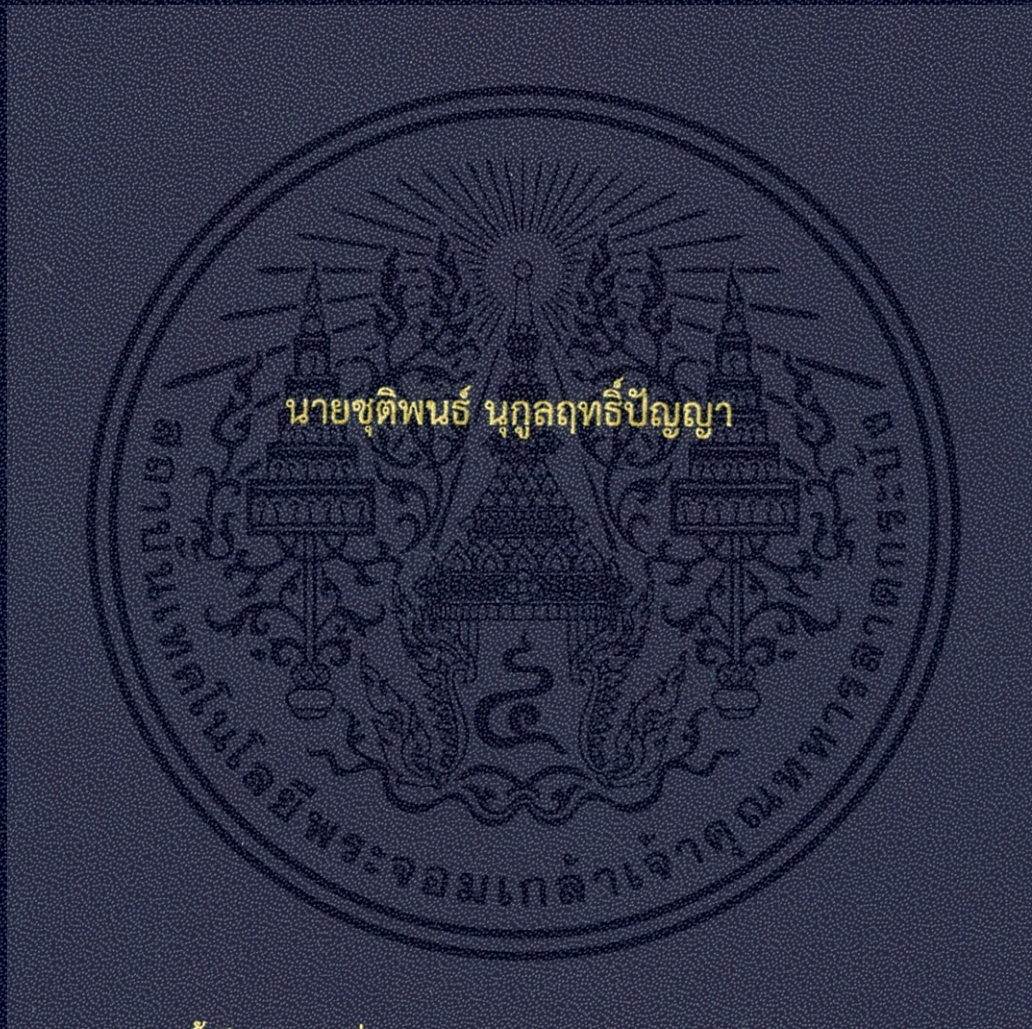


ชุดทดลองการตรวจสอบฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เลเซอร์ไดโอด

INVESTIGATION AIR POLLUTION USING LASER DIODE APPARATUS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ชุดทดลองการตรวจสอบฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เลเซอร์ไดโอด

INVESTIGATION AIR POLLUTION USING LASER DIODE APPARATUS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์มอบหมาย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2557
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองการตรวจสอบฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เลเซอร์ไดโอด



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATION AIR POLLUTION USING LASER DIODE APPARATUS



Mr. Chutipon Nukulripanyar

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE

KING MUNGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ชุดทดลองการตรวจสอบฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เลเซอร์ไดโอด
ชื่อนักศึกษา	นายชุตินันท์ นุกุลฤทธิ์ปัญญา รหัสนักศึกษา 54050510
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. สุรชาติ กมลดีลก

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาการกระเจิงและการสะท้อนของแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดเป็นเลเซอร์ไดโอดโดยอ้างอิงจากทฤษฎีของโลตาร์ ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 เป็นการหาค่าความสูงจากการสะท้อนของแสงโดยยิงเลเซอร์ไปที่ฉากรับที่มีสีแตกต่างกันคือ สีขาว สีเทา และสีดำ จากนั้นอ่านค่าการสะท้อนเพื่อนำค่ามาคำนวณหาค่าความสูง จากการศึกษาพบว่าค่าการสะท้อนแสงที่ได้จะมีค่าลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จะได้สมการที่สอดคล้องกับทฤษฎีของโลตาร์ และจากการคำนวณหาค่าความสูง พบว่าในฉากรับแสงสีขาวจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าสีเทาและสีดำ ตอนที่ 2 เป็นการหาปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจากการกระเจิงของแสง ในการศึกษาจะใช้ปริมาณของฝุ่นละอองหรือวันปลอยเข้าไปในกล่องพื้นที่ปิด โดยปริมาณที่ปล่อยจะเทียบกับเวลา โดยแบ่งเป็น 1 , 3 , 5 และ 7 นาที จากการศึกษาพบว่าในปริมาณฝุ่นละอองหรือวันที่มีปริมาณมาก จะทำให้เกิดการกระเจิงของแสงที่มากทำให้แสงที่สะท้อนกลับมาหาฉากรับแสงมีค่าน้อย

คำสำคัญ : การกระเจิง , การสะท้อน , ฝุ่นละออง , โลตาร์

Title	Investigation air pollution using laser diode apparatus
Students	Mr. Chutipon Nululripanyar Student ID 54050510
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2014
Advisor	Mr. Surachart Kamoldilok

ABSTRACT

This project was created an apparatus to study the scattering and reflection of light source using a laser diode. Experiments were separated into two parts. Part 1, find the altitude level above the ground by using laser reflection in three color card, white , gray and black card. The experimental data of reflections can be calculated the average of altitude level and we found that the graph of reflection was exponential decay, according to the theory of lidar. The best correct of altitude level can be calculated the reflection of light in white card than gray and black card. Part 2, find the amount of air pollution from the scattering of light. The amount of air pollution or smokes will be released into the closed area and varies with time. The series of time were 1, 3, 5 and 7 minutes respectively. The study of part 2 found that the reflection of light in large smokes was reflected to detector less than small smokes because in the large smokes have light scattering more than light reflection.

Keyword : scattering , air pollution , Lidar

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก อ. สุรชาติ กมลดีลล อธิการยสภาพิสิทส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยซึ่งให้ความรู้ แนวความคิดแก้ไขปัญหา ให้คำปรึกษาและ แนะนำแนวทางในการดำเนินได้เป็นอย่างดี รวมทั้งอนุเคราะห์จัดหาอุปกรณ์ และงบประมาณในการดำเนินงาน ผู้ศึกษารู้อศึกษาซึ่งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างที่สุด และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ผู้ศึกษา

ขอขอบคุณพี่เทียนชัย จันทกิจ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือแก้ไขปัญหาตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพิสิทส์ชั้นปีที่ 1 ที่ให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยสุดท้ายนี้ขอขอบคุณรุ่นพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ รวมทั้งบุคคลที่มีความปรารถนาดีมอบให้ผู้ศึกษา ที่คอยให้กำลังใจและแนะนำแนวทางที่ดีแก่ผู้ศึกษาตลอดมา

นาย ชุตินันท์ นุกุลฤทธิ์ปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หลักการกระเจิงแสง (Light Scattering Method).....	3
2.1.1 อัตรากิริยาระหว่างแสงกับสสาร.....	4
2.1.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระเจิงของแสง.....	6
2.2 การสะท้อนแสง (Light Reflection).....	6
2.2.1 กฎการสะท้อน.....	7
2.2.2 ลักษณะการสะท้อนของแสง.....	7
2.3 แหล่งกำเนิดแสง.....	8
2.4 Laser Diode.....	11
2.4.1 สมบัติเด่นของเลเซอร์ไดโอด.....	11
2.4.2 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด.....	12
2.5 เทคโนโลยีตรวจจับระยะไกลด้วยแสง(Light Detection and Ranging, LIDAR).....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6	กระจกโค้งเว้า.....	15
2.6.1	หลักการที่ใช้ในการเขียนรูป.....	15
2.6.2	ภาพจากกระจกเว้า.....	16
2.6.3	การคิดเครื่องหมายของปริมาณต่างๆ.....	17
2.6.4	การหาตำแหน่งภาพ.....	17
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1	การออกแบบระบบการทำงานของชุดทดลอง.....	19
3.2	อุปกรณ์.....	20
3.2.1	เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode).....	20
3.2.2	Biased Si Detectors.....	20
3.2.3	วงจร Biased Si Detectors.....	22
3.2.4	มัลติมิเตอร์ (Multimeter).....	22
3.2.5	แหล่งจ่ายไฟ (Power supply).....	23
3.2.6	รูป.....	23
3.3	การออกแบบโครงสร้าง.....	24
3.3.1	ฐานตั้ง.....	24
3.3.2	ฝาครอบ.....	24
3.3.3	จานรับแสงแบบพาราโบลา (Parabola Plate).....	24
3.3.4	ฉากรับแสง.....	25
3.3.4	ชุดการทดลอง.....	26
3.4	วิธีการทดลอง.....	26
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	30
4.1	ระยะเวลาของเลเซอร์ที่สามารถทำงานได้.....	30
4.2	การใช้เลเซอร์ในการคำนวณหาค่าความสูง.....	30
4.2.1	Single – Scatter Lidar Equation.....	31
4.2.2	ฉากรับสีขาวแทนสีของเมฆสีขาวในการวัดค่าการสะท้อนของแสง.....	31
4.2.3	ฉากรับสีเทาแทนสีของเมฆสีเทาในการวัดค่าการสะท้อนของแสง.....	33
4.2.4	ฉากรับสีดำแทนสีของเมฆสีดำในการวัดค่าการสะท้อนของแสง.....	35
4.3	Uncertainty or Standard Error of Mean.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง.....	37
4.4.1 เวลาที่รูปใช้ในการเผาไหม้.....	37
4.4.2 การตรวจวัดฝุ่นละอองจากควันรูป.....	38
4.4.2.1 ปริมาณฝุ่นละออง 1 นาที่.....	38
4.4.2.2 ปริมาณฝุ่นละออง 3 นาที่.....	39
4.4.2.3 ปริมาณฝุ่นละออง 5 นาที่.....	39
4.4.2.4 ปริมาณฝุ่นละออง 7 นาที่.....	40
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	45
ภาคผนวก ก.....	46
ภาคผนวก ข.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สมบัติของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว.....	20
3.2 สมบัติของ Detector.....	21
4.3.1 Uncertainty or Standard Error of Mean ของ ฉากรับสีขาว.....	36
4.3.2 Uncertainty or Standard Error of Mean ของ ฉากรับสีเทา.....	37
4.3.3 Uncertainty or Standard Error of Mean ของ ฉากรับสีดำ.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ปรากฏการณ์การกระเจิงของแสงเมื่อชนอนุภาค..... 3
2.2	การจัดอุปกรณ์พื้นฐานของการศึกษาการกระเจิงของแสง..... 4
2.3	สเปกตรัมของแสง..... 5
2.4	คลื่นแสงเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของอากาศ..... 5
2.5	การสะท้อนแสง..... 6
2.6	ลักษณะของการสะท้อนแสง..... 7
2.7	แสดงชั้นพลังงานของอะตอม..... 8
2.8	การเปลี่ยนชั้นพลังงานที่โคจรระดับ..... 9
2.9	การเปลี่ยนชั้นพลังงานที่โคจรดูคลื่นแสง..... 9
2.10	เลเซอร์ไดโอดที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป..... 11
2.11	โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ..... 12
2.12	รอยต่อ p-n..... 12
2.13	หลักการทำงานของเลเซอร์..... 13
2.14	ตัวอย่างเลเซอร์ที่ใช้ในการวัดเมฆ ชื่อ Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP)..... 14
2.15	ผิวโค้งทรงกลม ผิวโค้งเว้า..... 15
2.16	แสดงวิธีเขียนภาพจากกระจกเว้า..... 15
2.17	แสดงการเกิดภาพจากกระจกเว้า..... 17
2.18	ภาพแสดงการสะท้อนของกระจกโค้ง..... 18
3.1	ระบบการทำงานของชุดทดลอง..... 19
3.2	เลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว..... 20
3.3	Biased Si Detectors..... 21
3.4	การตอบสนองต่อแสงของ detector..... 21
3.5	Operating Circuit Diagram..... 22
3.6	มัลติมิเตอร์..... 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply).....	23
3.8 รูปที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.9 ฐานตั้ง.....	24
3.10 ฝาครอบ.....	24
3.11 จานรับแสง.....	25
3.12 ฉากรับแสงที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.13 ชุดการทดลอง.....	26
3.14 จัดแสงเลเซอร์ให้อยู่ในมุม 90 องศา.....	27
3.15 ยิงแสงเลเซอร์ไปที่ฉากรับ.....	27
3.16 ยิงแสงเลเซอร์ไปที่ฉากรับสีขาว.....	28
3.17 ยิงเลเซอร์ไปที่ฉากรับสีเทา.....	28
3.18 ยิงเลเซอร์ไปที่ฉากรับสีดำ.....	28
3.19 การทดลองหาปริมาณฝุ่นละออง.....	29
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของเลเซอร์กับเวลา.....	30
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความสูง (สีขาว).....	31
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความสูง (สีเทา).....	33
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความสูง (สีดำ).....	35
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่รูปลดลงกับเวลา.....	38
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 1 นาที่).....	38
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 3 นาที่).....	39
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 5 นาที่).....	39
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 7 นาที่).....	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันปัญหาด้านฝุ่นละอองและมลพิษทางอากาศ เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้ชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ส่งผลทำให้เกิดเป็นปัญหาด้านสุขภาพตามมา ปัญหาเหล่านี้เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ที่มีความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ ปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้น และด้านอุตสาหกรรมที่กำลังเติบโต อีกทั้งปัญหาจากไฟป่า การเผาขยะทำให้มีปริมาณควันมีมากในอากาศ ดังนั้นจึงได้มีการหาเครื่องมือที่จะใช้ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศ เพื่อหาวิธีการลดปริมาณฝุ่นละออง

เครื่องมือวัดฝุ่นละอองในอากาศเป็นเครื่องที่จะต้องดูดฝุ่นละอองเข้ามาภายในเครื่องและในการวัดจะต้องใช้กระดาษที่ดูดซับฝุ่นละอองไปทำการตรวจวัดจึงจะสามารถวัดปริมาณออกมาได้ แต่ขนาดของเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่การเคลื่อนย้ายจึงทำได้ลำบากและมีราคาที่สูง ดังนั้นจึงได้คิดทำการสร้างชุดทดลองในการวัดฝุ่นละอองในอากาศขึ้นโดยให้มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีราคาที่ต่ำ และสามารถวัดปริมาณออกได้เลย โดยการใช้เลเซอร์ไดโอดในการยิงไปที่ฝุ่นละอองที่ลอยอยู่และเกิดการกระเจิงลงที่กระดาษและสะท้อนมาที่ตัวรับค่าแสง จากนั้นประมวลผลออกมาเป็นค่าปริมาณฝุ่นละออง และเครื่องมือนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการวัดค่าความสูงที่ตลับเมตรไม่สามารถวัดได้ โดยอาศัยหลักการการสะท้อนของแสงและการคำนวณโดยใช้สมการจากกราฟข้อมูลมาเทียบกับสมการโลตาร์ดและคำนวณเป็นความสูง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการการกระเจิงและการสะท้อนของแสงเลเซอร์
- 1.2.2 เพื่อวัดปริมาณของฝุ่นละอองภายในพื้นที่ที่กำหนดไว้
- 1.2.3 เพื่อใช้เลเซอร์ตรวจสอบความสูงตามทฤษฎีของโลตาร์ด
- 1.2.4 เพื่อสร้างชุดทดลองการวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศในพื้นที่ที่กำหนดและนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่จริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาการกระจายตัวและการสะท้อนของแสงเลเซอร์
- 1.3.2 สร้างชุดทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่ที่กำหนด
- 1.3.3 เพื่อใช้เลเซอร์วัดความสูงตามทฤษฎีของไลดาร์
- 1.3.4 เพื่อวัดปริมาณฝุ่นละอองที่กำหนดขึ้นจากวันชนิดต่างๆ ในพื้นที่ที่กำหนด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง										
ออกแบบชิ้นงาน										
จัดซื้ออุปกรณ์ในการทำชิ้นงาน										
ทำการประกอบชิ้นงาน										
ทำการทดลอง										
แก้ไขชิ้นงานและทดลองซ้ำเพื่อความถูกต้อง										
จัดพิมพ์และแก้ไขรายงานฉบับสมบูรณ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้เกี่ยวกับการกระเจิงตัวและการสะท้อนของแสงเลเซอร์เพื่อนำไปประยุกต์การใช้งาน
- 1.5.2 สามารถวัดปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่ที่กำหนดได้ตามที่กำหนดไว้
- 1.5.3 สามารถหาความสูงที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงได้
- 1.5.3 สามารถสร้างชุดทดลองขนาดเล็กเพื่อวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

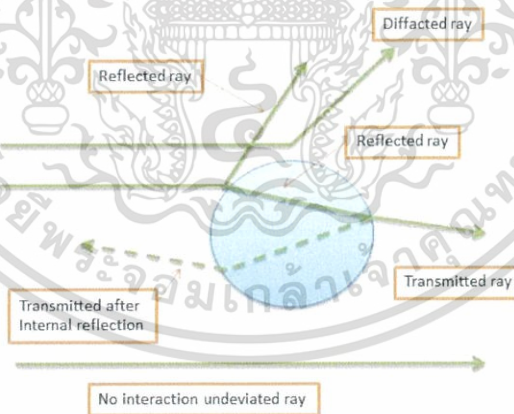
บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะนำเสนอในเรื่องของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการสร้างชุดทดลองการตรวจสอบฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เลเซอร์ไดโอด โดยทฤษฎีที่นำมาใช้นั้นจะมีเรื่องของ การกระเจิงของแสง หลักการการสะท้อนของแสงในกระจกโค้งเว้า เลเซอร์ไดโอดที่ใช้ในการทดลอง และฝุ่นละอองที่จะทำการตรวจวัด

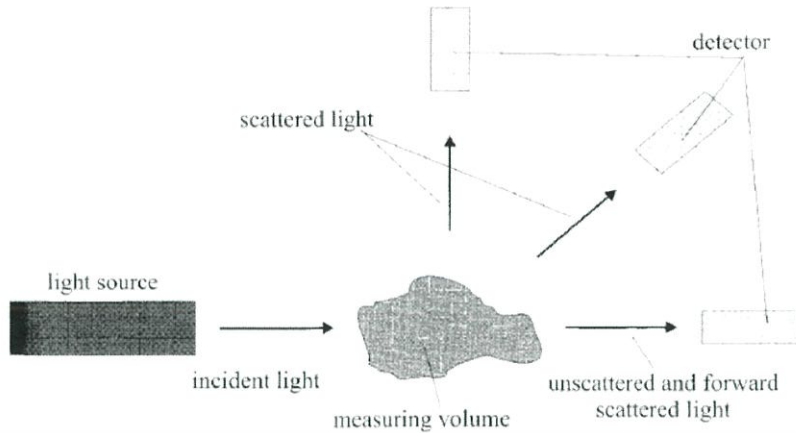
2.1 หลักการกระเจิงแสง (Light Scattering Method)

การกระเจิงของแสง คือ ปรากฏการณ์ที่แสงกระจัดกระจายไปโดยรอบ เมื่อแสงเดินทางผ่านผ่านโมเลกุลต่าง ๆ ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพ โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อแสงตกกระทบบนอนุภาคจะทำให้เกิดปรากฏการเชิงแสงโดยจะประกอบด้วย การสะท้อนของแสง, การหักเหของแสง และการเลี้ยวเบนของแสง นอกจากนี้ยังเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง โอกาสที่ความถี่จะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับลักษณะการกระเจิงของแสง การประมาณการกระเจิงของแสงคำนึงถึงความเข้มแสง ความยาวคลื่นและทิศทางของแสงอีกด้วย



รูปที่ 2.1 ปรากฏการกระเจิงของแสงเมื่อชนอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การจัดอุปกรณ์พื้นฐานของการศึกษาการกระเจิงของแสง

2.1.1 อัตราการกระเจิงระหว่างแสงกับสสาร

การกระเจิงมีสมบัติสองอย่างที่เกี่ยวข้อง คือคุณสมบัติการแผ่รังสีของแสง และบรรดา สสาร ที่พบ ดังนั้น เราต้องพิจารณาลักษณะหลายอย่างเช่น ความยาวคลื่นและการโพลาไรซ์ของแสง ซึ่งขึ้นกับขนาดและโครงสร้างของสสารนั้นด้วยการเลี้ยวเบน การสะท้อน และการหักเหหรือการ ดูดกลืน และปล่อยพลังงาน (แสง) โดยการสั่น (สสาร)

จากกฎการสูญเสียพลังงานสามารถอธิบายได้ตามสมการ (2.1)

$$\text{Extinction} = \text{scattering} + \text{absorption} \quad (2.1)$$

โดยที่ Scattering คือ การกระเจิงของแสง

Absorption คือ การดูดกลืนของแสง

เมื่อ Scattering = reflection + refraction + diffraction (2.2)

โดยที่ Reflection คือ การสะท้อนของแสง

Refraction คือ การหักเหของแสง

Diffraction คือ การเลี้ยวเบนของแสง

กรณีการดูดกลืนของลำแสงมีประสิทธิภาพไม่เป็น 100% โฟตอนในลำแสงบางตัวอาจจะไม่ถูกสะท้อนหรือส่งผ่านออกมาจากวัตถุ ในบางกรณีการดูดกลืนอาจจะเข้าใกล้ 100% และมีโฟตอนบางส่วนถูกสะท้อนออกหลังกระทบวัตถุ และมีบางส่วนที่ส่งผ่านวัตถุออกมาหลังการหักเหของแสง ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งหมดนี้จัดอยู่ภายใต้รูปแบบการกระเจิงแสงแบบเรย์ไล และไมย์ โดยมีค่า α เป็นตัวเลือกรูปแบบการกระเจิงแสงซึ่งมีขนาดของอนุภาคเป็นตัวกำหนดและผูกพันกับค่า ความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบ ตามสมการ (2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \frac{\pi D}{\lambda} : D = 2R \quad (2.3)$$

D คือ ขนาดของอนุภาค หน่วยไมโครเมตร

r คือ รัศมีของอนุภาค หน่วยไมโครเมตร

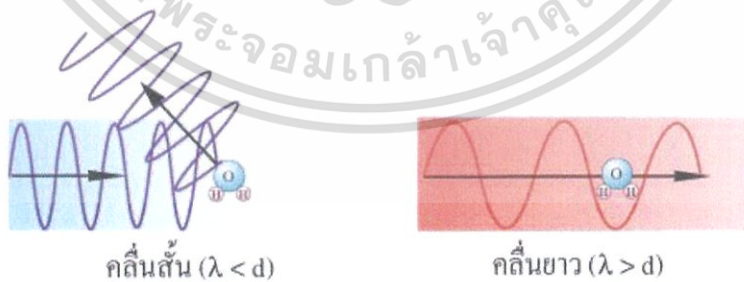
λ คือ ค่าความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ หน่วยไมโครเมตร

โดยความยาวของคลื่นแสงแต่ละสีมีส่วนสัมพันธ์ต่อการกระเจิงของแสงโดยแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะกระเจิงมาก ได้แก่ แสงสีม่วง คราม น้ำเงิน ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมาก เหลือง แสด แดง จะกระเจิงน้อย ในเวลากลางวันแสงอาทิตย์ทำมุมชันกับพื้นโลก แสงจะเดินทางผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางสั้นๆ แสงสีม่วง คราม และน้ำเงิน จะกระเจิงเต็มท้องฟ้า เราจึงมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้า ในยามเช้าและยามเย็น แสงอาทิตย์ทำมุมลาดกับพื้นโลก แสงจะเดินทางผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางยาว แสงสีม่วง ครามน้ำเงิน ซึ่งกระเจิงได้ดีที่สุด จะกระเจิงทิ้งไปมากเพราะระยะทางมาก ทำให้เหลือแสงสีแดง ส้ม ซึ่งกระเจิงได้น้อยมากเข้าตาเรา โดยแสงสีม่วง มีสมบัติกระเจิงแสงได้ดีกว่าแสงสีแดง ประมาณ 16 เท่า



< ม่วง > สั้นที่สุด ===== ความยาวคลื่น ===== ยาวที่สุด < แดง >

รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของแสง



คลื่นสั้น ($\lambda < d$)

คลื่นยาว ($\lambda > d$)

รูปที่ 2.4 คลื่นแสงเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของอากาศ

[อ้างอิงจาก ; <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/phenomenon/scattering/>]

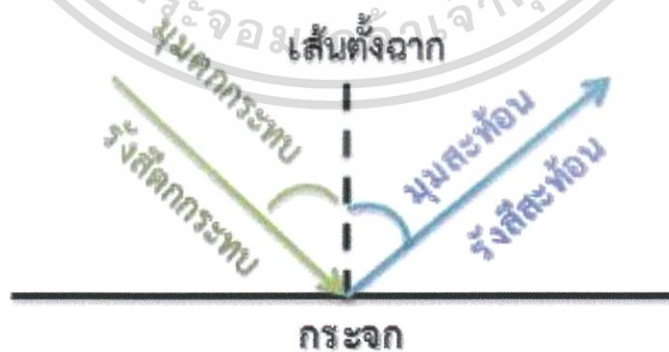
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระเจิงของแสง

- ขนาดความยาวคลื่น: แสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่นสั้น แสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากกว่า แสงคลื่นสั้นเกิดการกระเจิงได้ดีกว่าแสงคลื่นยาว
- ขนาดของสิ่งกีดขวาง: โมเลกุลของแก๊สในบรรยากาศมีขนาดเล็ก ส่วนโมเลกุลของไอน้ำและฝุ่นที่แขวนลอยในบรรยากาศมีขนาดใหญ่ โมเลกุลขนาดใหญ่เป็นสิ่งกีดขวางการเดินทางของแสง ความยาวคลื่นสั้น
- มุมที่แสงตกกระทบกับบรรยากาศ: แสงอาทิตย์เวลาเที่ยงทำมุมชันกับพื้นโลก แสงเดินทางผ่านมวลอากาศเป็นระยะทางสั้น แสงเดินทางผ่านไม่ยาก ส่วนในตอนเช้าและตอนเย็นแสงอาทิตย์ทำมุมลาดกับพื้นโลก แสงเดินทางผ่านมวลอากาศเป็นระยะทางยาว ทำให้แสงเดินทางผ่านได้ยาก
- ปริมาณสารแขวนลอยในอากาศ: ในช่วงเวลาบ่ายและเย็น อากาศและพื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูง มีฝุ่นละอองลอยอยู่ในอากาศมาก เป็นอุปสรรคขวางกั้นทางเดินของแสง

2.2 การสะท้อนของแสง (Light Reflection)

การสะท้อน คือ การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงกลับมาสู่ตัวกลางเดิม เมื่อแสงเคลื่อนที่ไปถึงแนวเขตระหว่างตัวกลาง 2 ตัวกลาง เช่น เมื่อแสงตกกระทบผิวของกระจก แสงจะสะท้อนที่ผิวกระจกกลับสู่อากาศ เป็นต้น เมื่อแสงตกกระทบผิวของวัตถุใดๆ โดยที่พื้นผิวของวัตถุนั้นไม่ดูดกลืนแสงไปทั้งหมด แสงส่วนที่เหลือจะสะท้อนออกจากผิววัตถุนั้นๆ ไม่ว่าจะเป็วัตถุที่มีผิวเรียบหรือผิวขรุขระ



รูปที่ 2.5 การสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 กฎการสะท้อน

สำหรับวัสดุผิวเรียบ การสะท้อนของแสง (หรือคลื่นอื่น) เกิดขึ้นในลักษณะไม่สมบูรณ์รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน เส้นตั้งฉากทั้งหมด ล้วนอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน มุมที่ตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

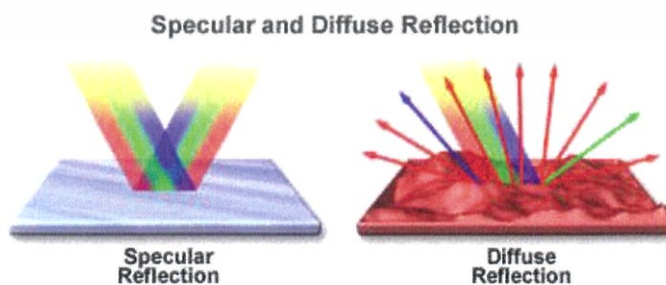
2.2.2 ลักษณะการสะท้อนของแสง

การสะท้อนของแสงแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ

- การสะท้อนปกติ วัสดุที่มีผิวเรียบไม่ว่าจะเป็นวัตถุผิวราบหรือผิวโค้ง การสะท้อนของแสงจะให้ผลเช่นเดียวกัน คือรังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติ (เส้นแนวฉาก) จะอยู่ในระนาบเดียวกัน นอกจากนี้มุมตกกระทบและมุมสะท้อนจะมีค่าเท่ากันเสมอ

- การสะท้อนกระจาย เราได้เห็นการสะท้อนปกติมาแล้วจากกระจกเงาและวัตถุเรียบมันอื่นๆ เช่น ผิวโลหะต่างๆ แต่วัตถุที่มีผิวขรุขระ เช่น กระดาษ ไม้ และวัตถุทึบแสงอื่นๆ ก็มีการสะท้อนแสงเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากผิวของวัตถุหยาบ แสงจึงสะท้อนออกไปในหลายทิศทาง เรียกว่า การสะท้อนกระจาย เมื่อพิจารณาบริเวณเล็กๆ ของผิวขรุขระ จะเห็นว่าประกอบด้วยผิวเรียบจำนวนมาก โดยที่มุมระหว่างผิวเหล่านั้นจะมีค่าต่างๆ กัน และมุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อน ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบเสมอ

- การสะท้อนกลับหมด แสงที่เดินทางจากตัวกลางที่โปร่งแสงไปสู่ตัวกลางที่โปร่งใส เช่น จากแก้วไปสู่อากาศ ถ้ามุมตกกระทบน้อยกว่า 42 องศา แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับและบางส่วนจะทะลุแก้วออกสู่อากาศ แต่ถ้ามุมที่ตกกระทบแก้วเท่ากับ 42 องศา แสงจะสะท้อนกลับคืนสู่แก้วหมดไม่มีแสงออกสู่อากาศเลย ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การสะท้อนกลับหมด นั่นคือ รอยต่อระหว่างแก้วกับอากาศทำหน้าที่เสมือนการตกกระทบที่จะทำให้แสงสะท้อนกลับหมด ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง



รูปที่ 2.6 ลักษณะของการสะท้อนแสง

[อ้างอิงจาก;<https://sites.google.com/site/nidchakoonsriaoodno1242/kar-sathxn-khxng-saeng>]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

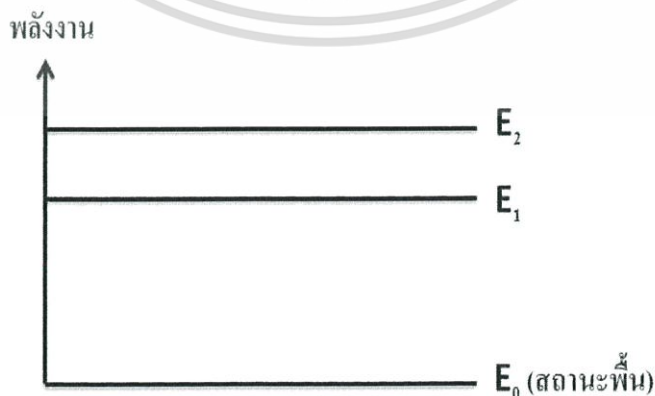
2.3 แหล่งกำเนิดแสง

เลเซอร์หรือ Laser เป็นตัวอักษรที่ย่อมาจากข้อความว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation หมายถึง การขยายแสงด้วยการกระตุ้นให้แผ่รังสีซึ่งเป็นการอธิบายถึงกระบวนการผลิตแสงเลเซอร์ที่เกิดจากสองกระบวนการหลักๆ คือ การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) และการขยายสัญญาณแสง (Light Amplification)

แบบจำลองอะตอมว่าประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ซึ่งมีประจุบวก และมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบโคจรรอบ การอยู่หรือการจัดวางของอิเล็กตรอนในอะตอมทำให้อะตอมมีพลังงานค่าหนึ่ง ซึ่งอะตอมจะมีพลังงานได้เพียงบางค่าเท่านั้น (เรียกว่า quantized energy) ขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนและประจุบวกที่อยู่ในนิวเคลียสของอะตอมนั้น

ถ้าอะตอมได้รับพลังงานกระตุ้นที่เหมาะสม จะมีผลทำให้อะตอมมีพลังงานสูงขึ้น แต่โดยธรรมชาติแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปอย่างรวดเร็ว อะตอมจะคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับออกมา เพื่อให้มีพลังงานต่ำลงเนื่องจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสในวงโคจรที่ต่างกัน จะมีพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานดังกล่าวบ่งชี้ถึงพลังงานของอะตอมนั่นเอง เมื่อทำการจัดเรียงพลังงานต่าง ๆ ของอะตอมที่สามารถมีได้ จากค่าน้อยไปหาค่ามาก สามารถเขียนแผนภาพชั้นพลังงาน (energy level) ของอะตอมได้ ดังรูป 2.7

ในสภาวะสมดุลความร้อน เมื่อพิจารณาอะตอมหนึ่ง ๆ จะมีพลังงานอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะสามารถอยู่ในชั้นพลังงานใดชั้นพลังงานหนึ่งได้ แต่ในธรรมชาติ ธาตุและสารประกอบจะประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก ดังนั้นในชั้นพลังงานของอะตอมสำหรับธาตุหรือสารประกอบจึงมีอะตอมหรือประชากรอะตอมกระจายอยู่ในจำนวนที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยมากแล้ว ประชากรอะตอมในชั้นพลังงานต่ำจะมีมากกว่าประชากรอะตอมในชั้นพลังงานสูง



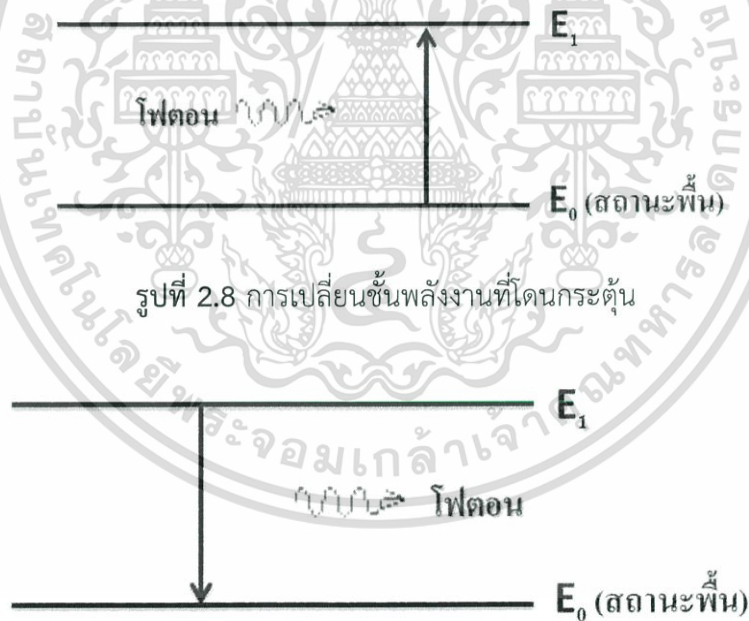
รูปที่ 2.7 แสดงชั้นพลังงานของอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะสมดุลความร้อน เมื่อพิจารณาอะตอมหนึ่ง ๆ จะมีพลังงานอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะสามารถอยู่ในชั้นพลังงานใดชั้นพลังงานหนึ่งได้ แต่ในธรรมชาติ ธาตุและสารประกอบจะประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก ดังนั้นในชั้นพลังงานของอะตอมสำหรับธาตุหรือสารประกอบจึงมีอะตอมหรือประชากรอะตอมกระจายอยู่ในจำนวนที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยมากแล้ว ประชากรอะตอมในชั้นพลังงานต่ำจะมีมากกว่าประชากรอะตอมในชั้นพลังงานสูง

การเปลี่ยนชั้นพลังงานของประชากรอะตอมสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีพลังงานจากภายนอกมากระตุ้น เช่น การกระตุ้นโดยโฟตอนแสง (อนุภาคของแสง) ที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงานพอดี กล่าวคือ ถ้าต้องการกระตุ้นอะตอมที่เดิมอยู่ในสถานะพื้น ให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้นที่ 1 โฟตอนแสงที่ไปกระตุ้นต้องมีพลังงานเท่ากับขนาดของผลต่าง $E_0 - E_1$ ดังรูป 2.6

การเปลี่ยนชั้นพลังงานของอะตอมที่เกิดขึ้นโดยการดูดกลืนโฟตอนแสง เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การดูดกลืนแสง (light absorption) แต่อะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงาน E_1 จะไม่เสถียร เมื่อเวลาผ่านไปอย่างรวดเร็ว อะตอมนั้นจะกลับมาอยู่ในชั้นพลังงาน E_0 เช่นเดิม โดยปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของโฟตอนแสง ที่มีพลังงานเท่ากับ $E_1 - E_0$ ปรากฏการณ์ปลดปล่อยโฟตอนโดยธรรมชาตินี้เรียกว่า การปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous emission) ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนชั้นพลังงานที่โดนดูดกลืนแสง

ในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์ ได้เสนอว่า นอกเหนือจากปรากฏการณ์ปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเองแล้ว ยังสามารถทำให้เกิด การปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้น (spontaneous emission) ได้ด้วย ซึ่งการปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้นนี้ เป็นกลไกหลักในการกำเนิดแสงเลเซอร์ กล่าวคือ ในขณะที่อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น เช่น อยู่ในชั้นพลังงาน E_1 ถ้ามีโฟตอนแสงจากภายนอกที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงาน $E_1 - E_0$ เข้ามาชน จะทำให้อะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงาน E_1 นี้ ถูกกระตุ้นให้ออกมาเป็นอิสระสำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตรให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงมายังชั้นพลังงาน E_0 โดยมีการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนที่มีความถี่เท่ากับ $E_1 - E_0$ เนื่องจากโฟตอนแสงที่เข้าชนไม่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมที่ถูกชน ทำให้จำนวนโฟตอนเพิ่มขึ้นเป็นสองอนุภาค (โฟตอนที่มากระตุ้น บวกกับโฟตอนที่ได้จากการเปลี่ยนสถานะของอะตอม)

โฟตอนทั้งสองนี้มีพลังงานเท่ากัน มีความถี่เดียวกัน มีเฟสตรงกัน มีโพลาไรเซชันเหมือนกัน และเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมมองของคลื่นแล้ว จะพบว่าเมื่อแสงสองขบวนมีความถี่ตรงกัน มีเฟสตรงกัน เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน สามารถที่จะรวมกันในลักษณะที่เสริมกันได้ ทำให้ได้คลื่นรวมที่มีขนาดโตขึ้น เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การขยายสัญญาณแสง (light amplification) ขึ้น ถ้าสามารถทำให้เกิดการขยายสัญญาณแสงในลักษณะนี้กับอะตอมเป็นจำนวนมาก ๆ ได้ ก็จะทำให้ได้สัญญาณแสงที่มีความเข้มสูงออกมา

จากที่กล่าวมา พบว่าปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะทำให้เกิดการขยายแสงโดยการกระตุ้นได้มาก ๆ คือการทำให้มีประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้นมาก ๆ ซึ่งในธรรมชาติเป็นไปได้ จึงต้องมีการหาวิธีการที่จะทำให้ประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้น E_1 มากกว่าสถานะพื้น E_0

ปรากฏการณ์ที่ทำให้จำนวนประชากรอะตอมในชั้นพลังงานสูงมีมากกว่าประชากรในชั้นพลังงานต่ำ เรียกว่า ประชากรผกผัน (population inversion) ในทางปฏิบัติสามารถทำให้เกิดประชากรผกผันได้โดยการใช้พลังงานจากภายนอกปริมาณหนึ่งที่จะเพียงพอจะทำให้ประชากรอะตอมมีสถานะเปลี่ยนไปจากสถานะพื้น E_0 ไปยังสถานะกระตุ้น E_1 และทำให้การกระตุ้นประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้นให้ตกลงมายังสถานะพื้น เพื่อให้ประชากรอะตอมปลดปล่อยโฟตอนแสงเป็นจำนวนมากออกมา

อย่างไรก็ตามการกระตุ้นประชากรอะตอมเพื่อให้มีการปล่อยแสงเพียงครั้งเดียวยังไม่สามารถทำให้ได้แสงเลเซอร์ออกมา เนื่องจากในความเป็นจริง ในขณะที่เดียวกับที่เกิดการปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้น ก็จะมีการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นด้วยโดยประชากรอะตอมในสถานะพื้น ทำให้ความเข้มแสงที่ได้มีปริมาณลดลง ดังนั้นเพื่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเข้มของสัญญาณแสง จึงต้องทำให้เกิดปรากฏการณ์ปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการทำให้โฟตอนแสงที่ได้จากการปลดปล่อยของประชากรอะตอม มากระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยแบบถูกกระตุ้นซ้ำแล้วซ้ำอีก จนกระทั่งสัญญาณแสงมีความเข้มสูงขึ้นจนถึงจุดเลสซิง (lasing point) หรือจุดออสซิลเลตของเลเซอร์ (laser oscillating point) แสงที่ได้ออกมาจึงมีสมบัติเป็นแสงเลเซอร์

2.4 Laser Diode

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกลเลียมอาร์เซไนด์) GaAlAs (แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) InGaAsP อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์) โดยค่าแถบพลังงานต่าง ๆ เป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ ซึ่งแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้น ๆ

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กจิวกินไฟน้อย สามารถผลิตได้จำนวนมาก ๆ ด้วยเทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ไดโอดถูกใช้งาน อย่างกว้างขวางตั้งแต่การใช้เป็นเลเซอร์พอยน์เตอร์ (Laser Pointer) ใช้ในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ใช้เป็นหัวอ่าน ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดิสก์ เครื่องวีดีโอเลเซอร์ดิสก์ และเครื่องถ่ายเอกสารประเภทเลเซอร์ พรินเตอร์ (Laser Printer)



รูปที่ 2.10 เลเซอร์ไดโอดที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป

[อ้างอิงจาก : <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=176596>]

2.4.1 สมบัติเด่นของเลเซอร์ไดโอด

- มีขนาดเล็กและเบามาก
- มีประสิทธิภาพสูง
- สามารถลดอุณหภูมิความร้อนของการเปล่งแสงด้วยกระแสไฟฟ้าไดโอดโดยตรง
- มีอายุการใช้งานยาวนาน
- ผลิตจำนวนมากได้ง่ายและราคาถูก

ปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การสื่อสารด้วยแสง การวัด สาระสนเทศ คอมพิวเตอร์ดิสก์ เลเซอร์ดิสก์ ซีดีรอม การแพทย์ การบันเทิง ฯลฯ

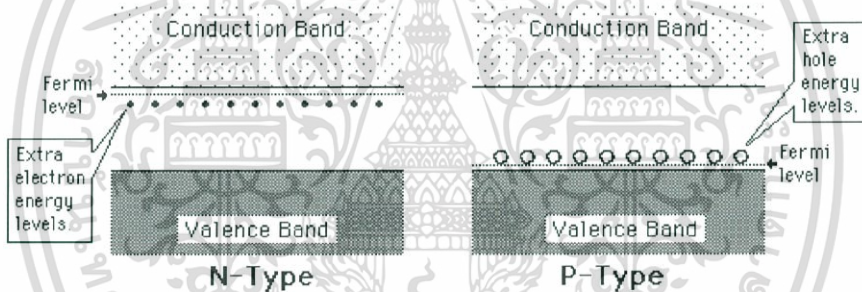
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด

โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดคือ รอยต่อ p-n ของสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานแบบตรง เช่น GaAs สารเจือปนสำหรับชนิด P ได้แก่ Zn หรือ Be และสารเจือปนสำหรับชนิด n ได้แก่ Te หรือ Si ลักษณะของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n

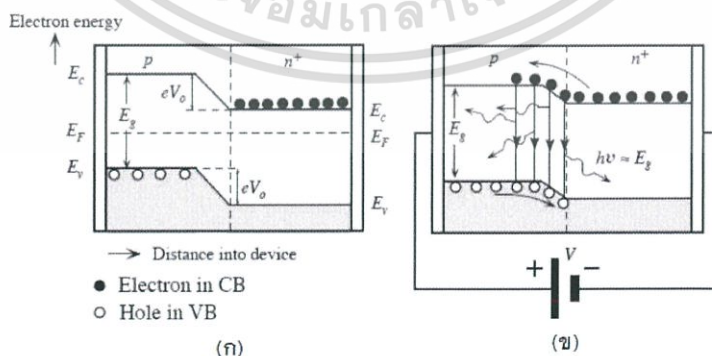
เนื่องจากการโดปสารเจือปนนั้นจะโดปมาก ดังนั้นระดับพลังงานแฟร์มี (E_F) จึงล้าเข้าไปในแถบเวเลนส์ สำหรับชนิด p และเข้าไปในแถบคอนดักชันสำหรับชนิด n เราเรียกสารกึ่งตัวนำโดปมากเช่นนี้ว่า degenerated semiconductor เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ชนิดนี้มาสร้างเป็นรอยต่อ p-n แบบไดโอดจะได้แถบพลังงาน

เนื่องจากการโดปสารเจือปนนั้นจะโดปมาก ดังนั้นระดับพลังงานแฟร์มี (E_F) จึงล้าเข้าไปในแถบเวเลนส์ สำหรับชนิด p และเข้าไปในแถบคอนดักชันสำหรับชนิด n เราเรียกสารกึ่งตัวนำโดปมากเช่นนี้ว่า degenerated semiconductor เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ชนิดนี้มาสร้างเป็นรอยต่อ p-n แบบไดโอดจะได้แถบพลังงาน



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ

[อ้างอิงจาก: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/dope.html>]



รูปที่ 2.12 รอยต่อ p-n

[อ้างอิงจาก: http://thep-center.org/src2/views/daily-life.php?article_id=3]

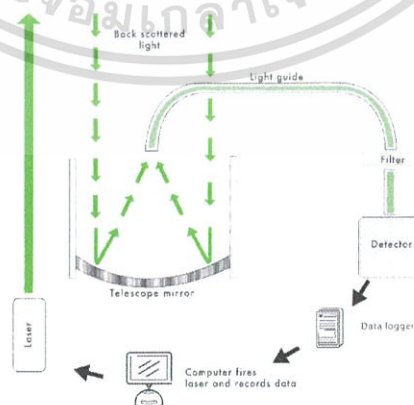
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระตุ้นพาหะเพื่อให้เกิดเลเซอร์นั้น จะใช้วิธีฉีดกระแสไฟฟ้าจากภายนอกให้ไหลเข้าสู่รอยต่อ p-n โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไบเอสดตาม นั่นคือ ป้อนแรงดันบวกเข้าด้าน p และป้อนแรงดันลบเข้าด้าน n จะทำให้แถบพลังงานเปลี่ยนรูป อิเล็กตรอนจะไหลจากด้าน n เข้าสู่รอยต่อ และโฮลจะไหลจากด้าน p เข้าสู่รอยต่อที่บริเวณรอยต่อจะมีคู่อิเล็กตรอนและโฮลเกิดขึ้นจำนวนมาก เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกัน จะเกิดการเปล่งแสงออกมาด้วยพลังงานโฟตอนเท่ากับช่องว่างพลังงานของรอยต่อ ($E_g = h\nu$) หลักการเปล่งแสงเช่นนี้คล้ายกับกรณีของ LED แต่การทำให้เกิดเลเซอร์นั้นจะต้องฉีดกระแสไฟฟ้าให้มากเป็นพิเศษ ถ้ากระแสมีค่าน้อย การเปล่งแสงจะเป็นแบบเกิดขึ้นเอง และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าสูงกว่ากระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยน จะเกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผัน กล่าวคือ ถ้าจำนวนคู่อิเล็กตรอนและโฮลมีมากกว่าค่าๆ หนึ่ง ก็จะทำให้เกิดการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮลและเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบเร่งเร็วที่ด้านข้างภายนอกของรอยต่อ p-n จะถูกออกแบบให้เป็นผิวมันแบบกระจก ให้ทำหน้าที่เป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์ แสงที่สะท้อนกลับไปภายในเรโซเนเตอร์นี้ จะกลายเป็นแสงเลเซอร์วิ่งออกสู่ภายนอกในที่สุด

2.5 เทคโนโลยีตรวจรู้ระยะไกลด้วยแสง (Light Detection and Ranging, LIDAR)

ไลดาร์ (Lidar) มาจากคำว่า Light Detection And Ranging เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการกระจายของอนุภาคในบรรยากาศ ต่อมาได้มีการนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้งานมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น การสื่อสารทางแสง เลเซอร์นำวิถี ระบบการแสดงผล เป็นต้น

ไลดาร์มีหลักการทำงานคล้าย เรดาร์ จึงอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เรดาร์เลเซอร์ เป็นเทคนิคที่นิยมมากที่สุดสำหรับการตรวจรู้ระยะไกลของชั้นบรรยากาศ โดยทั่วไประบบไลดาร์ภาคพื้นดิน อากาศยาน จะมีการออกแบบที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ส่วน



รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของไลดาร์

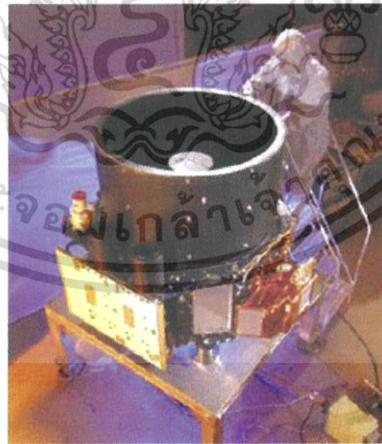
[อ้างอิงจาก : <http://sator4u.com/paper/595>]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนส่งสัญญาณ (Transmitter) ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (laser source) แบบพัลส์ (pulse) ที่นำแสงเลเซอร์มาใช้เนื่องจากมีสมบัติเหมาะสมในการศึกษาชั้นบรรยากาศ โดยเลเซอร์แบบพัลส์นั้นมีความเข้มสูง เมื่อถูกส่งออกไปด้วยพลังงานที่เหมาะสมในการตรวจวัด และสามารถเกิดการกระเจิงของแสง (Scattering) ได้ทั้งโมเลกุลและละอองฝุ่นแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ โดยแสงเลเซอร์จะไปกระตุ้น และมีแสงบางส่วนสะท้อนกลับมาที่ระบบไลดาร์จะถูกตรวจจับโดยอุปกรณ์ตรวจจับแสง

2. ส่วนรับสัญญาณ (Receiver) ที่ส่วนรับแสง ระบบไลดาร์จะใช้กล้องโทรทรรศน์เป็นระบบรับแสง และตรวจวัดโดยใช้ระบบตรวจจับที่เป็นออปโตอิเล็กทรอนิกส์ แสงที่สะท้อนกลับมาจะสะท้อนและหักเหโดยระบบเลนส์เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับแสง เช่น หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ โฟโตไดโอดแบบอะวาแลนช์ อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณทางไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแสงตกกระทบพื้นที่รับแสง ความเข้มแสงที่ตกกระทบจะเป็นตัวกำหนดค่ากำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์นี้ สัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำไปขยายด้วยวงจรขยายกำลัง เพื่อขยายระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้เนื่องจาก แสงที่ตกกระทบมีความเข้มต่างกัน ระดับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จึงมีค่าน้อย

เราสามารถวัดความเร็วโดยใช้หลักการเกิดการกระเจิงของแสง จากการที่แสงเดินทางในอากาศแล้วชนกับอนุภาคขนาดเล็กในบริเวณที่ผ่านไป เมื่อตรวจวัดแสงที่กระเจิงกลับมาได้ จะแปลงข้อมูลเป็นความเร็ว ซึ่งมาจากช่วงเวลาที่แสงเดินทางไป-กลับ



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างไลดาร์ที่ใช้ในการวัดเมฆ ชื่อ Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP)

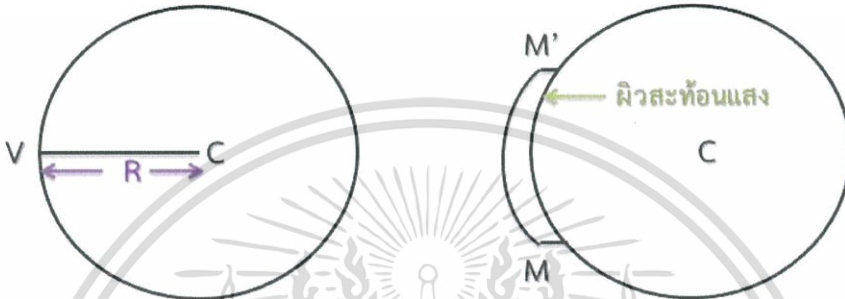
[อ้างอิงจาก: *Optical Remote Sensing Systems S12*]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กระจกโค้งเว้า (Concave mirror)

วัตถุซึ่งมีผิวสะท้อนเป็นผิวโค้งทรงกลมได้แก่กระจกโค้งทรงกลมซึ่งได้มาจากส่วนหนึ่งของผิวทรงกลม ถ้าจุด C เป็นจุดศูนย์กลางเพราะของทรงกลมและจะเป็นจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจกด้วย เส้นที่ลากผ่าน จุดศูนย์กลางไปหากระจก ณ บริเวณจุดใจกลางบน เพราะผิวโค้งเรียกว่า เส้นขนานमुखสำคัญ

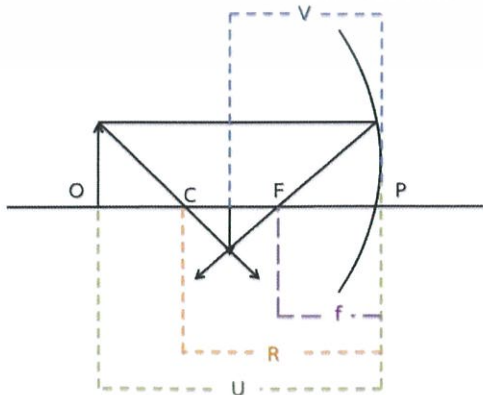
กระจกโค้งเว้า คือ กระจกที่มีจุดศูนย์กลางความโค้งอยู่ด้านเดียวกับด้านผิวสะท้อนแสง



รูปที่ 2.15 ผิวโค้งทรงกลม ผิวโค้งเว้า

2.6.1 หลักการที่ใช้ในการเขียนรูป

1. ลากรังสีตกกระทบจากปลายวัตถุถึงผิวกระจกให้ขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญจะได้รังสีสะท้อนจากผิวกระจกผ่านไฟกัส
2. ลากรังสีตกกระทบจากปลายวัตถุผ่านไฟกัสถึงผิวกระจกจะได้รังสีสะท้อนจากผิวกระจกขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญ
3. ตกกระทบจากปลายวัตถุผ่านจุดศูนย์กลางถึงผิวกระจกจะได้รังสีสะท้อนจากผิวกระจกย้อนกลับมาทางเดิมโดยการลากรังสีตั้งฉากจุดตัดของรังสีสะท้อนทั้ง 3 จะแสดงตำแหน่งและขนาดของภาพ



กำหนดให้

l = ขนาดภาพ

O = ขนาดวัตถุ

v = ระยะภาพ

u = ระยะวัตถุ

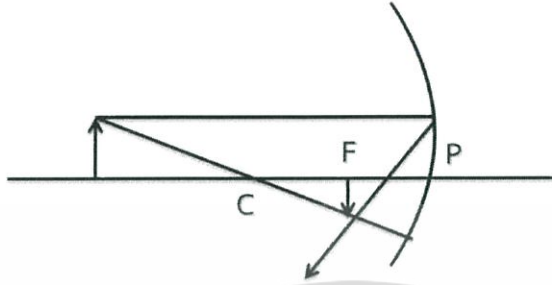
รูป 2.16 แสดงวิธีเขียนภาพจากกระจกเว้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรณเพื่อกำรศกษาเท่านัน ไม่นุญเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ภาพจากกระจกเว้า

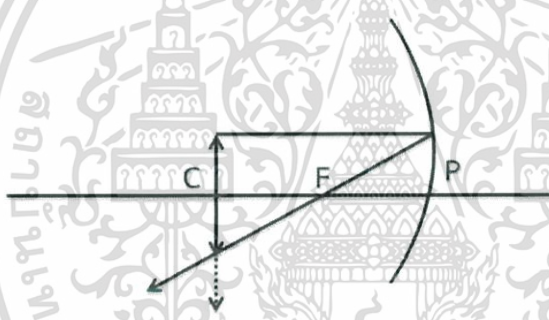
กรณี 1 เมื่อ $u > 2f$

- จะได้ภาพจริงที่กลับขนาดเล็กลงกว่าวัตถุ



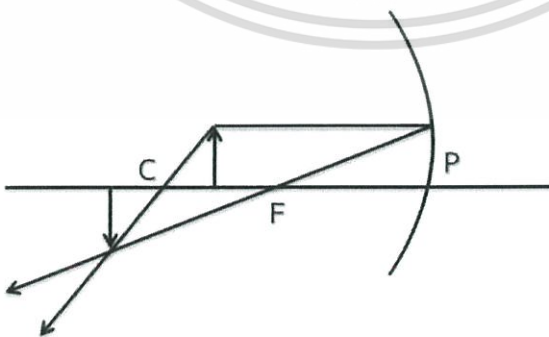
กรณี 2 เมื่อ $u = 2f$

- จะได้ภาพจริงที่กลับขนาดเท่าวัตถุ



กรณี 3 เมื่อ $2f > u > f$

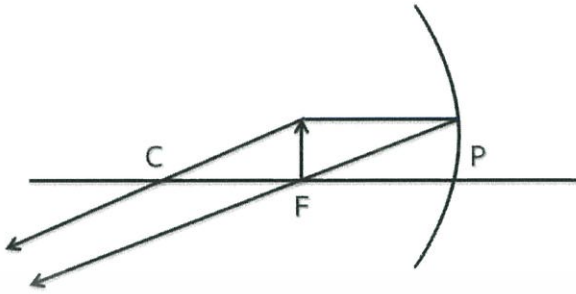
- ภาพจริงที่กลับขนาดใหญ่กว่าวัตถุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

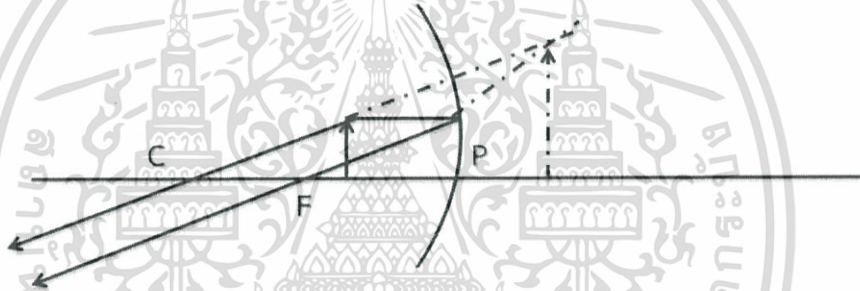
กรณี 4 เมื่อ $u=f$

- จะได้ภาพที่ระยะอนันต์



กรณี 5 เมื่อ $u < f$

- จะได้ภาพเสมือนหัวตั้งขนาดใหญ่กว่าวัตถุ



รูปที่ 2.17 แสดงการเกิดภาพจากกระจกเว้า

2.6.3 การคิดเครื่องหมายของปริมาณต่างๆ

ระยะภาพเป็นบวกเมื่อภาพอยู่ด้านเดียวกับวัตถุและเป็นลบเมื่ออยู่คนละด้านกับวัตถุ ความยาวโฟกัสของกระจกเว้าเป็นบวก ความยาวโฟกัสของกระจกนูนเป็นลบกำลังขยายเป็นลบแสดงว่าเป็นภาพหัวกลับ กำลังขยายเป็นบวกแสดงว่าเป็นภาพหัวตั้ง

2.6.4 การหาตำแหน่งภาพ

พิจารณาภาพกระจกเว้าวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง O บนแกนमुखสำคัญแสงสะท้อนกระจกเว้าลงมาตัดแกนमुखสำคัญที่จุด I

- ให้
- q เป็นระยะระหว่างจุดยอดของกระจก (v) กับภาพ (I)
 - R เป็นรัศมีความโค้ง (มี C เป็นจุดศูนย์กลางของความโค้งของกระจก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้เผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H เป็นความสูงของรังสีที่กระทบวัดจากแกนमुखสำคัญ

เมื่อมุม ϕ , θ และ ϕ' เล็กมาก

$$\text{จะได้ } \phi = \frac{h}{p}, \quad \theta = \frac{h}{r} \quad \text{และ} \quad \phi' = \frac{h}{q} \quad (2.1)$$

$$\text{จาก } \theta = \psi + \phi$$

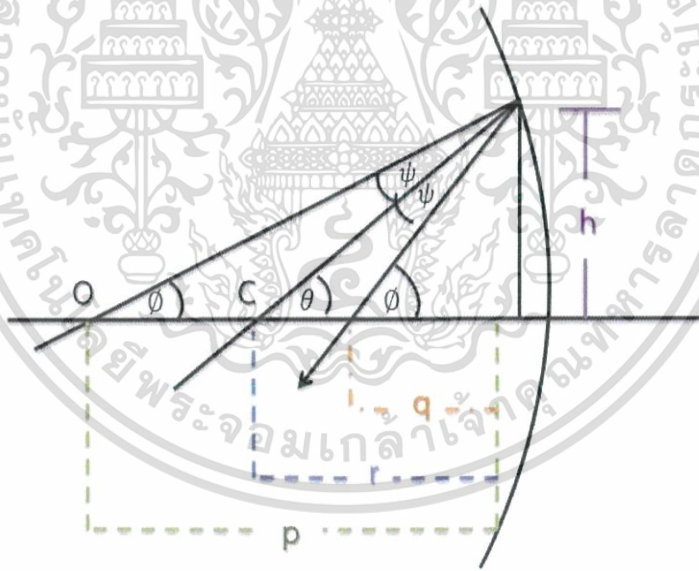
$$\text{และ } \phi' = \theta + \psi \quad \phi + \phi' = 2\theta$$

ดังนั้นเรา (2.1) มาแทนจะได้

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{r}$$

$$f = \frac{r}{2} \quad (2.2)$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.18 ภาพแสดงการสะท้อนของกระจกโค้ง

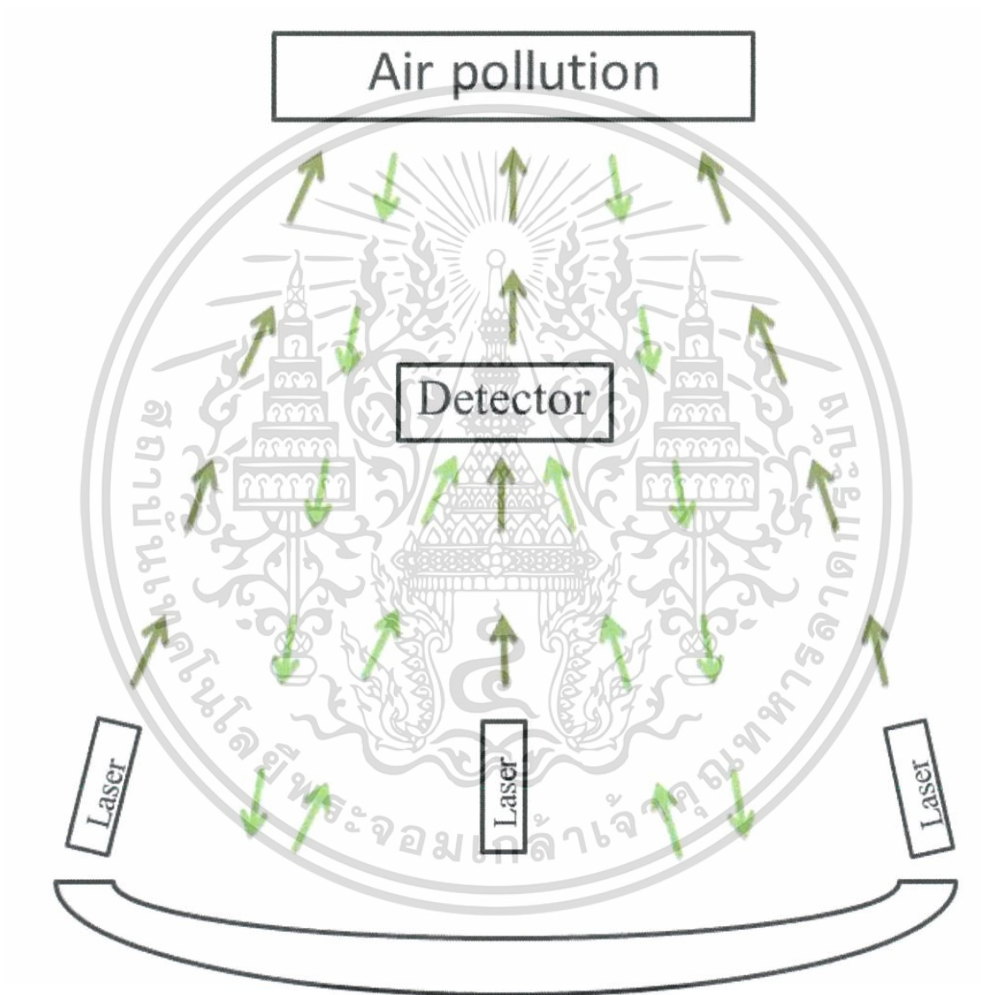
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบระบบการทำงานของชุดทดลอง

การออกแบบแผนผังการทำงานเบื้องต้น เป็นการบอกลักษณะการทำงานของชุดทดลองและขอบเขตในการศึกษาในการทำงานได้สะดวก



รูปที่ 3.1 ระบบการทำงานของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)



รูปที่ 3.2 เลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว

ตารางที่ 3.1 สมบัติของเลเซอร์ไดโอดแสงสีเขียว

Wavelength	532 nm
Power output	10 mW
Working Current	220 mA
Working Voltage	+20 to +25 °C
Working Temperature	-30 to +70 °C
Storage Temperature	1.9 V

3.2.2 Biased Si Detectors

ดีเทคเตอร์สามารถตอบสนองต่อแสงความยาวคลื่นในช่วง 350 - 1100 นาโนเมตรเพื่อจะทำการวัดความเข้มของแสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

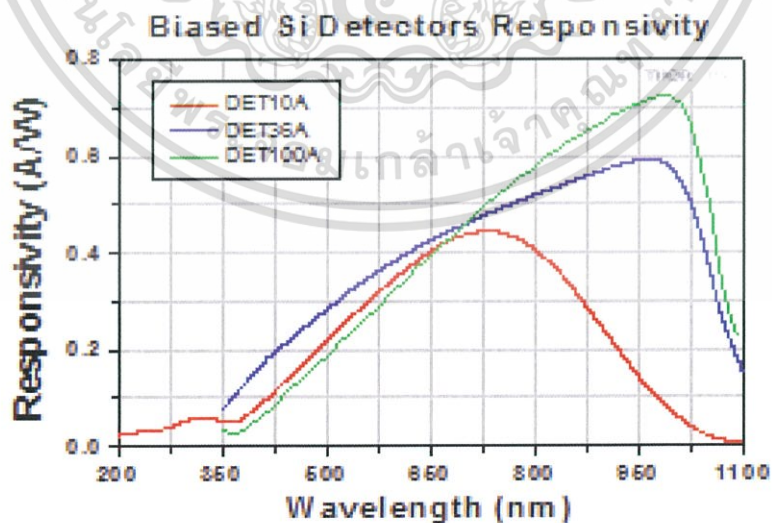
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Biased Si Detectors

ตารางที่ 3.2 สมบัติของ Detector

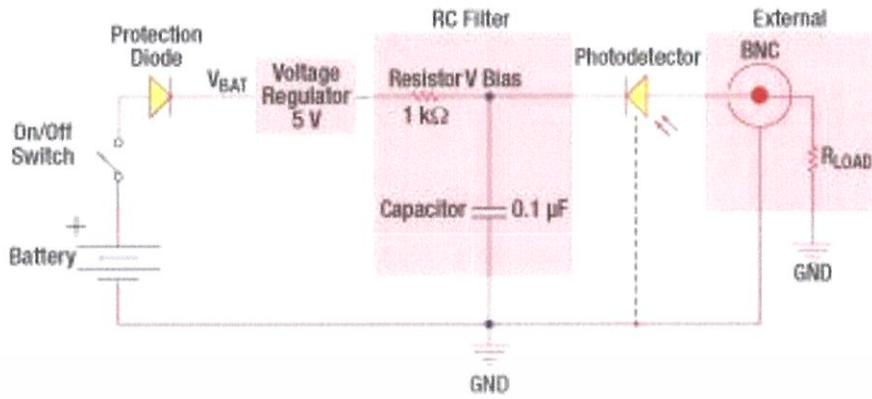
Item	DET36A
Active Area	13 mm ² (3.6 x 3.6 mm)
Wavelength Range	350 - 1100 nm
Rise Time	14 ns
NEP	1.6×10^{-14} W/Hz ^{1/2}
Dark Current	0.35 nA (6 nA Max)
Junction Capacitance	40 pF
Bias Voltage	10 V



รูปที่ 3.4 การตอบสนองต่อแสงของ detector

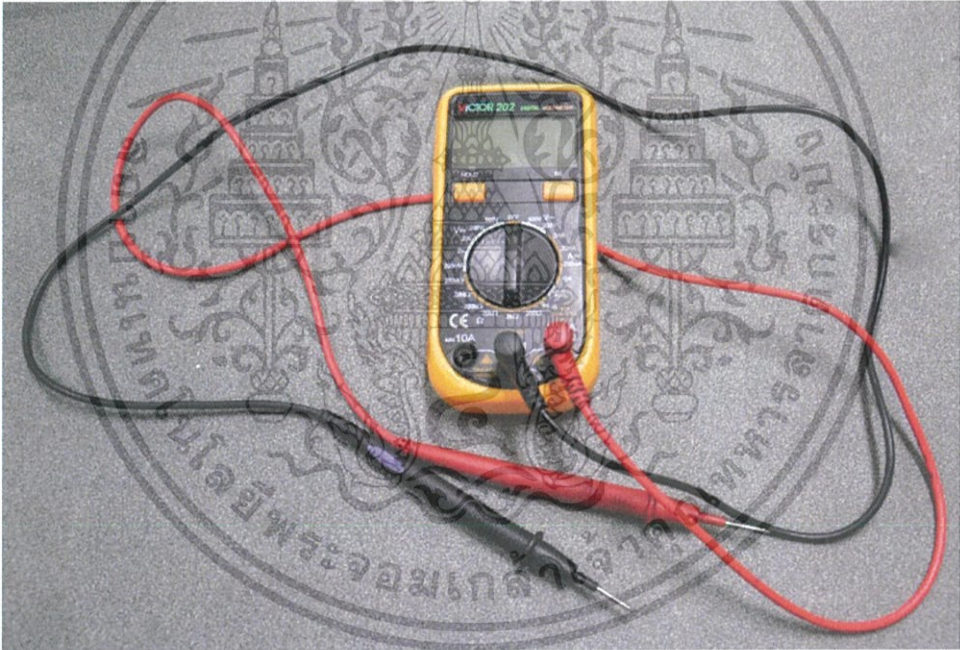
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจร Biased Si Detectors



รูปที่ 3.5 Operating Circuit Diagram

3.2.4 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)



รูปที่ 3.6 มัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)



รูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)

3.2.6 รูป

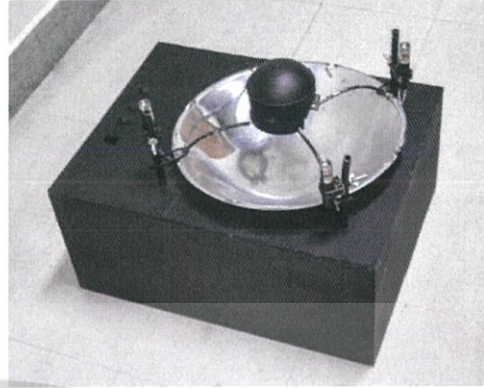
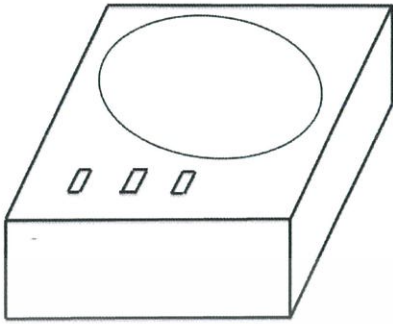


รูปที่ 3.8 รูปที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

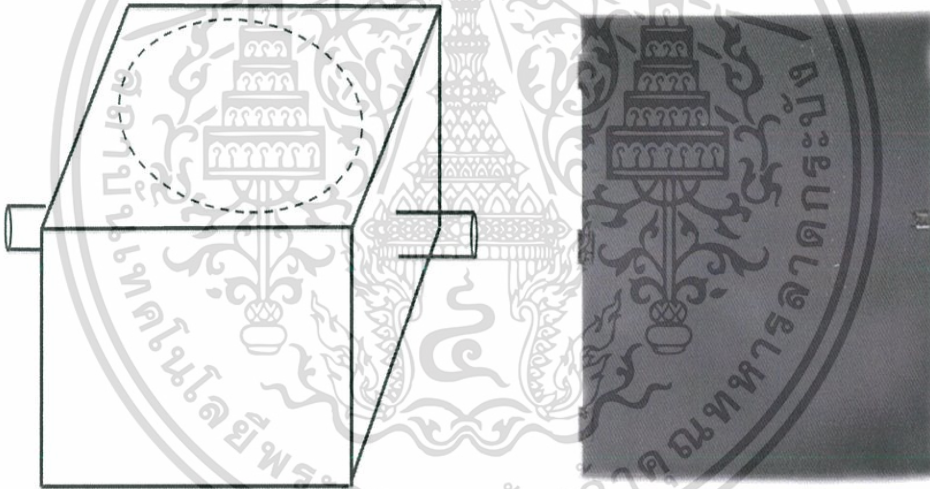
3.3 การออกแบบโครงสร้าง

3.3.1 ฐานตั้ง



รูปที่ 3.9 ฐานตั้ง

3.3.2 ฝาครอบ

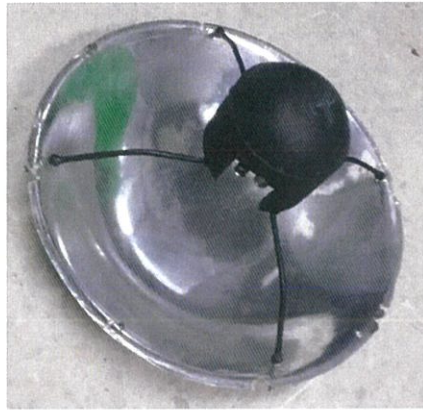


รูปที่ 3.10 ฝาครอบ

3.3.3 จานรับแสงแบบพาราโบลา (Parabola Plate)

เลือกใช้จานที่มีรัศมีความโค้ง 18 เซนติเมตร มีพื้นที่ในการรับแสง 1017.8760 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 จานรับแสง

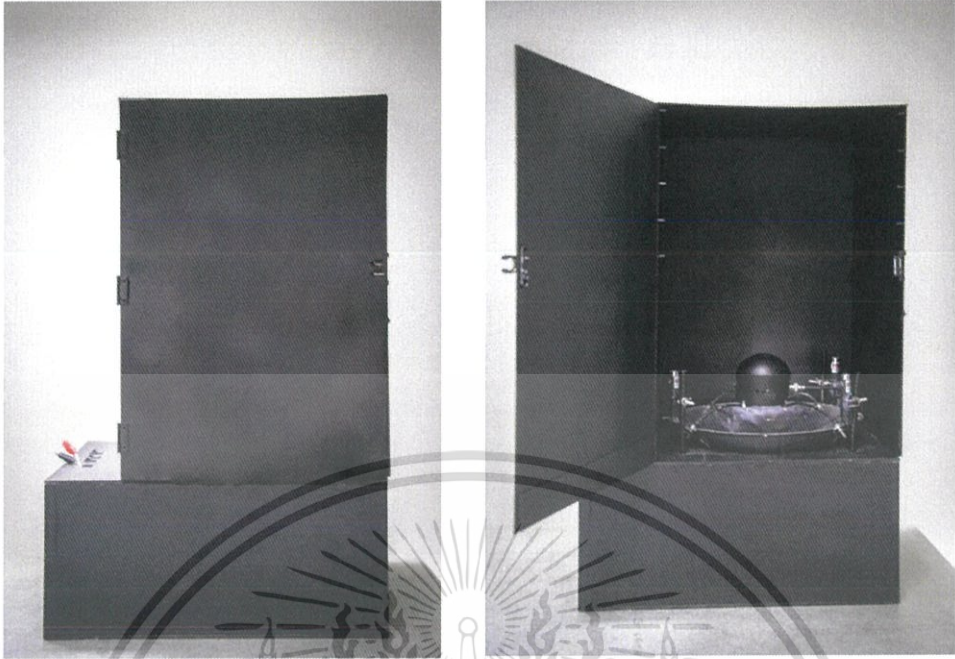
3.3.4 ฉากรับแสง



รูปที่ 3.12 ฉากรับแสงที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ชุดการทดลอง



รูปที่ 3.13 ชุดการทดลอง

3.4 วิธีการทดลอง

ทำการทดลองโดยอาศัยหลักการสะท้อนและการกระเจิงของแสงเลเซอร์เมื่อกระทบฉากรับ

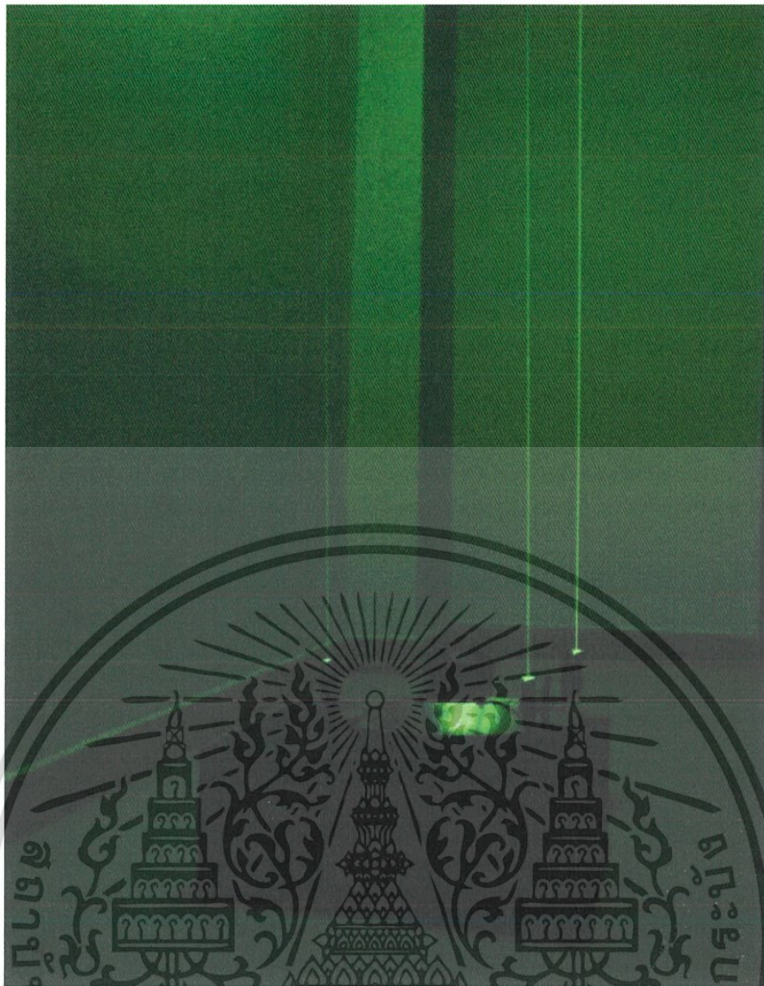
ตอนที่ 1 การหาค่าความสูงและค่าการสะท้อนของแสงเลเซอร์

1. จัดอุปกรณ์และเลเซอร์ไดโอดโดยให้เลเซอร์ตั้งทำมุม 90 องศา
2. วัดค่าการสะท้อนของแสงเลเซอร์โดยใช้ฉากรับ โดยวัดเพิ่มทีละ 5 เซนติเมตรไปจนครบ 6 เมตร
3. นำข้อมูลที่ได้อ่านกราฟและหาสมการแนวโน้มของข้อมูล
4. นำสมการที่ได้มาหาคำนวนหาค่าความสูงเพื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงจริง
5. เปลี่ยนฉากรับเป็นสีเทาและดำ จากนั้นทำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 4

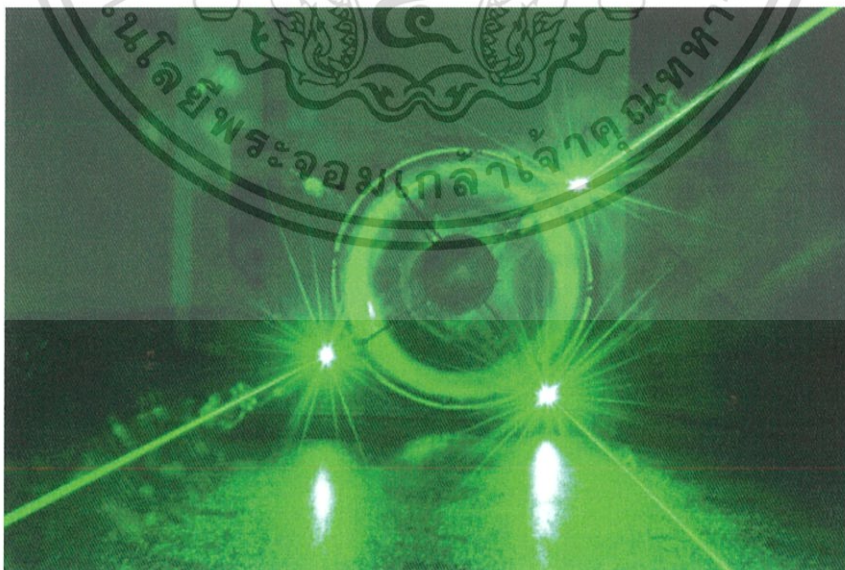
ตอนที่ 2 การวัดปริมาณฝุ่นละออง

1. จุดธูปจำนวน 10 ดอก
2. ใส่ควันธูปเข้าไปในกล่องรับเป็นเวลา 1 , 3 , 5 , 7 นาทีตามลำดับ
3. อ่านค่าความเข้มแสงที่ได้ เป็นเวลา 1 นาที โดยอ่านทีละ 10 วินาที
4. วาดกราฟผลการทดลองที่ได้
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

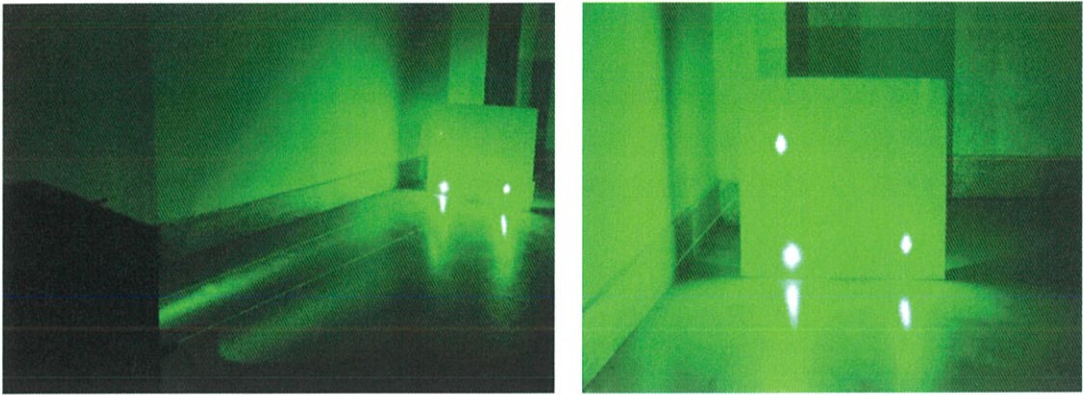


รูปที่ 3.14 จัดแสงเลเซอร์ให้อยู่ในมุม 90 องศา



รูปที่ 3.15 ยิงแสงเลเซอร์ไปที่ฉากรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ยิงแสงเลเซอร์ไปที่ฉากรับสีขาว

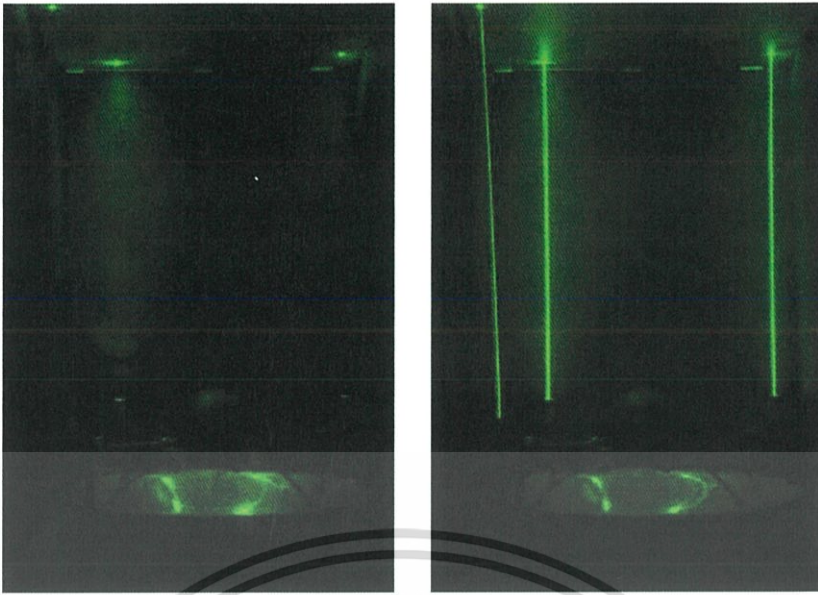


รูปที่ 3.17 ยิงเลเซอร์ไปที่ฉากรับสีเทา



รูปที่ 3.18 ยิงเลเซอร์ไปที่ฉากรับสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การทดลองหาปริมาณฝุ่นละออง

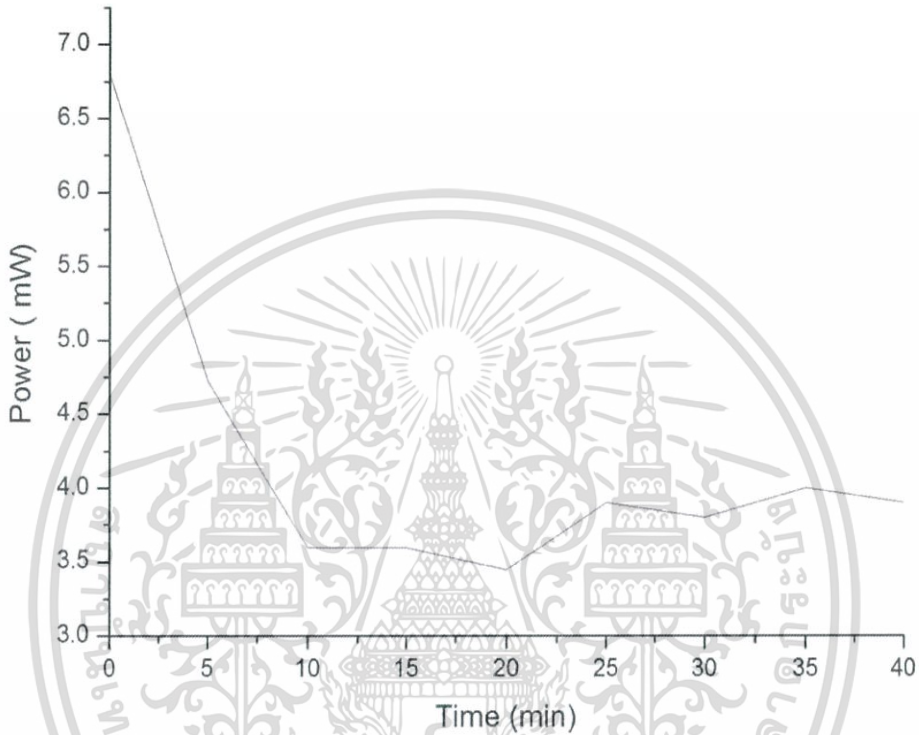


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ระยะเวลาของเลเซอร์ที่สามารถทำงานได้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของเลเซอร์กับเวลา

เลเซอร์ไดโอดที่นำมาทำการทดลองจะเห็นได้ว่ามีกำลังที่ลดลงที่เวลา 10 นาทีและจะคงที่ไปจนถึง 40 นาที ดังนั้นในการทำการทดลองจึงจำกัดไว้ที่ 30 นาที เพื่อไม่ทำให้ผลการคลาดเคลื่อนและไม่ทำให้เลเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้นเสีย

4.2 การใช้เลเซอร์ในการคำนวณหาค่าความสูง

การทดลองนี้จะแบ่งฉากออกเป็น 3 สี คือ สีขาวแทนสภาพอากาศที่มีปริมาณฝุ่นละอองในอากาศน้อยหรือมีเมฆเป็นสีขาว สีเทาแทนสภาพอากาศที่มีฝุ่นละอองในอากาศที่เพิ่มขึ้นหรือมีเมฆเป็นสีเทา สีดำแทนสภาพอากาศที่มีฝุ่นละอองในอากาศมากหรือมีเมฆเป็นสีดำ นำฉากมารับแต่ละสีมาหาค่าการสะท้อนของแสงแล้วนำไปหาค่าความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

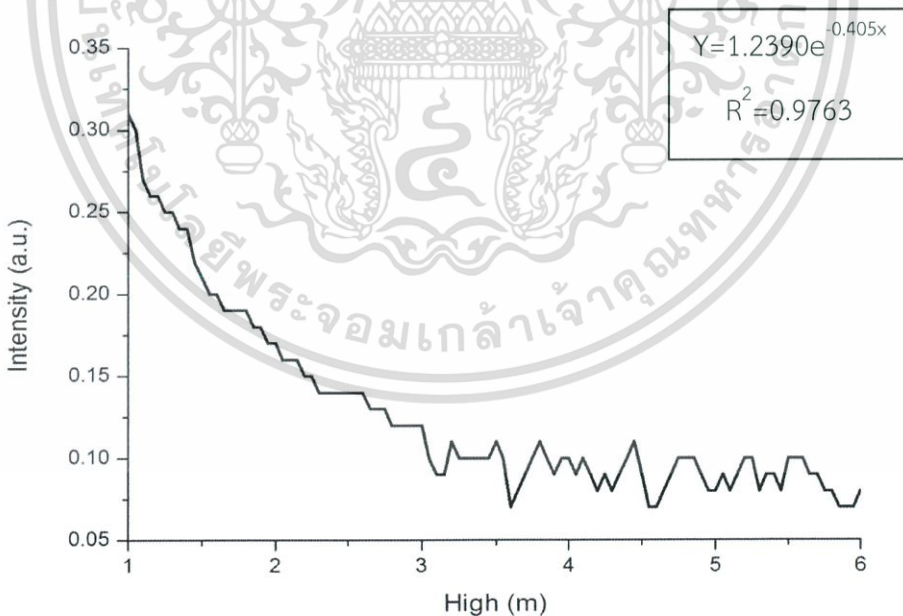
4.2.1 Single – Scatter Lidar Equation [2]

$$P(H) = E \frac{c}{2H^2} \beta T_{opt} C e^{-\alpha H}$$

เมื่อ	P(H)	คือ กำลังของแสงที่กระเจิงกลับที่สัมพันธ์กับความสูง มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
	E	คือ พลังงานของเลเซอร์ มีหน่วยเป็น จูล (J)
	c	คือ ความเร็วแสง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
	A	คือ พื้นที่ของมุมมองรับแสงหรือField of view(FOV)มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m ²)
	H	คือ ความสูง มีหน่วยเป็น เมตร (m)
	β	คือ ภาคตัดขวางอนุภาคต่อปริมาตร มีหน่วยเป็น (sr ⁻¹ . m ⁻¹)
	T_{opt}	คือ Transmission of Lidar optics
	α	คือ สัมประสิทธิ์ของการลดทอนแสง
	C	คือ ค่าคงที่ของเปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ลดลงที่ความสูงต่างๆ ได้จากการทดลอง

4.2.2 ฉากรับสีขาวแทนสีของเมฆสีขาวในการวัดค่าการสะท้อนของแสง

นำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟในช่วงระหว่าง 0 – 1 เมตร เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเกิดจากการไม่โฟกัสของงานรับแสงซึ่งเป็นผลจากความคลาดของเลนส์หรืองานรับแสงที่ใช้ ดังนั้นจึงได้ทำการตัดข้อมูลในช่วง 0 – 1 เมตรออก



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความสูง (สีขาว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตัดข้อมูลแล้วจะเห็นว่ากราฟข้อมูลที่ได้มีการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งสามารถหาสมการที่ได้จากกราฟได้ว่า

$$y = 1.293e^{-0.405x} \quad (4.1)$$

$Y = V =$ ความเข้มแสง (มิลลิวัตต์)

$X = H =$ ความสูง (เมตร)

ดังนั้นจะได้สมการใหม่ คือ

$$V = 1.293e^{-0.405H} \quad (4.2)$$

จาก Single – Scatter Lidar Equation [2]

$$P(H) = E \frac{c}{2R^2} \beta T_{opt} C e^{-\alpha H} \quad (4.3)$$

เนื่องจากเครื่องมือนี้ไม่ได้ใช้ Power Meter ในการวัดการสะท้อนของแสงเลเซอร์ แต่ใช้ Detector ในการวัดแทนดังนั้นจึงเปลี่ยนจาก $P(R)$ เป็น $V(R)$ แทนจะได้สมการเป็น

$$V(H) = E \frac{c}{2R^2} \beta T_{opt} C e^{-\alpha H} \quad (4.4)$$

จาก

$$T^2(H) = C e^{-\alpha H}$$

$$V(H) = E \frac{c}{2H^2} \beta T_{opt} C e^{-\alpha H} \quad (4.5)$$

นำ (4.2) เทียบกับ (4.5)

$$V(H) = E \frac{c}{2H^2} \beta T_{opt} C e^{-\alpha H} \quad (4.5)$$

$$V = 1.293e^{-0.405H} \quad (4.2)$$

จะได้สมการเป็น

$$V = \frac{1.293}{R^2} e^{-0.405H}$$

จะสามารถแก้สมการออกมาได้เป็น

$$\frac{V}{1.293} = \frac{e^{-0.405H}}{H^2} \quad (4.6)$$

$$\ln\left(\frac{V}{1.293}\right) = (-0.405H) - 2\ln(H)$$

นำสมการที่ (4.6) มาคำนวณด้วย MatLABs

จะได้สมการทาง MatLABs ออกมาเป็น

$$H = \exp(-\text{wrightOmega}(\log(L/2) + \log(1/(V/C)^{(1/2)})))/(V/C)^{(1/2)} \quad (4.7)$$

แทนค่าตัวแปรในสมการ (4.7) แล้วคำนวณด้วย MatLABs

$$H = \exp(-\text{wrightOmega}(\log(-.405/2) + \log(1/(0.45/1.293)^{(1/2)})))/(0.45/1.293)^{(1/2)}$$

$$H = 3.3207$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

$$\%error = \frac{\text{ค่าทฤษฎี} - \text{ค่าทดลอง}}{\text{ค่าทฤษฎี}} \times 100 \quad (4.8)$$

คำนวณหาความผิดพลาดของผลการทดลอง

ค่าความสูงจากทฤษฎีที่ความเข้มแสง 0.45 มิลลิวัตต์ มีความสูง 2.55 เมตร

ค่าความสูงที่คำนวณได้จากการทดลองมีความสูง 3.3207 เมตร

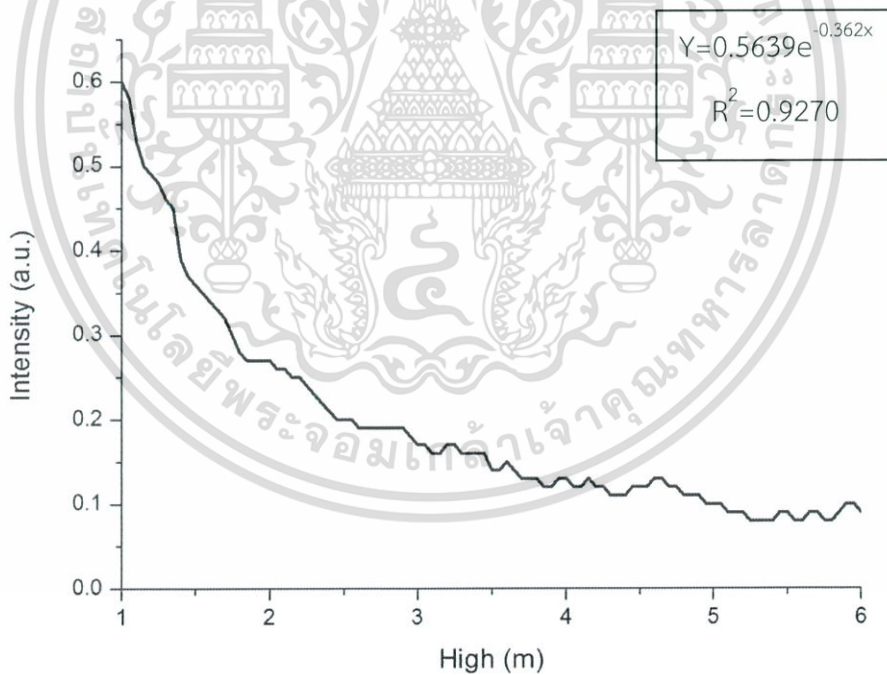
$$\%error = \frac{2.550 - 3.3207}{2.550} \times 100$$

$$\%error = -30.2235 \% \%$$

ดังนั้นในผลการทดลองนี้เกิดความผิดพลาดจากการทดลอง -30.2235 %

4.2.3 ฉากรับสีเทาแทนสีของเมฆสีเทาในการวัดค่าการสะท้อนของแสง

นำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟในช่วงระหว่าง 0 - 1 เมตร เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเกิดจากการไม่โฟกัสของจานรับแสงซึ่งเป็นผลจากความคลาดของเลนส์หรือจานรับแสงที่ใช้ ดังนั้นจึงได้ทำการตัดข้อมูลในช่วง 0 - 1 เมตรออก



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความสูง (สีเทา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตัดข้อมูลแล้วจะเห็นว่ากราฟข้อมูลที่ได้มีการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งสามารถหาสมการที่ได้จากกราฟได้ว่า

$$y = 0.5639e^{-0.362x} \quad (4.9)$$

$Y = V =$ ความเข้มแสง (มิลลิวัตต์)

$X = H =$ ความสูง (เมตร)

ดังนั้นจะได้สมการใหม่ คือ

$$V = 0.5639e^{-0.362H} \quad (4.10)$$

นำ (4.5) เทียบกับ (4.10)

$$V(H) = E \frac{c}{2H^2} \beta T_{opt} C e^{-\alpha H} \quad (4.5)$$

$$V = 0.5639e^{-0.362H} \quad (4.10)$$

จะได้สมการเป็น

$$V = \frac{0.5639}{R^2} e^{-0.362H}$$

จะสามารถแก้สมการออกมาได้เป็น

$$\frac{V}{0.5639} = \frac{e^{-0.362H}}{H^2}$$

$$\ln\left(\frac{V}{0.5639}\right) = (-0.362H) - 2\ln(H) \quad (4.11)$$

นำสมการที่ (4.11) มาคำนวณด้วย MatLABs

จะได้สมการทาง MatLABs ออกมาเป็น

$$H = \exp(-\text{wrightOmega}(\log(L/2) + \log(1/(V/C)^{(1/2)})))/(V/C)^{(1/2)} \quad (4.7)$$

แทนค่าตัวแปรในสมการ (4.7) แล้วคำนวณด้วย MatLABs

$$H = \exp(-\text{wrightOmega}(\log(-.362/2) + \log(1/(0.20/0.5639)^{(1/2)})))/(0.20/0.5639)^{(1/2)}$$

$$H = 1.473$$

คำนวณหาความผิดพลาดของผลการทดลอง

ค่าความสูงจากทฤษฎีที่ความเข้มแสง 0.20 มิลลิวัตต์ มีความสูง 2.55 เมตร

ค่าความสูงที่คำนวณได้จากการทดลองมีความสูง 2.863 เมตร

$$\%error = \frac{2.550-1.473}{2.550} \times 100$$

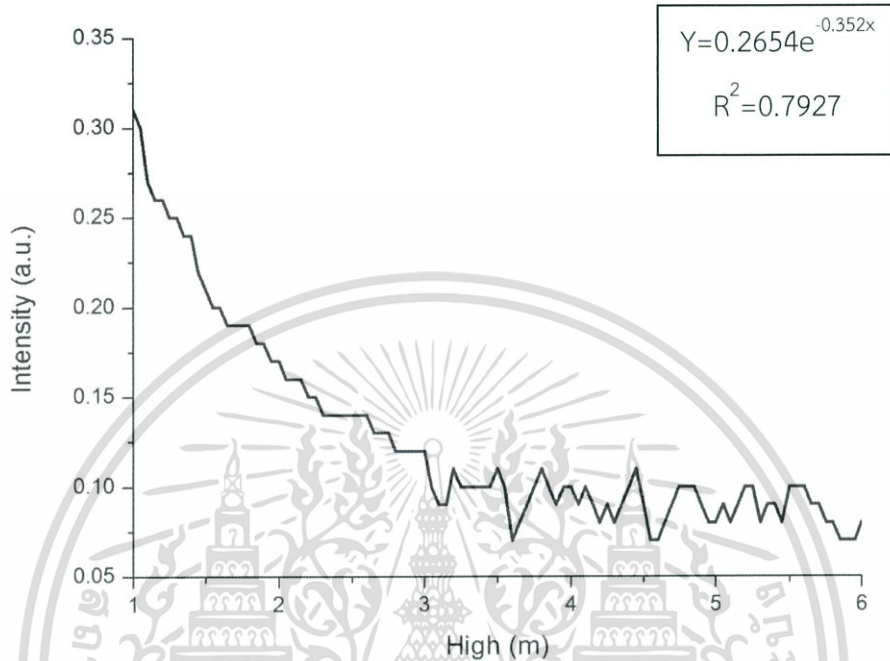
$$\%error = 42.235 \%$$

ดังนั้นในผลการทดลองนี้เกิดความผิดพลาดจากการทดลอง 42.235 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 จากรับสื่อดำแทนสีของเมฆสีดำในการวัดค่าการสะท้อนของแสง

นำข้อมูลที่ได้นำมาวาดกราฟในช่วงระหว่าง 0 – 1 เมตร เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเกิดจากการไม่โฟกัสของจานรับแสงซึ่งเป็นผลจากความคลาดของเลนส์หรือจานรับแสงที่ใช้ ดังนั้นจึงได้ทำการตัดข้อมูลในช่วง 0 – 1 เมตรออก



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความสูง (สีดำ)

จากการตัดข้อมูลแล้วจะเห็นว่ากราฟข้อมูลที่ได้มีการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งสามารถหาสมการที่ได้จากกราฟได้ว่า

$$y = 0.2654e^{-0.352x} \quad (4.12)$$

$Y = V =$ ความเข้มแสง (มิลลิวัตต์)

$X = H =$ ความสูง (เมตร)

ดังนั้นจะได้สมการใหม่ คือ

$$V = 0.2654e^{-0.352H} \quad (4.13)$$

นำ (4.5) เทียบกับ (4.12)

$$V(H) = E \frac{c}{2} \frac{A}{H^2} \beta T_{\text{opt}} C e^{-\alpha H} \quad (4.5)$$

$$V = 0.2654e^{-0.352H} \quad (4.12)$$

จะได้สมการเป็น

$$V = \frac{0.265}{R^2} e^{-0.352H}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถแก้สมการออกมาได้เป็น

$$\frac{V}{0.265} = \frac{e^{-0.352H}}{H^2}$$

$$\ln\left(\frac{V}{0.265}\right) = (-0.352H) - 2\ln(H) \quad (4.13)$$

นำสมการที่ (4.3) มาคำนวณด้วย MatLABs

จะได้สมการทาง MatLABs ออกมาเป็น

$$H = \exp(-\text{wrightOmega}(\log(L/2) + \log(1/(V/C)^{(1/2)})))/(V/C)^{(1/2)} \quad (4.7)$$

แทนค่าตัวแปรในสมการ (4.7) แล้วคำนวณด้วย MatLABs

$$H = \exp(-\text{wrightOmega}(\log(-.352/2) + \log(1/(0.14/0.265)^{(1/2)})))/(0.14/0.265)^{(1/2)}$$

$$H = 0.8989$$

คำนวณหาความผิดพลาดของผลการทดลอง

ค่าความสูงจากทฤษฎีที่ความเข้มแสง 0.14 มิลลิวัตต์ มีความสูง 2.55 เมตร

ค่าความสูงที่คำนวณได้จากการทดลองมีความสูง 1.817 เมตร

$$\%error = \frac{2.550 - 0.8989}{2.550} \times 100$$

$$\%error = 64.749 \%$$

ดังนั้นในผลการทดลองนี้เกิดความผิดพลาดจากการทดลอง 64.749 %

4.3 Uncertainty or Standard Error of Mean

ตารางที่ 4.3.1 Uncertainty or Standard Error of Mean ของฉากรับสีขาว

ความสูง (เมตร)	ความเข้มแสง (a.u.)	ค่าเฉลี่ย ความเข้มแสง (a.u.)	Standard Deviation	Uncertainty or Standard Error of Mean
2.55	0.44	0.452	0.008294	0.003707
	0.45			
	0.46			
	0.45			
	0.46			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3.2 Uncertainty or Standard Error of Mean ของ ฉากรับสีเทา

ความสูง (เมตร)	ความเข้มแสง (a.u.)	ค่าเฉลี่ย ความเข้มแสง (a.u.)	Standard Deviation	Uncertainty or Standard Error of Mean
2.55	0.22	0.212	0.011660	0.005214
	0.20			
	0.21			
	0.23			
	0.20			

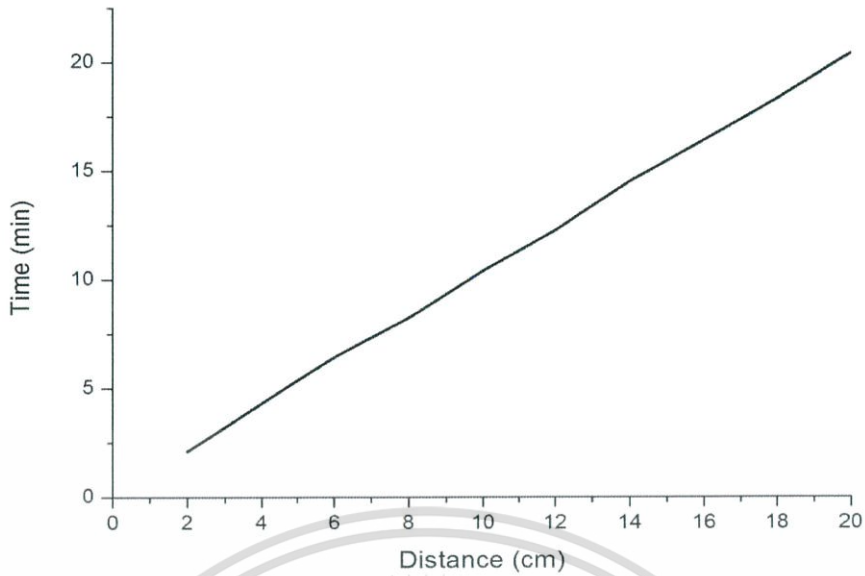
ตารางที่ 4.3.3 Uncertainty or Standard Error of Mean ของ ฉากรับสีดำ

ความสูง (เมตร)	ความเข้มแสง (a.u.)	ค่าเฉลี่ย ความเข้มแสง (a.u.)	Standard Deviation	Uncertainty or Standard Error of Mean
2.55	0.14	0.144	0.127400	0.056970
	0.16			
	0.15			
	0.14			
	0.13			

4.4 การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง

4.4.1 เวลาที่รูปใช้ในการเผาไหม้

จากขนาดรูป 20 เซนติเมตรนำมาทำการจุดโดยแบ่งเป็นช่วงๆ ช่วงละ 2 เซนติเมตร จะได้เวลาในการเผาไหม้ของรูปค่อยๆลดลง เวลาในการเผาไหม้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูปที่ลด คือรูปลดลง ปริมาณ 2 เซนติเมตร เวลาที่เผาไหม้เป็น 2 นาที และเพิ่มขึ้นจนเผาไหม้หมดจะได้เวลาในการเผาไหม้ เป็น 20 นาที

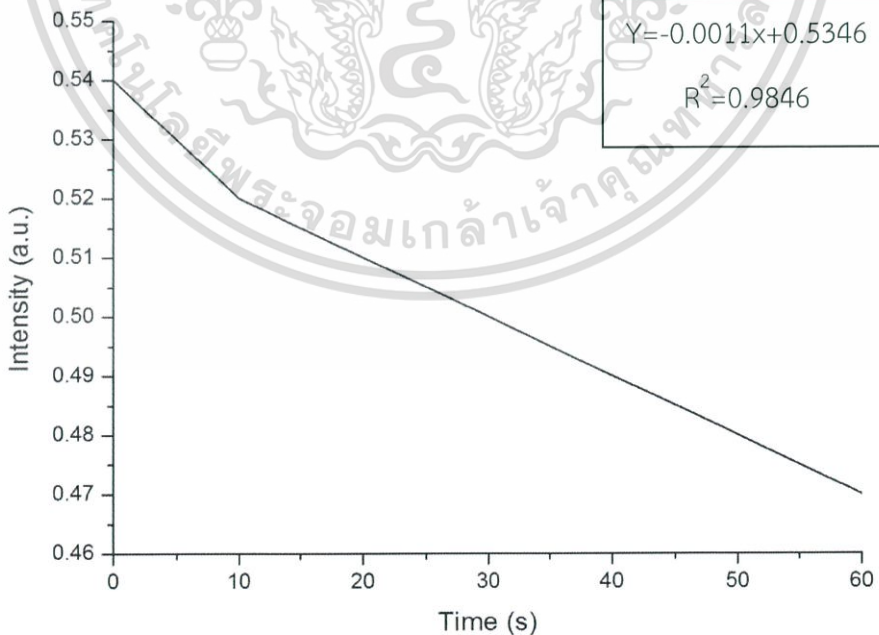


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่รูปลดลงกับเวลา

4.4.2 การตรวจวัดฝุ่นละอองจากควันรูป

ในการตรวจวัดฝุ่นละอองนั้นได้ใช้ ควีนของรูปจำนวน 10 ดอก แทนปริมาณฝุ่นละอองที่ใช้ในการวัด การวัดปริมาณฝุ่นละอองจะวัดโดยเทียบกับเวลาของฝุ่นที่ปล่อยเข้าไปในกล่องกับค่าความเข้มแสงที่ได้

4.4.2.1 ปริมาณฝุ่นละออง 1 นาที

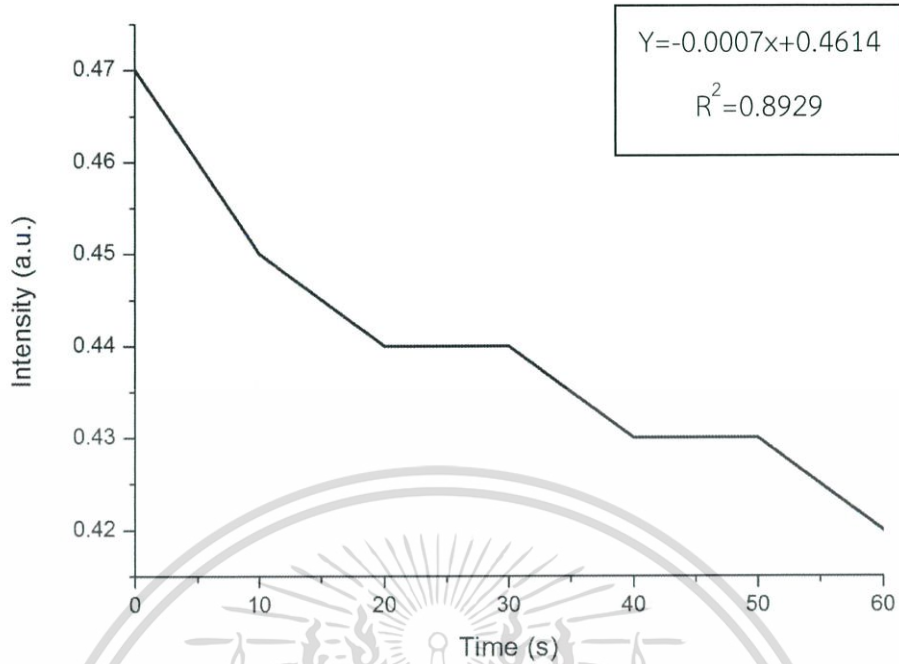


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 1 นาที)

ในปริมาณฝุ่นละออง 1 นาที จะสามารถวัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนได้ 0.54 มิลลิวัตต์

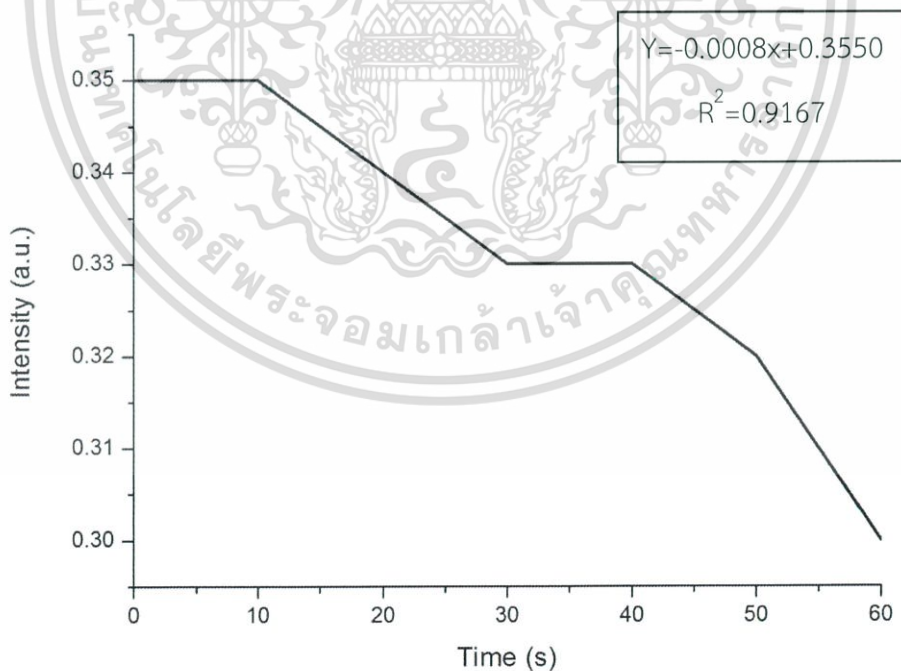
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการวิจัย ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2 ปริมาณฝุ่นละออง 3 นาที



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 3 นาที)
ในปริมาณฝุ่นละออง 3 นาที จะสามารถวัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนได้ 0.47 มิลลิโวลต์

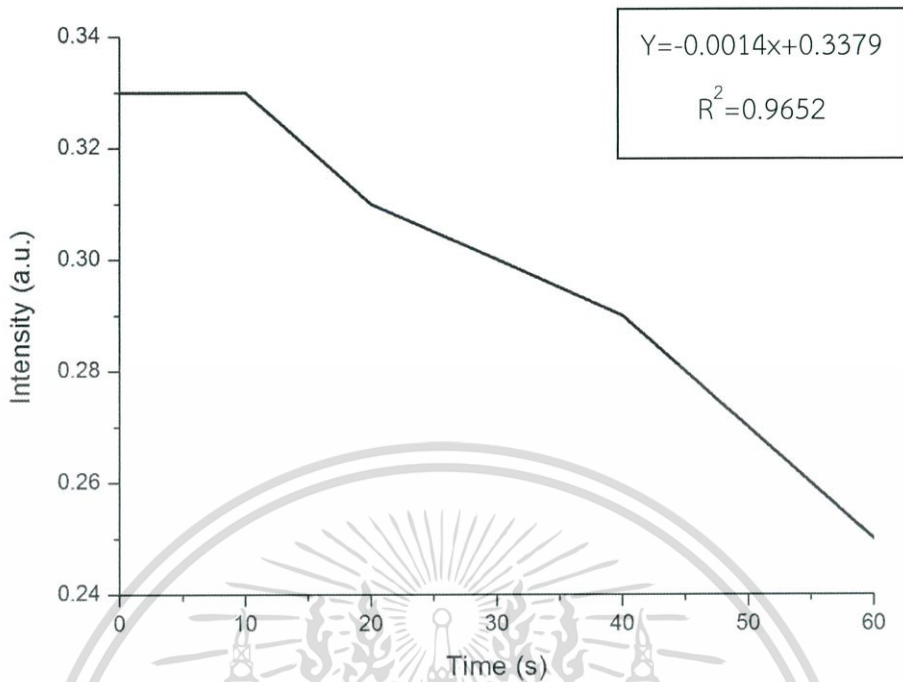
4.4.2.3 ปริมาณฝุ่นละออง 5 นาที



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 5 นาที)
ในปริมาณฝุ่นละออง 5 นาที จะสามารถวัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนได้ 0.35 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.4 ปริมาณฝุ่นละออง 7 นาฬิกา



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา (ปริมาณฝุ่น 7 นาฬิกา)
ในปริมาณฝุ่นละออง 7 นาฬิกา จะสามารถวัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนได้ 0.33 มิลลิโวลต์

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 การหาค่าความเข้มแสงจากการสะท้อนแล้วนำมาคำนวณหาค่าความสูง และตอนที่ 2 การหาปริมาณฝุ่นละออง

ตอนที่ 1 เป็นการหาค่าความเข้มแสงจากการสะท้อนแล้วนำมาคำนวณหาความสูง จากผลการทดลองได้ทำการวัดค่าความเข้มแสงจากการสะท้อนในระดับความสูงที่แตกต่างกันโดยเพิ่มความสูงขึ้นเรื่อยๆ จะพบว่าที่ความสูงน้อยจะมีค่าความเข้มแสงจากการสะท้อนที่มาก และในระดับความสูงที่มากขึ้นค่าความเข้มแสงจะมีค่าน้อยซึ่งข้อมูลจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งเป็นไปตามสมการของโลดาร์ โดยในการทดลองจะแบ่งฉากรับออกเป็น 3 สี คือ สีขาว สีเทา และสีดำ จะได้ผลที่แตกต่างกันดังนี้

ฉากรับสีขาว ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะลดลงในรูปแบบของเอกซ์โพเนนเชียล นำมาหาสมการได้เป็น $y = 1.293e^{-0.405x}$ จากนั้นได้นำมาเปรียบเทียบกับสมการของโลดาร์ ได้สมการใหม่เป็น $V = 1.293e^{-0.405H}$ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความสูงจากการทดลอง ที่ ความเข้มแสง 0.45 มิลลิวัตต์ ค่าคำนวณหาค่าความสูงได้เป็น 3.3207 เมตร นำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าความสูงจริงจะมีค่าความผิดพลาด -30.2235 เปอร์เซ็นต์

ฉากรับสีเทา ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะลดลงในรูปแบบของเอกซ์โพเนนเชียล นำมาหาสมการได้เป็น $y = 0.5639e^{-0.362x}$ จากนั้นได้นำมาเปรียบเทียบกับสมการของโลดาร์ ได้สมการใหม่เป็น $V = 0.5639e^{-0.362H}$ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความสูงจากการทดลอง ที่ ความเข้มแสง 0.20 มิลลิวัตต์ ค่าคำนวณหาค่าความสูงได้เป็น 1.4730 เมตร นำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าความสูงจริงจะมีค่าความผิดพลาด -42.2350 เปอร์เซ็นต์

ฉากรับสีดำ ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะลดลงในรูปแบบของเอกซ์โพเนนเชียล นำมาหาสมการได้เป็น $y = 0.2654e^{-0.352x}$ จากนั้นได้นำมาเปรียบเทียบกับสมการของโลดาร์ ได้สมการใหม่เป็น $V = 0.2654e^{-0.352H}$ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความสูงจากการทดลอง ที่ ความเข้มแสง 0.14 มิลลิวัตต์ ค่าคำนวณหาค่าความสูงได้เป็น 0.8989 เมตร นำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าความสูงจริงจะมีค่าความผิดพลาด 64.7490 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณค่าความสูงของฉากรับที่มีสีแตกต่างกัน จะพบว่าสีขาวได้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด และสีดำมีค่าความผิดพลาดมากที่สุด ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถบอกได้ถึงสภาพอากาศที่เครื่องมือสามารถนำมาทำการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าความสูงและมีผลที่ผิดพลาดน้อยที่สุดคือ ในสภาพอากาศที่มีปริมาณของสิ่งรบกวนหรือฝุ่นละอองในอากาศที่น้อยผลที่คำนวณได้จะมีค่าน้อยเพราะเกิดจากแสงเดินทางไปกระทบฉากรับแล้วสะท้อนกลับมามีค่าการกระเจิงของแสงที่น้อยทำให้แสงสามารถสะท้อนกลับมาได้มากจึงสามารถคำนวณค่าความสูงเกิดความผิดพลาดน้อย แต่ถ้าหากในสภาพอากาศที่มีสิ่งรบกวนเยอะหรือปริมาณฝุ่นละอองในอากาศมากแสงที่เดินทางไปกระทบฉากรับจะเกิดการกระเจิงของแสงในฝุ่นละอองที่มีปริมาณมากทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยจึงทำให้การคำนวณค่าความสูงเกิดความผิดพลาดมาก

ตอนที่ 2 การวัดปริมาณฝุ่นละออง เนื่องจากการปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจะต้องใช้เครื่องวัดปริมาณฝุ่นละออง หรือเครื่อง PM10 แต่เครื่อง PM10 นั้นจะต้องวัดปริมาณฝุ่นในปริมาณมากๆ และเป็นเวลานาน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่สามารถตรวจวัดเทียบกับเครื่อง PM10 ได้ ในการทดลองนี้จึงได้วัดปริมาณฝุ่นเทียบกับเวลาในการปล่อยฝุ่นหรือควันเข้าไปในกล่อง โดยในการทดลองจะทำการปล่อยฝุ่นละอองหรือควันโดยแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา คือ 1 , 3 , 5 , 7 นาที ผลที่ได้มีความแตกต่างกัน ดังนี้

- ปริมาณฝุ่นละออง 1 นาที ได้ค่าความเข้มแสง 0.54 มิลลิโวลต์
- ปริมาณฝุ่นละออง 3 นาที ได้ค่าความเข้มแสง 0.47 มิลลิโวลต์
- ปริมาณฝุ่นละออง 5 นาที ได้ค่าความเข้มแสง 0.35 มิลลิโวลต์
- ปริมาณฝุ่นละออง 7 นาที ได้ค่าความเข้มแสง 0.33 มิลลิโวลต์

จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลอง ปริมาณฝุ่นละอองที่น้อยจะมีค่าความเข้มแสงที่มาก แต่ถ้าปริมาณฝุ่นละอองที่มากขึ้นค่าความเข้มแสงที่ได้จะน้อยลงตาม จากผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อแสงเดินทางไปกระทบกับฝุ่นละอองในอากาศจะเกิดการกระเจิงของแสงบริเวณที่มีฝุ่นละอองอยู่ ซึ่งในปริมาณฝุ่นที่มากจะเกิดการกระเจิงของแสงที่มากตามทำให้แสงที่สะท้อนกลับมาหาจากรับแสงมีค่าน้อย แต่ในปริมาณฝุ่นละอองที่น้อยจะเกิดการกระเจิงของแสงที่น้อยแสงที่สะท้อนกลับมาหาจากรับแสงจึงมีค่ามากตาม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองเกิดค่าความผิดพลาดของผลการทดลองเมื่อนำมาเทียบกับค่าจริง ซึ่งเปอร์เซ็นต์ที่ออกมามีค่ามาก เนื่องมาจาก

- การใช้กระดาษเป็นจานรับแสงจึงทำให้เกิดความคลาดของทรงกลมทำให้การสะท้อนของแสงเข้าดีเทคเตอร์ไม่ตรง
- การใช้เลเซอร์ที่มีกำลังของเลเซอร์น้อยทำให้การสะท้อนของแสงหรือระยะที่วัดได้มีระยะไม่มาก
- ขนาดของดีเทคเตอร์มีขนาดเล็กทำให้การรับแสงที่จะสะท้อนเข้ามามีการคลาดเคลื่อน
- ในการคำนวณหาค่าความสูงได้ทำการตัดตัวแปรออกไปบางส่วน เพราะ เป็นข้อจำกัดของเครื่องมือที่ไม่สามารถทำตามทฤษฎีได้ทั้งหมด

ในการทำการทดลองนั้น จะต้องทำการทดลองไม่เกิน 30 นาที เพราะจะทำให้เลเซอร์เกิดความร้อน ทำให้เกิดผลกระทบกับเลเซอร์และผลการทดลอง เพราะกำลังของเลเซอร์จะลดลง



เอกสารอ้างอิง

- [1] Masataka Shiobara , Masanori Yabuki . 2003 . A polar cloud analysis based on Micro-pulse Lidar measurements.
- [online]. Available : <http://www.sciencedirect.com/>
- [2] Allen Q , Howard Jr . 2003 . Estimation of Aerosol Concentration from Elastic Scattering LIDAR Data.
- [online]. Available : <http://www.sciencedirect.com/>
- [3] Li Hui , Liping Di . 2008 . LASER INTENSITY USED IN CLASSIFICATION OF LIDAR POINT CLOUD DATA.
- [online]. Available : <http://www.sciencedirect.com/>
- [4] David M. Winker : 2006 . The CALIPSO Mission and Initial Observations of Aerosols and Clouds from CALIOP.
- [online]. Available : <http://www.sciencedirect.com/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code MatLABs

สามารถคำนวณออกมาได้สองแบบ

แบบที่ 1 แก้มการให้อยู่ให้รูปของ $\ln()$

$$\ln\left(\frac{V}{C}\right) = -\alpha H - 2\ln(H)$$

จะสามารถเขียน Code MatLABs ได้เป็น

```
>> syms V C H L
```

```
>> solve (log(V/C) == (-L*H)-log(H^2),H)
```

```
ans = exp(-wrightOmega(log(L/2) + log(1/(V/C)^(1/2))))/(V/C)^(1/2)
```

```
>> H = exp(-wrightOmega(log(L/2) + log(1/(V/C)^(1/2))))/(V/C)^(1/2)
```

แบบที่ 2 แก้มการให้อยู่ในรูปของ $\exp()$

$$\frac{V}{C} = \frac{e^{-\alpha H}}{H^2}$$

จะสามารถเขียน Code MatLABs ได้เป็น

```
>> solve (V/C == (H^(-2))*exp(-L*H),H)
```

```
ans = (2*lambertw(0, (L*(C/V)^(1/2))/2))/L
```

```
(2*lambertw(0, -(L*(C/V)^(1/2))/2))/L
```

```
>> H = (2*lambertw(0, (L*(C/V)^(1/2))/2))/L
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

Lidar Investigation air pollution using laser diode

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการการทำงานของไลดาร์เบื้องต้น
2. ศึกษาหลักการสะท้อนของแสงเพื่อนำค่าการสะท้อนมาคำนวณหาค่าความสูง
3. ศึกษาการกระเจิงของแสงเพื่อวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ

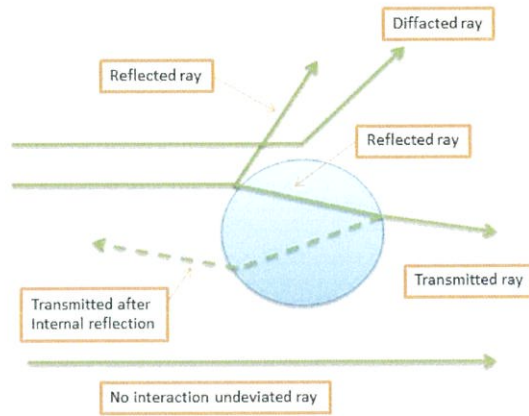


ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการกระเจิงแสง (Light Scattering Method)

การกระเจิงของแสง คือ ปรากฏการณ์ที่แสงกระจัดกระจายไปโดยรอบ เมื่อแสงเดินทางผ่านโมเลกุลต่าง ๆ ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพ โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อแสงตกกระทบบนอนุภาคจะทำให้เกิดปรากฏการเชิงแสงโดยจะประกอบด้วย การสะท้อนของแสง , การหักเหของแสง และการเลี้ยวเบนของแสง นอกจากนั้นยังเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง โอกาสที่ความถี่จะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับลักษณะการกระเจิงของแสง การประมาณการกระเจิงของแสงคำนึงถึงความเข้มแสง ความยาวคลื่นและทิศทางของแสงอีกด้วย

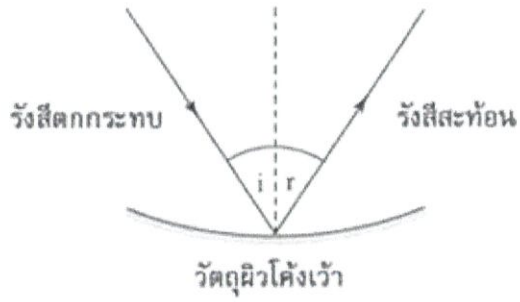
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



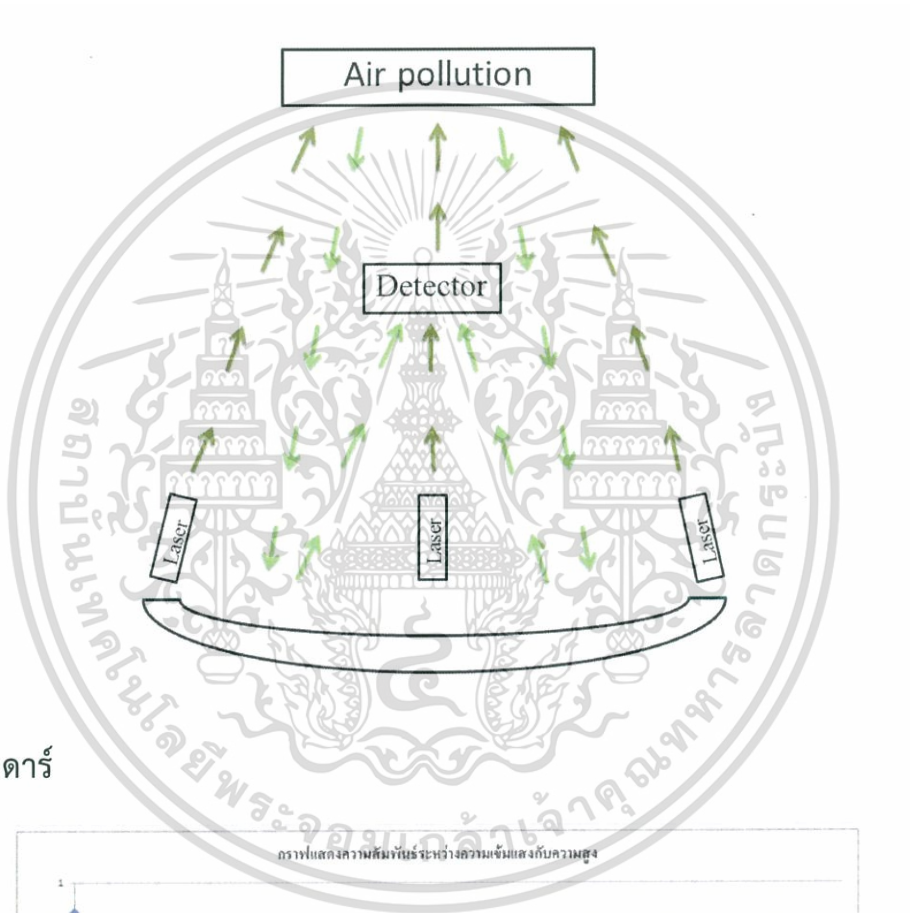
การสะท้อนแสง (Light reflection Method)

เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มควันหรือฝุ่นละออง จะเห็นเป็นลำแสงเส้นตรง และสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ วัตถุที่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านเป็นเส้นตรงไปได้นั้น เราเรียกว่าวัตถุโปร่งใสเช่น แก้ว อากาศ น้ำ เป็นต้น ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านวัตถุบางชนิดแล้วเกิดการกระจายของแสงออกไปโดยรอบ ทำให้แสงเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรง เราเรียกว่าวัตถุนั้นว่า วัตถุโปร่งแสง เช่น กระจกฝ้า กระจกฝ้าไข พลาสติกฝ้า เป็นต้น ส่วนวัตถุที่ไม่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านไปได้ เราเรียกว่า วัตถุทึบแสง เช่น ผนังคอนกรีต กระจกแข็งหนาๆ เป็นต้น วัตถุทึบแสงจะสะท้อนแสงบางส่วนและดูดกลืนแสงบางส่วนไว้ทำให้เกิดเงาขึ้น การสะท้อนของแสง (Reflection) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นค่าหนึ่งมายังตัวกลางที่มีความหนาแน่นอีกตัวหนึ่ง ทำให้แสงตกกระทบกับตัวกลางใหม่ แล้วสะท้อนกลับสู่ตัวเดิม เช่น การสะท้อนของแสงจากอากาศกับผิวหน้าของกระจกเงาจะเกิดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้าของกระจกเงาราบแล้วกลับสู่อากาศดังเดิม เมื่อแสงตกกระทบกับผิวหน้าของตัวกลางใดๆ ปริมาณและทิศทางของการสะท้อนของแสง จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพื้นผิวหน้าของตัวกลางที่ตกกระทบ จากรูป เมื่อลำแสงขนานตกกระทบพื้นผิวหน้าวัตถุที่เรียบ แสงจะสะท้อนเป็นลำแสงขนานเหมือนกับลำแสงที่ตกกระทบ การสะท้อนบนพื้นผิวหน้าที่เรียบ โดยเรียกว่า การสะท้อนแบบสม่ำเสมอ การสะท้อนของแสงเมื่อตกกระทบพื้นผิววัตถุที่เรียบ เกิดขึ้นเมื่อลำแสงตกกระทบไปยังพื้นกระจกหรือพื้นผิวที่ขรุขระจะส่งผลให้แสงสะท้อนกลับไปคนละทิศละทาง

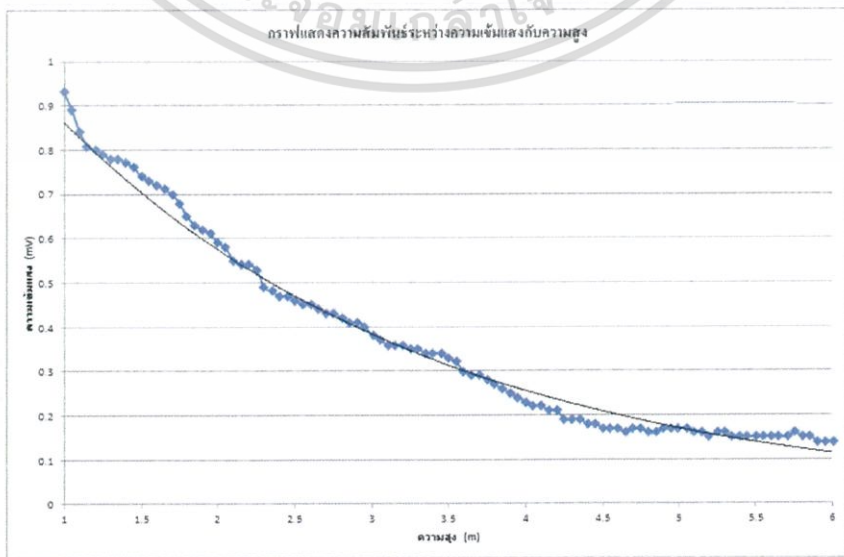
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระบบของชุดการทดลอง



สมการโลตารี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองจะมีการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎีของสมการโลดาร์ จากกราฟผลการทดลองจะสามารถหาสมการเอกซ์โพเนนเชียล ได้เป็น

$$y = Ce^{-\alpha x} \quad (1)$$

$$V = Ce^{-\alpha H} \quad (2)$$

จาก Single – Scatter Lidar Equation

$$P(H) = E \frac{c}{2} \frac{A}{H^2} \beta T_{opt} Ce^{-\alpha H} \quad (3)$$

เมื่อ	P(H)	คือ กำลังของแสงที่กระเจิงกลับที่สัมพันธ์กับความสูง มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
	E	คือ พลังงานของเลเซอร์ มีหน่วยเป็น จูล (J)
	c	คือ ความเร็วแสง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
	A	คือ พื้นที่ของมุมมองรับแสงหรือField of view(FOV)มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m ²)
	H	คือ ความสูง มีหน่วยเป็น เมตร (m)
	β	คือ ภาคตัดขวางอนุภาคต่อปริมาตร มีหน่วยเป็น (sr·m ⁻¹)
	T_{opt}	คือ Transmission of Lidar optics
	α	คือ สัมประสิทธิ์ของการลดทอนแสง
	C	คือ ค่าคงที่ของเปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ลดลงที่ความสูงต่างๆ ได้จากการทดลอง

เทียบสมการ (2) กับ (3) แต่เนื่องจากในการทดลองไม่ได้ใช้ Power ในการวัดการสะท้อนของแสง แต่ใช้เพียง ค่าความเข้มแสงในการทดลองเพียงอย่างเดียว

$$P(H) = E \frac{c}{2} \frac{A}{H^2} \beta T_{opt} Ce^{-\alpha H} \quad (3)$$

$$V = Ce^{-\alpha H} \quad (2)$$

ดังนั้น จึงใช้เพียงสมการที่ได้จากกราฟมาใช้ในการคำนวณเพราะในการทดลองใช้เพียงค่าความเข้มแสงในการตรวจสอบ

$$V(R) = \frac{C}{H^2} e^{-\alpha H} \quad (4)$$

วิธีการทดลอง

ในการทดลองจะต้องทำในห้องมืดและไม่มีแสงการรบกวนจากแสงอื่น

ตอนที่ 1 ศึกษาการสะท้อนของแสงเพื่อคำนวณหาค่าความสูง โดยฉากในการรับแสงจะแบ่งออกเป็น 3 สี คือ สีขาว สีเทา และสีดำ

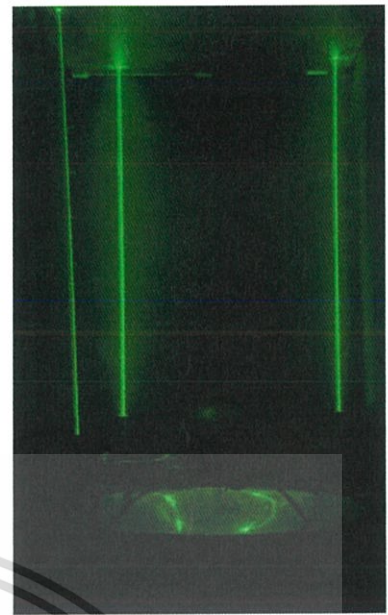
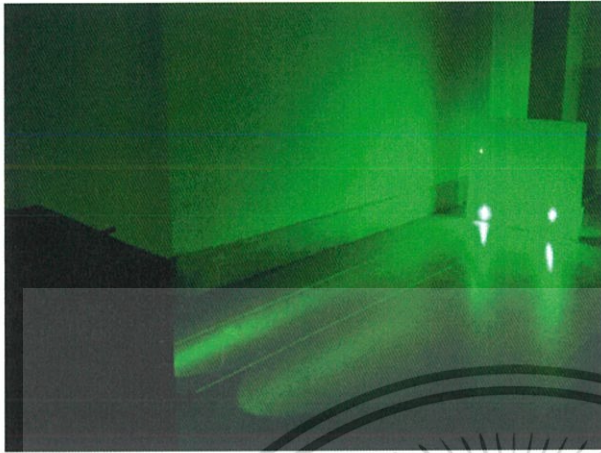
1. จัดลำแสงเลเซอร์ให้ตั้งฉากกับฐานตั้ง
2. ยิงเลเซอร์ไปที่ฉากรับโดยเพิ่มระยะขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระยะที่กำหนดขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดลอง จะกำหนด
3. นำค่าการสะท้อนที่วัดได้มาเขียนกราฟเพื่อหาสมการการทดลองที่ได้จากกราฟ
4. หาค่าความสูงจากสมการที่ได้จากกราฟ
5. หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากค่าความสูงจริง
6. เปลี่ยนสีฉากรับและทำการทดลอง ตามข้อ 1 - 5

ตอนที่ 2 ศึกษาการกระเจิงของแสงเพื่อหาปริมาณของฝุ่นละออง

1. ปลดอควันหรือฝุ่นละอองเข้าในกล่องที่เป็นพื้นที่ปิดซึ่งปริมาณของฝุ่นละอองหรือควันจะขึ้นอยู่กัเวลาที่ปล่อยเข้าไปตามที่กำหนดขึ้นอยู่กับผู้ทดลอง
2. อ่านค่าการสะท้อนที่ได้จากการสะท้อนกลับมาของแสง
3. วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้เพื่อปริมาณจากการสะท้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คำถามท้ายการทดลอง

1. Lidar ย่อมาจากคำว่าอะไร
2. Lidar คืออะไร
3. Lidar มีหลักการทำงานอย่างไร

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การคำนวณหาค่าความสูง

ความสูง	ค่าความเข้มแสง			ค่าเฉลี่ย
	ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	

ตอนที่ 2 วัดค่าปริมาณฝุ่นละออง

ปริมาณฝุ่นละออง	ค่าความเข้มแสง			
	10 วินาที	20 วินาที	30 วินาที	40 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

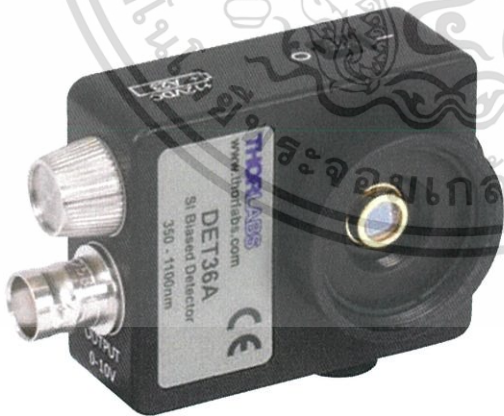


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THORLABS

DET36A Si Biased Detector

User Guide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 1 Warning Symbol Definitions

Below is a list of warning symbols you may encounter in this manual or on your device.

Symbol	Description
	Direct Current
	Alternating Current
	Both Direct and Alternating Current
	Earth Ground Terminal
	Protective Conductor Terminal
	Frame or chassis Terminal
	Equipotentiality
	On (Supply)
	Off (Supply)
	In Position of a Bi-Stable Push Control
	Out Position of a Bi-Stable Push Control
	Caution, Risk of Electric Shock
	Caution, Hot Surface
	Caution, Risk of Danger
	Warning, Laser Radiation
	Caution, Spinning Blades May Cause Harm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 4 Operation

4.1. Theory of Operation

A junction photodiode is an intrinsic device which behaves similarly to an ordinary signal diode, but it generates a photocurrent when light is absorbed in the depleted region of the junction semiconductor. A photodiode is a fast, highly linear device that exhibits high quantum efficiency based upon the application and may be used in a variety of different applications.

It is necessary to be able to correctly determine the level of the output current to expect and the responsivity based upon the incident light. Depicted in Figure 1 is a junction photodiode model with basic discrete components to help visualize the main characteristics and gain a better understanding of the operation of Thorlabs' photodiodes.

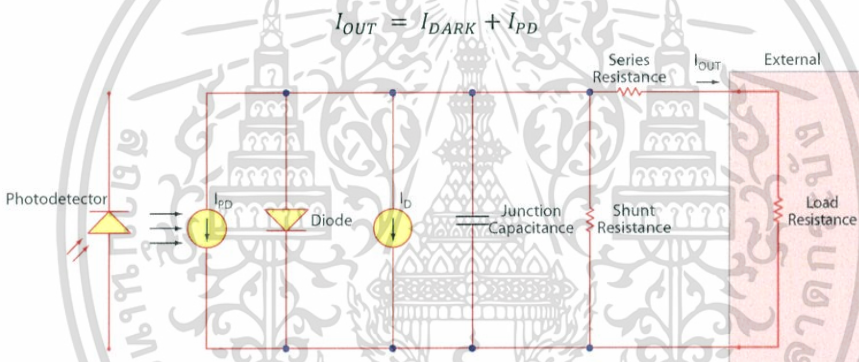


Figure 1 Photodiode Model

4.2. Responsivity

The responsivity of a photodiode can be defined as a ratio of generated photocurrent (I_{PD}) to the incident light power (P) at a given wavelength:

$$R(\lambda) = \frac{I_{PD}}{P}$$

4.3. Modes of Operation

A photodiode can be operated in one of two modes: photoconductive (reverse bias) or photovoltaic (zero-bias). Mode selection depends upon the applications speed requirements and the amount of tolerable dark current (leakage current).

The table below gives some advantages to each common type of detector material.

Material	Dark Current	Speed	Sensitivity ¹ (nm)	Cost
Silicon (Si)	Low	High	400 – 1000	Low
Germanium (Ge)	High	Low	900 – 1600	Low
Gallium Phosphide (GaP)	Low	High	150 – 550	Med
Indium Gallium Arsenide (InGaAs)	Low	High	800 – 1800	Med
Extended Range: Indium Gallium Arsenide (InGaAs)	High	High	1200 – 2600	High

4.5. Junction Capacitance

Junction capacitance (C_j) is an important property of a photodiode as this can have a profound impact on the bandwidth and the response of a photodiode. It should be noted that larger diode areas encompass a greater junction volume with increased charge capacity. In a reverse bias application, the depletion width of the junction is increased, thus effectively reducing the junction capacitance and increasing the response speed.

4.6. Bandwidth and Response

A load resistor will react with the photodetector junction capacitance to limit the bandwidth. For best frequency response, a 50Ω terminator should be used in conjunction with a 50Ω coaxial cable. The bandwidth (f_{BW}) and the rise time response (t_r) can be approximated using the junction capacitance and the load resistance (R_{LOAD}):

$$f_{BW} = \frac{1}{(2\pi R_{LOAD} \times C_j)}$$

$$t_r = \frac{0.35}{f_{BW}}$$

¹ Approximate values, actual wavelength values will vary from unit to unit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 5 Common Operating Circuits

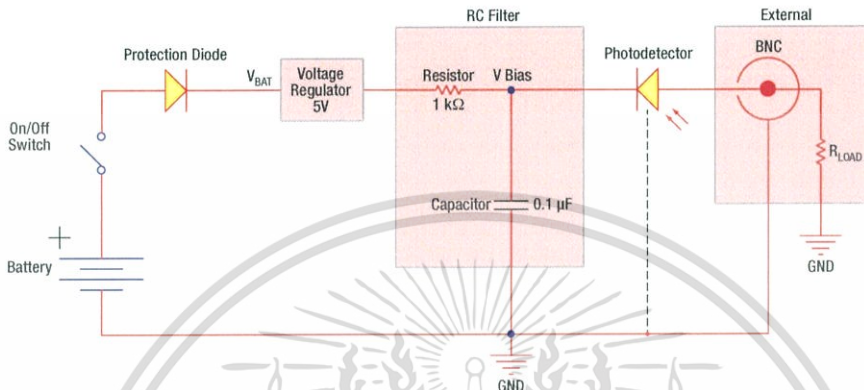


Figure 2 Basic DET Circuit

The DET Series Detectors are designed according to the circuit depicted above. The detector is reverse biased to produce a linear response with applied input light. The photocurrent generated is based upon the incident light and wavelength and can be viewed on the oscilloscope by attaching a load resistance on the output. The function of the RC Filter is to filter any high frequency noise from the input supply which may contribute to a noisy output.

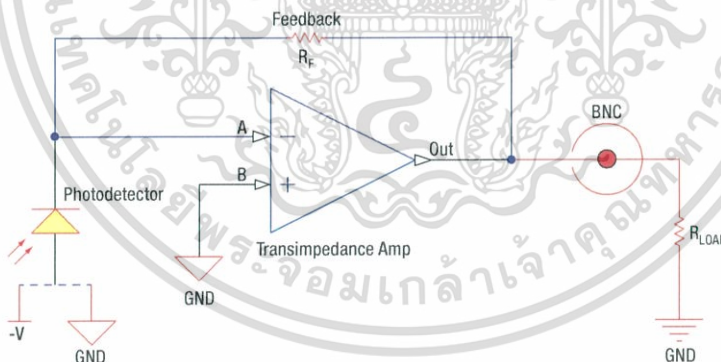


Figure 3 Amplified Detector

Chapter 6 Troubleshooting

Problem	Suggested Solutions
There is no signal response.	Verify that the power is switched on and all connections are secure.
	Verify the proper terminating resistor is installed if using a Voltage measurement device.
	Verify that the optical signal wavelength is within the specified wavelength range.
	Verify that the optical signal is illuminating the detector active area.
	Connect the DET to an oscilloscope without a terminating resistor installed. Most general purpose oscilloscopes will have a 10 M Ω input impedance. Point the detector toward a fluorescent light and verify that a 60 Hz (50 Hz outside the US) signal appears on the scope. If so the device should be operating properly and the problem may be with the light source or alignment.
There is an AC signal present when the unit is turned off.	The detector has an AC path to ground even with the switch in the OFF position. It is normal to see an output response to an AC signal with the switch in this state. However, because the detector is unbiased, operation in this mode is not recommended.
The output appears AC coupled with long rise times and the power switch ON.	This is usually an indication that the battery level is low and needs to be changed. See the Battery Check and Replacement Section.

Chapter 7 Specifications

All measurements performed with a 50 Ω load unless stated otherwise.

Electrical Specifications		
Detector		InGaAs PIN
Active Area		3.6 x 3.6 mm (13 mm ²)
Wavelength Range	λ	350 to 1100 nm
Peak Wavelength	λ_p	970 nm
Peak Response ²	$\mathfrak{R}(\lambda_p)$	0.65 A/W
Shunt Resistance	R_{sh}	1 G Ω
Diode Capacitance	C_J	40 pF
Rise Time ^{2,3}	t_r	14 ns
NEP (λ_p)		1.6×10^{-14} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Bias Voltage	V_R	10 V
Dark Current ² (with 1 M Ω Load)	I_D	0.35 nA
Output Voltage	V_{OUT}	0 to 10 V
General		
On/Off Switch		Slide
Battery Check Switch		Momentary Pushbutton
Output		BNC (DC Coupled)
Package Size		2.8" x 1.9" x 0.83" (70 mm x 48 mm x 21 mm)
PD Surface Depth		0.13" (3.4 mm)
Weight		0.2 kg
Accessories		SM1T1 Coupler SM1RR Retainer Ring
Storage Temp		-20 to 70 °C
Operating Temp		10 to 50 °C
Battery		A23, 12 V _{DC} , 40 mAh
Low Battery Voltage ⁴		(See Battery Check)
V_{OUT} (Hi-Z)		~9 V
V_{OUT} (50 Ω)		~400 mV

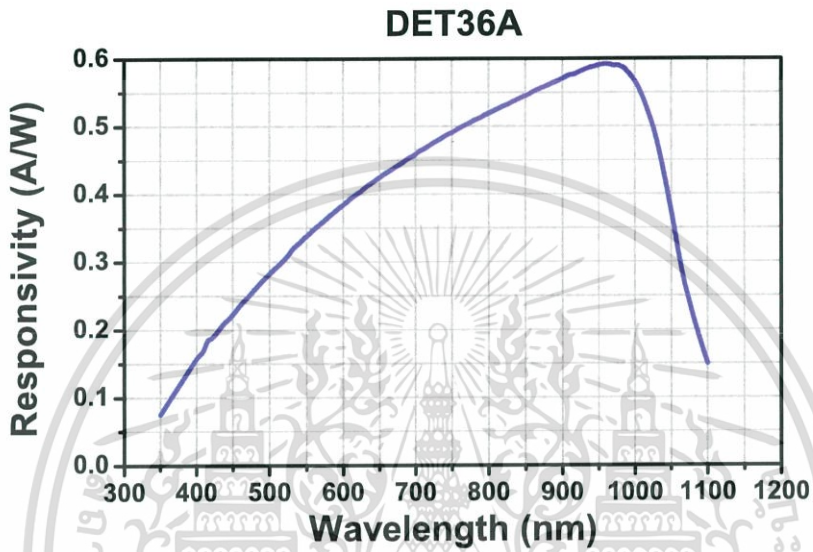
² Measured with specified bias voltage of 5.0 V

³ Low battery voltage will result in slower rise times and decreased bandwidth.

⁴ Assumes the battery voltage drops below 9.6 V. The reverse protection diode generates a 0.6 V drop.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

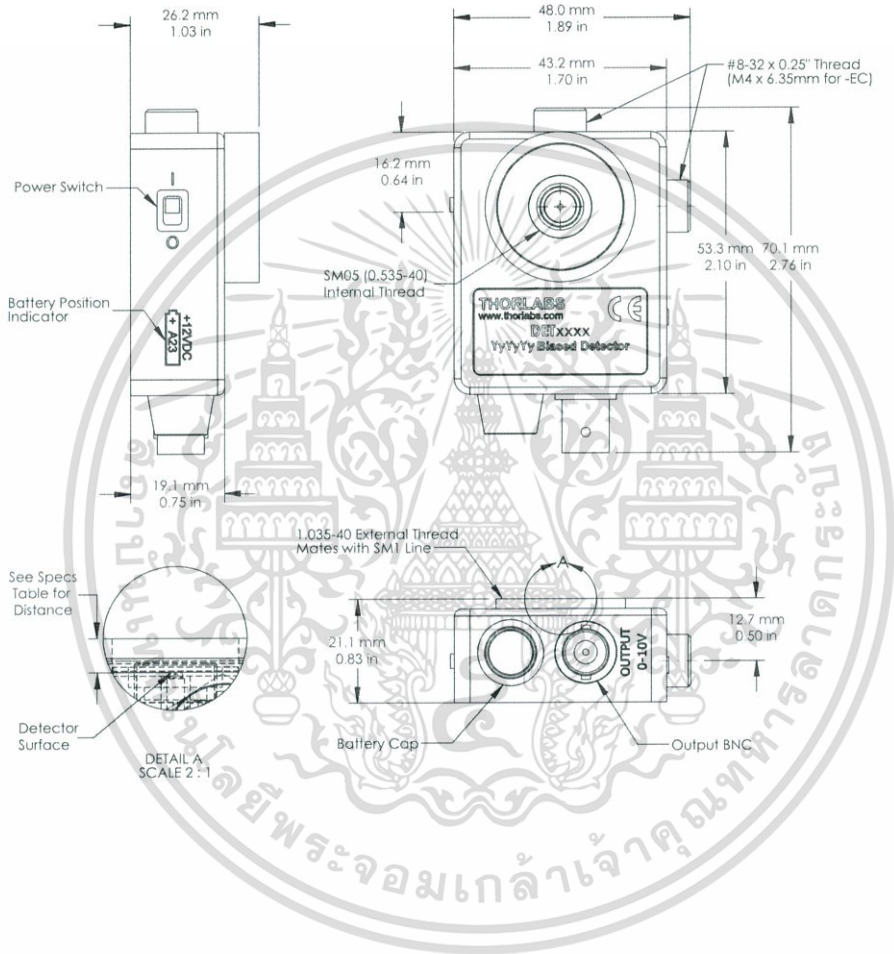
7.1. Response Curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2. Mechanical Drawing

Visit the web for a more detailed mechanical drawing.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 10 Thorlabs Worldwide Contacts

USA, Canada, and South America

Thorlabs, Inc.
56 Sparta Avenue
Newton, NJ 07860
USA
Tel: 973-300-3000
Fax: 973-300-3600
www.thorlabs.com
www.thorlabs.us (West Coast)
Email: sales@thorlabs.com
Support: techsupport@thorlabs.com

Europe

Thorlabs GmbH
Hans-Böckler-Str. 6
85221 Dachau
Germany
Tel: +49-(0)8131-5956-0
Fax: +49-(0)8131-5956-99
www.thorlabs.de
Email: europe@thorlabs.com

UK and Ireland

Thorlabs Ltd.
1 Saint Thomas Place, Ely
Cambridgeshire CB7 4EX
Great Britain
Tel: +44 (0)1353-654440
Fax: +44 (0)1353-654444
www.thorlabs.com
Email: sales.uk@thorlabs.com
Support: techsupport.uk@thorlabs.com

France

Thorlabs SAS
109, rue des Côtes
78600 Maisons-Laffite
France
Tel: +33 (0) 970 444 844
Fax: +33 (0) 825 744 800
www.thorlabs.com
Email: sales.fr@thorlabs.com

Scandinavia

Thorlabs Sweden AB
Möndalsvägen 3
412 63 Göteborg
Sweden
Tel: +46-31-733-30-00
Fax: +46-31-703-40-45
www.thorlabs.com
Email: scandinavia@thorlabs.com

Japan

Thorlabs Japan, Inc.
Higashi-Ikebukuro Q Building 1F
2-23-2, Higashi-Ikebukuro,
Toshima-ku, Tokyo 170-0013
Japan
Tel: +81-3-5979-8889
Fax: +81-3-5979-7285
www.thorlabs.jp
Email: sales@thorlabs.jp

China

Thorlabs China
Room A101, No. 100
Lane 2891, South Qilianshan Road
Putuo District
Shanghai
China
Tel: +86 (0) 21-60561122
Fax: +86 (0)21-32513480
www.thorlabs.hk
Email: chinasales@thorlabs.com