

การศึกษาการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่ล่วงล้ำโดยใช้
เทคนิคแสงอินฟราเรดใกล้

A STUDY ON NON-INVASIVE BLOOD GLUCOSE SENSING
USING NEAR -INFRARED TECHNIQUE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่ล่วงล้ำโดยใช้
เทคนิคแสงอินฟราเรดใกล้

A STUDY ON NON-INVASIVE BLOOD GLUCOSE SENSING
USING NEAR -INFRARED TECHNIQUE



T148965



เลขหมู่.....**148965**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**1๕ S.A. 255๖**

b. 12878440
f.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ปีการศึกษา 2558** นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON NON-INVASIVE BLOOD GLUCOSE SENSING
USING NEAR -INFRARED TECHNIQUE



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

DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ACADEMIC YEAR 2015** มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่ล่วงล้ำโดยใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดใกล้
 A Study on Non-invasive Blood Glucose Sensing using Near-infrared Technique

ชื่อนักศึกษา นายกฤษณะ โพธิ์สุวรรณ รหัสนักศึกษา 55051446
 นายปิยะชัย มาหลิน รหัสนักศึกษา 55051552
 นายภูกรินทร์ ทองเกลี้ยง รหัสนักศึกษา 55051586

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
อ.ภูมินทร์ จินดาจิราวัฒน์ กรรมการ	
ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก กรรมการ	
รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกรานโดยใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดใกล้ A Study on Non-invasive Blood Glucose Sensing using Near-infrared Technique	
ชื่อนักศึกษา	นายฤกษ์ โพธิ์สุวรรณ	รหัสนักศึกษา 55051446
	นายปิยะชัย มาหลิน	รหัสนักศึกษา 55051552
	นายภูกรินทร์ ทองเกลี้ยง	รหัสนักศึกษา 55051586
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยต่อเนื่องของห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม ในโครงการพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณน้ำตาลในเลือดแบบไม่รุกรานอาศัยสมบัติการดูดกลืนแสงของโมเลกุลกลูโคสในย่านอินฟราเรดใกล้ ได้ใช้ข้อมูลการตอบสนองต่อแต่ละค่าความยาวคลื่นของโมโนโครเมเตอร์แบบเกรตติ้งและหัววัดแสงในการทดลองระบุสมบัติสเปกตรัมการปล่อยแสงของแหล่งกำเนิดคือ 1 หลอดทั้งสแตนเลส, แอลอีดีที่ต่างกัน 4 หลอด และ 1 เลเซอร์ไดโอด จากนั้นทำการวัดผลการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของกลูโคสในสารละลายของน้ำต่อสัญญาณการดูดกลืนแสงของหัววัด โดยได้ทำการขยายก่อนแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ทำการเก็บค่า และ ทำการเฉลี่ย มีการใช้โมโนโครเมเตอร์เฉพาะกรณีการทดลองซึ่งใช้หลอดทั้งสแตนเลสเพื่อวัดผลสเปกตรัมช่วงกว้าง ผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า แม้แต่กรณีของการใช้เลเซอร์ไดโอดซึ่งให้ผลการตอบสนองสูงสุด ก็สามารถใช้ระบุความเข้มข้นของกลูโคสได้เพียงที่ความละเอียดของการแยกแยะที่ 100 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรเท่านั้น การปรับให้มีค่าดีขึ้นเป็นระดับ 10 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรจำเป็นต้องใช้เทคนิคการขยายผลต่างระหว่างกรณีสัญญาณที่ขึ้นกับปริมาณกลูโคส กับ สัญญาณอ้างอิงที่ได้จากกรณีน้ำบริสุทธิ์

คำสำคัญ : น้ำตาลกลูโคส, เนียร์-อินฟราเรด, แบบไม่รุกราน, สเปกตรัม, การดูดกลืนแสง, การขยายผลต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A Study on Non-invasive Blood Glucose Sensing using Near-infrared Technique	
Students	Mr. Kritsana Phosawan	Student ID 55051446
	Mr. Piyachai Malin	Student ID 55051552
	Mr. Pukarin Tongkliang	Student ID 55051586
Degree	Bachelor of science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Assoc.Prof. Anupong Songprapa	

Abstract

This special project was part of an ongoing research of research of Medical and Environmental Equipment Research Lab (MERL) to develop non-invasive (NIR) absorption property of glucose molecules. The known spectral response of grating-type monochromator and detector were used to experimentally characterized the emission spectrums of 6 selected light sources : 1 tungsten lamp , 4 different NIR-LEDs and 1 NIR-Laser diode concentration of water – based glucose solution was varied while carrying out 6 absorption experiments correspond to each light source activation and then the amplified detector signals have been digitized averaged and recorded. Monochromator was used only in the case of tungsten lamp to obtain wideband spectrum. The results showed that even the most concentration-sensitive set up of laser diode activation , the resolution was only 100 mg/dL. To enhance to the level of 10 mg/dL, differential technique has to be used by amplifying the different between the glucose concentration dependent signal concentration dependent signal compare with the reference one of pure water case.

Keyword : Glucose, Near-infrared, Non-invasive, Spectrum, Absorption, differential amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ รศ.อนุพงศ์ สรงประภาที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิดและให้ความช่วยเหลือแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษและขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงการพิเศษคือ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ และดร.ภาณุพล โขลนกระโทก ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ดูแลเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความรู้และการสนับสนุนทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง รวมไปถึงให้การช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้กรุณามอบความรู้ให้แก่ผู้จัดทำ ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยในโครงการพิเศษฉบับนี้ได้จนเป็นผลสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กฤษณะ โพธิ์สุวรรณค์
ปิยะชัย มาหลิน
ภูรินทร์ ทองเกลี้ยง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 น้ำตาล	5
2.2 กลูโคส	6
2.2.1 การผลิตน้ำตาลกลูโคสในสิ่งมีชีวิต	7
2.3 โรคเบาหวาน	7
2.3.1 เบาหวานประเภทที่ 1	7
2.3.2 เบาหวานประเภทที่ 2	8
2.3.3 เบาหวานชนิดอื่นๆ	8
2.4 การวินิจฉัยโรคเบาหวานในโรงพยาบาล	10
2.4.1 การวินิจฉัยโรคเบาหวานและการตรวจทางห้องปฏิบัติการ	10
2.4.2 การเก็บตัวอย่างส่งตรวจ สำหรับการตรวจวิเคราะห์น้ำตาลกลูโคส ในร่างกาย	10
2.4.3 การติดตามการรักษา	11
2.5 การตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดแบบรูก้ำโดยการเจาะเลือด	12
2.5.1 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดโดยใช้แถบเปลี่ยนสี	12
2.5.2 เครื่องวัดน้ำตาลกลูโคสโดยการอ่านการสะท้อน	13
2.5.3 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดแบบเจาะเลือดอัตโนมัติ	13
2.5.4 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดโดยใช้ไบโอเซนเซอร์	13
2.6 การตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดแบบไม่รูก้ำหรือแบบไม่เจาะเลือด	15
2.6.1 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิคทางแสง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6.2 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิค Microwave Glucose Sensor	16
2.6.3 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิค Photoacoustic Technology	16
2.6.4 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสด้วยตนเอง GlucoWatch	17
2.6.5 เครื่องตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด กลูโคแทรก	17
2.7 ธรรมชาติของแสง	18
2.7.1 เนียร์อินฟราเรด	20
2.7.2 มิดเดิ้ลอินฟราเรด	20
2.7.3 ฟาร์อินฟราเรด	20
2.8 กฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต (Beer - Lambert's Law)	20
2.8.1 ขอบเขตที่เหมาะสมของความยาวคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด	22
2.9 แหล่งกำเนิดแสง	24
2.9.1 หลอดทังสเตน	24
2.9.2 แสงเลเซอร์	25
2.9.3 เลเซอร์ไดโอด(LED)	28
2.9.4 หลอด LED	31
2.10 โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)	32
2.11 ตัวกรองสัญญาณทางแสง(Optical Filter)	33
2.12 ตัวตรวจจับสัญญาณทางแสง (Photodetector)	34
2.13 ออปแอมป์ (Operational Amplifiers)	35
2.14 ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter)	43
2.15. Controller Arduino	44
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	45
3.1 การออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณและการเก็บผล	46
3.1.1. ออกแบบวงจรขยายแบบกลับเฟสมีกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อ แอมป์	46
3.1.2. ออกแบบวงจรวัดค่าสัญญาณความเข้มแสงและขยายผลต่างของ สัญญาณมีอัตราขยาย 201,000 โวลต์ต่อแอมป์	48
3.1.3. ออกแบบวงจรแบ่งแรงดันเพื่อใช้ในการเก็บค่าสำหรับ Arduino	49

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.1.4 การเขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถเก็บผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Arduino มีอุปกรณ์ดังนี้	50
3.1.5 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ดออดีร์โน	51
3.2 การปรับเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง	53
3.2.1 อุปกรณ์ในการทดลองการปรับเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง	53
3.2.2 วิธีการดำเนินการทดลองการปรับเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง	56
3.3 การวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้	57
3.3.1 อุปกรณ์การทดลองการวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้	57
3.3.2 การทดลองวัดสเปกตรัมการปล่อยแสงของแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอด	58
3.4 การทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส	59
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส	59
3.4.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส	60
3.4.3 ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส	61
3.4.3.1 การทดลองหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดทั้งสแตน	61
3.4.3.2 การทดลองหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้และเลเซอร์ไดโอด	63
3.5 การทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง	64
3.5.1 อุปกรณ์การทดลองโดยใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง	64

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5.2 ขั้นตอนการทดลองโดยใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง	65
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	67
4.1 ผลการทดสอบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ดออดีร์โน	67
4.2 ผลทดลองการปรับเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง	69
4.3 ผลการทดลองการวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้	70
4.3.1 ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm	70
4.3.2 ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1300 nm	71
4.3.3 ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm	71
4.3.4 ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1720 nm	72
4.3.5 ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm	72
4.4 ผลทดลองการทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส	73
4.4.1 ผลการทดลองตอนที่ 1 หาค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสโดยใช้วิธีการ 3.4.3.1	73
4.4.2 ผลการทดลองตอนที่ 2 หาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสโดยใช้วิธีการทดลอง 3.4.3.2	74
4.5 ผลการทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง	80
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการทดลอง	82
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	82
5.3 ข้อเสนอแนะ	83
อ้างอิง	
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
บทที่ 1	
ตารางที่ 1.1	3
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1	12
ตารางที่ 2.2	24
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.1	67
ตารางที่ 4.2	75
ตารางที่ 4.3	76
ตารางที่ 4.4	77
ตารางที่ 4.5	78
ตารางที่ 4.6	69
ตารางที่ 4.7	80

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
บทที่ 2	
2.1 ผลึกน้ำตาล	6
2.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของกลูโคส	6
2.3 ส่วนประกอบของอวัยวะตับอ่อน	9
2.4 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด “เฟลิแกนชัน”	13
2.5 แสดงกระบวนการที่ขั้วไฟฟ้ากลูโคสเซนเซอร์	14
2.6 เครื่องทดสอบด้วยตนเองพร้อมแผ่นทดสอบโดยใช้หลักการไบโอเซนเซอร์	14
2.7 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดโดยใช้เทคนิค Occlusion Spectroscopy	15
2.8 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยเทคนิค Microwave	16
2.9 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยเทคนิคโฟโต้ครุสติก	16
2.10 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยเทคนิคไบโอเซนเซอร์	17
2.11 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยการใช้เทคนิคคลื่นความร้อน, คลื่นแม่เหล็กและคลื่นอัลตราซาวด์	18
2.12 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	18
2.13 แสดงค่าพลังงานความถี่และความยาวคลื่นของแสงในย่านต่างๆ	19
2.14 ไดอะแกรมของ Beer-Lambert’s Law	21
2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนกับความหนาของตัวกลาง	21
2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนกับความเข้มข้นของสารละลาย	21
2.17 a). จากสเปกตรัมเลือดทั้งหมด 98 ตัวอย่าง และสเปกตรัมน้ำเกลือ	22
b). จากสเปกตรัมเลือดทั้งหมดถูกแสดงความสัมพันธ์กับฮีโมโกลบินและความเข้มข้นของกลูโคส	
2.18 กราฟแสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส	23
2.19 แสดงส่วนประกอบของหลอดไส้ (ทั้งสแตน)	24
2.20 สเปกตรัมของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนที่อุณหภูมิต่างๆ	25
2.21 a). การดูดกลืนพลังงาน (Absorption)	26
2.21 b). การปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ (Spontaneous Emission)	26
2.22 แสดงความแตกต่างระหว่างแสงธรรมดา กับแสงเลเซอร์	27
2.23 แถบสเปกตรัมการทำงานของเลเซอร์สีแดงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร 5 มิลลิวัตต์	27
2.24 โครงสร้างทั่วไปของ Laser Diode	29
2.25 โครงสร้างภายในของLED	32
2.26 แสดงหลักการการทำงานของโมโนโครเมเตอร์	32
2.27 แสดงส่วนประกอบภายในของโมโนโครเมเตอร์	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 ตัวอย่างตัวกรองสัญญาณทางแสง	34
2.29 สัญญาณไดโอด	34
2.30 แสดงสัญญาณและการโบัสใช้งาน	35
2.31 บล็อกไดอะแกรมของออปแอมป์	36
2.32 สัญญาณของออปแอมป์	36
2.33 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	37
2.34 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	38
2.35 วงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบ	38
2.36 The voltage follower	39
2.37 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	40
2.38 วงจรขยายความเข้มแสง	40
2.39 วงจรขยายอินสทรูเมนต์แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัว	41
2.40 วงจรขยายอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifiers) เบอร์ INA101	42
2.41 แสดงตัวอย่างการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	43
2.42 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino	44
2.43 Model: Arduino UNO R3	45
บทที่ 3	
3.1 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อแอมป์	46
3.2 ลายวงจรตรวจวัดความเข้มแสงกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อแอมป์	47
3.3 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อแอมป์	47
3.4 วงจรวัดค่าความเข้มแสงแบบเปรียบเทียบกำลังขยายรวม 201,000 โวลต์ต่อแอมป์	48
3.5 ลายวงจรสำหรับการกัดแผ่นปริ้นวงจรวัดค่าความเข้มแสงแบบเปรียบเทียบกำลังขยายรวม 201,000 โวลต์ต่อแอมป์	48
3.6 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงแบบเปรียบเทียบกำลังขยาย 201,000 โวลต์ต่อแอมป์	49
3.7 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	49
3.8 Arduino Uno R3	50
3.9 จอแอลซีดี	50
3.10 โปรแกรม Arduino	51
3.11 สติมิเตอร์ Agilent U1241B	51
3.12 DC Power supply	52
3.13 แผ่นผังแสดงขั้นตอนในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ด ออเดียร์โน	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 โฟโตไดโอด J126742 บริษัท Judson Technologies	53
3.15 สเปกตรัมการตอบสนองแสงของ Photo diode J126742	53
3.16 หลอดทั้งสแตน	54
3.17 โมโนโครเมเตอร์ (DMC1-06G)	54
3.18 สเปกตรัมการตอบสนองแสงของโมโนโครเมเตอร์(DMC1-06G)	55
3.19 เลนส์รวมแสง	55
3.20 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดสอบตรวจสอบวงจรตรวจวัดความเข้มแสง	56
3.21 (a) จัดเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดสำหรับทดสอบวงจรตรวจวัดความเข้มแสง	56
3.21 (b) ภาพขยายแสดงส่วนทางแสงหลัก	57
3.22 (a) แอลอีดียานอินฟราเรดใกล้มีค่าความเข้มสูงสุด 1060 nm, 1300 nm, 1550 nm และ 1720 nm	58
3.22 (b) เลเซอร์ไดโอด ML920J16S ค่าความเข้มสูงสุด 1470 nm บริษัท MITSUBISHI ELECTRIC	58
3.23 แผนผังจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับวัดสเปกตรัมแสง	59
3.24 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดสอบวงจรตรวจวัดความเข้มแสง	59
3.25 น้ำตาลกลูโคส คิวเวตและบีกเกอร์	60
3.26 เครื่องชั่งดิจิตอล	61
3.27 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดทั้งสแตน	62
3.28 (a) ภาพการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่ 3.4.3.1	62
3.28 (b) ภาพส่วนขยายการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่ 3.4.3.1	63
3.29 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่ 3.4.3.2	63
3.30 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่ 3.4.3.2	64
3.31 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง	65
3.32 การจัดชุดทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง	66
บทที่ 4	
4.1 ทดสอบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ดออดีร์โน	68
4.2 กราฟสเปกตรัมหลอดทั้งสแตนที่ยังไม่ได้นอมอไลซ์	69
4.3 กราฟสเปกตรัมหลอดทั้งสแตนที่นอมอไลซ์แล้ว	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm	70
4.5 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1300 nm	71
4.6 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm	71
4.7 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1720 nm	72
4.8 กราฟสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm	72
4.9 (a) ค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทั้งสแตน	73
4.9 (b) ภาพขยายค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทั้งสแตน	74
4.10 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้ด้วยหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ความยาวคลื่น 1060 nm	75
4.11 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ความยาวคลื่น 1300 nm	76
4.12 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีหลอดแอลอีดีอินฟราเรดใกล้มีความยาวคลื่น 1550 nm	77
4.13 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีหลอดแอลอีดีอินฟราเรดใกล้มีความยาวคลื่น 1720 nm	78
4.14 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดเลเซอร์ไดโอดมีความยาวคลื่น 1470 nm	79
4.15 กราฟแสดงผลการทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง	81

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
mg/dl	มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
mol/l	โมลต่อลิตร
Js	จูล×วินาที
nm	นาโนเมตร
IR	อินฟราเรด
h	ค่าคงที่ของพลังค์
l	ความเข้มแสงที่ผ่านตัวกลาง
l_0	ความเข้มแสงตกกระทบบ
α	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของตัวกลาง
l	ความหนาของตัวกลาง
c	ความเข้มข้นของสารละลายที่เป็นตัวกลาง
a	ค่าการดูดกลืน
k	สัมประสิทธิ์การสูญเสีย
λ	ความยาวคลื่นของแสง
Z_{in}	อินพุทอิมพีแดนซ์
Z_{out}	เอาต์พุทอิมพีแดนซ์
BW	ช่วงความถี่แบนด์วิดธ์
V_{os}	แรงดันอินพุทออฟเซต
A_{ol}	อัตราขยายแรงดันลูปเปิด
A	อัตราขยาย
V_{out}	แรงดันเอาต์พุท
R	ความต้านทาน
ms	มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการวินิจฉัยของแพทย์ถึงสาเหตุของอาการป่วยของคนไข้ เพื่อทำการบำบัดรักษาอย่างถูกต้อง หรือการเฝ้าระวังสถานะเสี่ยงของการเกิดโรคสำหรับบุคคลปกติที่มาให้ตรวจร่างกายประจำปี ข้อมูลที่สำคัญส่วนหนึ่งได้มาจากการตรวจวิเคราะห์ กระทั่งระบุปริมาณของสิ่งเจือปนหรือความเปลี่ยนแปลงสารประกอบหลักในตัวอย่างเลือดของบุคคลนั้นๆ

ในการวินิจฉัยโรคที่ต้องการเกี่ยวข้องกับการรักษาเป็นเวลานานอย่างเช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ หรือโรคเบาหวานนั้น ยิ่งวินิจฉัยโรคได้เร็วและแม่นยำมากเท่าไรก็ยิ่งรักษาชีวิตให้เป็นปกติ หรือลดความเสี่ยงในการสูญเสียได้มากขึ้นเท่านั้น ในโครงการพิเศษชุดนี้จะเน้นไปที่โรคเบาหวานซึ่งจำเป็นต้องวินิจฉัยจากผลการตรวจอย่างละเอียดด้วยวิธีการต่างๆ สามารถกระทำได้เฉพาะที่โรงพยาบาลซึ่งมีอุปกรณ์และเครื่องมือสมรรถนะสูง ราคาแพง แต่ต้องใช้ตัวอย่างเลือดปริมาณมากอีกทั้งอาศัยเวลาและขั้นตอนต่างๆ มากมาย อย่างไรก็ตามหากสามารถตรวจวัดความเข้มข้นหรือระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงภาวะโรคเบาหวานได้ด้วยตนเองก่อน ก็จะสามารถควบคุมไม่ให้อาการลุกลามเกิดเป็นโรคเบาหวานได้ หรือหากป่วยเป็นโรคเบาหวานแล้ว ก็สามารถรู้ถึงระดับน้ำตาลกลูโคสได้เพื่อจะปรับการรับประทานอาหารหรือการควบคุมทางการแพทย์ได้อย่างทันที่ที่บ้าน ก่อนที่อาการจะลุกลามจนต้องนำส่งโรงพยาบาล ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วยตนเองซึ่งผู้ป่วยสามารถพกประจำตัว ทำการวัดโดยใช้เข็มเล็กๆ ที่สะอาดเจาะบริเวณปลายนิ้วให้จุดที่เลือดออกทาบบนแผ่นทดสอบ แล้วจึงสอดเข้าเครื่องวัดซึ่งก็จะได้ค่าบนจอแสดงผล นับเป็นความสะดวกสบายอย่างหนึ่งแต่หากเป็นผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีความจำเป็นจะต้องตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดเป็นประจำและในรายที่มีอาการรุนแรงจำเป็นจะต้องตรวจวัดวันละหลายครั้งซึ่งการวัดระดับน้ำตาลโดยการเจาะเลือดบ่อยๆนั้นจะกลายเป็นสิ่งที่ทรมานผู้ป่วยอีกอย่างหนึ่งเลยทีเดียว

ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงมีงานวิจัยในต่างประเทศที่มุ่งพัฒนาระบบตรวจวัดแบบไม่รุกราน (Non-invasive) หลากหลายวิธี วิธีการหนึ่งซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมากก็คือ การวัดโดยอาศัยสมบัติการดูดกลืนหรือสะท้อนแสงของโมเลกุลกลูโคสในย่านเนียร์-อินฟราเรด (Near-Infrared) อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวนอกจากจะมีข้อจำกัดของการต้องพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องจำนวนมากแล้ว ต้นทุนของชิ้นส่วนทางแสงก็จะสูงมากเมื่อเทียบกับระบบที่ทำงานในย่านแสงที่มองเห็น (Visible light) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์แยกแยะความยาวคลื่นแสงหรือที่เรียกว่า โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) ที่มีประสิทธิภาพ

การทำโครงการพิเศษนี้จึงมีความคิดที่จะศึกษาค้นคว้าและพัฒนาต่อยอดจากห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม (MERL) ที่ได้ทำการศึกษาและทดลองมาในเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด ด้วยวิธีการแบบไม่รุกราน (Non-invasive) ทั้งนี้เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.1 ในวิทยาการทางการแพทย์ปัจจุบัน การวัดระดับกลูโคสในเลือดนั้นจำเป็นต้องเจาะเลือดทำให้เกิดความเจ็บปวด ซึ่งแนวทางของการวิจัยนี้จะสามารถนำไปสู่การตรวจสอบจากภายนอกโดยไม่ต้องมีการเจาะเลือด ด้วยการส่องแสงผ่านผิวหนังไปสู่บริเวณเส้นเลือด เพื่อตรวจสอบระดับน้ำตาลในเลือด

1.1.2 มีความท้าทายให้คิดค้นในเรื่องความซับซ้อนของอันตรกิริยาทางแสงกับตัวกลางวัสดุชีวภาพซึ่งได้แก่ เนื้อเยื่อ ชั้นไขมัน เลือด ฯลฯ

1.1.3 เครื่องมือที่ใช้และอุปกรณ์ประกอบแม้กระทั่งเครื่องวัดแบบพกพาที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนั้นมีราคาสูง อีกทั้งยังต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายไปเป็นจำนวนมาก

1.1.4 ถ้าจะพัฒนาระบบตรวจสอบแบบไม่รุกล้ำชนิดที่ใช้เทคนิคเนียร์-อินฟราเรด (Near-Infrared) ให้มีต้นทุนไม่สูงมากอีกทั้งมีขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องมือชนิดปกติ จำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัยเพื่อปรับลดอุปกรณ์ทางแสง ราคาแพง ให้มีน้อยชิ้นที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ค้นคว้าหาความรู้ความเข้าใจผลงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวกับระบบวัดระดับน้ำตาลกลูโคสด้วยวิธีต่างๆ โดยให้ความสนใจเป็นพิเศษกับวิธีการตรวจแบบไม่รุกล้ำในส่วนของเทคนิคสเปกโตรสโคปีของแสงอินฟราเรด (Near-Infrared Spectroscopy)

1.2.2 ศึกษาสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงและแผ่นวัสดุดูดกลืนแสงชนิดต่างๆ ในย่านเนียร์-อินฟราเรด เพื่อเลือกมาใช้เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในระบบที่จะพัฒนาสร้างขึ้น

1.2.3 ศึกษากระบวนการสเปกโตรสโคปีของแสงอินฟราเรดที่เกี่ยวกับการวัดการดูดกลืนแสง ความยาวคลื่นต่างๆของสารละลายกลูโคสบริสุทธิ์ในแต่ละความเข้มข้นต่างๆกัน

1.2.4 ใช้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคใหม่ๆ สเปกโตรสโคปีของแสงอินฟราเรดและอิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้กระบวนการทางแสงในเบื้องต้นได้และให้ผลการวัดที่ถูกต้องแม่นยำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อศึกษาพื้นฐานของการวัดระดับน้ำตาลในเลือดด้วยวิธีการต่างๆโดยจะเน้นให้ความสำคัญกับหลักการดูดกลืนแสงในย่านเนียร์-อินฟราเรด (Near-Infrared) ของสารละลายกลูโคสบริสุทธิ์ ทำการศึกษาอุปกรณ์ทางแสงและอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องรวมถึงการทดลองวัดค่าต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การออกแบบสร้างเครื่องวัดระดับกลูโคสโดยใช้กระบวนการทางแสง ที่ให้ผลการวัดเป็นตัวเลขวัดความเข้มข้นที่ถูกต้องใกล้เคียงกับเครื่องของต่างประเทศ มีความสามารถแยกแยะ (Resolve) เป็นที่น่าพอใจ และมีราคาต้นทุนต่ำ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ

การดำเนินงาน	ระยะเวลา								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→								
2. จัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแสงที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของกลูโคส			←→						
3. ออกแบบระบบทางแสงและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ทำการทดลอง					←→				
4. เริ่มทำการทดลองเพื่อศึกษาการดูดกลืนแสงของโมเลกุลกลูโคสและปรับปรุงเครื่องมือวัด เพื่อตรวจสอบความเข้มข้นให้ละเอียดยิ่งขึ้น							←→		
5. ศึกษาผลการทดลองตรวจสอบเทียบกับทฤษฎีที่อ้างอิงเพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การออกแบบเครื่องวัดระดับกลูโคส โดยใช้กระบวนการทางแสง									←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานของการวัดระดับน้ำตาลในเลือด
- 1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจในหลักการการดูดกลืนแสง (Absorption) ของโมเลกุลกลูโคสต่อแสงในย่านอินฟราเรด
- 1.5.3 มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบวัดน้ำตาลกลูโคสด้วยอุปกรณ์ทางแสงและการใช้วงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์เพื่อใช้ขยายสัญญาณและประมวลผล
- 1.5.4 สามารถนำความรู้ที่มีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของการวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดโดยใช้เทคนิคทางแสง
- 1.5.5 สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

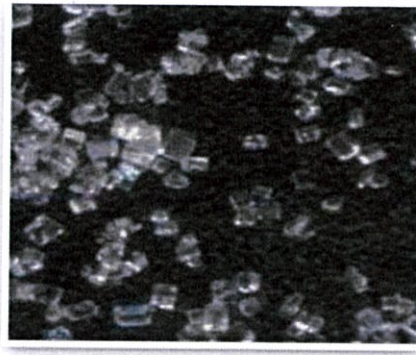
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ น้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในกระแสเลือด โรคเบาหวาน สาเหตุและอาการของโรค กระบวนการพัฒนาและตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงทฤษฎีและหลักการของเครื่องวัดระดับกลูโคสที่โครงการพิเศษนี้ เช่น ธรรมชาติของแสง ทฤษฎีการดูดกลืนของตัวกลาง แหล่งกำเนิดแสงแบบต่างๆ ส่วนประกอบและอุปกรณ์ของเครื่องและสุดท้ายเป็นส่วนของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในเครื่องวัดระดับกลูโคสในโครงการพิเศษนี้

มนุษย์จะมีชีวิตอยู่ได้อย่างปกติจะต้องมีการรับประทานอาหาร ร่างกายจะย่อยและเผาผลาญอาหารให้กลายเป็นสารอาหาร สารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ซึ่งเมื่อถูกย่อยจะกลายเป็นน้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโนและกรดไขมัน แหล่งพลังงานที่สำคัญต่อร่างกายโดยเฉพาะเซลล์สมองคือ น้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดที่มีอยู่ในเลือด น้ำตาลในเลือดจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานแก่ทุกเซลล์ในร่างกาย โดยมีฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) เป็นตัวนำน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ โดยรวมคือฮอร์โมนอินซูลินจะทำให้มีการนำสารอาหารที่เราบริโภคไปใช้เป็นพลังงานที่ใช้ทันที และบางส่วนก็ถูกเก็บสำรองไว้ตามเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกาย ถ้าหากร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดผิดปกติอันเนื่องมาจากสาเหตุใดๆก็ตาม ไม่ว่าจะเป็นภาวะที่น้ำตาลในเลือดไม่พอกับความต้องการของร่างกาย ที่เรียกว่า “ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ” หรือภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเกินความจำเป็นของร่างกาย และส่งผลร้ายแรงต่อสุขภาพในระยะยาว ที่เรียกว่า “โรคเบาหวาน”

2.1 น้ำตาล

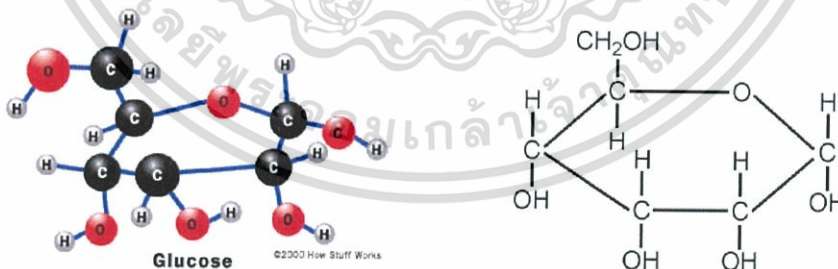
น้ำตาล คือ สารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกกันหลายอย่างขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของน้ำตาล เช่น น้ำตาลทราย น้ำตาลกรวด น้ำตาลก้อน น้ำตาลปิบ เป็นต้น แต่ในทางวิทยาศาสตร์เคมี โดยทั่วไปน้ำตาลจะหมายถึง ซูโครส (Sucrose) หรือแซคคาไรส ไดแซคคาไรด์ (Saccharose disaccharide) ที่มีลักษณะเมื่อเป็นของแข็งจะเป็นผลึกสีขาว น้ำตาลเป็นสารเพิ่มความหวานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขนมหวาน และเครื่องดื่ม ในทางการค่าน้ำตาลผลิตจากอ้อย (Sugar cane), ต้นตาล (Sugar palm), ต้นมะพร้าว (Coconut palm), ต้นเมเปิ้ลน้ำตาล (Sugar maple) และหัวบีท (Sugar beet) ฯลฯ น้ำตาลที่มีองค์ประกอบทางเคมีแบบง่ายที่สุด หรือโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) คือ กลูโคส เป็นที่เก็บพลังงานที่จะต้องใช้ในกิจกรรมทางชีววิทยาของเซลล์ ศัพท์ทางเทคนิคที่ใช้เรียกน้ำตาลจะลงท้ายด้วยคำว่า "-ออส" (-ose) เช่น กลูโคส



รูปที่ 2.1 ผลึกน้ำตาล (<https://fr.wikipedia.org/wiki>)

2.2 กลูโคส

กลูโคส (Glucose ; Glc) มีสูตรเคมีคือ $C_6H_{12}O_6$ มีมวลต่อหนึ่งโมล เท่ากับ 180.156 กรัมต่อโมล⁻¹ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.54 กรัมต่อเซนติเมตร⁻³ เป็นน้ำตาลประเภทโมโนแซคคาไรด์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หน่วยเล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรตมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีและส่วนใหญ่มีรสหวาน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่รู้จักกันดีได้แก่ กลูโคส (Glucose), ฟรุคโทส (Fructose), และกาแล็กโทส (Galactose) เซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นแหล่งพลังงาน และสารเผาผลาญขั้นกลาง (Metabolic intermediate) กลูโคสเป็นหนึ่งในผลผลิตหลักของการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการหายใจของเซลล์ (Cellular respiration) โครงสร้างโมเลกุลตามธรรมชาติของน้ำตาลกลูโคสน้ำตาลมี 2 โครงสร้าง คือ D และ L กลูโคส แต่ชนิดของกลูโคสที่มีความสำคัญทางชีววิทยาคือ D-กลูโคส (D-glucose) จะเรียกอีกอย่างว่า เดกซ์โตรส (Dextrose)



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของกลูโคส (<http://glucosa6.blogspot.com/>)

กลูโคสเป็นน้ำตาลที่มีอยู่ในอาหารทั่วไปพบมากในผักและผลไม้สุก เป็นน้ำตาลที่สลายให้พลังงานมากที่สุดในสิ่งมีชีวิต มีความหวานเป็นรองจากน้ำตาลฟรุคโทส ทางแพทย์ใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องการใช้อย่างรวดเร็ว เช่น ในคนป่วยที่อ่อนแอ น้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลชนิดที่มีมากในกระแสเลือดของมนุษย์ ที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตจึงเรียกว่า น้ำตาลในเลือด (Blood sugar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์จำนวนมากใช้ไขมันและโปรตีน ในการสร้างพลังงานได้ อย่างไรก็ตาม เนื้อเยื่อประสาทใช้กลูโคสอย่างเดียวนั่น ส่วนในสัตว์มักพบน้ำตาลกลูโคสมีอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเป็นสารที่จำเป็นต้องใช้ในการเปลี่ยนโมเลกุลของไขมันและโปรตีนเป็นคาร์โบไฮเดรต

2.2.1 การผลิตน้ำตาลกลูโคสในสิ่งมีชีวิต

- ในพืชและสิ่งมีชีวิตจำพวกโพรแคริโอต (Prokaryote) ประเภทสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้จากการสังเคราะห์แสง
- ในสัตว์และเชื้อรา ได้จากการแยกสลายไกลโคเจน (Glycogen) โดยกระบวนการที่รู้จักกันในชื่อ การสลายไกลโคเจน (Glycogenolysis) ในพืชจะเป็นการแยกสลายซับสเตรต (Substrate) คือ แป้ง
- ในสัตว์ กลูโคสจะถูกสังเคราะห์ในตับและไต จากสารชั้นกลาง (Intermediates) ที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (Non-carbohydrate) เช่น ไพรูเวต (Pyruvate) และกลีเซอรอล (Glycerol) โดยกระบวนการที่เรียกว่า กลูโคนีโอเจเนซิส (Gluconeogenesis)
- ในสัตว์และมนุษย์ กลูโคสได้จากการย่อยสลายครั้งสุดท้ายของคาร์โบไฮเดรต โดยน้ำย่อยจากตับอ่อนและลำไส้เล็ก

2.3 โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus: DM)

โรคเบาหวาน ถือเป็นปัญหาสุขภาพที่เรามักจะได้ยินกันอยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากคนไทยป่วยด้วยโรคนี้น่ามากถึง 2-3 ล้านคนและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยจัดอยู่ใน 5 อันดับของโรคที่คุกคามคนไทยและพบได้ในทุกช่วงวัย อย่างไรก็ตาม มีคนอีกจำนวนมากที่ป่วยด้วยโรคเบาหวานแต่ไม่รู้ตัว ทำให้ละเลยการดูแลสุขภาพอย่างถูกวิธี ซึ่งนั่นหมายความว่าผู้ป่วยได้ปล่อยให้โรคลุกลามจนเป็นอันตรายแล้ว

โรคเบาหวานเป็นภาวะที่ร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติเกิดจากตับอ่อนสร้างฮอร์โมนอินซูลิน ได้น้อย หรือไม่ได้เลย ซึ่งฮอร์โมนอินซูลินมีหน้าที่ช่วยนำน้ำตาลเข้าสู่ร่างกายเพื่อใช้เป็นพลังงาน เมื่อฮอร์โมนอินซูลินไม่พอ น้ำตาลที่มีถูกนำไปใช้น้อยลง จึงเกิดการคั่งของน้ำตาลในเลือด เป็นเหตุให้เกิดภาวะที่ร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ ในระยะยาวจะมีผลในการทำลายหลอดเลือด และถ้าหากไม่ได้รับการรักษาอย่างเหมาะสม อาจนำไปสู่สภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงได้ โดยภาวะแทรกซ้อนมีทั้งในแบบเฉียบพลัน (Acute) และแบบเรื้อรัง (Chronic)

เบาหวานสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.3.1 เบาหวานประเภทที่ 1 (Type 1 diabetes) หรือเบาหวานชนิดพึ่งอินซูลิน (Insulin-dependent diabetes) มักพบในเด็กและคนอายุต่ำกว่า 25 ปี เกิดจากเบต้าเซลล์ (β -cell) ของตับอ่อนถูกทำลาย โดยร่างกายมีการสร้างภูมิคุ้มกันขึ้นต่อต้านทำลายเซลล์ตับอ่อนของตัวเอง ดังที่เรียกว่า “ภาวะแพ้ภูมิตัวเอง” (Autoimmune) ทั้งนี้เป็นผลมาจากความผิดปกติทางกรรมพันธุ์ ร่วมกับการติดเชื้อหรือการได้รับสารพิษจากภายนอก และยังพบว่าในผู้ป่วยที่เป็นเด็ก เบต้าเซลล์ในตับอ่อนจะถูกทำลายเร็วกว่าในผู้ใหญ่ ทำให้ร่างกายหยุดการสร้างอินซูลินในที่สุด[7]

ผู้ป่วยจำเป็นต้องพึ่งพาการฉีดอินซูลินเข้าทดแทนในร่างกายทุกวันไปตลอดชีวิต จึงจะสามารถเผาผลาญน้ำตาลได้เป็นปกติ มิเช่นนั้นร่างกายจะเผาผลาญไขมันและกล้ามเนื้อจนทำให้ผ่ายผอมอย่างรวดเร็ว และถ้ามีอาการรุนแรง จะมีการคั่งของสารคีโตน (Ketones) ซึ่งเป็นของเสียที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากการเผาผลาญไขมัน สารนี้จะเป็นพิษต่อระบบประสาท ทำให้ผู้ป่วยหมดสติถึงตายได้รวดเร็ว เรียกว่า ภาวะคั่งสารคีโตนหรือ คีโตซิส (Ketosis)

2.3.2 เบาหวานประเภทที่ 2 (Type 2 diabetes) หรือเบาหวานชนิดไม่พึ่งอินซูลิน (Non-insulin dependent diabetes) เป็นเบาหวานชนิดที่พบเห็นกันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมักจะมี ความรุนแรงน้อย มักพบในคนอายุมากกว่า 40 ปีขึ้นไป สาเหตุที่แท้จริงยังไม่ทราบชัดเจน แต่มีส่วนเกี่ยวข้องกับพันธุกรรม นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับภาวะน้ำหนักตัวมาก การขาดการออกกำลังกาย และวัยที่เพิ่มขึ้น โดยตับอ่อนของผู้ป่วยชนิดนี้ยังสามารถสร้างอินซูลินได้ แต่ยังไม่เพียงพอ กับความต้องการของร่างกาย จึงทำให้มีน้ำตาลเหลือใช้ในเลือดจนกลายเป็นเบาหวานได้[8]

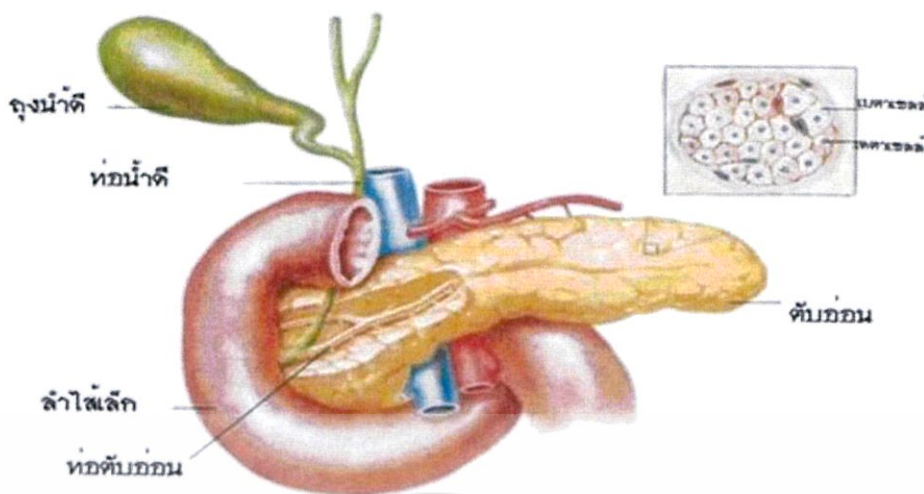
ผู้ป่วยชนิดนี้อาจแบ่งเป็นพวกที่อ้วนมากๆ กับพวกที่ไม่อ้วน (รูปร่างปกติ หรือผอม) เบต้า เซลล์ของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ยังคงมีการสร้างอินซูลิน แต่ทำงานไม่เป็นปกติเนื่องจากเยื่อ เซลล์ปลายทางมีภาวะดื้อต่ออินซูลิน ทำให้ร่างกายปรับการหลังอินซูลินของร่างกายใหม่ บางคนเริ่มมี ภาวะแทรกซ้อนโดยไม่รู้ตัวและต้องการยาในขณะรับประทาน บางรายต้องใช้อินซูลินชนิดฉีด เพื่อ ควบคุมน้ำตาลในเลือดเมื่อสูงเกินไป

2.3.3 เบาหวานชนิดอื่นๆ ได้แก่ เบาหวานที่เกิดจากโรคตับอ่อนอักเสบ เบาหวานจากการ รับประทาน ยา สเตียรอยด์ (Steroids) เป็นต้น

อาการที่บ่งชี้ถึงการเป็นโรคเบาหวานที่สังเกตได้ง่าย คือ ปัสสาวะบ่อย คอแห้ง กระหายน้ำ หิวบ่อย กินเก่งแต่น้ำหนักตัวกลับลดลง ซึ่งถ้ามีการแสดงอาการครบทั้ง 3 อาการแสดงว่าเป็น โรคเบาหวานอย่างแน่นอน แต่ในความเป็นจริงอาการของคนที่เป็นโรคเบาหวานข้างต้นอาจแสดง อาการออกมา เพียงบางอย่างเท่านั้นและบางครั้งการแสดงอาการก็ไม่ชัดเจนทำให้ไม่อาจสรุป ได้ว่า อาการที่ไม่ชัดเจนนั้นจะเป็นอาการของโรคเบาหวานหรือไม่

ในภาวะปกติหากระดับน้ำตาลในเลือดสูง ไม่เกิน 180 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ไตสามารถเก็บกัก น้ำตาลในร่างกายได้ แต่ถ้าสูงกว่าระดับนี้ น้ำตาลจะถูกขับออกมาในปัสสาวะ โดยดึงน้ำและเกลือแร่ ตามออกมา ทำให้มีอาการปัสสาวะบ่อย หิวบ่อย หิวบ่อย กินเก่ง เพื่อทดแทนพลังงานที่เสียไป แต่ น้ำหนักจะลดลง เนื่องจากร่างกายไม่สามารถใช้พลังงานที่กินเข้าไปได้ พลังงานที่เสียไปจึงมีมากกว่าที่ รับประทาน

ตับอ่อน เป็นอวัยวะภายในช่องท้องที่วางตัวอยู่ใต้ลิ้นปี่อยู่ด้านหลังของลำไส้เล็กและกระเพาะ อาหาร หน้าที่ที่สำคัญของตับอ่อน คือ สร้างน้ำย่อย (Pancreatic juice) เพื่อช่วยในการย่อย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน นอกจากนี้ตับอ่อนยังมีบทบาทในการสร้างฮอร์โมนอินซูลินและกลู คากอน (Glucagon) ออกสู่กระแสเลือด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญเกี่ยวกับขบวนการเผาผลาญโดยเฉพาะ กลูโคสในร่างกายมนุษย์



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของอวัยวะตับอ่อน (<https://areerat5652.wordpress.com>)

เมื่อคนเราอายุเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะมากกว่า 40 ปี จะเริ่มมีภาวะดื้อต่ออินซูลินเพิ่มมากขึ้น จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานได้ง่าย ดังนั้นจึงแนะนำให้ตรวจคัดกรองระดับน้ำตาลในเลือด ผู้ที่มีอายุมากกว่า 40 ปีขึ้นไปแม้ว่าจะไม่มีอาการหรือไม่มีประวัติคนในครอบครัวเป็นโรคเบาหวานก็ตาม เพื่อให้การรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการเกิดภาวะแทรกซ้อนในอนาคตได้ดีขึ้น นอกจากนี้ได้มีการแนะนำให้ตรวจคัดกรองระดับน้ำตาลในเลือดในกลุ่มบุคคลที่มีอายุน้อยกว่า 40 ปีแต่มีปัจจัยเสี่ยงดังต่อไปนี้

- ภาวะอ้วนหรืออ้วนลงพุง มีดัชนีมวลกาย (Body Mass Index : BMI) มากกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เส้นรอบเอวมากกว่า 90 เซนติเมตรในชาย หรือ 80 เซนติเมตรในหญิง
- มีประวัติคนในครอบครัวเป็นเบาหวาน
- มีประวัติการเป็นเบาหวานขณะตั้งครรภ์ หรือคลอดบุตรที่มีน้ำหนักแรกคลอดมากกว่า 4 กิโลกรัม
- ความดันโลหิตสูงกว่าหรือเท่ากับ 140 ต่อ 90 มิลลิเมตรปรอท
- มีไขมันความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein : HDL) หรือไขมันดีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 35 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือมีไขมันไตรกลีเซอไรด์ มากกว่าหรือเท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
- ตรวจพบมีความผิดปกติของน้ำตาลในเลือด หลังรับการทดสอบการตอบสนองของฮอร์โมนอินซูลินต่อระดับน้ำตาลในเลือด (Oral Glucose Tolerance Test : OGTT) หรือมีระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหารสูงกว่าปกติ (Fetal bovine serum : FBS) มากกว่า 100 ถึง 125 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)
- มีประวัติเป็นถุงน้ำที่รังไข่จำนวนมาก (Polycystic ovarian syndrome)
- มีประวัติหรือเป็นโรคหลอดเลือดแดงตีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวินิจฉัยโรคเบาหวานในโรงพยาบาล

2.4.1 การวินิจฉัยโรคเบาหวานและการตรวจทางห้องปฏิบัติการ

องค์การอนามัย โลกได้ประกาศใช้เกณฑ์การวินิจฉัยโรคเบาหวานใหม่ในปี พ.ศ. 2541 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- มีอาการแสดงของโรคเบาหวานร่วมกับค่าระดับน้ำตาลกลูโคสในพลาสมา (น้ำเลือด) เวลาใดก็ตาม (Casual plasma glucose) มากกว่าหรือเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

- ระดับน้ำตาลกลูโคสในพลาสมาหลังอดอาหาร (Fasting plasma glucose: FPG) มากกว่าหรือเท่ากับ 126 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร โดยระยะเวลาในการอดอาหารและเครื่องดื่มที่ให้พลังงานเป็นเวลาต่อ นี้อย่างน้อย 8 ชั่วโมง

- การตรวจความทนต่อกลูโคส (Glucose challenge test: GCT) มีระดับน้ำตาลในชั่วโมงที่ 2 ของการตรวจ มากกว่าหรือเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

ผลการวินิจฉัยจากห้องปฏิบัติการ มีความสำคัญในการวินิจฉัยโรคเบาหวาน กล่าวคือช่วยแยกชนิดของโรคเบาหวาน การตรวจคัดกรองเบาหวาน การติดตามผลการรักษาและการติดตามผลการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งการวินิจฉัยโรคเบาหวานทางห้องปฏิบัติการประกอบด้วย

- ตรวจระดับน้ำตาลในเลือด
- ตรวจระดับน้ำตาลในปัสสาวะ (Urine glucose)
- ตรวจการทำงานของไต (Renal function test)
- ตรวจค่าปริมาณสารต่าง ๆ ในกระแสเลือด (Electrolyte)

2.4.2 การเก็บตัวอย่างส่งตรวจ สำหรับการตรวจวิเคราะห์น้ำตาลกลูโคสในร่างกาย

ตัวอย่างเลือดควรเป็นเลือดหลังจากงดอาหารมาเป็นเวลานาน 8 ถึง 12 ชั่วโมง (หรือไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง) สิ่งส่งตรวจที่ใช้นิยมเป็นการใช้พลาสมาในสารกันเลือดแข็งโซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium fluoride : NaF) หรือใช้โพแทสเซียมออกซาลาเท (Potassium oxalate) หรือซีรัม (ทั้งซีรัมและพลาสมาต่างเป็นน้ำเลือดเช่นเดียวกัน แต่ต่างกันตรงวิธีการสังเคราะห์ให้ได้มา ซึ่งสารประกอบที่มีอยู่ในสารทั้งสองก็ไม่เหมือนกันอีกด้วย) ส่วนการตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้ Fasting whole blood มักใช้ในการตรวจติดตามกลูโคสในเลือดด้วยตนเองและมีข้อสังเกตว่า ปริมาณกลูโคสในเส้นเลือดแดงจะมีค่าสูงกว่าในเส้นเลือดดำ

- การตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด

การตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดที่นิยมใช้ส่วนใหญ่คือกระบวนการตรวจโดยใช้เอนไซม์ (Enzymatic method) โดยมีวิธีที่นิยม 3 วิธีได้แก่ Hexokinase method, Glucose oxidase method และ Oxidation-Reduction method ซึ่งแต่ละวิธีจะมีหลักการดังนี้

➢ Hexokinase method โดยเอนไซม์เฮกโซคิเนส (Hexokinase) จะเร่งการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กลูโคสกลายเป็น Glucose-6-phosphate ซึ่งถูกเอนไซม์ G-6-PD อาศัย NADP เป็น Cofactor ออกซิไดส์ต่อไปเป็น 6 phosphogluconate และ NADPH โดย NADPH สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ดังนั้น NADPH ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกลูโคสที่มีอยู่ในเลือด

➢ Glucose oxidase method การตรวจวัดน้ำตาลกลูโคสในเลือดโดยใช้เอนไซม์ Glucose oxidase เป็นวิธีที่นิยมในการตรวจวัดมากที่สุด เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือสูง มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องแม่นยำกว่าวิธีใช้เอนไซม์อื่น ซึ่งหลักการตรวจวัดจะใช้น้ำตาลทดสอบที่ประกอบด้วย เอนไซม์ Glucose oxidase, Peroxidase, 4-aminoantipyrine(4-AAP), 4 hydroxybenzoic acid (HBA) และ phosphate buffer โดยจะไปทำปฏิกิริยากับกลูโคสในซีรัมเกิดสารสีแดง Quinoneimine ที่สามารถวัดค่าดูดกลืนแสงได้ที่ 500 นาโนเมตร โดยความเข้มของสีแปรผันตรงกับ ปริมาณของกลูโคส

➤ Oxidation – Reduction method อาศัยสมบัติของน้ำตาลกลูโคส ที่สามารถเป็นตัวรีดิวส์ (Reducing agent) โดยในสารละลายต่างร้อน หมู่อัลดีไฮด์ของกลูโคสจะรีดิวส์ Cu^{2+} ไปเป็น Cu^{3+} ซึ่งทำให้เกิด CuO_2 เป็นสารสีแดงและสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้

- การตรวจวัดระดับน้ำตาลในปัสสาวะ

การตรวจวัดระดับน้ำตาลในปัสสาวะ ส่วนใหญ่ใช้วิธีทดสอบการลดลงของสารทองแดง (Copper reduction test) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจกรอง อาศัยหลักการที่น้ำตาลกลูโคสสามารถไปรีดิวส์ทองแดง (Copper) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น สามารถใช้เป็นการตรวจกรองโรค Inborn errors of metabolism ในทารกได้

การเก็บตัวอย่างสิ่งส่งตรวจสำหรับการตรวจระดับน้ำตาลในปัสสาวะ เก็บปัสสาวะ และเติมกรด Glacial acetic acid 5 มิลลิลิตร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

- ตรวจค่าปริมาณสารต่างๆในกระแสเลือด (อิเล็กโทรไลต์)

ตรวจระดับโซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), คลอรีน (Cl) และสารไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) ในซีรัม ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะช่วยในการวินิจฉัยอาการแทรกซ้อนของผู้ป่วยโรคเบาหวานที่เกิดจากการสูญเสียน้ำ โดยเฉพาะโรคเบาหวานชนิดที่ 1 ซึ่งจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสารอิเล็กโทรไลต์ในร่างกายมากจากการอเจียน ท้องเสีย ปัสสาวะมาก เป็นต้น

2.4.3 การติดตามการรักษา

การทดสอบที่ใช้ ในการติดตามผลการรักษาในระยะยาว คือการตรวจหาระดับน้ำตาลในปัสสาวะ (Urinary glucose) หรือในเส้นเลือดแดง แต่เนื่องจากทั้งสองวิธีให้ความแม่นยำในการตรวจไม่เพียงพอ และระดับน้ำตาลที่ตรวจได้ในปัสสาวะหรือเลือด มีการเปลี่ยนแปลงเร็วมากและขึ้นอยู่กับภาวะความเครียด, การออกกำลังกายหรือการควบคุมอาหาร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจบ่อยครั้งโดยไม่จำเป็น

ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการสามารถที่จะให้การตรวจหาระดับน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพในการติดตามผลการรักษาได้ดีกว่าการทดสอบทั้งสองแบบข้างต้น ในรูปของสารประกอบโปรตีนกับน้ำตาล (Glycosylate หรือ Glycated proteins) ในภาวะปกติจะมีการจับระหว่างน้ำตาลกับโปรตีนทุกชนิดในลักษณะที่เรียกว่า Non - enzymatic glycation ในอัตราที่ต่ำ แต่ในกรณีที่มีระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มสูงขึ้นเป็นระยะเวลานานจะทำให้ระดับของไกลเคทโปรตีน (Glycated protein) สูงตามไปด้วยสม่ำเสมอ และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (Biological half-life) ของโปรตีนแต่ละชนิด ในการตรวจหาระดับไกลเคทโปรตีนทำได้ 2 วิธี คือ

- Glycosylated hemoglobin เป็นการจับของน้ำตาลกลูโคสกับ Hemoglobin A1c (HbA1c) ซึ่งตรวจได้โดยวิธี High-performance liquid chromatography (HPLC), Enzyme immunoassay (EIA) ในคนปกติที่ไม่เป็นเบาหวานจะมี Hemoglobin A1c 4 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบค่าฮีโมโกลบินในเลือดต่อการสามารถในการควบคุมเบาหวาน

ค่าฮีโมโกลบินเอวันซี	การแปลผล
น้อยกว่า 7 เปอร์เซ็นต์	ควบคุมเบาหวานได้ดี
7 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์	ควบคุมเบาหวานพอใช้ได้
มากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์	ยังคุมเบาหวานได้ไม่ดีเท่าที่ควร

- Glycosylated serum albumin หรือโปรตีนในซีรัมชนิดหนึ่ง ที่มีชื่อว่า ฟรุคโตซามายน์ (Fructosamine) เนื่องจากฮีโมโกลบินและโปรตีนอัลบูมิน (Albumin หรือ Total protein) มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพประมาณ 6 ถึง 8 สัปดาห์และ 2 ถึง 3 สัปดาห์ตามลำดับ ระดับ Hemoglobin A1c หรือระดับฟรุคโตซามายน์ ที่ตรวจพบจะบอกถึงภาวะของน้ำตาลของผู้ป่วยในระยะเวลาดังกล่าวที่ผ่านมาได้ดีกว่าระดับของน้ำตาลในเลือด เนื่องจากระดับของไกลโคโปรตีน ทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงช้าและไม่มีผลกระทบโดยตรงจากภาวะความเครียดหรือการเปลี่ยนแปลงการควบคุมโดยอาหารเหมือนกับระดับน้ำตาลในเลือด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการทดสอบทั้งสองให้ความไวไม่สูงพอ ในการแยกกลุ่มบุคคลที่ไม่เป็นโรคเบาหวานออกจากกลุ่มภาวะเบาหวานแฝงเร้น (Impaired glucose tolerance) จึงไม่ควรใช้ Hemoglobin A1c หรือฟรุคโตซามายน์ ในการวินิจฉัยโรคเบาหวาน

- การตรวจน้ำตาลในปัสสาวะ อาจใช้ยาเม็ดสำหรับตรวจหรือใช้แผ่นทดสอบน้ำตาลกลูโคส ตรวจก่อนมื้ออาหารและก่อนนอน วิธีนี้ใช้ไม่ได้ในผู้ป่วยที่มีภาวะไตเสื่อม และมีข้อเสียคือบอกค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดไม่ได้ และระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดจะต้องสูงพอสมควร คือมีค่าเกิน 180 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรจึงจะตรวจพบได้ คือสามารถใช้ระบอบการได้คร่าวๆ เท่านั้น

2.5 การตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดด้วยตนเองแบบรุกล้ำ (Invasive) โดยการเจาะเลือด

ในการตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดทั้งในอดีตและปัจจุบัน ยังคงใช้วิธีการนำตัวอย่างเลือดมาใช้วิเคราะห์ทั้งแบบใช้ตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดแดงหรือจากปลายนิ้ว ซึ่งได้มีการพัฒนาการเก็บตัวอย่างเลือดสำหรับผู้ที่ทดสอบด้วยตนเอง ให้ความสะดวกสบายมากขึ้นและลดการเจ็บปวดจากบาดแผลที่เกิดจากการเก็บตัวอย่างเลือด ตัวอย่างเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสำหรับการทดสอบวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดด้วยตนเอง ตั้งแต่ในอดีตถึงปัจจุบัน มีดังนี้

2.5.1 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดโดยใช้แถบเปลี่ยนสี (Colorimetric strips) เริ่มสร้างและพัฒนาในปี 1965 ในชื่อ "เด็คทอสติกซ์ (Dextrostix)" โดยเป็นแถบกระดาษทดสอบซึ่งจะนำเลือดหยดลงไปและรอประมาณ 1 นาที โดยจะใช้การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีของสารที่มีอยู่ในกระดาษทดสอบ ซึ่งเมื่อสัมผัสกับกลูโคสจะเปลี่ยนเป็นเฉดสีฟ้า ซึ่งได้พัฒนาให้มีการแปลความหมายเทียบกับตารางโทนสี ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงระดับกลูโคสในเลือดโดยประมาณ ผู้ป่วยที่ใช้งานจะต้องมีความสามารถในการอ่านค่าสีจากแถบทดสอบได้ดี แต่ส่วนใหญ่แล้วการตีความหมายจากแถบทดสอบอาจใช้ไม่ได้เสมอไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 เครื่องวัดน้ำตาคลุกุโคสโดยการอ่านการสะท้อน (Ames Reflectance Meter) ได้ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1971 โดยเป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อสามารถอ่านค่าและแปลความหมายจากเครื่อง “เด็คทรอสทิกซ์” รายละเอียดที่เพิ่มขึ้นมาก็คือ การใช้เครื่องวัดแสง (Light meter) สำหรับวัดแสงที่สะท้อนออกมาจากแถบทดสอบหลังได้รับกลุโคส ซึ่งแสงที่สะท้อนจะถูกส่งไปที่เซลล์รับสัญญาณและแปรค่าสิ่งที่ได้ แม้ว่าเครื่องจะมีความสามารถในการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงการสะท้อนของความสว่างและมีดของปริมาณที่ต่างกันเล็กน้อยของเฉดสีฟ้าได้ดีกว่า ทำให้ได้ค่าที่มีความละเอียดสูงแต่เครื่องก็มีราคาแพง มีน้ำหนักมาก ต้องการไฟฟ้าในการทำงานและที่สำคัญที่สุดต้องการใบรับรองจากแพทย์

2.5.3 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลุโคสในเลือดแบบเจาะเลือดอัตโนมัติ บริษัท Pelikan Tehnologies ในเมืองพาลออัลโต (Palo Alto) รัฐแคลิฟอร์เนียเป็นที่แรกที่พัฒนา อุปกรณ์วัดกลุโคส และตัวอย่างเลือดแบบครบวงจร มีชื่อเรียกว่า “เพลิแกน ซัน (Pelikan Sun)” ด้วยพื้นฐานที่ให้ใกล้เคียงกับระบบทุกอย่างในปุ่มเดียว “One-step, One-button” เป็นครั้งแรกที่มีอุปกรณ์สำหรับเจาะเป็นแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบที่มีพร้อมทุกอย่างในตัวของมันเอง ให้ผู้ป่วยดำเนินการเจาะเพียงกดที่ปุ่มกด ก็สามารถเริ่มกระบวนการได้โดยแทบไม่เจ็บปวด แตกต่างจากอุปกรณ์เจาะแบบปกติ เครื่อง “เพลิแกน ซัน” ใช้การตรวจจับตำแหน่งของผิวหนังและเจาะให้ได้ความลึกที่ถูกต้องโดยยังไม่ถึงเส้นประสาทที่ปลายนิ้ว อุปกรณ์ประกอบไปด้วยจานบรรจุเข็ม 50 เล่ม ซึ่งจะไปแทนที่จานเดิมเมื่อเปลี่ยน ดังนั้นผู้ใช้จึงไม่ต้องสัมผัสกับเข็มโดยตรงเลย เครื่อง “เพลิแกนซัน” ออกแบบให้เหมาะสำหรับเด็ก ผู้ที่ต้องทำการทดสอบบ่อยและผู้ที่ไม่ชอบความเจ็บปวดจากการโดนเข็มเจาะ

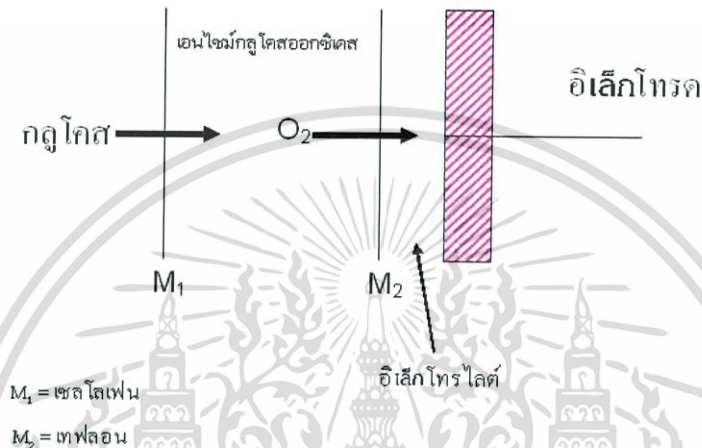


รูปที่ 2.4 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลุโคสในเลือด “เพลิแกน ซัน”

2.5.4 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลุโคสในเลือดโดยใช้ไบโอเซนเซอร์ ต่อมาในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนามากขึ้น โดยเครื่องมือที่ใช้วัดระดับน้ำตาลกลุโคสในเลือดด้วยตนเอง จะอาศัยหลักการของไบโอเซนเซอร์ การทำงานของไบโอเซนเซอร์นั้นจะเริ่มจากการที่สารชีวภาพทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวัด แล้วก่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกแปรเป็นสัญญาณ สัญญาณที่ส่งมานั้น ทรานสดิวเซอร์จะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่รับและแปลงสัญญาณที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารชีวภาพกับสารที่ต้องการ วัดวิเคราะห์ให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของสารที่ตรวจวิเคราะห์ได้ และถูกนำไปดำเนินการต่อเพื่อแสดงผลออกมา

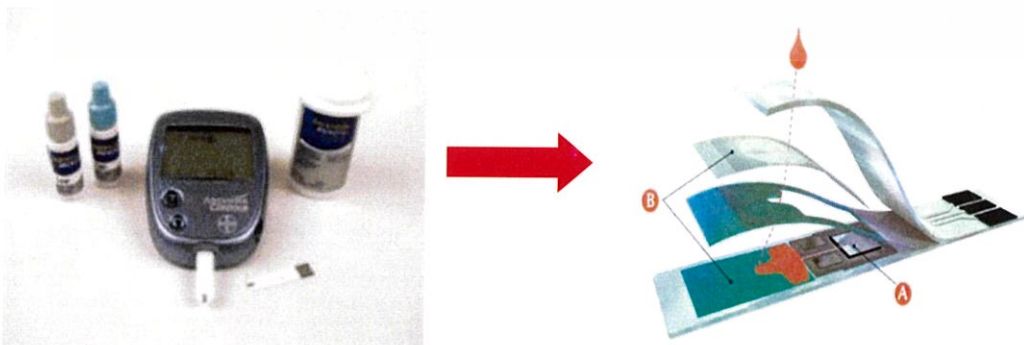
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาไบโอเซนเซอร์ในระยะแรก ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างกลูโคสไบโอเซนเซอร์ เพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคส เนื่องจากกลูโคสเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญต่อกลไกภายในร่างกายมนุษย์มาก โดยเฉพาะการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งในสมัยก่อนใช้การตรวจวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดแบบดั้งเดิมต้องใช้เวลา มาก คือ รู้ผลช้าเนื่องจากต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์เลือด โดยการส่งเลือดไปตรวจในห้องปฏิบัติการ ถ้าหากคนไข้มีอาการรุนแรงอาจทำให้การรักษาไม่ทันที่วงที่ การใช้กลูโคสไบโอเซนเซอร์ทำให้ทราบผลได้อย่างรวดเร็วและช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ผลดี



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการที่ชีวไฟฟ้ากลูโคสเซนเซอร์

เริ่มต้นจากเมื่อกลูโคสแทรกผ่านเยื่อเซลลูลอส (Cellophane) เข้ามาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสที่มีอิเล็กตรอนอยู่มาก(เริ่มแรก) กลูโคสจะกลายเป็น กรดกลูโคนิก ส่วนเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส เมื่อถูกออกซิไดซ์ด้วยกลูโคสจะให้ 2 อิเล็กตรอนและ 2 ไฮโดรเจนไอออนหรือ 2 โปรตอน แล้วกลายเป็นอยู่อีกรูปหนึ่ง ต่อมาออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายจะแทรกผ่านเยื่อเทฟลอนรับเอา 2 อิเล็กตรอนและ 2 โปรตอน หายไปเป็น แก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ขั้วบวก เกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าต่อไป ส่วนกลูโคสตัวใหม่ก็สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อีกเช่นเดียวกันเรื่อยไป เมื่อนำอิเล็กโทรดไปวัดสารตัวอย่างเพื่อหาปริมาณกลูโคส ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปจะสัมพันธ์กับปริมาณของเอนไซม์ที่จับกับกลูโคส ดังนั้นปริมาณกลูโคสที่มีอยู่ก็สามารถวัดได้โดยการวัดปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ เอนไซม์ใช้ไปนั่นเอง



รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบด้วยตนเองพร้อมแผ่นทดสอบโดยใช้หลักการไบโอเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดด้วยตนเอง แบบไม่รุกราน (Non-invasive) หรือแบบไม่เจาะเลือด

กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาเทคนิคการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือด โดยอาศัยวิธีการต่างๆ เช่น กระบวนการของรามาน (เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุชนิดของสารและใช้ในการวิเคราะห์โมเลกุลของสาร) กระบวนการดูดกลืนและการกระเจิงของแสงในย่านเนียร์อินฟราเรด และกระบวนการโฟโตอคูสติก (Photo Acoustic) หรือปรากฏการณ์ที่พลังงานแสงถูกดูดซับหรืออนุภาคดูดกลืนแล้วสะสมจนเกิดรังสีความร้อนแผ่ออกมา ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดความดันที่เปลี่ยนแปลงรอบๆอนุภาคนั้นเกิดเป็นคลื่นเสียงที่สามารถตรวจจับได้ ถึงแม้จะมีความสำคัญ แต่ก็มีข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องคือ มีความไวต่ำ ค่าความแม่นยำ และการจำแนกความเข้มข้นของกลูโคสที่ไม่เพียงพอ ภายในช่วงที่เกี่ยวข้องทางกายภาพ (4 ถึง 30 มิลลิโมล หรือ 72 ถึง 540 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร) อุปกรณ์ที่ใช้เจาะเลือดตามบ้านมีความถูกต้องประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น กลูโคส 5 มิลลิโมล (90 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร) จะวัดได้ระหว่าง 4 ถึง 6 มิลลิโมล (72 ถึง 108 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร) เซนเซอร์ตรวจจับกลูโคสแบบไม่เจาะเลือดควรจะต้องมีความถูกต้องเทียบเท่ากับแบบเจาะเลือด

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดหลายแบบหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งเราจะยกตัวอย่างเครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือด ดังเช่น

2.6.1 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิคทางแสง เป็นเครื่องที่วัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือด ใช้เทคนิคที่คนรู้จักกันในชื่อ Occlusion Spectroscopy ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่ต้องเจาะเลือดโดยใช้กระบวนการทางแสง โดยใช้อุปกรณ์คล้ายแหวนสร้างแรงบีบชั่วคราว ซึ่งจะปิดกั้นการไหลของกระแสเลือดที่นิ้วทำให้เกิดการไหลวนของเลือด ซึ่งจะสร้างสัญญาณทางแสงที่มีความเข้มสูงเกิดค่า Signal to noise ratio ในเลือดสูง การวิเคราะห์สัญญาณแบบนี้นอกจากใช้วัดระดับน้ำตาลในเลือดและระดับฮีโมโกลบินแล้วยังใช้การวัดค่าอื่นๆอีกมากมาย

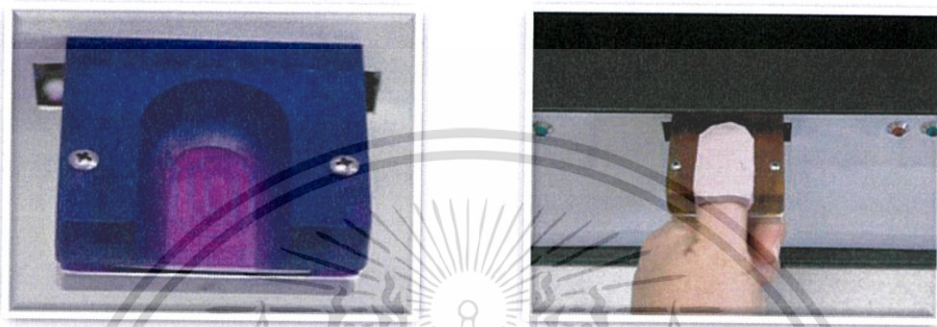
โดยการวัดสเปกตรัมหลังทะลุผ่านนิ้วของเรดเนียร์-อินฟราเรด (Red/near-infrared) ซึ่งเมื่อทำการปิดทางเดินของกระแสเลือดแล้วจะทำให้เกิดไดนามิกออปติคอลลิงคัล (Dynamic optical signal) โดยใช้หลักการจากอิทธิพลโดยตรงของกลูโคสในด้านสมบัติการกระเจิงของเซลล์กลูโคสจะทำให้การกระเจิงของแสงลดลงยิ่งกลูโคสมากขึ้นจะทำให้การกระเจิงของแสงภายในเซลล์ลดลง ดังนั้นการดูดกลืนภายในก็จะลดลงด้วย



รูปที่ 2.7 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดโดยใช้เทคนิค Occlusion Spectroscopy (http://www.medgadget.com/2007/06/noninvasive_glucometer_from_orsense_approved_in_europe.html)

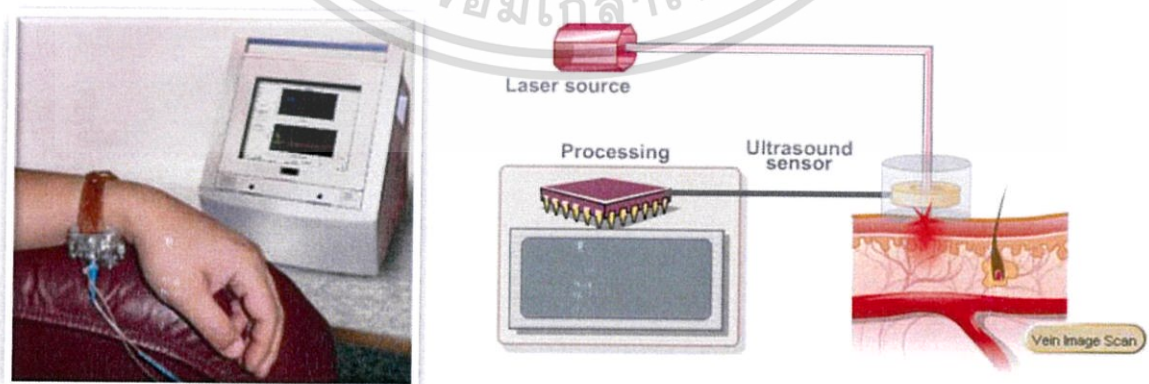
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิค Microwave Glucose Sensor เป็นเครื่องที่ใช้นิวไบ่งในการบ่มลงไป เซนเซอร์จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการวัดระดับน้ำตาลในเลือดในร่างกาย พลังงานจากเซนเซอร์จะทะลุผ่านผิวหนัง แล้วกลับมาที่เซนเซอร์อีกครั้ง ระดับของกลูโคสจะวัดได้จากการเปลี่ยนระดับพลังงานความถี่ย่านไมโครเวฟ ซึ่งกว้างพอที่จะแยก (Isolated) อิทธิพลของกลูโคสในเลือดได้และทำให้สมบัติอื่นๆเช่น ไขมัน กระดูก ซึ่งทำให้ความแม่นยำเปลี่ยนแปลงไปได้นั้น มีค่าลดลงเหลือน้อยสุด การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความปลอดภัย เนื่องจากมันไม่ได้ไอออไนซ์ (Ionize) โมเลกุลของร่างกายเหมือนอย่างรังสีเอ็กซ์เรย์



รูปที่ 2.8 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยเทคนิค Microwave

2.6.3 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เทคนิค Photoacoustic Technology ใช้เทคโนโลยีโฟโตอคูสติกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่เกิดจากการดูดกลืนแสง โดยจะถูกสร้างขึ้นจากความสว่างของเนื้อเยื่อที่ถูกยิงด้วย laser pulse ที่เลือกไว้หลายความยาวคลื่น การวิเคราะห์ของสัญญาณอคูสติกนั้นสามารถบอกได้ถึงควมลึกคร่าวๆของค่าการดูดกลืนของแสงในเนื้อเยื่อ ใช้โฟโตอคูสติกในการบอกถึงอิทธิพลของกลูโคสในด้านสมบัติทางแสงของเลือดในเส้นเลือด acoustics element ถูกใช้สำหรับระบุปริมาตรของการวัดภายในเส้นเลือดและลบอิทธิพลของ หนึ่งกำพร้าว้า ขึ้นนอกออก ส่วน optics element ทำหน้าที่กำหนดสมบัติเฉพาะของกลูโคส โดยใช้ความยาวคลื่นแสงหลายย่าน

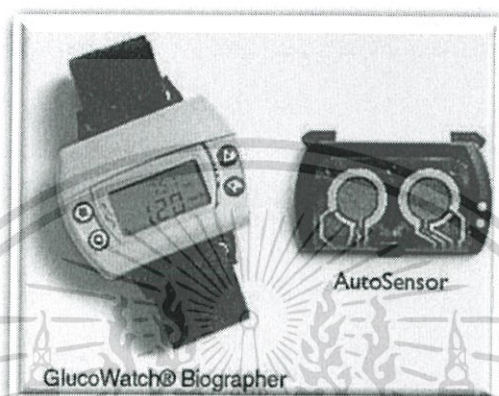


รูปที่ 2.9 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยเทคนิคโฟโตอคูสติก

(http://www.medgadget.com/2005/06/glucon_blood_su.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 เครื่องวัดระดับน้ำตาลกลูโคสด้วยตนเอง GlucoWatch มีรูปแบบคล้ายนาฬิกาข้อมือ สามารถวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสได้ด้วยเซนเซอร์ที่ใช้ครั้งเดียวที่ติดอยู่ด้านที่ติดกับผิวหนังซึ่งประกอบด้วยดิส (Discs) ที่เคลือบด้วยเจลสำหรับเก็บกลูโคส (Gel collection discs) ซึ่งมีเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส เมื่อกลูโคสถูกดึงมาจากผิวหนังเข้าสู่ดิส จะเกิดปฏิกิริยากับเจลกลายเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ซึ่งไบโอเซนเซอร์ที่อยู่ภายในเครื่องก็จะตรวจจับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และแสดงผลในรูปสัญญาณไฟฟ้าและจะแปลงค่าที่ได้เป็นตัวเลขแสดงที่หน้าจอ แต่มีข้อเสียคือต้องทำการสอบเทียบเครื่องบ่อย และสภาพผิวหนังที่ไม่เหมือนกันของแต่ละคน



รูปที่ 2.10 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยเทคนิคไบโอเซนเซอร์
(www.childrenwithdiabetes.com/ada1999)

2.6.5. เครื่องตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด กลูโคแทรค (GlucoTrack) คือ เครื่องตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่ต้องเจาะเลือด วัดค่าโดยใช้สายหนีบที่ตึงหู เครื่องจะทำการประเมินและแสดงค่าออกมาที่หน้าจอ โดยใช้หน่วยวัดเป็น mg/dl หรือ mol/l (ตามที่เลือกไว้ตอนแรก) โดยหน่วยที่แสดงต่ำสุดคือ 70 mg/dl และสูงสุด 500 mg/dl (ต่ำกว่านี้หรือสูงกว่าเครื่องจะแสดงที่ 70 และ 500)

เครื่องจะอ่านค่าที่วัดโดยใช้เวลาหนีบที่ตึงหูประมาณ 1 นาที ก็จะแสดงค่าที่หน้าจอ โดยสามารถเปิดระบบเสียงได้ เครื่องจะอ่านค่าให้ฟัง (ภาษาอังกฤษ) และจะเก็บเป็นข้อมูลไว้ในเครื่องสามารถเลือกดูตามวันเวลาหรือจะดูเป็นกราฟสถิติ ดูย้อนหลังได้และเมื่อใช้ GlucoTrack วัดเป็นประจำติดต่อกัน 200 ครั้งขึ้นไป เครื่องจะแสดงค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือดสะสม (Hb A1c) และยังสามารถตั้งเตือนน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำระดับที่ต้องการได้ โดยจะโชว์ตัวหนังสือเตือนเป็นสีแดงหรือเสียงเตือน

ใช้หลักการทำงาน 3 อย่างคือ คลื่นความร้อน Thermal (Heat Capacity), คลื่นแม่เหล็ก Electromagnetic (Conductivity) และคลื่นอัลตราซาวด์ (Ultrasound) รวมกัน โดยผ่านเซ็นเซอร์ (Multi sensor) เนื่องด้วยน้ำตาลที่อยู่ในเลือดจะมีความร้อนสะสมอยู่ จึงใช้หลักการทั้ง 3 นี้ เพื่อประมวลผลรวมกับข้อมูลของผู้ใช้ เช่น ส่วนสูง, น้ำหนัก, ดัชนีมวลกาย, ประเภทของเบาหวาน 1 หรือ 2, การใช้อินซูลินเป็นแบบใด เช่น กินยา, ฉีดยา หรือใช้ปั๊มอินซูลิน และในครั้งแรกของการใช้เครื่อง ผู้ใช้ต้องทำการปรับค่าเข้าเครื่อง (Calibration) คือการเจาะเลือดจริงเพื่อใส่เป็นข้อมูลประกอบในการประมวลผล และข้อมูลนี้จะต้องได้รับการปรับทุกหกเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแม่นยำในการอ่านค่า..จัดอยู่ในมาตรฐาน Clarke Error Grid (CEG) Analysis ของ Dr.Clarke ซึ่งค่าวัดของ GlucoTack ส่วนใหญ่จะอยู่ในโซน A และ B คือ แม่นยำมากและแม่นยำ และโดยปกติแล้ว มิเตอร์วัดน้ำตาลแต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่นก็จะอ่านค่าไม่ตรงกัน แม้แต่เครื่องเดียวกัน เจาะเลือดวัดแล้ว และเจาะวัดซ้ำอีกครั้ง บางครั้งค่าที่ได้ก็ไม่ตรงกันก็มี และมีอีกหลายปัจจัยที่ทำให้ค่าไม่ใกล้เคียงกัน เช่น ไม่ได้ทำความสะอาดที่ปลายนิ้ว ไม่ได้ใช้เลือดหยดที่สอง หรือ ใส่เลือดไม่เต็ม หรือสั้นเกินไปที่มีมิเตอร์วัด ค่าก็จะไม่ตรงกับความจริงก็มี ควรเลือกเครื่องวัดที่ได้มาตรฐานและปฏิบัติตามอย่างถูกต้อง ค่าที่ได้ก็จะใกล้เคียงความจริง

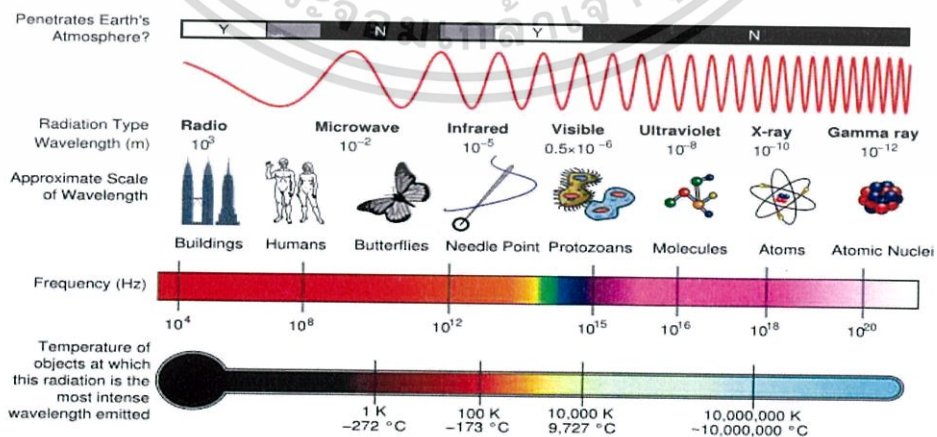


รูปที่ 2.11 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดแบบไม่เจาะเลือดด้วยการใช้เทคนิคคลื่นความร้อน และคลื่นแม่เหล็กและคลื่นอัลตราซาวด์ (<http://www.integrity-app.com/>)

2.7 ธรรมชาติของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ชนิดตามขวาง ซึ่งมีความเร็วในสุญญากาศประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที พลังงานของแสงสามารถหาได้จากผลคูณของค่าคงที่ของพลังค์ ($h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js) กับค่าความถี่ของแสง ดังนั้นแสงที่มีความถี่สูงมาก ๆ จึงมีพลังงานสูงและมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง[14]

แสงที่ตาเรามองเห็นเรียกว่าแสงสีขาว (White Light) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 - 700 นาโนเมตรและประกอบไปด้วยแสงสีต่างๆอีก 7 สี ได้แก่ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสดและสีแดง เมื่อแสงสีขาวตกกระทบวัตถุเราจะมองเห็นสีของวัตถุเป็นสีใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าวัตถุสะท้อนแสงสีใดออกมา ส่วนสีอื่นจะถูกดูดกลืนไปทั้งหมดแต่ถ้าวัตถุนั้นดูดกลืนแสงทุกสีเราจึงมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีดำ



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

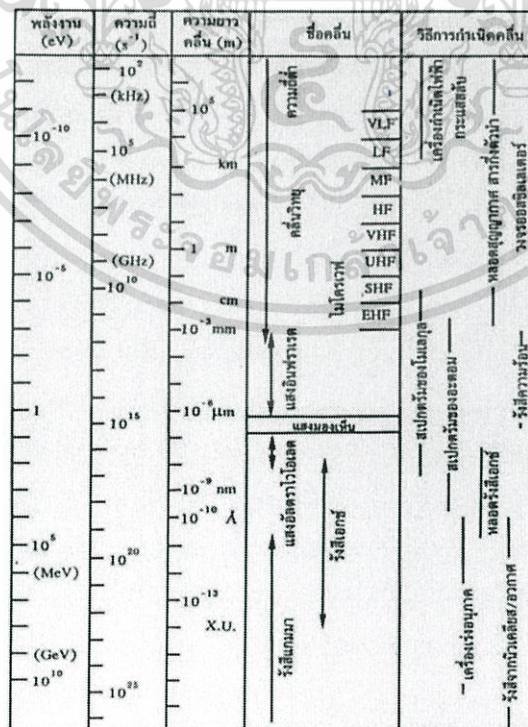
(<https://www.factomart.com/th/factomartblog/how-to-select-a-photoelectric-sensor/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอีกย่านที่มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ แสงในย่านอินฟราเรด(Infrared Light) ซึ่งเป็นแสงที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้มีสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถทำให้โมเลกุลของวัตถุเกิดการสั่นอย่างรุนแรงทำให้เกิดความร้อนขึ้น

รังสีอินฟราเรด (Infrared (IR)) หรือรังสีความร้อน วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์เคลวินล้วนแล้วเปล่งคลื่นอินฟราเรดออกมาได้ทั้งสิ้นร่างกายของมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งของอื่นๆรอบๆ ภายเราจึงเปล่งคลื่นอินฟราเรดออกมาตลอดเวลา สัตว์บางชนิด เช่น งู สามารถจับสัญญาณคลื่นความร้อนของเหยื่อได้ นักวิทยาศาสตร์ประดิษฐ์กล้องส่องเวลากลางคืนที่สามารถจับภาพสรรพสิ่งที่เปล่งรังสีอินฟราเรด แล้วใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ แปลงให้เป็นสัญญาณคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้อีกที่หนึ่งอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700 นาโนเมตร - 1,000,000 นาโนเมตร ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างไมโครเวฟกับแสงที่ตามองเห็นด้วยเหตุนี้จึงมีการระบุชื่ออินฟราเรดให้เจาะจงได้ เช่น เนียร์อินฟราเรด (Near-Infrared) หมายถึงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นอยู่ใกล้แสงที่ตามองเห็น ส่วนฟาร์อินฟราเรด (Far-Infrared) จะหมายถึงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นไกลกับไมโครเวฟ สมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด เช่น ไม่เปียงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันก็คือสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่ คือยิ่งความถี่สูงมากขึ้น พลังงานก็สูงขึ้น

ฟาร์อินฟราเรดเป็นคลื่นความร้อน เมื่อร่างกายของเราได้รับแสงแดด หรืออยู่ใกล้กองไฟ แล้วรู้สึกร้อน เป็นผลของรังสีอินฟราเรดชนิดนี้ทั้งสิ้น ระบบประสาทสัมผัสที่มีปลายเส้นประสาทอยู่ตามผิวหนังสามารถตรวจจับคลื่น ความร้อนนี้ได้ดีเพื่อให้รับรู้ถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของร่างกายกับ สิ่งสัมผัสนอกผิวหนัง ส่วนเนียร์อินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่ทำให้เรารู้สึกร้อน เนียร์อินฟราเรดสามารถนำมาใช้ในอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลของเครื่องใช้ ไฟฟ้าในบ้าน เช่น รีโมตของเครื่องรับทีวี และวิทยุ เหล่านี้เป็นต้น



รูปที่ 2.13 แสดงค่าพลังงานความถี่และความยาวคลื่นของแสงในย่านต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีอินฟราเรดสามารถแยกย่อยออกได้เป็น 3 ประเภทตามความยาวคลื่น คือ

2.7.1 เนียร์อินฟราเรด (Near-Infrared Region) เป็นย่านที่อยู่ใกล้กับแสงในย่านที่ตามองเห็นได้ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 800 นาโนเมตร - 2,500 นาโนเมตร นำมาใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์ทางการแพทย์ ทางด้านอาหาร และการควบคุมปริมาณทางเคมี การเกษตร

2.7.2 มิดเดินอินฟราเรด (Middle-Infrared Region) อยู่ถัดจากเนียร์อินฟราเรด มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 2,500 นาโนเมตร - 5,000 นาโนเมตร

2.7.3 ฟาร์อินฟราเรด (Far-Infrared Region) ถัดต่อจากมิดเดินอินฟราเรด เป็นย่านรังสีที่เรียกอีกอย่างว่า Thermal - Infrared ซึ่งก็คือ ย่านเดียวกับที่ร่างกายของเราแผ่รังสีความร้อนออกมา มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 5,000 นาโนเมตร - 1,000,000 นาโนเมตร

2.8 กฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต (Beer - Lambert's Law)

แสงที่เดินทางผ่านตัวกลางใดๆสามารถถูกลดทอนความเข้มของแสงโดยการดูดกลืนและการกระเจิงของแสง ซึ่งกฎพื้นฐานของการดูดกลืนแสงที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์นี้ คือ กฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต ซึ่งมีใจความอยู่ว่า “แสงที่ถูกดูดกลืนไปเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาและความเข้มข้นของสารละลายที่เป็นตัวกลางแสง” [13] ได้สมการคือ

$$I = I_0 10^{-\alpha c l} \quad (2.1)$$

เมื่อ I = ความเข้มแสงที่ผ่านตัวกลาง
 I_0 = ความเข้มแสงตกกระทบ
 α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของตัวกลาง
 l = ความหนาของตัวกลาง
 c = ความเข้มข้นของสารละลายที่เป็นตัวกลาง

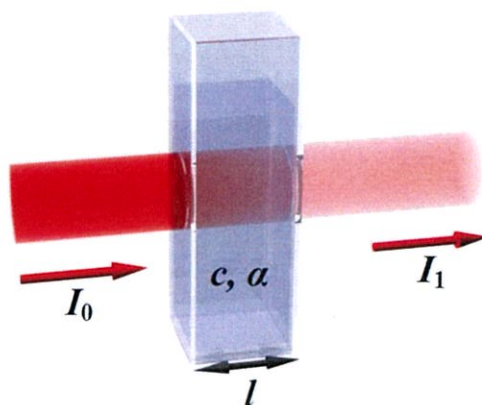
นอกจากนี้ จากสมการข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของการดูดกลืน (Absorbance) ของวัตถุใดๆ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$a = -10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \alpha c l \quad (2.2)$$

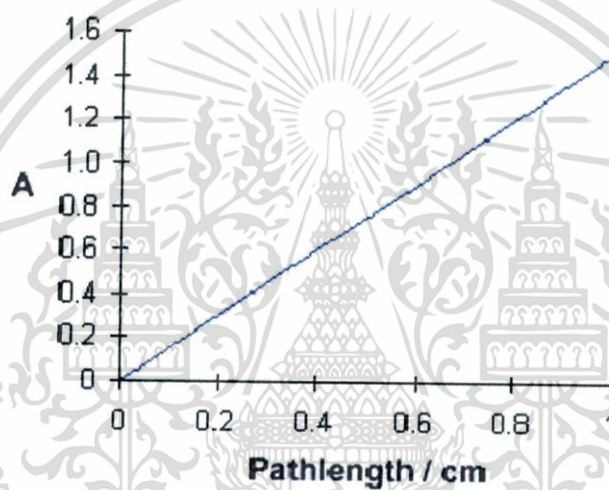
โดย

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (2.3)$$

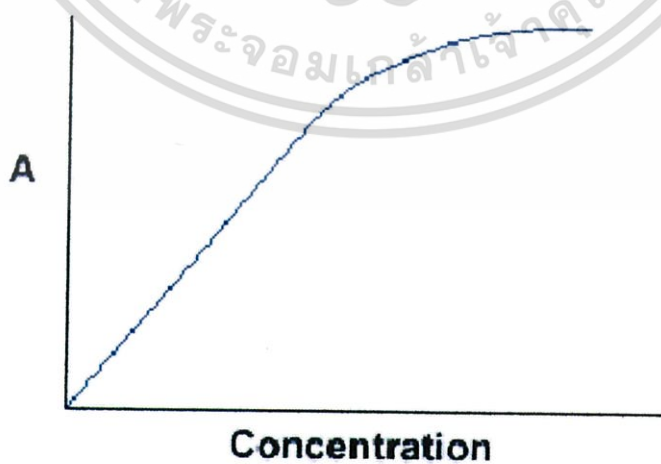
เมื่อ a = ค่าการดูดกลืน
 k = สัมประสิทธิ์การสูญเสีย
 λ = ความยาวคลื่นของแสง



รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมของ Beer - Lambert's Law
(https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet_van_Lambert-Beer)



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนกับความหนาของตัวกลาง



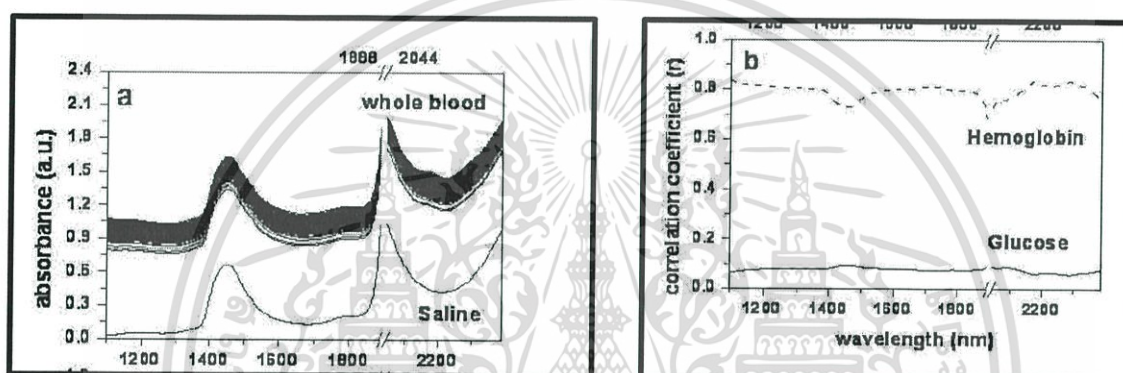
รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนกับความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ขอบเขตที่เหมาะสมของความยาวคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด

การแพร่ขยายของแสงย่านมิดเดิ้ลอินฟราเรด มีค่าไม่กี่ไมโครเมตรเท่านั้นและอาจนำมาประยุกต์ใช้ในการสกัดตัวอย่างเลือด ในทางกลับกันแสงในย่านเนียร์อินฟราเรด สามารถผ่านทะลุลึกในทางชีวภาพได้เพียงไม่กี่มิลลิเมตร แสงในย่านเนียร์อินฟราเรดมีศักยภาพพอในการที่จะประยุกต์ใช้แบบไม่ต้องเจาะเลือดหรือในการวิเคราะห์เลือดเพียงเล็กน้อยถึงแม้ว่าการดูดกลืนกลูโคสจะไม่สูงในขอบเขตของมิดเดิ้ลอินฟราเรด ที่ได้ทำการวิเคราะห์น้ำตาลในเลือด

เลือด 98 ตัวอย่างสำหรับการทดลองด้วยเนียร์อินฟราเรด เลือดทั้งหมดถูกนำเข้าสู่เซลล์ 0.5 มิลลิเมตร ระบบเนียร์อินฟราเรดจะใช้รับสเปกตรัม (แถบสี) ของเนียร์อินฟราเรด วัดสเปกตรัมได้ระหว่าง 1,100 นาโนเมตร ถึง 2,400 นาโนเมตร รูปที่ 2-16 เป็นการแสดงการวัดสเปกตรัม ค่าอ้างอิงในการวัดกลูโคสได้มาจากรากฐานการวิเคราะห์ทางเคมี

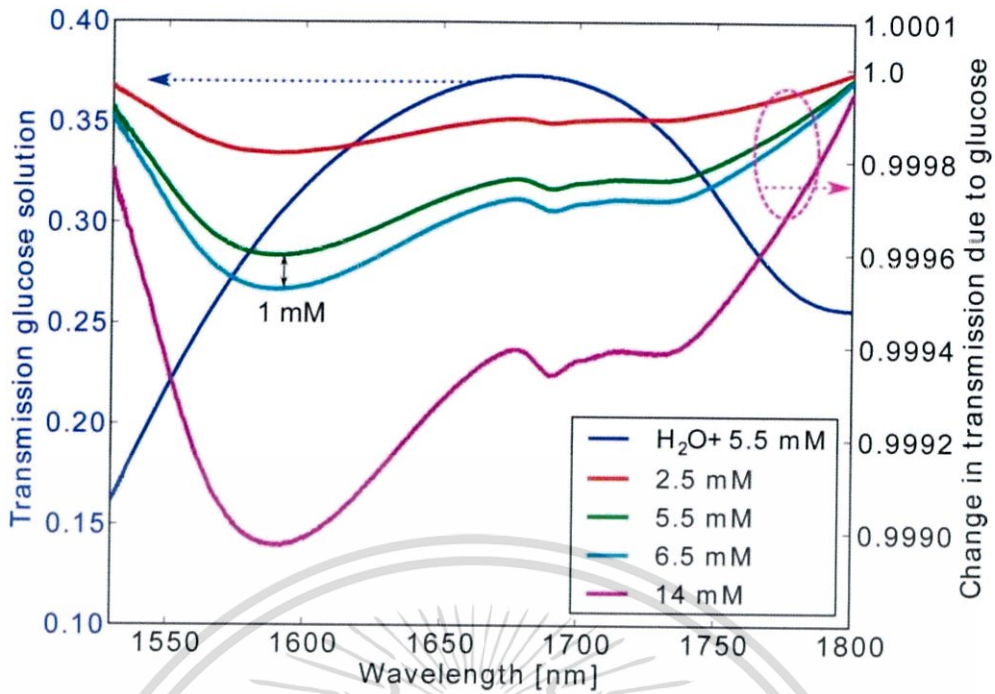


รูปที่ 2.17 ก. จากสเปกตรัมเลือดทั้งหมด 98 ตัวอย่าง และ สเปกตรัมน้ำเกลือ ข. จากสเปกตรัมเลือดทั้งหมดถูกแสดงความสัมพันธ์กับฮีโมโกลบินและความเข้มข้นของกลูโคส

ขอบเขตของเนียร์อินฟราเรด สเปกตรัมของเลือดจะคล้ายกับสเปกตรัมของน้ำตาล ในรูปที่ 2.17ก และรูปที่ 2.17ข แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมของเลือดและฮีโมโกลบิน และค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมของกลูโคสและความเข้มข้นของฮีโมโกลบินที่สูงมากๆ (~0.8) สเปกตรัมของเลือดที่มีค่าสูงมากขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเลือดในแต่ละความยาวคลื่น ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ประมาณ 1,440 นาโนเมตร - 1,940 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการดูดกลืนของน้ำ ในขณะที่เดียวกันค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมของเลือดและกลูโคสได้แค่เพียง 0.05 และ 0.1 ความเข้มข้นของกลูโคสมีผลเพียงเล็กน้อยต่อรูปร่างสเปกตรัมของเลือด

ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่นำมาใช้จะอยู่ในขอบเขต 1,380 นาโนเมตร - 1,888 นาโนเมตรและ 2,044 นาโนเมตร - 2,392 นาโนเมตร เมื่อค่าที่ใช้ทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 1,100 นาโนเมตร - 2,498 นาโนเมตร ข้อผิดพลาดที่ได้รับที่เลวร้ายที่สุด (24.1%) สเปกตรัมของเลือดและสเปกตรัมของน้ำเกลือแตกต่างกันอยู่ระหว่าง 1,100 นาโนเมตร - 1,380 นาโนเมตร การดูดกลืนของน้ำเกลือจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นสั้น นี่คือการดูดกลืนของน้ำในอีกทางหนึ่ง การดูดกลืนของเลือดจะเพิ่มขึ้นจนเกือบจะถึง 1,100 นาโนเมตรและนี่สะท้อนถึงการดูดกลืนของฮีโมโกลบินโดยประมาณ 1,940 นาโนเมตร เป็นความสูงมากในการดูดกลืนของน้ำ ดังนั้นจึงพิจารณาขอบเขตความเหมาะสมโดยการแยกการดูดกลืนของน้ำออกและความยาวคลื่นสั้นที่ใกล้จะถึง 1,100 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4026885/figure/g001>)

ซึ่งจากตัวอย่างที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส ดังรูปที่ 2.18 จะเห็นว่าเส้นกราฟสีฟ้าเป็นลักษณะของสเปกตรัมของแสงแบบปกติที่เคลื่อนที่ผ่านท่อนำแสง แต่ในเส้นกราฟที่เหลือเป็นเส้นที่แสดงถึงสเปกตรัมของแสงเมื่อเดินทางผ่านสารละลายกลูโคสภายในท่อนำแสง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสที่เปลี่ยนไป[6]

ในการหาขอบเขตที่เหมาะสมเพียงหมายถึงจุดศูนย์กลางเท่านั้น เมื่อพบขอบเขตที่เหมาะสมค่าหนึ่งแล้ว ทำการตรวจสอบเพื่อที่จะหาทางปรับปรุงประยุกต์ความแตกต่างโดยใช้เทคนิคการเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมและให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ (Preprocessing) ตารางที่ 2.1 สรุปความแตกต่างโดยใช้เทคนิคการเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมและให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ กระบวนการประยุกต์แก้ไขการกระเจิงของวิธีการแก้ไขการกระเจิงและพื้นฐานการเปลี่ยนแปลงไม่ได้ทำให้การหาค่าความแม่นยำดีขึ้น ในกรณีของกระบวนการตัดแปลงที่สองที่สามารถใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการแก้ไขเส้นฐาน ผลที่ได้เป็นที่เลวร้ายที่สุด พิจารณาสเปกตรัมของเลือดทั้งหมดซึ่งมีอิทธิพลต่อลักษณะที่สำคัญของฮีโมโกลบิน ฮีโมโกลบินดูเหมือนจะมีโครงสร้างมากกว่าสมบัติความแตกต่างของกลูโคส ขอบเขตความยาวคลื่นกว้าง ซึ่งไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์ค่ากำลังสองย้อนกลับต่ำสุดบางส่วน (PLSR) อาจจะทำให้กลูโคสดีขึ้นเมื่อใช้เทคนิคความแตกต่างการเตรียมข้อมูลให้เหมาะสม และให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ เป็นการประยุกต์ใช้สเปกตรัมที่ได้มาอย่างไรก็ตามขอบเขตของความยาวคลื่นที่เหมาะสมค่าหนึ่งวิเคราะห์โดยเวกเตอร์โหลตแรก ดูเหมือนว่าค่าเฉลี่ยจุดศูนย์กลางเพียงพอแล้วและการผลิตโดยใช้เทคนิคการเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมและให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงหรือเพิ่มเข้ามา

ตารางที่ 2.2 ผลจากการเตรียมข้อมูลสเปกตรัม ในรูปของ SEC (Standard Error of Calibration) จากตัวอย่างทั้งหมด 98 ตัวอย่าง จะถูกสอบเทียบโครงสร้าง โดยใช้ความแตกต่างของสเปกตรัม ก่อนการทดลองที่ความยาวคลื่น 1390 นาโนเมตร - 1888 นาโนเมตรและ 2044 นาโนเมตร - 2392 นาโนเมตร

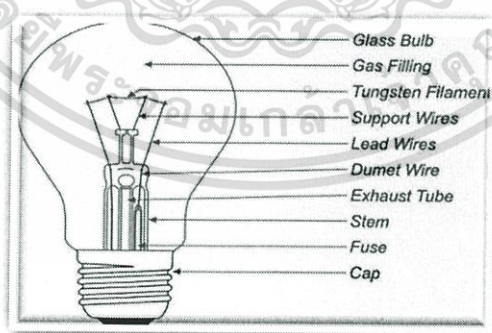
Preprocessing method	SEC	r_{Cal}	$VC_{CVal}[\%]$
Mean centering	21.6	0.9847	12.3
MSC mean centering	23.8	0.9810	12.5
SNV mean centering	22.0	0.9810	12.6
2 nd derivative (15*) mean centering	26.8	0.9768	19.5

หมายเหตุ : MSC: mean scatter correction ค่าเฉลี่ยแก้ไขการกระเจิง
 SNV: standard normal variate ค่าการเปลี่ยนแปลงมาตรฐาน
 *15 ค่าเฉลี่ยถูกทำขึ้นก่อนการวัดความแตกต่าง เพื่อลดสิ่งรบกวน

2.9 แหล่งกำเนิดแสง

2.9.1 หลอดทังสแตน

หลอดไส้หรืออินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp) เป็นหลอดที่ใช้ไส้หลอดเป็น ตัวเปล่งแสง (ทังสแตน) ภายในบรรจุแก๊สไนโตรเจนและแก๊สอาร์กอน เพื่อยืดอายุการใช้งานนานขึ้น ให้แสงออกมาใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ มีราคาถูก จึงนิยมใช้จนมาถึงปัจจุบัน



รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบของหลอดไส้ (ทังสแตน)
 (<http://theearthproject.com/halogen-light-bulbs/>)

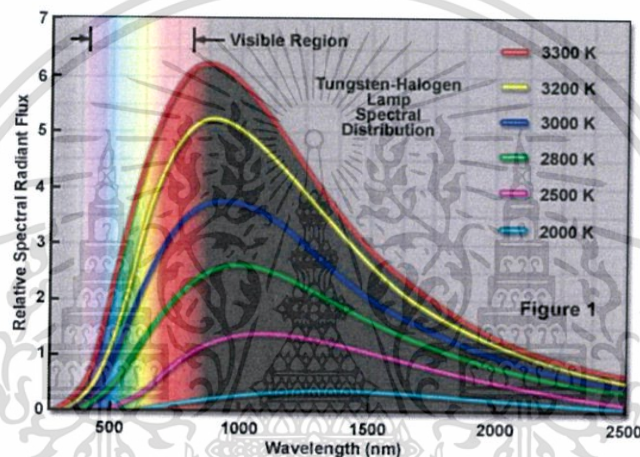
- ไส้หลอดครั้งแรก เอดิสันใช้คาร์บอนเส้นเล็กๆ เป็นไส้หลอดซึ่งมีปัญหาคือ ไส้หลอดขาดง่าย เมื่อได้รับความร้อน ปัจจุบันไส้หลอดทำด้วยทังสแตน ซึ่งเป็นโลหะที่หาง่าย ราคาไม่แพง มีความต้านทานสูง มีจุดหลอมเหลวสูงมาก เมื่อได้รับความร้อนจึงไม่ขาดง่าย ลักษณะของไส้เอกสารนี้เป็น หลอด ขดไว้เหมือนสปริง มีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า กล่าวคือการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำไส้หลอดจะใหญ่ ความต้านทานน้อย ส่วนหลอดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงไส้หลอดจะเล็กมีความต้านทานมาก

- หลอดแก้ว ทำจากหลอดแก้วใส ทนความร้อนได้ดี ภายในสุบอากาศออกจนหมด แล้วบรรจุแก๊สไนโตรเจน และอาร์กอนเพียงเล็กน้อยไว้แทนที่ แก๊สที่บรรจุไว้นี้จะช่วยให้ทั้งสแตนที่ได้รับความร้อนไม่ระเบิดไปจับที่ผิวในของหลอดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้หลอดไฟฟ้าดำ
- ขั้วต่อไฟ เป็นจุดต่อวงจรไฟฟ้าภายในหลอด

หลักการทํางานของหลอดไฟฟ้า การที่หลอดไฟฟ้าให้แสงสว่างได้เป็นไปตามหลักการดังนี้ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอด ซึ่งมีความต้านทานสูง พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้ไส้หลอดร้อนจัดจนเปล่งแสง ออกมาได้ ซึ่งมีการเปลี่ยนรูปพลังงานดังนี้

พลังงานไฟฟ้า ----> พลังงานความร้อน ----> พลังงานแสง



รูปที่ 2.20 สเปกตรัมของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนที่อุณหภูมิต่างๆ

(<http://magufos.crearimagen.com/15089/los-protectores-de-pantalla-para-tablets-a-19-euros-realmente-sirven-para-algo>)

2.9.2 แสงเลเซอร์

เลเซอร์ (laser) ในทางฟิสิกส์ คืออุปกรณ์ที่ให้กำเนิดลำแสงที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่รวมกันระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมกับอุณหพลศาสตร์ ซึ่งพลังงานแสงเลเซอร์ สามารถมีสมบัติได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการออกแบบ เลเซอร์ส่วนมากจะเป็นลำแสงที่มีขนาดเล็ก มีการเบี่ยงเบนน้อย (low-divergence beam) และสามารถระบุมความยาวคลื่นได้ง่าย โดยดูจากสีของเลเซอร์ ซึ่งเลเซอร์นี้อาจกล่าวได้ว่า เป็นการรวมพลังงานแสงที่ส่งออกมาจากหลายความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

เลเซอร์ จะหมายรวมไปถึงการให้พลังงานผ่านทางสื่อนำแสง ซึ่งสื่อนำแสงอาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว ก๊าซ หรืออิล็กตรอนอิสระที่มีสมบัติสามารถนำแสงได้ ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด จะประกอบไปด้วยกระจก 2 อัน ที่จะจัดเรียงแสงเข้าด้วยกันโดยที่แต่ละครั้งจะผ่านสื่อนำแสง โดยหนึ่งในกระจกนั้น (Output coupler) จะส่งลำแสงออกมา

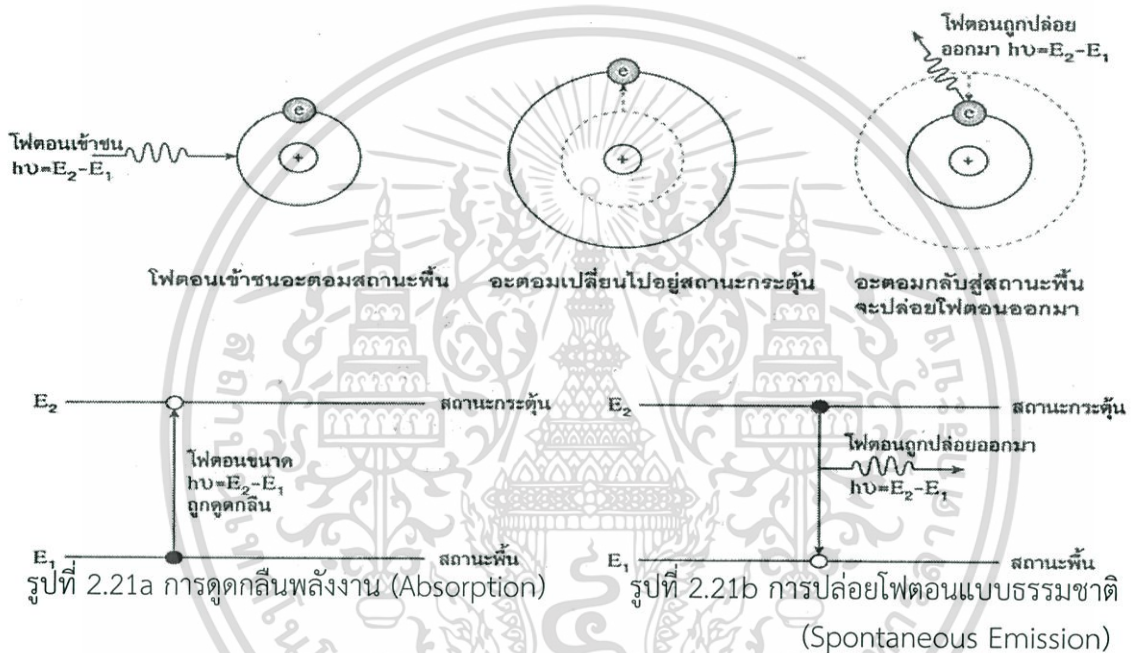
ลำแสงเลเซอร์ ที่ผ่านทางสื่อนำแสงจะมีความยาวคลื่นเฉพาะและมีพลังงานเพิ่ม ซึ่งกระจกนี้ จะพยายามทำให้แสงส่วนมาก สามารถผ่านทางสื่อนำแสงให้ได้และออกมาเป็นลำแสงเลเซอร์

กระบวนการเหนี่ยวนำลำแสงเพื่อเพิ่มพลังงานนี้ จะใช้พลังงานไฟฟ้าหรือแสงในหลายความยาวคลื่น ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้ง ความยาวคลื่นของแสงในแต่ละความยาวคลื่น จะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติรูปร่าง และความยาวคลื่นของลำแสงเลเซอร์ที่สร้างออกมา

- หลักการทำงานของเลเซอร์

โดยทั่วไปอะตอมหรือโมเลกุลของธาตุมักจะอยู่ในสถานะพื้น เมื่อมีโฟตอนที่มีขนาดเท่ากับผลต่างพลังงานในสถานะกระตุ้น(E_2) และในสถานะพื้น(E_1) ($h\nu = E_2 - E_1$) มาชนอะตอมจะทำให้โฟตอนถูกดูดกลืน แล้วอะตอมเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะกระตุ้นซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่า เราเรียกกระบวนการนี้ว่า การดูดกลืนพลังงาน (Absorption) ดังรูปที่ 2.19a เนื่องจากอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะกระตุ้นไม่เสถียร มันจะลดระดับพลังงานมาอยู่ที่สถานะพื้น(E_1) ตามเดิม ในช่วงนี้จะมีการปล่อยโฟตอนออกในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ $f = \frac{E_2 - E_1}{h}$ ดังรูปที่ 2.19b การปล่อยโฟตอนแบบนี้เป็นการปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ(Spontaneous Emission)



- คุณสมบัติของแสงเลเซอร์

แสงเลเซอร์จะมีคุณสมบัติต่างจากแสงทั่วไปดังนี้

- แสงโดยทั่วไปมีคุณสมบัติดังนี้

➢ แหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปจะปล่อยโฟตอนออกมาตามธรรมชาติ ดังนั้นโฟตอนแต่ละตัวจะมีทิศทางไม่แน่นอนและมีเฟสต่างกัน แสงจึงไม่เสริมกันทำให้ความเข้มของแสงลดลงเมื่อแสงเดินทางไกลขึ้น

➢ แสงจากหลอดไฟโดยทั่วไปจะให้ความถี่หรือความยาวคลื่นแสงออกมาหลายค่า แม้ว่าจะกรองให้แสงมีความถี่เดียว แต่ละโฟตอนของแสงสีเดียวกันก็ยังมีเฟสต่างกัน ดังนั้นแสงโดยทั่วไปจึงไม่เป็นอาพันธ์

- แสงเลเซอร์มีสมบัติดังนี้

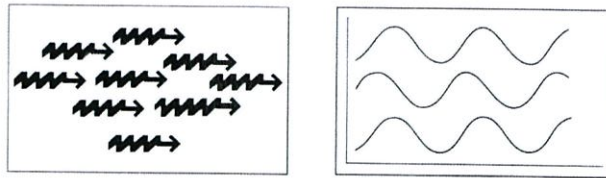
➢ มีทิศทางแน่นอน

➢ เป็นแสงที่มีความถี่และเฟสเดียวกัน จึงเป็นแสงอาพันธ์กัน

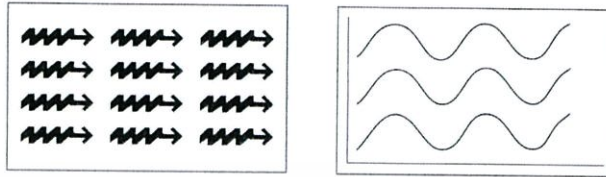
➢ มีความเข้มสูงมาก ทำให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและสามารถยิงรังสีแสง

ไปได้ไกลโดยความเข้มแสงไม่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แสงทั่วไปโฟตอนมีจังหวะไม่พร้อมกันคือไม่ได้อยู่ในเฟสเดียวกัน



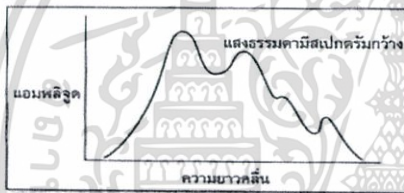
(b) แสงเลเซอร์โฟตอนมีจังหวะพร้อมกันคือมีเฟสเดียวกัน



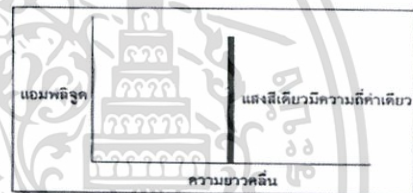
(c) แหล่งกำเนิดแสงทั่วไปให้คลื่นหลายความถี่และทิศทางไม่แน่นอน



(d) แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ให้แสงมีความถี่และเฟสเดียวกัน และทิศทางไปทางเดียวกัน

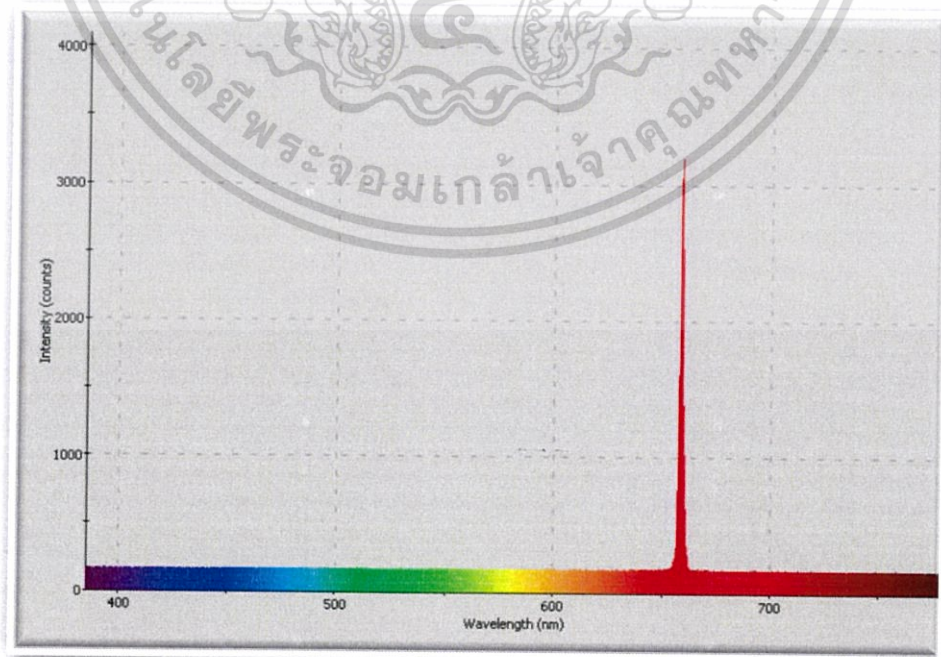


(e) แสงทั่วไปมีหลายความถี่ความเข้มแสงมีค่าไม่สม่ำเสมอ



(f) แสงเลเซอร์มีความถี่เดียวและความเข้มแสงมีค่าสม่ำเสมอ

รูปที่ 2.22 แสดงความแตกต่างระหว่างแสงธรรมดากับแสงเลเซอร์



รูปที่ 2.23 แถบสเปกตรัมการทำงานของเลเซอร์สีแดงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร 5 มิลลิวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

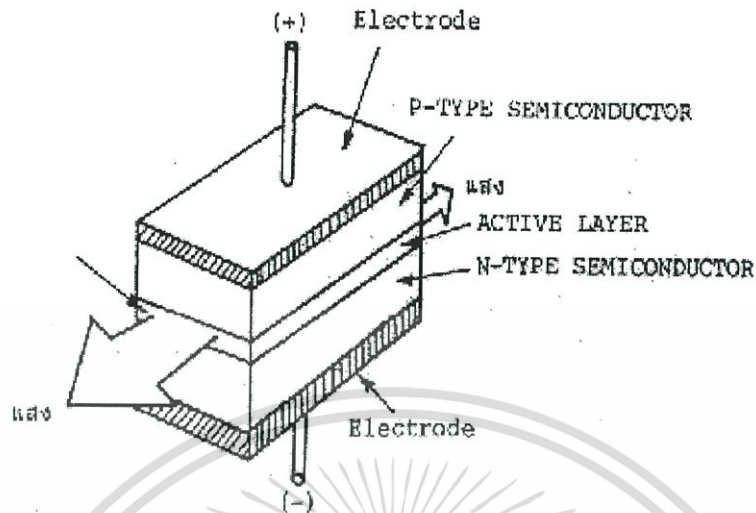
2.9.3 เลเซอร์ไดโอด(LD)

ปรากฏการณ์ปล่อยแสงนั้น ไม่ได้เกิดขึ้นกับสารกึ่งตัวนำทุกชนิดทั้งนี้ก็เพราะว่ามีสารพวกที่เกิดปรากฏการณ์ปล่อยแสงง่ายกับสารพวกที่เกิดการปล่อยแสงยาก เนื่องจากการปล่อยแสงนั้นเกิดจากการที่อิเล็กตรอนถ่ายเท (Transfer) จาก Conduction Band ไปยัง Valence Band จึงแบ่งสารออกเป็นพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายกับพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยาก[5] พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายเรียกว่า Direct Transfer Semiconductor พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยากเรียกว่า Indirect Transfer Semiconductor ตัวอย่างของสารพวก Direct Transfer Semiconductor ได้แก่ สารประกอบของ Indium (In) , Gallium (Ga) อนึ่งสารพวก Silicon (Si) Germanium (Ge) ที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์, IC นั้นส่วนใหญ่เป็น Indirect Transfer Semiconductor ปล่อยแสงออกมายาก เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้น เป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงานของ Conduction Band กับ Valence Band แต่ทว่าผลต่างของพลังงานนี้ จะมีค่าต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้มีค่าความยาวคลื่นแสงค่าต่าง ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสารประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง แสดงดังรูป และจากการพิจารณา ถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสารในทางปฏิบัตินั้น สำหรับย่านความยาวคลื่นสั้น 0.85 μm นิยมใช้ GaALAs และผ่านความยาวคลื่นยาว 1.3 μm นิยมใช้ InGaAsP ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง การเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากจึงมีผลจำกัดต่อการเลือกใช้

เกี่ยวกับโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง จากทางด้านการใช้งานเพื่อให้ได้กำลังการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น การนำสารกึ่งตัวนำ P และ N มาเชื่อมกัน (JUNCTION) นั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการทำให้เข้าใจขั้นตอนการปล่อยแสง อันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้น ในที่นี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และ แบบ N-type

สำหรับสารกึ่งตัวนำปกติจำนวนของอิเล็กตรอน (หรือจำนวน HOLE) ที่มีอยู่นั้นจะมีค่าคงที่ตามชนิดของอะตอม และอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกันอยู่ใน Valence Band ดังได้ เคยกล่าวมาแล้วในตอนต้น สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่า Genuine Semiconductor แต่สารที่เรียกว่า P-type Semiconductor นั้น มีสภาพที่มีจำนวน Hole (อนุภาคที่มีประจุ+ ในตัว) และมีอิเล็กตรอน (มีประจุ-ในตัว) น้อยดังแสดงในรูป ส่วนสารที่เรียกว่า N-type Semiconductor นั้น จะมีสภาพตรงกันข้ามกับ P-type Semiconductor กล่าวคือ มีอิเล็กตรอนมากกว่า Hole และจำนวนอิเล็กตรอนที่มากเกินไปนี้จะรวมตัวกันอยู่ใน Conduction Band

โดยทั่วไปแล้วเลเซอร์ไดโอด จะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้น (Three Layers) ดังแสดงในรูป 2.23 ในการเกิด Laser Oscillation นั้นคือ ส่วนที่ทำหน้าที่เป็น Resonator ซึ่งเรียกว่า Active Layer มีตำแหน่งอยู่ระหว่าง P-type Semiconductor กับ N-type Semiconductor



รูปที่ 2.24 โครงสร้างทั่วไปของ LD (<http://www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard>)

จากรูปที่ 2.23 ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้ว + ไปยัง - (ทำการฉีดกระแส : Current Injection) จะเกิดแสง Laser ออกมาในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร เกี่ยวกับวิธีการเปิด Oscillation ของ LD นั้น อธิบายโดยเน้นตรงบริเวณชั้นทั้ง 3 ของ P-type, N-type และ Active Layer นี้ สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่า Double Hetero Junction นั้น หมายความว่า Junction ของ Layer ของสารที่มีส่วนประกอบต่างกัันนั้นมี 2 ด้าน โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของเลเซอร์ไดโอด

ในการทำให้เกิด Laser Oscillation นั้นจะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงานของ Conduction Band ของ P-Type Semiconductor และ Conduction Band ของ Active Layer มีค่าพร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่างพลังงานของ Conduction Band กับ Valence Band ของ P-Type Semiconductor มีค่ามากด้วย นอกจากนั้นยังต้องทำให้ระดับพลังงานของ Valence Band ของ N-type Semiconductor ค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของ Valence Band ของ Active Layer ด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมกันจะได้ระดับพลังงาน ดังรูป เมื่อทำให้มีกระแสไหลใน Semiconductor ที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวข้างต้น โดยให้มีทิศทางไหลจาก P-Type ไปหา N-type ผลของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และ HOLE เหล่านี้ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอน และ HOLE อยู่ภายใน Active Layer (แสดงด้วยในรูป และโยทั่วไป Active Layer นี้จะใช้สาร P-Type) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตดูระดับพลังงานของ Layer ทั้ง 3 ที่แสดงในรูป จะเห็นว่าเกิดมีกำแพงของพลังงาน (เรียกว่า Hetero Barrier) ขึ้นทำให้อิเล็กตรอนและ HOLE ที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกขังอยู่ใน Active Layer เป็นผลให้เกิดสภาพ Inversion Distribution ได้ดีทำให้มีผลการขยายความเข้มของการปล่อยแสง

อนึ่ง โดยการทำให้ดัชนีการหักเหของ Active Layer มีค่ามากกว่า Layer ข้างเคียงดังแสดงในรูป จะมีสภาพเหมือนกันกับเส้นใยแสง แสงที่ปล่อยออกมาจะถูกกักและเดินทางอยู่ใน Active Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการกักอิเล็กตรอน และ HOLE เอาไว้ใน Active Layer และผลการกักแสงเอาไว้ใน Active Layer ทำให้ได้การปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพดีได้

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแสงจะออกมาจากระนาบสะท้อนกลับ โดยที่ระนาบสะท้อนกลับนี้ทำจากการใช้สิ่งที่มีคมมากๆ คล้ายใบมีดโกนไปตัดสารกึ่งตัวนำที่ประกอบกันเป็น LD ให้มีช่องเปิดเรียกว่า Open Wall โดยการทำให้แสง LASER จะถูกกักขังอยู่ใน Active Layer ได้ดี แต่ทว่าเมื่อมันเดินทางมาถึง Open Wall มันจะหลุดออกมาข้างนอกตลอดแนวของ Open Wall นี้ทำให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมแสงเข้ากับเส้นใยแสงไม่ดีด้วยเหตุนี้ เพื่อเป็นการทำให้ประสิทธิภาพดี จำเป็นต้องมีการปรับปรุงต่างๆ เพื่อให้มีปฏิภพการนำคลื่นแสงในทิศทางแนวนอน (Horizontal) ด้วย ตัวอย่างอันหนึ่งของวิธีการปรับปรุงก็คือ สิ่งที่เราเรียกว่า Planer Stripe Structure

เพื่อให้การผลิต LD ทำได้ง่าย (การสร้างผลึกและสร้างขั้วไฟฟ้า) จะทำให้มีโครงสร้างเป็น 5 ชั้น (LAYER) และทำให้บริเวณที่กระแสไหลมีขนาดแคบ ส่วน LASER OSCILLATION เป็นการใช้หลักการที่ทำให้ Oscillation เกิดขึ้นเฉพาะตรงส่วนที่กระแสไหล นั่นคือ ตรงส่วนที่มีการกระตุ้น (Stimulation) เท่านั้นจากรูป จะเห็นได้ว่าขั้วบนสุดที่มีขั้วไฟฟ้า + ติดอยู่เป็น N-type เกือบทั้งหมด แต่จะมีเฉพาะส่วนหนึ่งที่แคบ ว่าเป็น P-type เมื่อทำดังนี้จะไม่มีการกระแสไหลตรงส่วนเชื่อมต่อของ N-type, P-type, Active Layer และ N-type (ทั้งนี้เพราะว่าจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ กระแสจะไม่ไหลจาก N-type ไปยัง P-type) แต่ในทางตรงข้ามกระแสจะไหลเฉพาะตรงส่วนเชื่อมต่อของ P-type, P-type, Active Layer และ N-type นั่นคือ ส่วน P-type ของชั้น (LASER) ที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นทางไหลเข้าของกระแสกลายเป็นแถบ (Stripe) ส่วนหนึ่งของ Active Layer จึงเรียกว่า Planer Stripe Type และนิยมใช้กันมาก คือ แบบ Embedding Stripe Type

โครงสร้างนี้มีลักษณะพิเศษตรงที่ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ Active Layer มีค่าสูงทั้งส่วนบน, ล่าง, ซ้าย, ขวา นั่นคือ ส่วนบนของ Active Layer มี Layer ของ P-type อยู่ ซึ่งจะเหมือนกับ Planer Stripe Type และกระแสจะไหลเฉพาะในส่วนนี้เท่านั้นจากข้างบนไปข้างล่างนอกจากจะสามารถทำให้เกิด Laser Oscillation ด้วยกระแสที่มีค่าน้อยแล้วยังทำให้ดัชนีการหักเหของ Active Layer มีค่าสูงมากขึ้นอีก จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการกักแสงเพิ่มขึ้นสามารถได้แสงที่ปล่อยออกมาเป็นลำแสงที่คม (Sharp) มาก

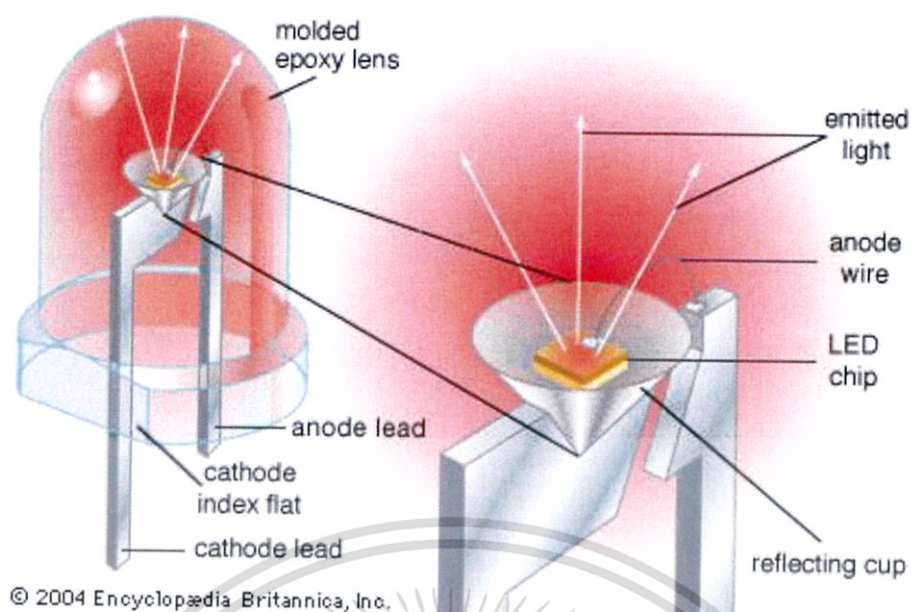
โครงสร้างพื้นฐานของ LED เหมือนกันกับของ LD กล่าวคือเป็น Double Hetero Junction อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน P-N Junction จะไปรวมกับ HOLE ภายใน Active Layer เช่นเดียวกันกับกรณีของ LD ดังรูป และจะเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายใน Active Layer เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของ Hetero Junction แต่สำหรับกรณีของ LED นั้น โครงสร้างของมันไม่มีการขยาย Oscillation ของแสงเหมือนอย่าง LD (ไม่มีระนาบสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่อยู่ห่างจากด้านข้างนั้น จึงออกจากด้านข้างได้ยาก ด้วยเหตุนี้ LED ทั่วไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกจากด้านหน้าทีต่อกับขั้วไฟฟ้า

2.9.4. หลอด LED

หลอด LED นั้นมีมานานแล้ว เริ่มปรากฏในแผงวงจรครั้งแรกเมื่อปี 1962 ซึ่งในช่วงแรกๆนั้น LED ให้ความเข้มแสงไม่มากนัก และมีใช้ในเฉพาะ ความถี่ในช่วงแสง infra-red ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ (ซึ่งเรายังคงเห็นรูปแบบการใช้งานในช่วงแสง infra-red นี้ตามอุปกรณ์ประเภทรีโมทคอนโทรลในเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนจนปัจจุบัน) ต่อมา LED ถูกพัฒนาให้สามารถเปล่งแสงที่มองเห็นได้ โดยแสงสีแดง ถูกคิดค้นขึ้นได้ก่อน แต่ก็ยังมีความเข้มแสงที่ต่ำอยู่ หลังจากนั้น LED ก็ถูกพัฒนาเรื่อยมาจนกระทั่งสามารถให้แสงที่ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ infrared แสงที่มองเห็นไปจนถึงย่าน ultra violet หรือ UV ต่อจากนั้น LED ก็ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในอุปกรณ์ไฟแสดงตามแผงควบคุมต่างๆ, ในไฟแสดงตัวเลข seven segment และนาฬิกาดิจิตอล ต่อมา LED ก็ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพด้านความเข้มแสงมากขึ้น จึงทำให้เกิดการนำเอา LED มาใช้ในการแสดงสัญญาณต่างๆ เช่น ไฟสัญญาณสำหรับการบิน ไฟสัญญาณจราจร และเนื่องด้วย LED มีข้อดีในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านประหยัดพลังงาน ด้านการใช้งานได้นานขึ้น การบำรุงรักษาที่ต่ำ ด้านความทนทานของตัวหลอดเอง และขนาดก็เล็กมากเมื่อเทียบกับหลอดไส้ยั้งเดิม ทั้งยังปิดเปิดง่ายขึ้นแล้ว นักวิจัยและบริษัทต่างๆจึงมุ่งเน้นพัฒนาประสิทธิภาพด้านความเข้มแสงหรือความสว่างให้สูงขึ้นไปอีก เพื่อหวังที่จะนำเอา LED มาใช้เป็นไฟฟ้าแสงสว่างในชีวิตประจำวันเพื่อทดแทนหลอดไฟแบบที่มีใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน แต่ก็ติดปัญหาเรื่องการทำให้ LED มีแสงสีขาว เหมือนหลอดไฟทั่วไปไม่ได้ จนกระทั่ง ในปี 1990 นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น 3 คน ได้ร่วมกันพัฒนาจนประสบความสำเร็จ ซึ่งภายหลังทั้ง 3 คนนี้จึงได้รับการยกย่องและได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี 2014 ในฐานะเป็นผู้คิดค้นสิ่งประดิษฐ์ ที่จะทำให้เกิดการปฏิวัติวงการทั้งโลก ด้านไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้พลังงาน ในศตวรรษที่ 21

การเปล่งแสงของหลอด LED เกิดขึ้นจากขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปทีโฮลของสาร P อิเล็กตรอนจะตกจากวงโคจรสูง หรือแถบนำไฟฟ้า ไปสู่วงโคจรต่ำหรือแถบวาเลนซ์ มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับไดโอดทุกชนิด แต่สามารถเห็นแสงได้ก็ต่อเมื่อ ความถี่ของพลังงานอยู่ในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ ดังเช่น ไดโอดที่ทำจากซิลิคอน ซึ่งมีช่วงของแถบพลังงานแคบ ทำให้ได้โฟตอนความถี่ต่ำ เป็นความถี่ที่ตามองเห็นได้ อย่างไรก็ตาม ความถี่ที่ตามองไม่เห็นก็มีประโยชน์ไม่น้อยยกตัวอย่างเช่นช่วง อินฟราเรด สามารถนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรล เป็นต้น

เมื่อไดโอดให้แสงออกมาแล้ว ถ้าเราไม่ควบคุมทิศทาง แสงจะกระจัดกระจาย และวิ่งออกมาอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้ความเข้มของแสงน้อยลง ดังนั้นในหลอด LED เราจะใช้พลาสติกหุ้ม และเอียงให้แสงสามารถสะท้อนออกไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

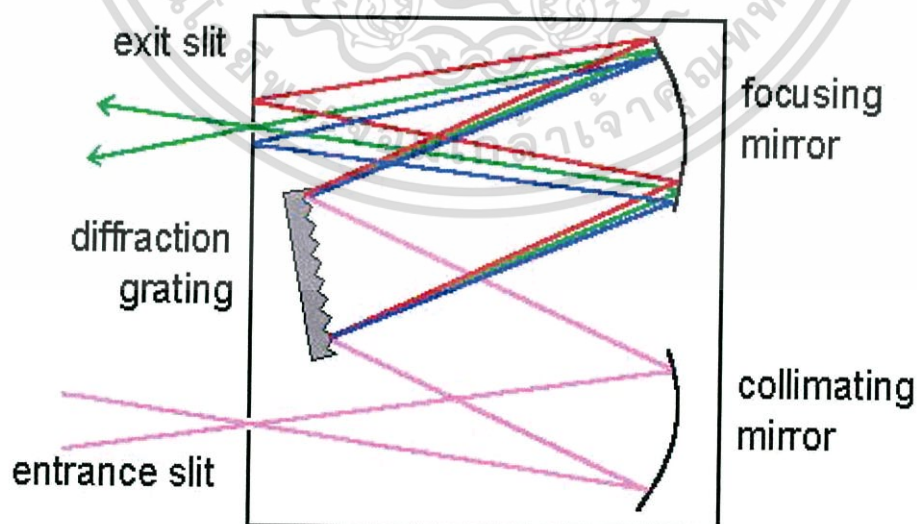


รูปที่ 2.25 โครงสร้างภายในของLED

(<https://global.britannica.com/technology/LED/images-videos>)

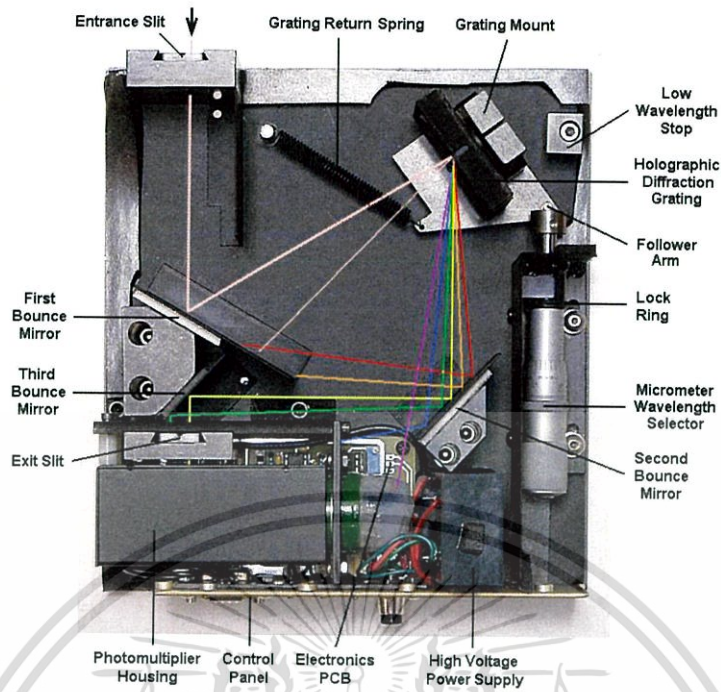
2.10 โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

ภาษากรีก mono แปลว่า เดี่ยว chroma แปลว่า สี เป็นเครื่องมือทางแสงที่ใช้สำหรับแยกแสงสีเดียวให้ออกเป็นแสงหลายสี(แต่ละสีมีความยาวคลื่นไม่เท่ากัน) และสามารถเลือกแสงในความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาใช้ได้



รูปที่ 2.26 แสดงหลักการทำงานของโมโนโครเมเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Verity Instruments EP200 Monochromator/Detector Organization

รูปที่ 2.27 แสดงส่วนประกอบภายในของโมโนโครเมเตอร์

ส่วนประกอบของโมโนโครเมเตอร์

- ช่องแสงเข้า (entrance slit)
- กระจก/เลนส์ทำแสงขนาน (collimating mirrors/lens)
- ตัวกลางกระจายแสง (dispersing medium) ได้แก่ ปริซึม (prism), เกรตติ้ง (grating)
- กระจก/เลนส์โฟกัส (focusing mirrors/lens)
- ช่องแสงออก (exit slit) และระนาบโฟกัส (focal plane) นอกจากนี้ยังมี entrance และ exit windows

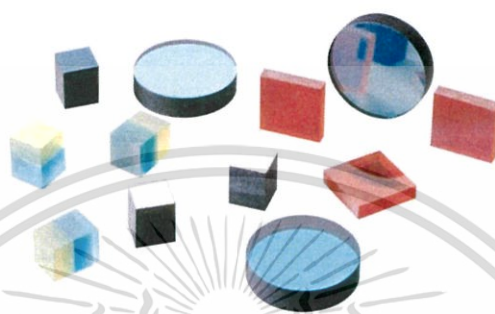
หลักการทำงานของโมโนโครเมเตอร์ คือ ให้แสงส่องผ่านช่องแสงเข้า (entrance slit) เข้าสู่เครื่อง ไปตกที่กระจกสะท้อน สะท้อนไปที่เกรตติ้ง ซึ่งจะทำหน้าที่แยกแสงออกเป็นหลายสีกระจายออกไปตกที่กระจกสะท้อนที่สองและสาม เราใช้ไมโครมิเตอร์ (micrometer) หมุนมุมของเกรตติ้ง เพื่อเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการให้ออกสู่ช่องแสงออก

2.11 ตัวกรองสัญญาณทางแสง (Optical Filter)

ตัวกรองสัญญาณทางแสง เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่จะเลือกปล่อยสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นช่วงหนึ่งให้ผ่านออกไปได้แต่จะปิดกั้นสัญญาณแสงในย่านที่มีความยาวคลื่นนอกเหนือจากนั้นออกไป โดยการปิดกั้นสัญญาณที่ไม่ต้องการนั้น สามารถทำได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับเนื้อสารที่ใช้ทำเป็นวัสดุ ตัวกรองสัญญาณทางแสงจะใช้วัสดุบางชนิดสามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่นช่วงหนึ่งได้หรือเคลือบด้วยฟิล์มบางที่มีสมบัติต่างกันหลายๆชั้นเพื่อที่จะสะท้อนออกหรือปล่อยให้สัญญาณผ่านได้หรือถ้าเป็นตัวกรองสัญญาณแบบแทรกสอด จะใช้สมบัติการแทรกสอดแบบหักล้างของแสงกรองสัญญาณที่มีความยาวคลื่นที่ไม่ต้องการออกไปหรือตัวกรองสัญญาณที่เคลือบด้วยสารกึ่งเอกซาร์เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำที่มีค่าแบนด์แกป (Band Gap) อยู่ในย่านความยาวคลื่นใดก็จะทำให้เฉพาะสัญญาณที่มีค่าความยาวคลื่นนั้นถึงจะสามารถผ่านได้ เป็นต้น

LongPass Color Glass Filter ตัวกรองสัญญาณแบบแก้วสีชนิดลงพาส (ความยาวคลื่นมากจึงจะผ่านได้) ผลิตโดยกรรมวิธีที่เรียกว่าการให้สีโดยใช้ไอออน (Ionic coloration) โดยการทำละลาย (Dissolving) โคบอลต์หรือนิกเกิลออกไซด์ ลงในเนื้อแก้วจะได้แก้วที่มีลักษณะเป็นสีน้ำเงินม่วงเข้ม มีสมบัติที่จะยอมให้สัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 700 นาโนเมตรเท่านั้นจึงจะสามารถผ่านได้



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างตัวกรองสัญญาณทางแสง
(<http://sphereoptics.de/en/product/thin-film-coatings/>)

2.12 ตัวตรวจจับสัญญาณทางแสง (Photodetector)

ไดโอด เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้ามันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว และกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงอาจถือว่าไดโอดเป็นวาล์วตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เรียงกระแสไฟฟ้าในวงจรภาคจ่ายไฟ เป็นต้น ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p - n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว[12]

ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และแคโทด (Cathode; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n



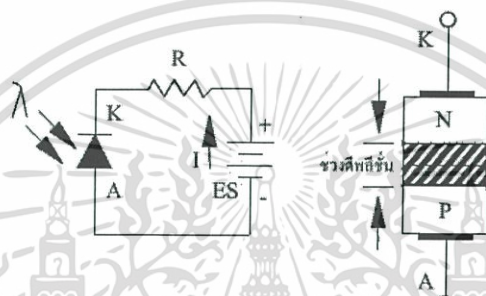
รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector)

โฟโตดีเทคเตอร์ นั้นเป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบคือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็นและแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ

โฟโตดีเทคเตอร์จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตดีเทคเตอร์ ได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มาตกกระทบมีความยาวคลื่นหรือแลมด้าที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาคือยอมให้กระแสไหลผ่านได้



รูปที่ 2.30 แสดงสัญลักษณ์และการไบอัสใช้งาน

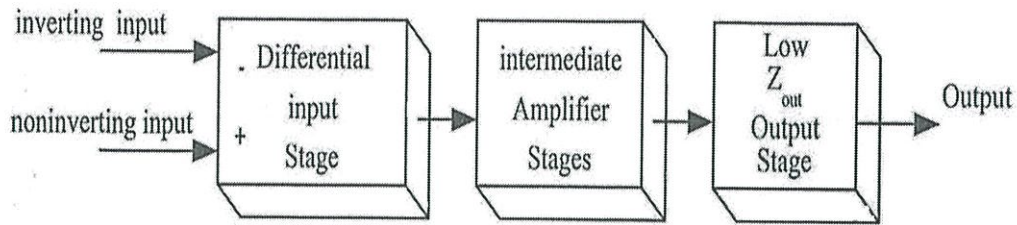
(<http://kruchitchai.com/2011/01/30>)

โฟโตดีเทคเตอร์ เมื่อเทียบกับ LDR (ตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสง) แล้วโฟโตดีเทคเตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเร็วกว่า LDR มาก จึงนิยมนำไปประยุกต์งานในวงจรที่ต้องการความเร็วสูง เช่น เครื่องนับสิ่งของ, ตัวรับรีโมทคอนโทรล, วงจรกันขโมยอินฟราเรด, วัดความเข้มแสง, เซ็นเซอร์แสง, กำหนดตำแหน่งของเครื่องมือกล, การวัดระยะทางไกลด้วยอินฟราเรด เป็นต้น จะใช้โฟโตดีเทคเตอร์ เป็นตัวรับสัญญาณในรูปของแสง ซึ่งจะวัดค่าความเข้มของแสงได้โดยการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้า โดยใช้หลักการโฟโตอิเล็กทริก (photo electric) คือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่โลหะพิเศษ อิเล็กตรอนจากโลหะจะหลุดออกเข้าสู่ตัวนับสัญญาณ จำนวนของอิเล็กตรอนหลุด แสดงถึงปริมาณแสงที่วัดได้

2.13 ออปแอมป์ (Operational Amplifiers)

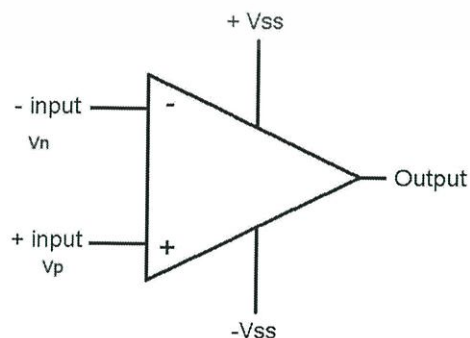
ออปแอมป์เป็นวงจรขยายสัญญาณซึ่งออกแบบในรูปของวงจรรวม หรือเรียกย่อๆว่า ไอ.ซี. โดยถูกออกแบบบรรจุในภาชนะ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบโลหะซึ่งมี 8 ขา และแบบพลาสติกซึ่งมี 8 ขาหรือ 14 ขา ลักษณะวงจรภายในของออปแอมป์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ภาควิธีการขยายสัญญาณและภาควิธีการขยายสัญญาณออก[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 บล็อกไดอะแกรมของออปแอมป์

- ภาคสัญญาณเข้าของออปแอมป์ส่วนใหญ่จะใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบผลต่าง (differential amplifier) หรือเรียกว่า ดิฟแอมป์ ซึ่งมีอัตราขยายสัญญาณอินพุตผลต่างที่สูง ในทางกลับกันจะมีอัตราขยายสัญญาณอินพุตร่วมที่ต่ำ นอกจากนี้จะต้องมีอิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรสูงมาก
 - ภาคขยายสัญญาณ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณทั้งแรงดันและกระแส
 - ภาคสัญญาณออก มักจะจัดเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วม เพื่อให้อิมพีแดนซ์ขาออกของวงจรมีค่าต่ำมากและสามารถขับกระแสโหลดได้เพียงพอ
- คุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์ในทางอุดมคติมีดังต่อไปนี้คือ
- อัตราการขยายแรงดันลูปเปิด (Open loop voltage gain, A_{OL}) จะต้องมีค่าสูงมากเป็นอนันต์ (infinite)
 - อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input impedance, Z_{in}) จะต้องมีค่าสูงมากเป็นอนันต์
 - เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ (Output impedance, Z_{out}) จะต้องมีค่าต่ำมากเป็นศูนย์
 - ช่วงความถี่แบนด์วิดท์ (Bandwidth, BW) จะต้องมีค่ามากเป็นอนันต์
 - แรงดันอินพุทออฟเซต (Offset input voltage, V_{OS}) จะต้องมีค่าต่ำมากเป็นศูนย์

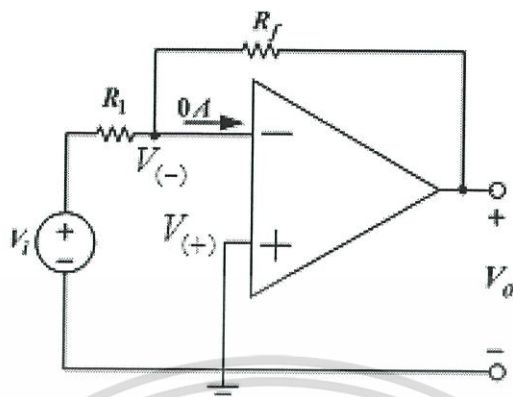


รูปที่ 2.32 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม



รูปที่ 2.33 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

พิจารณาจากรูปด้านบนเราจะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุต คือ

$$V_+ = 0 = V_- \quad (2.4)$$

ขั้วบวกของออปแอมป์ต่อลงกราวด์ แรงดันที่ขั้วอินจึงมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{V_- - V_i}{R_1} + \frac{V_- - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.5)$$

พิจารณาที่โหนด V_- จาก KCL; เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = 0$ ในสมการข้างต้น จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ

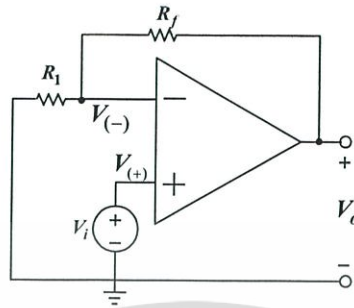
$$\frac{-V_i}{R_1} - \frac{V_o}{R_f} = 0 \quad (2.6)$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_i \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ voltage gain มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาต์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิม



รูปที่ 2.34 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

พิจารณาจากรูปจะได้

$$V_+ = V_i = V_- \quad (2.8)$$

ขั้วบวกของ Op amp ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน แรงดันที่ขั้วบวกจึงมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น

พิจารณาที่โหนด V_- จาก KCL;

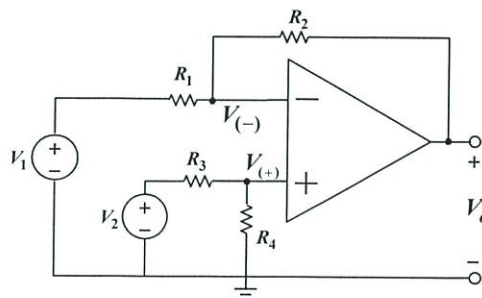
$$\frac{V_-}{R_1} + \frac{V_- - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.9)$$

เมื่อแทนค่า $V_- = V_i$ ในสมการข้างต้น จะได้

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.10)$$

- วงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบสัญญาณ (Difference Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบ คือ วงจรที่ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองอินพุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.35 วงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบทำหน้าที่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป พิจารณาที่โหนด $V_{(+)}$ จาก KCL;

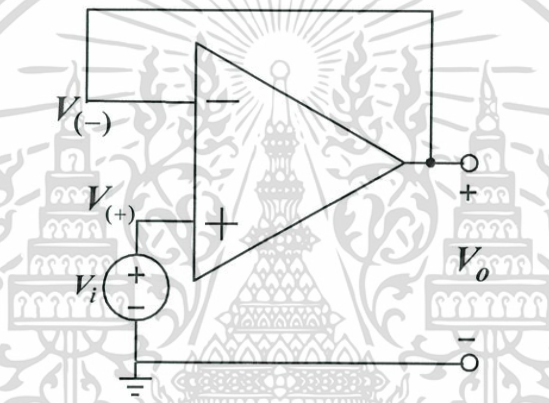
$$\frac{V_{+} - V_2}{R_3} + \frac{V_{+}}{R_4} = 0 \quad (2.11)$$

พิจารณาที่โหนด $V_{(-)}$ จาก KCL;

$$\frac{V_{-} - V_1}{R_1} + \frac{V_{-} - V_o}{R_2} = 0 \quad (2.12)$$

- วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน (Voltage Follower (Buffer))

วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเท่ากับแรงดันทางด้านอินพุต



รูปที่ 2.36 The voltage follower

พิจารณาจากรูปจะได้

$$V_{+} = V_i = V_{-} \quad (2.13)$$

และ

$$V_{-} = V_o \quad (2.14)$$

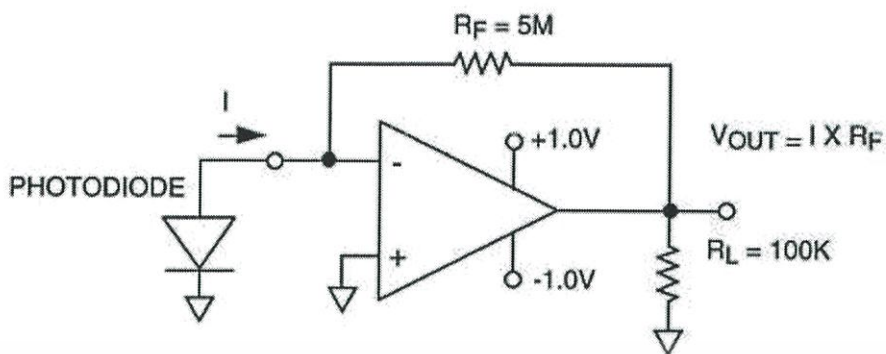
- วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (Current-to-Voltage Converters)

เป็นลักษณะของวงจรแบบแหล่งจ่ายแรงดันควบคุมด้วยกระแส ซึ่งรับกระแสอินพุตแล้วมาเปลี่ยนให้เป็นแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเท่ากับ

$$V = A \cdot I_{in} \quad (2.15)$$

โดยที่ A คืออัตราขยาย (gain) ของวงจรมีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm, Ω) บางครั้งอัตราขยาย A ของวงจรมิเขียนในรูปของ R จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “วงจรขยายค่าความต้านทาน”

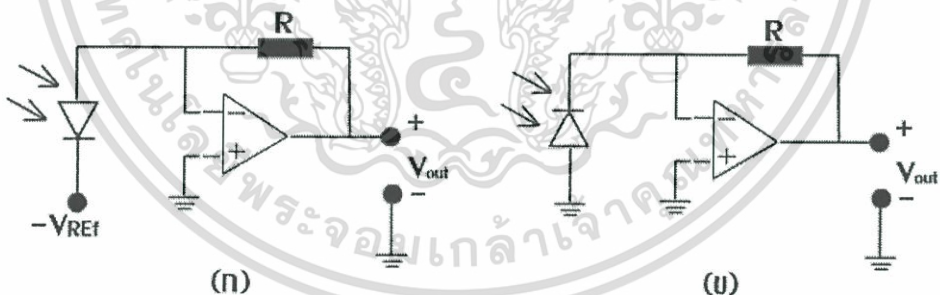
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

- วงจรขยายความเข้มแสง (Photodetector Amplifier)

อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสง (Photodetector) คือ ทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ให้กำเนิดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าแปรผันตามปริมาณของแสง หรือการแพร่ของรังสีที่ตกกระทบตัวมัน ดังนั้นการนำเอาวงจร I-V มาใช้กับอุปกรณ์ชนิดนี้ก็เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงให้เป็นแรงดันไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงนิยมนำมาใช้งานมากที่สุดคือ โฟโตดีเทคเตอร์ เพราะมีราคาถูก ขนาดเล็ก และกินไฟต่ำ ยกตัวอย่าง คือ AD548 Photodiode



รูปที่ 2.38 วงจรขยายความเข้มแสง

(ก) ใช้แรงดันไบอัสกลับ (reverse bias) (ข) ใช้แรงดันไบอัสเป็นศูนย์ (zerobias)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขยายอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifiers, IAs)

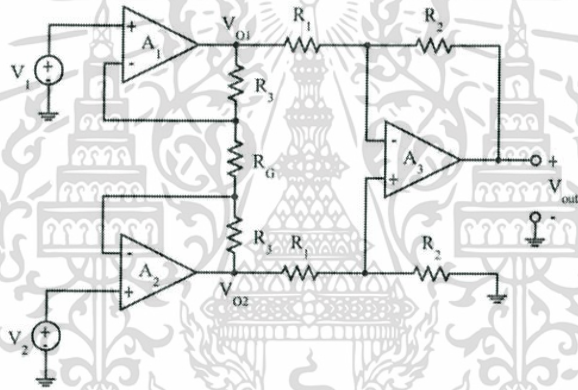
เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณผลต่างของสัญญาณอินพุตทั้งสองของวงจร ซึ่งพัฒนามาจากหลักการของวงจรขยายสัญญาณผลต่างพื้นฐาน (difference amplifier) เพื่อปรับปรุงให้สมรรถนะของวงจรให้ดีขึ้น โดยแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะมีความสัมพันธ์เป็นไปดังสมการ คือ

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \quad (2.16)$$

โดยที่ A คืออัตราขยายสัญญาณ(gain) ของวงจร วงจร IAs มีข้อดีเมื่อเทียบกับวงจรขยายสัญญาณผลต่างก็คือ มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ อัตราขยายสัญญาณของวงจรและความสามารถในการขจัดสัญญาณรบกวนสูงมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของวงจร IAs ให้ผลใกล้เคียงกับวงจรขยายสัญญาณผลต่างในทางอุดมคติมากที่สุดวงจรหนึ่ง

- วงจรอินสทรูเมนต์แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัว (Three OP-AMP IAs Realization)

โดยที่ออปแอมป์ A_1 และ A_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรอินพุตส่วนหน้า ขณะที่ออปแอมป์ A_3 จะเป็นวงจรเอาต์พุตส่วนที่สอง ถ้าให้ V_{01} และ V_{02} เป็นแรงดันเอาต์พุตของ A_1 และ A_2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.39 วงจรขยายอินสทรูเมนต์แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัว

แรงดันเอาต์พุตของ A_3 หรือแรงดันเอาต์พุตของวงจร V_{out} มีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_{02} - V_{01}) \quad (2.17)$$

และเนื่องจากคุณสมบัติของออปแอมป์ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_3 และ R_G มีค่าเท่ากัน ($I_{R_3} \cong I_{R_G}$) ซึ่งจากกฎของโอห์มจะได้

$$V_{01} - V_{02} = (2R_3 + R_G) \quad (2.18)$$

เมื่อ $V_i = 0$ กระแสที่ไหลผ่าน R_G มีค่าเท่ากับ

$$I_{R_G} = \frac{V_1 - V_2}{R_G} \quad (2.19)$$

จะได้

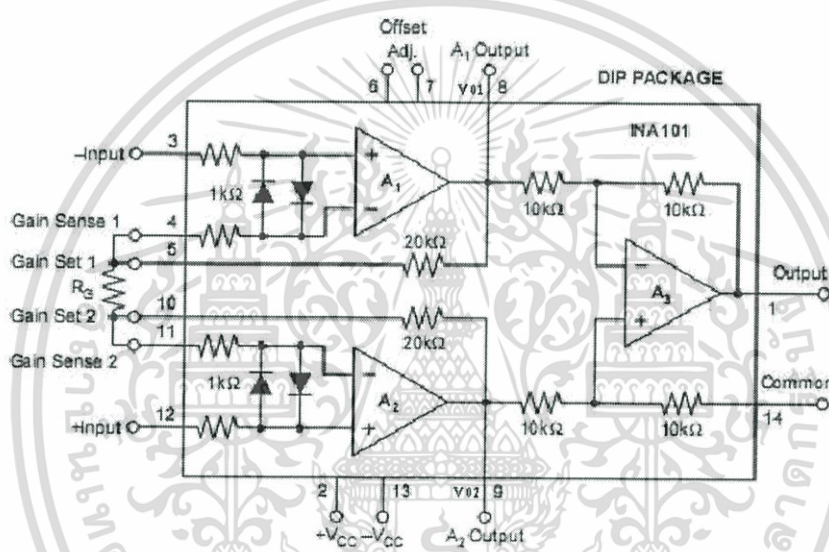
$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$A = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G}\right) \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.21)$$

เนื่องจากแรงอินพุต V_1 และ V_2 ของวงจรนั้นถูกป้อนโดยตรงเข้าตรงขาอินพุตไม่กลับเฟสของออปแอมป์จึงทำให้วงจร IAs นี้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรสูงมาก (ประมาณเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์นั่นเอง) นอกจากนี้อัตราขยายสัญญาณ A ของวงจรสามารถปรับค่าได้อย่างสะดวกและอิสระด้วยการปรับค่าของ R_G ยกตัวอย่างวงจรที่ใช้เป็นวงจรขยายอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifiers) เบอร์ INA101



รูปที่ 2.40 วงจรขยายอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifiers) เบอร์ INA101

(<http://www.electronicoscaldas.com/amplificadores-de-instrumentacion/106-amplificador-de-instrumentacion-ina101.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14. ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

การที่เราจะสามารถวัดสัญญาณทางธรรมชาติอย่าง แสง หรือเสียงได้ จำเป็นต้องมีตัววัดสัญญาณอย่าง เซนเซอร์ (Sensor) หรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เพื่อแปลงสัญญาณทางธรรมชาติเป็นสัญญาณไฟฟ้าเสียก่อน สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ จะเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่องแปรตามเวลา ซึ่งหากจะนำมาวิเคราะห์เชิงลึกขึ้นแล้ว จำเป็นต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณ จากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์เสียก่อน



รูปที่ 2.41 แสดงตัวอย่างการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในโครงการพิเศษนี้ ข้อมูลที่สนใจคือปริมาณแสง ซึ่งเป็นสัญญาณทางอนาลอก ดังนั้นเมื่อมีการวัดและประมวลผลจะต้องมีอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อป้อนข้อมูลที่เป็นดิจิทัลเข้าสู่การประมวลผลทางอิเล็กทรอนิกส์ (Input Unit) โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญของสัญญาณเดิม

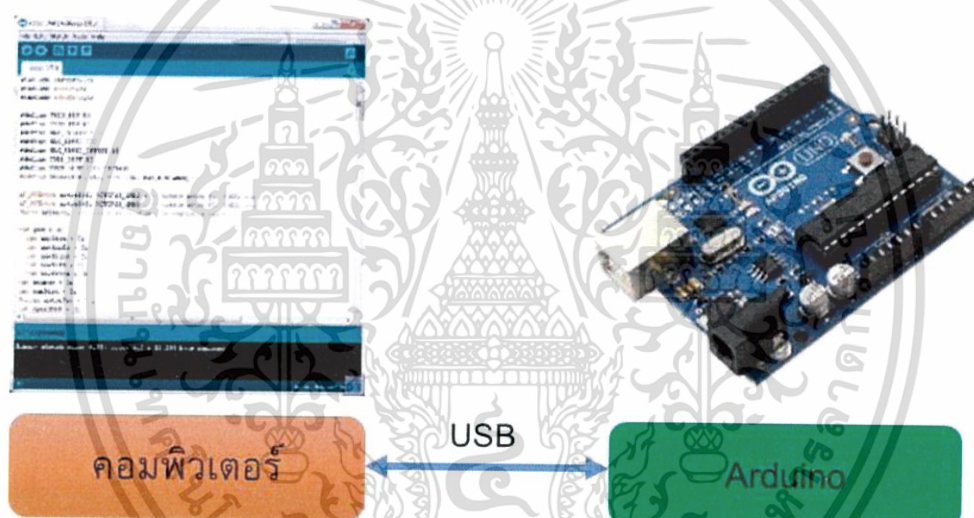
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15. Controller Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน้ หรือ อาดูยโน้) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย[9]

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดหรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้

- รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

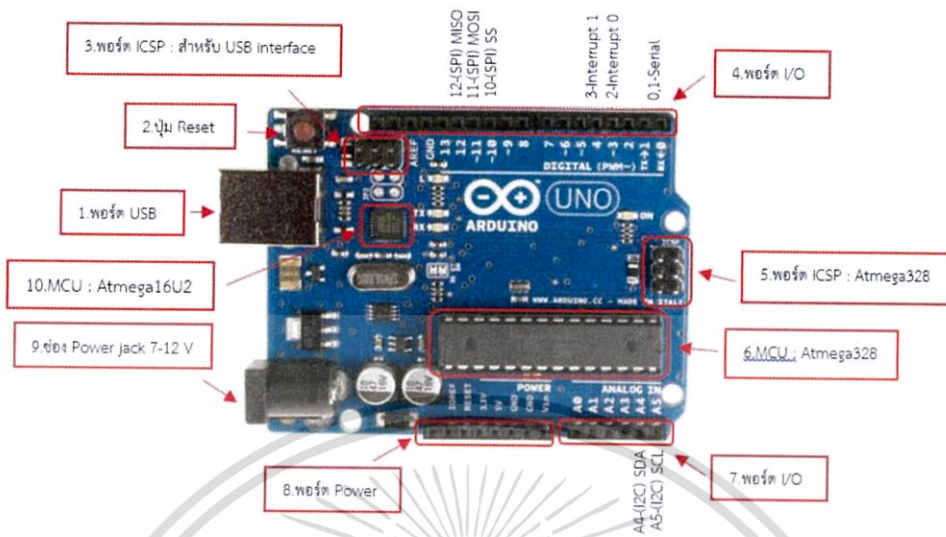


รูปที่ 2.42 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino (<http://www.thaieasyelec.com/>)

- เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก [Arduino.cc/en/main/software](http://arduino.cc/en/main/software)
- หลังจากที่เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port ได้
- กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)



รูปที่ 2.43 Model: Arduino UNO R3 (<http://www.thaieasyelec.com/>)

- USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปเดตโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
- ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
- I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
- ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
- MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
- I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
- Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}
- Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
- MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

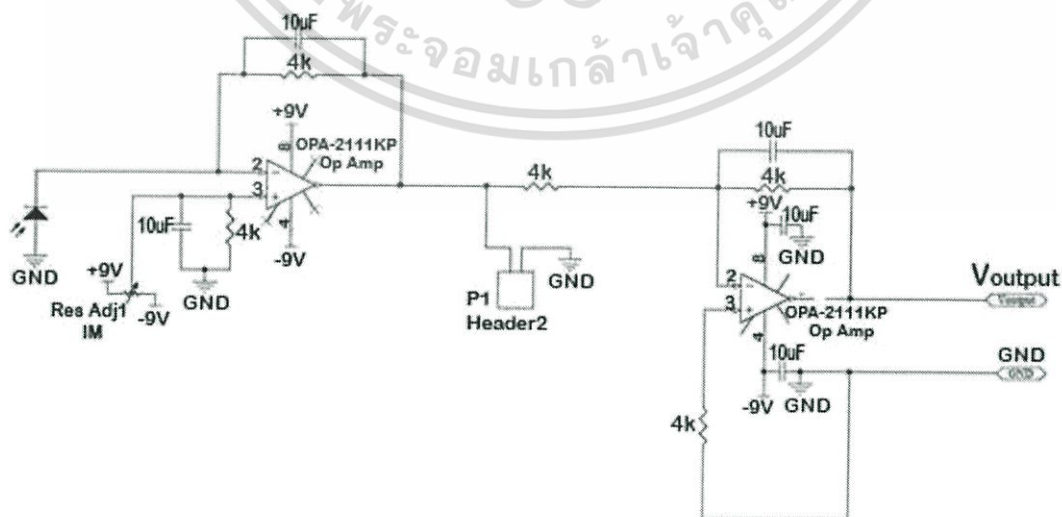
ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาเพื่อสร้างวงจรตรวจวัดความเข้มแสง ศึกษาสเปกตรัมการปล่อยแสงในย่านอินฟราเรดใกล้ของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ รวมถึงการศึกษาปริมาณน้ำตาลกลูโคสในสารละลายน้ำที่มีผลต่อสัญญาณการดูดกลืนแสง โดยการศึกษานั้นแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการออกแบบวงจรตรวจวัดความเข้มแสงและออกแบบวงจรการเก็บค่าด้วยคอนโทรลเลอร์ Arduino ส่วนที่สองจะเป็นการปรับเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง ส่วนที่สามจะเป็นการวัดค่าสเปกตรัมของหลอดทั้งสแตนด์ หลอดแอลอีดีย่านความยาวคลื่น 1060 nm, 1300 nm, 1550 nm และ 1720 nm และเลเซอร์ไดโอดย่านความยาวคลื่น 1470 nm ส่วนที่ 4 จะเป็นการออกแบบชุดทดลองวัดการดูดกลืนแสงของน้ำตาลกลูโคสในความยาวคลื่นต่างๆ และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการปรับใช้เทคนิคการขยายผลต่างของสัญญาณเพื่อให้สามารถวัดปริมาณความเข้มข้นให้ดีขึ้น โดยมีรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

3.1. การออกแบบและสร้างวงจรวัดและขยายสัญญาณจากหัววัดแสงและเก็บผล

ในโครงงานพิเศษได้ใช้โฟโตไดโอดเบอร์ J126742 และโฟโตไดโอดซึ่งอยู่ในตัวถัง (Packet) ในเลขเซอร์ไดโอดเบอร์ ML920J16S เป็นหัววัดแสงในย่านอินฟราเรดใกล้ โดยมีการใช้วงจรในการทดลองสามส่วนและมีการใช้คอนโทรลเลอร์เพื่อช่วยในการเก็บผลการทดลองซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

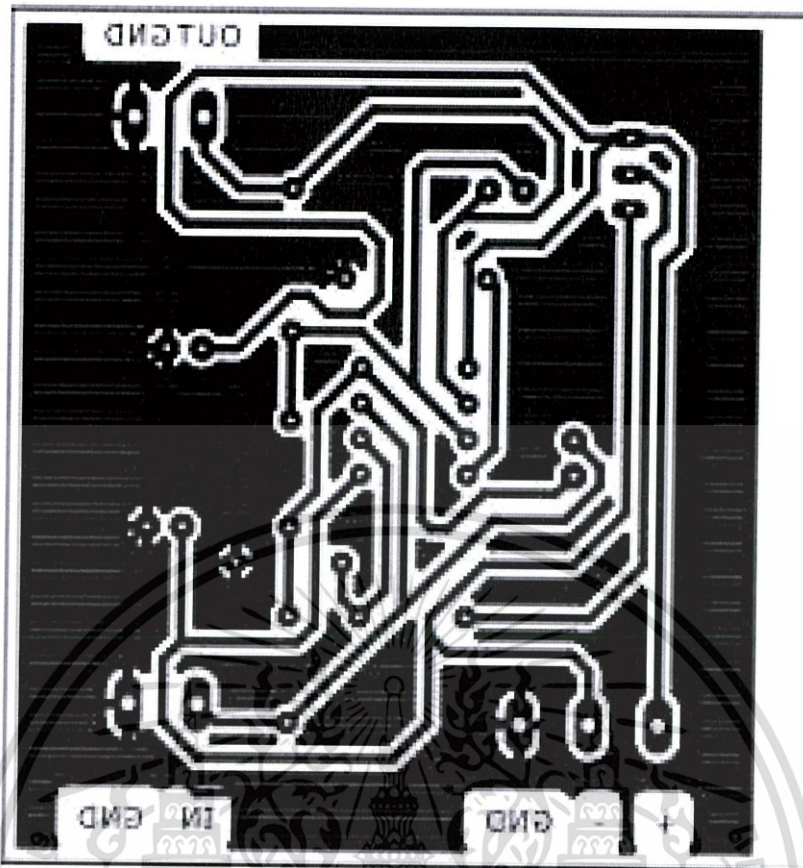
3.1.1. ออกแบบวงจรขยายแบบกลับเฟสมีกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อแอมป์

ออกแบบวงจรที่ใช้ OP-AMP เบอร์ OPA2111KP เปลี่ยนค่ากระแสของโฟโตไดโอดเป็นความต่างศักย์ (Current to voltage converter) ขยายสัญญาณเทียบกับกราวด์ (ground) ตาม Schematic diagram โดยโปรแกรม Eagle (รูปที่ 3.1) โดยลายวงจรและ วงจรนี้ประกอบเสร็จสิ้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

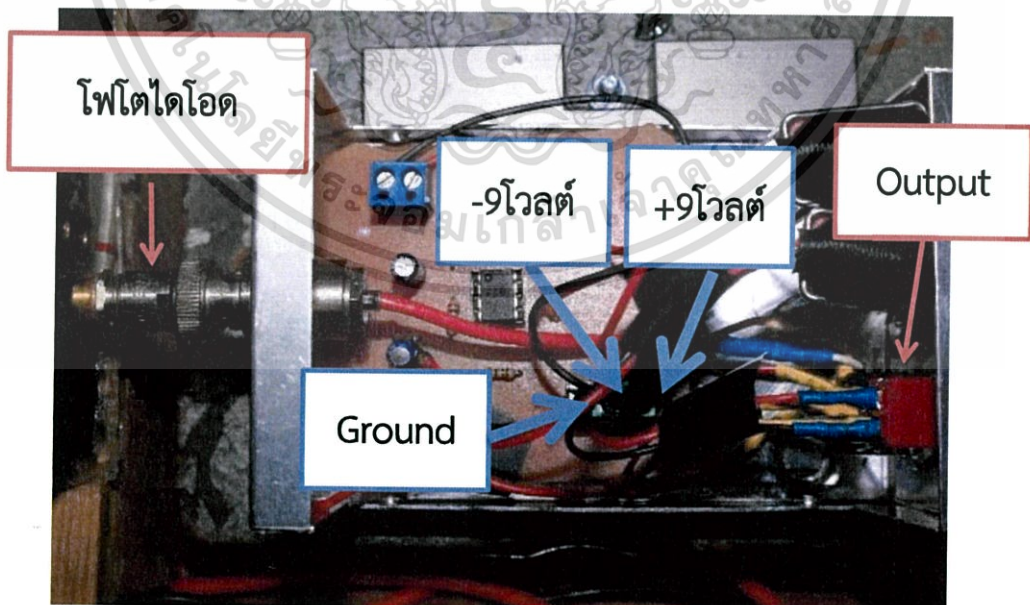


รูปที่ 3.1 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ลายวงจรตรวจวัดความเข้มแสงกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อแอมป์

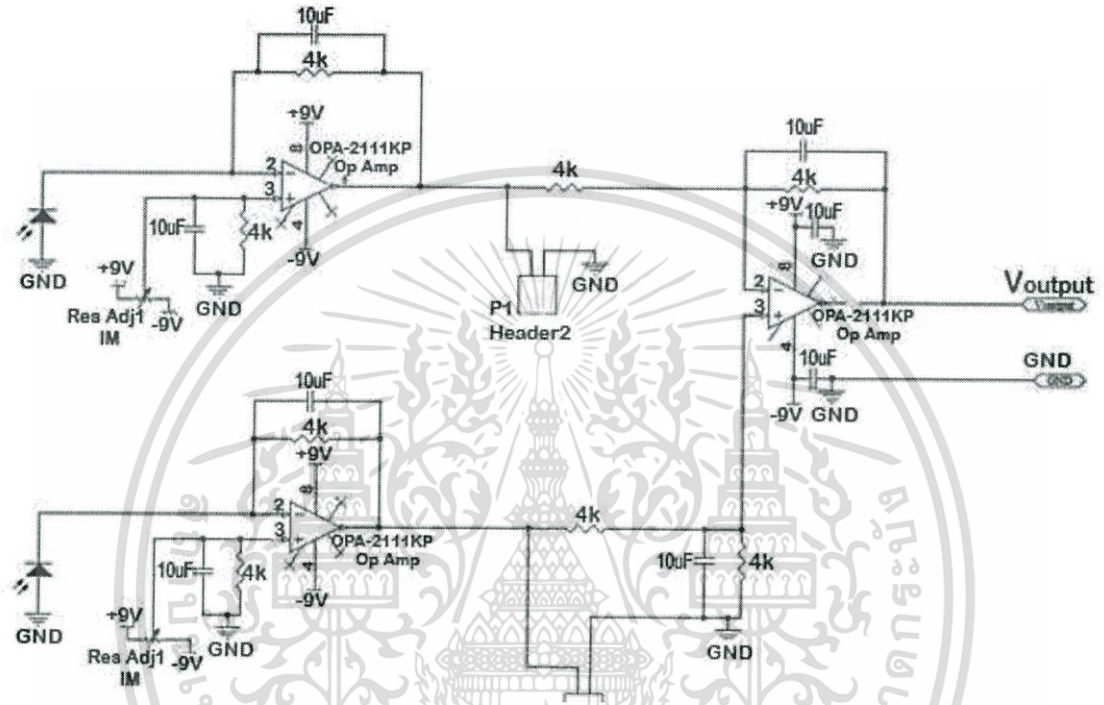


รูปที่ 3.3 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงกำลังขยาย 2,000 โวลต์ต่อแอมป์

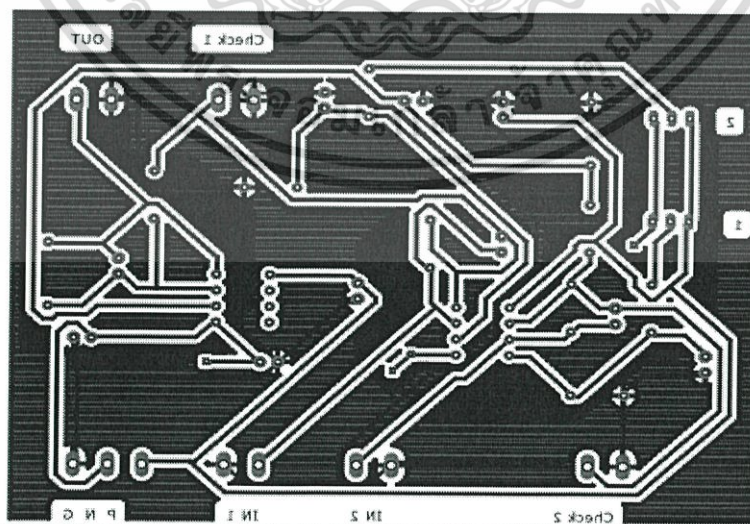
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2. ออกแบบวงจรวัดค่าสัญญาณความเข้มแสงและขยายผลต่างของสัญญาณมีอัตราขยาย 201,000 โวลต์ต่อแอมป์

ออกแบบวงจรโดยใช้ OP – AMP เบอร์ OPA2111KP แปลงกระแสเป็นความต่างศักย์จาก 2 โฟโตไดโอดที่เหมือนกัน ก่อนทำการขยายผลต่างเทียบกับกราวด์ของทั้งสองสัญญาณตาม Schematic diagram โดยโปรแกรม Eagle (รูปที่ 3.4) โดยลายวงจร และวงจรที่ประกอบเสร็จสิ้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



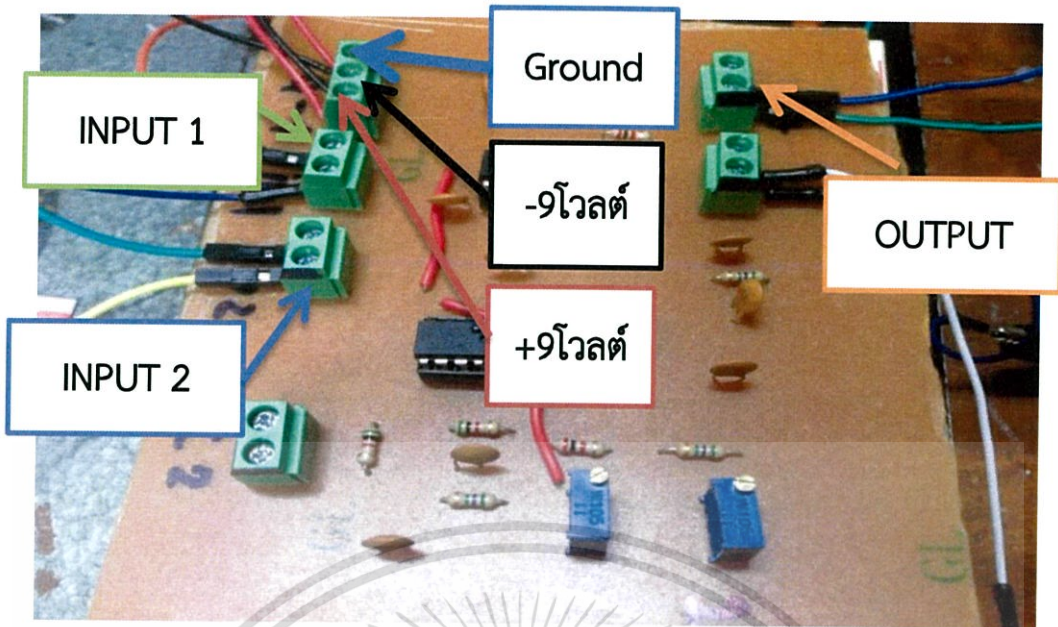
รูปที่ 3.4 วงจรวัดค่าความเข้มแสงแบบขยายผลต่าง อัตราขยายรวม 201,000 โวลต์ต่อแอมป์



รูปที่ 3.5 ลายวงจรสำหรับการกัดแผ่นปริ้นวงจรวัดค่าความเข้มแสงแบบขยายผลต่าง อัตราขยาย

รวม 201,000 โวลต์ต่อแอมป์

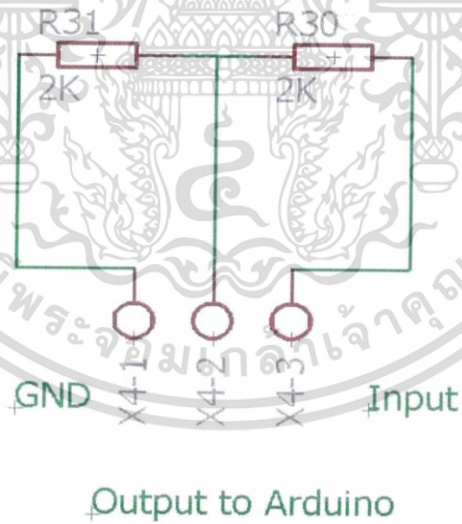
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรตรวจวัดความเข้มแสงแบบขยายผลต่าง อัตราขยาย 201,000 โวลต์ต่อแอมป์

3.1.3. ออกแบบวงจรแบ่งแรงดันเพื่อใช้ในการเก็บค่าสำหรับ Arduino

ออกแบบวงจรตาม Schematic diagram โดยโปรแกรม Eagle (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4. การเขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถเก็บผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Arduino มีอุปกรณ์ดังนี้

- Arduino Uno R3

ในส่วนนี้จะใช้บอร์ดสำเร็จรูปไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ลักษณะดังรูป 3.8 ในการช่วยเก็บผลจากการทดลองของวงจรโดยมีหน้าที่ในการติดต่อทางพอร์ต USB รับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์และทำการแสดงผลไปยังหน้าจอแอลซีดี



รูปที่ 3.8 Arduino Uno R3

- จอแอลซีดี(LCD)

ใช้แอลซีดีแบบ 16x2 รับส่งข้อมูลรูปแบบ I2C มีลักษณะดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 จอแอลซีดี

(<https://forum.arduino.cc/index.php?topic=357278.0>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

○ แหล่งจ่ายไฟ

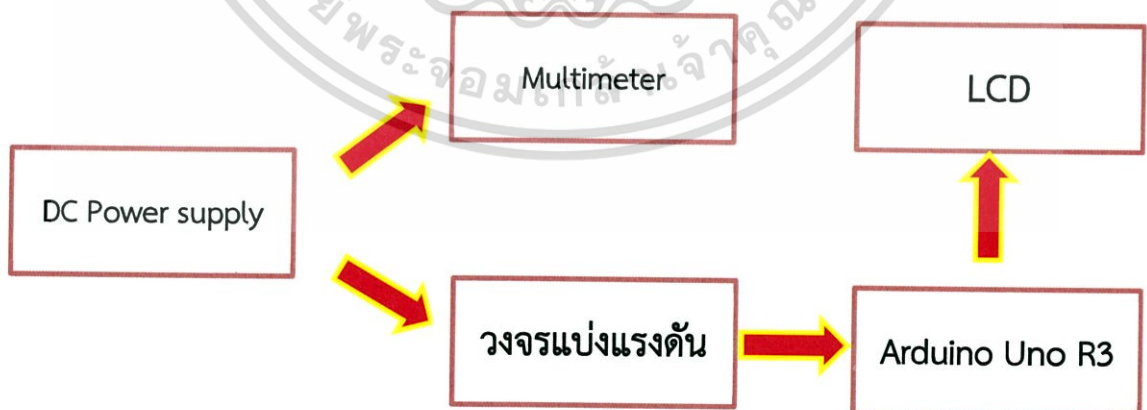
ใช้แหล่งจ่ายไฟตรง DC Power supply ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่รุ่น UP-3005T บริษัท UNICORN CO.,LTD เพื่อใช้ไบแอส (bias) เลี้ยววงจรส่วนต่างๆ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 DC Power supply

- วิธีการดำเนินการทดลอง

- ต่ออุปกรณ์การทดลองตามแผนผังดังรูปที่ 3.13
- ปรับแรงดันไฟฟ้าเริ่มจาก 0 – 8 โวลต์แล้วทำการบันทึกผล
- พล็อตกราฟความสัมพันธ์และหาค่าความชันที่ต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์และแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากการคำนวณของบอร์ดออดีร์โนที่แสดงผ่านจอแอลซีดี



รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ด อออดีร์โน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. การเปรียบเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง

การจัดทำอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเก็บค่าความเข้มแสงในแต่ละค่าความยาวคลื่นนั้น จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของอุปกรณ์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้หลอดทังสแตนเพื่อคัลสเปกตรัมแบล็คบอดี้ (black body) โดยมีอุปกรณ์ดังนี้

3.2.1. อุปกรณ์ในการทดลองการเปรียบเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง

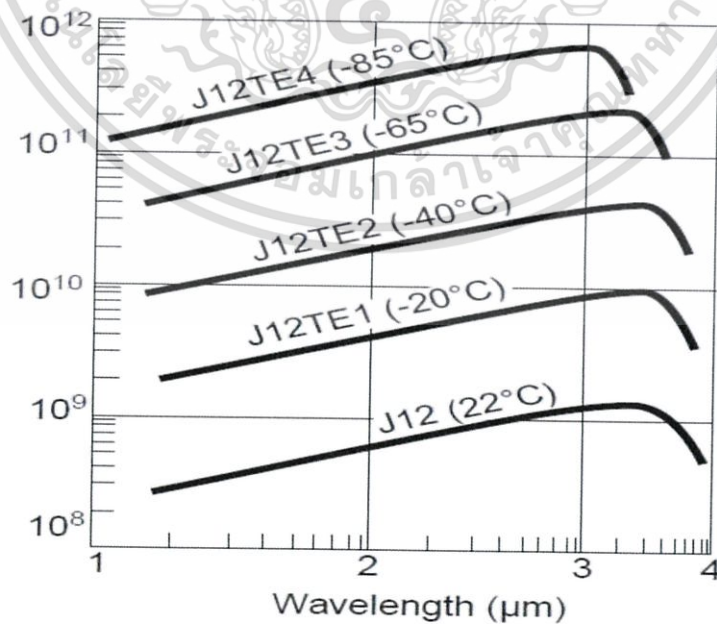
- ตัวรับแสง (Photo Diode)

ใช้ตัวรับแสง J126742 ของบริษัท Judson Technologies มีลักษณะดังรูปที่

3.14 และมีสเปกตรัมการตอบสนองแสงเป็นดังรูปที่ 3.15 (กราฟสเปกตรัมการตอบสนองรหัสคือ J12(22 C))



รูปที่ 3.14 โฟโตไดโอด J126742 บริษัท Judson Technologies

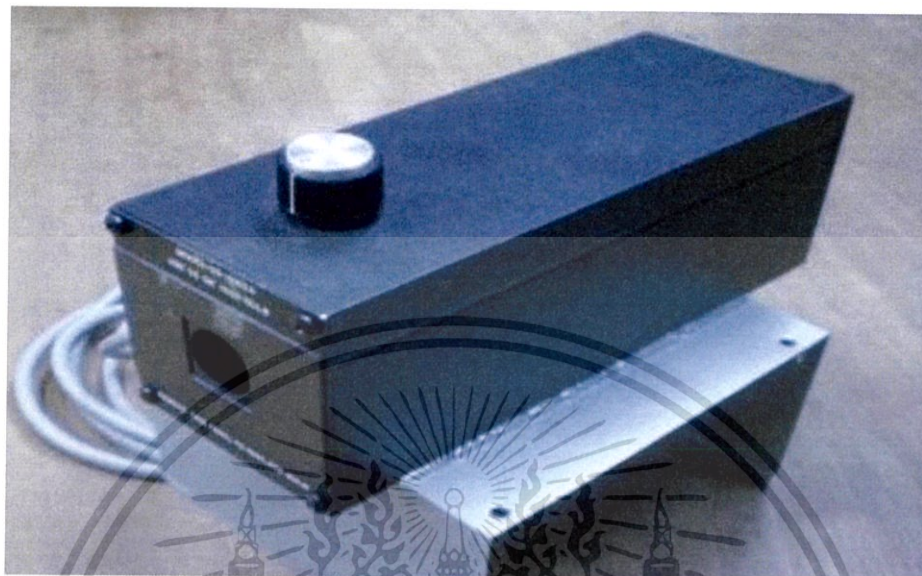


รูปที่ 3.15 สเปกตรัมการตอบสนองแสงของ Photo diode J126742

(http://www.judsontechnologies.com/ind_ars.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดทั้งสแตน
ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงมี
ลักษณะดังรูปที่ 3.16



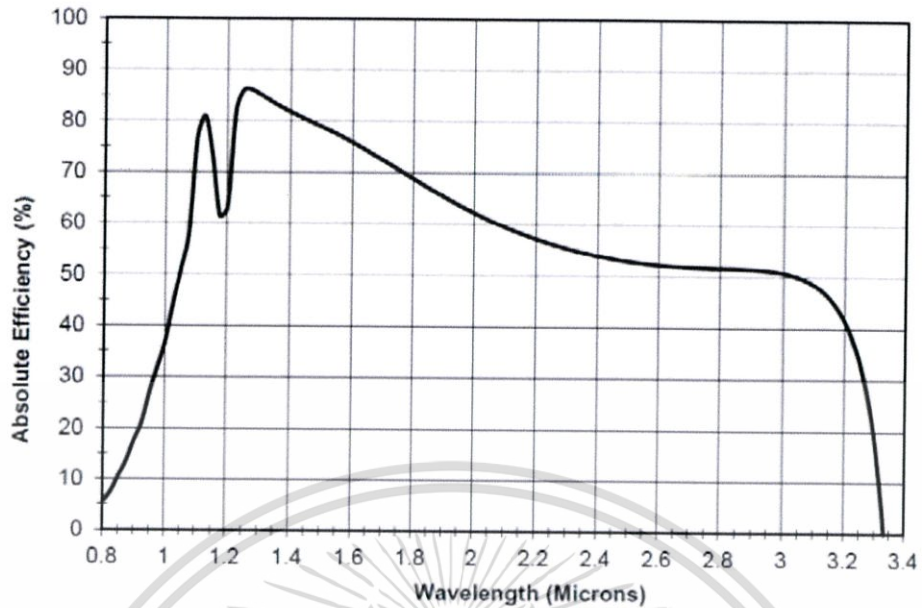
รูปที่ 3.16 หลอดทั้งสแตน

- โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator, DMC1-06G)
ใช้สำหรับกำหนดความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงตามย่านความยาว
คลื่นที่เราต้องการตั้งแต่ 800 nm – 1800 nm โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.17 ซึ่งมี
กราฟสเปกตรัมการตอบสนองดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 โมโนโครเมเตอร์ (DMC1-06G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 สเปกตรัมการตอบสนองแสงของโมโนโครเมเตอร์(DMC1-06G)
(www.optometrics.com/App_Themes/.../Monochromator10_8_10.pdf)

- เลนส์รวมแสง

ใช้ในการโฟกัสลำแสงเพื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกลงสู่ช่องสลิตขาเข้า(Input Slit) ของโมโนโครเมเตอร์โดยมีค่าทางยาวโฟกัส 127 มิลลิเมตร ลักษณะเป็นดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เลนส์รวมแสง

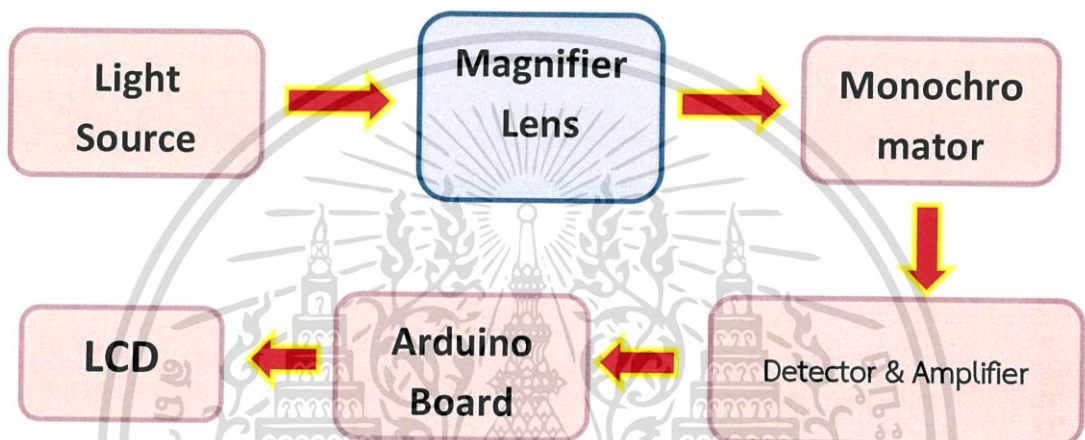
- แหล่งจ่ายไฟตรง (รูปที่ 3.12)

- Arduino Uno R3 (รูปที่ 3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2. วิธีการดำเนินการทดลองการปรับเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง

- จัดอุปกรณ์ทดลองตามแผนผังดังรูป 3.20 แล้วมีชุดการทดลองจริงดังรูป 3.21 จากนั้นเปิดหลอดทั้งสแตนท์ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาทีเพื่อให้ได้ความเข้มแสงที่เหมาะสม
- จากนั้นทำการบันทึกค่าจากอุปกรณ์วัดความเข้มแสง โดยเริ่มหมุนปรับความยาวคลื่นที่โครโมโมเตอร์ไปที่ละ 10 nm โดยเริ่มจาก 800 nm-1800 nm
- เมื่อได้ผลการทดลองจากข้อด้านบนมาแล้ว นำกราฟที่ได้ไปทำการ นอโมไลซ์ (normoalized) ค่าใหม่ กับโมโนโครเมเตอร์และหัววัดแสง



รูปที่ 3.20 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองทดสอบวงจรตรวจวัดความเข้มแสง



รูปที่ 3.21(a) จัดเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดสำหรับทดสอบวงจรตรวจวัดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21(b) ภาพขยายแสดงส่วนทางแสงหลัก

3.3 การวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้

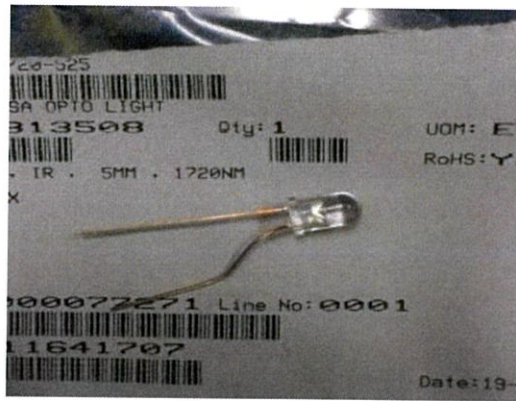
การทดลองนี้แหล่งกำเนิดแสงใช้เป็นหลอดแอลอีดี ที่มีย่านความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและเลเซอร์ไดโอดเพื่อศึกษาสเปกตรัมโดยละเอียดของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละย่านความยาวคลื่น

3.3.1 อุปกรณ์การทดลองการวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้

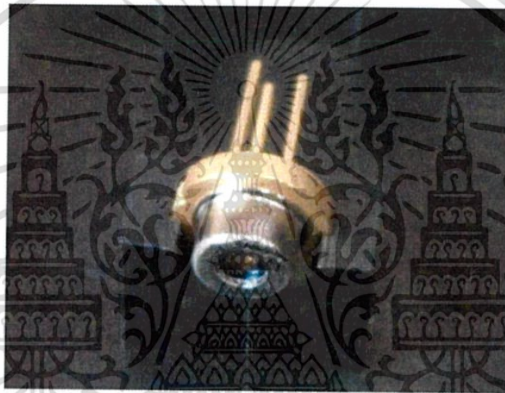
- แหล่งกำเนิดแสง

- แอลอีดี EOLD-1060-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
- แอลอีดี EOLD-1300-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1300 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
- แอลอีดี EOLD-1550-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
- แอลอีดี EOLD-1720-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1720 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
- เลเซอร์ไดโอด ML920J16S บริษัท Mitsubishi Electric มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 (a) แอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้มีค่าความเข้มสูงสุด 1060 nm, 1300 nm, 1550 nm และ 1720 nm

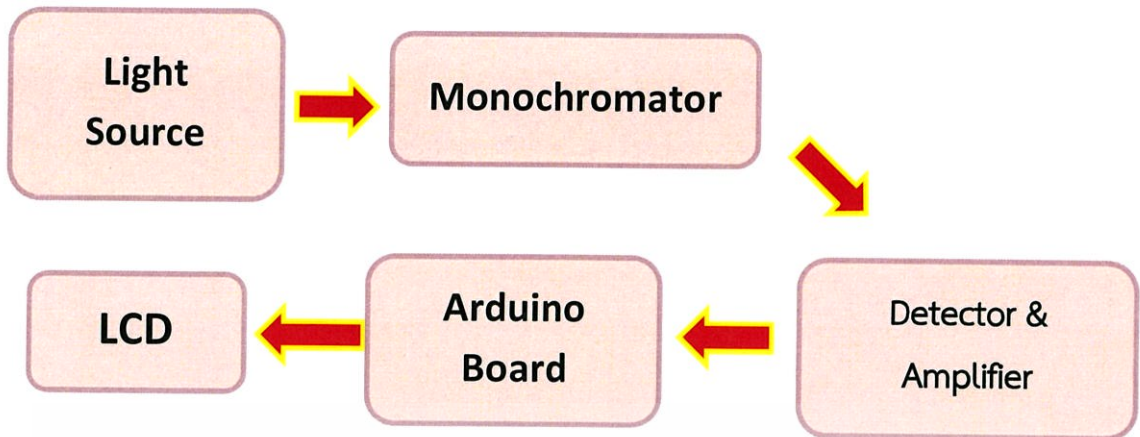


รูปที่ 3.22 (b) เลเซอร์ไดโอด ML920J16S ค่าความเข้มสูงสุด 1470 nm บริษัท
MITZUBISHI ELECTRIC

3.3.2 การทดลองวัดสเปกตรัมการปล่อยแสงของแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอด

- จัดอุปกรณ์ตามแผนผังรูปที่ 3.23 ซึ่งมีลักษณะชุดทดลองเป็นดังรูปที่ 3.24 โดยมีโฟโตไดโอด J126742 เป็นหัววัดแสง โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ 1060 nm กำหนดย่านความยาวคลื่นเริ่มต้นของโครโมโนมิเตอร์ไว้ที่ 800 nm
- เริ่มทำการปรับความยาวคลื่นของโครโมโนมิเตอร์เพิ่มขึ้นทีละ 10 nm ไปจนถึง 1800 nm แล้วทำการบันทึกค่าจากอุปกรณ์ แล้วทำการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเป็น 1300 nm , 1470 nm, 1550 nm, และสุดท้าย 1720 nm
- เมื่อได้ผลการทดลองจากข้อด้านบนมาแล้ว นำกราฟที่ได้ไปทำการ นอโมไลซ์ค่าใหม่ กับโครโมโนมิเตอร์และหัววัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แผนผังจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับวัดสเปกตรัมแสง



รูปที่ 3.24 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดสอบวงจรตรวจวัดความเข้มแสง

3.4 การทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจำลองชุดทดลองย่านความยาวคลื่นช่วงแคบสำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันเพื่อดูการดูดกลืนของน้ำตาลกลูโคสในตัวทำละลายคือน้ำ ซึ่งในการทดลองจะใช้แหล่งกำเนิดแสงย่านเนียร์-อินฟราเรด คือ หลอดทั้งสแตน, หลอดแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

- แหล่งกำเนิดแสง

- แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทั้งสแตน มีลักษณะดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอลอีดี EOLD-1060-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
 - แอลอีดี EOLD-1300-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1300 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
 - แอลอีดี EOLD-1550-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
 - แอลอีดี EOLD-1720-525 บริษัท OSA Opto Light Gmbh มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1720 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(a)
 - เลเซอร์ไดโอด ML920J16S บริษัท Mitsubishi Electric มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(b)
- เลนส์รวมแสง มีลักษณะดังรูป 3.19
- 3.4.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส
- อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างการทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส
 - น้ำตาลกลูโคส คิวเวตและบีกเกอร์
 - น้ำตาลกลูโคส ยี่ห้อ GLUCOLIN GLUCOSE-D ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการทดลอง ส่วนคิวเวต (Cuvette) หรือภาชนะบรรจุสารตัวอย่างเป็นหลอดพลาสติกใสทรงเหลี่ยมมีขนาด 12.5x12.5x45 มิลลิเมตร มีลักษณะดังรูป 3.25

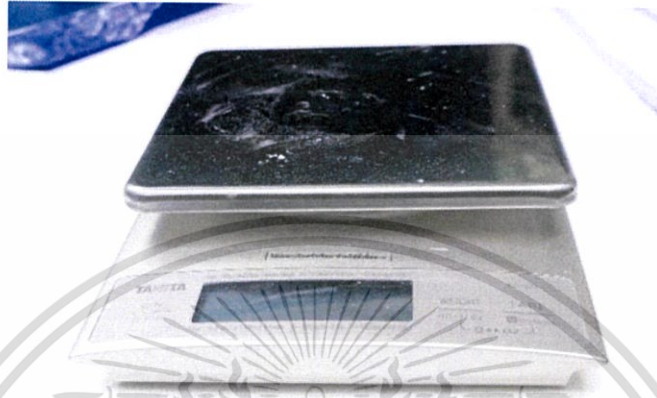


รูปที่ 3.25 น้ำตาลกลูโคส คิวเวตและบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

○ เครื่องชั่งระบบดิจิทัล

ใช้เครื่องชั่งดิจิทัลรุ่น TANITA Corporation มีลักษณะดังรูป 3.26 น้ำหนักสูงสุดที่สามารถชั่งได้ 3Kg ความละเอียด 1g (Micro Mode : 0-300g ความละเอียด 0.1g) ใช้สำหรับชั่งตัวอย่าง โดยมีลักษณะดังรูป 3.26



รูปที่ 3.26 เครื่องชั่งดิจิทัล

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างการทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส
 - การเตรียมสารละลายกลูโคสในน้ำ ที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น สำหรับค่าความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
 - เตรียมน้ำตาลกลูโคสปริมาณ 100 มิลลิกรัมใส่ในบีกเกอร์
 - เติมน้ำบริสุทธิ์ลงไปในบีกเกอร์จนปริมาณสารละลายเป็น 100 มิลลิลิตร
 - คนน้ำเปล่ากับน้ำตาลผสมให้เข้ากัน
 - เก็บสารละลายกลูโคสที่ผสมได้ไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

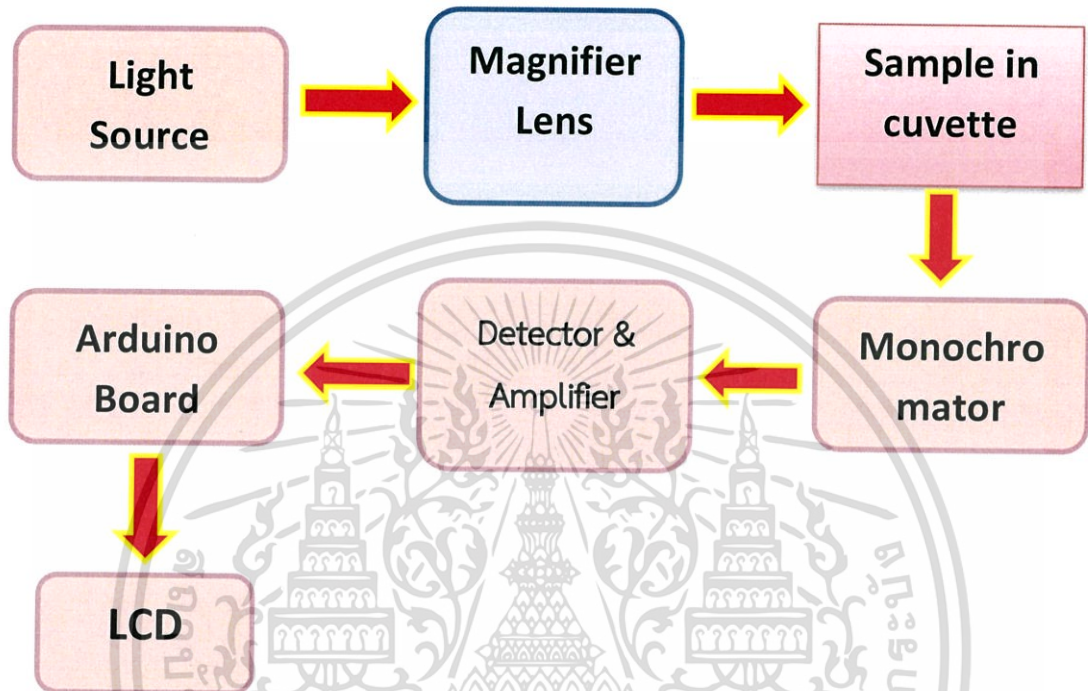
3.4.3 ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

3.4.3.1 การทดลองหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดทั้งสแตน

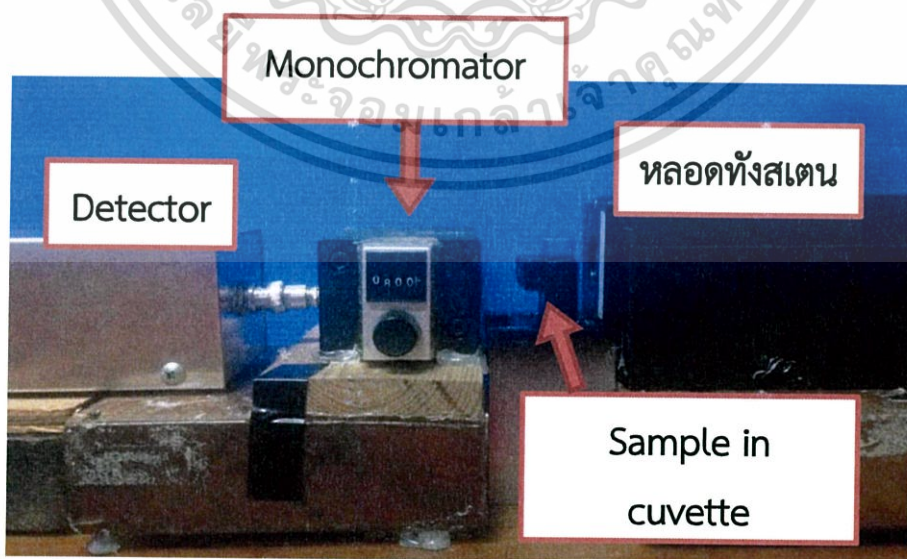
- จัดอุปกรณ์ทดลองตามแผนผังรูปที่ 3.27 มีลักษณะเป็นดังรูป 3.28(a)โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทั้งสแตนทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อให้ได้ความเข้มแสงที่เสถียรเหมาะสม
- ทำการใส่ตัวอย่างในช่องใส่ตัวอย่างเริ่มต้นด้วยน้ำเปล่า
- จากนั้นทำการบันทึกค่าจากอุปกรณ์วัดความเข้มแสง โดยเริ่มหมุนปรับความยาวคลื่นที่โครโมโมเตอร์ไปที่ละ 10 nm โดยเริ่มจาก 800 nm - 1800nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

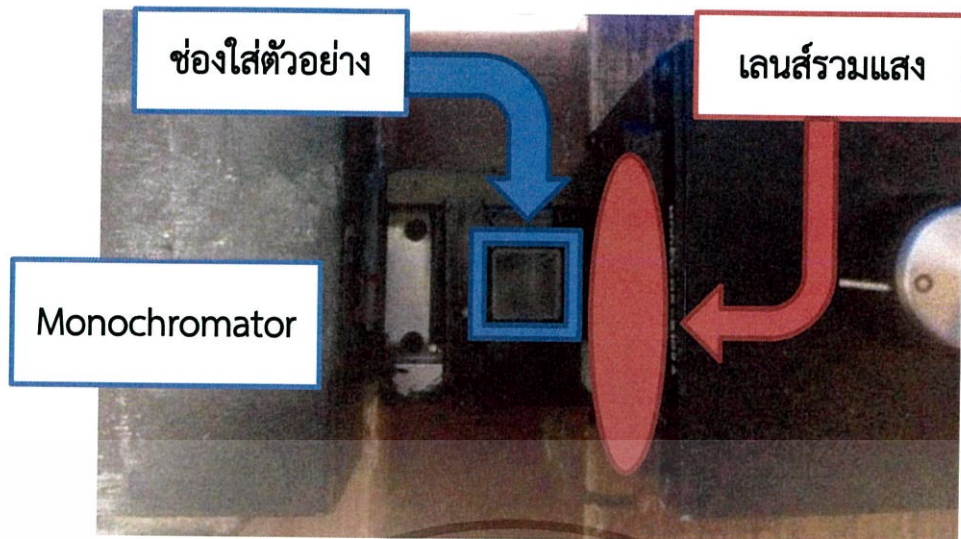
- เปลี่ยนตัวอย่างการทดลองในข้อด้านบนเป็นน้ำผสมน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 50mg/dL ,100mg/dL , 120 mg/dL ,130 mg/dL ,140 mg/dL ,200 mg/dL ตามลำดับ
- เมื่อได้ผลการทำการทดลองมาแล้ว นำกราฟที่ได้ไปทำการ นอโมไลซ์ค่าใหม่กับโมโนโครเมเตอร์และหัววัดความเข้มแสง



รูปที่ 3.27 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดทั้งสแตน



รูปที่ 3.28(a) ภาพการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่ 3.4.3.1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

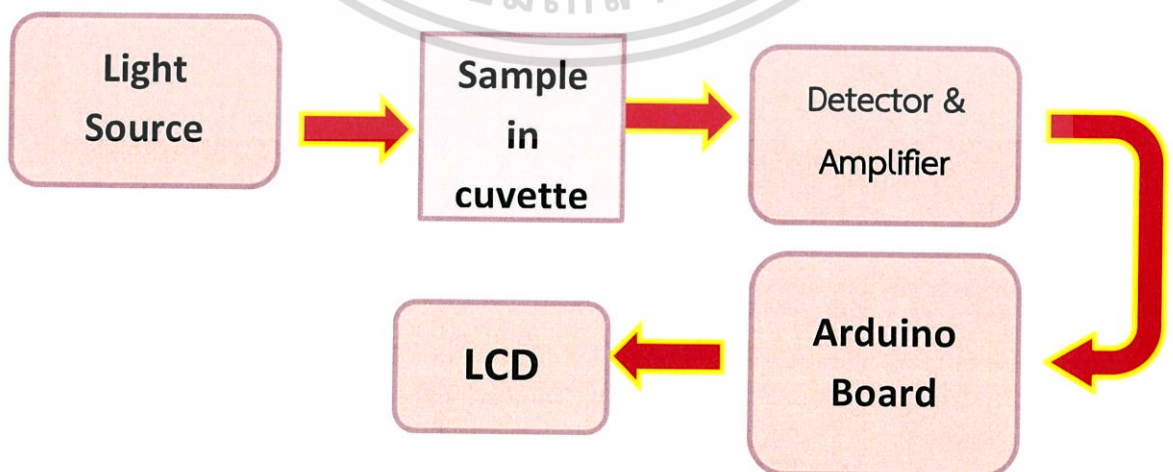


รูปที่ 3.28(b) ภาพส่วนขยายการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่

3.4.3.1

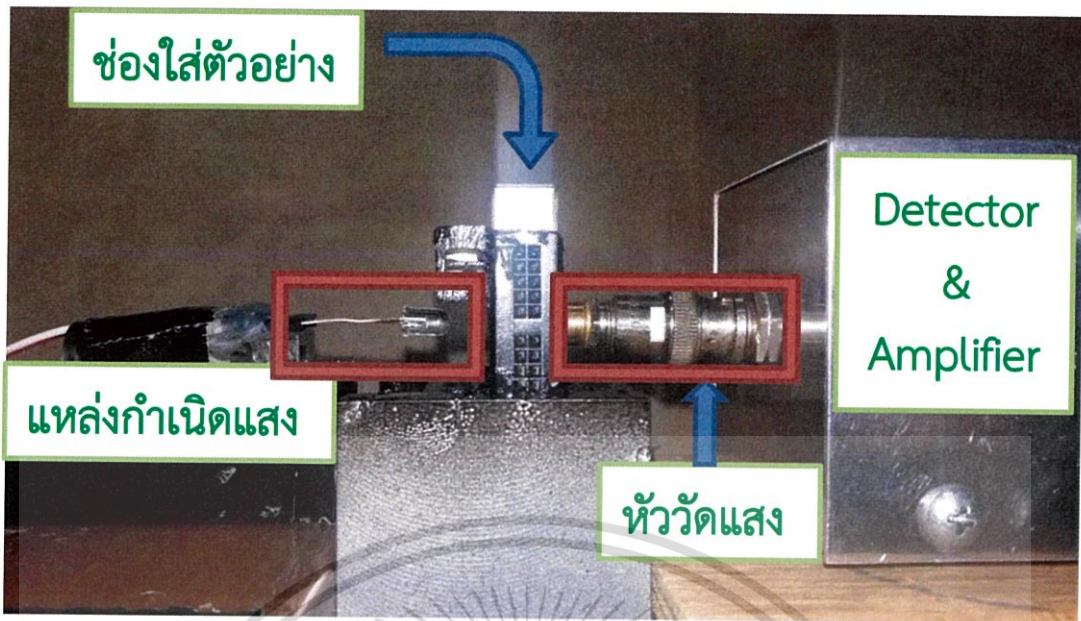
3.4.3.2 การทดลองหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้และเลเซอร์ไดโอด

- จัดอุปกรณ์ทดลองตามแผนผังดังรูป 3.29 และมีลักษณะเป็นดังรูป 3.30
- ทำการใส่ตัวอย่างในช่องใส่ตัวอย่างเริ่มต้นด้วยน้ำเปล่า
- เปลี่ยนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในข้อด้านบนเป็นน้ำผสมน้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้น 100mg/dL ,200mg/dL ,300mg/dL ,400 mg/dL ,500 mg/dL ,600 mg/dL,700 mg/dL ,800 mg/dL ,900 mg/dL ตามลำดับ
- เมื่อได้ผลการทดลองมาแล้ว นำกราฟที่ได้ไปทำการ นอโมไลซ์ค่าใหม่กับค่าอ้างอิงกรณีน้ำเปล่า
- ทำการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดจนครบทั้ง 5 หลอด



รูปที่ 3.29 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่ 3.4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูหาที่เห็นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสข้อที่ 3.4.3.2

3.5 การทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

ในการทดลองนี้จะเป็นการนำวงจรตรวจวัดความเข้มแสงแบบขยายสัญญาณผลต่างต่าง นำมาใช้ในการวัดความเข้มแสงที่ผ่านสารละลายตัวอย่าง เทียบกับความเข้มแสงที่ผ่านสารละลายอ้างอิง คือ น้ำ จาก 2 แหล่งกำเนิดแสงต้นทางที่เท่าเทียมกันเพื่อสามารถตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในระดับที่ต่ำมากได้

3.5.1 อุปกรณ์การทดลองโดยใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

- ตัวรับแสง

หัววัดแสงจำนวน 2 ตัว คือ โฟโตไดโอดในย่านอินฟราเรดใกล้โดยมีอยู่ในตัวถังของเลเซอร์ไดโอด ML920J16S บริษัท Mitsubishi Electric มีค่าระบุมการตอบสนองสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(b)

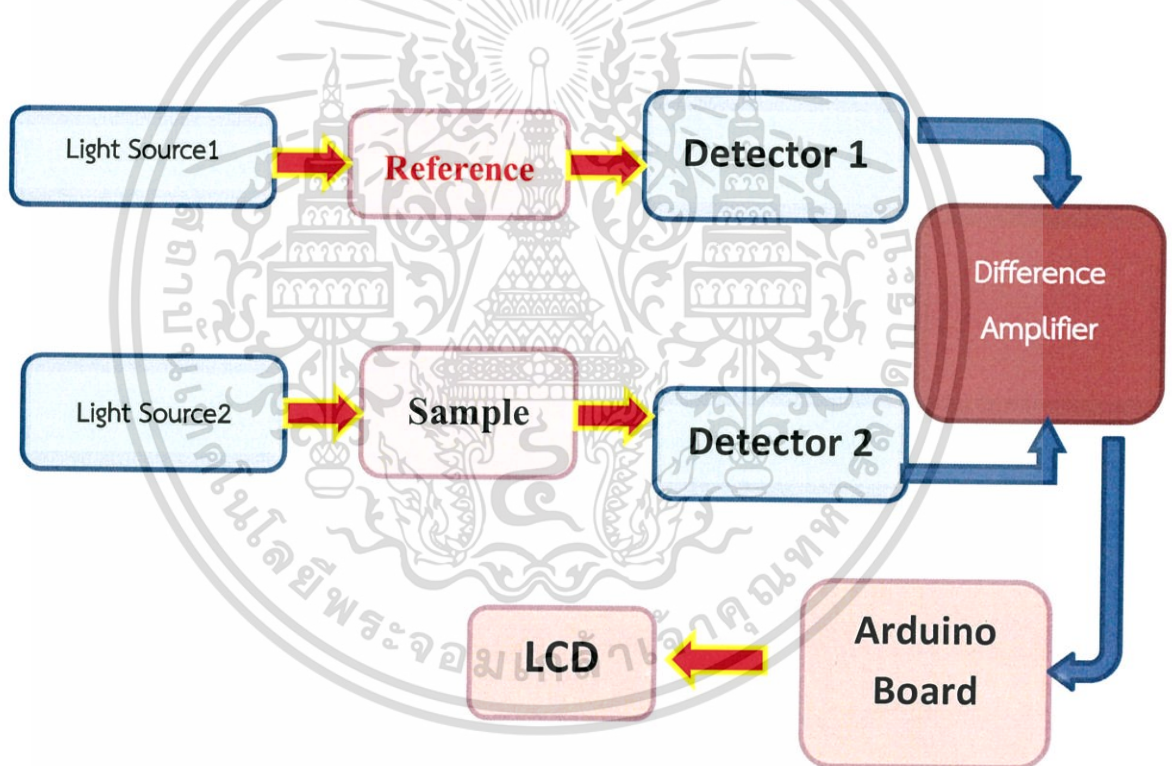
- แหล่งกำเนิดแสง

เลเซอร์ไดโอด ML920J16S บริษัท Mitsubishi Electric มีค่าระบุมการเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm มีลักษณะตัวถังดังรูป 3.22(b) จำนวน 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

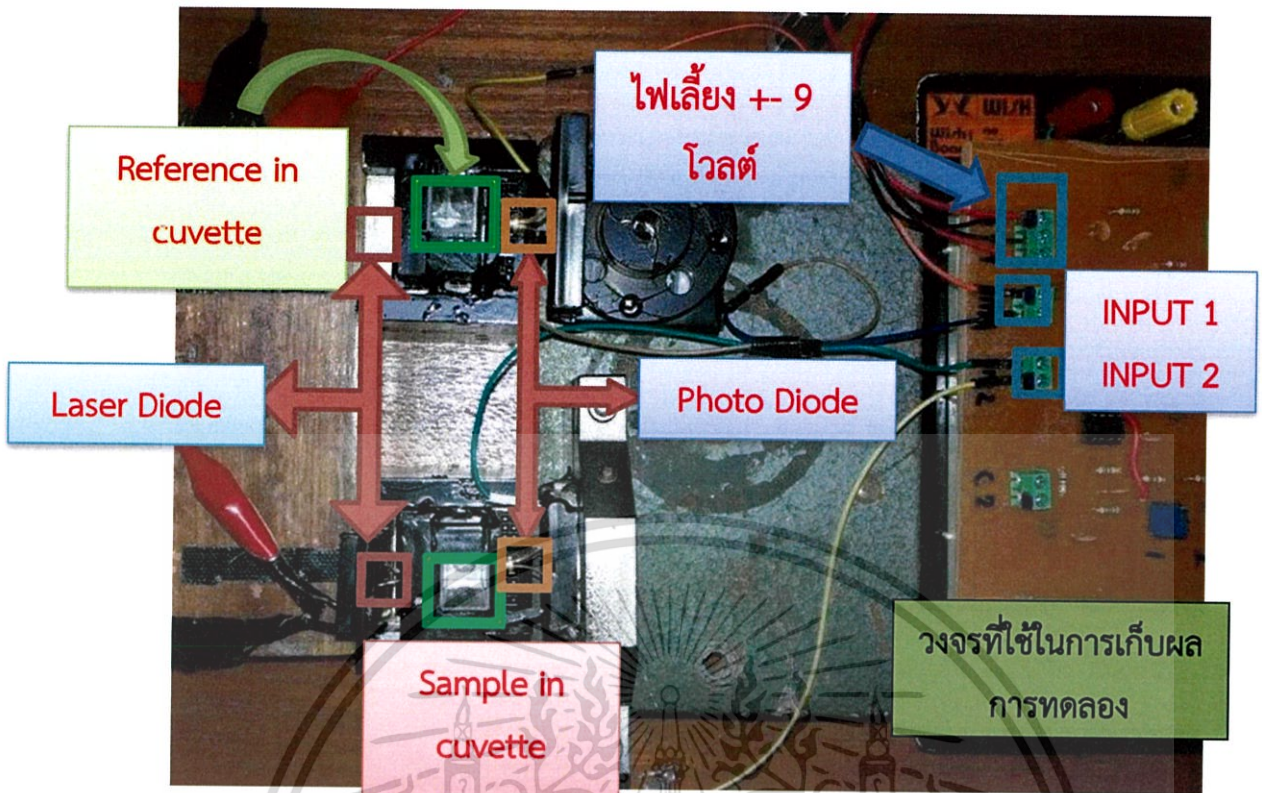
3.5.2 ขั้นตอนการทดลองโดยใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

- จัดอุปกรณ์ทดลองตามแผนผังดังรูปที่ 3.31 และมีลักษณะดังรูป 3.32 ช่องของ Reference ให้ใส่น้ำเปล่าเพื่อไว้เป็นแหล่งอ้างอิงในช่องของ Sample ให้ใส่น้ำเปล่า
- เปลี่ยน Sample เป็น น้ำผสมน้ำตาลกลูโคส 40 mg/dL ,50 mg/dL ,60 mg/dL,70 mg/dL ,80 mg/dL ,90 mg/dL ,100 mg/dL ,110 mg/dL ,120 mg/dL, 130mg/dL, 140 mg/dL ,150 mg/dL
- เมื่อได้ผลการทดลองมาแล้ว นำกราฟที่ได้ไปทำการ นอโมไลซ์ค่าใหม่กับหัววัดความเข้มแสง(Photo Diode Detector)บันทึกผลและพล็อตกราฟ



รูปที่ 3.31 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 การจัดชุดทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

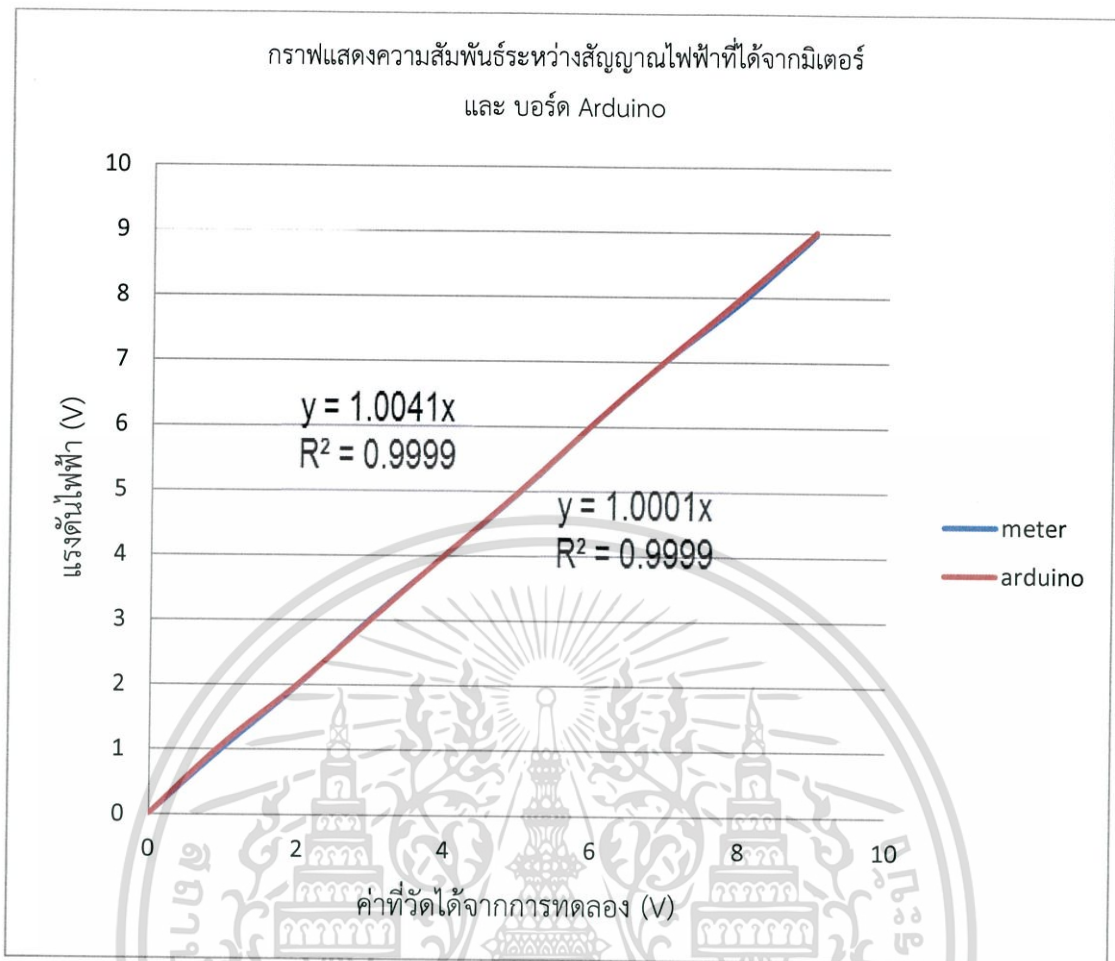
4.1. ผลการทดสอบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ดออดีร์โน

ในการทำการทดลองในตอนที 3.1.5 นี้ได้ทำทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าของสัญญาณไฟฟ้า (V) ที่เราวัดได้ระหว่าง มัลติมิเตอร์ และ บอร์ดออดีร์โนรุ่น Uno R3 (Arduino Uno R3) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และเมื่อนำมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ดออดีร์โน

แรงดันไฟฟ้า(V)	Multimeter (V)	Arduino (V)
0	0	0
1	1.024	1.086
2	1.996	2.01
3	3.032	3.01
4	4.014	4.02
5	4.993	5.01
6	6.041	6.05
7	7.042	7.05
8	7.95	8.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าของบอร์ดออดีร์โน

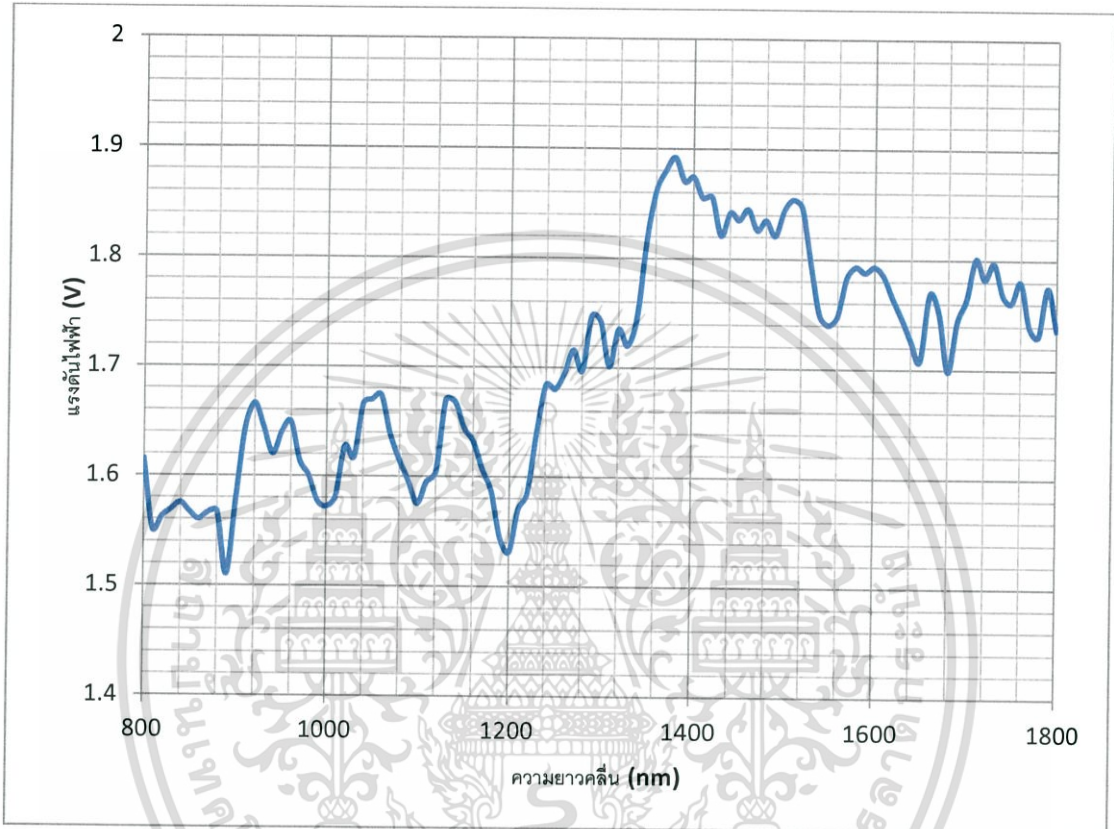
จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าค่าสัญญาณไฟฟ้าที่เราวัดได้จากมัลติมิเตอร์และบอร์ดออดีร์โนรุ่น Uno R3 (Arduino Uno R3) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 0.309 % เราจึงทำการปรับค่าความชันให้ความชันของค่าที่ได้จากบอร์ดออดีร์โนรุ่น Uno R3 (Arduino Uno R3) มีค่าความชันใกล้เคียง Multimeter รุ่น Agilent U1241B โดยใช้สมการ 4.1

$$V = \frac{V_{out}}{Slope_{arduino}} \times Slope_{multimeter} \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

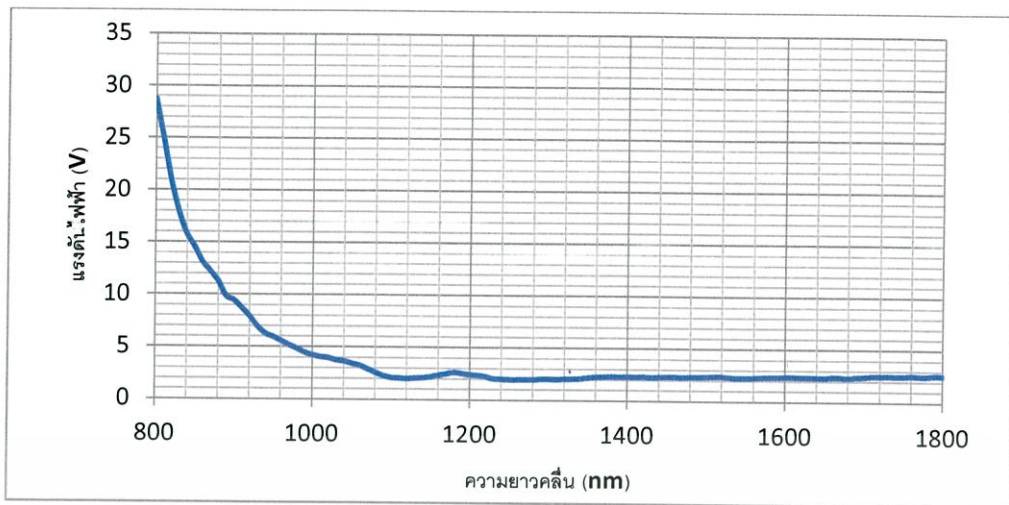
4.2. ผลทดลองการเปรียบเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง

ในการทดลองในข้อที่ 3.2 เราได้ทดลองเพื่อดูการทำงานของตัววัดแสงที่ได้ทำขึ้นมาว่าสามารถวัดแสงได้จริงและมีความถูกต้องหรือไม่โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดทั้งสแตนท์ที่ให้หลายความยาวคลื่นแสงในช่วงกว้าง ผลการวัดข้อมูลดิบเป็นดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟสเปกตรัมหลอดทั้งสแตนท์ที่ยังไม่ได้ปรับโมดูล

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าหากไม่ทำการปรับโมดูลกราฟที่ได้จะไม่สามารถแยกแยะค่าที่ถูกต้องได้จึงต้องทำการปรับโมดูลค่าจากผลการทดลองกับค่าการตอบสนองของโมโนโครเมเตอร์และโฟโตไดโอดเพื่อให้สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง และจากการทดลองหาวัดแสงสามารถวัดได้จริงตามความยาวคลื่นต่างๆ แต่อาจมีสัญญาณรบกวนอยู่บ้างในแต่ละช่วงที่แตกต่างกันออกไปดังรูป 4.3



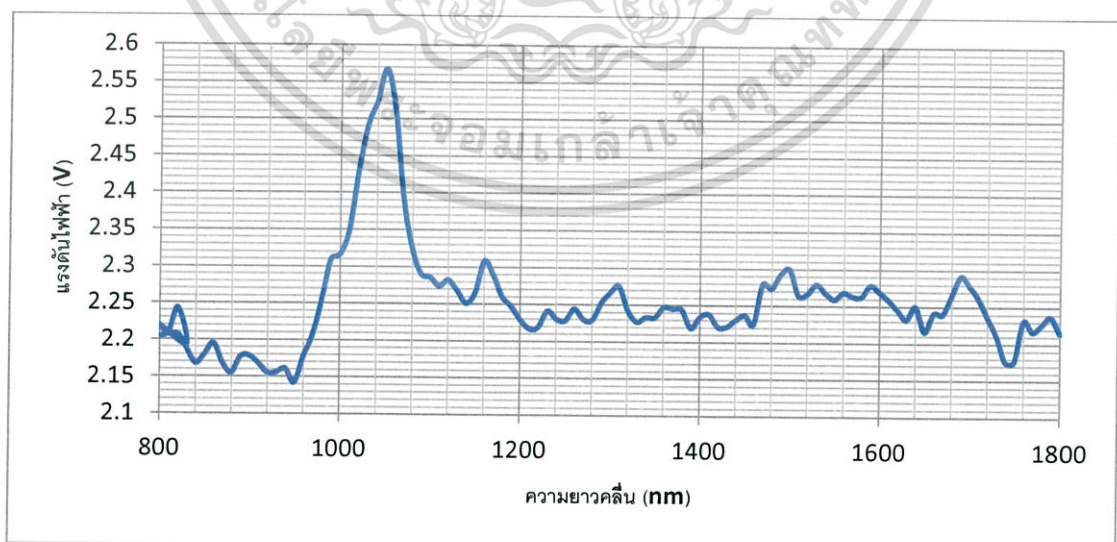
รูปที่ 4.3 กราฟสเปกตรัมหลอดทั้งสแตนท์ที่นอมอไลซ์แล้ว

4.3. ผลการทดลองการวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้

ในการทดลองในข้อที่ 3.3 ซึ่งเป็นการทดสอบหาค่าสเปกตรัมของแสงที่แท้จริง (เมื่อทำการนอมอไลซ์แล้ว) ของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ 4 ความยาวคลื่น ได้แก่ หลอดแอลอีดีมีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm , 1300 nm , 1550 nm และ 1720 nm และ เลเซอร์ไดโอดมีความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm

4.3.1. ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm

ลักษณะสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm มีผลเป็นดังรูป 4.4

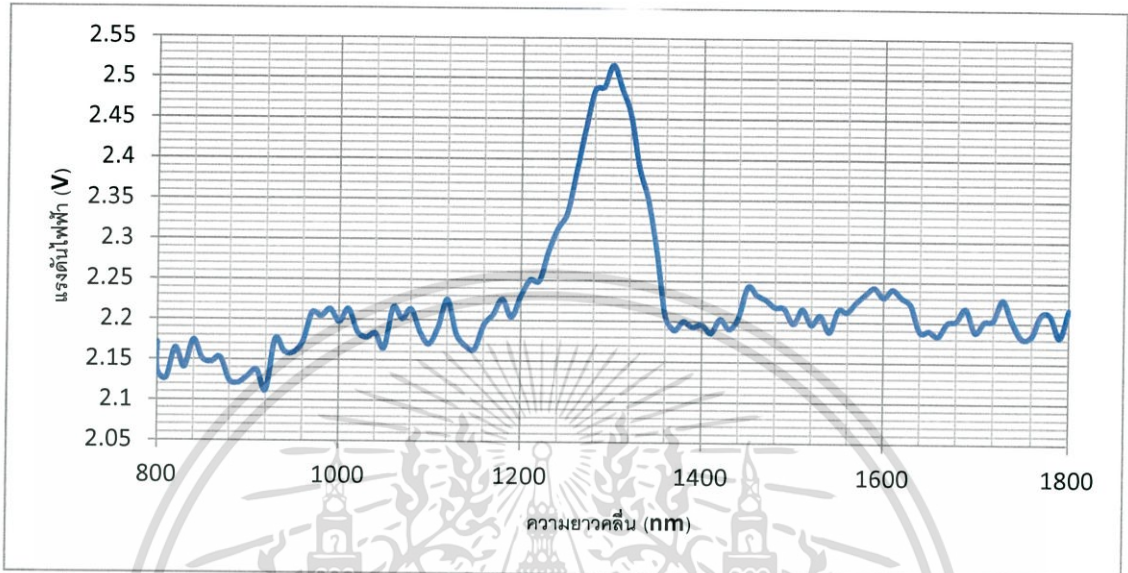


รูปที่ 4.4 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1060 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1300 nm

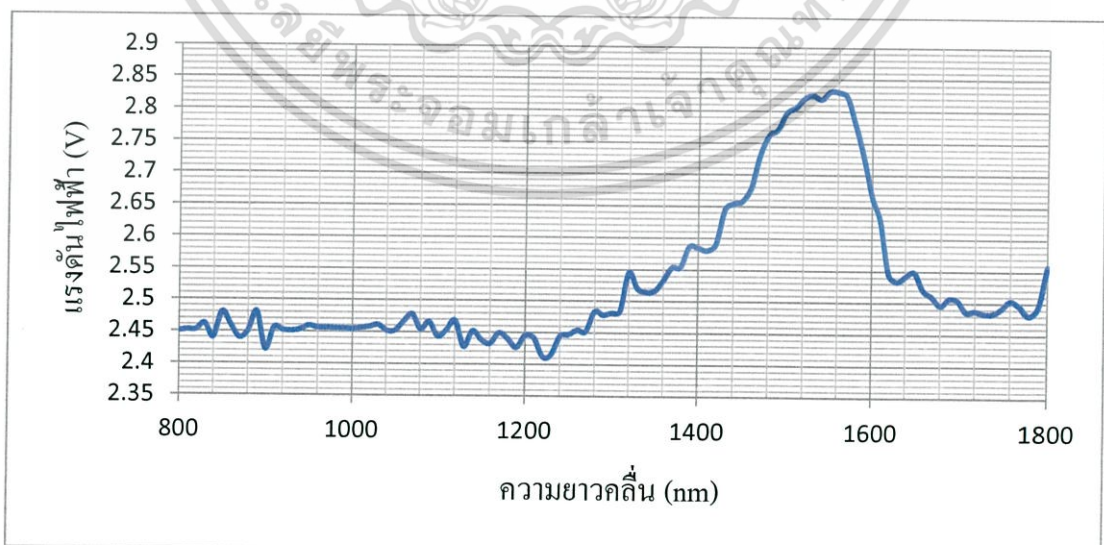
ลักษณะสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1300 nm มีผลเป็นดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1300 nm

4.3.3. ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm

ลักษณะสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm มีผลเป็นดังรูป 4.6

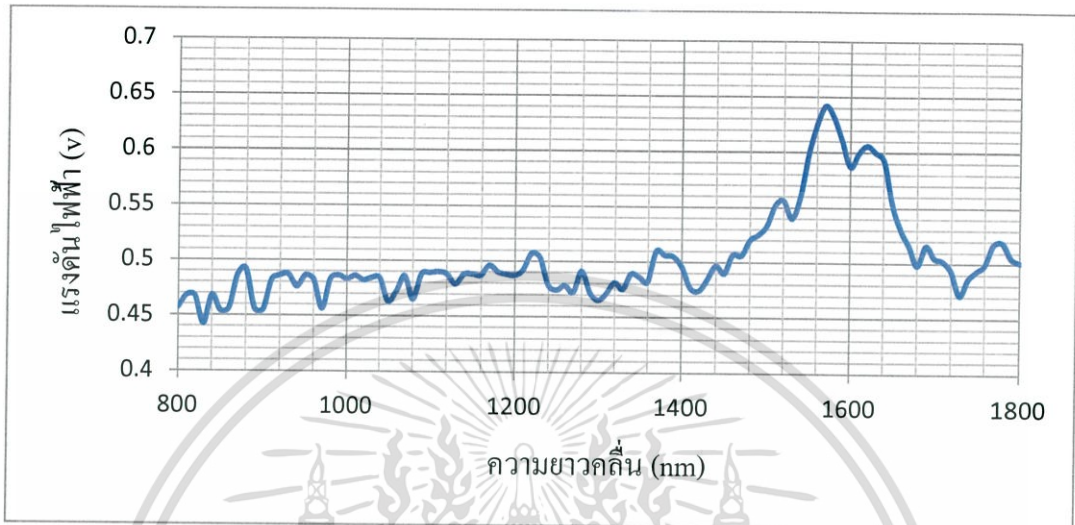


รูปที่ 4.6 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 1550 nm เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4. ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1720 nm

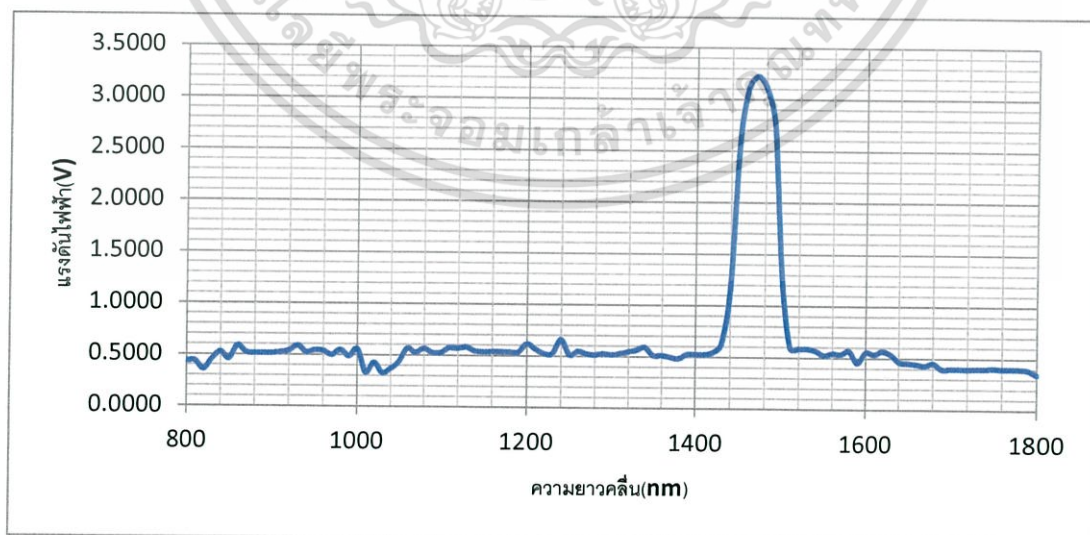
ลักษณะสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าระบุมความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1720 nm มีผลเป็นดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟสเปกตรัมของหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1720 nm

4.3.5. ผลการวัดสเปกตรัมของหลอดเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm

ลักษณะสเปกตรัมของหลอดเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้ ที่มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm มีผลเป็นดังรูป 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้ มีค่าความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1470 nm

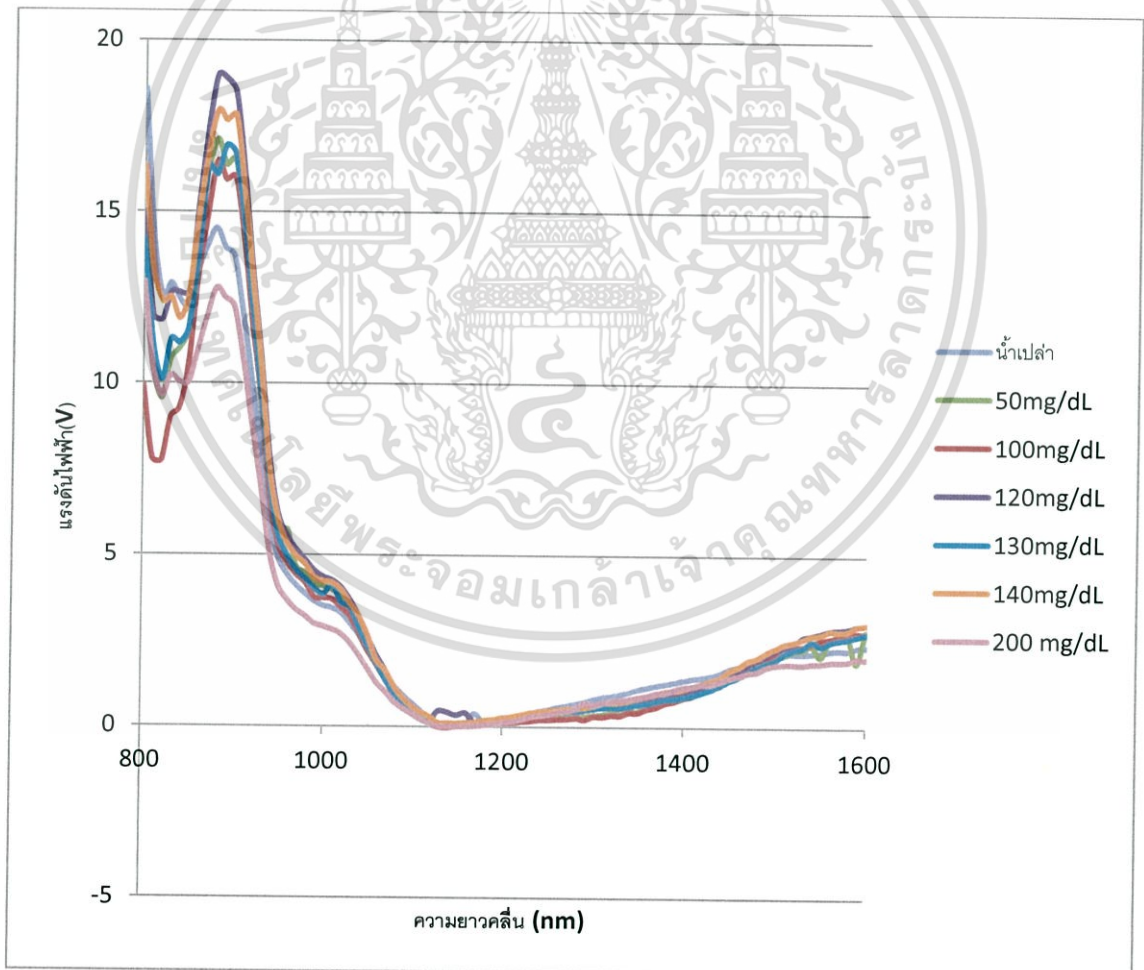
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. ผลทดลองการทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

จากการทดลองตอนที่ 3.4 เพื่อดูการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสในแต่ละความยาวคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ตอน โดยตอนที่ 1 วิธีการทดลอง 3.4.3.1 ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทั้งสแตน และตอนที่ 2 วิธีการทดลอง 3.4.3.2 ใช้แหล่งกำเนิดแสงคือ แอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ ความยาวคลื่นคือ 1060 nm, 1300 nm, 1550 nm และ 1760 nm และหลอดเลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่นคือ 1470 nm เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสต่อไป โดยได้ผลการทดลองดังนี้

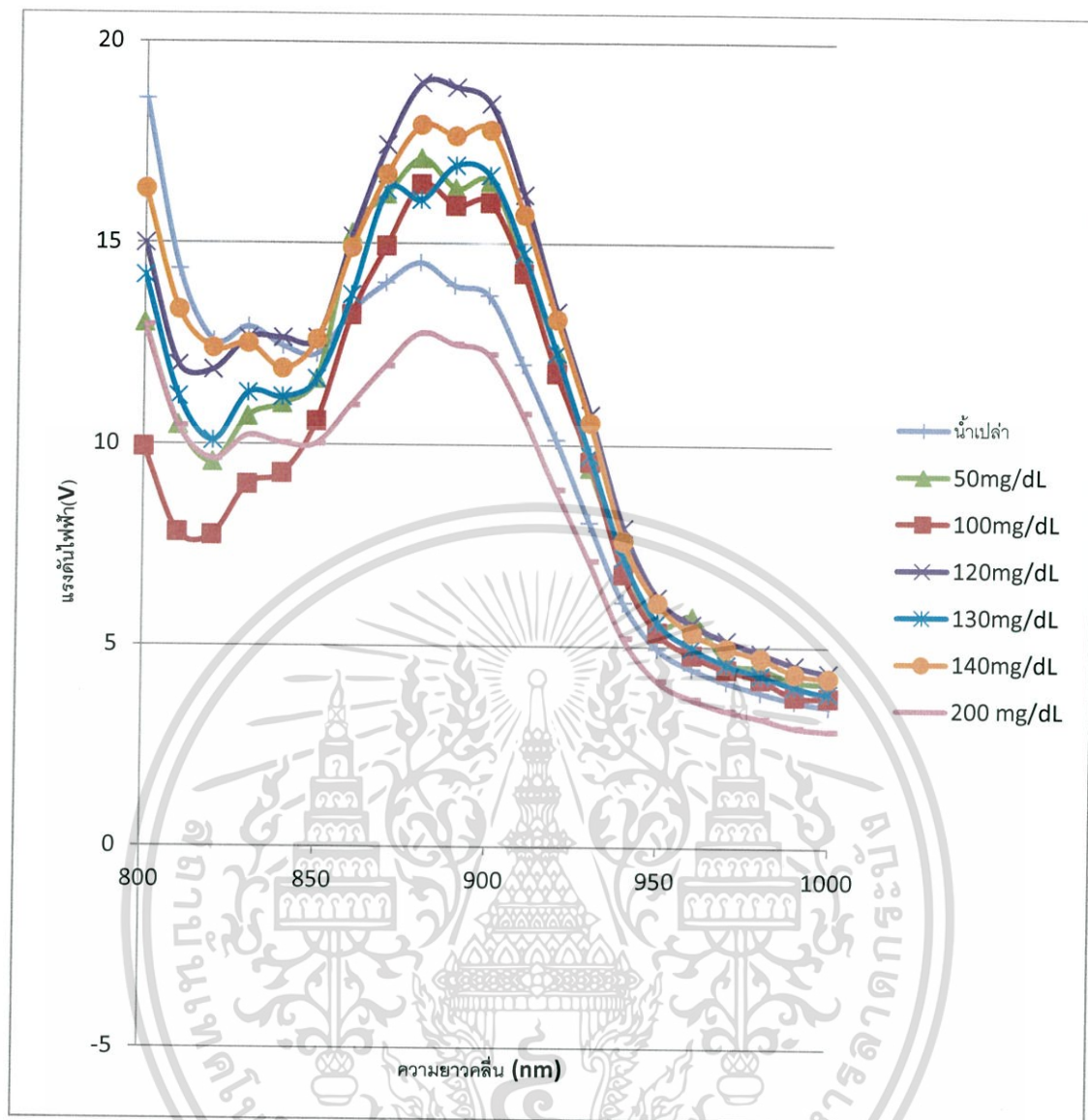
4.4.1. ผลการทดลองตอนที่ 1 หาค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสโดยใช้วิธีการทดลอง 3.4.3.1

ในการทดลองตอนที่ 1 วิธีการทดลอง 3.4.3.1 ได้ใช้หลอดทั้งสแตนเป็นแหล่งกำเนิดแสง และวัดปริมาณการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสในความเข้มข้นต่างๆ ได้ผลกราฟการทดลองดังรูป 4.9 (a) และกราฟส่วนขยายในช่วง 800–1000 nm เป็นดังรูป 4.9 (b)



รูปที่ 4.9(a) ค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทั้งสแตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9(b) ภาพขยายค่าการดูดกลืนแสงของกลูโคสโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทั้งสแตน

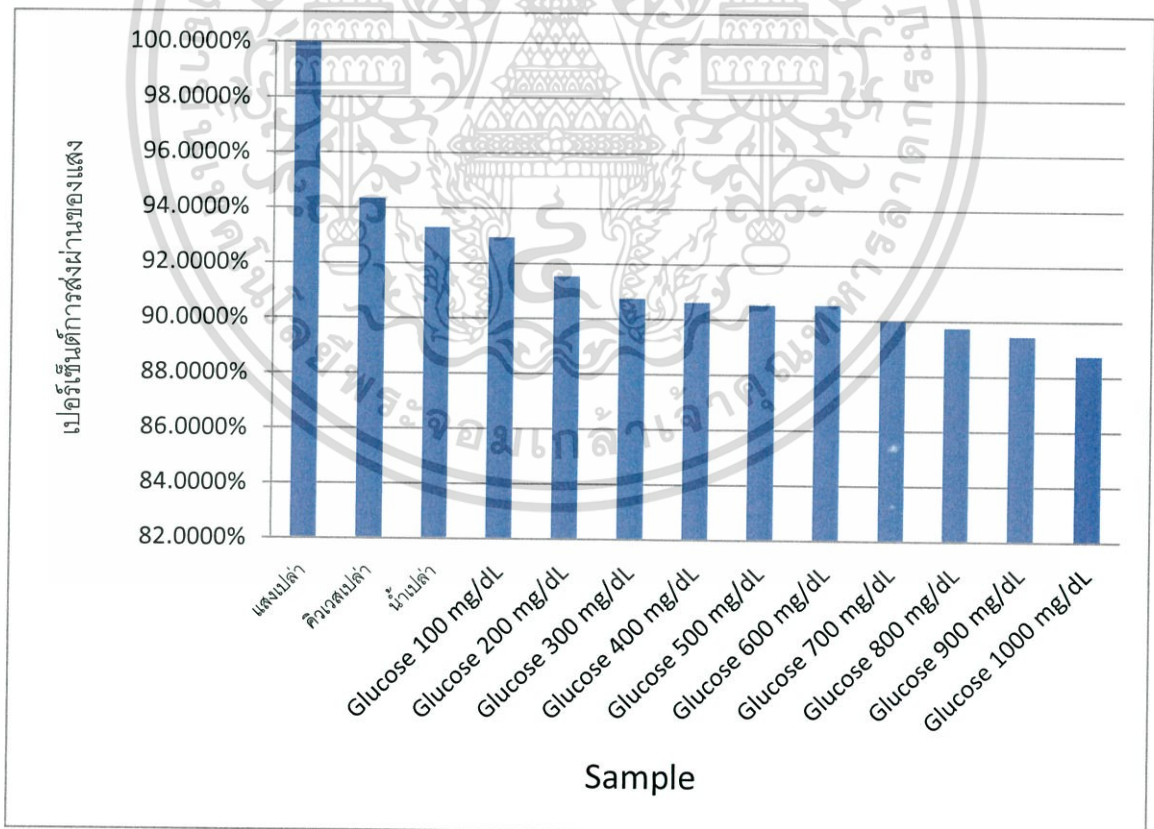
4.4.2. ผลการทดลองตอนที่ 2 หาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสโดยใช้วิธีการทดลอง 3.4.3.2

ในการทดลองตอนที่ 2 ใช้วิธีการทดลอง 3.4.3.2 ได้ใช้หลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ความยาวคลื่น 1060 nm ,1300 nm ,1550 nm และ 1720 nm มีผลการทดลองตามตารางที่ 4.2 , 4.3 , 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ และหากนำมาคิดเปอร์เซ็นต์ที่แสงส่องผ่านมีผลดังรูปที่ 4.10 , 4.11 , 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ ได้ใช้หลอดเลเซอร์ไดโอด ความยาวคลื่น 1470 nm มีผลการทดลองตาม ตารางที่ 4.6 และหากนำมาคิดเปอร์เซ็นต์ที่แสงส่องผ่านมีผลดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ความยาวคลื่น 1060 nm

ตัวกลาง	ความเข้มแสง(V)	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสง
แสงเปล่า	2.3795	100.0000%
คิวเวตเปล่า	2.2448	94.3384%
น้ำเปล่า	2.2199	93.2914%
100 mg/dL	2.2115	92.9400%
200 mg/dL	2.1782	91.5425%
300 mg/dL	2.1593	90.7455%
400 mg/dL	2.1562	90.6173%
500 mg/dL	2.1543	90.5360%
600 mg/dL	2.1548	90.5555%
700 mg/dL	2.1415	89.9991%
800 mg/dL	2.1359	89.7636%
900 mg/dL	2.1290	89.4715%
1000 mg/dL	2.1121	88.7648%

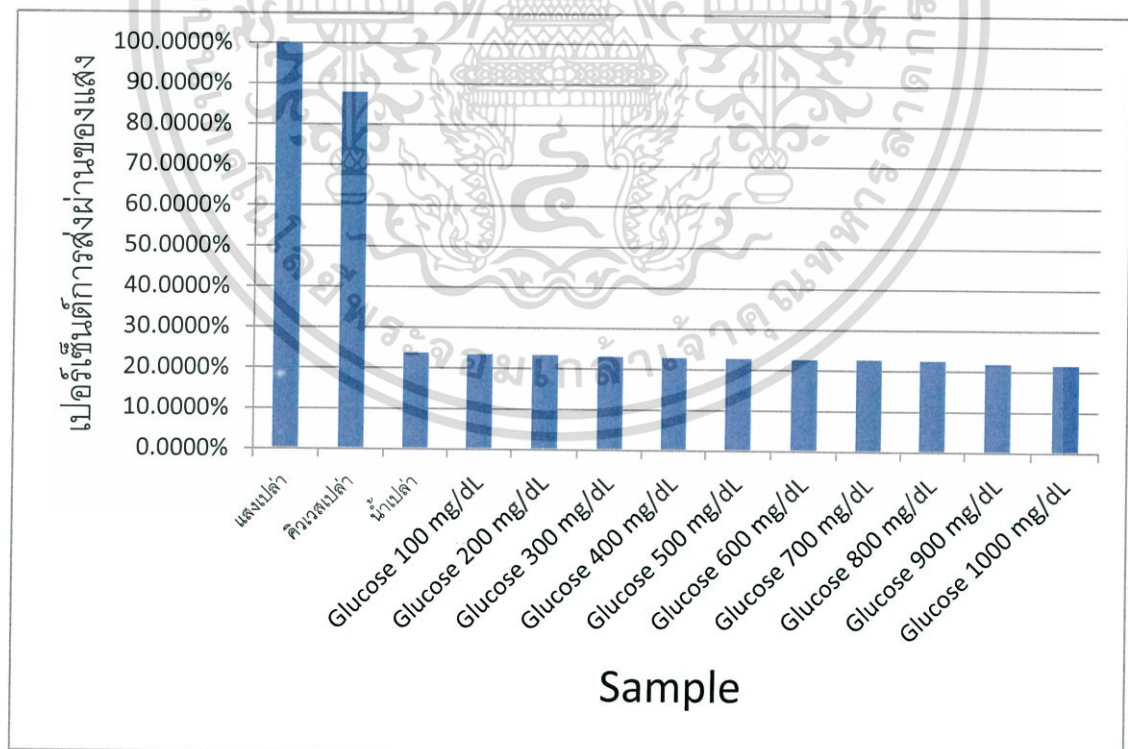


รูปที่ 4.10 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้ด้วยหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ความยาวคลื่น 1060 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ความยาวคลื่น 1300 nm

ตัวกลาง	ความเข้มแสง(V)	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสง
แสงเปล่า	4.1224	100.0000%
คิวเวตเปล่า	3.6234	87.8961%
น้ำเปล่า	0.9790	23.7501%
100mg/dL	0.9669	23.4550%
200 mg/dL	0.9623	23.3443%
300 mg/dL	0.9496	23.0373%
400 mg/dL	0.9443	22.9085%
500 mg/dL	0.9410	22.8284%
600 mg/dL	0.9346	22.6714%
700 mg/dL	0.9365	22.7193%
800 mg/dL	0.9288	22.5326%
900 mg/dL	0.9032	21.9098%
1000 mg/dL	0.8921	21.6408%

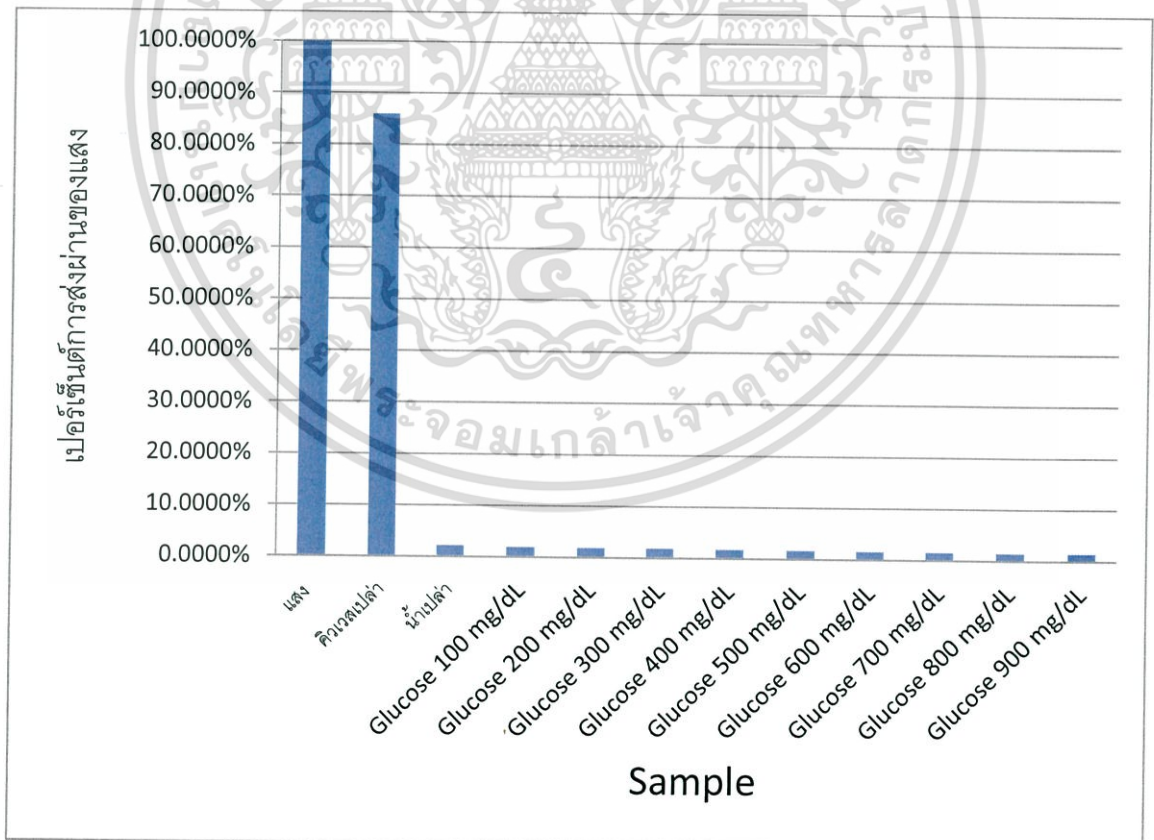


รูปที่ 4.11 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ความยาวคลื่น 1300 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีอินฟราเรดใกล้มีความยาวคลื่น 1550 nm

ตัวกลาง	ความเข้มแสง(V)	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสง
แสง	2.1103	100.0000%
คิวเวตเปล่า	1.8125	85.8900%
น้ำเปล่า	0.0457	2.1670%
100mg/dL	0.0402	1.9096%
200 mg/dL	0.0393	1.8634%
300 mg/dL	0.0383	1.8159%
400 mg/dL	0.0363	1.7236%
500 mg/dL	0.0347	1.6455%
600 mg/dL	0.0332	1.5738%
700 mg/dL	0.0323	1.5312%
800 mg/dL	0.0313	1.4873%
900 mg/dL	0.0313	1.4837%

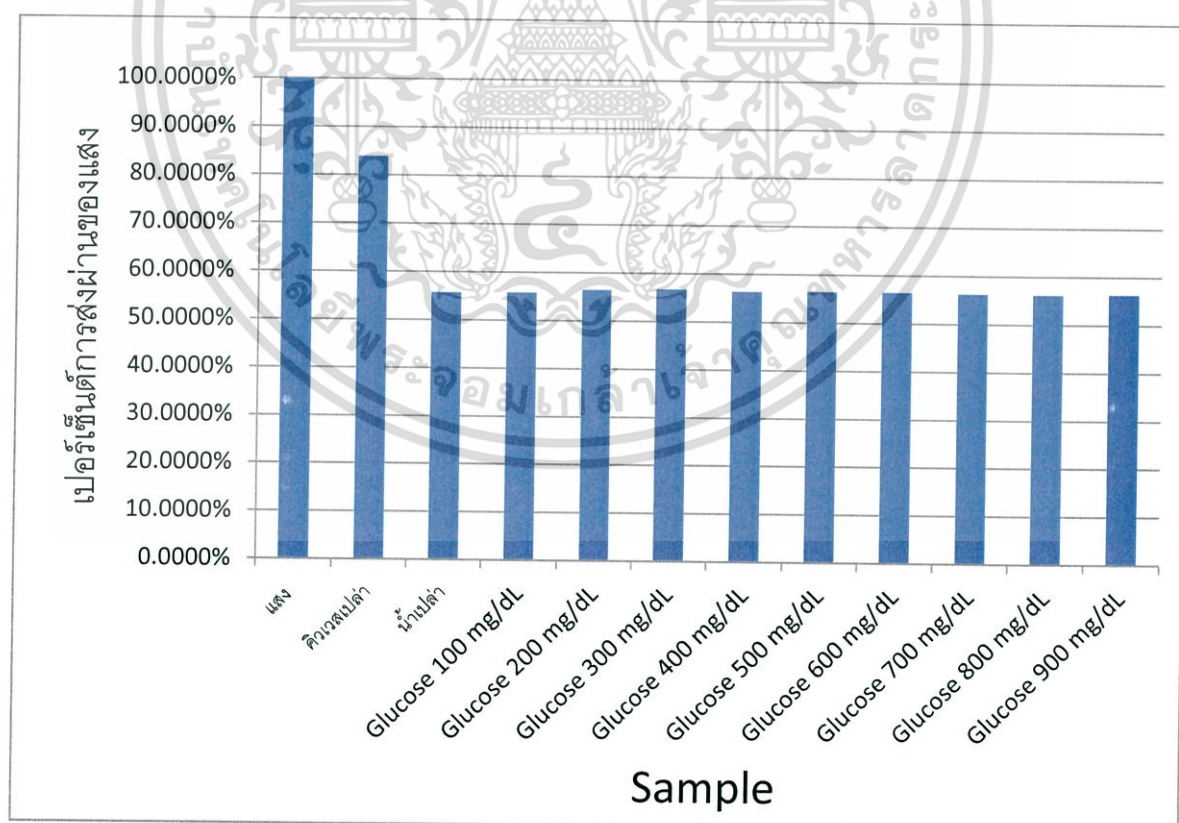


รูปที่ 4.12 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาคใกล้มีความยาวคลื่น 1550 nm อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีอินฟราเรดใกล้มีความยาวคลื่น 1720 nm

ตัวกลาง	ความเข้มแสง(V)	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสง
แสง	1.278	100.0000%
คิวเวตเปล่า	1.07200	83.8811%
น้ำเปล่า	0.71100	55.6338%
100 mg/dL	0.71200	55.7121%
200 mg/dL	0.72100	56.4163%
300 mg/dL	0.72440	56.6823%
400 mg/dL	0.71966	56.3114%
500 mg/dL	0.72114	56.4272%
600 mg/dL	0.72114	56.4272%
700 mg/dL	0.71922	56.2773%
800 mg/dL	0.71824	56.2006%
900 mg/dL	0.71944	56.2942%

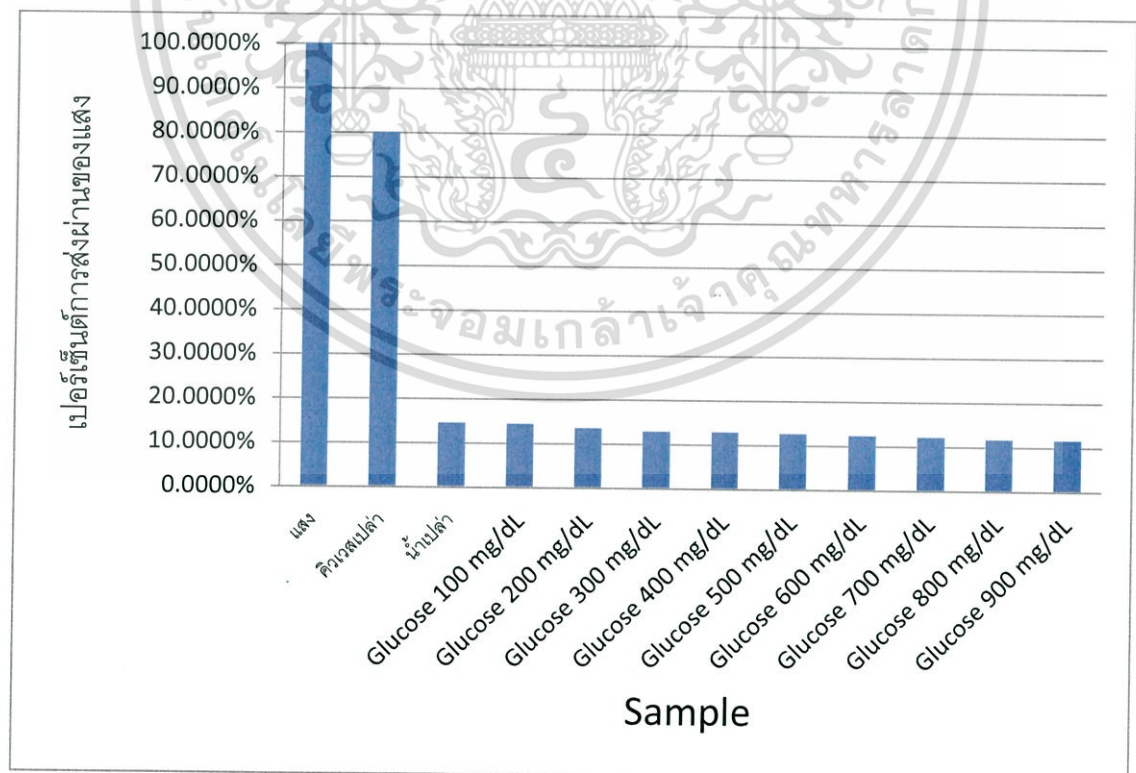


รูปที่ 4.13 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดแอลอีดีอินฟราเรดใกล้มีความยาวคลื่น 1720 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดเลเซอร์ไดโอด ความยาวคลื่น 1470 nm

ตัวกลาง	ความเข้มแสง(V)	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสง
แสง	3.3522	100.0000%
คิวเวตเปล่า	2.6822	80.0142%
น้ำเปล่า	0.4875	14.5427%
100 mg/dL	0.4822	14.3852%
200 mg/dL	0.4532	13.5211%
300 mg/dL	0.4322	12.8936%
400 mg/dL	0.4321	12.8928%
500 mg/dL	0.4249	12.6761%
600 mg/dL	0.4152	12.3874%
700 mg/dL	0.4077	12.1633%
800 mg/dL	0.3933	11.7337%
900 mg/dL	0.3891	11.6092%



รูปที่ 4.14 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของสารละลายกลูโคสกรณีใช้หลอดเลเซอร์ไดโอดมี

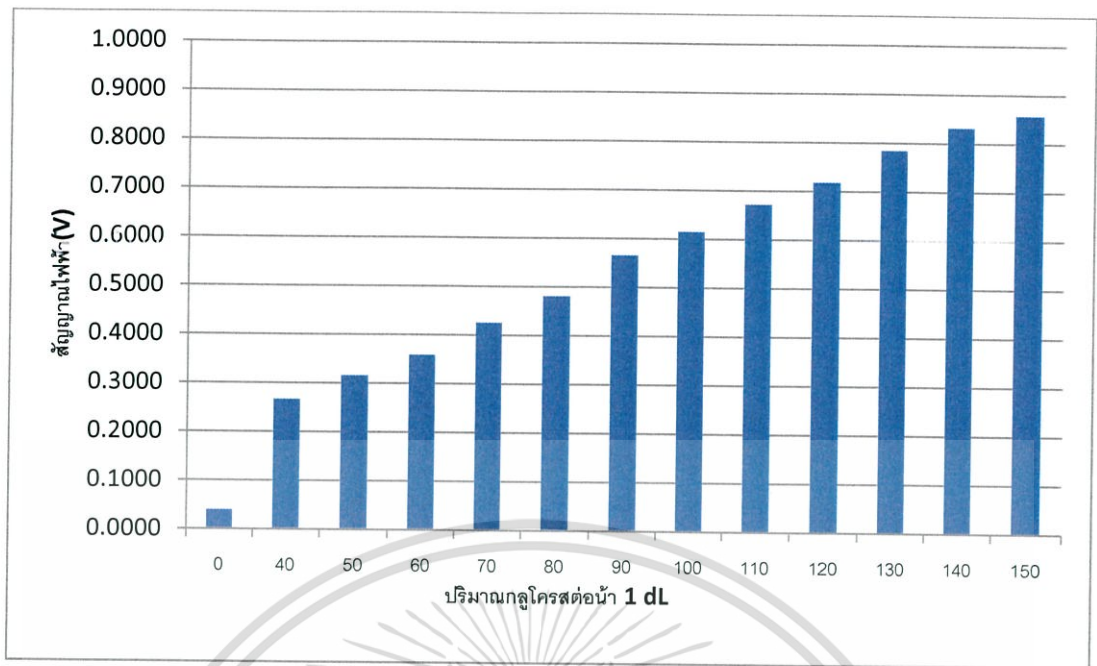
ความยาวคลื่น 1470 nm
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5. ผลการทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

ในการทดลองนี้เราได้ใช้หัววัดแสงสองตัวในการวัดแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่งกำเนิดแสงที่เหมือนกัน โดยให้หัววัดตัวแรกวัดแสงผ่านตัวอย่างคือน้ำ ส่วนหัววัดแสงตัวที่สองวัดแสงโดยผ่านตัวอย่างของสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณขยายผลต่างของสัญญาณ มีผลการทดลองตามตารางที่ 4.7 และแสดงผลเป็นกราฟแท่งได้ผลดังรูป 4.15

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส (mg/dL)	สัญญาณไฟฟ้า(V)
0	0.0398
40	0.2665
50	0.3156
60	0.3584
70	0.4254
80	0.4812
90	0.5654
100	0.6152
110	0.6722
120	0.7184
130	0.7849
140	0.8322
150	0.8576



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลุโคสโดยการเปรียบเทียบการดูคลื่นจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1.1. การออกแบบและสร้างวงจรวัดและขยายสัญญาณจากหัววัดแสงและเก็บผล

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนินงานในโครงการพิเศษนี้ โดยเริ่มจากการออกแบบวงจรขยายแบบกลับเฟสเพื่อใช้ในการทดลองตอนที่ 3.2, 3.3, 3.4 และวงจรขยายผลต่างของสัญญาณเพื่อใช้ในการทดลองตอนที่ 3.5 จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกผลการทดลอง ซึ่งในขั้นตอนทดสอบนี้พบว่าอุปกรณ์การเก็บผลการทดลอง (Arduino Uno R3) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากอุปกรณ์มาตรฐาน (Multimeter Agilent รุ่น U1241B) 0.3097% และก็ได้ใช้อุปกรณ์ชุดนี้เข้ามทำการเก็บค่าซ้ำ ๆ จำนวนมากและทำการเฉลี่ยค่าเพื่อลดสัญญาณรบกวน

5.1.2. การเปรียบเทียบค่าระบบตรวจวัดความเข้มแสง

เมื่อได้ระบบสำหรับเก็บผลการทดลองที่น่าเชื่อถือ จึงทำการทดลองหาค่าที่จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบเครื่องมือให้มีผลการทดลองที่ถูกต้องโดยใช้หลอดทั้งสแตน ทำการวัดค่าสเปกตรัมตั้งแต่ความยาวคลื่น 800 – 1800 nm แล้วทำการนอมอไลซ์ด้วยค่าเกรดิง (รูปที่ 3.15) ของโมโนโครเมเตอร์และค่าปรับเทียบของหัววัดแสง (3.18) ซึ่งหากเราไม่ทำการนอมอไลซ์จะได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.2 เมื่อนอมอไลซ์จะได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นลักษณะกราฟของแบล็คบอดี้ (blackbody)

5.1.3. การวัดค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดย่านอินฟราเรดใกล้

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการทดสอบโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ที่มีสเปกตรัมแคบกึ่งกลางความยาวคลื่น 1,060 nm มีค่าสเปกตรัมตามรูปที่ 4.4 ความยาวคลื่น 1,300 nm มีค่าสเปกตรัมตามรูปที่ 4.5 ความยาวคลื่น 1,550 nm มีค่าสเปกตรัมตามรูปที่ 4.6 ความยาวคลื่น 1,720 nm มีค่าสเปกตรัมตามรูปที่ 4.7 และหลอดเลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่น 1,470 nm มีค่าสเปกตรัมตามรูปที่ 4.8 สังเกตได้ว่าค่าความเข้มสูงสุดเกิดขึ้นตรงค่าใกล้เคียงกับค่าที่ระบุไว้ในข้อมูลเฉพาะ (specification) ของอุปกรณ์แต่ละตัว

5.1.4. การทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคส

จากการทดสอบหาสเปกตรัมการดูดกลืนของสารละลายกลูโคส ตลอดความยาวคลื่นช่วงกว้าง โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงหลอดทั้งสแตนทดลองซึ่งได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.9 ซึ่งดูไม่มีนัยสำคัญอาจเป็นผลเนื่องจากความเข้มแสงที่ต้องแบ่งกระจาย

ไปในทุกความยาวคลื่นและการสูญเสียความเข้มตรงส่วนสลิตของโมโนโครเมเตอร์ทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความเข้มแสงไม่เพียงพอที่หัววัดแสงจะสามารถแยกความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นสารละลายกลูโคสได้

สำหรับผลของการนำหลอดแอลอีดีย่านอินฟราเรดใกล้ และเลเซอร์ไดโอดที่รู้ค่าสเปกตรัมที่แท้จริงมาทำการทดสอบหาค่าการดูดกลืนเนื่องจากน้ำตาลกลูโคสโดยที่ความยาวคลื่น 1,060 nm มีค่าการดูดกลืนกลูโคสดังตารางที่ 4.2 ที่ความยาวคลื่น 1,300nm มีค่าการดูดกลืนกลูโคสดังตารางที่ 4.3 ที่ความยาวคลื่น 1,550 nm มีค่าการดูดกลืนกลูโคสดังตารางที่ 4.4 ส่วนในย่านความยาวคลื่น 1,720 นั้นมีค่าสัญญาณที่แตกต่างกันน้อยมากจนแยกไม่ออกเพราะความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีย่านความยาวคลื่น 1,720 nm นั้นมีค่าความเข้มแสงเพียง 4 mW ที่กระแสไหล 100 mA ส่วนหลอดเลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่น 1,470 nm มีค่าการดูดกลืนกลูโคสดังตารางที่ 4.6 ซึ่งจากการศึกษาการดูดกลืนความเข้มแสงของสารละลายกลูโคส มีผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อกรณีใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอดที่ความยาวคลื่น 1,470 nm น่าจะเป็นผลมาจากความเข้มแสงที่ได้จากเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากเมื่อเทียบกับหลอดแอลอีดีทั้งหมดทำให้สัญญาณชัดเจนกว่า

5.1.5. การทดลองใช้เทคนิคขยายผลต่างสัญญาณวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสโดยการเปรียบเทียบการดูดกลืนจาก 2 แหล่งกำเนิดแสง

จากการทดลองกรณีใช้เลเซอร์ไดโอดที่ความยาวคลื่น 1,470 nm ซึ่งเหมาะสมที่สุดจึงทำการทดลองต่อยอดในตอนที่ 3.5 และสามารถแยกความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในระดับ 10 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรตามตารางที่ 4.7 ซึ่งมีความต่างของแรงดันไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 0.0537 โวลต์ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสทุก ๆ 10 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

5.2. ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1. ควรทำ Guard ring เพื่อเพิ่มความถูกต้องในวงจรตรวจวัดความเข้มแสง
- 5.2.2. ควรใช้ Instrument Amplifier ในการปรับ offset เพื่อป้องกันการเกิดการเพิ่มขึ้นของ offset ในวงจรเนื่องจากสาเหตุของอุณหภูมิหรือความผิดพลาดจากตัว R trimpot
- 5.2.3. ควรมีตัวควบคุมอุณหภูมิโพโตดีเทคเตอร์ เพื่อลดผลกระทบจากอุณหภูมิในห้องทดลอง
- 5.2.4. ควรมีการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่นค่าอื่นๆ
- 5.2.5. ข้อมูลของการศึกษาในโครงการพิเศษนี้จะมีความสำคัญ ต่อการพัฒนาเครื่องวัดระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในเลือดในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Guo, D. , Shang, Y. , Peng, R. , Yong, S. and Wang, X. “Noninvasive Blood Glucose Measurement Based on NIR Spectrums and Double ANN Analysis” , Journal of Biosciences and Medicines, Volume 3, 2005, Pages 42-48.
- [2] Hiromitsu Furukawa, “Real-time multi-channel Fourier transform spectroscopy and its application to non - invasive blood fat measurement, Sensing and Bio - Sensing Research” , Volume 8, May 2016, Pages 55-58, ISSN 2214-1804.
- [3] Jerry Workman Jr., “12 - Review of Near-Infrared and Infrared Spectroscopy” , In The Handbook of Organic Compounds, Academic Press, Burlington, Volume 44, Issue 3, 2001, Pages 79-129.
- [4] Kexin Xu, Qingjun Qiu, Jingying Jiang, Xiuyan Yang, “Non-invasive glucose sensing with near-infrared spectroscopy enhanced by optical measurement conditions reproduction technique” , Optics and Lasers in Engineering, Volume 43, Issue 10, October 2005, Pages 1096-1106.
- [5] neutron.rmutphysics. เลเซอร์ไดโอด [Online].
Available : <http://www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard>
- [6] Ryckeboer E, Bockstaele R, Vanslembrouck M, Baets R, “Glucose sensing by aveguide-based absorption spectroscopy on a silicon chip” , Biomedical Optics Express, Volume 5, Issue 5, 2014, Pages 1636-1648.
- [7] Siamhealth.net. เบาหวานประเภทที่ 1 (Type 1 diabetes) [Online].
Available : www.siamhealth.net/public_html/Disease/endocrine/DM/type1.
- [8] Siamhealth.net. โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 diabetes) [Online].
Available : www.siamhealth.net/public_html/Disease/endocrine/DM/type2.
- [9] ThaiEasyElec. Arduino [Online].
Available : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics>.
- [10] tatc. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์ [Online].
Available : www.tatc.ac.th/files/08122511112836_11043011113844.pdf.
- [11] V O Rybynok , P A Kyriacou (2007), “A systematic approach for the accurate non-invasive estimation of blood glucose utilizing a novel light-tissue interaction adaptive modelling scheme” Journal of Physics, volume 85, Number 1, 2007, Pages 012033.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[12] Wikipedia. **ไดโอด** [Online].

Available : th.wikipedia.org/wiki/ไดโอด.

[13] สีและแสง. **กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law)** [Online].

Available : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page2_2.html.

[14] ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และโลกดาราศาสตร์. **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** [Online].

Available : www.lesa.biz/astromy/light/em-waves.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Serial.begin(9600);

pinMode(detactor,INPUT);

pinMode(7,OUTPUT);

digitalWrite(7,1);

}

void positive()

{

    a = analogRead(detactor);

    //Serial.print("digital Positive ");

    //Serial.print(a);

    //Serial.print(" ");

    if(a<20)

    {

        LOOP--;

        //Serial.print("- loop positive (if)");

        //Serial.print(" ");

    }

    a=a*calibation_1;

    a=a*calibation_2;

    a=a*calibation_3;

    //a=a*calibation_4;

    c+=a;

    lcd.clear();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 lcd.setCursor(0, 0);
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print(a,3);

//Serial.println(" POSITIVE ");

delay(10);

}

void negative()

{

b = analogRead(detactor_2);

//Serial.print("digital Negative ");

//Serial.print(b);

//Serial.print(" ");

if(b<20)

{

LOOP_4--;

//Serial.print("- loop negative (if)");

//Serial.print(" ");

}

b=b*calibration_1;

b=b*calibration_2;

b=b*calibration_3;

//b=b*calibration_4;

d+=b;

lcd.clear();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 lcd.setCursor(10, 0);
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print(b,3);

//Serial.println(" NEGATIVE ");

delay(10);

}

void positive_monitor()

{

//Serial.println(" POSITIVE MONITOR ");

//Serial.print("LOOP ");

//Serial.print(LOOP);

//Serial.print(" C ");

//Serial.println(c);

x=c/LOOP;

c=0;

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print(x,3);

lcd.setCursor(5,0);

lcd.print("V");

//Serial.println(x,3);

}

void negative_monitor()

{

//Serial.println(" NEGATIVE MONITOR ");

//Serial.print(" LOOP ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 //Serial.print(LOOP_4);
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Serial.print(" D ");

//Serial.println(d);

y=d/LOOP;

d=0;

lcd.setCursor(8, 0);

lcd.print(y,3);

lcd.setCursor(13,0);

lcd.print("V");

//Serial.println(y,3);
}
void sum()
{
//Serial.println("Sum");

z=x+y;

z=z/2;

g=g+1;

h+=5;

lcd.setCursor(2, 1);

lcd.print(z,3);

lcd.setCursor(8,1);

lcd.print("V");

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.setCursor(10,1);

lcd.print(h);

//Serial.print("Wavelength = ");

Serial.print(g);

Serial.print("  ");

/*Serial.print("  Next Wavelength = ");

Serial.println(h);

Serial.print(" positive = ");

Serial.print(x,3);

Serial.print(" negative = ");

Serial.print(y,3);

Serial.print(" sum = ");*/

Serial.println(z,3);
}

```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  LOOP=LOOP_2;
```

```
  LOOP_4=LOOP_2;
```

```
    for(int i=0;i<LOOP_3;i++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 {
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Serial.println("-----");

positive();

//Serial.println("-----");

negative();

//Serial.print("LOOP AT = ");

//Serial.println(i);

//Serial.print(" ");

}

//Serial.println("-----");

//Serial.println("MONITOR");

lcd.clear();

positive_monitor();

//Serial.println("");

negative_monitor();

//Serial.println("");

sum();

//Serial.println("-----");

if(g==1800)

{

//Serial.println("End");

//while(1);

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 //delay(4000);
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

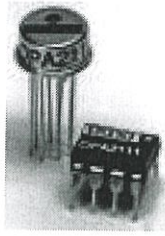
```
//Serial.println("ready.....");
```

```
//delay(800);
```

```
//Serial.println("Go.....");
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OPA2111

Dual Low Noise Precision Difet[®] OPERATIONAL AMPLIFIER

FEATURES

- **LOW NOISE:** 100% Tested, $8nV/\sqrt{Hz}$ max at 10kHz
- **LOW BIAS CURRENT:** 4pA max
- **LOW OFFSET:** 500 μ V max
- **LOW DRIFT:** 2.8 μ V/ $^{\circ}$ C
- **HIGH OPEN-LOOP GAIN:** 114dB min
- **HIGH COMMON-MODE REJECTION:** 96dB min

APPLICATIONS

- PRECISION INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION
- TEST EQUIPMENT
- PROFESSIONAL AUDIO EQUIPMENT
- MEDICAL EQUIPMENT
- DETECTOR ARRAYS

DESCRIPTION

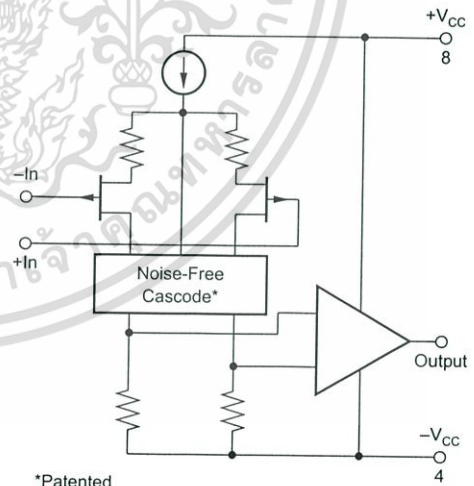
The OPA2111 is a high precision monolithic dielectrically isolated FET (**Difet**) operational amplifier. Outstanding performance characteristics allow its use in the most critical instrumentation applications.

Noise, bias current, voltage offset, drift, open-loop gain, common-mode rejection, and power supply rejection are superior to BIFET[®] amplifiers.

Very low bias current is obtained by dielectric isolation with on-chip guarding.

Laser trimming of thin-film resistors gives very low offset and drift. Extremely low noise is achieved with patented circuit design techniques. A cascode design allows high precision input specifications and reduced susceptibility to flicker noise.

Standard dual op amp pin configuration allows upgrading of existing designs to higher performance levels.



*Patented

OPA2111 Simplified Circuit (Each Amplifier)

BIFET[®] National Semiconductor Corp., Difet[®] Burr-Brown Corp.

International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400 • Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd. • Tucson, AZ 85706
 Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111 • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

At $V_{CC} = \pm 15\text{VDC}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

PARAMETER	CONDITION	OPA2111AM			OPA2111BM			OPA2111SM			OPA2111KM, KP			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT NOISE														
Voltage, $f_O = 10\text{Hz}$	100% Tested		40	80		30	60		40	80		40		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_O = 100\text{Hz}$	100% Tested		15	40		11	30		15	40		15		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_O = 1\text{kHz}$	100% Tested		8	15		7	12		8	15		8		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_O = 10\text{kHz}$	(1)		6	8		6	8		6	8		6		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_B = 10\text{Hz}$ to 10kHz	(1)		0.7	1.2		0.6	1		0.7	1.2		0.7		μVrms
$f_B = 0.1\text{Hz}$ to 10Hz	(1)		1.6	3.3		1.2	2.5		1.6	3.3		1.6		$\mu\text{Vp-p}$
Current, $f_B = 0.1\text{Hz}$ to 10Hz	(1)		15	24		12	19		15	24		15		fAp-p
$f_O = 0.1\text{Hz}$ to 20kHz	(1)		0.8	1.3		0.6	1		0.8	1		0.8		$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
OFFSET VOLTAGE⁽²⁾														
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 0\text{VDC}$		± 0.1	± 0.75		± 0.05	± 0.5		± 0.1	± 0.75		± 0.3	± 2	mV
Average Drift	$T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}		± 2	± 6		± 0.5	± 2.8		± 2	± 6		± 8	± 15	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Match			± 1			± 0.5			2			2		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Supply Rejection		90	110		96	110		90	110		86	110		dB
Channel Separation	100Hz , $R_L = 2\text{k}\Omega$		± 3	± 31		± 3	± 16		± 3	± 31		± 3	± 50	$\mu\text{V/V}$
			136			136			136			136		dB
BIAS CURRENT⁽²⁾														
Input Bias Current	$V_{CM} = 0\text{VDC}$		± 2	± 8		± 1.2	± 4		± 2	± 8		± 3	± 15	pA
Match			± 1			± 0.5			± 1			2		pA
OFFSET CURRENT⁽²⁾														
Input Offset Current	$V_{CM} = 0\text{VDC}$		± 1.2	± 6		± 0.6	± 3		± 1.2	± 6		± 3	± 12	pA
IMPEDANCE														
Differential			$10^{13} \parallel 1$			$10^{13} \parallel 1$			$10^{13} \parallel 1$			$10^{13} \parallel 1$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Common-Mode			$10^{14} \parallel 3$			$10^{14} \parallel 3$			$10^{14} \parallel 3$			$10^{14} \parallel 3$		$\Omega \parallel \text{pF}$
VOLTAGE RANGE														
Common-Mode Input Range		± 10	± 11		± 10	± 11		± 10	± 11		± 10	± 11		V
Common-Mode Rejection	$V_{IN} = \pm 10\text{VDC}$	90	110		96	110		90	110		82	110		dB
OPEN-LOOP GAIN, DC														
Open-Loop Voltage Gain	$R_L \geq 2\text{k}\Omega$	110	125		114	125		110	125		106	125		dB
Match			3			2			3			3		dB
FREQUENCY RESPONSE														
Unity Gain, Small Signal			2			2			2			2		MHz
Full Power Response	20Vp-p , $R_L = 2\text{k}\Omega$	16	32		16	32		16	32			32		kHz
Slew Rate	$V_O = \pm 10\text{V}$, $R_L = 2\text{k}\Omega$	1	2		1	2		1	2			2		V/ μs
Settling Time, 0.1%	Gain = -1, $R_L = 2\text{k}\Omega$		6			6			6			6		μs
0.01%	10V Step		10			10			10			10		μs
Overload Recovery, 50% Overdrive ⁽³⁾	Gain = -1		5			5			5			5		μs
RATED OUTPUT														
Voltage Output	$R_L = 2\text{k}\Omega$	± 10	± 11		± 10	± 11		± 10	± 11		± 10	± 11		V
Current Output	$V_O = \pm 10\text{VDC}$	± 5	± 10		± 5	± 10		± 5	± 10		± 5	± 10		mA
Output Resistance	DC, Open-Loop		100			100			100			100		Ω
Load Capacitance Stability	Gain = +1		1000			1000			1000			1000		pF
Short Circuit Current		10	40		10	40		10	40		10	40		mA
POWER SUPPLY														
Rated Voltage			± 15			± 15			± 15			± 15		VDC
Voltage Range, Derated Performance		± 5		± 18	± 5		± 18	± 5		± 18	± 5		± 18	VDC
Current, Quiescent	$I_O = 0\text{mADC}$		5	7		5	7		5	7		5	9	mA
TEMPERATURE RANGE														
Specification	Ambient Temp.	-25		+85	-25		+85	-55		+125	0		+70	$^\circ\text{C}$
Operating "M" Package	Ambient Temp.	-55		+125	-55		+125	-55		+125	-55		+125	$^\circ\text{C}$
"P" Package											-40		+85	$^\circ\text{C}$
Storage "M" Package	Ambient Temp.	-65		+150	-65		+150	-65		+150	-65		+150	$^\circ\text{C}$
"P" Package											-40		+85	$^\circ\text{C}$
θ Junction-Ambient			200			200			200			200 ⁽⁴⁾		$^\circ\text{C}/\text{W}$

NOTES: (1) Sample tested—this parameter is guaranteed. (2) Offset voltage, offset current, and bias current are measured with the units fully warmed up. (3) Overload recovery is defined as the time required for the output to return from saturation to linear operation following the removal of a 50% input overdrive. (4) Typical $\theta_{JA} = 150^\circ\text{C}/\text{W}$ for plastic DIP.



OPA2111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

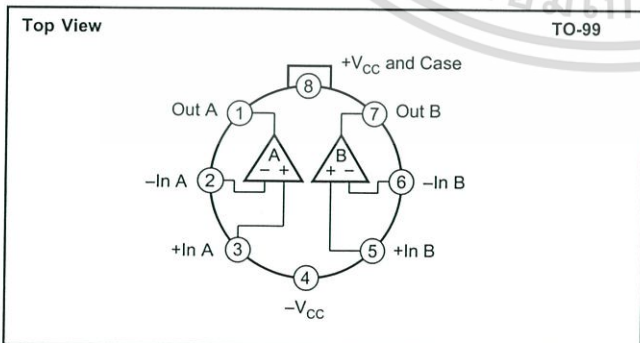
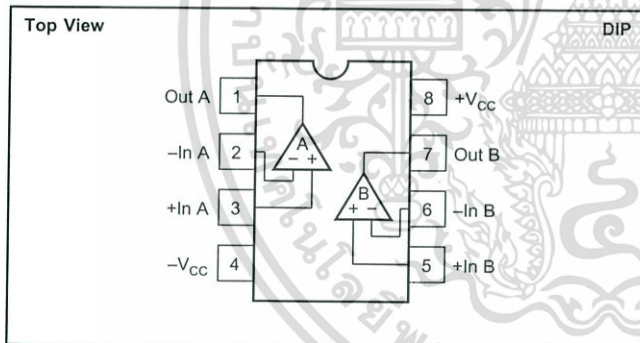
ELECTRICAL (FULL TEMPERATURE RANGE SPECIFICATIONS)

At $V_{CC} = \pm 15\text{VDC}$ and $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITION	OPA2111AM			OPA2111BM			OPA2111SM			OPA2111KM, KP			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
TEMPERATURE RANGE Specification Range	Ambient Temp.	-25		+85	-25		+85	-55		+125	0		+70	°C
INPUT OFFSET VOLTAGE⁽¹⁾ Input Offset Voltage Average Drift Match Supply Rejection	$V_{CM} = 0\text{VDC}$		± 0.22 ± 2 1 ± 10	± 1.2 ± 6 ± 50		± 0.08 ± 0.5 100 ± 10	± 0.75 ± 2.8 ± 32		± 0.3 ± 2 100 ± 10	± 1.5 ± 6 ± 50		± 0.9 ± 8 100 ± 10	± 5 ± 15 ± 80	mV $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ dB $\mu\text{V}/\text{V}$
BIAS CURRENT⁽¹⁾ Input Bias Current Match	$V_{CM} = 0\text{VDC}$		± 125 60	$\pm 1\text{nA}$		± 75 30	± 500		$\pm 2\text{nA}$ 1nA	$\pm 16.3\text{nA}$		± 125 ± 500	pA pA	
OFFSET CURRENT⁽¹⁾ Input Offset Current	$V_{CM} = 0\text{VDC}$		± 75	± 750		± 38	± 375		$\pm 1.3\text{nA}$	$\pm 12\text{nA}$		± 75 ± 375	pA	
VOLTAGE RANGE Common-Mode Input Range Common-Mode Rejection	$V_{IN} = \pm 10\text{VDC}$	± 10 86	± 11 100		± 10 90	± 11 100		± 10 86	± 11 100		± 10 80	± 11 100	V dB	
OPEN-LOOP GAIN, DC Open-Loop Voltage Gain Match	$R_L \geq 2\text{k}\Omega$	106 106	120 120 5		110 110	120 120 3		106 106	120 120 5		100 100	120 120 5	dB dB	
RATED OUTPUT Voltage Output Current Output Short Circuit Current	$R_L = 2\text{k}\Omega$ $V_O = \pm 10\text{VDC}$ $V_O = 0\text{VDC}$	± 10.5 ± 5 10	± 11 ± 10 40		± 10.5 ± 5 10	± 11 ± 10 40		± 10.5 ± 5 10	± 11 ± 10 40		± 10.5 ± 5 10	± 11 ± 10 40	V mA mA	
POWER SUPPLY Current, Quiescent	$I_Q = 0\text{mADC}$		5 5	8 8		5 5	8 8		5 5	8 8		5 5	10 10	mA

NOTES: (1) Offset voltage, offset current, and bias current are measured with the units fully warmed up.

CONNECTION DIAGRAMS



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply	$\pm 18\text{VDC}$
Internal Power Dissipation ($T_J \leq +175^\circ\text{C}$)	500mW
Differential Input Voltage	Total V_{CC}
Input Voltage Range	$\pm V_{CC}$
Storage Temperature Range: "M" Package	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
"P" Package	-40°C to $+85^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range: "M" Package	-55°C to $+125^\circ\text{C}$
"P" Package	-40°C to $+85^\circ\text{C}$
Lead Temperature (soldering, 10s)	$+300^\circ\text{C}$
Output Short Circuit to Ground ($+25^\circ\text{C}$)	Continuous
Junction Temperature	$+175^\circ\text{C}$

PACKAGE INFORMATION

MODEL	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER ⁽¹⁾
OPA2111AM	TO-99	001
OPA2111BM	TO-99	001
OPA2111KM	TO-99	001
OPA2111SM	TO-99	001
OPA2111KP	8-Pin Plastic DIP	006

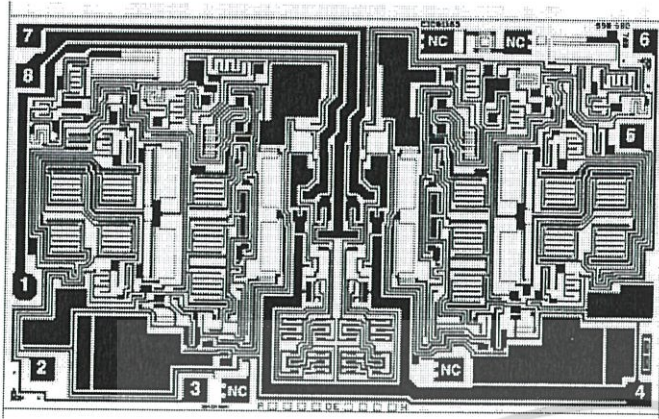
NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix D of Burr-Brown IC Data Book.

ORDERING INFORMATION

MODEL	PACKAGE	TEMPERATURE RANGE	OFFSET VOLTAGE, max (mV)
OPA2111AM	TO-99	-25°C to $+85^\circ\text{C}$	± 0.75
OPA2111BM	TO-99	-25°C to $+85^\circ\text{C}$	± 0.5
OPA2111KM	TO-99	0°C to $+70^\circ\text{C}$	± 2
OPA2111SM	TO-99	-55°C to $+125^\circ\text{C}$	± 0.75
OPA2111KP	8-Pin Plastic DIP	0°C to $+70^\circ\text{C}$	± 2



DICE INFORMATION



OPA2111AD DIE TOPOGRAPHY

PAD	FUNCTION
1	Out A
2	-In A
3	+In A
4	-V _S
5	+In B
6	-In B
7	Out B
8	+V _S
NC	No Connection

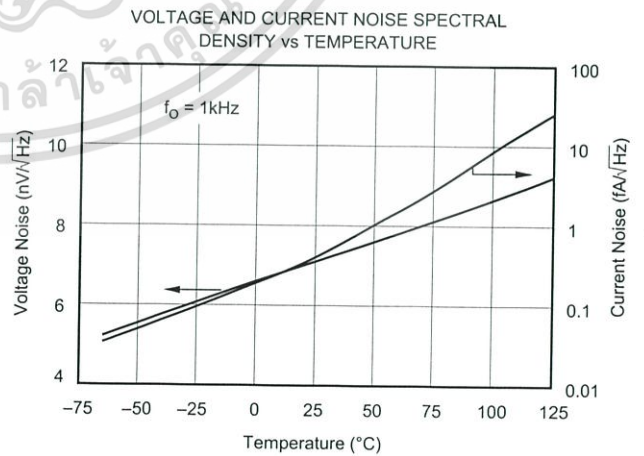
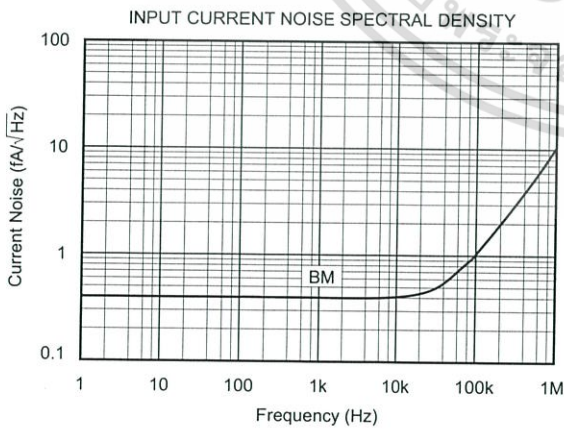
Substrate Bias: No Connection

MECHANICAL INFORMATION

	MILS (0.001")	MILLIMETERS
Die Size	138 x 84 ±5	3.51 x 2.13 ±0.13
Die Thickness	20 ±3	0.51 ±0.08
Min. Pad Size	4 x 4	0.10 x 0.10
Backing		None
Transistor Count		102

TYPICAL PERFORMANCE CURVES

T_A = +25°C, and V_{CC} = ±15VDC unless otherwise noted.



OSA Opto Light GmbH

Koepenicker Str. 325b, Haus 201

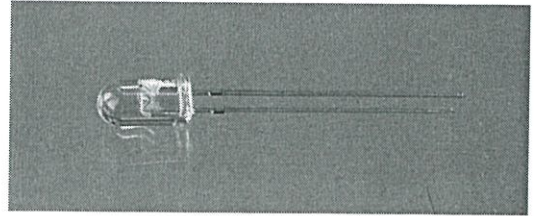
D-12555 Berlin

Fon: +49 (0)30 6576 2683

Fax: +49 (0)30 6576 2681

contact@osa-opto.com

osa opto light



Product Data Sheet

LED Lamp Infra Red

EOLD-1060-525

Rev. 01 aus 2011

Radiation	Type	Case
Infra Red	MQW	5mm plastic lens

Description:

High-power, high-speed infrared LED in standard 5mm package, housin without standoff leads

for optical communications, safety equipment and automation

Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Forward Current		I_F	100	mA
Peak forward current	$(t_p \leq 50 \mu\text{s}, t_p / T = 1/2)$	I_{FM}	200	mA
Power dissipation		P_D	150	mW
Operating temp. range		T_{amb}	-20 to +80	$^{\circ}\text{C}$
Storage temp. range		T_{stg}	-55 to +100	$^{\circ}\text{C}$
Lead soldering temp.	$t < 5\text{s}$, 3mm from case	T_{slg}	260	$^{\circ}\text{C}$

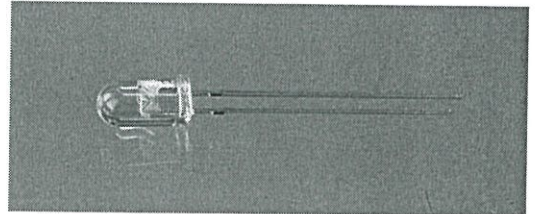
Optical and Electrical Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	Min	typ	max	Unit
Forward voltage	V_F	$I_F = 20\text{mA}$		1.15	1.40	V
Forward voltage	V_F	$I_F = 100\text{mA}$		1.25	1.50	V
Reverse voltage	V_R	$I_R = 10\mu\text{A}$	5			V
Radiant Power	Φ_e	$I_F = 20\text{mA}$		4		mW
Radiant Power	Φ_e	$I_F = 100\text{mA}$		8		mW
Peak wavelength	λ_p	$I_F = 20\text{mA}$	1040	1060	1080	nm
Spectral bandwidth at 50%	$\Delta\lambda_{0.5}$	$I_F = 20\text{mA}$		80		nm
Viewing angle	φ	$I_F = 20\text{mA}$		20		deg.
Switching time	t_r, t_f	$I_F = 20\text{mA}$		20		ns



We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice. Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer.



Product Data Sheet

LED Lamp Infra Red

EOLD-1300-525

Radiation	Type	Case
Infra Red	MQW	5mm plastic lens

Description:

High-power, high-speed infrared LED in standard 5mm package, housin without standoff leads

for optical communications, safety equipment and automation

Maximum Ratings

T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Forward Current		I _F	100	mA
Peak forward current	(t _p ≤ 50 μs, t _p / T = 1/2)	I _{FM}	200	mA
Power dissipation		P _D	150	mW
Operating temp. range		T _{amb}	-20 to +80	°C
Storage temp. range		T _{stg}	-55 to +100	°C
Lead soldering temp.	t < 5s, 3mm from case	T _{slg}	260	°C

Optical and Electrical Characteristics

T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

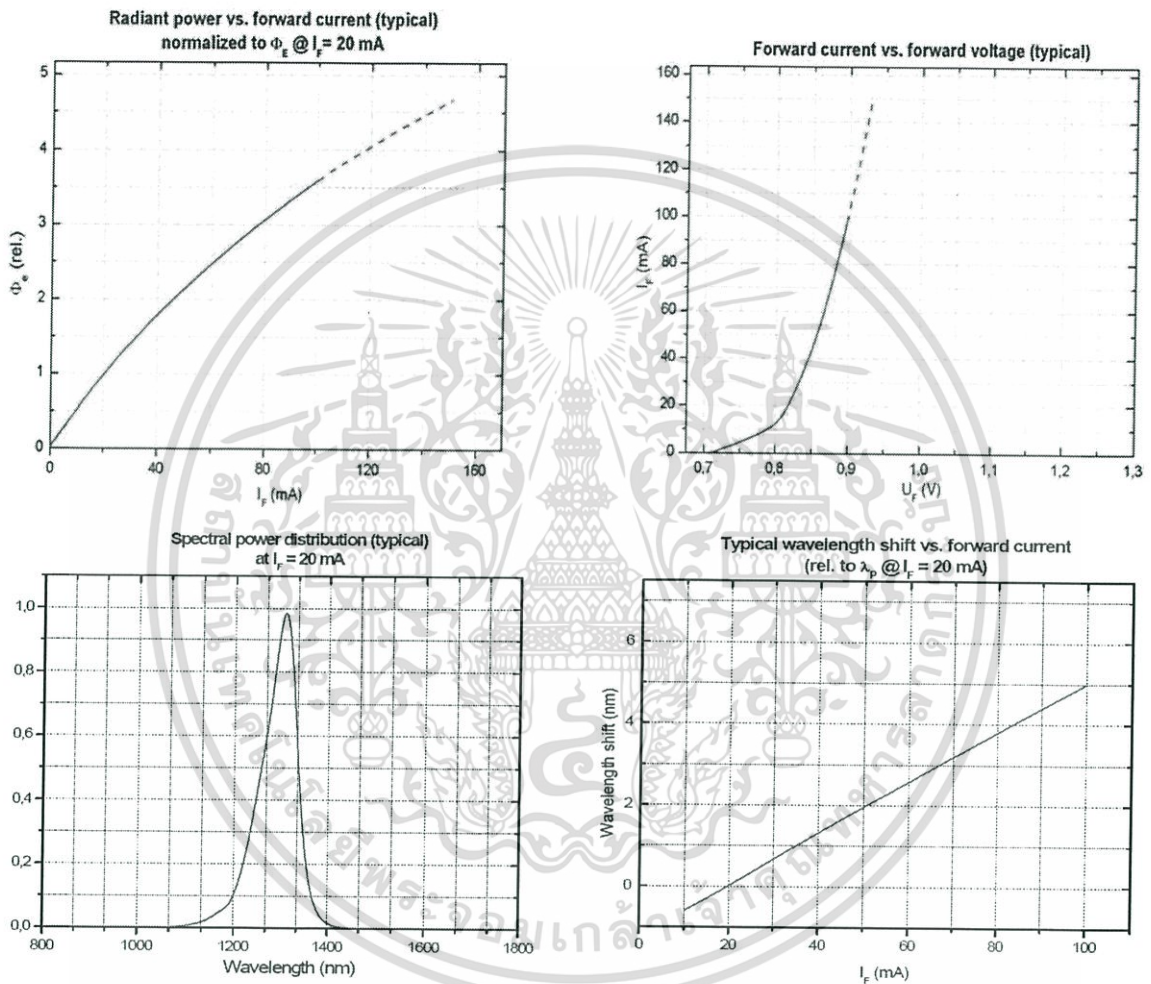
Parameter	Symbol	Conditions	Min	typ	max	Unit
Forward voltage	V _F	I _F = 20mA		0.85	1.0	V
Forward voltage	V _F	I _F = 100mA		0.95		V
Reverse voltage	V _R	I _R = 10μA	5			V
Radiant Power	Φ _e	I _F = 20mA	1.6	2.2		mW
Radiant Power	Φ _e	I _F = 100mA		8.5		mW
Radiant intensity	I _e	I _F = 20mA		10		mW/sr
Radiant intensity	I _e	I _F = 100mA		38		mW/sr
Peak wavelength	λ _p	I _F = 20mA	1250	1300	1350	nm
Spectral bandwidth at 50%	Δλ _{0,5}	I _F = 20mA		70		nm
Viewing angle	φ	I _F = 20mA		25		deg.
Switching time	t _r , t _f	I _F = 20mA		10		ns



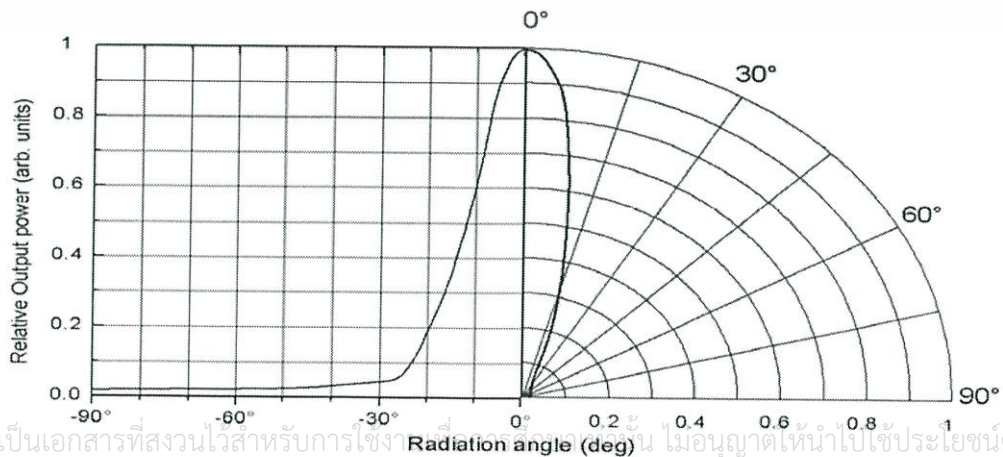
Product Data Sheet

LED Lamp Infra Red

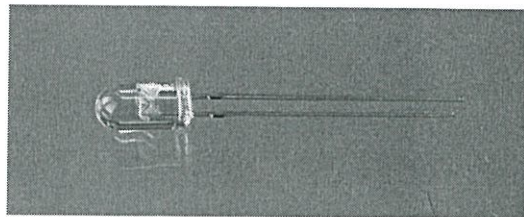
EOLD-1300-525



Typical radiant pattern



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Product Data Sheet

LED Lamp Infra Red

EOLD-1550-525

Rev. 01 aus 2011

Radiation	Type	Case
Infra Red	MQW	5mm plastic lens

Description:

High-power, high-speed infrared LED in standard 5mm package, housing without standoff leads

for optical communications, safety equipment and automation

Maximum Ratings

T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Forward Current		I _F	100	mA
Peak forward current	(t _p ≤ 50 μs, t _p / T = 1/2)	I _{FM}	200	mA
Power dissipation		P _D	150	mW
Operating temp. range		T _{amb}	-20 to +80	°C
Storage temp. range		T _{stg}	-55 to +100	°C
Lead soldering temp.	t < 5s, 3mm from case	T _{slg}	260	°C

Optical and Electrical Characteristics

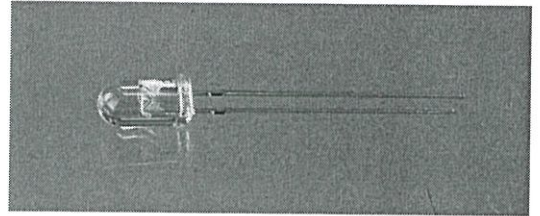
T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	Min	typ	max	Unit
Forward voltage	V _F	I _F = 20mA		0.75	0.9	V
Forward voltage	V _F	I _F = 100mA		0.85		V
Reverse voltage	V _R	I _R = 10μA	5			V
Radiant Power	Φ _e	I _F = 20mA	1.1	1.4		mW
Radiant Power	Φ _e	I _F = 100mA		5.0		mW
Peak wavelength	λ _p	I _F = 20mA	1530	1550	1570	nm
Spectral bandwidth at 50%	Δλ _{0,5}	I _F = 20mA		130		nm
Viewing angle	φ	I _F = 20mA		20		deg.
Switching time	t _r , t _f	I _F = 20mA		10		ns



We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice. Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเทคนิคเปลี่ยนแปลงบ่อย และต้องจ่ายปัจจัยเชิงลึกของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Product Data Sheet

LED Lamp Infra Red

EOLD-1720-525

Rev. 01 aus 2011

Radiation	Type	Case
Infra Red	MQW	5mm plastic lens

Description:

High-power, high-speed infrared LED in standard 5 mm package , with lens for narrow beam focusing, housing without standoff leads

Maximum Ratings

T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Forward Current		I _F	100	mA
Peak forward current	(t _p ≤ 50 μs, t _p / T = 1/2)	I _{FM}	200	mA
Power dissipation		P _D	150	mW
Operating temp. range		T _{amb}	-20 to +80	°C
Storage temp. range		T _{stg}	-55 to +100	°C
Lead soldering temp.	t < 5s, 3mm from case	T _{slg}	260	°C

Optical and Electrical Characteristics

T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	Min	typ	max	Unit
Forward voltage	V _F	I _F = 20mA		0.7		V
Forward voltage	V _F	I _F = 100mA		0.9		V
Reverse voltage	V _R	I _R = 10μA	5			V
Radiant Power	Φ _e	I _F = 20mA		1.0		mW
Radiant Power	Φ _e	I _F = 100mA		4.0		mW
Peak wavelength	λ _p	I _F = 20mA		1720		nm
Spectral bandwidth at 50%	Δλ _{0,5}	I _F = 20mA		130		nm
Viewing angle	φ	I _F = 20mA		20		deg.
Switching time	t _r , t _f	I _F = 20mA		15		ns



We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice. Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer.