาก

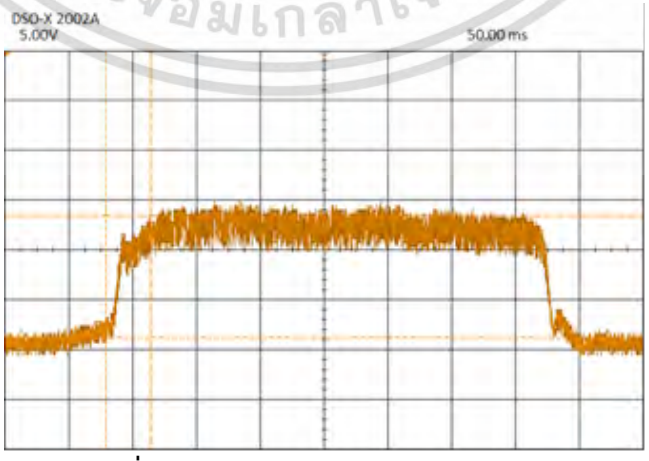
จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นค่าสูงสุดของการดูดกลืนและการเปล่งแสงทั้งสองความเข้มข้น ซึ่งทั้งการดูดกลืนและการเปล่งแสงนั้นเป็นไปตามคุณสมบัติของสาร Rhodamine 6G ที่มีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นอยู่ 500 – 550 นาโนเมตร และมีการเปล่งแสงในช่วง 555 – 585 นาโนเมตร

4.3 ผลการตอบสนองของฟิล์มที่เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำเป้า

หลังจากที่เราได้เงื่อนไขในการสร้างฟิล์มที่มีการดูดกลืนแสงและเปล่งแสงที่เหมาะสมแล้ว เราจึงนำฟิล์มนั้นมาวัดค่าการตอบสนองของฟิล์มเพื่อดูว่ามีการตอบสนองดีเพียงพอที่จะนำไปทำเป้าหรือไม่ โดยมีการทดลองดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แสดงวิธีการวัดการตอบสนองของฟิล์ม



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการตอบสนองของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากฟิล์มรวมแสงถูกกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์สีเขียวจะทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เซนเซอร์แสงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเราได้ทำการวัดค่าขอบเวลาขาขึ้นโดยเริ่มจากที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนไปถึงมีการเปลี่ยนแปลง โดยเราจะทำการวัดค่าขอบเวลาขาขึ้นกล่าวคือตั้งแต่สารในช่วงที่สารเปล่งแสงแสงเปล่งออกมาจากจนเดินทางถึงขอบ จากภาพที่ 4.6 แสดงการตอบสนองของฟิล์มหลังจากที่เปล่งแสงจนเดินทางถึงโฟโตไอโอด โดยค่าการตอบสนองของฟิล์มที่ขอบเวลาขาขึ้นอยู่ที่ 35.3 มิลลิวินาที และขอบเวลาขาลงที่ 28.4 มิลลิวินาที ซึ่งมีการตอบสนองที่ไวพอที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำเป็นเป้าเพื่อรับแสงเลเซอร์ที่ถูกยิงเข้ามา

หลังจากที่เราได้วัดคุณสมบัติทางแสงและการตอบสนองของฟิล์มรวมแสงแล้ว เราจึงนำเงื่อนไขที่ได้จากการทดสอบฟิล์มรวมแสงในกระจกมาประยุกต์ใช้ลงบนเป้า โดยจะเห็นว่าเมื่อเราทำการพิมพ์สกรีนสารเรืองแสงลงบนแผ่นอะคริลิคและทำการยิงเลเซอร์ลงบนอะคริลิคที่เคลือบด้วยสารเรืองแสง โมเลกุลของสารเรืองแสงสามารถดูดกลืนและเปล่งแสงให้เดินทางออกมายังบริเวณขอบได้ดังภาพที่ 4.7

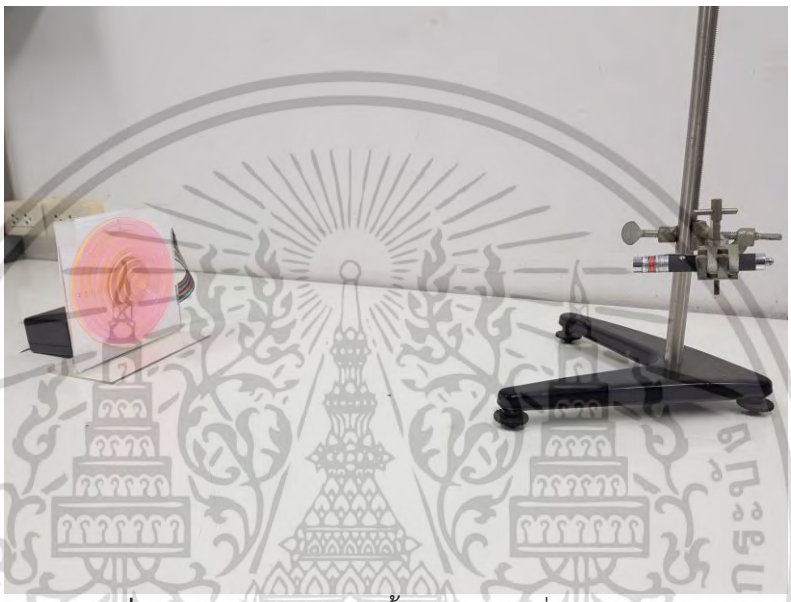
ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงการเดินทางของแสงในเป้าปืนเมื่อถูกยิงด้วยเลเซอร์

เราสามารถนำอะคริลิคที่เคลือบด้วยสารเรืองแสงมาเป็นวัสดุในการรับแสงเลเซอร์เพื่อเป็นการลดการใช้เซนเซอร์ ซึ่งเราสามารถใช้เซนเซอร์เพียงตัวเดียวเพื่อทำการรับแสงที่เกิดจากโมเลกุลของสารเรืองแสงที่เปล่งออกมาได้

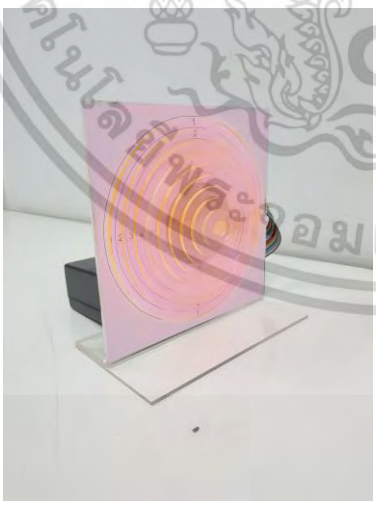
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การสร้างเป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์จากแผ่นฟิล์มรวมแสง

จากผลการทดลองที่ได้ทำให้เราสามารถนำฟิล์มรวมแสงมาประยุกต์ใช้เป็นเป้าปืนได้โดยเป้าปืนนี้จะทำการเคลือบสารเรืองแสงลงบนแผ่นอะคริลิคที่ออกแบบเป็นรูปเป้าปืนตามรูปแบบในบทที่ 3 และติดโฟโตไดโอดที่บริเวณขอบของแต่ละวงในเป้าปืนเพื่อทำการตรวจวัดแสงที่เปล่งออกมาจากเป้าในแต่ละวง โดยเซนเซอร์แสงจะถูกต่อเข้ากับ NodeMCU เพื่อนำค่าจากโฟโตไดโอดที่ได้ในแต่ละครั้งมากำหนดค่าและส่งต่อไปยัง Raspberry Pi โดยในการทดลองยิงเลเซอร์จะมีดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงการจัดตั้งชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



(ก) เป้าปืน

(ข) แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สีเขียว

ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการทดลองจะเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่นที่ 530 นาโมเตร มีกำลัง 10 มิลลิวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยทำการยิงเลเซอร์ในลักษณะแนวเดียวกับการทริกเกอร์ของไกปืน คือกด 1 ครั้งเท่ากับการยิง 1 ครั้ง โดยแสงที่ถูกยิงออกจากเลเซอร์เมื่อตกประทบบริเวณใดของเป้าจะทำการแสดงค่าคะแนนในแต่ละบริเวณที่เลเซอร์ตกกระทบ

ตารางที่ 4.1 แสดงคะแนนของเซนเซอร์แสงแต่ละตัว

เซนเซอร์แสง / คะแนน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	O	X	X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X	O	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	X
9	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O

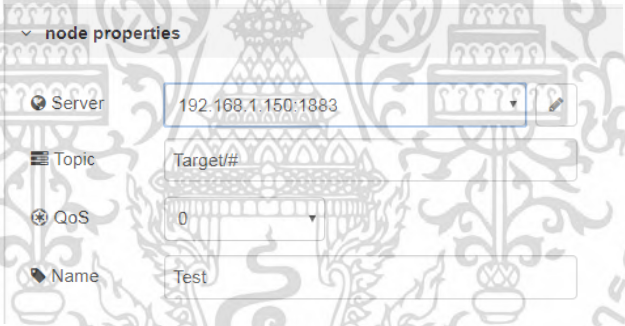
4.5 การรับ – ส่งข้อมูลผ่านโปรโตตอล MQTT

หลังจากที่เซนเซอร์แสงได้รับแสงจะทำการแปลงพลังงานแสงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะนำค่าแรงดันไฟฟ้ามาคิดเป็นลอจิก High กับ Low โดยเราจะทำการกำหนดค่าตัวแปรให้กับเซนเซอร์แสงแต่ละตัวแทนคะแนนดังตารางที่ 4.1 NodeMCU จะทำการส่งคะแนนที่ได้ผ่านโปรโตคอล MQTT ซึ่งจะส่งผ่าน Topic ที่เราได้ตั้งค่า Topic = “Target/target1” โดย NodeMCU จะส่ง Topic ที่ใช้ในการสื่อสารไปยัง Raspberry Pi พร้อมกับข้อความซึ่งคือคะแนนที่ได้จากแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบในแต่ละวงของเป้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.10 แสดงการส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT

ในการส่งข้อมูลของโปรโตคอล MQTT จะประกอบไปด้วย Topic และ Message ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดย Topic ที่ส่งจะถูกเก็บไว้ใน msg.topic และ message จะถูกเก็บไว้ใน msg.payload ดังภาพที่ 4.10 โดยการติดต่อสื่อสารระหว่างโปรโตคอลนั้นจะต้องทำการแจ้ง Topic ที่ใช้รับ – ส่งข้อมูล ทั้ง Client และ Broker ถ้าหากไม่มีการประกาศ Topic หรือมีการใช้ Topic ที่ไม่ตรงกัน Broker จะไม่สามารถรับข้อมูลได้แต่อย่างใด โดยใน Node ของการ Subscribe ข้อมูลจาก Client เราได้ทำการประกาศ Topic ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงการประกาศ Topic เพื่อรับข้อมูลจาก Client

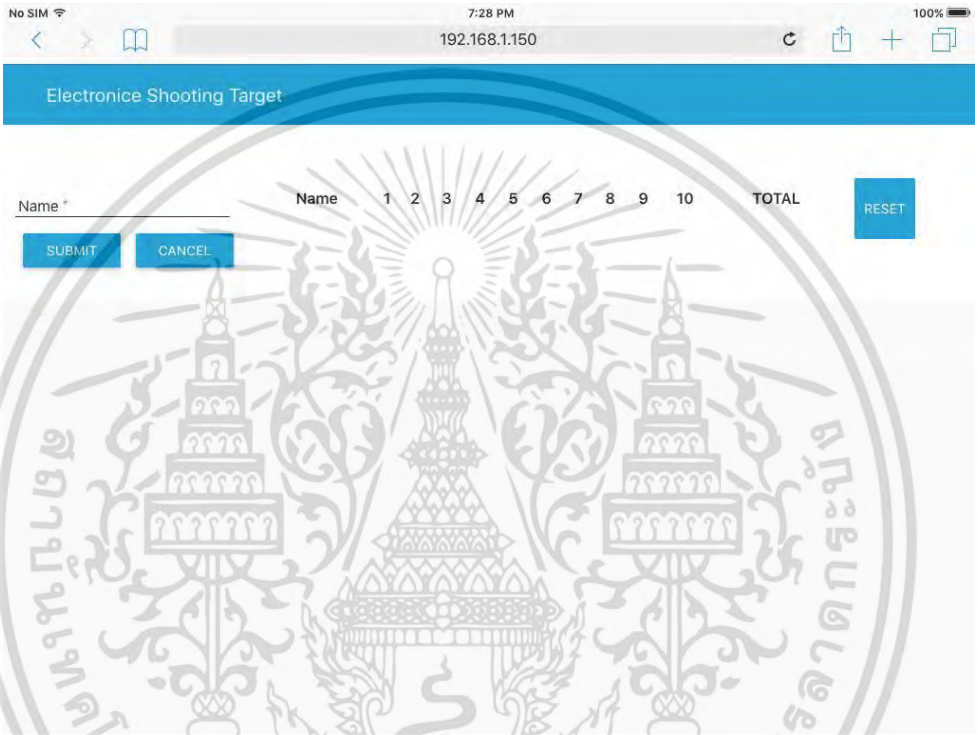
จากภาพที่ 4.12 เราทำการประกาศ Topic ในลักษณะของ multi-level wildcard เพื่อสำหรับรองรับ Client ที่เพิ่มขึ้นในอนาคตเช่นการเพิ่มจำนวนเป้าหรือนำไปประยุกต์ใช้ในแบบอื่น ซึ่ง Broker จะสามารถรับ – ส่งข้อมูลทั้งหมดที่ส่งจาก Client ที่ใช้ค่า Topic นี้

ภาพที่ 4.12 แสดงการส่งข้อมูลผ่าน Topic ในลักษณะของ multi-level wildcard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.12 แสดงตัวอย่างการรับส่งข้อมูลผ่าน Topic ในลักษณะของ multi-level wildcard ซึ่งจะสามารถรับข้อมูลที่ส่งออกมาผ่าน Topic “Target” ได้ทั้งหมด โดยไม่สนใจห้องที่ต่อท้ายของ Topic

หลังจากได้รับข้อมูลที่ส่งมาแล้วจะทำการดึงข้อมูลที่อยู่ในส่วนของ msg.payload ซึ่งในข้อห้องกับข้อมูลที่ส่งออกมา โดยเราจะนำทำการประมวลผลและแสดงออกไปยังหน้าเว็บดังภาพที่ 4.13

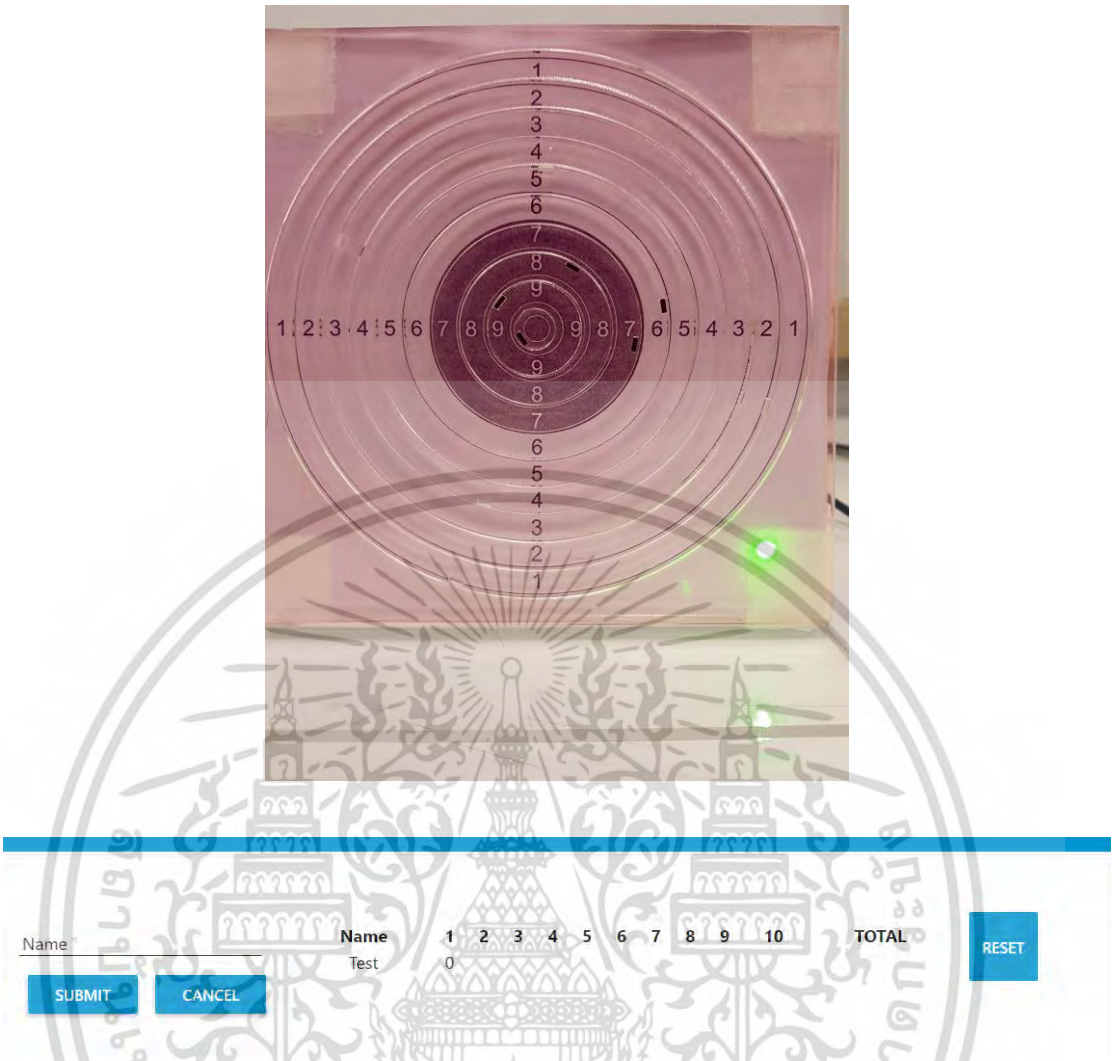


ภาพที่ 4.13 แสดง UI ของหน้าเว็บที่ใช้แสดงผล

4.6 การนับคะแนน

หลักการทำงานของระบบเป้านั้นจะทำงานต่อเมื่อมีแสงเลเซอร์ตกกระทบในบริเวณเป้าแต่ละวงซึ่งเมื่อเป้าได้รับแสงเลเซอร์สารเรืองแสงจะเกิดการกระตุ้นและเรืองแสงไปยังขอบที่ติดตั้งเซนเซอร์แสงที่ติดตั้งไว้ในแต่ละวงเป้า โดยเราทำการตั้งค่าตัวแปรที่เก็บค่าของคะแนนในโปรแกรมสำหรับเซนเซอร์แสงในแต่ละตัว เมื่อมีสัญญาณจากเซนเซอร์แสงตัวใด ก็จะส่งค่าคะแนนนั้นไปยัง Raspberry Pi ซึ่งจะนำถ้าที่อยู่ในส่วนของ msg.payload ไปใช้ในการบันทึกผลคะแนนและแสดงผลบนเว็บเบราเซอร์

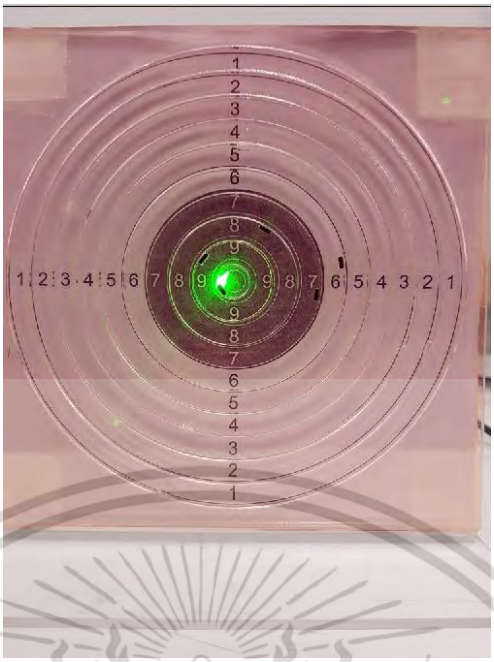
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

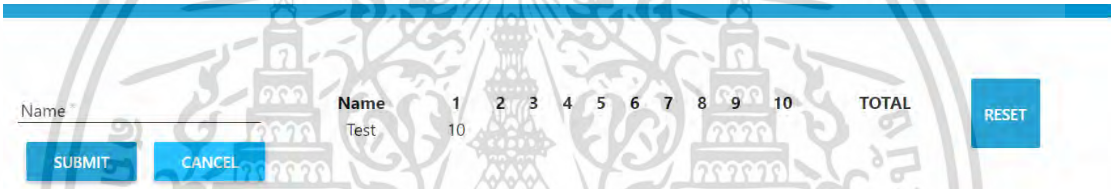


ภาพที่ 4.14 แสดงการนับคะแนนในกรณีที่ไม่แสงเลเซอร์ตกกระทบนอกเป้า

ในกรณีที่เกิดการยิงเลเซอร์แต่ไม่โดนเป้าจะมีการนับคะแนนในบริเวณนั้นด้วย เนื่องจากได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์แสงในส่วนบริเวณของกรอบเป้าด้วยเพื่อให้สามารถนับคะแนนได้อย่างถูกต้อง ในกรณีที่มีการยิงออกนอกเป้าดังภาพที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

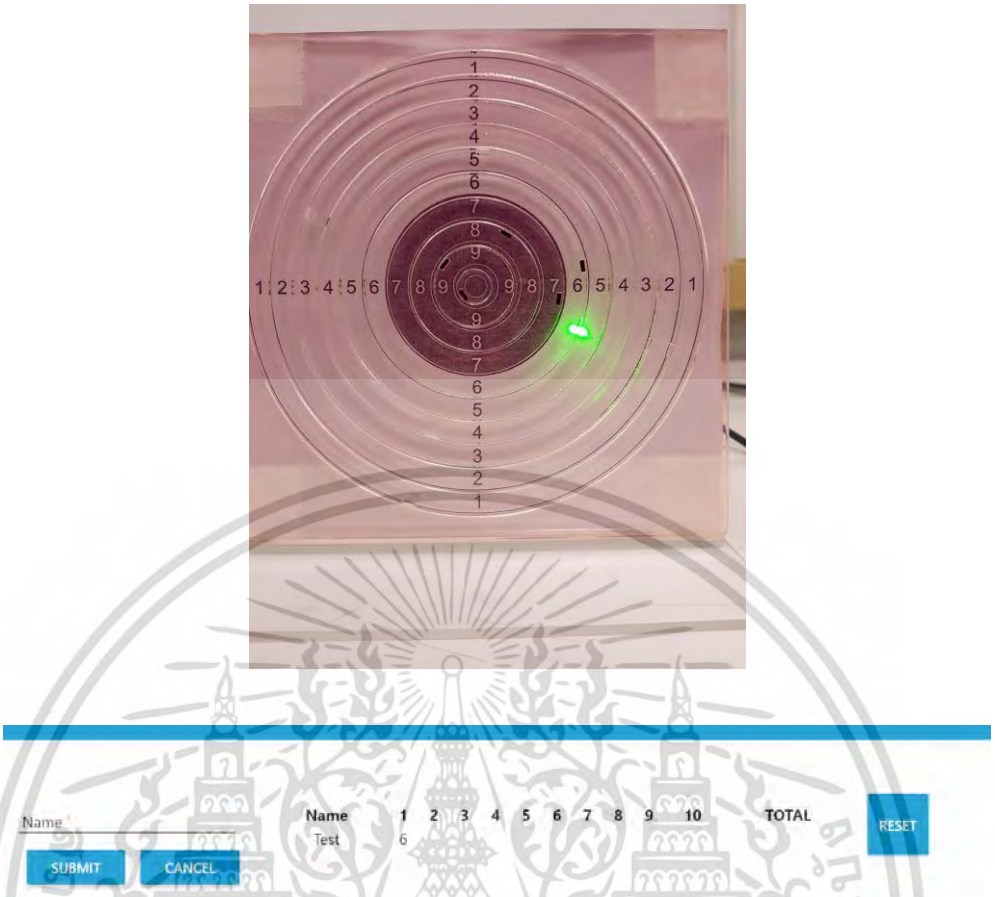




ภาพที่ 4.15 แสดงการนับคะแนนในกรณีที่แสงเลเซอร์ตกกระทบเป้าวงใดวงหนึ่ง

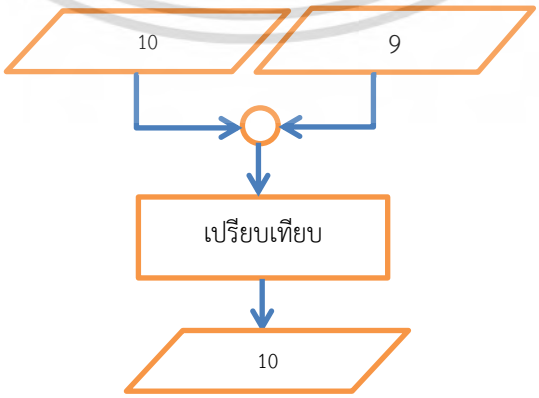
กรณีที่ยิงเลเซอร์ตกกระทบลงเป้าวงใดวงหนึ่งจะเกิดการนับคะแนนตามวงกลมในเป้าที่โดยซึ่งจะเกิดการนับครั้งที่ยิงและนับคะแนนตามวงเป้าที่เลเซอร์ตกกระทบและจะแสดงผลไปยังหน้าเว็บถ้าแสงตกกระทบลงบนวงใดวงหนึ่งเพียงวงเดียวจะแสดงค่าเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 แสดงการนับคะแนนในกรณีที่แสงเลเซอร์ตกกระทบเป้าในบริเวณรอยต่อวงเป้า

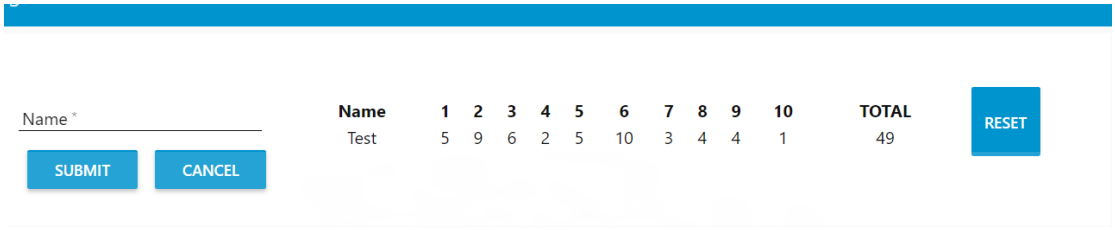
ภาพที่ 4.16 แสดงการนับคะแนนในกรณีอาจจะมีการยิงไปยังบริเวณรอยต่อของวงเป้าแต่ละวงระหว่างวงเป้าทั้ง 2 วง ซึ่งจะทำให้เกิดการนับคะแนนของทั้งสองวงพร้อมกัน ในกรณีที่แสงเลเซอร์ตกกระทบบริเวณรอยต่อระหว่างวงเป้าเราจะทำการให้คะแนนโดยให้ลำดับความสำคัญจากวงเป้าที่ให้คะแนนมากกว่า ซึ่งลักษณะการให้คะแนนนี้จะเหมือนกับหลักกติกาสากล[10] หากกระสุนโดนเพียงส่วนของเส้นวงคะแนนที่มีคะแนนมากกว่าจะนับคะแนนให้กับวงที่มีคะแนนมากกว่าดังภาพที่ 4.17



ภาพ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบคะแนนระหว่าง 2 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการยิงแต่ละครั้งระบบจะทำการคำนวณคะแนนให้ตลอดเวลา โดยเมื่อมีคะแนนเข้ามาระบบจะทำการคำนวณและแสดงคะแนนออกไปยังช่อง Total ซึ่งเป็นช่องของผลรวมคะแนนดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 ภาพแสดงการรวมคะแนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราได้ทำการสร้างเป้าปืนในการตรวจจับแสงเลเซอร์ที่ยิงตกกระทบลงบนเป้าโดยการเคลือบด้วยสารเรืองแสง Rhodamine 6G ซึ่งในการสร้างฟิล์มรวมแสงที่จะพิมพ์สกรีนลงบนเป้าปืนนั้นจะต้องสร้างฟิล์มรวมแสงให้มีผิวหน้าที่เรียบเพื่อลดการสะท้อนของแสงและทำให้แสงเกิดการเคลื่อนที่ภายในได้ดี การดูดกลืนแสงและเปล่งแสงนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มเข้นของสารเรืองแสงซึ่งผลของฟิล์มรวมแสงแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ จะสามารถดูดกลืนและเปล่งแสงออกมาได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารเรืองแสงที่น้อยกว่า ฟิล์มรวมแสงนี้จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 537 นาโนมเตร และมีการเปลล่งแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 578 นาโมเมตร และได้ทำการวัดการตอบสนองของฟิล์มได้ทำการใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และมีกำลัง 10 มิลลิวัตต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงยิงไปยังแผ่นฟิล์มและทำการวัดขอบเวลาค่าขึ้นและค่าลง โดยวัดขอบเวลาขาขึ้นได้ที่ 35.3 มิลลิวินาที และขอบเวลาขาลงที่ 28.4 วินาที ซึ่งมีการตอบสนองที่ไวเพียงพอที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน

ในการประยุกต์ใช้งานเราจะทำการติดตั้งโฟโตไดโอดที่บริเวณขอบของวงเป้าซึ่งจะต่อเข้ากับ NodeMCU เพื่อประมวลผลสัญญาณที่ได้จากโฟโตไอโอดและส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT ซึ่งในการรับ – ส่งข้อมูลจะต้องมีการระบุ Topic ให้ตรงกันทั้ง Client และ Broker ซึ่งในการระบุ Topic นั้นสามารถใช้งานในลักษณะของ wildcard ซึ่งทำให้สามารถรองรับการใช้งานได้หลาย Client โดยการทำงานของเป้าปืนจะมีการส่งข้อมูลในกณีที่แสงตกกระทบบนเป้าเท่านั้น จะไม่สามารถนับคะแนนในกรณีที่ยิงไม่ถูกเป้าได้เนื่องจากไม่มีแสงไปกระตุ้นให้เกิดการส่งข้อมูลออกมา และในกรณีที่มีการยิงแสงเลเซอร์ไปยังบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างวงเส้นคะแนนจะให้การความสำคัญกับคะแนนที่มากกว่า

เป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์นี้สามารถที่จะใช้สารเรืองแสงมาเป็นภาครับเพื่อตรวจจับการทำงานของแสงเลเซอร์ที่ยิงมาตกกระทบได้เนื่องจากแสงสามารถเปล่งและเดินทางไปยังบริเวณขอบของเป้าได้ทำให้สามารถลดจำนวนการใช้เซนเซอร์ลงเหลือเพียงเป้าละ 1 ตัว ทำให้เป็นการประหยัดและลดความยุ่งยากในการต่อวงจร รวมไปถึงสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

เป้าปืนอิเล็กทรอนิกส์นี้สามารถประยุกต์เพิ่มโดยการนำปืนมาติดตั้ง NodeMCU เพื่อใช้ในการส่งค่าจากปืนให้ตอบสนองกับเป้าเพอให้สามารถนับคะแนนได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบจำลองการซ้อมรบได้เนื่องจากโปรโตคอล MQTT สามารถรองรับการสื่อสารได้หลายอุปกรณ์พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Soetedjo, E. Nurcahyo, 2011, “Developing of Low Cost Vision-Based Shooting Range Simulator”. International Journal of Computer Science and Network Security IJCSNS, 11(2), pp. 109-113

[2] A. Soetedjo, M. I. Ashari, A. Mahmudi, and Y. I. Nakhoda, “Camera-based Shooting Simulator Using Color Thresholding Techniques”, Instrumentation Control and Automation (ICA), 2013 ,pp. 207-211.

[3] A. Soetedjo, M. I. Ashari, A. Mahmudi, and Y. I. Nakhoda,“Detecting Laser Spot In Shooting Simulator Using An Embedded Camera”,International Journal On SmartSensing And Intelligent Systems Vol. 7, No. 1, March 2014, pp. 423-441.

[4] สรยุทธ กลมกล่อม, เจริญ วงษ์ชุ่มเย็น, กัมพล ปาระมี, มรุชัย วัฒนรังสรรค์, “ระบบฝึกซ้อมยิงปืนด้วยการจำลองภาพจากสถานการณ์จริง”, สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2556

[5] Vidya Ganapati, Myles A. Steiner, Eli Yablonovitch, “The Voltage Boost Enabled by Luminescence Extraction in Solar Cells”, IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 6, NO. 4, JULY 2016, pp. 801-809.

[6] Watcharapong Kongjaroon, Toempong Petchakul, “Electronic target using luminescence film” The Third Asian Conference On Defence Technology 2017 (3RD ACDT), 2017. pp. 207-211.

[7] รศ. แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ.2552. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์ 50

[8] วิเชียร และ นงเยาว์ จิระกรานนท์. 2546. การพิมพ์สกรีน. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : วินสกรีนกราฟฟิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] คู่มือการใช้งาน NETPIE [online].

https://drive.google.com/file/d/0BxilWPgyXTmvSjZVdEFSc3g0Z2c/view

[10] **TECHNICAL RULES [online].**

http://www.usashooting.org/library/Rulebooks/2013_USAS_GTR.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

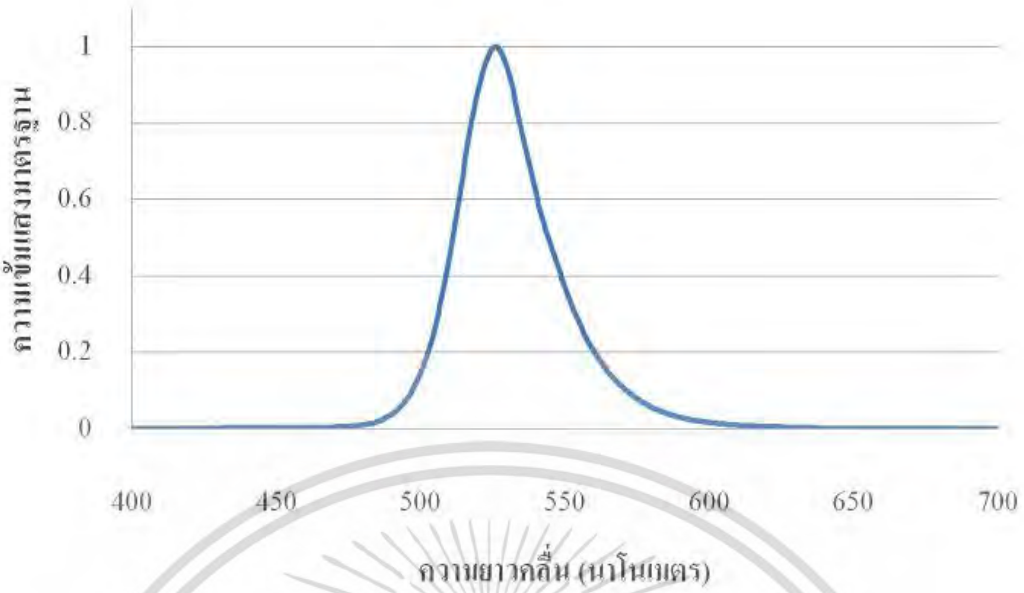
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย

วิธีการเตรียมสารละลาย Rhodamine 6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์

จากสูตร $$\text{โมลาร์} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{สารละลาย } \mathbf{1} \text{ ลิตร}}$$

ถ้าต้องการเตรียมสารละลาย Rhodamine 6G ที่ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ จำนวน 100 mL สามารถคำนวณได้จาก (M.W. ของ Rhodamine 6G = 479.02 g/mol)

วิธีคำนวณ

$$\text{โมล} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุล}}$$

$$0.001 \text{ mol} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{479.02 \text{ g/mol}}$$

$\therefore$ น้ำหนักของสาร $\text{Rhodamine 6G} = 0.47902$ กรัม

ถ้าหากต้องการเตรียมสารละลาย 1000mL ต้องชั่งสารRhodamine 6G 0.47902 กรัม แต่หากต้องการเตรียมสารละลาย 100 mL จะต้องเตรียมชั่งสารโดยคำนวณจาก

น้ำหนักของ Rhodamine 6G = $\frac{\mathbf{0.47902 \times 100}}{\mathbf{1000}}$ = 0.047902 กรัม

เพราะฉะนั้น ถ้าต้องการเตรียมสารละลายที่ปริมาณ 100 mL จะต้องชั่งสาร Rhodamine 6G 0.047902 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

เซนเซอร์วัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAOS Inc.

is now

ams AG

The technical content of this TAOS datasheet is still valid.

Contact information:

Headquarters:
ams AG
Tobelbaderstrasse 30
8141 Unterpremstaetten, Austria
Tel: +43 (0) 3136 500 0
e-Mail: ams_sales@ams.com

Please visit our website at www.ams.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

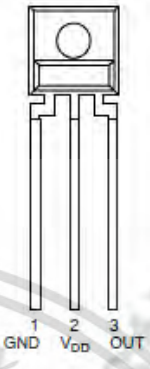
TAOS TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS®

TSL12S, TSL13S, TSL14S
LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS

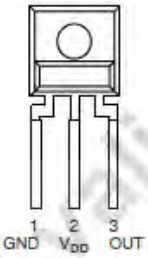
TAOS031E – SEPTEMBER 2007

- Converts Light Intensity to Output Voltage
- Monolithic Silicon IC Containing Photodiode, Transconductance Amplifier, and Feedback Components
- Single-Supply Operation . . . 2.7 V to 5.5 V
- High Irradiance Responsivity . . . Typical 246 mV/(μW/cm²) at λ_p = 640 nm (TSL12S)
- Low Supply Current . . . 1.1 mA Typical
- Sidelooker 3-Lead Plastic Package
- RoHS Compliant (–LF Package Only)

PACKAGE S
SIDELOOKER
(FRONT VIEW)



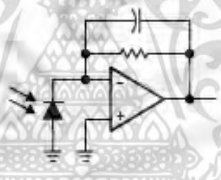
PACKAGE SM
SURFACE MOUNT
SIDELOOKER
(FRONT VIEW)



Description

The TSL12S, TSL13S, and TSL14S are cost-optimized, highly integrated light-to-voltage optical sensors, each combining a photodiode and a transimpedance amplifier (feedback resistor = 80 MΩ, 20 MΩ, and 5 MΩ, respectively) on a single monolithic integrated circuit. The photodiode active area is 0.5 mm x 0.5 mm and the sensors respond to light in the range of 320 nm to 1050 nm. Output voltage is linear with light intensity (irradiance) incident on the sensor over a wide dynamic range. These devices are supplied in a 3-lead clear plastic sidelooker package (S). When supplied in the lead (Pb) free package, the device is RoHS compliant.

Functional Block Diagram



Copyright © 2007, TAOS Inc.
Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc.
1001 Klein Road • Suite 300 • Plano, TX 75074 • (972) 673-0759
www.taosinc.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Available Options

DEVICE	T_A	PACKAGE – LEADS	PACKAGE DESIGNATOR	ORDERING NUMBER
TSL12S	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL12S
TSL12S	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker — Lead (Pb) Free	S	TSL12S–LF
TSL12S	0°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker — Lead (Pb) Free	SM	TSL12SM–LF
TSL13S	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL13S
TSL13S	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker — Lead (Pb) Free	S	TSL13S–LF
TSL13S	0°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker — Lead (Pb) Free	SM	TSL13SM–LF
TSL14S	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL14S
TSL14S	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker — Lead (Pb) Free	S	TSL14S–LF
TSL14S	0°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker — Lead (Pb) Free	SM	TSL14SM–LF

Terminal Functions

TERMINAL NAME	TERMINAL NO.	TYPE	DESCRIPTION
GND	1		Power supply ground (substrate). All voltages are referenced to GND.
OUT	3	O	Output voltage.
V_{DD}	2		Supply voltage.

Absolute Maximum Ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1) . . . . . 6 V
Output current, I_O . . . . . ±10 mA
Duration of short-circuit current at (or below) 25°C (see Note 2) . . . . . 5 s
Operating free-air temperature range, T_A . . . . . –25°C to 85°C
Storage temperature range, T_{stg} . . . . . –25°C to 85°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds (S Package) . . . . . 260°C
Reflow solder, in accordance with J-STD-020C or J-STD-020D (SM Package) . . . . . 260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltages are with respect to GND.
2. Output may be shorted to supply.

Recommended Operating Conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{DD}	2.7		5.5	V
Operating free-air temperature, T_A	0		70	°C

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics at V_{DD} = 5 V, T_A = 25°C, λ_p = 640 nm, R_L = 10 kΩ (unless otherwise noted) (see Notes 3, 4, 5)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TSL12S			TSL13S			TSL14S			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OM}	Maximum output voltage		4.6	4.9		4.6	4.9		4.6	4.9		V
V_O	Output voltage	E_e = 8 µW/cm²	1.5	2	2.5							V
		E_e = 31 µW/cm²				1.5	2	2.5				
		E_e = 120 µW/cm²							1.5	2	2.5	
		E_e = 16 µW/cm²		4								
		E_e = 62 µW/cm²					4					
		E_e = 240 µW/cm²								4		
R_e	Irradiance responsivity	Note 6		248			64			16		mV/(µW/cm²)
V_{OS}	Extrapolated offset voltage	Note 6	−0.02	0.03	0.08	−0.02	0.03	0.08	−0.02	0.03	0.08	V
V_d	Dark voltage	E_e = 0	0		0.08	0		0.08	0		0.08	V
I_D	Supply current	E_e = 8 µW/cm²		1.1	1.7							mA
		E_e = 31 µW/cm²					1.1	1.7				
		E_e = 120 µW/cm²								1.1	1.7	

NOTES: 3. Measurements are made with R_L = 10 kΩ between output and ground.
4. Optical measurements are made using small-angle incident radiation from an LED optical source.
5. The 640 nm input irradiance E_e is supplied by an AlInGaP LED with peak wavelength λ_p = 640 nm.
6. Irradiance responsivity is characterized over the range V_O = 0.2 to 4 V. The best-fit straight line of Output Voltage V_O versus irradiance E_e over this range may have a positive or negative extrapolated V_O value for E_e = 0. For low irradiance values, the output voltage V_O versus irradiance E_e characteristic is non linear with a deviation toward V_O = 0, E_e = 0 origin from the best-fit straight line referenced above.

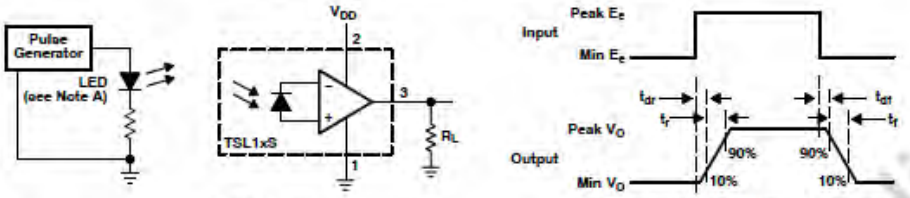
Dynamic Characteristics at V_{DD} = 5 V, T_A = 25°C, λ_p = 640 nm, R_L = 10 kΩ (unless otherwise noted) (see Figure 1)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TSL12S			TSL13S			TSL14S			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_{dr}	Output pulse delay time for rising edge (0% to 10%)	Min V_O = 0 V; Peak V_O = 2 V		13			1.7			0.9		µs
		Min V_O = 0.5 V; Peak V_O = 2 V		2.3			1.2			0.6		
t_r	Output pulse rise time (10% to 90%)	Min V_O = 0 V; Peak V_O = 2 V		20			7.2			2.6		µs
		Min V_O = 0.5 V; Peak V_O = 2 V		10			6.5			2.9		
t_{df}	Output pulse delay time for falling edge (100% to 90%)	Min V_O = 0 V; Peak V_O = 2 V		2.3			1.2			0.8		µs
		Min V_O = 0.5 V; Peak V_O = 2 V		2.2			1.1			0.7		
t_f	Output pulse fall time (90% to 10%)	Min V_O = 0 V; Peak V_O = 2 V		10			6.8			2.9		µs
		Min V_O = 0.5 V; Peak V_O = 2 V		9			6.4			2.8		

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT

OUTPUT VOLTAGE WAVEFORM (See Note B)

NOTES: A. The input irradiance is supplied by a pulsed AlInGaP light-emitting diode with the following characteristics: λ_p = 640 nm, t_r < 1 µs, t_f < 1 µs.
B. The output waveform is monitored on an oscilloscope with the following characteristics: t_r < 100 ns, Z_i ≥ 1 MΩ, C_i ≤ 20 pF.

Figure 1. Switching Times

TYPICAL CHARACTERISTICS

PHOTODIODE SPECTRAL RESPONSIVITY

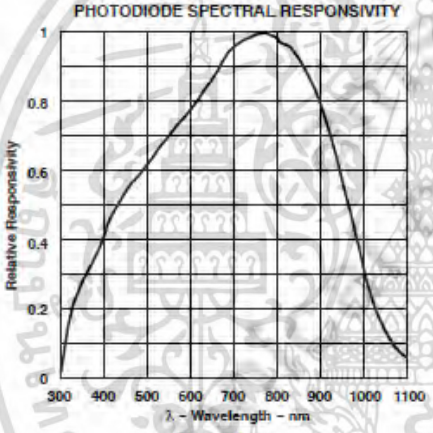


Figure 2

NORMALIZED OUTPUT VOLTAGE vs ANGULAR DISPLACEMENT

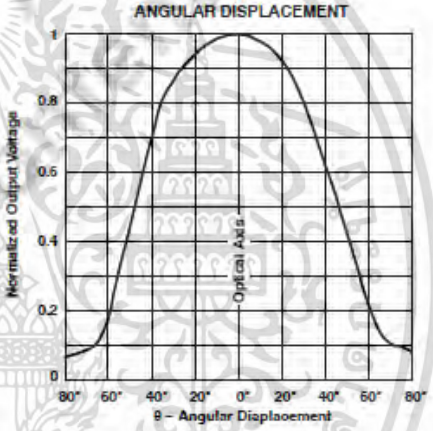


Figure 3

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

TSL12S

RISING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS
vs.
PEAK OUTPUT VOLTAGE

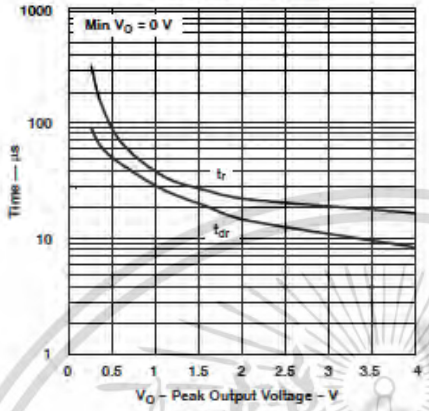


Figure 4

RISING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS
vs.
PEAK OUTPUT VOLTAGE

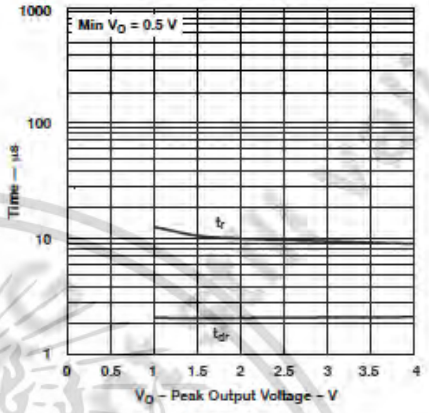


Figure 5

FALLING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS
vs.
PEAK OUTPUT VOLTAGE

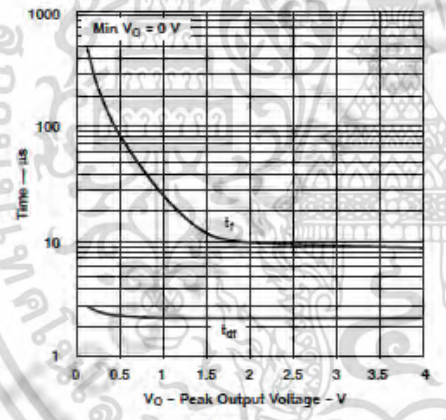


Figure 6

FALLING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS
vs.
PEAK OUTPUT VOLTAGE

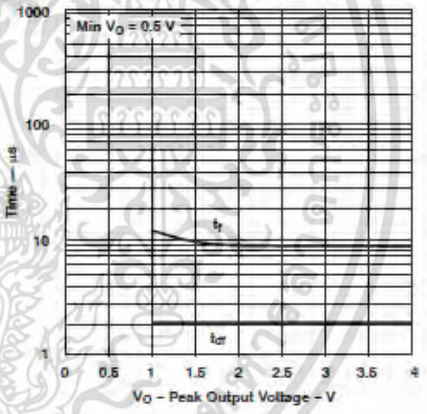


Figure 7

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

TSL13S

RISING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

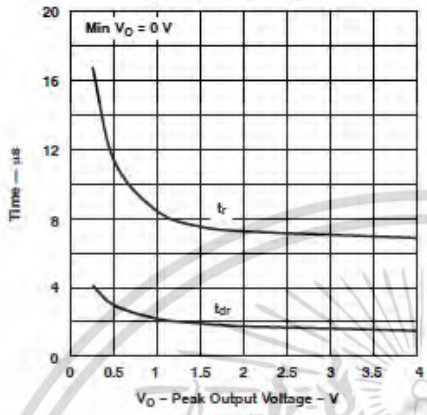


Figure 8

RISING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

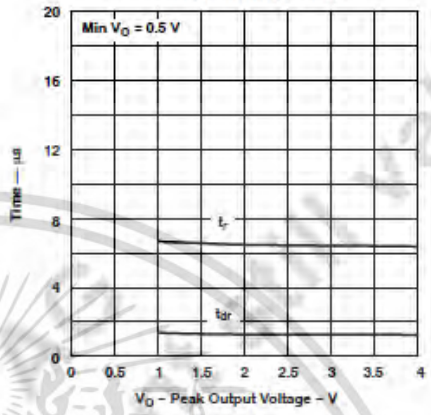


Figure 9

FALLING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

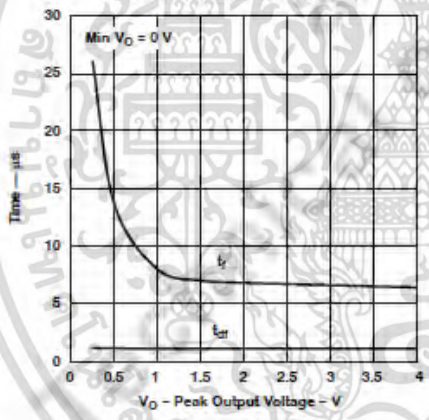


Figure 10

FALLING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

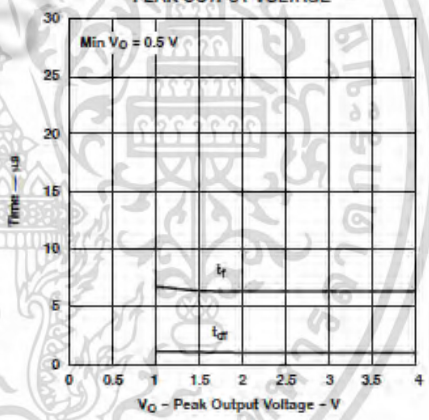


Figure 11

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

TSL14S

RISING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

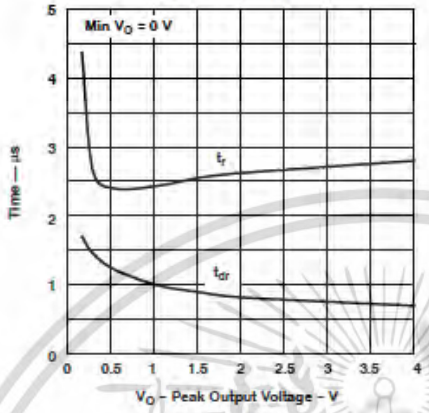


Figure 12

RISING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

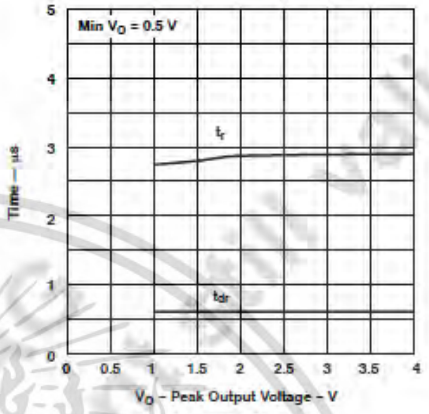


Figure 13

FALLING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

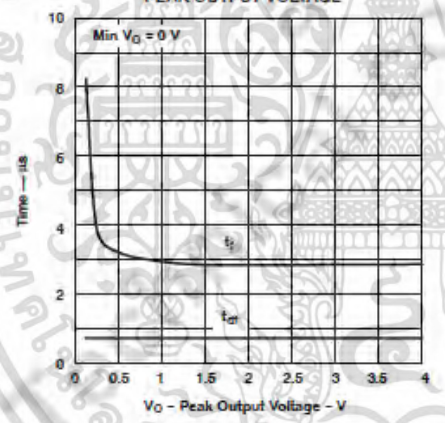


Figure 14

FALLING EDGE DYNAMIC CHARACTERISTICS vs. PEAK OUTPUT VOLTAGE

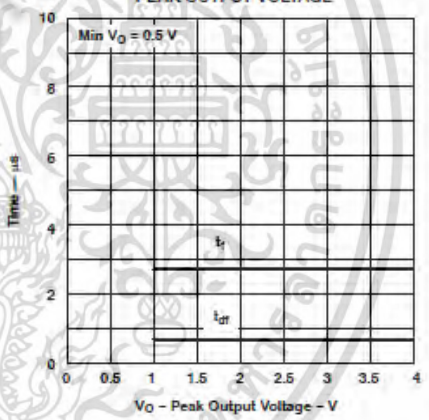


Figure 15

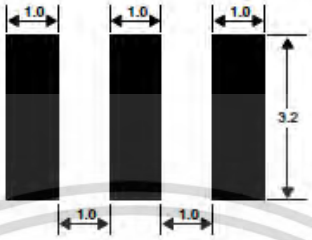
Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

PCB Pad Layout

Suggested PCB pad layout guidelines for the SM surface mount package are shown in Figure 16.



NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
B. This drawing is subject to change without notice.

Figure 16. Suggested SM Package PCB Layout

Copyright © 2007, TAOS Inc.

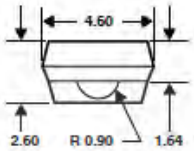
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

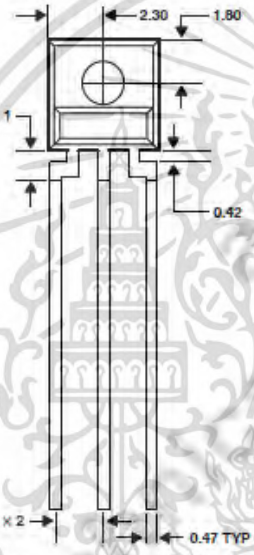
The TSL12S, TSL13S, and TSL14S are supplied in a clear 3-lead through-hole package with a molded lens.

PACKAGE S — PLASTIC SINGLE-IN-LINE SIDE-LOOKER PACKAGE

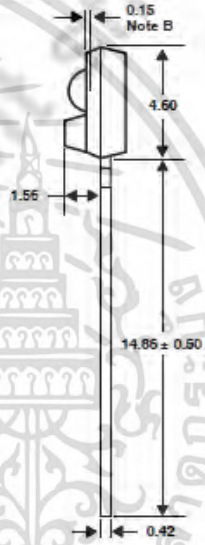
TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW



Pb
Lead Free
Available

NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters; tolerance is ± 0.25 mm unless otherwise stated.
B. Dimension is to center of lens arc, which is located below the package face.
C. The 0.50 mm x 0.50 mm integrated photodiode active area is typically located in the center of the lens and 0.87 mm below the top of the lens surface.
D. Index of refraction of clear plastic is 1.55.
E. Lead finish for TSL1xS: solder dipped, 63% Sn/37% Pb. Lead finish for TSL1xS–LF: solder dipped, 100% Sn.
F. This drawing is subject to change without notice.

Figure 17. Package S — Single-In-Line Side-Looker Package Configuration

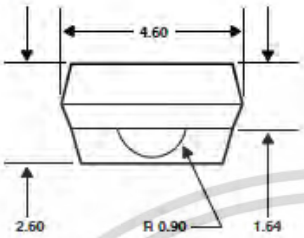
Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

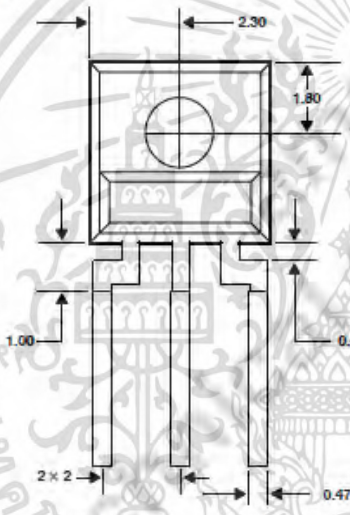
MECHANICAL DATA

PACKAGE SM — **PLASTIC SURFACE MOUNT SIDE-LOOKER PACKAGE**

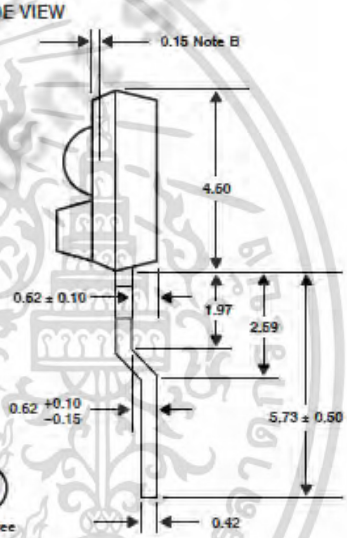
TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW



NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters; tolerance is ± 0.25 mm unless otherwise stated.
B. Dimension is to center of lens arc, which is located below the package face.
C. The integrated photodiode active area is typically located in the center of the lens and 0.97 mm below the top of the lens surface.
D. Index of refraction of clear plastic is 1.55.
E. Lead finish for TSL1xSM–LF: solder dipped, 100% Sn.
F. This drawing is subject to change without notice.

Figure 18. Package SM — Surface Mount Side-Looker Package Configuration

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION DATA — information in this document is current at publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Inc. standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

LEAD-FREE (Pb-FREE) and GREEN STATEMENT

Pb-Free (RoHS) TAOS' terms *Lead-Free* or *Pb-Free* mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TAOS Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Green (RoHS & no Sb/Br) TAOS defines *Green* to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material).

Important Information and Disclaimer The information provided in this statement represents TAOS' knowledge and belief as of the date that it is provided. TAOS bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TAOS has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TAOS and TAOS suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

NOTICE

Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Inc. (TAOS) reserves the right to make changes to the products contained in this document to improve performance or for any other purpose, or to discontinue them without notice. Customers are advised to contact TAOS to obtain the latest product information before placing orders or designing TAOS products into systems.

TAOS assumes no responsibility for the use of any products or circuits described in this document or customer product design, conveys no license, either expressed or implied, under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. TAOS further makes no claim as to the suitability of its products for any particular purpose, nor does TAOS assume any liability arising out of the use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages.

TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS, INC. PRODUCTS ARE NOT DESIGNED OR INTENDED FOR USE IN CRITICAL APPLICATIONS IN WHICH THE FAILURE OR MALFUNCTION OF THE TAOS PRODUCT MAY RESULT IN PERSONAL INJURY OR DEATH. USE OF TAOS PRODUCTS IN LIFE SUPPORT SYSTEMS IS EXPRESSLY UNAUTHORIZED AND ANY SUCH USE BY A CUSTOMER IS COMPLETELY AT THE CUSTOMER'S RISK.

LUMENOLOGY, TAOS, the TAOS logo, and Texas Advanced Optoelectronic Solutions are registered trademarks of Texas Advanced Optoelectronic Solutions Incorporated.

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © 2007, TAOS Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

เลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rev.1.0 19.03.15

ROITHNER LASERTECHNIK GmbH
WIEDNER HAUPTSTRASSE 76 1040 VIENNA AUSTRIA
TEL. +43 1 586 52 43 -0, FAX. -44 OFFICE@ROITHNER-LASER.COM

LD-515-10MG

- 515 nm, 10 mW
- Single Transverse Mode
- 5.6 mm TO-can
- with photodiode

RoHS COMPLIANT

Description

LD-515-10MG is a direct emitting, **GaN based**, 515nm green laser diode in TO56 package with **integrated photodiode**. It offers single transverse mode emission and >100 Mhz modulation bandwidth. It is an efficient radiation source for many applications like **laser projection**, holography, metrology, biomedical application...

Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Values Min.	Values Max.	Unit
Operating Current	I_F		120	mA
Reverse Voltage	V_R		2	V
Operating Temperature	T_{CASE}	- 20	+ 60	°C
Storage Temperature	T_{STG}	- 40	+ 85	°C
Soldering Temperature	T_{SOLDER}		260	°C
Junction Temperature	T_J		120	°C

Laser Characteristics (T_{CASE} = 25°C, P_O = 10 mW)

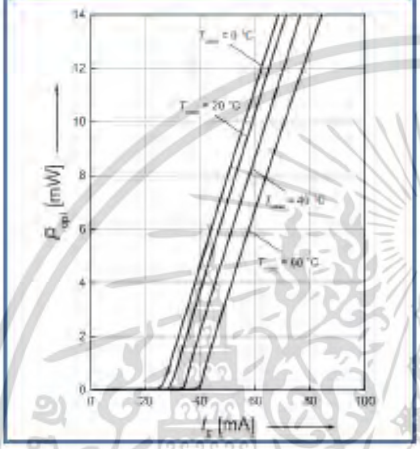
Parameter	Symbol	Values Min.	Values Typ.	Values Max.	Unit
Emission Wavelength	λ_{peak}	510	515	530	nm
Optical Output Power	P_O		10		mW
Spectral Width	$\Delta\lambda$		2		nm
Treshold Current	I_{th}		30	60	mA
Operating Current	I_F		60	100	mA
Operating Voltage	V_F		5.4	7.0	V
Beam Divergence (FWHM)	$\Theta_{\parallel} \times \Theta_{\perp}$	5x19	6.6x21.4	9x25	deg
Polarization	P_{SR}		100:1		
Modulation Frequency	f		>100		MHz
Thermal Resistance (junction to case)	R_{th}		34		K/W
Monitor current	I_m		150		µA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

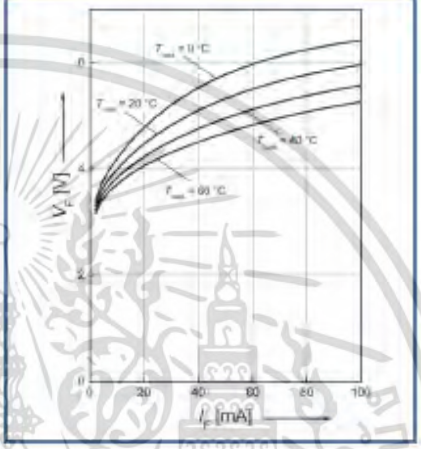
ROITHNER LASERTECHNIK GmbH
WIEDNER HAUPTSTRASSE 76 1040 VIENNA AUSTRIA
TEL. +43 1 586 52 43 -0, FAX. -44 OFFICE@ROITHNER-LASER.COM

Performance Characteristics

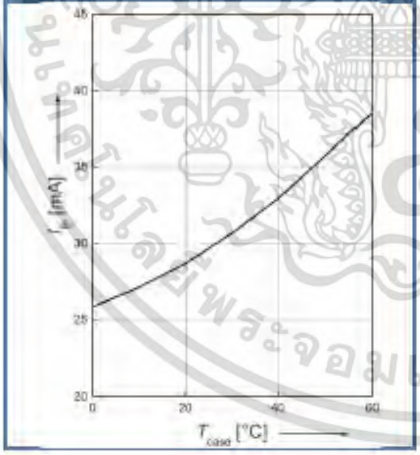
Optical Output Power



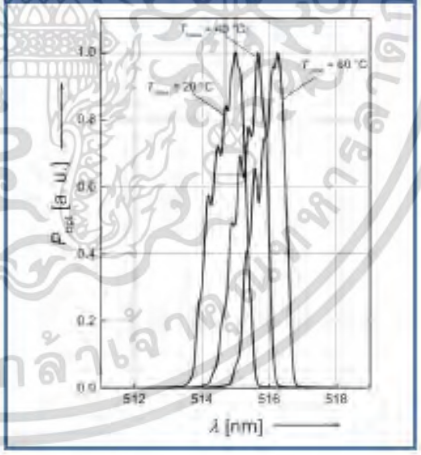
Operating Voltage



Threshold Current



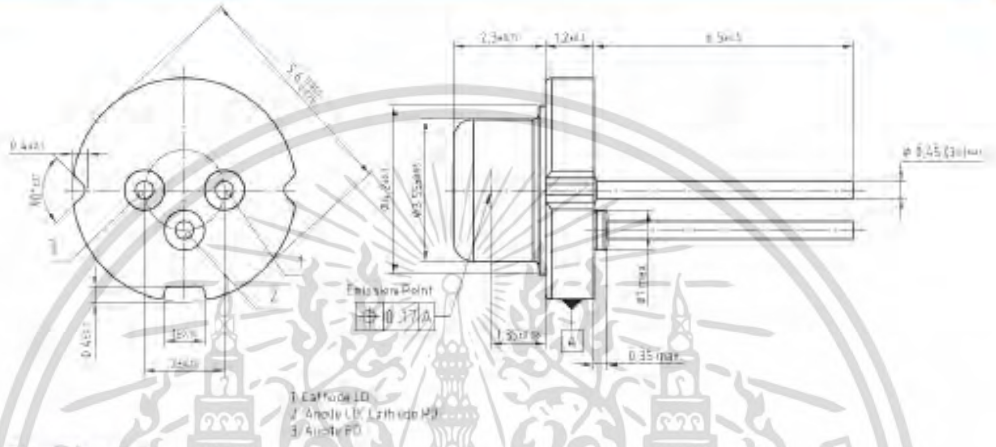
Spectrum



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROITHNER LASERTECHNIK GmbH
WIEDNER HAUPTSTRASSE 76 1040 VIENNA AUSTRIA
TEL. +43 1 586 52 43 -0, FAX. -44 OFFICE@ROITHNER-LASER.COM

Drawing



Dimensions in mm

Electrical Connection

Lead	Description
Pin 1	LD Cathode
Pin 2	LD Anode, PD Cathode, (case)
Pin 3	PD Anode

Mounting Instruction

In order to maintain lifetime and stability of the laser diode it is essential to provide efficient heat management. Heat dissipation is possible through the base plate only. For long time stable operation proper contact between laser diode base plate and heat sink is mandatory

Safety Advice

This laser diode emits highly concentrated visible light which can be hazardous to the human eye. This diode is classified as Class 3B laser product according to IEC 60825-1. Actual laser light emitted and precautions necessary strongly depend on mode of operation.

© All Rights Reserved
The above specifications are for reference purpose only and subjected to change without prior notice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

โปรแกรมระบบการทำงานของเป้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <ESP8266WiFi.h>

#include <PubSubClient.h>


int T10 = D0;

int T9 = D1;

int T8 = D2;

int T7 = D3;

int T6 = D4;

int T5 = D5;

int T4 = D6;

int T3 = D7;

int T2 = D8;

int T1 = D9;

int T0 = A0; /// analog input


//IPAddress server_ip = {192, 168, 1, 150};    //ค่า ip ของ Server


const char* ssid = "yourssid";          //ค่าของ SSID

const char* password = "yourpassword"; //ค่าของ SSID
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// Config MQTT Server

#define mqtt_server "MQTT_IP_SERVER"          /// IP server MQTT

#define mqtt_port 1883                        /// Port MQTT

#define clientID "target1"


char* outTopic = "Target/Target1";

WiFiClient espClient;

PubSubClient mqtt(espClient);


void setup_wifi()

{

    delay(10);

    // We start by connecting to a WiFi network

    Serial.println();

    Serial.print("Connecting to ");

    Serial.println(ssid);

    WiFi.begin(ssid, password);

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

    delay(500);

    Serial.print(".");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

void reconnect_wifi(){
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTION_LOST){
    Serial.println("WiFi cannot connected");
    Serial.println("Attempting to connect to WiFi");
  }
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED){
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.println("IP address: ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Serial.println(WiFi.localIP());
  }

void setup_mqtt()
{
  mqtt.setServer(mqtt_server,mqtt_port);
  Serial.println("MQTT connecting....");
  if (mqtt.connect(clientID)){
    Serial.println("Successfully connected with MQTT");
    Serial.print("Client: ");
    Serial.println(clientID);
  } else {
    Serial.print("failed, rc=");
    Serial.print(mqtt.state());
    Serial.println(" try again in 5 seconds"); // Wait 5 seconds before retrying
    delay(1000);
}
}

void reconnect_mqtt() {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// Loop until we're reconnected

while (!mqtt.connected()) {

Serial.print("Attempting MQTT connection..."); // Attempt to connect

if (mqtt.connect(clientID)) {

Serial.println("Successfully connected with MQTT");

Serial.print("Client: ");

Serial.println(clientID);

} else {

Serial.print("failed, rc=");

Serial.print(mqtt.state());

Serial.println(" try again in 5 seconds"); // Wait 5 seconds before retrying

delay(1000);

}

}

}



void setup_target(){


    pinMode(T10,INPUT_PULLUP);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    pinMode(T9,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T8,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T7,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T6,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T5,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T4,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T3,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T2,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T1,INPUT_PULLUP);
    pinMode(T0,INPUT);
}

void setup()
{
  Serial.begin(115200);       //เปิดใช้ Serial
  setup_wifi();               /// Setup WIFI
  setup_mqtt();               /// Setup MQTT
  setup_target();             /// Setup TARGET
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void loop()
{
  char* payload = "0";
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED){ /// Check WIFI connection
    reconnect_wifi();                 /// Reconnect WIFI
  }
  if (!mqtt.connect(clientID)){       /// Check mqtt connection
    reconnect_mqtt();                 /// Reconnect MQTT
  }
  int val = analogRead(T0);
  if (val > 500){
      payload = "0";
      mqtt.publish(outTopic,payload);
  } else if (digitalRead(T10) == HIGH || digitalRead(T9) == HIGH || digitalRead(T8) ==
HIGH || digitalRead(T7) == HIGH || digitalRead(T6) == HIGH|| digitalRead(T5) == HIGH||
digitalRead(T4) == HIGH|| digitalRead(T3) == HIGH|| digitalRead(T2) == HIGH||
digitalRead(T1) == HIGH){
      payload = "10";
      mqtt.publish(outTopic,payload);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  } else if (digitalRead(T9) == HIGH || digitalRead(T8) == HIGH || digitalRead(T7) ==
HIGH || digitalRead(T6) == HIGH|| digitalRead(T5) == HIGH|| digitalRead(T4) == HIGH||
digitalRead(T3) == HIGH|| digitalRead(T2) == HIGH|| digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "9";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

  }  else if (digitalRead(T8) == HIGH || digitalRead(T7) == HIGH || digitalRead(T6) ==
HIGH|| digitalRead(T5) == HIGH|| digitalRead(T4) == HIGH|| digitalRead(T3) == HIGH||
digitalRead(T2) == HIGH|| digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "8";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

 }  else if (digitalRead(T7) == HIGH || digitalRead(T6) == HIGH|| digitalRead(T5) ==
HIGH|| digitalRead(T4) == HIGH|| digitalRead(T3) == HIGH|| digitalRead(T2) == HIGH||
digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "7";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

  } else if (digitalRead(T6) == HIGH|| digitalRead(T5) == HIGH|| digitalRead(T4) == HIGH||
digitalRead(T3) == HIGH|| digitalRead(T2) == HIGH|| digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "6";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

  } else if (digitalRead(T5) == HIGH|| digitalRead(T4) == HIGH|| digitalRead(T3) == HIGH||
digitalRead(T2) == HIGH|| digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "8";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      mqtt.publish(outTopic,payload);

   } else if (digitalRead(T4) == HIGH|| digitalRead(T3) == HIGH|| digitalRead(T2) == HIGH||
digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "4";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

   } else if (digitalRead(T3) == HIGH|| digitalRead(T2) == HIGH|| digitalRead(T1) ==
HIGH){

      payload = "3";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

   } else if (digitalRead(T2) == HIGH|| digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "2";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

   } else if (digitalRead(T1) == HIGH){

      payload = "1";

      mqtt.publish(outTopic,payload);

   }



  delay(1000);

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceedings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contents

	Page
Keynote Speech	
Training and Education in Explosives *Jacqueline Akhavan*	1
Recent Developments in Materials Simulations and Informatics *Kenta Hongo*	2
Science and Technology of Ablation: An Overview *Joseph H. Koo*	3
Track 1 – Electronics and Electrical Engineering	
Time-Frequency Resources Comparison of 5G Candidate Waveforms * *Changyoung An, Heung-Gyoon Ryu*	6
Generation of Phase Coded Pulses using Generalized Logistic Maps *Kaparapu Babulu, Battula T. Krishna*	10
Electronic Target by Using Luminescence Film * *Watcharapong Kongjaroon, Toempong Phetchakul*	15
Digital Image Stabilization Technique for Fixed Camera on Small Size Drone *Ekkaphon Mingkhwan, Weerawat Khawsuk*	20
Battalion-Organic Electronic Fires: A Tactical Application of Commercial Unmanned Systems and Software-Defined Radios *Jason Noble, Dinh Thanh Liem, Ngo Quy Tuan, Dan Luat, Mohammad Reza Asharif*	28
Comparative Analysis of Integer and Non-Integer Order Savitzky-Golay Digital Filters *Kota C.B. Rao, Battula T. Krishna*	34
A Long-Range Low-Power Wireless Sensor Network Based on U-LoRa Technology for Tactical Troops Tracking Systems *Wimol San-Um, Wipawadee Wongsuwan, Pansathorn Lekbunyasin, Jiradett Kerdsri, Mongkol Kodyoo, Suttiruk Leudkanjana*	40
Design and Development of KNACKSAT: First Fully In-house Developed Satellite in Thailand *Nawarat Worrakul, Krongkaew Laohalidanond, Phongsatorn Saisutjarit, Suwat Kuntanapreeda, Takaya Inamori*	44
Track 2 – Information and Communication Technology	
Performance Evaluation of Different Inpainting Algorithms for Remotely sensed Images *Luqman Ali, Teerasit Kasetkasem, Thitiporn Chanwimaluang, Wasif Khan, Hiroki Nakahara*	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electronic Target by Using Luminescence Film

Watcharapong Kongjaroon
Department of Defence Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
watcharapong.k@hotmail.com

Toempong Phetchakul
Department of Electronics, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
toempong.ph@kmitl.ac.th

***Abstract*—This research presents an electronic target which uses luminescence film together with green laser for military application. The luminescence film is rhodamine 6G that is screened on the substrate as very large sensitive active area of target. It shows the absorption electromagnetic wave range 500 - 550 nm and has the peak at 530 nm. The green laser light source is used instead of bullet that has wavelength at 520 nm. The absorption energy acts as the excitation energy for fluorescence when the laser is shot on target and re-emit electromagnetic wave in the range of 555-585nm which propagates by reflection within the film toward to the edges of film and is detected by photo detector. This method can make continuous large sensitive active target area very simply and low cost.**

Keywords: Electronics target; Fluoresecence; Rhodamine 6G; Organic thin film.

I. INTRODUCTION

In military, they have practices for using in any weapons. Normally, they use real weapons in these practices . It is dangerous and wasteful for ammunition and consumes so much because bullets are unable to manufacture by their own. It must import from foreign countries and they are expensive. In addition, we need to have training from agencies while the budgets are limited so they are not able to have a good practice. In this research, we want to relieve the problem of providing weapons for training, reduce the ammunition budget and the risk in practice with real bullet. The simple and low cost electronic target that has large sensitive target area is proposed.

Today, they have used the electronic target system in practice for military work. The electronic target systems that made from some techniques such as image processing system that worked with software to process the image from camera [1-2]. It uses the image of bullet hole on the target for counting and calculates score in real time . In addition, there is development by using the laser shot on the target and use the camera capture the position that laser incident to target and calculate the score and define the position of bullet [3-5]. Even though, it is high accuracy method but the main disadvantage of the image processing method is not suitable for movement. They must be fixed that is not meet the need of some practices . Another method uses a photo sensor that used a semiconductor to make photosensitive devices that have multi array sensor characteristics. Similarly, it must takes a lot of sensors in order to have a large sensitive area and continuously.

In this research, we applied fluorescent thin film for electronic target. One of the applications of fluorescent film is applied for solar cell for hi gh quantum yield and optimal power conversion efficiency [6]. We apply it as target together with the green laser instead of bullet from gun . The energy from light source or photon will be absorbed in the film so the electron is stimulated to upper state. Following excitation various relaxation processes which depend on time periods between absorption and emission typically occur in whic h other photons are re-radiated. We call this principle is photoluminescence. In this case, we will use the film as a ligh t receptor. When light source is pointed to the luminescence film, the film will be stimulated and emit fluorescence and travel by internal reflection which occurs from the higher reflection index than air and this light will be detected by photo sensor at the edge of film for processing and display.

II. ABSORPTION AND FLUORESCENCE THEORY

Absorption of electromagnetic radiation is the way in which the energy of a photon is taken up by matter, typically the electrons of an atom. When matter is illuminated with l ight some are reflected by surface or some photons may be absorbed or they may propagate through the matter, depending on the photon energy and on the bandgap energy. *Fig. 1* shows the optical absorption in matter with a differential thickness Δx. The amount of optical intensity that absorbed in matter $\Delta I(x)$ is directly proportion to distance and intensity which is written as $\Delta I(x) = -\alpha I(x)\,\Delta x$ where α is the absorption coefficient. From the equation, we can write of photo intensity as a function of distance x

$$I(x) = I_0 \exp(-\alpha x) \qquad (1)$$

where I_0 is photon intensity at surface.

This absorption energy by incident photon flux will excite the electron of the luminescence substance molecule. It is energy source to excite electron from lower energy state to the higher energy state. Then the electron must desorbs energy by emitting the excess energy to the lower state again which will concern with several mechanisms [3] which depend on the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time interval between absorption and desorption process. Some mechanisms are non-radiation but some are radiation process. This life time or process time is concluded in Table I. These time interval distinguishes type of mechanisms.

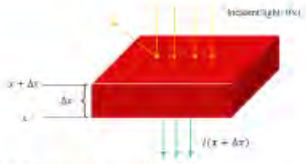


Fig 1 Optical absorption in matter with a differential thickness.

Fig.2 shows the Jablonski diagram. It is a diagram that illustrates the electronic states of a molecule and the transitions between them. The states are arranged vertically by energy and grouped horizontally by spin multiplicity. Nonradiative transitions are indicated by curved arrow line and radiative transitions by straight arrow line. There are many transition processes, vibrational relaxation and internal conversion, which do not give the radiation and fluorescence and intersystem crossing which can give the radiation. Vibrational relaxation is where the energy deposited by the photon into the electron is given away to other vibrational modes as kinetic energy. This kinetic energy may stay within the same molecule, or it may be transferred to other molecules around the excited molecule, largely depending on the phase of the probed sample. This process is also very fast, between 10^{-14} and 10^{-11} seconds. Since this is a very fast transition, it is extremely likely to occur immediately following absorbance. This relaxation occurs between vibrational levels, so generally electrons will not change from one electronic level to another through this method. The fluorescence is the process that receives energy from the photons and emit to the photon. It is a slow process on the order of 10^{-9} to 10^{-7} seconds; therefore, it is not a very likely path for an electron to dissipate energy especially at electronic energy states higher than the first excited state. Intersystem crossing, this is a transition to a state with a different spin multiplicity. It can give rise to phosphorescence. In this study, we are interested in fluorescence process because it is suitable for the immediately response application [4].

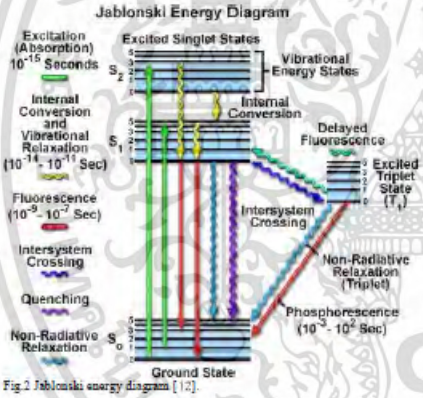


Fig.2 Jablonski energy diagram [12].

III. EXPERIMENT

The experiment is divided in two parts: the first part is preparation of the luminescence film that is used as the receiver from light source. The second part is the application of luminescence film as electronic target by measurement the fluorescence by photo detector for appearance of laser on target.

A. Luminescence film preparation

The luminescence film used in this work is rhodamine 6G which has structure is shown in *Fig.3*. The film was deposited by screen printing method because of the chemical compound of rhodamine 6G. It has a high optical stability. The absorption wave length is in the range of 500-550 nm and the absorption peak is at about 530 nm. The emission light is in the range of 555-585 nm and the emission peak is at 566 nm.

The rhodamine 6G solution with concentrations ranging from 10^{-3} M to 10^{-7} M was prepared by dissolving in dichloromethane [5-6]. The concentration is controlled by changing the amount of rhodamine 6G. Polymethyl methacrylate (PMMA) amount 0.5g was mixed with rhodamine 6G solutions volume of 1.5 ml and shakes with ultrasonic for 15 minutes. The dimensions of substrate were 1 inches × 3 inches. This layer was coated by screen-printing method on the target substrate.

The absorbance and luminescence spectra of rhodamine 6G were measured by using UV-Vis spectrometer (Avantes 2048). We use high power LED (350mA, 1W) for absorbance and luminescence characteristics.

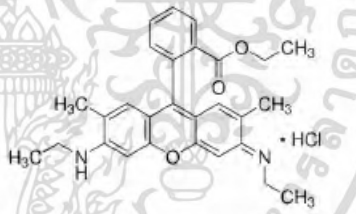


Fig.3 Rhodamine 6G [13].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B. The application of luminescence film as electronic target

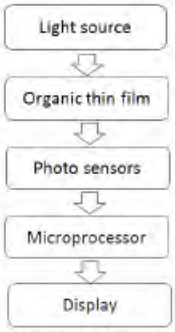


Fig.4 Electronics target using organic film fluorescence

The diagrams of the system that we use in this research are show in *Fig. 4*. We used a green laser that has a wavelength at 520 nm instead of bullet gun. When projecting incident light to luminescence film, the light that is incident on the thin film will stimulate electrons in molecule inside the films. The electron in molecule of the film desorbs energy to return to the ground state. It will illuminate out from the molecule and refract in a sheet of the film that have the refractive index relative to the edge of glass slide or substrate. The photo sensor is used for measurement the light from the edge of films that connected with microprocessor to processing the signal later. In this preliminary study, the display only show the status of laser appearance or disappearance on the film.

The reason that we use the green laser is that it has a wavelength at 520 nm. The most obvious difference between green and red laser pointers is beam visibility. The human eye is most sensitive to light with a wavelength of approximately 555nm (yellow/green) which makes green lasers much more visible than red lasers. Green laser is roughly 50 times brighter than red lasers and molecular of thin film can response it in fluorescent.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. Luminescence film characteristic

The surface of the luminescence film from microscope is shown in *Fig. 5*. It shows smooth surface by inspection. *Fig. 6* shows absorption spectra of rhodamine 6G. It shows at concentrations of 10^{-3} M is the best for absorption. The concentration 10^{-4} molar also shows the good absorption curve but the amount of absorption photon are less than 10^{-3} M. The low concentrations of 10^{-5}, 10^{-6} and 10^{-7} molar, the absorption do not occur at all.

Fig.5 Microscope image of luminescence film surface.

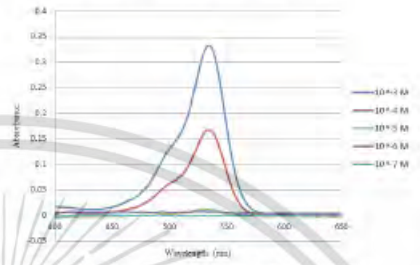


Fig.6 Absorption spectra of rhodamine 6G with varied concentrations.

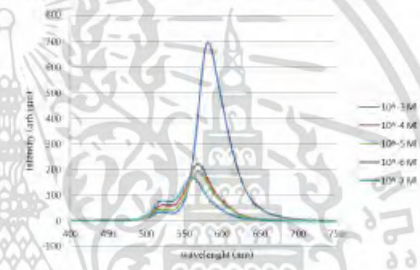


Fig.7 Luminescence spectra of rhodamine 6G with varied concentrations.

Spectra of luminescence of rhodamine with the several concentrations are shown in *Fig. 7*. The intensity of luminescent varies directly proportion with the concentration of film. It found that at concentration 10^{-3} M, the luminescence of film is the best and it is the best for absorption too in this study. Table I concludes the life ti me of photoluminescence process. The short life time means the fast response. From Table I, we observe that the radiation process of fluorescence has lifetime less than phosphorescence many order. So in this application, we choose the fluorescence for very fast response.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE I. life time of photoluminescence molecules.

Process	lifetime (s)
Absorption	10^{-15}
Internal conversion	$10^{-14} - 10^{-11}$
Intersystem crossing	10^{-8}
External conversion ($S_1 \rightarrow S_0$)	$10^{-7} - 10^{-5}$
Fluorescence	$10^{-9} - 10^{-7}$
External conversion ($T_1 \rightarrow S_0$)	$10^{-3} - 10^{2}$
Phosphorescence	$10^{-5} - 10^{2}$
Vibration relaxation	10^{-12}

B. *The application of luminescence film as electronic target*

For the preliminary study, we point the laser on the fixed substrate that film is coated on and point to the nearby area that is uncoated film. The distance between the laser and substrate is about 100 meters. From the experiment, when the laser shot on coated substrate, the photo detector can detect the status on target clearly. On the other hand, when the laser shot on the uncoated target, the photo detector cannot detect any electromagnetic wave clearly. It means that there are not any refraction and scattering wave from surface into the photo sensor.

As illustration in schematic *Fig. 8*, the incident light on the film will stimulate to electron in molecule of rhodamine-6G from ground state to excited state. Then the film will desorption the energy to the ground state again. The film will illuminate and the light will refract inside because the refraction index of the film is higher than the air, so mostly wave travel to the edge by reflection. The photo sensor detects only the electromagnetic wave emitted from luminescent film and travel by internal reflection to the edge. The position of photo sensor is important and must keep in the edge of surface.

For the time response, we used green laser as a light source emit to a film and detect the light that luminescence at the edge with photo sensor that convert light to voltage. The output voltage are varies from light intensity and wave length that is incident to the photo sensor. The time responses, rise time and fall time, are measured. It is shown in *Fig. 9*. The rise time of luminescence film (t_r) is 35.3 ms. and the fall time of

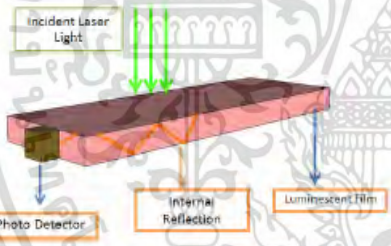


Fig 8. Illustration schematic of detection of electromagnetic wave by photo detector at the edge.

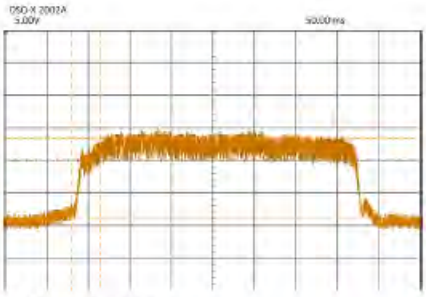


Fig.9 Response time of rhodamine film.

luminescence film (t_f) is 28.4 ms. It shows that it will respose fast enough for the applic ation.

For the way of application this system further, when laser is incident on luminescence film with photo sensor at the edge of each circle. It will generate the output voltage from the circle area that laser incident to. The processor will be received signal and processing and many appropriate applications can generate via programming such as counting , recording and display. *Fig. 10* shows the idea of the electronic target system.

Fig.10 Electronics target system.

V. Conclusion

Electronic target by using luminescence film is proposed. It uses green laser as the light source which luminescence films will absorb this energy for exciting energy. The luminescence film is rhodamine 6G which is screened on target substrate. Electronic target is based on the fluorescence mechanism. When the incident light exposes on molecule of rhodamine 6G, it will absorb energy at a wavelength of 520 nm, and emit wavelength of range 555 to 585 nm that travel by internal reflection to the edge of the film and are detected by photo sensor. The time responses show rise time response at 35.3 ms and fall time at 28.4 ms that have short life time and fast enough for real time application. This method is low cost and easy to make large sensitive active target area. It can reduce the consumption as well as reduce the risk in military practice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank to Assistant Professor Dr. Pattareeya Damrongsak for luminescence film suggestion a nd would like to thanks to Mr. Chalin Suttinet for good suggestion on electronic target system.

REFERENCES

[1] Fazan ali, Atif Bin Mansoor, "Computer Vision based Automatic Scoring of Shooting Targets" IEEE International Multitopic Conference, INMIC 2008, 2008.

[2] Xinnan Fan,Qianqian Cheng, Penghua Ding,Xuewu Zhang, "Design of Automatic Target-Scoring System of Shooting Game Based On Computer Vision" IEEE International Conference Automation and Logistics, ICAL '09, 2009.

[3] A. Soetedjo, E. Nurcahyo, 2011, "Developing of Low Cost Vision-Based Shooting Range Simulator". International Journal of Computer Science and Network Security IJCSNS, 11(2), pp. 109- 113

[4] A. Soetedjo, M. I. Ashari, A. Mahmudi, and Y. I. Nakhoda,2014, "Implementation of Sensor on the Gun System Using Embedded Camera for Shooting Training". IEEE 2nd International Conference on Technology, Informatics,Management, Engineering, and Environment (TIME-E 2014),pp. 69-74.

[5] A. Soetedjo, M. I. Ashari, A. Mahmudi, and Y. I. Nakhoda,"Detecting Laser Spot In Shooting Simulator Using An Embedded Camera",International Journal On SmartSensing And Intelligent Systems Vol. 7, No. 1, March 2014

[6] Vidya Ganapati, Myles A. Steiner, Eli Yablonovitch, "The voltage boost enabled by luminescence extraction in solar cells", Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2016 IEEE 43rd

[7] Gianmarco Griffini, Marinella Levi, Stefano Turri "Thin film luminescent solar concentrators with improved light-exposure stability" 2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering

[8] Ingle, J.D.J.; Crouch,S.R.(1988). Spectrochemical Analysis. New Jersey: Prentice Hall.

[9] Mohammad A Omary and Howard H Patterson, "Luminescence, Theory," in Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition), vol. III, 2017, pp. 636–653.

[10] Hanyang Liu, , Yan Wanga, Jin Lib, Shuangqiang Liua, Jun Yan ga," Waveguiding performance of rhodamine 6G doped polymer nanowire" ,Optik - International Journal for Light and Electron Optics,Volume 127, Issue 18, September 2016, Pages 7268 –7273.

[11] M. Enculescu*, E. Matei ,"Influence of metallic and semiconducting nanostructures on the optical properties of dye-doped polymer thin films", Thin Solid Films, Volume 614, Part A, 1 September 2016, pp. 31–35.

[12] Ian D. Johnson and Michael W. Davidson, "Jablonski Energy Diagram", 2012.[Online]. Available:http://www.olympusmicro.com/primer/java/jablonski/jabintro. [Accessed: 30- Nov- 2016].

[13] Sigma-AldrichCo.LLC. [Online] http://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/rhodamine6g47901989 38811 [Accessed:30-Nov-2016]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวัชรพงษ์ คงจรูญ
วัน เดือน ปีเกิด	23 เมษายน 2531
ที่อยู่	486 หมู่บ้านสินธร – รังสิต ถนนรังสิต – ปทุมธานี ตำบลบางพูน
	อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000
ประวัติการศึกษา	2554 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

ปัจจุบัน	วิศวกรฝ่ายทดสอบ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้