

โทรานอิมิตเตอร์ชนิดซิลิคอนโฟโตไดโอดต้นทุนต่ำ  
A LOW COST SILICON PHOTODIODE PYRANOMETERS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ไพรานอมิเตอร์ชนิดซิลิคอนโฟโตไดโอดต้นทุนต่ำ

A LOW COST SILICON PHOTODIODE PYRANOMETERS



นาย อธิธิ อินทวัฒน์กุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2557 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A LOW COST SILICON PHOTODIODE PYRANOMETERS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS  
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ไพรานอิมิตเตอร์ชนิดซิลิกอนโฟโต้ไดโอดต้นทุนต่ำ  
 A LOW COST SILCON PHOTODIODE PYRANOMETERS  
 ชื่อนักศึกษา นายอิทธิ อินทวัฒน์กุล รหัสนักศึกษา 54050642  
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
 ภาควิชา ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา 2557  
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กาจปัญญา สุวรรณสุขโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
 ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. ประธาน บุรณศิริ	
ดร. พิษานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ	
ดร. เจริญลา รัตนพันธ์	
ดร. กาจปัญญา สุวรรณสุขโข	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีศึกษาที่อาจารย์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title A Low Cost Silicon Photodiode Pyranometers  
Student Mr. Itti Inthawatkul Student ID 54050642  
Degree Bachelor of Science in Applied Physics  
Department Physics  
Academic Year 2014  
Advisor Dr. Kajpanya Suwansukho

## ABSTRACT

This special project was fabricated pyranometers is a device which measures the light intensity by using silicon photodiode instead thermopile. Contained within the packaging, Teflon serves diffuse light. The collected data is the voltage throughout the day by automatic storage (Data. Logger) for 17 days and calibration data by the mathematical program (MATLAB) to the calibration equation of each photodiode of daily averages. This equation can be used by voltage from a storage instead of into the calibration averages equation, it was the light intensity as pyranometer standard second class without going through the program. From the experiment that the percentage difference of the photodiode model VTB8440 is higher than the other models is 35.98%, while other models are also considered in the acceptable. So we can create pyranometers itself. The cost of our invention, it is considered very low compared to the pyranometer standard second class is imported from overseas.

Keywords : The calibration tool, Silicon photodiode, Pyranometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความรู้และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุขุโข ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเรื่องนี้ที่คอยช่วยเหลือแนะนำ ช่วยหาวิธีแก้ปัญหาทางวิชาการ ตลอดจนสอนการใช้ชีวิตในสังคม ให้คอยช่วยเหลือผู้อื่นโดยไม่หวังผลตอบแทน เป็นแบบอย่างให้กับผู้อื่นในสังคม ทั้งยังปลูกฝังให้รักการอ่าน ผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยมอบทั้งความรู้ ความเมตตา และกำลังใจแก่ผู้จัดทำด้วยดีตลอดมา

ที่ลืมไม่ได้เลย ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกคนที่คอยช่วยเหลือทั้งการเรียน โครงการพิเศษนี้ ตลอดจนให้กำลังใจซึ่งกันและกัน จนทำให้ผู้จัดทำสามารถฟันฝ่าอุปสรรคทั้งหลายทั้งปวงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอน้อมระลึกถึงพระคุณบิดา มารดาที่ส่งเสียเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดีจนจบการศึกษาในสถาบันแห่งนี้ ทั้งยังคอยให้คำปรึกษาในหลายๆเรื่อง จนทำให้ผู้จัดทำมาถึงวันนี้ ขอขอบพระคุณอย่างหาที่สุดมิได้

นายอิทธิ อินทวัฒน์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฌ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 แนวทางการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	3
2.1 ดวงอาทิตย์	3
2.2 ค่าคงที่สุริยะ	4
2.3 มุมซีกินิท	6
2.4 ไพรานอมิเตอร์	7
2.4.1 คุณสมบัติของไพรานอมิเตอร์	8
2.4.2 การใช้ไพรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย	9
2.5 รังสีประเภทต่างๆ	9
2.5.1 รังสีตรง	10
2.5.2 รังสีกระจาย	10
2.5.3 รังสีรวม	10
2.6 เทอร์โมไฟล์	10
2.7 โฟโตไดโอด	11
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	13
3.1 การออกแบบ Housing ของไพรานอมิเตอร์	13
3.2 การคำนวณหาประสิทธิภาพของไดโอด	20
3.3 การเก็บข้อมูล	22
3.4 วิธีการทดลอง	23
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.4.2 วิธีทำการทดลอง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	31
4.1 ผลการทดลอง	31
4.1.1 ตอนที่ 1 การหาความสัมพันธ์ของสมการปรับเทียบ	31
4.1.2 ตอนที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลา	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและการเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการวิจัย	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	52
ภาคผนวก ค	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแนวทางการดำเนินงานวิจัย	2
3.2 แสดงค่าข้อมูลของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิด	20
4.1 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น S5973	33
4.2 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น S1223	34
4.3 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น VTB8440	35
4.4 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น VTB5041	36
4.5 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น OSD15-5T	37
4.6 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น BPW21R	38
4.7 แสดงการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิด	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ดวงอาทิตย์	3
2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังโลก	4
2.3 ความยาวคลื่นของรังสีต่างๆที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์	4
2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สุริยะตลอดปี	5
2.5 แสดงแนวของมุมซิมิท	6
2.6 ไพรานอมิเตอร์	7
2.7 ไพรานอมิเตอร์แบบ Eppley precision	8
2.8 ไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้งวงแหวนบังแสง	9
2.9 รังสีในลักษณะต่างๆ	10
2.10 เทอร์โมไฟล์	10
2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมไฟล์	11
2.12 โฟโตไดโอด	11
2.13 สัญลักษณ์โฟโตไดโอด	12
2.14 หลักการทำงานของโฟโตไดโอด	12
3.1 แสดงภาพการพิจารณามุม	13
3.2 แสดงขนาดของตัวกระจายแสงเทฟลอน	13
3.3 แสดงการคำนวณหาความลึก	14
3.4 แสดงขนาดและตำแหน่งที่ติดตั้งตัวตรวจรับแสง	14
3.5 ภาพด้านข้าง Housing ที่ได้รับการออกแบบ	15
3.6 แสดงขนาดของไพรานอมิเตอร์เมื่อมองจากด้านบน	15
3.7 แสดงขนาดของไพรานอมิเตอร์เมื่อมองจากด้านล่าง	16
3.8 แสดงขนาดและรายละเอียดของฐานไพรานอมิเตอร์เมื่อมองจากด้านข้าง	16
3.9 แสดงขนาดและรายละเอียดต่างๆของฐานไพรานอมิเตอร์เมื่อมองจากด้านบน	17
3.10 bullseye level (เครื่องวัดระดับ)	17
3.11 แสดงแบบจำลองเครื่องไพรานอมิเตอร์	18
3.12 แสดงแบบจำลองส่วนฐานของไพรานอมิเตอร์	18
3.13 ไพรานอมิเตอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	19
3.14 ไพรานอมิเตอร์มาตรฐานลำดับที่สอง (2 <sup>nd</sup> class of pyranometer)	19
3.15 Data Logger	22
3.16 ซิลิกอนโฟโตไดโอดรุ่น BPW21R	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และข้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอดรุ่น S1223	23
3.18 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอดรุ่น VTB8440BH	23
3.19 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอดรุ่น VTB5041BH	24
3.20 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอดรุ่น S5973	24
3.21 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอดรุ่น OSD15-5T	24
3.22 ไพรานอมิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	25
3.23 ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูล Data Logger	25
3.24 ไพรานอมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง	26
3.25 สายไฟชนิดวีซีที	26
3.26 โวลต์มิเตอร์	26
3.27 คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	27
3.28 แท่นสำหรับติดตั้งไพรานอมิเตอร์	27
3.29 การติดตั้งสายไฟผ่านเคเบิลแกแลน	28
3.30 แสดงแผ่นติดตั้งไพรานอมิเตอร์ที่ทำมุม 15°	28
3.31 การต่อสายสัญญาณกับตัวต้านทาน 100 โอห์มก่อนเข้าเครื่องบันทึกข้อมูล	29
3.32 การเชื่อมต่อระบบทั้งหมดก่อนเก็บข้อมูล	29
3.33 แสดงพิกัดของการเก็บข้อมูล	30
3.34 ไพรานอมิเตอร์ขณะทำการเก็บข้อมูล	30
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงของ ไพรานอมิเตอร์มาตรฐานชั้นที่ 2	31
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ S5973 ในวันที่ 1	39
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ S1223 ในวันที่ 1	40
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ VTB8440 ในวันที่ 1	40
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ VTB5041 ในวันที่ 1	41
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ OSD15-5T ในวันที่ 1	41
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ BPW21R ในวันที่ 1	42
5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิด	44

## คำย่อ/สัญลักษณ์

1. S5973
2. S1223
3. VTB8440
4. VTB5041
5. OSD15-5T
6. BPW21R

ชื่อรุ่นของโฟโต้ไดโอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงการชิ้นนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเรื่องโซลิตสเตตไพแรนอมิเตอร์ต้นทุนต่ำที่ได้ทำมาก่อนหน้านี้ โดยจะทำการจัดเก็บข้อมูลที่มากขึ้น และการเลือกใช้โฟโตนิกไดโอดที่หลากหลายชนิดขึ้น เพื่อพัฒนาความสามารถเครื่องวัดความเข้มแสงให้มีประสิทธิภาพทัดเทียมกับเครื่องวัดความเข้มแสงที่มีราคาสูง เราจึงทำการศึกษาและทำการทดลองรวมไปถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ทั้งนี้เพื่อสืบเจตนารมณ์ของโครงการก่อนหน้านี้ที่ว่าด้วยเรื่องราคา ดังนั้นเราจะต้องควบคุมเรื่องของราคา เพื่อให้นักเรียน นักศึกษา และบุคคลที่สนใจสามารถซื้อไปศึกษาหรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับเครื่องวัดความเข้มแสง
2. มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของโฟโตนิกไดโอดและการออกแบบผลิตภัณฑ์
3. สร้างเครื่องวัดความเข้มแสงราคาย่อมเยาเพื่อให้บุคคลที่สนใจ รวมทั้งนักศึกษาสามารถนำไปทดลองและใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาและทำการสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงจากโฟโตนิกไดโอด รวมไปถึงการออกแบบวงจรและผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงๆ

#### 1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย

โครงการนี้มีระยะเวลาการศึกษาและการจัดทำรวมทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558 แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงแนวทางการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลา
เสนอหัวข้อ	สิงหาคม – ตุลาคม
ศึกษาข้อมูล	กันยายน – มกราคม
ทดลองและออกแบบอุปกรณ์	ธันวาคม – เมษายน
ทดลองและเก็บข้อมูล	กุมภาพันธ์ – พฤษภาคม

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มแสง
2. เข้าใจการทำงานและการออกแบบของโฟโตไดโอดและผลิตภัณฑ์ตามลำดับ
3. ได้เครื่องวัดความเข้มแสงที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องวัดความเข้มแสง  
มีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ดวงอาทิตย์ (Sun)



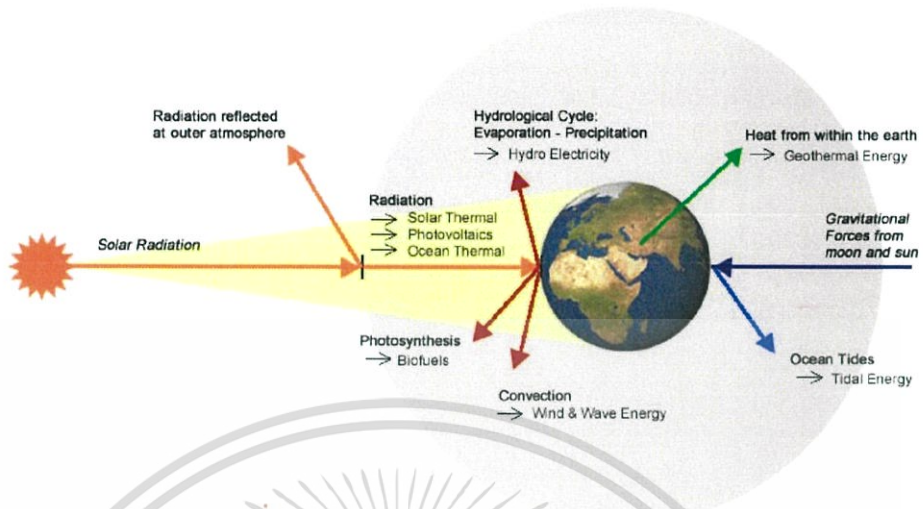
รูปที่ 2.1 ดวงอาทิตย์

รูปที่ 2.1 แสดงถึงกลุ่มก้อนพลังงานขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นดาวฤกษ์ที่เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดวงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยไฮโดรเจนอยู่ร้อยละ 74 โดยมวล ฮีเลียมร้อยละ 25 โดยมวลและธาตุอื่นๆในปริมาณเล็กน้อย ดวงอาทิตย์จัดอยู่ในสเปกตรัม G2V ซึ่ง G2 หมายความว่าดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 5,780 เคลวิน (ประมาณ 5,515 องศาเซลเซียส หรือ 9,940 องศาฟาเรนไฮต์) ดวงอาทิตย์จึงมีสีขาว แต่เห็นบนโลกเป็นสีเหลือง เนื่องจากการกระเจิงของแสง ส่วน V (เลข 5) บ่งบอกว่าดวงอาทิตย์อยู่ในลำดับหลัก ผลิตพลังงานโดยการหลอมไฮโดรเจนให้เป็นฮีเลียม และอยู่ในสภาพสมดุล ไม่ยุบตัวหรือขยายตัว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ  $1.39 \times 10^9$  เมตรและมีระยะห่างเฉลี่ยจากโลกประมาณ  $1.5 \times 10^{11}$  เมตร ใช้เวลาในการหมุนรอบแกนตัวเองประมาณ 4 สัปดาห์

ดวงอาทิตย์มีความหนาแน่นมากที่สุดบริเวณแกน ซึ่งเป็นแหล่งผลิตพลังงาน และมีค่าน้อยลงเกือบเป็นรูปเอ็กโพเนนเชียลตามระยะทางที่ห่างออกมาจากแกน ทุกๆวินาทีจะมีนิวเคลียสของไฮโดรเจน  $3.4 \times 10^{38}$  ตัวถูกแปรรูปเป็นฮีเลียมผลิตพลังงานได้  $3.83 \times 10^{26}$  จูล

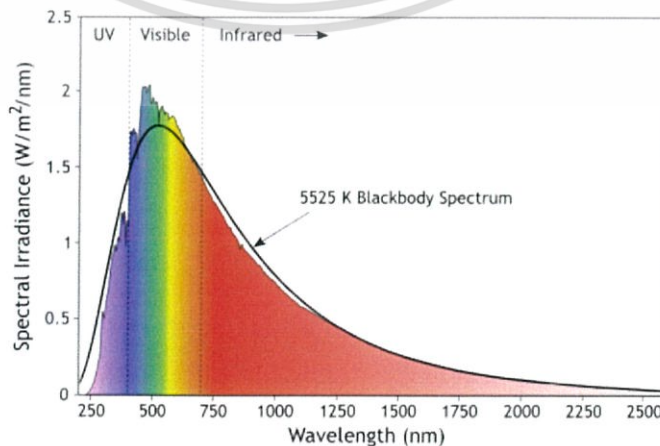
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ค่าคงที่สุริยะ (solar constant)



รูปที่ 2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังโลก

ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งพื้นที่ที่รับรังสีนั้นต้องตั้งฉากกับแนวรังสีและอยู่นอกขอบเขตของบรรยากาศโดยมีระยะห่างเท่ากับระยะทางเฉลี่ยจากโลกถึงดวงอาทิตย์ ค่าคงที่สุริยะของสถาบันสมิธโซเนียนมีค่าเท่ากับ 1.94 หรือ 1.95 กรัม-แคลลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที หรือวัดจากดาวเทียมได้ประมาณ 1366 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วงของรังสียูวี แสงที่ตามองเห็น ไปจนถึงรังสีอินฟราเรดดังรูปที่ 2.3 เราสามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นของรังสีจากดวงอาทิตย์ได้เป็น 3 ส่วนหลักๆคือ ยูวี แสงขาวและอินฟราเรด



รูปที่ 2.3 ความยาวคลื่นของรังสีต่างๆที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

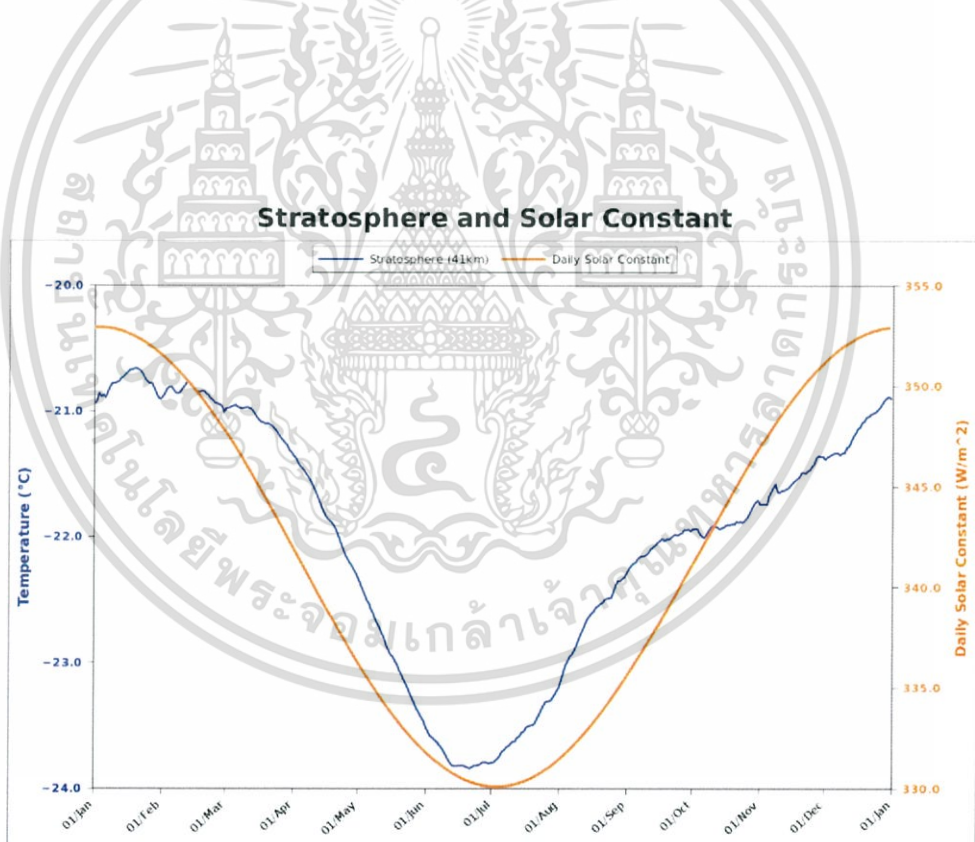
การเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์เหนือบรรยากาศโลกจะอยู่ในช่วง  $\pm 3$  เปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลก ลำดับวันที่ของปีและค่าคงที่รังสีอาทิตย์ได้เป็นสมการ

$$G_{on} = G_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 \times d}{365}\right) \right]$$

$G_{on}$  คือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบนอกชั้นบรรยากาศของโลก

$G_{sc}$  คือค่าคงที่สุริยะมีค่าเท่ากับ 1353 วัตต์ต่อตารางเมตร

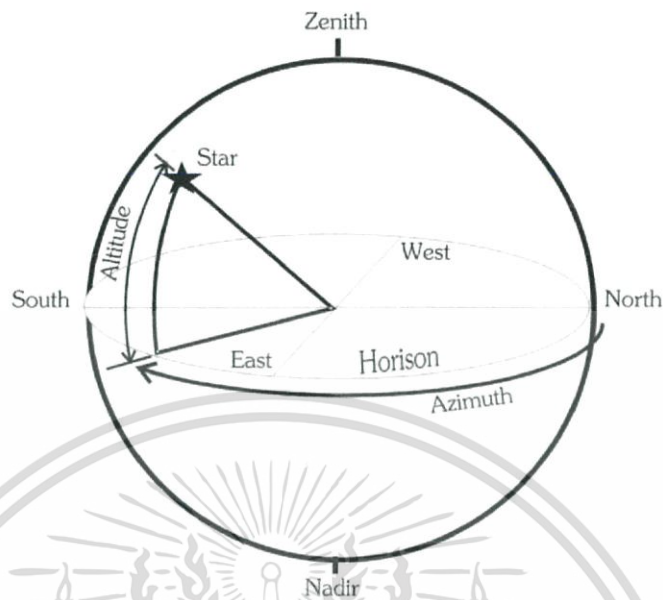
D คือลำดับวันในรอบปี เช่น  $d = 1$  คือวันที่ 1 ม.ค. หรือ  $d = 365$  คือวันที่ 31 ธ.ค.



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สุริยะตลอดปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 มุมซีกนิต (Zenith Angle)



รูปที่ 2.5 แสดงแนวของมุมซีกนิต (Zenith Angle)

มุมซีกนิต (Zenith Angle) คือ มุมระหว่างแนวตั้งฉากกับระนาบและแนวลำแสงของดวงอาทิตย์หรือเป็นตำแหน่งบนทรงกลมท้องฟ้าที่อยู่ในแนวตรงเหนือศีรษะของผู้สังเกตพอดี

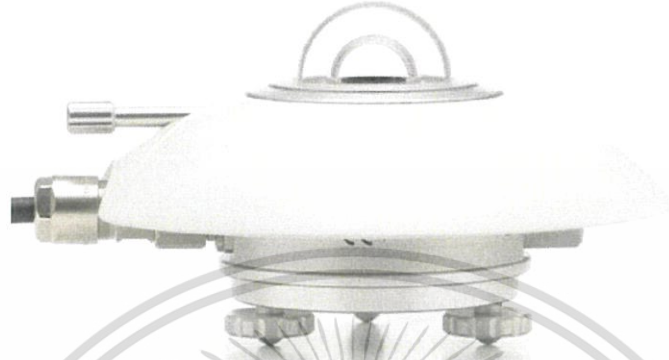
ระยะทางจากซีกนิต (zenith distance) คือ ระยะทางตามมุมที่วัดจากจุดซีกนิตตามวงกลมถึงจนถึงดาว มีค่าตั้งแต่ 0-90 องศา ในบางกรณีแทนที่เราจะบอกเป็นอัลติจูด เราอาจจะบอกเป็นระยะทางจากซีกนิตแทนก็ได้

มุมอัลติจูด (Altitude Angle) คือ มุมเงยหรือมุมสูงเป็นระยะทางตามมุมที่วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไปตามวงกลมถึงที่ผ่านดาวจนถึงดาวดวงนั้นมีค่าตั้งแต่ 0-90 องศา และมีเฉพาะค่าบวกเท่านั้น (นิยมบอกตำแหน่งดาวที่อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าเท่านั้น)

มุมอะซิมุท (Azimuth Angle) คือ เป็นค่าของมุมที่วัดจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออกตามแนวเส้นขอบฟ้าถึงวงกลมถึงที่ลากผ่านดาว การวัดค่าอะซิมุทจะมีค่าตั้งแต่ 0 - 360 องศา ปัจจุบันนิยมวัดได้ทั้งสองทิศ คือ ถ้าตำแหน่งดาวอยู่ทางซีกท้องฟ้าตะวันออกให้วัดมุมจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออกถึงวงกลมถึงที่ผ่านดาว เช่น ค่าอะซิมุทของดาว A เท่ากับ  $160^\circ$  E แต่ในกรณีที่ตำแหน่งของดาวอยู่ทางซีกท้องฟ้าตะวันตก ให้วัดมุมจากทิศเหนือไปทางตะวันตกถึงวงกลมถึงที่ผ่านดาว เป็นค่าอะซิมุทของดาว B เท่ากับ  $130^\circ$  W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)



รูปที่ 2.6 ไพรานอมิเตอร์

ไพรานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดความเข้มแสงชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวรับแสง (light detector or receiver) ที่เป็นเทอร์โมไพล์ (thermopile) หลายชุดต่ออนุกรมกัน ตัวรับแสงจะบรรจุอยู่ที่โคมแก้วหรือควอทซ์ดังรูปที่ 2.6

โดมครึ่งทรงกลมปรกติมี 2 ชั้น ทำด้วยควอทซ์หรือแก้วพิเศษที่โปร่งใสต่อช่วงสเปกตรัมแสงอาทิตย์ (ประมาณ 0.4- 3 ไมครอน) โดมทำหน้าที่ป้องกันตัวรับแสงจากฝน ความชื้น ฝุ่น และลม (ซึ่งจะพาความร้อนไปจากตัวรับแสง ทำให้อุณหภูมิลดลง และแรงดันไฟฟ้าลดลง) และไม่ให้อุณหภูมิตัวรับแสงเสียความร้อนไป เนื่องจากการพาและการแผ่รังสีความร้อน (ควอทซ์และแก้วที่บดอินฟราเรดแต่ที่บดต่างกัน) เนื่องจากตัวรับแสงต้องวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าเท่านั้น จึงต้องป้องกันรังสีที่สะท้อนจากพื้นดินและสิ่งรอบด้าน โดยมีจาน (guard) สวมอยู่โดยรอบโดมกันรังสีที่สะท้อน ตัวไพรานอมิเตอร์จะมีสกรูปรับระดับโดยปรกติจะปรับให้ตัวรับแสงอยู่ในแนวราบ



รูปที่ 2.7 ไพรานอมิเตอร์แบบ Eppley precision

รูปที่ 2.7 เป็นไพรานอมิเตอร์ชนิดดีเซ็น Eppley precision กลุ่มของ hot junction และ cold junction จะอยู่ใต้ผิวและสัมผัสกับผิวรับแสงที่ดูดแสงได้ต่างกันทำให้ผิวมีอุณหภูมิต่างกัน อุณหภูมิที่ต่างกันจะแปรตามความเข้มแสงอาทิตย์ แรงแค้นไฟฟ้าที่ได้จะอยู่ประมาณ 5 – 10 mV/cal.cm<sup>2</sup>.min ดังนั้นการต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลอย่างอนุกรมเป็นเทอร์โมโพล์ จะทำให้ได้แรงแค้นไฟฟ้าสูงขึ้นและง่ายต่อการวัด เทอร์โมโพล์จะอยู่ในhousingโลหะซึ่งอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ และปิดกัน ความชื้นรวมทั้งมีสารดูดความชื้นใน housing โลหะ

#### 2.4.1 คุณสมบัติของไพรานอมิเตอร์

ในการเลือกใช้ไพรานอมิเตอร์เราต้องสนใจคุณสมบัติต่อไปนี้

1. การตอบสนองของโคไซน์
2. การเปลี่ยนแปลงของค่าปรับเทียบ
3. การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์
4. เวลาการตอบสนอง
5. ค่า zero point depression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 การใช้ไพรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย

การวัดรังสีกระจายจะใช้ไพรานอมิเตอร์ที่วัดรังสีรวม แต่มีเครื่องบังรังสีตรงที่กันไม่ให้รังสีตรงไปตกกระทบผิวรับแสง เครื่องบังรังสีตรงมี 2 ลักษณะคือ



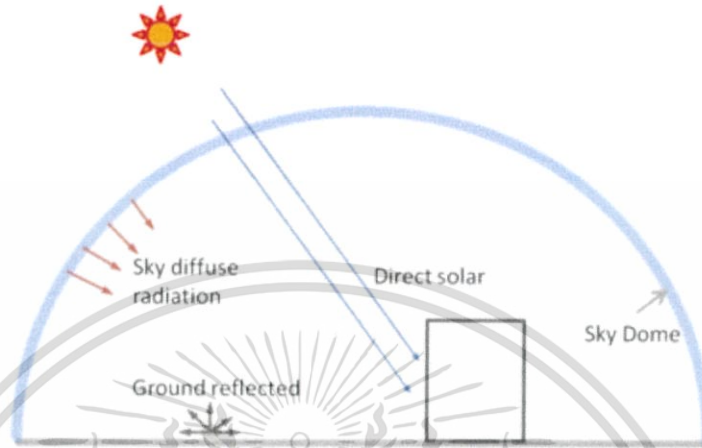
รูปที่ 2.8 ไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้งวงแหวนบังแสง

1. แผ่นวงกลมบังแสง (shading disc) เป็นแผ่นวงกลมเล็กที่กันไม่ให้รังสีตรงตกกระทบผิวรับแสง ขนาดของชิ้นวงกลมต้องทำให้เกิดเงาพอดีกับขนาดผิวรับแสง เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของรังสีตลอดวัน ชิ้นวงกลมจะต้องต่อกับเครื่องมือตามแสงอาทิตย์ เงาของแผ่นวงกลมจะตกบนผิวรับแสงตลอดวัน รังสีที่ตกบนผิวรับแสงจึงเป็นรังสีกระจาย
2. วงแหวนบังแสง (shading ring) เป็นแถบโลหะโค้ง ซึ่งวางให้เงาตกบนผิวรับแสง วงแหวนจะวางเอียงให้ระนาบของวงแหวนเท่ากับเส้นรุ้งของที่ตั้งและขยับตามฤดูกาลให้เงาของวงแหวนตกบนผิวรับแสงเสมอ ดังรูปที่ 2.8 นอกจากบังรังสีตรงแล้วยังบังรังสีกระจายบางส่วนไม่ให้ตกบนผิวรับแสงด้วย จึงต้องมีค่าชดเชย (correction factor) ปรับค่าที่อ่านได้จากไพรานอมิเตอร์ค่าชดเชยนี้ขึ้นกับขนาดของวงแหวน เส้นรุ้งที่ตั้งและฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 รังสีประเภทต่างๆ

เนื่องจากการวัดรังสีของไพรานอมิเตอร์นั้นเกี่ยวข้องกับรังสีของแสงอาทิตย์โดยตรง และรังสีแต่ละชนิดจะส่งผลกับไพรานอมิเตอร์ต่างกัน ซึ่งรังสีนั้นจะแบ่งออกได้หลายลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รังสีในลักษณะต่างๆ

### 2.5.1 รังสีตรง (Beam or Direct radiation)

รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์มีทิศทางที่แน่นอนมาตกกระทบยังผิวรับแสง

### 2.5.2 รังสีกระจาย (Diffuse radiation)

รังสีของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากก้อนเมฆหรือฝุ่นละอองในอากาศแล้วมาตกกระทบที่ผิวรับแสง

### 2.5.3 รังสีรวม (Total or Global radiation)

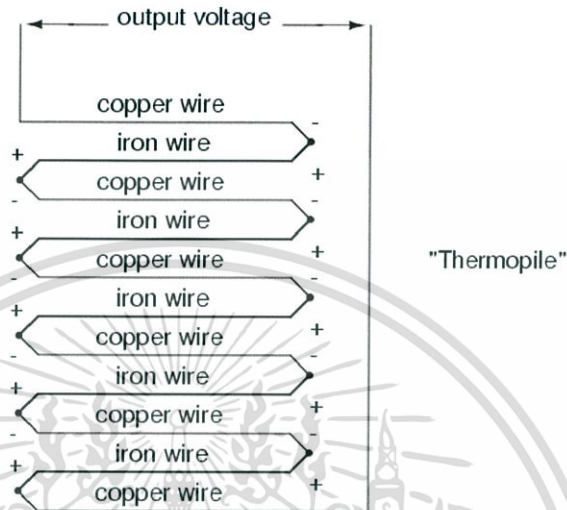
ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบบนผิวรับแสง

## 2.6 เทอร์โมไพล์ (Thermopile)



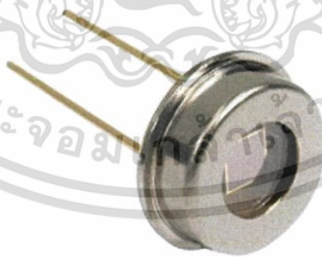
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.10 เทอร์โมไพล์ (Thermopile) ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมโพลีเป็นอุปกรณ์วัดความเข้มแสงชนิดหนึ่งดังรูปที่ 2.10 ที่เปลี่ยนความร้อนมาเป็นไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลหลายชนิดต่ออนุกรมกันดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมโพลี

## 2.7 โฟโตไดโอด (Photodiode)



รูปที่ 2.12 โฟโตไดโอด

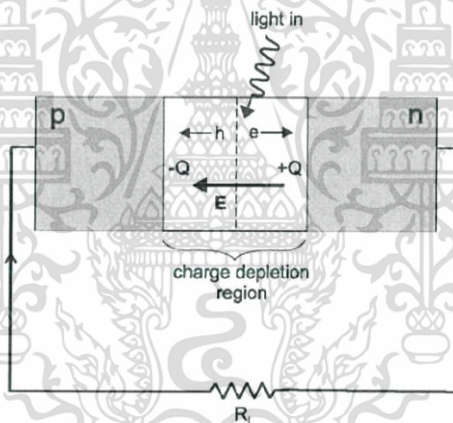
โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่งดังรูปที่ 2.12 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบคือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรดในการใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์โฟโต้ไดโอด

ตัวลูกศรเป็นสัญลักษณ์แทนสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งเป็นซิลิคอน (ซิลิกอน) ของไดโอด ลูกศรจะชี้ในทิศทางที่โฮลเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.13 ส่วนขีดคั่นเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งเป็นซิลิคอน (ซิลิกอน) ดังนั้นเราจะสามารถพิจารณาว่าไดโอดถูกไบอัสตรงหรือไบอัสกลับได้ง่ายๆ โดยดูว่าถ้าซิลิคอนมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าซิลิคอนแล้วไดโอดจะถูกไบอัสตรง แต่ถ้าซิลิคอนมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกน้อยกว่าซิลิคอนไดโอดจะถูกไบอัสกลับ



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของโฟโต้ไดโอด

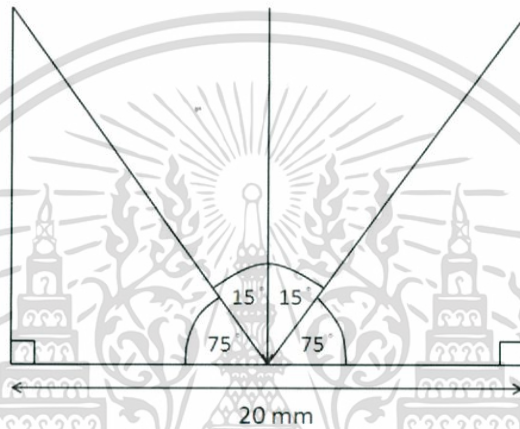
รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของโฟโต้ไดโอดนั้นต้องต่อในลักษณะไบอัสกลับ จะมีความต้านทานในตัวโฟโต้ไดโอดสูงมาก ตัวโฟโต้ไดโอดจึงไม่นำกระแสอาจมีเพียงกระแสรั่วไหลที่เรียกว่ากระแสมืดไหลผ่านเล็กน้อย เมื่อมีแสงมาตกกระทบตรงรอยต่อ แสงที่ตกกระทบถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานโฟตอน ทำให้ค่าศักย์ชั้นรีจินตรงรอยต่อพีเอ็นแคบลง หรือค่าความต้านทานในตัวโฟโต้ไดโอดต่ำลงมาก เกิดกระแสไบอัสกลับไหลผ่านตัวโฟโต้ไดโอดมากขึ้น

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

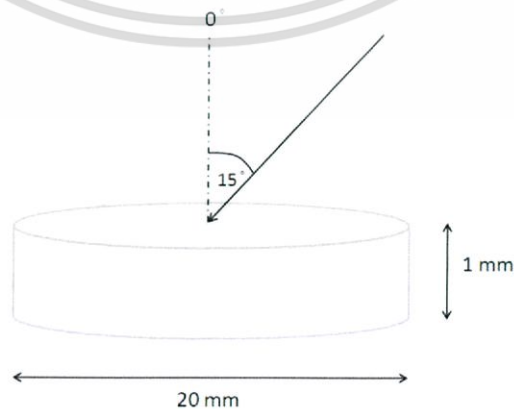
### 3.1 การออกแบบ Housing ของไพรานอมิเตอร์

ในการออกแบบ Housing ของไพรานอมิเตอร์นั้นเราจะอาศัยทฤษฎีมุมโคไซน์แพกเตอร์มาช่วยและเราจะเลือกใช้มุมที่ 15 องศา โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเทพลอน 20 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.1



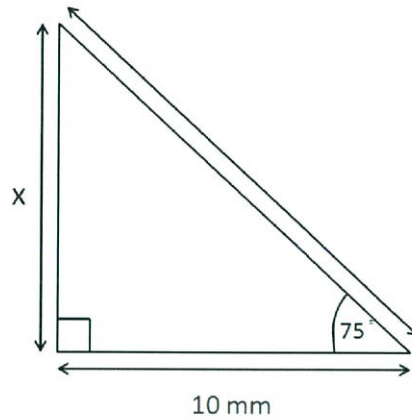
รูปที่ 3.1 แสดงภาพการพิจารณามุม

ในรูปที่ 3.2 จะแสดงแบบจำลองขนาดของตัวกรองแสงเทพลอนและมุมที่ตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนผิวหน้าของเทพลอน ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์จะตกกระทบบนผิวหน้าของตัวตรวจรับแสง



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของตัวกระจายแสงเทพลอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการคำนวณหาความลึก

การคำนวณความลึกที่เราจะเจาะเข้าตรงกลางของ Housing โดยใช้หลักการตรีโกณมิติในการคำนวณความลึก (X) ดังรูปที่ 3.3 จากรูปจะได้สมการว่า

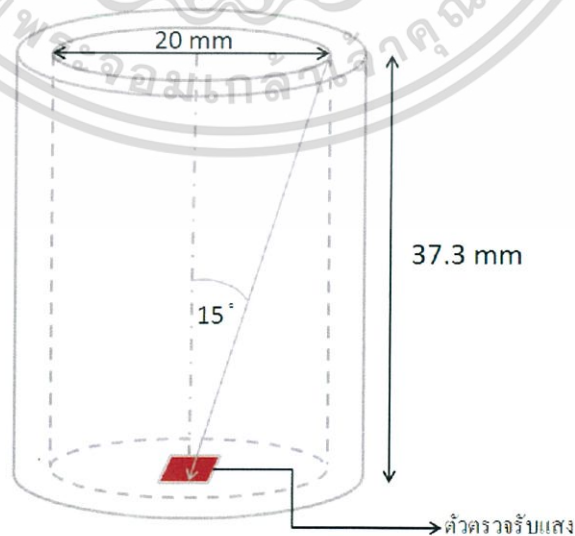
$$X/10 = \tan 75^\circ$$

$$X = \tan 75^\circ(10)$$

จะได้

$$X = 37.3 \text{ mm}$$

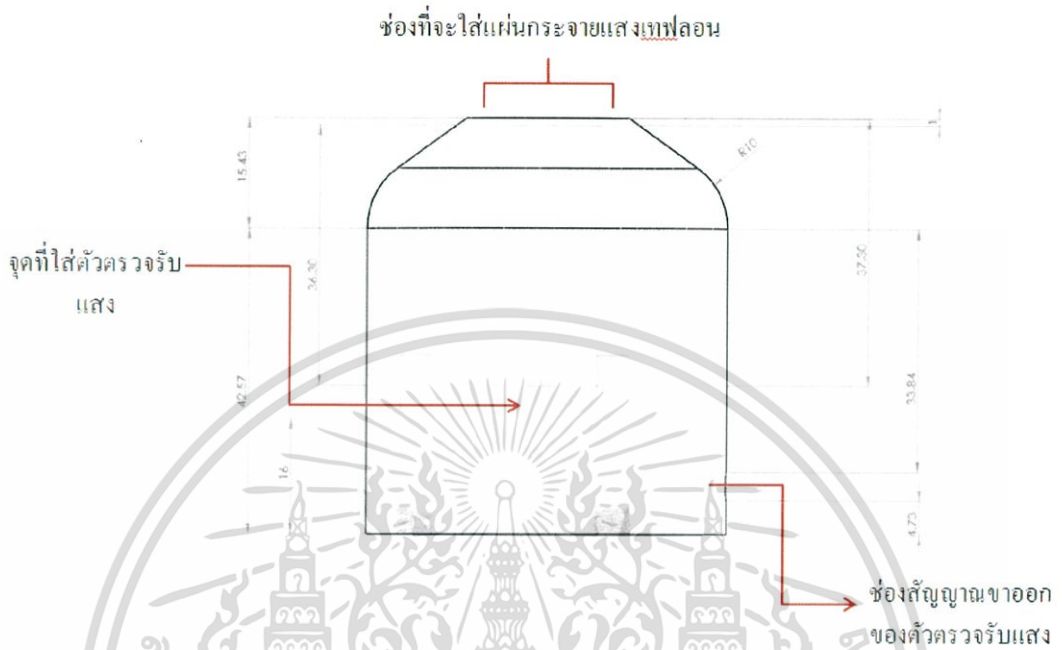
เมื่อเราได้ความลึกจะได้เป็นรูปที่ 3.4 ที่แสดงถึงขนาดของความกว้างและความลึก โดยจะมีช่วงการรับแสง 20 มิลลิเมตรและความลึก 37.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดและตำแหน่งที่ติดตั้งตัวตรวจรับแสง

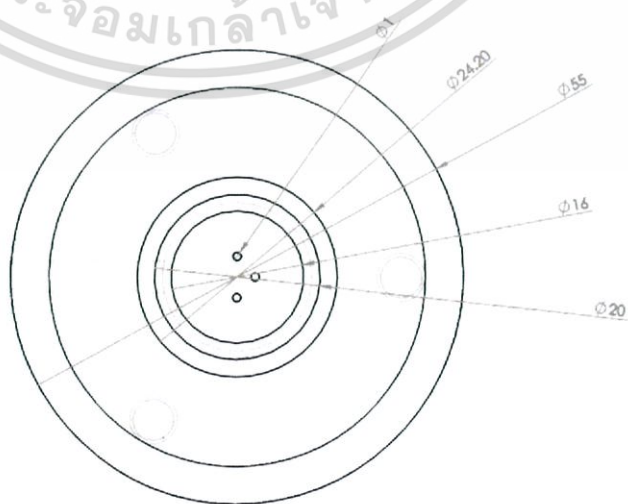
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.5 แสดงถึงขนาดและรายละเอียดภายในของไฟรานอิมิตอร์ที่เราจะประดิษฐ์เมื่อมองจากด้านข้างโดยมีจุดที่จะใส่ไฟโต้ไดโอดดังรูป

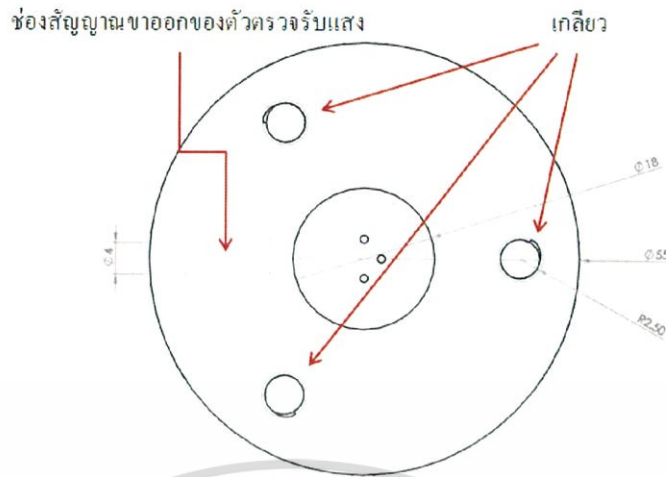


รูปที่ 3.5 ภาพด้านข้าง Housing ที่ได้รับการออกแบบ

ส่วนในรูปที่ 3.6 จะแสดงขนาดและรายละเอียดต่างๆเมื่อเรามองจากด้านบนและรูปที่ 3.7 เมื่อมองจากด้านล่าง

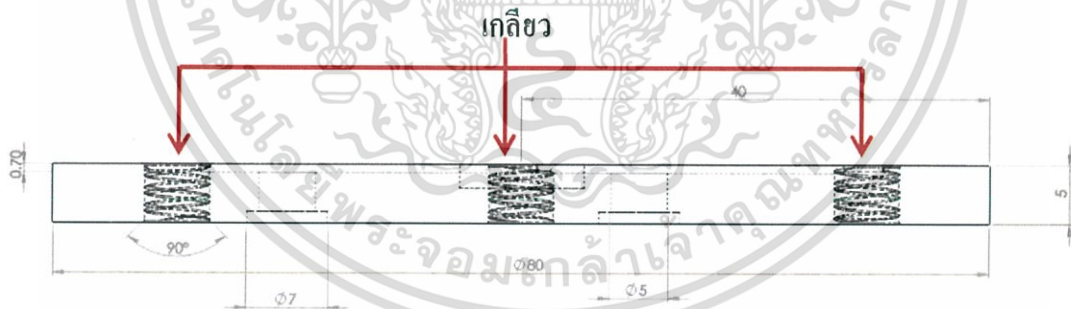


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.6 แสดงขนาดของไฟรานอิมิตอร์เมื่อมองจากด้านบน โยชนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของไพรานอมิเตอร์เมื่อมองจากด้านล่าง

ในรูปที่ 3.8 นี้เราจะทำการเจาะรูทำเป็นเกลียวดังรูปเพื่อยึดกับฐานของไพรานอมิเตอร์และช่องสำหรับเอาต์พุตที่จะนำไปต่อกับ Data Logger เพื่อเก็บข้อมูล

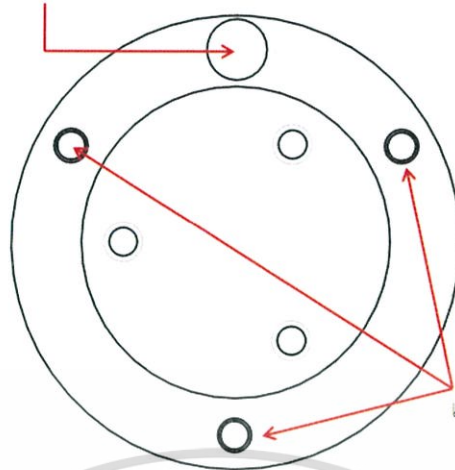


รูปที่ 3.8 แสดงขนาดและรายละเอียดของฐานไพรานอมิเตอร์เมื่อมองจากด้านข้าง

รูปที่ 3.8 เป็นฐานของไพรานอมิเตอร์และแสดงรายละเอียดต่างๆของฐานซึ่งจะมีเกลียวทั้งหมด 3 เกลียวซึ่งเอาไว้ปรับฐานของไพรานอมิเตอร์ให้อยู่ในแนวระนาบดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่จะติด bullseye level



เกลียวสำหรับใส่สกรู  
เพื่อปรับระดับ

รูปที่ 3.9 แสดงขนาดและรายละเอียดต่างๆของฐานไพรานอมิเตอร์เมื่อมองจากด้านบน



รูปที่ 3.10 bullseye level

bullseye level เป็นตัววัดระดับชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นวงกลมดังรูปที่ 3.10 ซึ่งเราติดลงไปบนฐานของไพรานอมิเตอร์เพื่อทำให้เครื่องไพรานอมิเตอร์นั้นอยู่ในแนวระนาบ จะได้ทำการเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

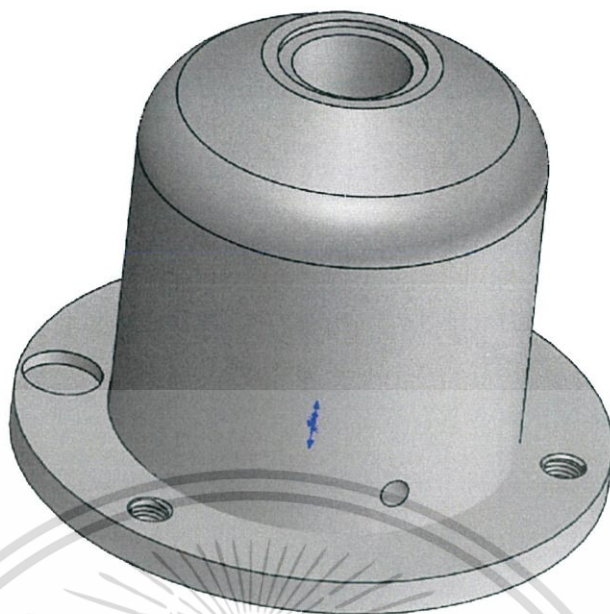
เมื่อเราได้กำหนดขนาดและรายละเอียดของไพรานอมิเตอร์เรียบร้อยแล้วเราก็จะนำไปกลึงเป็นชิ้นงานตามขนาดที่เรากำหนดไว้ จะแสดงเป็นรูป 3 มิติดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 แสดงแบบจำลองเครื่องไพรานอมิเตอร์

รูปที่ 3.12 แสดงแบบจำลองส่วนฐานของไพรานอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ไพรานอมิเตอร์ที่ประกอบกันเสร็จสมบูรณ์

รูปที่ 3.13 จะแสดงถึงไพรานอมิเตอร์ที่ประกอบกันเสร็จสมบูรณ์แล้ว เมื่อเราได้ไพรานอมิเตอร์แล้วเราจะนำไปเก็บข้อมูลโดยเก็บไปพร้อมกับไพรานอมิเตอร์ที่เป็นตัวมาตรฐานดังรูป 3.14



รูปที่ 3.14 ไพรานอมิเตอร์มาตรฐานลำดับที่สอง (2<sup>nd</sup> class of pyranometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การคำนวณหาประสิทธิภาพของไดโอด

ในโครงการนี้เราได้เลือกใช้โฟโอดีโอด 5 ชนิดและโฟโอดีโอดที่ใช้ในโครงการที่แล้วมารวมพิจารณาด้วยรวมเป็น 6 ชนิดคือ BPW21R, S1223, VTB8440BH, VTB5041BH, S5973, OSD15-5T โดยเราจะคำนวณค่า Signal to noise ratio (SNR) ถ้า SNR มีค่ามากแสดงว่าค่าสัญญาณรบกวนจะน้อยโดยมีการคำนวณดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าข้อมูลของโฟโอดีโอดแต่ละชนิด

Type	Sensitive Area (mm <sup>2</sup> )	Responsivity (A/W)	NEP (W/ Hz <sup>1/2</sup> )	Price (BTH)
BPW21R	7.5	0.32	$7.5 \times 10^{-14}$	350
S1223	6.6	0.6	$9.4 \times 10^{-15}$	840
VTB8440BH	5.16	0.2	$1.1 \times 10^{-13}$	95.70
VTB5041BH	5.16	0.23	$1.3 \times 10^{-14}$	812
S5973	0.12	0.52	$1.5 \times 10^{-15}$	1151
OSD15-5T	15	0.21	$5.5 \times 10^{-14}$	803

#### 3.2.1 Signal

$$I_{BPW21R} = (1000 \text{ w/m}^2) \times (7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (0.32 \text{ A/W}) = 2.4 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_{S1223} = (1000 \text{ w/m}^2) \times (6.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (0.6 \text{ A/W}) = 3.96 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_{VTB8440BH} = (1000 \text{ w/m}^2) \times (5.16 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (0.2 \text{ A/W}) = 1.032 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_{VTB5041BH} = (1000 \text{ w/m}^2) \times (5.16 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (0.23 \text{ A/W}) = 1.1868 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_{S5973} = (1000 \text{ w/m}^2) \times (0.12 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (0.52 \text{ A/W}) = 6.24 \times 10^{-5} \text{ A}$$

$$I_{OSD15-5T} = (1000 \text{ w/m}^2) \times (15 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (0.21 \text{ A/W}) = 3.15 \times 10^{-3} \text{ A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 Noise

$$I_{BPW21R} = (0.32 \text{ A/W}) \times (7.5 \times 10^{-14} \text{ A/Hz}^{1/2}) = 2.4 \times 10^{-14} \text{ A}$$

$$I_{S1223} = (0.6 \text{ A/W}) \times (9.4 \times 10^{-15} \text{ A/Hz}^{1/2}) = 5.64 \times 10^{-15} \text{ A}$$

$$I_{VTB8440BH} = (0.2 \text{ A/W}) \times (1.1 \times 10^{-13} \text{ A/Hz}^{1/2}) = 2.2 \times 10^{-14} \text{ A}$$

$$I_{VTB8440BH} = (0.23 \text{ A/W}) \times (1.3 \times 10^{-14} \text{ A/Hz}^{1/2}) = 2.99 \times 10^{-15} \text{ A}$$

$$I_{S5973} = (0.52 \text{ A/W}) \times (1.5 \times 10^{-15} \text{ A/Hz}^{1/2}) = 7.8 \times 10^{-16} \text{ A}$$

$$I_{OSD15-5T} = (0.21 \text{ A/W}) \times (5.5 \times 10^{-14} \text{ A/Hz}^{1/2}) = 1.155 \times 10^{-14} \text{ A}$$

### 3.2.3 Signal to Noise Ratio

$$\text{SNR } (I_{BPW21R}) = (2.4 \times 10^{-3}) / (2.4 \times 10^{-14}) = 1 \times 10^{11}$$

$$\text{SNR } (I_{S1223}) = (3.96 \times 10^{-3}) / (5.64 \times 10^{-15}) = 7.02 \times 10^{11}$$

$$\text{SNR } (I_{VTB8440BH}) = (1.032 \times 10^{-3}) / (2.2 \times 10^{-14}) = 4.69 \times 10^{10}$$

$$\text{SNR } (I_{VTB5041BH}) = (1.1868 \times 10^{-3}) / (2.99 \times 10^{-15}) = 3.97 \times 10^{11}$$

$$\text{SNR } (I_{S5973}) = (6.24 \times 10^{-5}) / (7.8 \times 10^{-16}) = 8 \times 10^{10}$$

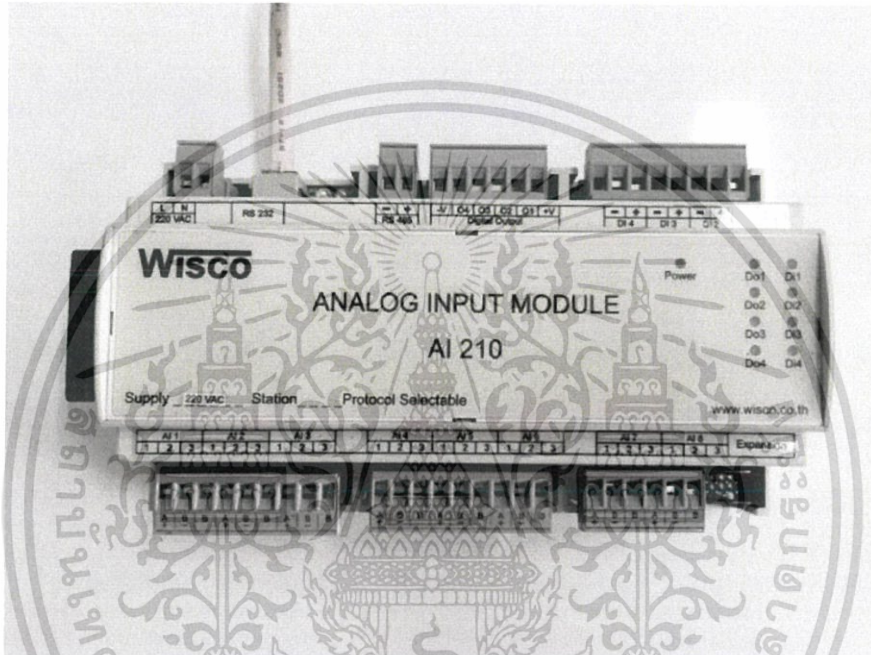
$$\text{SNR } (I_{OSD15-5T}) = (3.15 \times 10^{-3}) / (1.155 \times 10^{-14}) = 2.72 \times 10^{11}$$

จากการคำนวณค่า SNR เราจะเห็นได้ว่าโฟโตไดโอดรุ่น S1223 , VTB5041BH และ OSD15-5T จะมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างต่ำมาก ซึ่งค่า SNR ที่เราคำนวณนี้เป็นแค่ทางทฤษฎีเพื่อพิจารณาความไวในการตอบสนองต่อแสงของไดโอดเท่านั้น เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการพิจารณาเลือกตัวตรวจรับแสงที่เหมาะสมจะนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจรับแสงของไพรานอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลสำหรับโครงการนี้เราจะใช้ Data logger ดังรูปที่ 3.15 ซึ่ง Data logger ทำหน้าที่เก็บข้อมูลเป็นเวลานานๆได้ โดยเรากำหนดเวลาที่จะเริ่มบันทึกผ่านคอมพิวเตอร์และสามารถจัดเก็บข้อมูลได้หลายช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.15 Data Logger

เราจะทำการเก็บข้อมูลการวัดความเข้มแสงของไพรานอมิเตอร์ทั้ง 6 ตัวพร้อมกับไพรานอมิเตอร์ที่เป็นตัวมาตรฐานเพื่อที่จะดูความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นว่ามีมากน้อยเพียงใด การเก็บข้อมูลเราจะเก็บเป็นเวลา 17 วันตั้งแต่เวลา 6:00 น. – 18:00 น. แล้วจะนำข้อมูลสัญญาณที่ได้ไปสอบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานของไพรานอมิเตอร์ลำดับที่สองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 อุปกรณ์การทดลองวิธีการทดลอง

#### 3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.4.1.1 ซีลีคอนโฟโตไดโอด

ซีลีคอนโฟโตไดโอดจะเลือกใช้ทั้งหมด 6 รุ่นด้วยกันได้แก่

- BPW21R



รูปที่ 3.16 ซีลีคอนโฟโตไดโอด รุ่น BPW21R

- S1223



รูปที่ 3.17 ซีลีคอนโฟโตไดโอด รุ่น S1223

- VTB8440BH



รูปที่ 3.18 ซีลีคอนโฟโตไดโอด รุ่น VTB8440BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- VTB5041BH



รูปที่ 3.19 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอด รุ่น VTB5041BH

- S5973



รูปที่ 3.20 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอด รุ่น S5973

- OSD15-5T



รูปที่ 3.21 ซิลิกอนโฟโต้ไดโอด รุ่น OSD15-5T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1.2 ไพรานอมิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.22 ไพรานอมิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

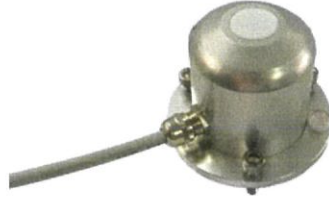
### 3.4.1.3 ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger)



รูปที่ 3.23 ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูล Data Logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 3.4.1.4 ไพรานอมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง



รูปที่ 3.24 ไพรานอมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง

#### 3.4.1.5 สายไฟชนิดวีซีที (VCT)



รูปที่ 3.25 สายไฟชนิดวีซีที

#### 3.4.1.6 โวลต์มิเตอร์



รูปที่ 3.26 โวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1.7 คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะสำหรับบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.27 คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ

### 3.4.1.8 แท่นสำหรับวางไพรานอมิเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.28 แท่นสำหรับติดตั้งไพรานอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 วิธีการทดลอง

- 1) อันดับแรกจะทดสอบโฟโต้ไดโอดทั้ง 6 ชนิดก่อนที่จะใช้งาน
- 2) นำโฟโต้ไดโอดที่ทดสอบแล้วแต่ละชนิดและตัววัดระดับมาบรรจุในไพรานอมิเตอร์ที่เรา  
กลึงมาเรียบร้อยแล้ว
- 3) ติดตั้งสายไฟผ่านตัวเคเบิลกลอนเพื่อป้องกัน ฝุ่นละออง น้ำ ความชื้น และสิ่งที่ไม่พึง  
ประสงค์ต่างๆ ให้กับไพรานอมิเตอร์



รูปที่ 3.29 การติดตั้งสายไฟผ่านเคเบิลกลอน

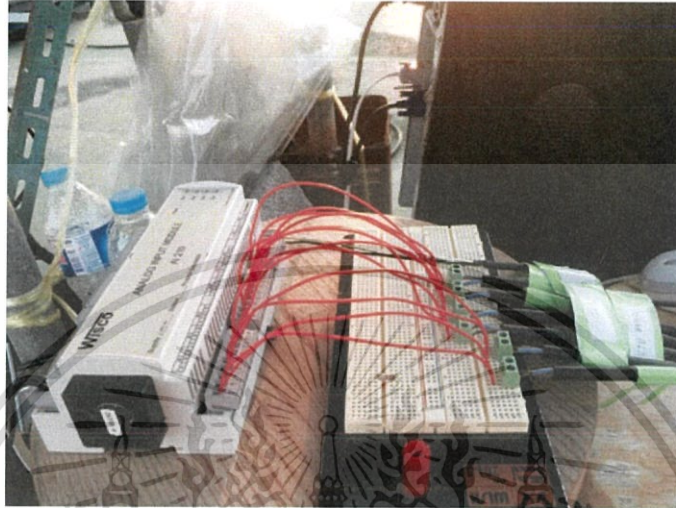
- 4) จากนั้นก็เตรียมแท่นสำหรับติดตั้งไพรานอมิเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล
- 5) นำไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้งโฟโต้ไดโอดเรียบร้อยแล้วและไพรานอมิเตอร์มาตรฐานลำดับที่ 2  
มาติดตั้งที่แผ่นและปรับแผ่นที่ติดตั้งไพรานอมิเตอร์ให้ทำมุม  $15^{\circ}$  กับแนวระนาบเพื่อให้ได้รับความเข้ม  
แสงสูงสุด



รูปที่ 3.30 แสดงแผ่นติดตั้งไพรานอมิเตอร์ที่ทำมุม  $15^{\circ}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อยู่เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) แล้วนำปลายสายไฟทั้งจากไพรมอนิเตอร์ที่เราประดิษฐ์เองและไพรมอนิเตอร์มาตรฐาน ลำดับที่ 2 มาต่อเข้ากับตัวต้านทาน 100 โอห์มก่อนจะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.31 การต่อสายสัญญาณกับตัวต้านทาน 100 โอห์มก่อนเข้าเครื่องบันทึกข้อมูล

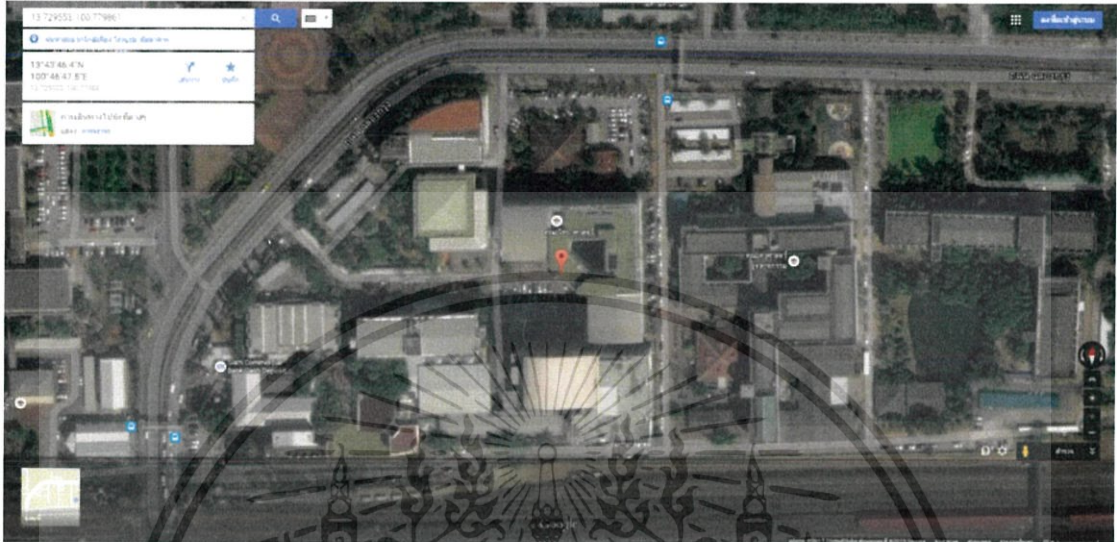
7) ทำการต่อสาย RS 232 จากเครื่องเก็บข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อส่งการเก็บข้อมูล เป็นอันเสร็จสิ้นในการเซ็ระบบ



รูปที่ 3.32 การเซ็ระบบทั้งหมดก่อนเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 6:00น. – 18:00น. ณ คาดฟ้าตึกจุฬารณย์1  
คณะวิทยาศาสตร์ที่พิกัด  $13^{\circ}43'46.4''$  N  
 $100^{\circ}46'47.5''$  E



รูปที่ 3.33 แสดงพิกัดของการเก็บข้อมูล

- 9) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และพล็อตกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาโดยใช้โปรแกรม Matlab โดยจะใช้ข้อมูลของไพรานอมิเตอร์ที่เราประดิษฐ์เองแต่ละตัวเทียบกับของไพรานอมิเตอร์ที่เป็นมาตรฐาน สุดท้ายจะได้ผลการเปรียบเทียบของแต่ละตัวออกมา ซึ่งในภายหลังเราสามารถใส่ข้อมูลที่เก็บได้ลงไปในการเปรียบเทียบก็จะได้ข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องผ่านโปรแกรมอีก



รูปที่ 3.34 ไพรานอมิเตอร์ขณะทำการการเก็บข้อมูล

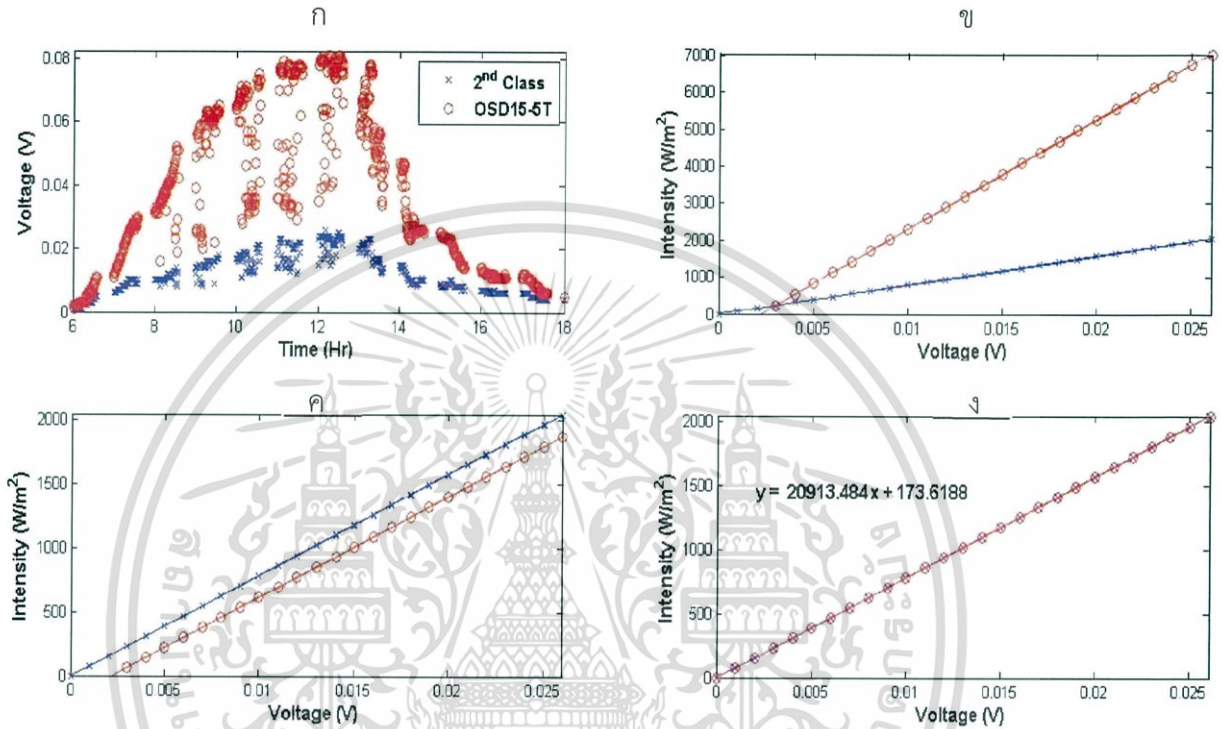
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 4.1 ผลการทดลอง

#### 4.1.1 ตอนที่ 1 การหาความสัมพันธ์ของสมการเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงของไพรานอมิเตอร์มาตรฐานชั้นที่2

จากรูปที่ 4.1(ก) เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลแรงดันไฟฟ้ากับเวลาระหว่างไพรานอมิเตอร์มาตรฐานกับไพรานอมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง

รูปที่ 4.1(ข) เราจะเอาค่าแรงดันไฟฟ้าคูณกับความไวในการตอบสนอง (sensitivity) ของไพรานอมิเตอร์มาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ  $12.60 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2/\text{V}$  จะได้เป็นค่าของความเข้มแสง และเมื่อเราพล็อตกราฟระหว่างความเข้มแสงกับแรงดันไฟฟ้าจะปรากฏสมการเส้นตรงออกมาดังเส้นสีน้ำเงินคือ  $Y = M_S X + C_S$  โดย  $Y =$  ความเข้มแสง  $M_S =$  ความชันของสมการเครื่องไพรานอมิเตอร์มาตรฐานเชิงเส้น  $X =$  ค่าแรงดันไฟฟ้า  $C_S =$  ค่าคงที่ของเครื่องไพรานอมิเตอร์มาตรฐานลำดับที่ 2 ต่อมาก็จะนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้าของไพรานอมิเตอร์ที่เราทำขึ้นมาแทนลงในค่า  $X$  ของสมการ  $Y = M_S X + C_S$  ก็จะได้ออกมาเป็นเส้นสีแดง และจะได้สมการเส้นตรงเปรียบเทียบออกมาเป็น  $Y = M_P X + C_D$

ต่อมารูป 4.1(ค) จะทำการหาค่าสมการ Ratio โดยที่เราทราบค่า  $C_S$ ,  $C_D$ ,  $M_S$  และ  $M_D$  จากสมการที่เราไว้แล้วในข้างต้น นำค่าที่เราทราบมาแทนในสมการ

$$\text{Slope ratio (SR)} = M_S / M_D$$

$$\text{Constant ratio (CR)} = C_S / C_D$$

นำค่า SR และ CR ที่คำนวณได้มาแทนในสมการ  $Y = M_S X + C_S$  จะได้สมการใหม่เป็น  $Y = (SR)M_S X + (CR)C_S$  จากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่องไพรานอมิเตอร์มีประดิษฐ์ขึ้นมาแทนในสมการ  $Y = (SR)M_S X + (CR)C_S$  จะได้สมการเส้นตรงใหม่ซึ่งขนานกับสมการเส้นตรงของไพรานอมิเตอร์มาตรฐานแสดงดังรูป 4.1(ค)

สุดท้ายเราจะหาค่า offset จากสมการ  $\text{offset} = \text{สมการเส้นตรงมาตรฐาน} - \text{สมการเส้นตรงเปรียบเทียบ}$  และนำค่า offset ที่ได้มาบวกเข้าไปในสมการ  $Y = (SR)M_S X + (CR)C_S + \text{offset}$  จะได้เส้นตรงสองเส้นที่ซ้อนทับกันพอดีดังรูป 4.1(ง) ส่วนสมการที่อยู่ในรูปนั้นคือสมการปรับเทียบที่สามารถนำค่าที่วัดได้ในภายหลังมาแทนลงในสมการได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องผ่านโปรแกรมอีก แต่เนื่องจากเราทำการเก็บข้อมูลหลายวัน จึงต้องนำสมการปรับเทียบทั้งหมดทุกวันมาเฉลี่ยจะได้ดังตารางที่ 4.1 – 4.6



ตารางที่ 4.1 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น S5973

วันที่ \ รุ่น	สมการสอบเทียบ
1	$y=118332.962x - 132.3938$
2	$y=121202.2884x - 104.2407$
3	$y=116140.2827x - 136.1429$
4	$y=114154.9267x + 3.2596$
5	$y=123600.772x - 110.3702$
6	$y=116970.8071x - 156.0818$
7	$y=119657.7188x - 76.6236$
8	$y=158082.4158x + 717.9172$
9	$y=114176.6079x + 7.4112$
10	$y=112398.9852x - 101.5293$
11	$y=113305.7173x - 131.6344$
12	$y=121232.5214x - 102.8482$
13	$y=117214.8127x - 105.4445$
14	$y=158314.27x + 469.6392$
15	$y=159927.8139x + 1517.9186$
16	$y=162009.381x + 345.9851$
17	$y=158849.5296x + 698.1207$
ค่าเฉลี่ย	$y=129739.5184x + 153.11427$

สมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น S5973 คือ  $y=129739.5184x + 153.11427$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น S1223

วันที่ \ รุ่น	สมการสอบเทียบ
1	$y=36155.8067x + 156.0709$
2	$y=35084.6719x + 111.453$
3	$y=36712.2365x + 152.0868$
4	$y=37682.9798x + 1.3206$
5	$y=34459.1258x + 108.258$
6	$y=36428.8186x + 49.2123$
7	$y=35213.3831x + 116.4095$
8	$y=23113.6704x - 4113.26$
9	$y=37262.9301x + 15.1767$
10	$y=38770.7844x + 120.3215$
11	$y=36834.1976x + 53.9857$
12	$y=35687.3055x + 113.7425$
13	$y=35619.7895x + 145.8373$
14	$y=28109.0741x + 1172.8721$
15	$y=27775.6392x + 1965.4019$
16	$y=28312.4853x + 1167.9287$
17	$y=28099.1124x + 1425.2993$
ค่าเฉลี่ย	$y=33607.1771x + 162.477$

สมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดรุ่น S1223 คือ  $y=33607.1771x + 162.477$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของไฟโตไดโอดรูน VTB8440

วันที่ \ รุ่น	สมการสอบเทียบ
1	$y=207717.2982x - 464.4182$
2	$y=209611.5779x - 325.349$
3	$y=195522.7525x - 426.4023$
4	$y=183450.0589x - 202.3665$
5	$y=218426.9892x - 318.6021$
6	$y=186681.7766x - 281.2117$
7	$y=197106.7025x - 232.315$
8	$y=169329.405x + 1162.2508$
9	$y=185565.6874x - 212.0737$
10	$y=157885.3214x - 224.9338$
11	$y=175060.6608x - 225.32$
12	$y=192029.0481x - 230.30$
13	$y=190908.0566x - 317.7153$
14	$y=170947.443x - 311.6192$
15	$y=169229.0055x + 1529.8286$
16	$y=171622.1098x + 561.8151$
17	$y=172106.2606x + 1129.7883$
ค่าเฉลี่ย	$y=185482.362 + 60.8943$

สมการสอบเทียบเฉลี่ยของไฟโตไดโอดรูน VTB8440 คือ  $y=185482.362 + 60.8943$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโตไดโอดรุ่น VTB5041

วันที่ \ รุ่น	สมการสอบเทียบ
1	$y=118346.9901x - 138.0336$
2	$y=121395.0604x - 108.6467$
3	$y=116122.094x - 138.9077$
4	$y=113920.7183x + 5.5806$
5	$y=124321.3066x - 120.2248$
6	$y=116248.2024x - 41.653$
7	$y=120206.8952x - 91.8115$
8	$y=160241.2223x + 601.5492$
9	$y=114395.3719x + 1.6005$
10	$y=113026.2705x - 112.6791$
11	$y=114912.8628x - 33.5923$
12	$y=120911.6537x - 105.8392$
13	$y=117348.8495x - 113.4854$
14	$y=161591.5192x + 170.677$
15	$y=160337.4162x + 1190.9385$
16	$y=162096.1069x + 256.4937$
17	$y=159567.5627x + 564.9263$
ค่าเฉลี่ย	$y=123592.3167x + 105.111$

สมการสอบเทียบเฉลี่ยของโฟโตไดโอดรุ่น VTB5041 คือ  $y=123592.3167x + 105.111$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของไฟโตไดโอดรุ่น OSD15-5T

วันที่ \ รุ่น	สมการสอบเทียบ
1	$y=20300.4283x + 188.4228$
2	$y=19387.1722x + 130.68$
3	$y=20913.484x + 173.6188$
4	$y=21283.8769x - 8.9429$
5	$y=18946.6784x + 123.9344$
6	$y=20674.7953x + 40.1832$
7	$y=19715.7341x + 128.9693$
8	$y=14656.5814x - 293.2718$
9	$y=21239.5259x - 9.2587$
10	$y=20164.5276x - 71.9879$
11	$y=20569.6319x + 54.0503$
12	$y=20194.1601x + 119.8549$
13	$y=20229.6213x + 161.5738$
14	$y=24848.6744x - 961.0564$
15	$y=13844.237x + 1106.4171$
16	$y=13776.5657x + 586.801$
17	$y=14225.5466x + 350.5478$
ค่าเฉลี่ย	$y=19115.9554x + 108.1424$

สมการสอบเทียบเฉลี่ยของไฟโตไดโอดรุ่น OSD15-5T คือ  $y=19115.9554x + 108.1424$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงการหาสมการสอบเทียบเฉลี่ยของไฟโตไดโอดรุ่น BPW21R

วันที่ \ รุ่น	สมการสอบเทียบ
1	$y=103374.3474x - 80.2855$
2	$y=104763.7585x - 55.6489$
3	$y=101816.3145x - 75.9312$
4	$y=101898.7591x + 8.4993$
5	$y=105999.3245x - 69.62$
6	$y=101618.1734x + 119.5882$
7	$y=102411.964x - 41.6596$
8	$y=117656.8069x + 841.1619$
9	$y=101604.2083x + 11.5225$
10	$y=21929.5266x + 144.6833$
11	$y=102279.5985x - 15.622$
12	$y=105282.8906x - 59.1147$
13	$y=102419.1723x - 58.5676$
14	$y=118272.2784x + 452.2507$
15	$y=109015.6792x + 1772.537$
16	$y=118419.6209x + 538.0131$
17	$y=119252.211x + 860.3151$
ค่าเฉลี่ย	$y=102236.1549x + 252.4777$

สมการสอบเทียบเฉลี่ยของไฟโตไดโอดรุ่น BPW21R คือ  $y=102236.1549x + 252.4777$

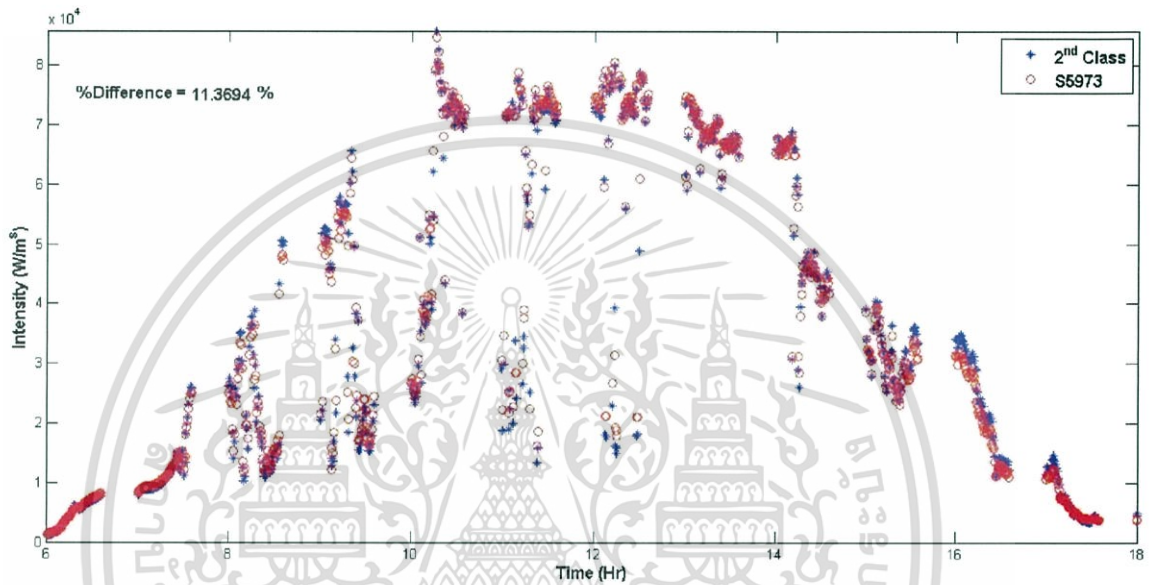
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ตอนที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลา

เราจะนำค่าแรงดันไฟฟ้าของวันที่ 1 ถึงวันที่ 17 ลงไปแทนในสมการสอบเทียบเฉลี่ยที่ได้ทำการหาไว้ในตอนที่ 1 ก็จะได้ค่าความเข้มแสงของแต่ละวันออกมา จากนั้นเราจะพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงในแต่ละวันดังรูปที่ 4.2 ถึง 4.7

วันที่ 1

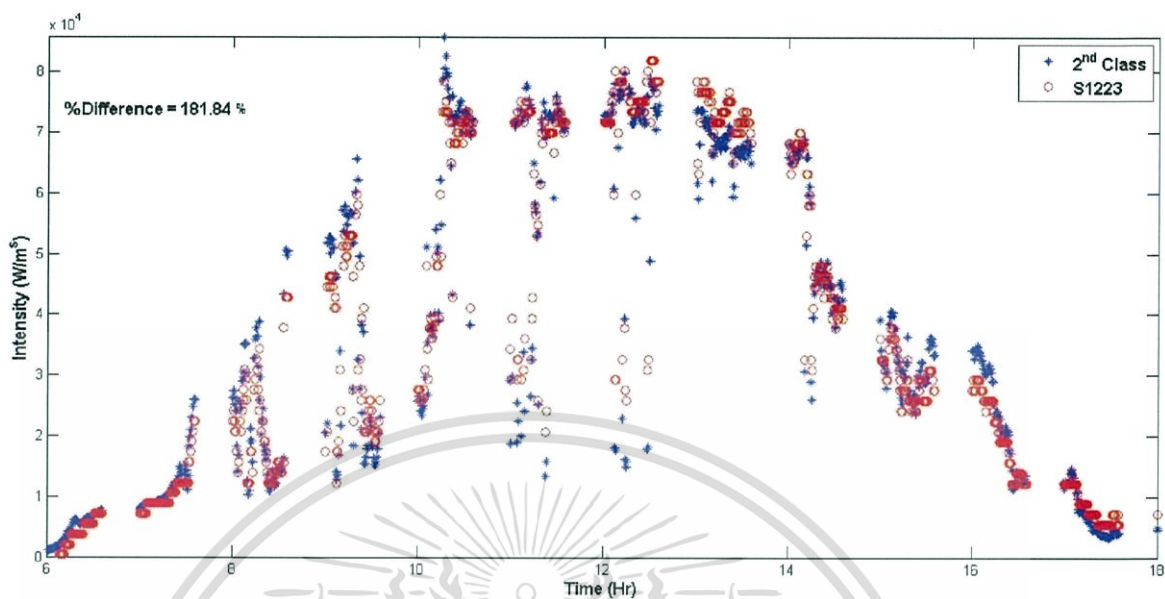
- S5973



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ S5973 ในวันที่ 1

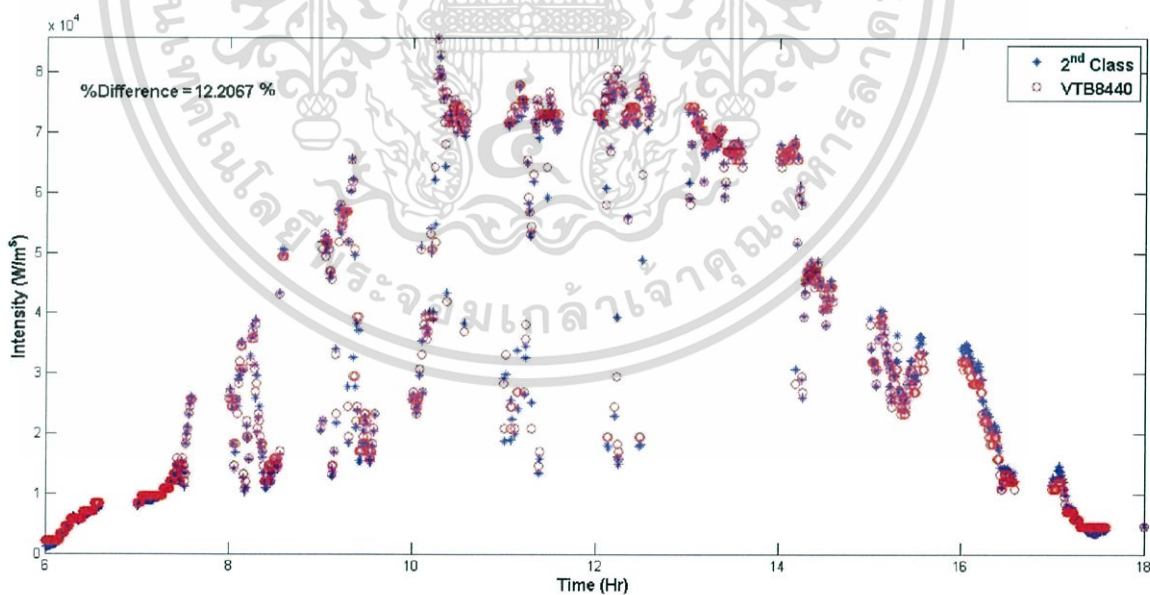
จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ เนื่องจากโฟโต้ไดโอดจะตอบสนองต่อความเข้มแสง เมื่อความเข้มแสงน้อยอย่างในตอนเช้ากราฟก็จะค่อยๆ สูงขึ้น ไปจนถึงจุดสูงสุดในตอนเที่ยงซึ่งมีค่าความเข้มสูงที่สุดและจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าไป และบางช่วงที่กราฟตกลงมา เป็นเพราะว่าในช่วงนั้นอาจจะมึเมฆบัง หรือควีนจากการเผาหญ้า

- S1223



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ S1223 ในวันที่ 1

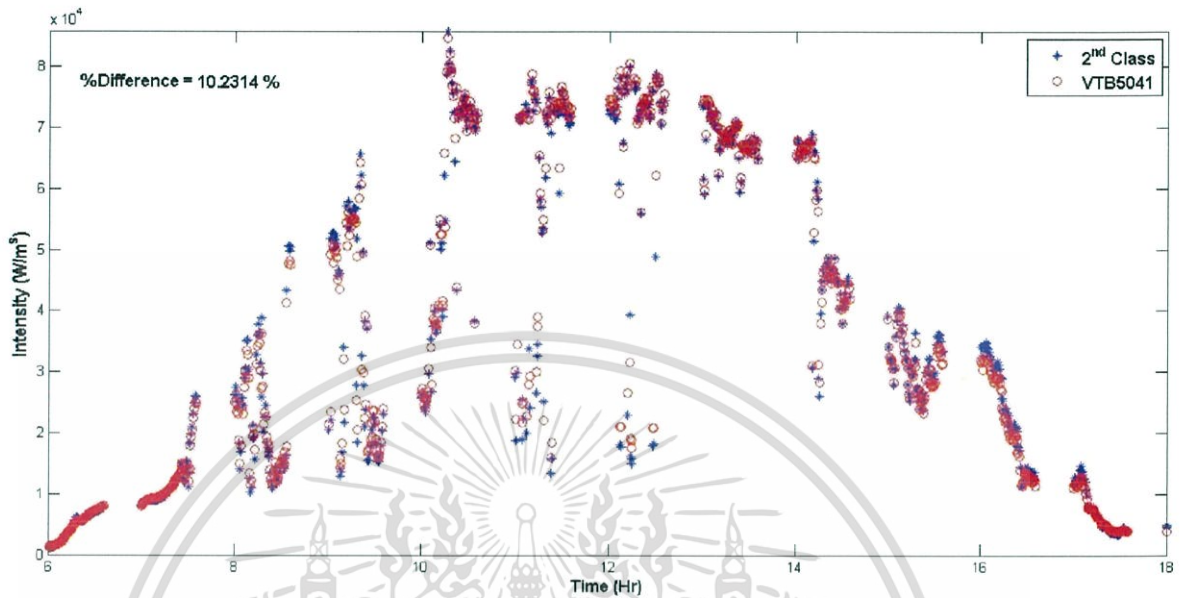
- VTB 8440



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ VTB8440 ในวันที่ 1

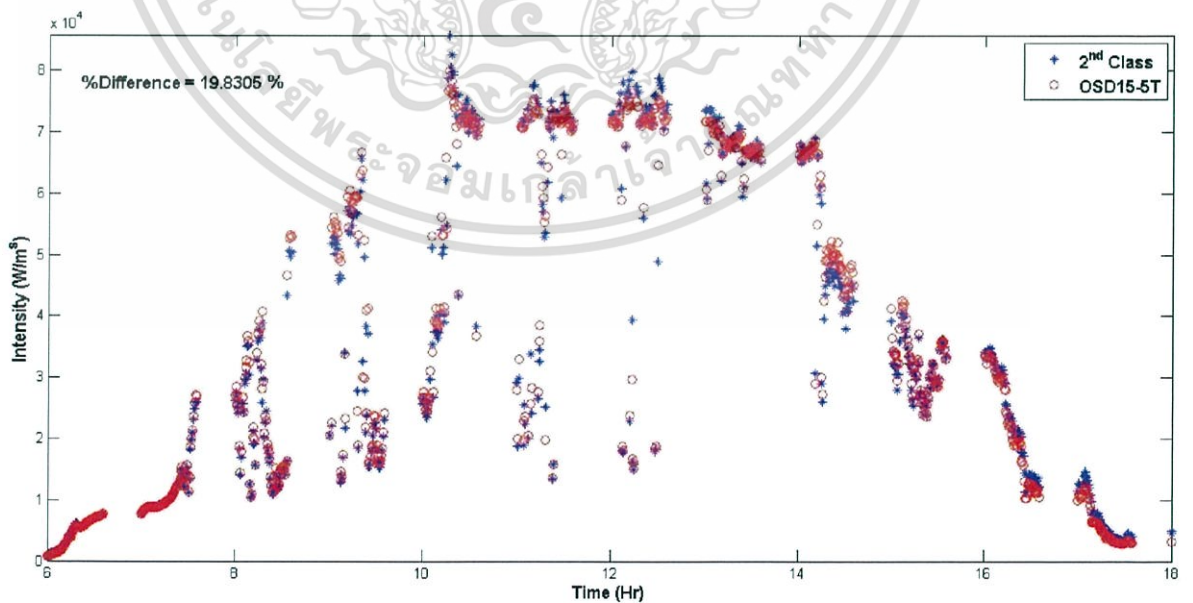
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- VTB5041



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ VTB5041 ในวันที่ 1

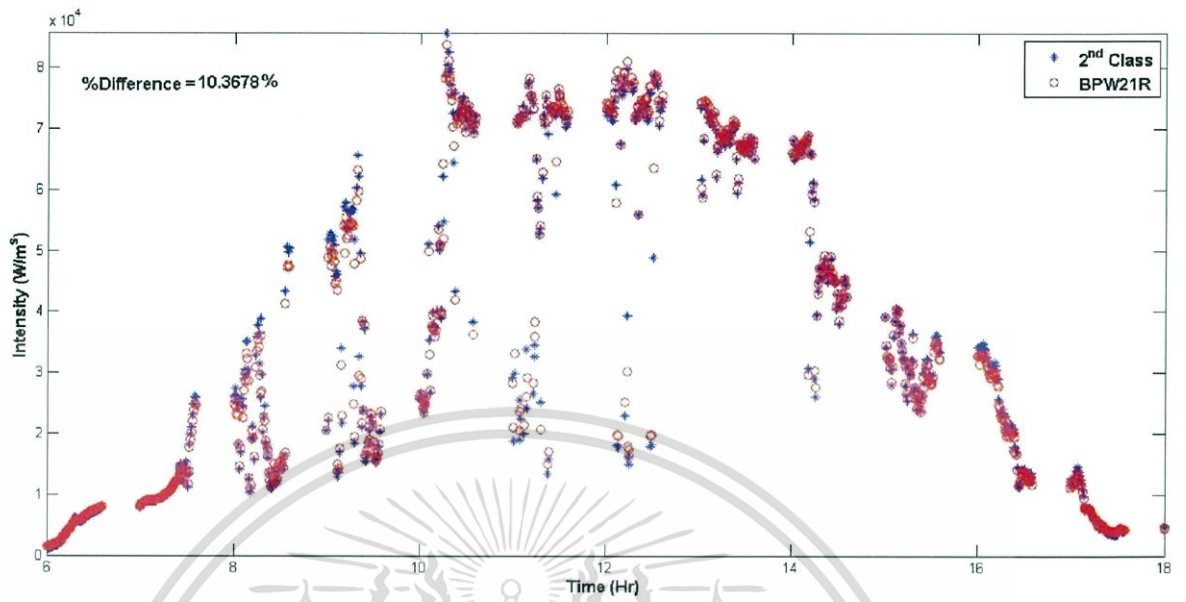
- OSD15-5T



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ OSD15-5T ในวันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- BPW21R



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มแสงของ BPW21R วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้ ผู้จัดทำได้นำกราฟมาแสดงแค่ 1 วัน เพราะวันที่เหลือก็จะมีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกัน แต่ผู้จัดทำได้สรุปออกมาเป็นตารางให้ผู้อ่าน ผู้ศึกษาได้เข้าใจง่ายขึ้น

ตารางที่ 4.7 แสดงการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิด

วันที่	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง					
	S5973	S1223	VTB8440	VTB5041	OSD15-5T	BPW21R
1	18.10%	11.77%	47.52%	18.68%	14.06%	33.30%
2	19.86%	13.07%	43.25%	20.55%	13.96%	9.64%
3	23.77%	11.32%	51.79%	24.44%	14.03%	11.52%
4	13.66%	14.03%	31.19%	12.86%	20.80%	10.44%
5	23.66%	13.77%	35.98%	22.92%	17.82%	13.72%
6	27.52%	12.90%	34.02%	27.17%	17.55%	14.44%
7	16.67%	12.87%	44.60%	26.94%	17.51%	12.36%
8	11.37%	11.23%	12.21%	10.23%	19.83%	10.37%
9	14.10%	13.80%	33.90%	13.62%	22.16%	11.21%
10	38.16%	19.75%	29.33%	35.34%	25.14%	30.86%
11	19.42%	14.89%	52.05%	22.44%	20.96%	13.99%
12	26.09%	15.80%	62.66%	22.51%	21.40%	14.85%
13	38.45%	13.46%	64.72%	29.82%	18.72%	25.13%
14	16.76%	7.64%	7.26%	6.59%	17.69%	5.94%
15	23.65%	22.80%	22.14%	21.99%	21.00%	23.87%
16	8.73%	10.59%	8.70%	7.66%	8.50%	8.41%
17	29.44%	32.42%	30.41%	27.48%	22.88%	29.94%
ค่าเฉลี่ย	21.90%	14.83%	35.98%	20.66%	18.47%	16.47%

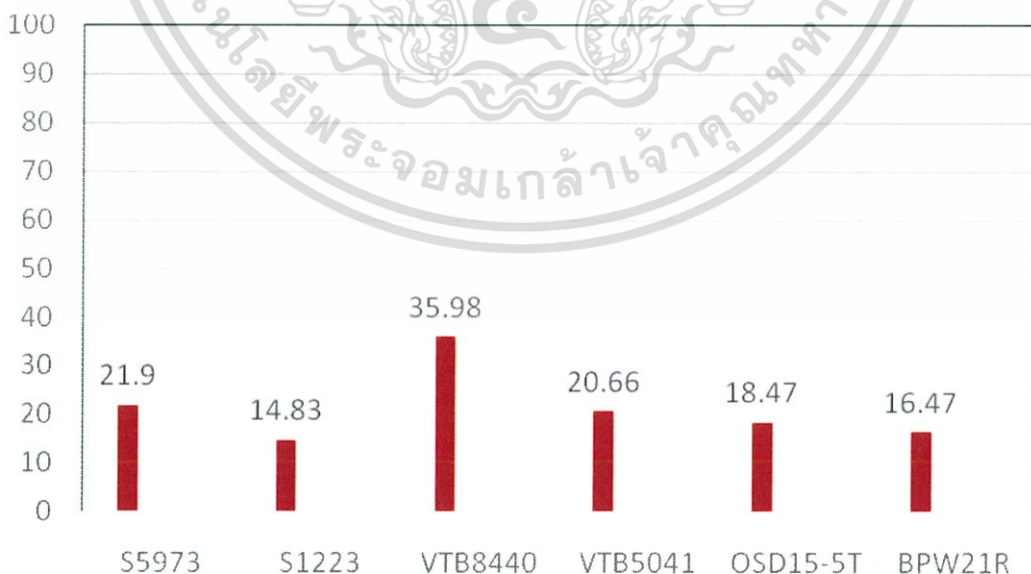
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและการเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของโฟโต้ไดโอดเพื่อใช้ทำไพรานอมิเตอร์ ซึ่งผู้จัดทำได้เลือกโฟโต้ไดโอด 6 ชนิดได้แก่ S5973, S1223, VTB 8440, VTB5041, OSD15-5T และ BPW21R โดยทำการเก็บข้อมูลพร้อมกับไพรานอมิเตอร์มาตรฐานลำดับที่ 2 ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 18:00 น. เป็นเวลา 17 วัน เมื่อได้แรงดันไฟฟ้าก็จะนำไปแทนลงในสมการ  $Y = (SR)M_S X + (CR)C_S + \text{offset}$  ก็จะออกมาเป็นค่าความเข้มแสง ซึ่งโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิดจะมีสมการสอบเทียบเฉลี่ยไม่เหมือนกันคือ S59730 จะได้  $y=129739.5184x + 153.11427$ , S1223 จะได้  $y=33607.1771x + 162.477$ , VTB8440 จะได้  $y=185482.362 + 60.8943$ , VTB5041 จะได้  $y=123592.3167x + 105.111$ , OSD15-5T จะได้  $y=19115.9554x + 108.1424$  และ BPW21R จะได้  $y=102236.1549x + 252.4777$  ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิดดังรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าโฟโต้ไดโอดชนิด VTB8440 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงถึง 35.98% ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นตัวรับแสงของไพรานอมิเตอร์ ส่วนโฟโต้ไดโอดชนิดอื่นๆ ยังมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำมาทำไพรานอมิเตอร์ ซึ่งไพรานอมิเตอร์ที่ใช้โฟโต้ไดโอดนั้นไม่สามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูงๆได้ แต่ใช้ในการศึกษาหรือการทดลองในระดับนักศึกษาหรือผู้วิจัยได้ และยังคงต้องทำการปรับปรุงในส่วนอื่นๆต่อไปเพื่อลดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างให้น้อยที่สุด



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยของโฟโต้ไดโอดทั้ง 6 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- การวางตำแหน่งของโฟโต้ไดโอดในไพรานอมิเตอร์อาจจะไม่อยู่ในจุดศูนย์กลางพอดีทำให้โฟโต้ไดโอดรับแสงไม่เต็มประสิทธิภาพ ฉะนั้นควรวางตำแหน่งให้อยู่จุดศูนย์กลางพอดี
- การใช้ตัวต้านทานให้เหมาะสมกับโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิด เพราะถ้าใช้ค่าตัวต้านทานมากเกินไปก็อาจทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาไม่ค่อยเห็นการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าน้อยไปค่าแรงดันไฟฟ้าก็จะอึมตัวไวจนไม่เห็นจุดสูงสุดของกราฟ
- การเลือกใช้สายไฟที่เหมาะสมกับแรงดันที่ออกมาจากไพรานอมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง เพราะค่าแรงดันที่ออกมามีค่าน้อยมาก ถ้าใช้สายไฟประเภททนสัญญาณรบกวนไม่ได้ก็อาจทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไป และสายไฟไม่ควรยาวเกิน 1.5 เมตร ในระดับสัญญาณแบบนี้
- เครื่องเก็บข้อมูล ควรศึกษาวิธีการใช้ให้ถี่ถ้วนเพราะฉะนั้นอาจเกิดปัญหากับกลุ่มข้อมูลที่เราเก็บได้ จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างนั้นมีค่าสูง
- การเลือกช่วงในการเก็บข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากไพรานอมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเป็นเพียงต้นแบบจึงต้องการข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ง่ายไม่ซับซ้อน ฉะนั้นแล้วจึงควรเก็บในช่วงฤดูร้อน



## เอกสารอ้างอิง

Green A Martin. 1992. Solar cells Operating Principles Technology and System Application. Frist Edition : Prentice-Hall. Inc,pp9-11

ผศ.ดร พิชัย นามประกาย. 2546. การทดสอบคุณสมบัติเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ภาคสนามชนิดซิลิคอนเซลล์แสงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. [Online]. Available : <http://www.nectec.or.th/NTJ/No16/papers/05.pdf>

จิตติพงษ์ พันธุ์สว่าง และพีรณัฐ คำศรีสุข. 2555. “โซลิดสเตตไพรานอมิเตอร์ต้นทุนต่ำ.” ปรินญา นิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Chris Woodford. 2014. Pyranometers. [Online]. Available : <http://www.explainthatstuff.com/how-pyranometers-work.html>

KIPP & ZONEN. 2015. The Working Principle of a Thermopile Pyranometer. [Online]. Available : <http://www.kippzonen.com/News/572/The-Working-Principle-of-a-Thermopile-Pyranometer#.WhR6vztlBc>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

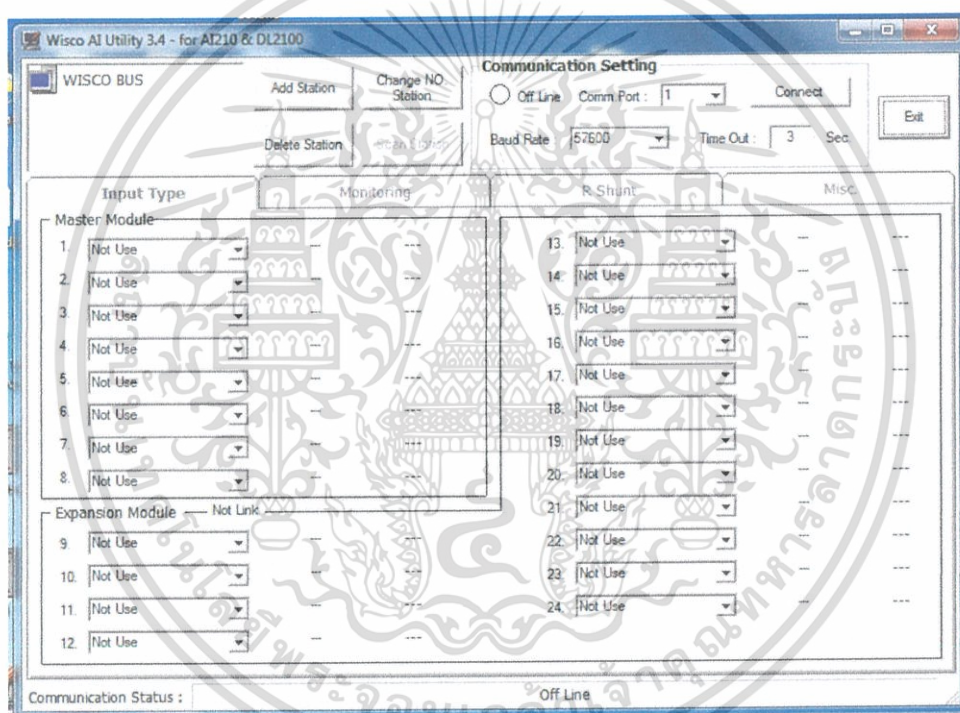
## ภาคผนวก ก

### วิธีการใช้โปรแกรม AI Utility 3.4 และ OD04 สำหรับเครื่อง Data Logger

#### - การใช้งาน AI Utility 3.4



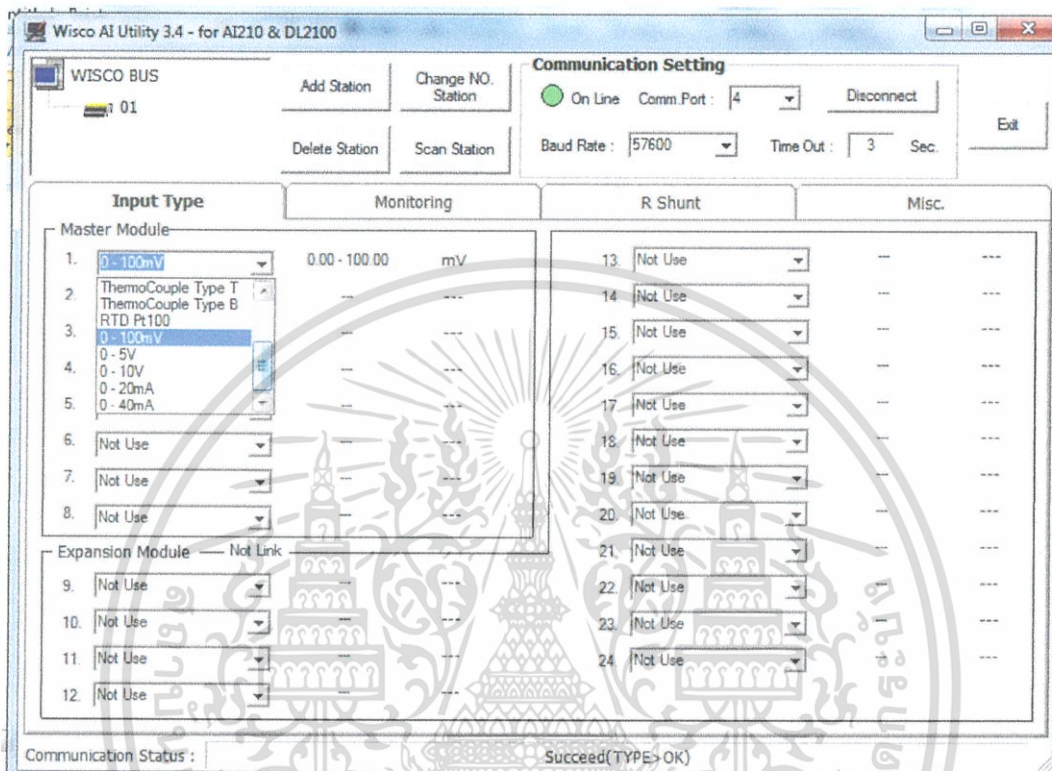
1. เข้าโปรแกรม AI Utility 3.4 สามารถดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของบริษัทหรือลงจากแผ่นที่แถมมากับผลิตภัณฑ์



เมื่อเข้าโปรแกรมแล้วจะได้หน้าต่างดังรูป ก่อนที่จะป้อนคำสั่งต้องเชื่อมต่อสาย RS232 จากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่อง Data Logger ให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กด Connect ถ้าขึ้นไฟสีเขียวแปลว่าอุปกรณ์สองอุปกรณ์ต่อถึงกันแล้ว แต่ถ้ายังไม่เป็นสีเขียวแสดงว่าเราเลือก Comm.Port ไม่ตรงกันนั่นเอง ( Comm.Port ก็คือ พอร์ต USB ในคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหลายพอร์ต ถ้าเราเสียไปที่พอร์ต 3 เราก็ต้องเลือก Comm.Port 3 ก็จะขึ้นไฟสีเขียว ) จากนั้นกด Add Station



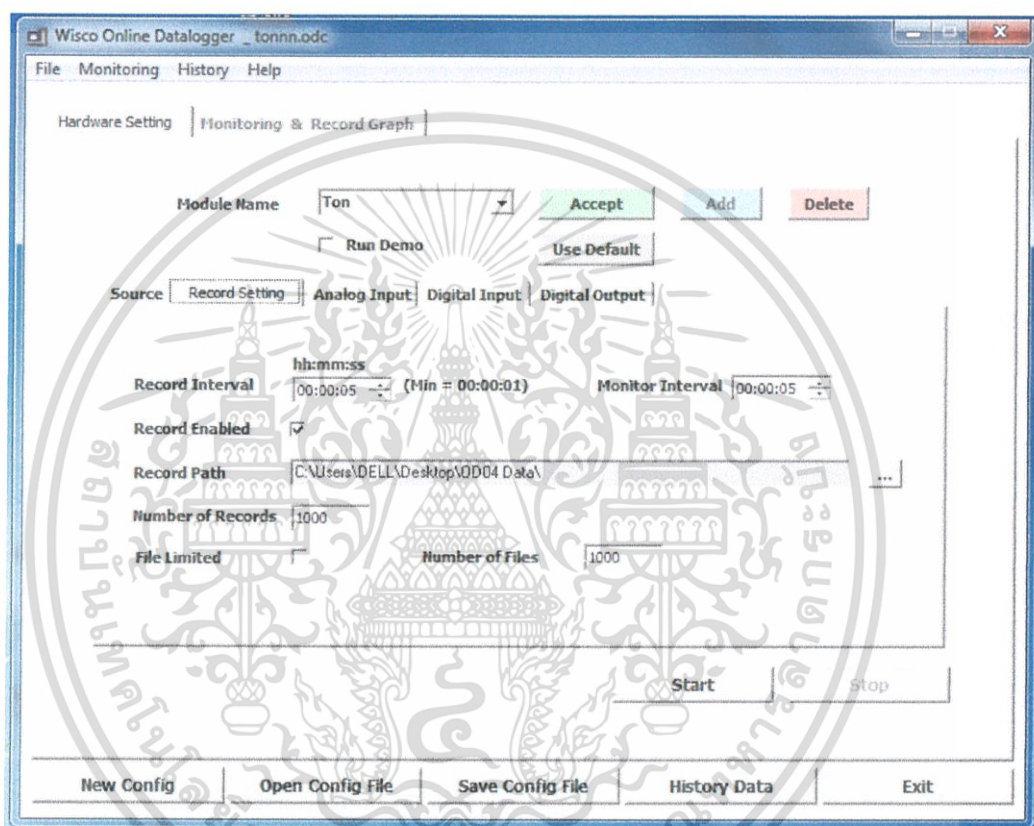
3. เลือก Input Type ว่าข้อมูลที่เราจะบันทึกนั้นเป็นประเภทไหน เป็นอันสิ้นสุดการใช้โปรแกรม AI Utility 3.4 สรุปก็คือ AI Utility 3.4 นั้นเป็นการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ Data Logger ว่าจะเก็บข้อมูลประเภทไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## - การใช้งาน OD04



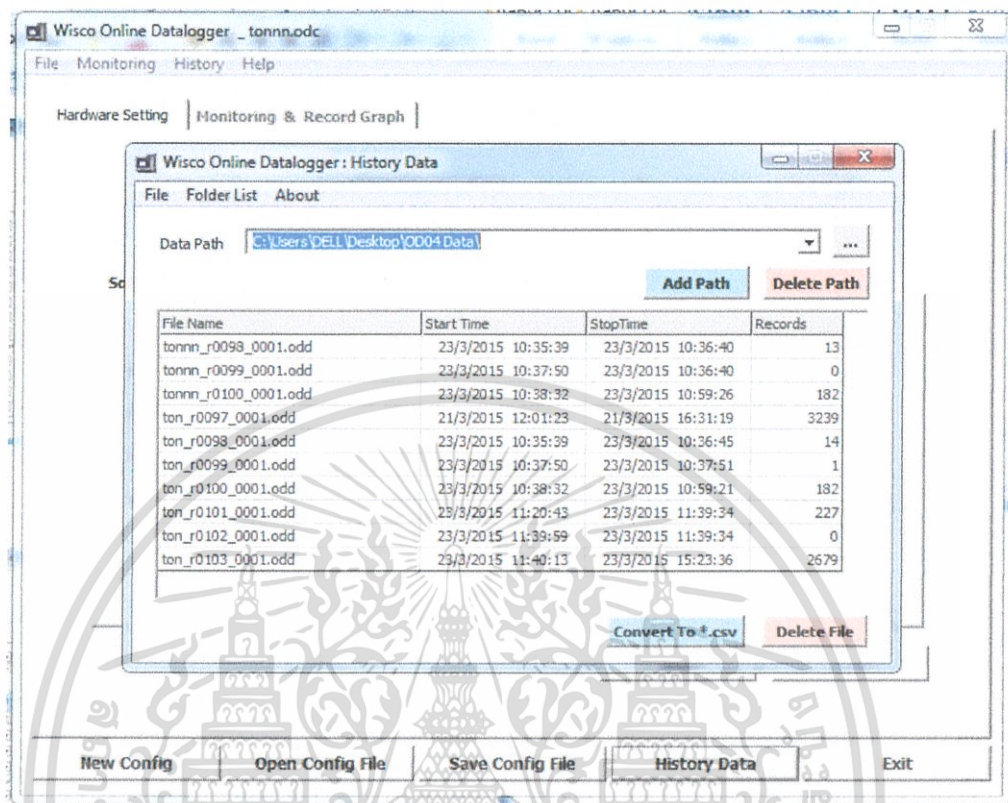
1. เข้าโปรแกรม OD04 (ต้องปิดโปรแกรม AI Utility 3.4 ก่อน ไม่สามารถเปิดทั้งโปรแกรมพร้อมกันได้)



จะได้หน้าต่างโปรแกรมดังรูป ให้เราตั้งชื่อ Module Name เป็นชื่ออะไรก็ได้ จากนั้นตั้งระยะเวลาที่ Record Interval ในการบันทึกว่าจะใช้เท่าไร อย่างในรูปใช้ 00:00:05 หมายถึงว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาทีโปรแกรมจะบันทึกข้อมูลหนึ่งครั้ง ส่วนช่อง Monitor Interval คือ เวลาที่โปรแกรมจะแสดงข้อมูล เช่นเราเลือก 00:00:05 ก็คือ เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที โปรแกรมจะแสดงข้อมูลหนึ่งครั้ง และ Record Path คือโฟลเดอร์ที่เก็บข้อมูลที่เครื่องบันทึกได้ ส่วน Number of Records และ Number of Files ตั้งไว้ที่ 1000 ทั้งคู่ สุดท้ายกด Accept แล้วก็กด Save Config File เพื่อที่หลังเรามาใช้ก็ยังสามารถเปิดชื่อ Module Name ที่เราตั้งไว้ได้เลยโดยไม่ต้องเสียเวลาตั้งค่าใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนข้อมูลที่เครื่องบันทึกนั้นสามารถดูได้ที่ History Data หรือไปที่โฟลเดอร์ที่เราเลือกไว้ในการเก็บข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์



ชุดข้อมูลที่เครื่องบันทึกได้นั้นจะเป็นนามสกุล .odd เราสามารถแปลงเป็น .csv ได้ โดยกดที่ไฟล์ที่เราต้องการแปลงแล้วคลิกที่ Convert To \*.csv

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

plot(stand,stand./s,'x')
plot(stand,y1,'-x')
plot(stand,y2,'or')
plot(stand,y2,'-.r')
hold on
xlabel('Voltage (V)')
ylabel('Intensity (W/m^2)')
if max(stand./s) > max(y2)
    y_axis = max(stand./s);
else
    y_axis = max(y2);
end
axis([0 max(stand) 0 max(y_axis)])
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
subplot(2,2,3)
box on
hold on
plot(stand,stand./s,'x')
plot(stand,y1,'-x')
plot(stand,y3,'or')
plot(stand,y3,'-.r')
hold on
xlabel('Voltage (V)')
ylabel('Intensity (W/m^2)')
if max(stand./s) > max(y3)
    y_axis = max(stand./s);
else
    y_axis = max(y3);
end
axis([0 max(stand) 0 max(y_axis)])
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
subplot(2,2,4)
box on
hold on
plot(stand,stand./s,'x')
plot(stand,y1,'-x')
plot(stand,y4,'or')
plot(stand,y4,'-.r')
hold on
xlabel('Voltage (V)')
ylabel('Intensity (W/m^2)')
if max(stand./s) > max(y4)
    y_axis = max(stand./s);
else
    y_axis = max(y4);
end
mt = slop*m;
ct = cons*s + offset;
axis([0 max(stand) 0 max(y_axis)])
text(0.001,1200,'y = ')
text(0.0022,1200,num2str(mt))
text(0.0055,1200,'x +')
text(0.0066,1200,num2str(ct))
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
per_diff = (mean(abs(2.*((stand./s - call1)./(stand./s +
call1))),1)*100)-0.9
norm_stand = ((stand./s)/1360)*1000;
norm_diy = ((call1)/1360)*1000;
figure(2)
box on
hold on

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

plot(time,norm_stand,'*')
plot(time,norm_diy,'ro')
xlabel('Time (Hr)')
ylabel('Intensity (W/m^s)')
legend('2^n^d Class',tt)
if max(norm_stand) > max(norm_diy)
    y_axis = max(norm_stand);
else
    y_axis = max(norm_diy);
end
axis([6 18 0 max(y_axis)])
text(6.3,800,'%Difference =')
text(7.3,800,num2str(per_diff))
text(8.2,800,'%')
hold off

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

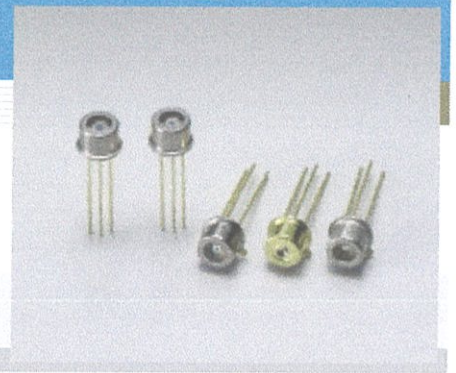
ผู้ทำได้เลือกโฟโต้ไดโอด 6 ชนิดโดยอ้างอิงจาก Datasheet ที่แนบมาให้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Si PIN photodiode S5971, S5972, S5973 series

## High-speed photodiodes (S5973 series: 1 GHz)



S5971, S5972 and S5973 series are high-speed Si PIN photodiodes designed for visible to near infrared light detection. These photodiodes provide wideband characteristics at a low bias, making them suitable for optical communications and other high-speed photometry. S5973 series includes a mini-lens type (S5973-01) that can be efficiently coupled to an optical fiber and a violet sensitivity enhanced type (S5973-02) ideal for violet laser detection.

### Features

- High-speed response  
S5971 : 100 MHz ( $V_R=10$  V)  
S5972 : 500 MHz ( $V_R=10$  V)  
S5973 series: 1 GHz ( $V_R=3.3$  V)
- Low price
- High sensitivity  
S5973-02: 0.3 A/W, QE=91 % ( $\lambda=410$  nm)
- High reliability

### Applications

- Optical fiber communications
- High-speed photometry
- Violet laser detection (S5973-02)

### General ratings / Absolute maximum ratings

Type No.	Dimensional outline/ Window material *1	Package (mm)	Active area size (mm)	Effective active area (mm <sup>2</sup> )	Absolute maximum ratings			
					Reverse voltage $V_R$ Max. (V)	Power dissipation P (mW)	Operating temperature $T_{opr}$ (°C)	Storage temperature $T_{stg}$ (°C)
S5971	①/K	TO-18	$\phi 1.2$	1.1	20	50	-40 to +100	-55 to +125
S5972			$\phi 0.8$	0.5				
S5973			$\phi 0.4$	0.12				
S5973-01	②/L							
S5973-02	③/K							

### Electrical and optical characteristics

Type No.	Spectral response range $\lambda$ (nm)	Peak sensitivity wavelength $\lambda_p$ (nm)	Photo sensitivity S (A/W)			Short circuit current $I_{sc}$ 100 $\mu$ A	Dark current $I_D$		Temp. coefficient of $I_D$ $T_{CID}$ (times/°C)	Cut-off frequency $f_c$ (GHz)	Terminal capacitance $C_t$ f=1 MHz (pF)	NEP $V_R=10$ V (W/Hz <sup>1/2</sup> )		
			$\lambda_p$	660 nm	780 nm		830 nm	$I_{D, Typ.}$ (nA)					$I_{D, Max.}$ (nA)	
														0.44
S5971	320 to 1060	900	0.64		0.55	0.6	1.0	0.07 *3	1 *3	1.15	0.1 *3	3 *3	7.4 × 10 <sup>-15</sup>	
S5972		800	0.57	0.44	0.55	0.42	0.01 *3	0.5 *3	0.5 *3		3.1 × 10 <sup>-15</sup>			
S5973	320 to 1000	760	0.52	0.51	0.47	0.09	0.001 *4	0.1 *4	1 *4	1.6 *4	1.5 × 10 <sup>-15</sup>			
S5973-01												0.42	0.37	0.09
S5973-02												0.45	0.3 *2	0.42

\*1: Window material K: borosilicate glass, L: lens type borosilicate glass

\*2:  $\lambda=410$  nm

\*3:  $V_R=10$  V

\*4:  $V_R=3.3$  V

**SOLID STATE DIVISION**

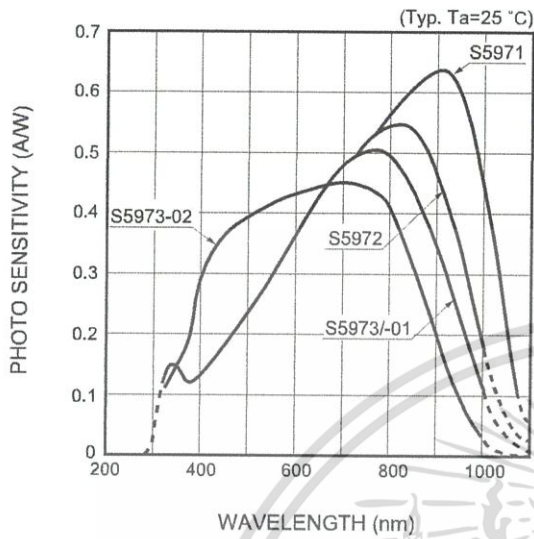
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีแบบลงเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

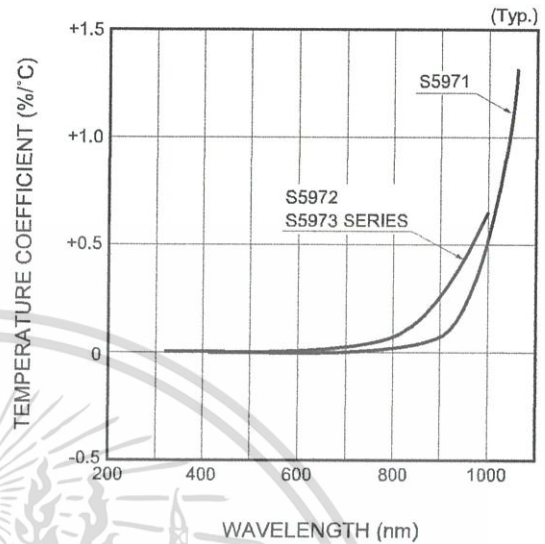
**HAMAMATSU**

Si PIN photodiode **S5971, S5972, S5973 series**

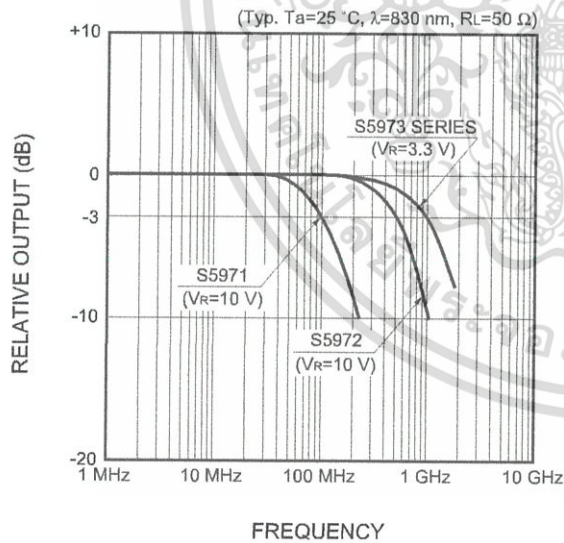
■ Spectral response



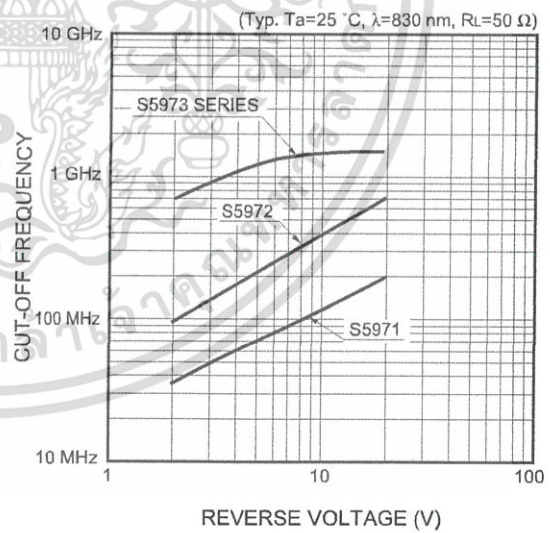
■ Photo sensitivity temperature characteristics



■ Frequency response



■ Cut-off frequency vs. reverse voltage

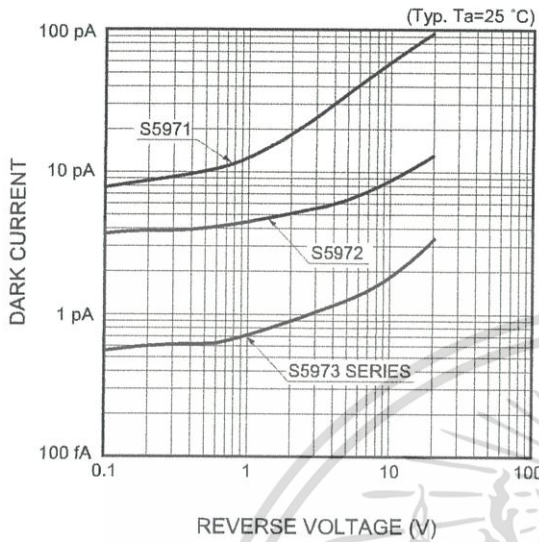


KPINB0158EB

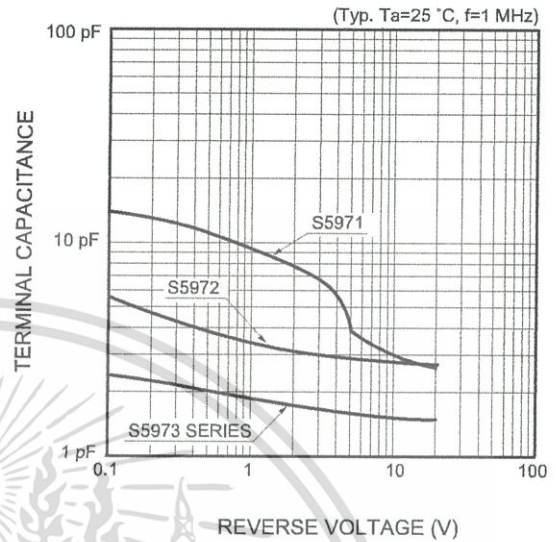
KPINB0160EB

Si PIN photodiode **S5971, S5972, S5973 series**

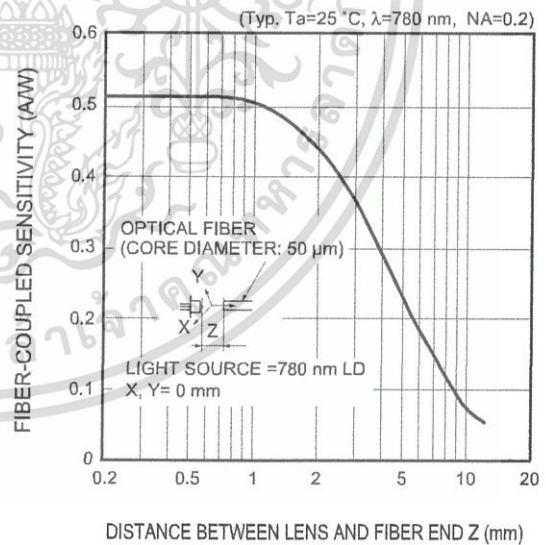
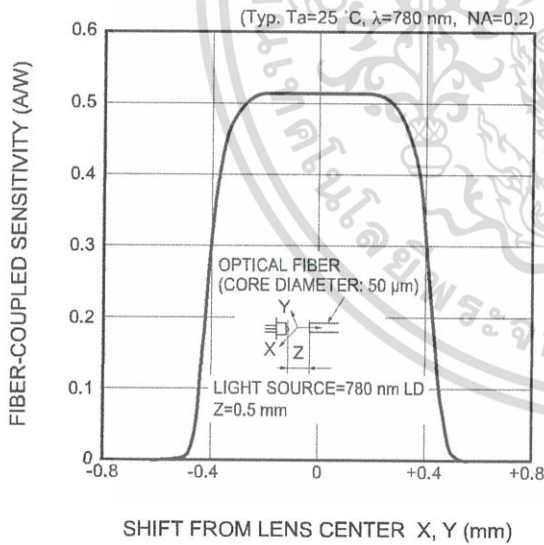
■ Dark current vs. reverse voltage



■ Terminal capacitance vs. reverse voltage



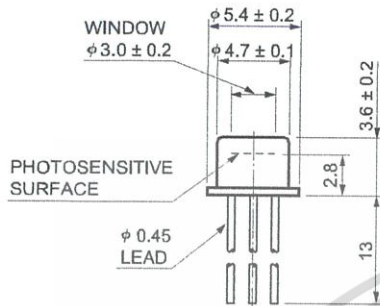
■ Fiber coupling characteristics (S5973-01)



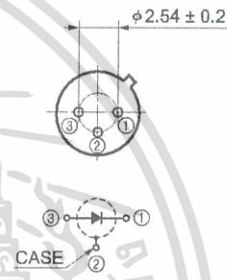
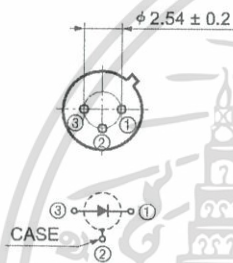
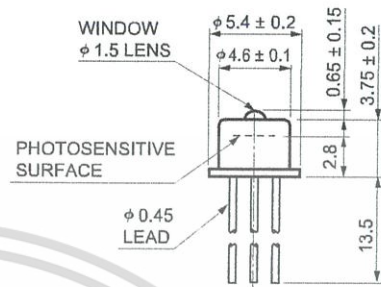
## Si PIN photodiode S5971, S5972, S5973 series

## ■ Dimensional outlines (unit: mm)

① S5971, S5972, S5973



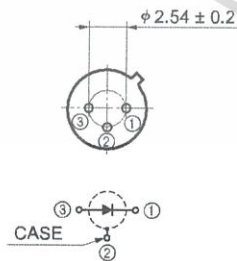
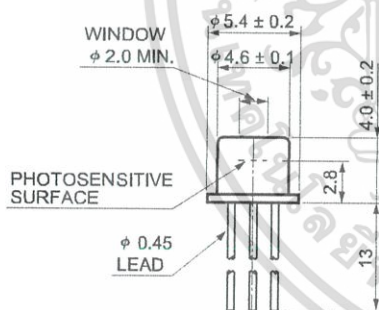
② S5973-01



KPIN0022EB

KPIN0023EA

③ S5973-02



KPIN0061EA

**HAMAMATSU**

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Solid State Division

1126-1 Ichino-cho, Hamamatsu City, 435-8558 Japan, Telephone: (81) 053-434-3311, Fax: (81) 053-434-5184, <http://www.hamamatsu.com>

U.S.A.: Hamamatsu Corporation: 360 Foothill Road, P.O. Box 6910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1) 908-231-0960, Fax: (1) 908-231-1218

Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH: Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49) 08152-3750, Fax: (49) 08152-2658

France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L.: 8, Rue du Saule Trappu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: 33-(1) 69 53 71 00, Fax: 33-(1) 69 53 71 10

United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited: 2 Howard Court, 10 Tewin Road, Welwyn Garden City, Hertfordshire AL7 1BW, United Kingdom, Telephone: (44) 1707-294888, Fax: (44) 1707-325777

North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB: Smidesvägen 12, SE-171 41 Solna, Sweden, Telephone: (46) 8-509-031-00, Fax: (46) 8-509-031-01

Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L.: Strada della Moia, 1/E, 20020 Anese, (Milano), Italy, Telephone: (39) 02-935-81-733, Fax: (39) 02-935-81-741

Information furnished by HAMAMATSU is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omissions. Specifications are subject to change without notice. No patent rights are granted to any of the circuits described herein. ©2003 Hamamatsu Photonics K.K.

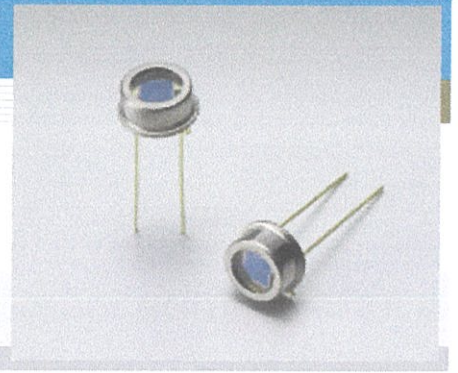
Cat. No. KPIN1025E04  
Aug. 2003 DN

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PHOTODIODE

# Si PIN photodiode S1223 series

For visible to IR, precision photometry



### Features

- High sensitivity
- High reliability
- High-speed response  
S1223:  $f_c=30$  MHz  
S1223-01:  $f_c=20$  MHz
- Low capacitance

### Applications

- Optical measurement equipment
- Analytical equipment, etc.

### General ratings

Parameter	Symbol	S1223	S1223-01	Unit
Window material	-	borosilicate glass		-
Package	-	TO-5		-
Active area size	A	2.4 × 2.8	3.6 × 3.6	mm
Effective active area	-	6.6	13	mm <sup>2</sup>

### Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	S1223	S1223-01	Unit
Reverse voltage	$V_R$ Max.	30		V
Power dissipation	P	100		mW
Operating temperature	$T_{opr}$	-40 to +100		°C
Storage temperature	$T_{stg}$	-55 to +125		°C

### Electrical and optical characteristics ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )

Parameter	Symbol	Condition	S1223			S1223-01			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Spectral response range	$\lambda$		-	320 to 1100	-	-	320 to 1100	-	nm
Peak sensitivity wavelength	$\lambda_p$		-	960	-	-	960	-	nm
Photo sensitivity	S	$\lambda=\lambda_p$	-	0.6	-	-	0.6	-	AW
		$\lambda=660$ nm	-	0.45	-	-	0.45	-	
		$\lambda=780$ nm	-	0.52	-	-	0.52	-	
		$\lambda=830$ nm	-	0.54	-	-	0.54	-	
Short circuit current	$I_{sc}$	100 lx	5	6.3	-	10	13	-	$\mu\text{A}$
Dark current	$I_D$	$V_R=20$ V	-	0.1	10	-	0.2	10	nA
Temp. coefficient of $I_D$	$T_{CID}$		-	1.15	-	-	1.15	-	times/°C
Cut-off frequency	$f_c$	$V_R=20$ V, -3 dB	-	30	-	-	20	-	MHz
Terminal capacitance	Ct	$V_R=20$ V, $f=1$ MHz	-	10	-	-	20	-	pF
Noise equivalent power	NEP	$V_R=20$ V, $\lambda=\lambda_p$	-	$9.4 \times 10^{-15}$	-	-	$1.3 \times 10^{-14}$	-	$\text{W}/\text{Hz}^{1/2}$

SOLID STATE DIVISION

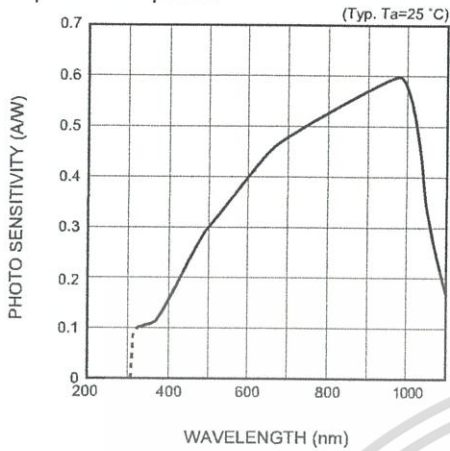
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขอยังเงินเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

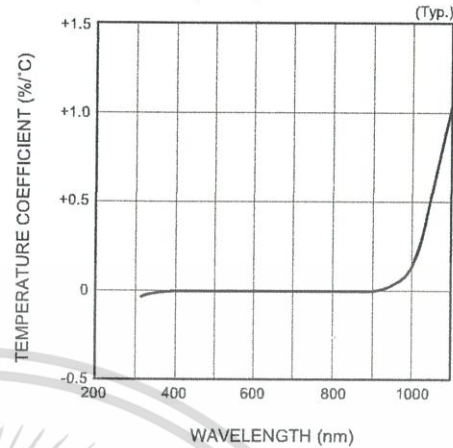
**HAMAMATSU**

# Si PIN photodiode S1223 series

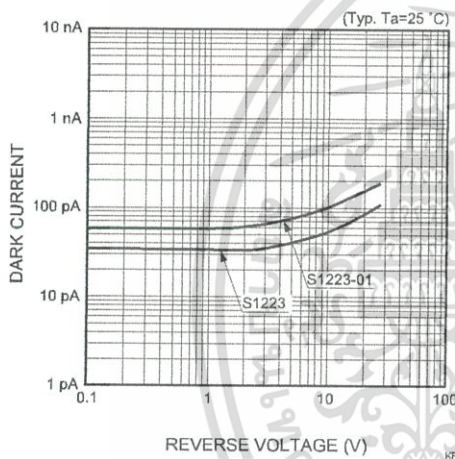
## ■ Spectral response



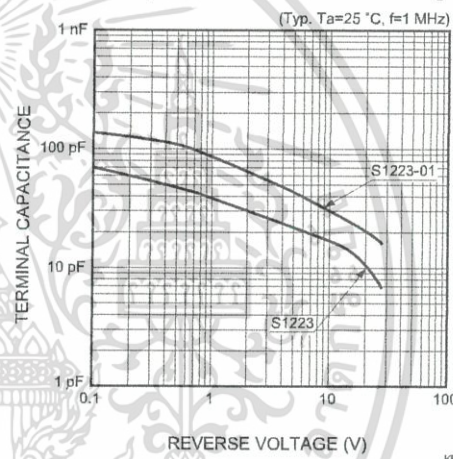
## ■ Photo sensitivity temperature characteristic



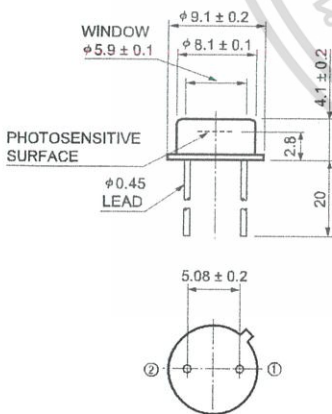
## ■ Dark current vs. reverse voltage



## ■ Terminal capacitance vs. reverse voltage



## ■ Dimensional outline (unit: mm)



The glass window may extend a maximum of 0.2 mm above the upper surface of the cap.

**HAMAMATSU**  
HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Solid State Division  
1126-1 Ichino-cho, Hamamatsu City, 435-8558 Japan, Telephone: (81) 53-434-3311, Fax: (81) 53-434-5184, www.hamamatsu.com

U.S.A.: Hamamatsu Corporation: 360 Foothill Road, P.O.Box 6910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1) 908-231-0960, Fax: (1) 908-231-1218  
Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH: Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49) 08152-3750, Fax: (49) 08152-2658  
France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L.: 19, Rue du Saule Trapu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: 33-(1) 69 53 71 00, Fax: 33-(1) 69 53 71 10  
United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited: 2 Howard Court, 10 Tewin Road, Welwyn Garden City, Hertfordshire AL7 1BW, United Kingdom, Telephone: (44) 1707-294888, Fax: (44) 1707-325777  
North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB: Smidesvägen 12, SE-171 41 Solna, Sweden, Telephone: (46) 8-509-031-00, Fax: (46) 8-509-031-01  
Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L.: Strada della Moia, 1/E, 20020 Arese, (Milano), Italy, Telephone: (39) 02-935-61-733, Fax: (39) 02-935-61-741

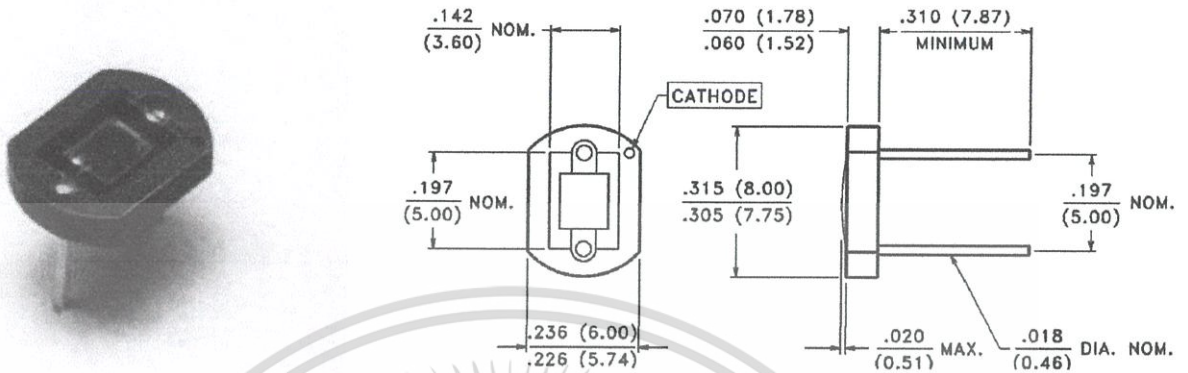
Cat. No. KPIN1050E01  
Aug. 2006 DN

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# VTB Process Photodiode

# VTB8440H, 8441H

## PACKAGE DIMENSIONS inch (mm)



CASE 21 8 mm CERAMIC  
CHIP ACTIVE AREA: .008 in<sup>2</sup> (5.16 mm<sup>2</sup>)

## PRODUCT DESCRIPTION

Planar silicon photodiode in a recessed ceramic package. Chip is coated with a protective layer of epoxy. These diodes have very high shunt resistance and have good blue response.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature: -20°C to 75°C  
Operating Temperature: -20°C to 75°C

**RoHS Compliant**

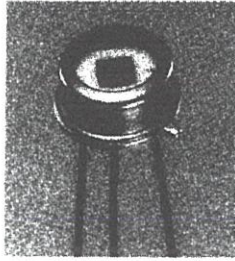


## ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS @ 25°C (See also VTB curves, pages 21-22)

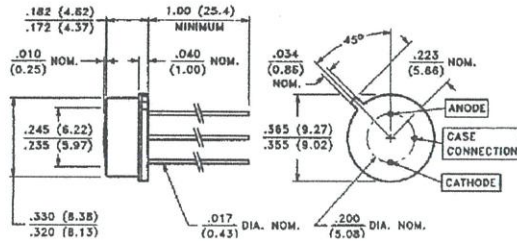
SYMBOL	CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	VTB8440H			VTB8441H			UNITS
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I <sub>SC</sub>	Short Circuit Current	H = 100 fc, 2850 K	35	45		35	45		μA
TC I <sub>SC</sub>	I <sub>SC</sub> Temperature Coefficient	2850 K		.12	.23		.12	.23	%/°C
V <sub>OC</sub>	Open Circuit Voltage	H = 100 fc, 2850 K		490			490		mV
TC V <sub>OC</sub>	V <sub>OC</sub> Temperature Coefficient	2850 K		-2.0			-2.0		mV/°C
I <sub>D</sub>	Dark Current	H = 0, V <sub>R</sub> = 2.0 V			2000			100	pA
R <sub>SH</sub>	Shunt Resistance	H = 0, V = 10 mV		.07			1.4		GΩ
TC R <sub>SH</sub>	R <sub>SH</sub> Temperature Coefficient	H = 0, V = 10 mV		-8.0			-8.0		%/°C
C <sub>J</sub>	Junction Capacitance	H = 0, V = 0		1.0			1.0		nF
S <sub>R</sub>	Sensitivity	365 nm		.10			.10		A/W
λ <sub>range</sub>	Spectral Application Range		320		1100	320		1100	nm
λ <sub>p</sub>	Spectral Response - Peak			920			920		nm
V <sub>BR</sub>	Breakdown Voltage		2	40		2	40		V
θ <sub>1/2</sub>	Angular Resp. - 50% Resp. Pt.			±50			±50		Degrees
NEP	Noise Equivalent Power			5.9 x 10 <sup>-14</sup> (Typ.)			1.3 x 10 <sup>-14</sup> (Typ.)		W/√Hz
D*	Specific Detectivity			3.9 x 10 <sup>12</sup> (Typ.)			1.7 x 10 <sup>13</sup> (Typ.)		cm√Hz/W

E G & G VACTEC

T-4(51



PACKAGE DIMENSIONS Inch (mm)



CASE 14A TO-5 HERMETIC  
CHIP ACTIVE AREA: .008 in<sup>2</sup> (5.16 mm<sup>2</sup>)

PRODUCT DESCRIPTION

Planar silicon photodiode in a "flat" window, three lead TO-5 package. Chip is isolated from the case. The third lead allows the case to be grounded. These diodes have very high shunt resistance and good blue response.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature: -40°C to 110°C  
Operating Temperature: -40°C to 110°C

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS @ 25°C (See also VTB curves, pages 12-13)

SYMBOL	CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	VTB5040J			VTB5041J			UNITS
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I <sub>sc</sub>	Short Circuit Current	H = 100 fc, 2850 K	35	45		35	45		μA
TC I <sub>sc</sub>	I <sub>sc</sub> Temp. Coefficient	2850 K	.12	.23		.12	.23		% / °C
V <sub>oc</sub>	Open Circuit Voltage	H = 100 fc, 2850 K	490			490			mV
TC V <sub>oc</sub>	V <sub>oc</sub> Temp. Coefficient	2850 K	-2.0			-2.0			mV / °C
I <sub>d</sub>	Dark Current	H = 0, V <sub>R</sub> = 2.0 V			2000			100	pA
R <sub>SH</sub>	Shunt Resistance	H = 0, V = 10 mV	.07			1.4			GΩ
TC R <sub>SH</sub>	R <sub>SH</sub> Temp. Coefficient	H = 0, V = 10 mV	-8.0			-8.0			% / °C
C <sub>J</sub>	Junction Capacitance	H = 0, V = 0	1.0			1.0			nF
S <sub>R</sub>	Sensitivity	365 nm	0.1			0.1			A/W
λ <sub>range</sub>	Spectral Application Range		320	1100		320	1100		nm
λ <sub>p</sub>	Spectral Response - Peak		920			920			nm
V <sub>BR</sub>	Breakdown Voltage		2	40		2	40		V
θ <sub>1/2</sub>	Ang. Resp. - 50% Resp. Pt.		±45			±45			Degrees
NEP	Noise Equivalent Power		5.9 x 10 <sup>-14</sup> (Typ.)			1.3 x 10 <sup>-14</sup> (Typ.)			W/√Hz
D <sub>0</sub>	Specific Detectivity		3.9 x 10 <sup>12</sup> (Typ.)			1.7 x 10 <sup>13</sup> (Typ.)			cm <sup>2</sup> /Hz/W

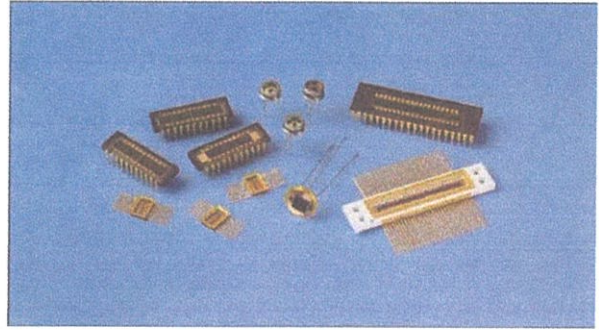
0991

27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BLUE SENSITIVE FOR BIASED OR UNBIASED OPERATION

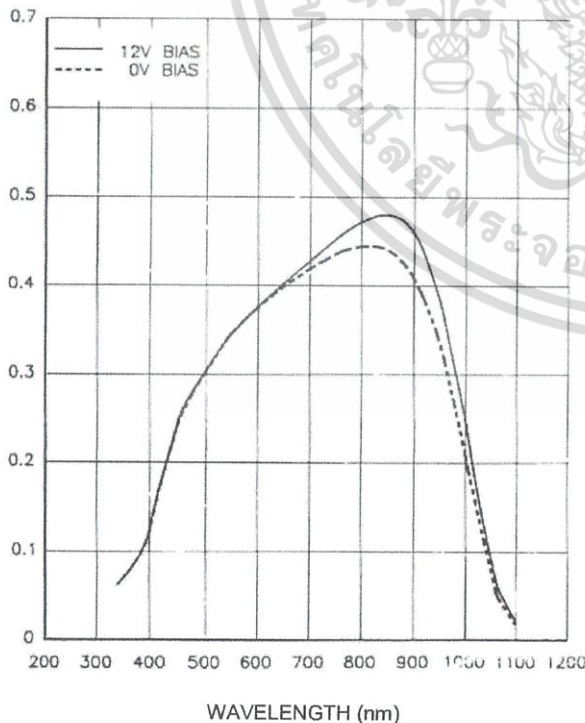
The Centronic Series 5T detectors offer high blue sensitivity coupled with high shunt resistance and low dark leakage current. They are particularly suited to low light level applications from 430-900 nm where the highest signal to noise ratio is important. They may be operated photovoltaically or with a reverse bias of up to 12V where lower capacitance is needed. The 5T range provides the most economic solution for all applications where high speed of response above 800 nm is not critical.



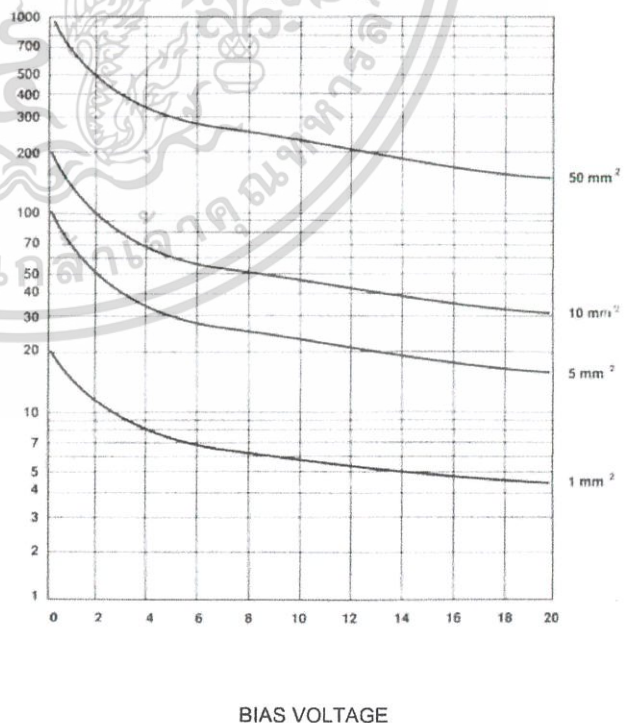
## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

	<b>Max. Rating</b>
DC Reverse Voltage	15V
Peak Pulse Current (1 $\mu$ s, 1% duty cycle)	200mA
Peak DC Current	10mA
Storage Temperature Range Except for those listed below:	-45°C to + 100°C -25°C to + 80°C
Operating Temperature Range Except for: LD12, LD16, LD20, LD35, MD25, MD100 and MD144-5T	-25°C to + 75°C 0°C to + 75°C
Soldering Temperature for 5 seconds max.	200°C

Series 5T –Typical Spectral Response



Series 5T – Typical Capacitance versus Bias Voltage for a given Detector Area



## Electrical / Optical Specifications

Characteristics measured at 22°C (±2) ambient, and a reverse bias of 12 volts, unless otherwise stated. Shunt Resistance measured at ± 10mV.

For rise time on Quadrants, Linear and Matrix Arrays take figures for single element diodes having equivalent active area.

### Single Elements

Type No.	Active Area		Responsivity A/W λ = 436nm		Dark Current (nA)		NEP WHz <sup>-1/2</sup> λ = 436 nm Vr = 0V Typ.	Capacitance pF		Shunt Resistance Megohms		Risetime ns λ = 820 nm R <sub>L</sub> = 50 Ω Typ.	Package
	mm <sup>2</sup>	mm	Min.	Typ.	Max.	Typ.		Vr = 0V Max.	Vr = 12V Max.	Min.	Typ.		
OSD1-5T	1	1.13 dia	0.18	0.21	1	0.2	2.5 x 10 <sup>-14</sup>	35	7	250	1000	7	TO18
OSD3-5T	3	2.16 x 1.4	0.18	0.21	2	0.5	3.0 x 10 <sup>-14</sup>	80	20	100	700	9	TO18
OSD5-5T	5	2.52 dia	0.18	0.21	2	0.5	3.3 x 10 <sup>-14</sup>	130	35	100	600	9	TO5
OSD7.5-5T	7.5	2.75 x 2.75	0.18	0.21	3	1	4.6 x 10 <sup>-14</sup>	180	40	60	300	10	TO5
OSD15-5T	15	3.8 x 3.8	0.18	0.21	5	1	5.5 x 10 <sup>-14</sup>	390	80	50	200	12	TO5
OSD35-5T	35	5.9 x 5.9	0.18	0.21	10	2	7.5 x 10 <sup>-14</sup>	950	200	20	100	20	TO8
OSD50-5T	50	7.98 dia	0.18	0.21	15	5	1.6 x 10 <sup>-13</sup>	1300	270	5	25	26	TO8
OSD60-5T	62	7.9 x 7.9	0.18	0.21	25	6	2.3 x 10 <sup>-13</sup>	1800	310	3	12	30	TO8
OSD100-5T	100	11.3 dia	0.18	0.21	30	8	2.1 x 10 <sup>-13</sup>	2500	520	2	15	45	13
OSD300-5T	300	19.54 dia	0.18	0.21	200	30	3.5 x 10 <sup>-13</sup>	7500	1500	1	5	125	15

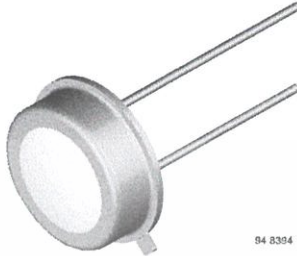
### Quadrants

(Values given are per element unless otherwise stated)

Type No.	Active Area (Total)			Responsivity A/W λ = 436 nm		Dark Current nA		NEP WHz <sup>-1/2</sup> λ = 436 nm Vr = 0V Typ.	Capacitance pF		Shunt Resistance Megohms		Crosstalk% λ = 900 nm		Package
	mm <sup>2</sup>	mm	Sep. mm	Min.	Typ.	Max.	Typ.		Vr = 0V Max.	Vr = 12V Max.	Min.	Typ.	Max.	Typ.	
QD7-5T	7	2.99 dia	0.2	0.18	0.21	6	2	2.3 x 10 <sup>-14</sup>	50	15	80	1200	5	1	TO5
QD50-5T	50	7.98 dia	0.2	0.18	0.21	30	3	4.6 x 10 <sup>-14</sup>	330	80	10	300	5	1	10
QD100-5T	100	11.3 dia	0.2	0.15	0.18	50	5	7.0 x 10 <sup>-14</sup>	650	130	5	100	5	1	11



## Silicon Photodiode



94 8394

### FEATURES

- Package type: leaded
- Package form: TO-5
- Dimensions (in mm):  $\varnothing$  8.13
- Radiant sensitive area (in mm<sup>2</sup>): 7.5
- High photo sensitivity
- Adapted to human eye responsivity
- Angle of half sensitivity:  $\varphi = \pm 50^\circ$
- Hermetically sealed package
- Cathode connected to package
- Flat glass window
- Low dark current
- High shunt resistance
- High linearity
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance with WEEE 2002/96/EC

RoHS  
COMPLIANT

### DESCRIPTION

BPW21R is a planar Silicon PN photodiode in a hermetically sealed short TO-5 case, especially designed for high precision linear applications.

Due to its extremely high dark resistance, the short circuit photocurrent is linear over seven decades of illumination level.

On the other hand, there is a strictly logarithmic correlation between open circuit voltage and illumination over the same range.

The device is equipped with a flat glass window with built in color correction filter, giving an approximation to the spectral response of the human eye.

### APPLICATIONS

- Sensor in exposure and color measuring purposes

### PRODUCT SUMMARY

COMPONENT	$I_{ra}$ ( $\mu$ A)	$\varphi$ (deg)	$\lambda_{0.5}$ (nm)
BPW21R	9	$\pm 50$	420 to 675

#### Note

- Test condition see table "Basic Characteristics"

### ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	REMARKS	PACKAGE FORM
BPW21R	Bulk	MOQ: 500 pcs, 500 pcs/bulk	TO-5

#### Note

- MOQ: minimum order quantity

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		$V_R$	10	V
Power dissipation	$T_{amb} \leq 50^\circ\text{C}$	$P_V$	300	mW
Junction temperature		$T_j$	125	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		$T_{amb}$	- 40 to + 125	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 40 to + 125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	$t \leq 5$ s	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance junction/ambient	Connected with Cu wire, 0.14 mm <sup>2</sup>	$R_{thJA}$	250	K/W



BASIC CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 50\text{ mA}$	$V_F$		1.0	1.3	V
Breakdown voltage	$I_R = 20\text{ }\mu\text{A}$ , $E = 0$	$V_{(BR)}$	10			V
Reverse dark current	$V_R = 5\text{ V}$ , $E = 0$	$I_{ro}$		2	30	nA
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_D$		1.2		nF
	$V_R = 5\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_D$		400		pF
Dark resistance	$V_R = 10\text{ mV}$	$R_D$		38		$\text{G}\Omega$
Open circuit voltage	$E_A = 1\text{ klx}$	$V_o$	280	450		mV
Temperature coefficient of $V_o$	$E_A = 1\text{ klx}$	$\text{TK}_{V_o}$		- 2		mV/K
Short circuit current	$E_A = 1\text{ klx}$	$I_k$	4.5	9		$\mu\text{A}$
Temperature coefficient of $I_k$	$E_A = 1\text{ klx}$	$\text{TK}_{I_k}$		- 0.05		%/K
Reverse light current	$E_A = 1\text{ klx}$ , $V_R = 5\text{ V}$	$I_{ra}$	4.5	9		$\mu\text{A}$
Sensitivity	$V_R = 5\text{ V}$ , $E_A = 10^{-2}\text{ to }10^5\text{ lx}$	$S$		9		nA/lx
Angle of half sensitivity		$\varphi$		$\pm 50$		deg
Wavelength of peak sensitivity		$\lambda_p$		565		nm
Range of spectral bandwidth		$\lambda_{0.5}$		420 to 675		nm
Rise time	$V_R = 0\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ , $\lambda = 660\text{ nm}$	$t_r$		3.1		$\mu\text{s}$
Fall time	$V_R = 0\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ , $\lambda = 660\text{ nm}$	$t_f$		3.0		$\mu\text{s}$

### BASIC CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)

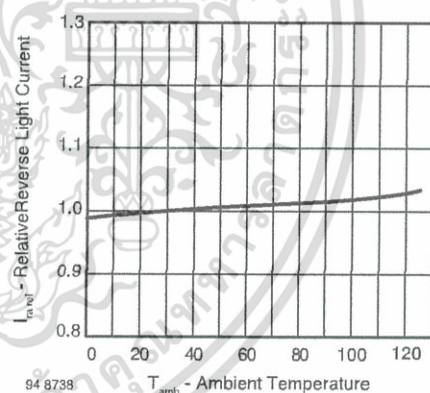
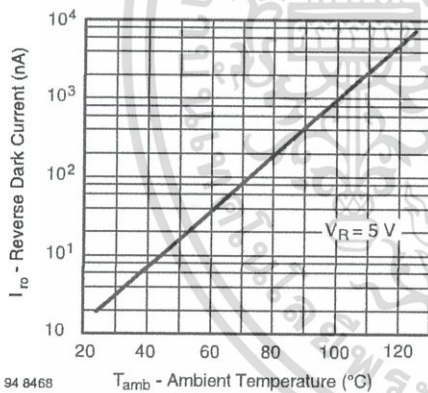


Fig. 1 - Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature

Fig. 2 - Relative Reverse Light Current vs. Ambient Temperature

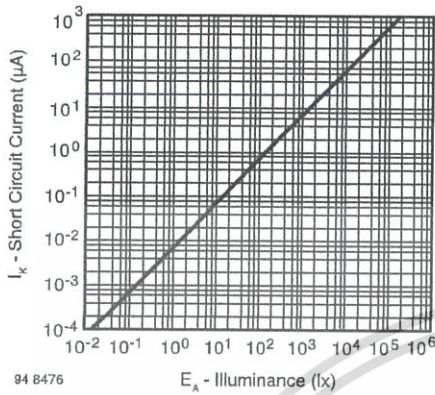


Fig. 3 - Short Circuit Current vs. Illuminance

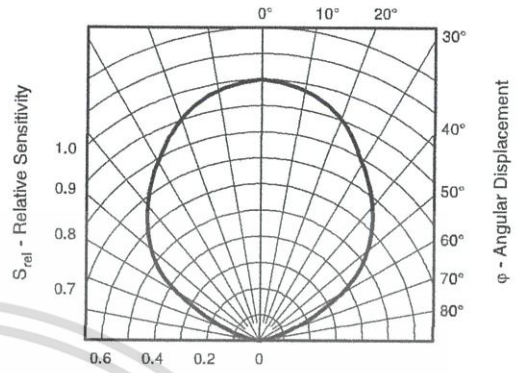


Fig. 6 - Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

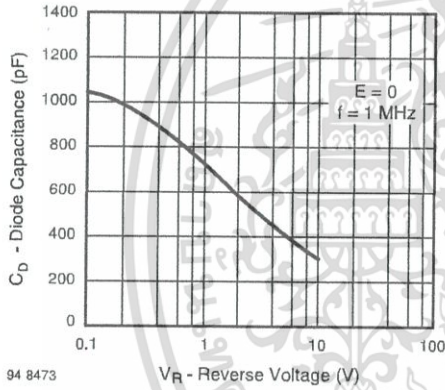


Fig. 4 - Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

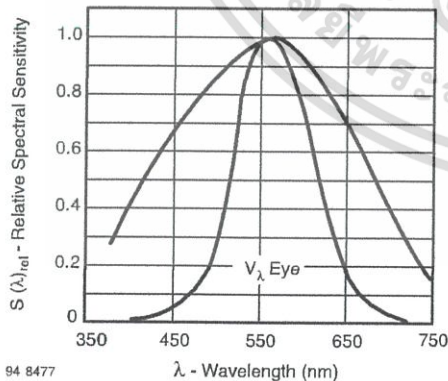


Fig. 5 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

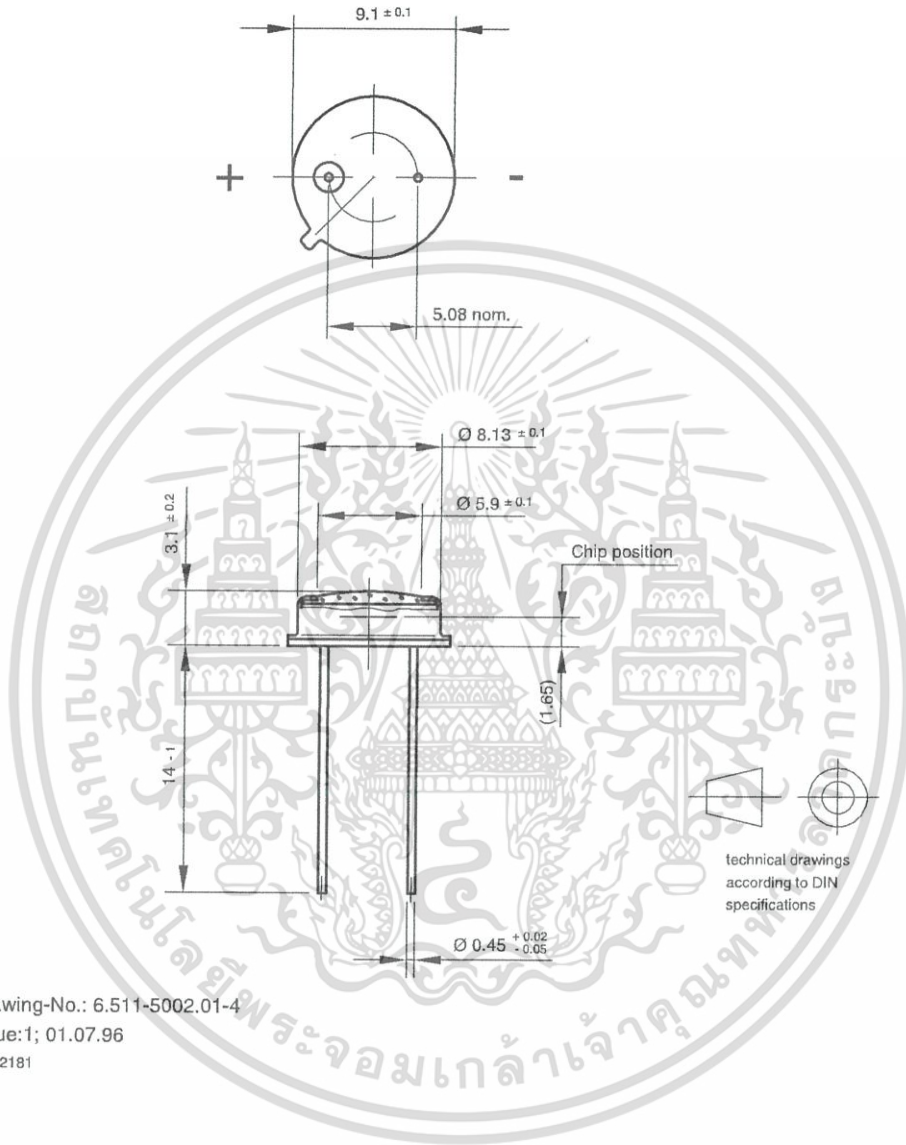


www.vishay.com

BPW21R

Vishay Semiconductors

PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



Drawing-No.: 6.511-5002.01-4

Issue:1; 01.07.96

96 12181



## Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

## Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.