การศึกษาสมบัติของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงภายใต้อุณหภูมิสูง

STUDY OF LIGHT EMITTING DIODE PERFORMAMCE UNDER HIGH TEMPERATURE

วิภารัตน์ ทองสุขา
วิศรุต บุญยิ่ง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาสมบัติของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงภายใต้อุณหภูมิสูง

STUDY OF LIGHT EMITTING DIODE PERFORMAMCE UNDER HIGH TEMPERATURE

วิภารัตน์ ทองสุขา

วิศรุต บุญยิ่ง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF LIGHT EMITTING DIODE PERFORMANCE UNDER HIGH TEMPERATURE

WIPARAT THONGSUKA
WISARUT BOONYING

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
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาสมบัติของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงภายใต้อุณหภูมิสูง STUDY OF LIGHT EMITTING DIODE PERFORMANCE UNDER HIGH TEMPERATURE
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิภารัตน์ ทองสุขา รหัสนักศึกษา 54050593 นายวิศรุต บุญยิ่ง รหัสนักศึกษา 54050596
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทรียา ดำรงศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก	
ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข	
ผศ.ดร.ภัทรียา ดำรงศักดิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาสมบัติของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงภายใต้อุณหภูมิสูง
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิภารัตน์ ทองสุขา รหัสนักศึกษา 54050593
	นายวิศรุต บุญยิ่ง รหัสนักศึกษา 54050596
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทรียา ดำรงศักดิ์

บทคัดย่อ

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและทดลองไดโอดเปล่งแสง 5 สี คือ สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว สีขาว Warm White และสีขาว Cool White ภายใต้อุณหภูมิ 6 ช่วง ตั้งแต่ 25 30 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งไดโอดเปล่งแสงทั้ง 5 สีนี้เป็นไดโอดเปล่งแสงแบบ Surface mount LED เป็นไดโอดเปล่งแสงที่เคลือบด้วยสารเรืองแสงหรือสาร Phosphor ทำหน้าที่กำหนดสีที่เปล่งออกมา และเป็นไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงอีกด้วย คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิขึ้นมาเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับไดโอดเปล่งแสงให้ได้อุณหภูมิ 6 ช่วง คือ 25 30 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสระบบควบคุมอุณหภูมิจำเป็นจะต้องมีความแม่นยำและความคงที่สูง คณะผู้วิจัยจึงได้ใช้การควบคุณอุณหภูมิโดยใช้ Temperature controller เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการจ่ายกระแสโดยใช้อุณหภูมิที่กำหนดเป็นเกณฑ์ การศึกษาคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงภายใต้อุณหภูมิสูงนั้นจะศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงที่วัดได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

คำสำคัญ : ไดโอดเปล่งแสง แรงดันในการเปิด ความเข้มแสง ความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study of Light Emitting Diode Performance Under High Temperature	
Students	Miss.Wiparat Thongsuka	Student ID 54050593
	Mr.Wisarut Boonying	Student ID 54050596
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics	
Department	Physics	
Academic Year	2014	
Advisor	Asst. Prof. Dr. Pattareeya Damrongsak	

Abstract

The researchers study and experiment of light emitting diodes 5 colors are red, blue, green, Warm White and Cool White with 6 under temperature range. Since 25 30 40 50 60 and 70 degrees Celsius, which is the 5 light emitting diode color is a Surface mount LED, light emitting diode is coated with phosphor for specified color voiced. And the light emitting diodes are too high power. The researchers to design and build up to temperature control system 6 range is 25 30 40 50 60 and 70 degrees Celsius, and temperature control system will need the accuracy and more stable. Researchers have used to control temperature by using Temperature controller. Study on control property of light emitting diodes under high temperature, it will study the electrical properties and optical properties of the light-emitting diode can be measured when the temperature rises

Keywords : Light Emitting Diode, Voltage turn on, Intensity, Luminescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษาสมบัติของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงภายใต้อุณหภูมิสูง ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบุคคล ต่างๆ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือตลอดมา อันได้แก่

1. ผศ.ดร.ภัทรียา ดำรงศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่คอยแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหา ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ
2. ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก อาจารย์ที่คอยช่วยเหลืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงานพิเศษ
3. ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์และ ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่กรุณาเป็นกรรมการคุมสอบ และให้คำปรึกษาข้อมูลข่าวสาร รวมทั้งคอยตรวจสอบผลการทำงานและผลงาน
4. อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้มาตลอดระยะเวลา 4 ปี
5. บิดามารดา ตลอดจนญาติพี่น้องซึ่งคอยให้สนับสนุนดูแลอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจให้ทุกเรื่องเสมอมา
6. เพื่อนๆทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจมาโดยตลอด

นอกจากนี้อาจยังมีบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความกรุณา มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ตลอดจนกำลังใจในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

นางสาววิภารัตน์ ทองสุขา
นายวิศรุต บุญยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ประวัติความเป็นมาของไดโอดเปล่งแสง	3
2.2 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง	4
2.3 ส่วนประกอบของหลอดไดโอดเปล่งแสง	4
2.4 หลักการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง	5
2.5 รูปแบบของหลอดไดโอดเปล่งแสง	6
2.6 คุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสง	7
2.7 การนำไดโอดเปล่งแสงไปใช้งานในปัจจุบัน	10
2.8 ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์	11
2.8.1 กลไกการเปล่งแสงลูมิเนสเซนซ์	12
2.9 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อไดโอดเปล่าแสง	13
2.10 มาตรฐานในระบบแสงสว่าง	14
2.11 ความส่องสว่างและความสว่าง	14
2.12 ระบบการให้แสง	14
2.13 สีของแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	17
3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	17
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	17
3.2.1 Power Supply DC/OUT 24V 10 A	17
3.2.2 Temperature Controller	18
3.2.3 Relay 24V DC	18
3.2.4 Breaker 200V 10A	19
3.2.5 Cartridge Heater 24V DC 250 W	19
3.2.6 อลูมิเนียมและแผ่นทองแดง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.7 กล่องใส่วงจร	20
3.2.8 ไดโอดเปล่งแสง	21
3.2.9 มัลติมิเตอร์ UT55	21
3.2.10 สายเทอร์โมคับเปิล	22
3.2.11 Agilent U2722A USB Modular Source Measure Unit	22
3.2.12 Spectrometer Avantes 2048-EDU	23
3.2.13 Luminance meter LS-110	23
3.3 วิธีทำการทดลอง	24
3.3.1 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ	24
3.3.2 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง	27
3.3.3 การทดลองวัดค่าสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง	28
3.3.4 การทดลองวัดค่าความสว่างของไดโอดเปล่งแสง	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปลายผล	31
4.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงที่อุณหภูมิสูง	31
4.2 ผลการวัดสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงที่อุณหภูมิสูง	40
4.3 ผลการวัดความสว่างของไดโอดเปล่งแสงที่อุณหภูมิสูง	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการวิจัย	48
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	2
4.1	แสดงตัวแปรของ Voltage Turn On ของไดโอดเปล่งแสง 5 สี	34
4.2	แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีแดง	37
4.3	แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว	38
4.4	แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน	38
4.5	แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสง สีขาวWarm White	38
4.6	แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสง สีขาว Cool White	39
4.7	แสดงย่านความยาวคลื่นและความยาวคลื่นที่มากที่สุดของไดโอดเปล่งแสง 5 สี	43
4.8	แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงสีแดงที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส	44
4.9	แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงสีเขียวที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส	44
4.10	แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส	45
4.11	แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส	45
4.12	แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส	45
4.13	แสดงตัวแปรที่สอดคล้องกับเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสว่าง ของไดโอดเปล่งแสง	47
5.1	แสดงอัตราการลดลงของไดโอดเปล่งแสง 5 สี ในช่วงอุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง	4
2.2	ส่วนประกอบของหลอดไดโอดเปล่งแสง	4
2.3	ส่วนประกอบหลักของหลอด LED ได้แก่ LED module, driver และ heat sink	5
2.4	โครงสร้างภายในของไดโอดเปล่งแสงและรอยต่อ PN	6
2.5	ไดโอดเปล่งแสง แบบแลมป์	6
2.6	ไดโอดเปล่งแสง แบบเซอร์เฟสเมาท์	7
2.7	การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวกันของพาหะอิสระที่อยู่ในแถบคอนดักชันและแถบเวเลนซ์	12
2.8	(กรีซ้าย) การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับแอกเซ็ปเตอร์ (กรณีขวา) การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับโดเนอร์และโฮลอิสระ	13
2.9	CIE Chromaticity Diagram	16
3.1	Power Supply ขนาด 24V รุ่น HXA-240-24	17
3.2	Temperature Controller ควบคุมการจ่ายไฟแบบ switch รุ่น REX-C100	18
3.3	Relay แบบ 4 ขา รุ่น OMRON	18
3.4	breaker 220V ขนาด 10A	19
3.5	Cartridge Heater แบบทรงกระบอก 24V 250W รัศมี 7.5 cm ยาว 11 cm	19
3.6	อลูมิเนียมขนาด 8×11×1 cm และแผ่นทองแดงขนาด และ 8×11×0.1 cm	20
3.7	กล่องใส่วงจรขนาด 21×26 cm	20
3.8	ไดโอดเปล่งแสงขนาด 5V 120mA องใส่วงจรขนาด 21×26 cm	21
3.9	มัลติมิเตอร์ รุ่น UT55	21
3.10	สายเทอร์โมคับเปิล type K	22
3.11	Agilent U2722A USB Modular Source Measure Unit	22
3.12	Spectrometer Avantes 2048 - EDU	23
3.13	กล้อง Luminance รุ่น LS-110	23
3.14	การออกแบบวงจรเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสให้กับ Heater	24
3.15	แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิเมื่อต่อเสร็จแล้ว	24
3.16	แสดงการกัดอลูมิเนียมด้วนหัวกัดขนาด 10 mm	25
3.17	อลูมิเนียมเมื่อกัดเสร็จแล้ว	25
3.18	นำอุปกรณ์ทั้งหมดประกบเข้าด้วยกันและยึดด้วนสกูลทั้ง 4 มุม	26
3.19	Set up เครื่องทั้งหมดเพื่อเตรียมการทดลอง	26
3.20	ระบบการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของหลอดแอลอีดี	27
3.21	โปรแกรมที่ใช้ควบคุม Agilent U2722A USB Modular Source Measure Unit	28
3.22	ระบบการวัดสเปกตรัมของแอลอีดี	28
3.23	แสดงการประมวลผมของโปรแกรม Avasoft 7.4	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.24	ระบบการวัดความสว่างของแอลอีดี	30
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีแดง	31
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว	32
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน	32
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White	33
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White	33
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage turn on กับ Temperature ของไดโอดเปล่งแสง 5 สี	34
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีแดง	35
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว	35
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน	36
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White	36
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White	37
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ ของไดโอดเปล่งแสง 5 สี	39
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีแดง	40
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว	41
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน	41
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White	42
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ย ของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างเฉลี่ยกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสง 5 สี	46
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง(normalized)กับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสง 5 สี	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode : LED) คืออุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ชนิดหนึ่ง ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงสว่างได้

สิ่งประดิษฐ์ถูกนำมาใช้งานเป็นส่วนแสดงผลการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่นการแสดงการเปิดปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะ ตัวหลอด LED เองเมื่อทำให้เกิดแสงขึ้นจะกินกระแสน้อยมากประมาณ 1-20mA มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทนทานต่อสภาวะอากาศการสั่นสะเทือน และมีหลากหลายสีใช้เลือกใช้

ในปัจจุบัน LED ได้ถูกพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในด้านสีของแสงที่เปล่งออกมา ไม่ว่าจะเป็นสีแดง สีเขียว สีส้ม และสีน้ำเงิน ซึ่งการเกิดขึ้นของแอลอีดีสีน้ำเงินนี้ ทำให้ครบแม่สี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน และเกิดเป็นจุดเริ่มต้นของจอแอลอีดี และแอลอีดีในงานไฟประดับต่างๆ เนื่องจากในการใช้งาน LED ได้มีความหลากหลายมากขึ้นและในบางครั้งได้มีการนำสิ่งประดิษฐ์มาใช้งานที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงซึ่งส่งผลต่อการทำงานของสิ่งประดิษฐ์

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการศึกษาสเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมาจากหลอด LED ภายใต้อุณหภูมิสูง เพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสง ของ LED 5 สี ว่ามีความแตกต่างของแสงที่เปล่งออกมาจาก LED อย่างไรบ้าง โดยผู้วิจัยได้ออกแบบระบบเพื่อที่จะให้ความร้อนกับ LED เพื่อใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 25-70 องศาเซลเซียส

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส

1.2.2 เพื่อออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ความร้อนกับไดโอดเปล่งแสงในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส

1.3.2 ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ความร้อนกับไดโอดเปล่งแสงในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับไดโอดเปล่งแสง

1.4.2 ศึกษาระบบที่สามารถควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิให้กับไดโอดเปล่งแสง

1.4.3 จัดทำระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิให้กับไดโอดเปล่งแสง

1.4.4 จัดเตรียมระบบเพื่อวัดสมบัติทางไฟฟ้า สเปกตรัม และความสว่างของไดโอดเปล่งแสง

1.4.5 ทำการทดลองการวัดสมบัติทางไฟฟ้า สเปกตรัม และความสว่างของไดโอดเปล่งแสง

1.4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง

1.4.7 จัดทำเล่มโครงงานพิเศษ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ขั้นตอนที่ 1										
ขั้นตอนที่ 2										
ขั้นตอนที่ 3										
ขั้นตอนที่ 4										
ขั้นตอนที่ 5										
ขั้นตอนที่ 6										
ขั้นตอนที่ 7										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบความแตกต่างของสมบัติทางไฟฟ้าในไดโอดเปล่งแสงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

1.5.2 สามารถอธิบายประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

1.5.3 ทราบความแตกต่างของสเปกตรัมในแต่ละสีของไดโอดเปล่งแสงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

1.5.4 สามารถออกแบบระบบควบคุมการเพิ่มของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของไดโอดเปล่งแสง

เมื่อกล่าวถึงความเป็นมาของหลอด LED (Light Emitting Diode) หรือไดโอดเปล่งแสง ไดโอดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดสองขั้ว ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า โดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว และกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงไดโอด มักจะหมายถึงไดโอดที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (semiconductor diode) ซึ่งก็คือผลึกของสารกึ่งตัวนำที่ต่อกันได้ทางขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว

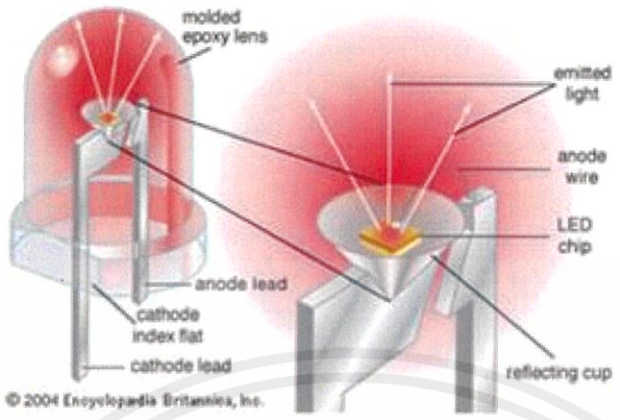
ในส่วนของหลอด LED หรืออาจเรียกว่า solid-state lighting (SSL) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอดที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบในรูปของอิเล็กโตรลูมิเนสเซนต์ (electroluminescence) สีของแสงที่เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้ และเปล่งแสงได้ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ช่วงแสงที่มองเห็น (visible light) และช่วงอินฟราเรด (infrared) ผู้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงขึ้นเป็นคนแรก คือ นิก โฮโลยัก (Nick Holonyak Jr.) แห่งบริษัท เจเนรัลอิเล็กทริก (General Electric Company) โดยได้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงแสงสีแดงที่มองเห็นและสามารถใช้งานได้ในเชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ.1962 จนกระทั่งช่วงทศวรรษที่ 1970 จอร์จ คราฟอร์ด (George Craford) จึงได้คิดค้น LED สีเหลือง (amber) ขึ้นเป็นครั้งแรกและได้พัฒนาความสว่างของ LED สีแดงและสีแดงอมส้มด้วย

ต่อมาจนกระทั่ง ในปี 1990 นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น 3 คน ได้ร่วมกันพัฒนาจนประสบความสำเร็จ ซึ่งภายหลังทั้ง 3 คนนี้จึงได้รับการยกย่องและได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี 2014 ที่ผ่านมา ในฐานะเป็นผู้คิดค้นสิ่งประดิษฐ์ ที่จะทำให้เกิดการปฏิวัติวงการทั้งโลก ด้านไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้พลังงาน ในศตวรรษที่ 21 เลยทีเดียว [1]

ในช่วงแรกๆ นั้นหลอด LED ใช้เป็นตัวบ่งบอกสัญญาณ (indicator light) ในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข รีโมทคอนโทรลและกระติกน้ำร้อน เป็นต้น เพราะตัวหลอด LED มีขนาดเล็ก และใช้กระแสไฟฟ้าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแสงที่ออกมา ทำให้ในเวลาต่อมามีผู้พัฒนาหลอด LED อย่างต่อเนื่อง จากแรกเริ่มที่ให้สีโทนร้อน คือ สีแดง ส้ม เหลือง ต่อมาได้มีการคิดค้นวิธีการสร้างหลอดที่ให้สีโทนเย็น คือ สีเขียวและน้ำเงิน และได้แสงขาวโทนเย็นขึ้น จึงมีการนำมาใช้งานทดแทนหลอดไฟฟ้าชนิดอื่นอย่างจริงจัง ทั้งที่ใช้เป็นแสงขาวโทนสีต่างๆ รวมทั้งใช้เป็นไฟเปลี่ยนสีจากการผสมสี RGB ที่ทำให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ที่ไม่รู้จบในงานออกแบบ ประดับตกแต่ง ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และงานอุตสาหกรรมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โครงสร้างของ ไดโอดเปล่งแสง

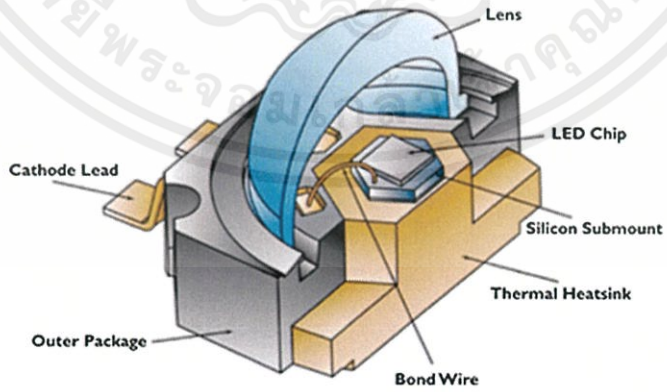


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง

ภายในหลอดแอลอีดีประกอบ ด้วยแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีติดอยู่ในถ้วยสะท้อนแสง มีเส้นลวดทองคำขนาดเล็กมากเชื่อมระหว่างสารกึ่งตัวนำและขาแอลอีดี ชิ้นส่วนทั้งหมดถูกบรรจุในพลาสติกใสทรงโดม ซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสง โดยลักษณะลำแสงที่ออกจากหลอดแอลอีดีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น รูปร่างของถ้วยสะท้อนแสง ขนาดของชิปสารกึ่งตัวนำ รูปร่างเลนส์ ระยะห่างระหว่างตัวชิปกับผิวพลาสติกที่หุ้มอยู่

2.3 ส่วนประกอบของหลอดไดโอดเปล่งแสง

หลอดไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสามส่วน ได้แก่ ชุดของหลอดไฟ (LED module) ตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ตัวหลอด (driver) และอุปกรณ์ระบายความร้อนของหลอด (heat sink)



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของหลอดไดโอดเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED module อาจประกอบไปด้วย LED เม็ดเดียว หรือหลายเม็ดรวมกันในแผงเดียวกัน โดย LED แต่ละเม็ดประกอบด้วย ชิป (chip) ของสารกึ่งตัวนำ ตัวฐาน และขาสำหรับใช้ต่อกับวงจร

ทั้งหมด หุ้มเคลือบด้วยวัสดุอีพ็อกซี่เรซิน (epoxy resin) ที่มีลักษณะโปร่งใสเหมือนเลนส์ เพื่อป้องกันชิ้นส่วนภายในตัว LED และกำหนดทิศทางการกระจายแสง

LED module LED driver LED heat sink

รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบหลักของหลอด LED ได้แก่ LED module, driver และ heat sink

สารกึ่งตัวนำชนิด P และ N นั้นเป็นตัวกำหนดความยาวคลื่นของแสงที่ปล่อยออกมาหรือสีของแสงนั่นเอง ในช่วงแรกของการพัฒนาหลอด LED นั้นเริ่มจากแสงอินฟราเรดที่ทำจากสารแกลเลียมอาร์เซไนด์ (gallium arsenide; GaAs) ต่อมาเมื่อมีความก้าวหน้าในการผลิตสารที่ทำให้เกิดสีของแสงมากขึ้น จึงได้สีของแสงที่หลากหลายขึ้นเช่นในปัจจุบัน

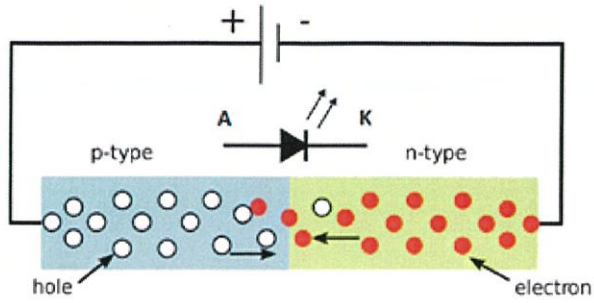
Driver เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากปริมาณสูงให้น้อยลงก่อนจ่ายเข้าสู่ตัวหลอด นอกจากนั้นยังควบคุมความเข้มแสง โดยการเปลี่ยนความถี่ และจังหวะความมืดสว่างของเม็ด LED

Heat sink เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนจากหลอด LED ซึ่งคุณภาพการระบายความร้อนขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ เช่น ทองแดง (ที่มีคุณสมบัติระบายความร้อนดีที่สุด) ทองคำและอลูมิเนียมซึ่งนิยมใช้ที่สุด เป็นต้น

2.4 หลักการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง

ในตัวชิปของ LED ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำขั้วประจุบวกชนิด P (Positively changed material) ที่อยู่ห่างจากสารกึ่งตัวนำขั้วประจุลบชนิด N (Negatively changed material) เล็กน้อย จุดนี้เรียกว่ารอยต่อ (junction) เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านหลอด LED ตัวนำแอโนดจะไปดันขั้วประจุบวก และตัวนำแคโทดไปดันขั้วประจุลบให้มา ชนกัน เมื่อประจุบวกและประจุลบมาชนกันที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด ก็จะจับตัวกันและคายพลังงานออกมาในรูปของแสงสว่าง ซึ่งเรียกว่า “อิเล็กโตรลูมิเนสเซนต์”ทำให้เกิดแสงสว่างที่บริเวณด้านหน้าตัวหลอด ซึ่งมีอุณหภูมิในการทำงานที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป แสงสว่างที่ออกมาจะลดลง แสงจากหลอด LED มีลักษณะพุ่งออกในทิศทางเดียว แต่ในกรณีที่ต้องการให้แสงกระจายออกในมุมแคบหรือกว้างเพิ่มขึ้นก็จะใช้อุปกรณ์ครอบหลอด LED ในลักษณะของเลนส์(package) ไว้เพื่อบังคับทิศทางของการกระจายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



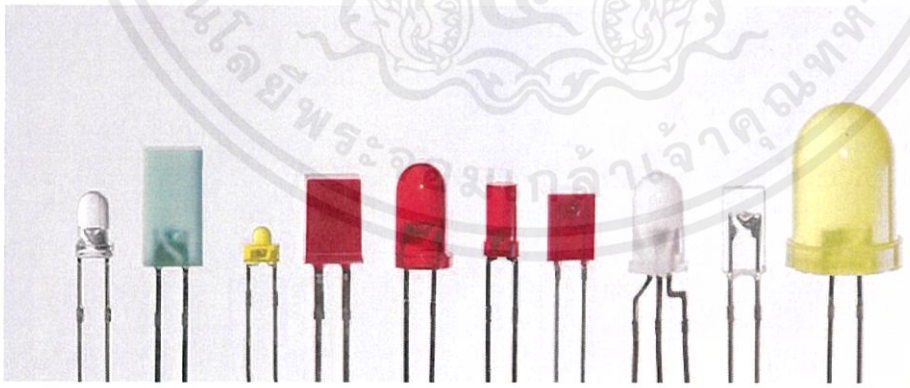
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของไดโอดเปล่งแสงและรอยต่อ PN

หลอด LED สามารถเปิดปิดได้ทันที ไม่ต้องใช้ระยะเวลาในการจุดติดเหมือนหลอดไส้ที่ต้องเผาไส้หลอด หรือหลอดดิสชาร์จที่ต้องปรับแรงดันก๊าซภายใน หลอด LED สามารถปรับความเข้มของแสงได้ด้วยอุปกรณ์หรี่ไฟ (dimmer) โดยขึ้นอยู่กับรุ่น และอุปกรณ์ควบคุมซึ่งจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนเลือกใช้ [3]

2.5 รูปแบบของหลอดไดโอดเปล่งแสง

รูปแบบของหลอด LED ที่มีการใช้งานแพร่หลายนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. Indicator-type LED เป็นหลอดไฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 mm หรือไม่เกิน 10 mm เป็น 1 หน่วยของหลอด LED ที่มีขนาดเล็กเรียงกันคล้ายเม็ดข้าวโพด ใช้เป็นไฟบอกสัญญาณ เช่น ไฟสัญญาณจราจร อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ป้าย LED (panel display) เป็นต้น ต่อมามีการพัฒนาหลอดโดยรวมหลอด 2 หน่วยเข้ากันเป็น 1 หน่วยเพื่อให้แสงสว่างได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น เรียกว่า Super Flux LED มี 4 ขาใช้กับไฟท้าย ไฟเบรค ไฟเลี้ยวของรถยนต์ และป้ายอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

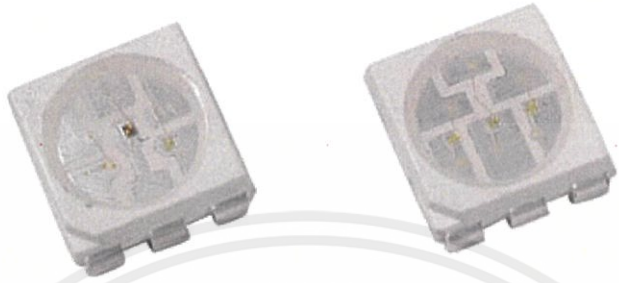


รูปที่ 2.5 ไดโอดเปล่งแสง แบบแลมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Illuminator-type LED หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า SMD (Surface Mounted Diode), HB-LED (High Brightness LED) หรือ HP-LED (High Power LED)โดยใน 1 หน่วยจะมีการแยกตัวแผงควบคุมออกมาชัดเจนและมีอุปกรณ์แปลงไฟจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

ก่อนผ่านเข้าสู่ตัวหลอด ส่วนใหญ่ใช้เพื่อทดแทนหลอดไฟประเภทเดิมๆ โดยนำมาประกอบเข้ากับโครงหลอดไฟรูปแบบต่างๆ เช่น MR16, PAR38 และฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น หรือออกแบบมาสำหรับดวงโคมที่ใช้หลอด LED โดยเฉพาะ [2]



รูปที่ 2.6 ไดโอดเปล่งแสง แบบเซอร์เฟสเมาท์

2.6 คุณสมบัติของหลอดไดโอดเปล่งแสง

คุณสมบัติของหลอด LED ที่ควรพิจารณาเพื่อการเลือกใช้ประกอบด้วย ปริมาณแสง (ลูเมน) ประสิทธิผลของแสง(luminous efcacy; ลูเมน/วัตต์) อุณหภูมิสีของแสง(correlated colour temperature; เคลวิน) ความถูกต้องของสีภายใต้แสง (colour rendering index; CRI) การกระจายแสง อายุการใช้งาน การลดลงของแสง ความเข้ากันได้กับระบบไฟฟ้าเดิมมาตรฐาน ราคา ระยะเวลาคืนทุน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการประหยัดพลังงาน เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบหลอด LED ที่พบในท้องตลาดปัจจุบันกับหลอดไฟรูปแบบเดิม ที่ใช้หลอด LED ลักษณะคล้ายกันทดแทน เช่น หลอดไส้แก้วฝ้าขนาด 40 วัตต์ มีปริมาณแสง 420 ลูเมน (ประสิทธิผล 10.5 ลูเมน/วัตต์) กับหลอดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ขนาด 9 วัตต์ ปริมาณแสง450 ลูเมน (ประสิทธิผล 50 ลูเมน/วัตต์) และหลอดLED ขนาด 5 วัตต์ มีปริมาณแสง 450 ลูเมน (ประสิทธิผลลูเมน/วัตต์) พบว่าหลอด LED มีประสิทธิผลสูงกว่าหลอดประเภทเดิมมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ พบว่าหลอด T8 ขนาด 36 วัตต์ ปริมาณแสง 3,250 ลูเมน(ประสิทธิผล 90 ลูเมน/วัตต์) ขณะที่หลอด LED รูปแบบ T8 ขนาด 17 วัตต์ (LED 300 เม็ด) มีปริมาณแสงเพียง 1,650 ลูเมน (ประสิทธิผล 97 ลูเมน/วัตต์) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการนำหลอด LED ที่มีรูปแบบคล้ายกันมาทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมอาจได้ปริมาณแสงลดลง แม้ว่าจะมีประสิทธิผลสูงกว่าก็ตาม

ทั้งนี้ปริมาณแสงของหลอด LED รูปแบบ T8 ยังขึ้นอยู่กับวิธีเรียงหลอด LED ระยะห่างของเม็ด LED จำนวนเม็ดLED คุณภาพของเม็ด LED อีกด้วย เมื่อยังไม่มีมาตรฐานร่วมของผู้ผลิตหลอดไฟมารองรับประสิทธิผลและคุณภาพอย่างชัดเจน จึงเป็นไปได้ว่าหลอดไฟประเภทเดียวกันจากผู้ผลิตแต่ละราย จะให้ปริมาณแสงและคุณภาพแสงแตกต่างกัน หรือแม้จากผู้ผลิตรายเดียวกันก็มีการพัฒนาการอย่างต่อเนื่อง จนทุกครั้งที่เปลี่ยนหลอดไฟใหม่จะได้หลอด LED ที่มีปริมาณแสงหรือมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิผลต่างไปจากเดิม ปัจจุบันหลอด LED ในท้องตลาดมีประสิทธิผลของแสงเฉลี่ยประมาณ 25 – 64 ลูเมน/วัตต์

หลอด LED สามารถให้สีของแสงได้เกือบทุกสี จากการผสมสีโดยใช้หลอด LED สีแดง น้ำเงิน และเขียว (RGB)ควบคุมด้วยแผงวงจรไฟฟ้า จึงเหมาะกับการประดับตกแต่งที่ต้องการสีสันและลวดลายที่เปลี่ยนไป ในการผสมสีแบบนี้ สามารถใช้วิธีการปรับความเข้ม-อ่อนเพื่อผสมแม่สี หรือเพิ่ม-ลดปริมาณแสงด้วยอุปกรณ์ปรับหรี่แสง (dimmer)สำหรับหลอด LED หรือหากต้องการเฉดสีพิเศษก็สามารถหาค่าพิกัด (co-ordinate) ในการผสมสีของแม่สี แต่ต้องผสมสีผ่านระบบคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์พิเศษ

สำหรับหลอด LED ที่ให้แสงขาวนั้น พบว่ายังมีสีผิดเพี้ยนอยู่บ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสเปกตรัมของแสงที่สารกึ่งตัวนำในเม็ด LED ผลิตได้ จึงพบว่า แม้จะมีการนำหลอด LED ไปใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย แต่กลับยังไม่เป็นที่นิยมในการให้แสงสว่างภายในอาคารมากนัก ส่วนหนึ่งเนื่องจากข้อจำกัดสำคัญ ที่ยังไม่มีการผลิต LED ซึ่งเปล่งแสงสีขาวอย่างแท้จริง ปัจจุบันมีการผลิต LED ที่เปล่งแสงขาวโดยทางอ้อมอยู่ 2 วิธี

วิธีแรก นับเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดและง่ายที่สุดคิดค้นโดยบริษัท Nichia เมื่อปี 2539 คือ การเคลือบ LED สีน้ำเงินด้วยสารเรืองแสงสีเหลือง อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ทำให้ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างลดลง และเมื่อมีการใช้งานไปสักระยะหนึ่ง สารเรืองแสงอาจจะเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ปริมาณแสงลดลงด้วย

วิธีที่สอง นับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า คือ การนำแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน มาผสมกันให้พอเหมาะเพื่อให้เป็นสีขาว ซึ่งมีข้อดีคือ นอกจากผสมกันเป็นสีขาวแล้ว ยังสามารถผสมสีออกมาเป็นสีต่างๆ ได้ตามต้องการด้วย แต่ในระยะยาวสีของแสงจะไม่คงที่สม่ำเสมอเหมือนเมื่อแรกติดตั้ง เพราะแต่ละสีมีอายุและอัตราหน่วงของการเสื่อมสภาพไม่เท่ากัน

นอกจากนี้ เมื่อผสมสีให้เป็นแสงขาวอาจจะไม่รวมตัวกันสนิท เห็นร่องรอยเหลื่อมกันของแสงสีที่นำมาผสม คือ สีแดง เขียว และน้ำเงิน อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีความยุ่งยากกว่าและมีค่าใช้จ่ายสูงในการบำรุงรักษาเนื่องจากต้องใช้หลอด LED เป็นจำนวนมาก

ในปัจจุบันสามารถเลือกใช้หลอด LED ที่ให้แสงขาว ในช่วงอุณหภูมิสีของแสงต่างๆ ได้ ตั้งแต่ 2,700-10,000 เคลวิน แต่สีของแสงอาจผิดเพี้ยนไปจากแสงของหลอดไฟประเภทเดิมๆ ไปบ้าง เช่น หลอดทังสเตนฮาโลเจนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จึงควรเทียบสีของแสงให้ใกล้เคียงกับแสงจากหลอดประเภทเดิมก่อนหากต้องนำมาใช้งานในบริเวณเดียวกัน เพื่อความกลมกลืนกันของแสง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของสีภายใต้แสง พบว่าหลอด LED มีค่า CRI ค่อนข้างสูงในช่วง 63-95 จึงไม่ด้อยไปกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีค่า CRI ในช่วง60-95 (ยิ่งมีค่า CRI สูงปริมาณแสงที่ได้อาจลดต่ำลงกว่ารุ่นที่มีค่า CRI ต่ำ) ซึ่งหลอด LED แต่ละยี่ห้อจะมีเทคนิคควบคุมความคลาดเคลื่อนของสี (Mac Adam Ellipse) ที่แตกต่างกัน จึงมีคุณภาพแสงและราคาต่างกันแต่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวังในการติดตั้งใช้งาน คือ หากไม่สามารถระบายความร้อนออกจากตัวชิปได้เป็นอย่างดีแล้ว เมื่ออุณหภูมิของตัวชิปสูงขึ้นจากอุณหภูมิปกติ จะทำให้สีของแสงมีความผิดเพี้ยนไป

การกระจายแสงของหลอด LED มีลักษณะพุ่งตรงออกจากตัวหลอดตั้งแต่มุมแคบๆ ถึง 180 องศา ซึ่งได้แสงเต็มประสิทธิภาพ ไม่เกิดการสูญเสียปริมาณแสงที่กระจายไปด้านหลังตัวหลอด ซึ่งหากเป็นหลอดไฟประเภทอื่นจะต้องใช้ตัวสะท้อนแสงเพื่อช่วยกระจายแสงจากด้านหลังหลอดไฟไปทางด้านหน้า

การใช้หลอด LED ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ในโคมตะแกรงที่มีแผ่นสะท้อนแสงนั้น อาจจะไม่สามารถส่องสว่างในระดับที่เทียบเท่ากับหลอดเดิมและไม่สามารถให้ระดับความส่องสว่างที่สม่ำเสมอได้ ทั้งยังเกิดเงาในหลายทิศทางด้วย เพราะการกระจายแสงเมื่อใช้หลอด LED มีลักษณะคล้ายหยดน้ำ จึงมีพื้นที่การกระจายแสงน้อยกว่าเมื่อใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อ

หลอด LED สามารถใช้งานได้ดีและสว่างกว่าหลอดไฟประเภทอื่นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในการทำงานเดียวกัน และเมื่อยิ่งอุณหภูมิต่ำลงเรื่อยๆหลอด LED ก็จะยิ่งให้แสงสว่างมากขึ้น ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลอดประเภทอื่นใช้งานไม่ได้ เช่น ห้องเย็น หรือภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำในเมืองหนาว แต่ในประเทศไทยการใช้งานภายนอกอาคารที่ร้อนและชื้นอาจทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของหลอด LED ลดลง ส่งผลให้ปริมาณแสงลดลงด้วยหลอด LED ต้องทำงานร่วมกับ driver ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่แปรปรวน เช่น การใช้หลอด LED เพื่อตกแต่งสะพานอาจเกิดการสั่นสะเทือนจนทำให้จุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ หลุดหรือเคลื่อนออกจากกัน เป็นเหตุให้วงจรขาด จึงเกิดจุดมืดบอดของแสง หรืออาจถูกฟ้าผ่าทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย

Heat sink หรืออุปกรณ์ระบายความร้อนของหลอด LED เองก็เป็นอีกส่วนประกอบหนึ่งที่อาจทำให้หลอด LED มีสีของแสงผิดเพี้ยนไปหรืออาจมีอายุการใช้งานสั้นกว่าที่ระบุไว้ได้ หากระบายความร้อนออกจากตัวชิปไม่ดีพออุปกรณ์ระบายความร้อนส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุอลูมิเนียมซึ่งมีคุณสมบัติคายความร้อนที่ดีและมีน้ำหนักเบา แต่ต้องใช้พื้นที่ในการระบายความร้อนมาก จึงพบว่าดวงโคมสำหรับหลอด LED มักจะมีขนาดใหญ่กว่าดวงโคมชนิดเดียวกันที่ใช้กับหลอดไฟชนิดเดิมๆ เพราะมีอุปกรณ์ระบายความร้อนขนาดใหญ่ เช่น ดวงโคมส่องลงสำหรับหลอดทังสเตนฮาโลเจน MR16 จะมีขนาดหน้าตัดเล็กและมีความลึกน้อยกว่าดวงโคมที่ออกแบบมาสำหรับติดตั้งหลอด LED MR16 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การนำไดโอดเปล่งแสงไปใช้งานในปัจจุบัน

หลอด LED ได้พัฒนาจากตัวบ่งบอกสัญญาณบนหน้าปัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มาใช้เป็นไฟจราจรตามสี่แยกเมื่อประมาณสิบกว่าปีก่อน หลังจากนั้นหลอด LED ก็พัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการนำหลอด LED ไปใช้ในงานอุตสาหกรรม งานสถาปัตยกรรม งานภูมิสถาปัตยกรรมไปจนถึงระดับผังเมือง

สำหรับงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์หลายประเภทที่ใช้หลอด LED ในการให้แสงสว่าง เช่น ไฟฉายเครื่องคิดเลข ไฟสัญญาณจราจร ป้ายสัญญาณต่างๆสัญญาณแสงบนอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ หน้าจอ LCD ของโทรศัพท์มือถือ ไฟหน้าและไฟท้ายของรถยนต์ ไฟให้สัญญาณของประภาภาร โทรทัศน์จอ LED (LED TV) ป้ายโฆษณาประชาสัมพันธ์ และจอภาพยนตร์ขนาดใหญ่เป็นต้น

LED แล้วก็ยังมีแหล่งกำเนิดแสงที่เรียกว่า OLED(Organic Light-Emitting Diodes) ที่เข้ามาทดแทน LCD(Liquid Crystal Display) ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบดิจิตอลซึ่งนักวิจัยมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษค้นพบโดยบังเอิญว่าสารกึ่งตัวนำบางชนิดสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงได้เรียกว่า อิเล็กโทรลูมินิเซนต์ ซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ที่ให้สีต่างๆ เมื่อนำมาประกอบกันและให้พลังงานในจุดที่ต้องการก็จะเปล่งแสงประกอบกันเป็นภาพและสีตามต้องการเหมือนจอภาพ LED

OLED มีความหนาเพียง 100-150 นาโนเมตร เพราะเป็นสารอินทรีย์จึงสามารถประกอบอุปกรณ์ OLED บนวัสดุที่พับงอได้ เกิดเป็นจอภาพแบบยืดหยุ่น (exible display) ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่า จอภาพบาง แบน เบาให้สีคมชัดและยืดหยุ่นได้จากข้อดีดังกล่าวจึงมีการพัฒนาจอภาพที่ไม่กินพื้นที่ สามารถบิดงอได้โดยไม่ทำให้จอเสียหรือภาพล้ม ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี OLED มาใช้กับจอภาพคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คและโทรศัพท์มือถือรุ่น 3G ทำให้มีภาพเคลื่อนไหวที่ชัดเจน

เนื่องจากหลอด LED มีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยมากกว่าหลอดไฟชนิดอื่นๆ จึงเป็นทางเลือกในการติดตั้งในบริเวณที่เข้าไปบำรุงรักษาได้ยาก หรือเมื่อไม่ต้องมีการเปลี่ยนหลอดไฟบ่อยๆ เช่น ฝ้าเพดานที่มีความสูงค่อนข้างมาก งานใต้พื้นที่ดูแลรักษายาก อีกทั้งยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอุณหภูมิที่เย็นจัดถึงติดลบ และยังมีชนิดที่ทนต่อการระเบิดซึ่งสามารถใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเลียมด้วย

จากกระแสการประหยัดพลังงานและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จึงมีการนำแผงโซลาเซลล์รับพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วจ่ายเข้ากับวงจรของหลอด LED เนื่องจากหลอด LED ใช้พลังงานเพื่อการส่องสว่างน้อยมาก โดยกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันในแบตเตอรี่และจ่ายพลังงานเพื่อการส่องสว่างในเวลากลางคืน ส่วนมากจะใช้กับพื้นที่ที่สายไฟฟ้าแรงสูงจากทางการยังเข้าไม่ถึง แต่ก็เริ่มมีผู้คิดที่จะนำมาใช้ในเมือง เมื่อโซลาเซลล์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากก็อาจจะขายกลับสู่ระบบของการไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence)

ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence) เป็นชื่อเรียกปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเปล่งแสงทั้งหมด นอกเหนือจากการเปล่งแสงชนิดการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) และชนิดการแผ่รังสีเชเรนโกฟ (Cerenkov radiation) การเปล่งแสงแบบลูมิเนสเซนซ์เกิดจากการที่อะตอมหรืออิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากระดับพลังงานสูงลงมาสู่สถานะที่ระดับพลังงานต่ำ ลูมิเนสเซนซ์สังเกตได้ทั้งในวัสดุที่มีสถานะก๊าซ ของเหลวและของแข็ง ทั้งวัสดุชนิดอนินทรีย์และอินทรีย์ โดยวิธีการกระตุ้นให้พลังงานแก่วัสดุก็มีได้หลายวิธี เช่น การส่องแสง การยิงลำอิเล็กตรอน การยิงลำไอออน การเพิ่มการกดดัน การเพิ่มความร้อน การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การป้อนสนามไฟฟ้า และการฉีดกระแสไฟฟ้า เป็นต้น เมื่อพิจารณาตามลักษณะของวิธีการกระตุ้น สามารถแบ่งปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนต์ออกเป็น 7 แบบ ได้แก่

1) โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photo-luminescence) (ตัวย่อ PL) ตัวกระตุ้นที่ใช้ คือ แสง
   - ชนิดสโตกส์ (Stokes type)
   - ชนิดแอนติสสโตกส์ (Anti-Stokes type)
2) อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Electro-luminesance) (ตัวย่อ EL) ตัวกระตุ้นที่ใช้ คือ ไฟฟ้า
   - อินทรินซิกอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Intrinsic EL)
   - ไดโอดเปล่งแสง (Carrier Injection EL (LED)
3) แคโทดลูมิเนสเซนซ์ (Cathode-luminescence) ตัวกระตุ้นที่ใช้ คือ อิเล็กตรอน
4) เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermo-luminescence) ตัวกระตุ้นที่ใช้ คือ ความร้อน
5) ไทรโบลูมิเนสเซนซ์ (Tribo-luminescence) ตัวกระตุ้นที่ใช้ คือ การเสียดสี
6) เคมิคัลลูมิเนสเซนซ์ (Chemical-luminescence) ตัวกระตุ้นที่ใช้ คือ ปฏิกิริยาเคมี
7) เอกซ์เรย์ลูมิเนสเซนซ์ (X-ray-luminescence) ตัวกระตุ้นที่ใช้ คือ รังสีเอกซ์

ตัวอย่างปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ที่พบได้ เช่น หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งทำงานโดยเริ่มจากปรอทที่บรรจุอยู่ภายในหลอดถูกสนามไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิดการดิสชาร์จ (discharge) ทำให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเลต จากนั้นรังสีอัลตราไวโอเลตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่บริเวณผิวด้านในของหลอดทำให้เกิดแสงสว่างที่ตามนุษย์มองเห็น จอภาพโทรทัศน์ชนิด CRT (cathode ray tube) ที่สว่างได้เพราะสารเรืองแสงชนิดฟอสเฟอร์ (phosphoes) ถูกกระตุ้นด้วยอิเล็กตรอนที่ถูกยิงออกมาจากปืนอิเล็กตรอน (electron gun) และไดโอดเปล่งแสง ซึ่งเปล่งแสงได้เพราะมีกระแสไฟฟ้าฉีดเข้าไป ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์เหล่านี้มีความสำคัญมากต่อประสาทตาของมนุษย์ ทำให้ตามนุษย์มองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ ทำให้มนุษย์สามารถรับรู้และอ่านข้อมูลจากหน่วยแสดงผล (display) ได้ด้วยตาและทำให้มนุษย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างมีความสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์อิเล็กโทรลูมินิเซนต์ เป็นกลไกการเปล่งแสงที่เกิดขึ้นจากการฉีดพาหะผ่านหัวต่อพี-เอ็นทำให้เกิดการรวมตัวพาหะแบบที่ทำให้เกิดการเปล่งแสง ไดโอดชนิดนี้เหมือนไดโอดทั่วๆไปที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ประกบกันมีผิวข้างหนึ่งเรียบเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อไดโอด

ตกไบแอสตรงจะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่ ข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลใน P ต่อให้เกิดพลังงานในรูปของประจุโฟตอน ซึ่งจะส่องแสงออกมา การประยุกต์ LED ไปใช้งานอย่างกว้างขวางส่วนมากใช้ในภาคแสดงผล (Display unit) LED โดยทั่ว ไปมี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือLED ชนิดที่ตาคนเห็นได้กับชนิดที่ตาคนมองไม่เห็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน

2.8.1 กลไกการเปล่งแสงลูมิเนสเซนซ์

กลไกการเปล่งแสงแบบลูมิเนสเซนซ์ เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนระดับพลังงานสูงลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ และสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้ [5]

2.8.1.1 การเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะระหว่างแถบพลังงาน

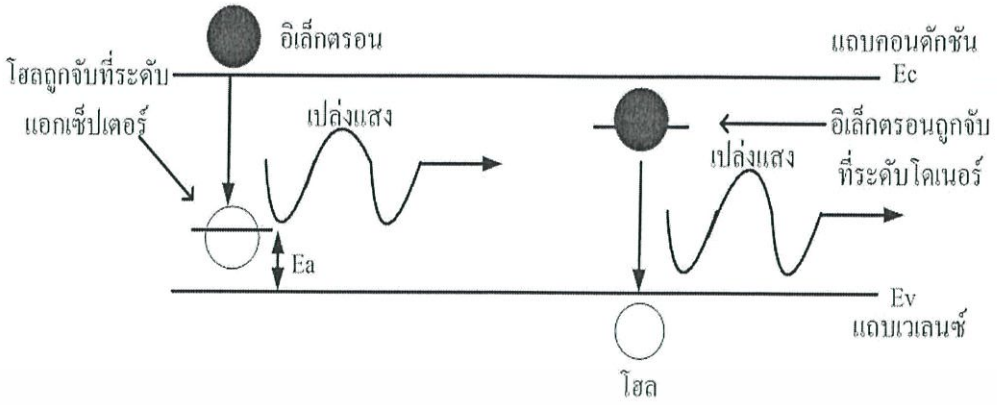
การเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะระหว่างแถบพลังงาน (band-to-band transition) เป็นการเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวกันโดยตรงระหว่างอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบคอนดักชัน (conduction band) กับโฮลที่อยู่ในแถบเวเลนซ์ (valence band) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ถ้าวัสดุสารกึ่งตัวนำเป็นชนิดช่องว่างพลังงานแบบตรง (direct band gap) แสงที่เปล่งออกมาจะมีพลังงานโฟตอนเท่ากับขนาดของช่องว่างพลังงาน

รูปที่ 2.7 การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวกันของพาหะอิสระที่อยู่ในแถบคอนดักชันและแถบเวเลนซ์

2.8.1.2 การเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะแบบ Free carrier – impurity level transition

การเปล่งแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะแบบ Free carrier – impurity level transition เป็นการเปล่งแสงที่เกิดจากการที่อิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันรวมตัวกับโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับแอกเซ็ปเตอร์ หรืออิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับโดเนอร์รวมตัวกับโฮลที่อยู่ในแถบเวเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 (กรณีซ้าย) การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับแอกเซ็ปเตอร์
(กรณีขวา) การเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับโดเนอร์และโฮลอิสระ

2.9 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อไดโอดเปล่าแสง

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสง ทั้งนี้ในการใช้งานไดโอดเปล่งแสงต้องฉีดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ไดโอดเปล่งแสง ทำให้เกิดการเปล่งแสงแล้ว ยังมีการสูญเสียพลังงานเป็นความร้อนด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากความต้านทานที่ส่วนต่าง ๆ เช่น

- ความต้านทานที่รอยต่อระหว่างชิ้นสารกึ่งตัวนำและฐานโลหะ
- ความต้านทานที่รอยต่อระหว่างฐานโลหะและวงจรภายนอก
- ความต้านทานที่รอยต่อระหว่างไดโอดเปล่งแสงและสิ่งรอบ ๆ

ดังนั้นเมื่อไดโอดเปล่งแสงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ไดโอดเปล่งแสงมี

- กำลังของแสงเอาท์พุต ลดลง ด้วยอัตราประมาณ 0.5 $\%/^{0}C$
- ความยาวคลื่นของแสง ยาวขึ้น ด้วยอัตรา 0.2-0.4 $nm/^{0}C$
- การตอบสนองต่อเวลา ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แต่อาจเร็วขึ้นบ้าง
- แรงดันไฟฟ้าไบแอสตาม ลดลง ด้วยอัตราประมาณ 0.3-0.4 $\%/^{0}C$
- กระแสไฟฟ้ารั่วย้อนกลับ เพิ่มขึ้น ด้วยอัตราประมาณ 1.07-1.1 เท่า $/^{0}C$
- ช่องว่างของแถบพลังงาน(Eg) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่ออุณภูมิสูงขึ้นค่า Eg จะมีค่าสูงขึ้นด้วย ดังสมการของ Varshni[4]

$$Eg(T) = Eg(0K) - \frac{\alpha T^2}{T+\beta} \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การอ้างอิงถึงเอกสารนี้ต้องมีการอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารนี้ด้วย

จากที่กล่าวมา จะเห็นว่ามีพารามิเตอร์หลายตัวซึ่งเป็นค่าคงที่ ที่สำคัญของสารกึ่งตัวนำ เช่น ความหนาแน่นของพาหะอิเล็กตรอนและโฮล สภาพคล่องของพาหะ อายุของพาหะ สภาพต้านทาน

ของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึงการทดลองพื้นฐาน และการวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญเหล่านี้ เพื่อนำ ไปใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ได้อย่างถูกต้อง

2.10 มาตรฐานในระบบแสงสว่าง (Lighting Standard)

การออกแบบแสงสว่าง ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างไม่น้อยกว่าที่กฎหมายกำหนด และควรไม่น้อยกว่าความต้องการในการใช้งาน ซึ่งได้มีมาตรฐานกำหนดค่าความส่องสว่างขั้นต่ำสาหรับการใช้งานแต่ละประเภทไว้โดยมาตรฐานที่ยอมรับในทางวิศวกรรมของประเทศไทย ให้อ้างอิงตามกฎระเบียบการส่องสว่างของ CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE) เป็นองค์กรนานาชาติที่ก่อตั้งขึ้นใน ปี ค.ศ.1931 และอยู่ในเวียนนาออสเตรีย เพื่อกำหนดมาตรฐานของการส่องสว่างของแสงและสี

2.11 ความส่องสว่างและความสว่าง

1. ความส่องสว่าง (Illuminance) หมายถึงปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น lumen/m^2 หรือ lux (ถ้าหน่วยเป็น lumen/ft^2 ความส่องสว่างก็เป็น foot candle)
อิลูมิแนนซ์ = ปริมาณแสง (lumen)/พื้นที่ (m^2)

2. ความสว่าง (Luminance) หมายถึงปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น cd/m^2 ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ ลูมิแนนซ์ต่างกัน สาเหตุที่ต่างกันก็เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน

2.12 ระบบการให้แสง

แสงสว่างพื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อการใช้งานแยกออกได้เป็นระบบต่างๆดังนี้

1. แสงสว่างทั่วไป (General Lighting) คือ การให้แสงกระจายทั่วไปทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งานซึ่งใช้กับความส่องสว่างที่ไม่มากจนเกินไป

2. แสงสว่างเฉพาะที่ (Locallised Lighting) คือ การให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณที่ต้องการใช้ไฟแสงสว่างมาก เพื่อการประหยัดพลังงาน

3. แสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป (General and Locallised Lighting) คือ การให้แสงสว่างทั้งแบบทั่วไปทั้งบริเวณและเฉพาะที่ที่ทำงาน ซึ่งมักใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูงซึ่งไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างทั่วไปได้เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก แต่ก็ไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างเฉพาะที่ได้เพราะเมื่อเงยหน้าจากการทำงานก็จะพบบริเวณข้างเคียงมืดเกินไป ทำให้สายตาเสียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 สีของแสงจากหลอด LED

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นคือ แสงสีม่วง (380 นาโนเมตร) จนถึงแสงสีแดง (620–760 นาโนเมตร) เมื่อมีการผสมแสงสีต่าง ๆ เหล่านี้เข้าด้วยกันอย่างสมดุลจะทำให้เกิดเป็นแสงสีขาว (White Visible Light) ในอดีตเนื่องจากข้อจำกัดของเทคโนโลยีของสารฟอสฟอร์ (Phosphor) ทำให้ผู้ผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์กำหนดให้ผู้ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ต้องยอมรับคุณสมบัติของแสงสีขาว ด้วยการกำหนดคำศัพท์คำว่า Warm White หรือ Cool White ขึ้นมาโดยอ้างอิงสีของแสงขาวเข้ากับความรู้สึกของคนว่าแสงสีนี้ให้ความรู้สึกอุ่น แสงสีนั้นให้ความรู้สึกเย็น รวมถึงกำหนดให้ใช้สีจากหลอดไส้เป็นแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง

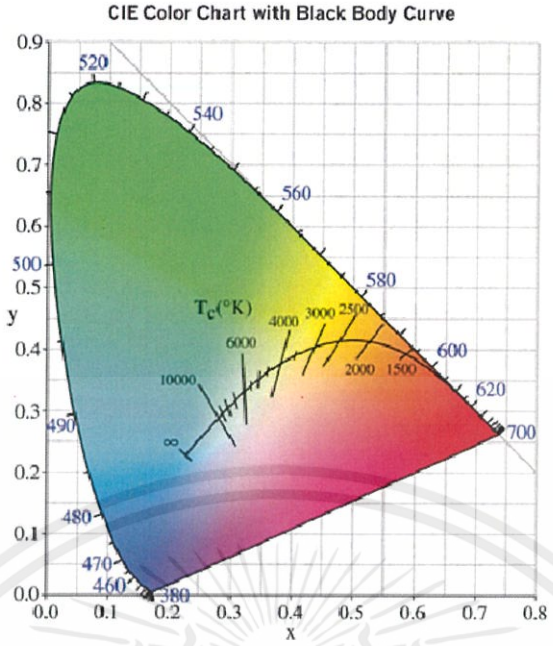
ในปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมแสงสว่างพัฒนามากขึ้น การกำหนดคุณสมบัติของสีของแสงจึงพัฒนาขึ้นตามไปด้วย โดยมีการกำหนดคุณสมบัติด้านสีของแสงจากอุณหภูมิสี (Color Temperature) และความถูกต้องของสี (Color Rendering Index: CRI)

Color Temperature เป็นการเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดของแสงขาวว่าแสงจะมีสีเหลืองที่ให้ความรู้สึกอุ่นมากไหม หรือมีแสงสีฟ้าที่ให้ความรู้สึกเย็นมากไหม เพื่อให้เกิดความเข้าใจเรื่องอุณหภูมิสีก็ต้องเริ่มจากวัตถุดำ หรือ Black Body ก่อน โดยวัตถุดำเป็นวัตถุที่ไม่มีสี สีดำเกิดขึ้นจากวัตถุดำนี้ดูดกลืนรังสีทุกชนิดที่กระทบกับผิวของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 0 K ซึ่งเท่ากับ –273 °C ที่อุณหภูมินี้โมเลกุลของวัตถุจะหยุดไม่มีการเคลื่อนที่ใด ๆ ทั้งสิ้น เพื่อทำการทดลองจึงสร้างวัตถุดำขึ้นมาจากโลหะทังสเตนผสมกับคาร์บอน เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุดำนี้ ผิวของวัตถุดำก็จะค่อย ๆ เปลี่ยนสีตามความร้อนที่เกิดขึ้นการจากการไหลของกระแสไฟฟ้า เริ่มต้นจากสีแดง เปลี่ยนเป็นสีส้ม เปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง และในที่สุดก็เปลี่ยนเป็นสีขาวอมฟ้า นั่นก็คืออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 1,000 K เป็น 6,500 K นั่นก็คืออุณหภูมิสีของหลอดไฟฟ้าก็คืออุณหภูมิที่วัตถุดำให้แสงสีเดียวกับหลอดไฟฟ้านั้นๆ

หลอดไส้ (Incandescent Lamp) เป็นหลอดไฟฟ้าชนิดเดียวที่ให้สเปกตรัมของแสงที่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 2,700 K ขณะที่หลอดไฟชนิดอื่น ๆ (ไม่รวมหลอด HBLED) จะให้สเปกตรัมของแสงที่ไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาตรฐาน ANSI C78.377–2008 ได้กำหนดค่า Correlated Color Temperature (CCT) ที่ยอมรับได้ตั้งแต่ 2,700 K (เหมือนหลอดไส้) จนถึง 6,500 K (สีเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Daylight)

องค์กรมาตรฐานโลก The International Commission on Illumination: CIE ได้พัฒนากราฟ Chromaticity Diagram เป็นการพล็อตกราฟโดยใช้แกน X, Y โดยมีวัตถุดำอยู่ในตำแหน่ง Locus ของรูปสามเหลี่ยมตามที่แสดงในรูป สีของแสงที่อยู่ตามขอบของเส้นกราฟจะมีสีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีน้ำเงิน เมื่อเคลื่อนเข้าไปจุดศูนย์กลางที่อยู่ภายในของสามเหลี่ยม สีของแสงจะจางลง ๆ เรื่อยจนได้แสงสีขาวในที่สุด ดังนั้นการกำหนดพิกัดของโคออร์ดิเนต X และ Y ที่สัมพันธ์กับรูปกราฟ CIE Chromaticity Diagram จะให้สีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่สัมพันธ์กับวัตถุดำได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 CIE Chromaticity Diagram

Color Rendering index (CRI) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งในการเลือกชนิดของหลอดไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ในการเลือกหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด HID มาเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 40 ปี CRI มีค่าอยู่ระหว่าง 0–100 มาตรฐานของ CIE ใช้หลอดไส้ Incandescent Lamp เป็นหลอดอ้างอิงเนื่องจากไส้หลอดเป็นทังสเตนเป็นโลหะชนิดเดียวกับที่ใช้ทำวัตถุดำ ดังนั้นหลอดไส้จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่า CRI ที่สูงมากใกล้ ๆ ค่า 100 ในปัจจุบัน CRI ยังนำมาใช้กำหนดความเที่ยงตรงของสีของแสงจากหลอด HBLED

อย่างไรก็ตามด้วยคุณสมบัติของหลอด LED ถึงแม้ว่าหลอด LED นั้น ๆ จะมีค่า CRI ที่น้อย ๆ แต่เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ แล้ว แสงจากหลอด LED ก็ยังให้แสงสีขาวที่มีคุณภาพสูงเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น ๆ ดังนั้น National Institute of Standards and Technology (NIST) จึงได้พัฒนามาตรฐานใหม่ขึ้นมาแทน เรียกว่า Color Quality Scale: CQS มาตรฐานใหม่นี้ยังนำมาใช้กับหลอดไฟฟ้าทั่วไปและหลอด Solid–state Sources ทุกชนิดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับไดโอดเปล่งแสง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 Power Supply DC/OUT 24V 10A

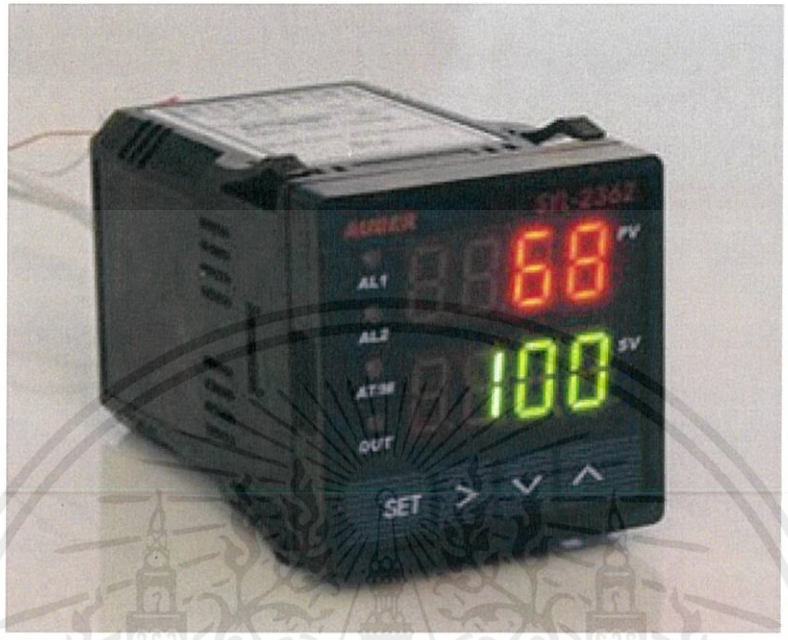
Power supply หรือแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 24 โวลต์ 10 แอมป์

รูปที่ 3.1 Power Supply ขนาด 24V รุ่น HXA-240-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 Temperature Controller

Temperature Controller หรืออุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ และวัดอุณหภูมิได้ 0-400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.2 Temperature Controller ควบคุมการจ่ายไฟแบบ switch รุ่น REX-C100

3.2.3 Relay 24V DC

Relay หรือสวิตซ์ตัดต่อวงจร ขนาด 24 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 Relay แบบ 4 ขา รุ่น OMRON

3.2.4 Breaker 220V 10A

Breaker หรือสวิตซ์ตัดต่อวงจร ขนาด 220 โวลต์ 10 แอมป์

รูปที่ 3.4 breaker 220V ขนาด 10A

3.2.5 Cartridge Heater 24VDC 250W

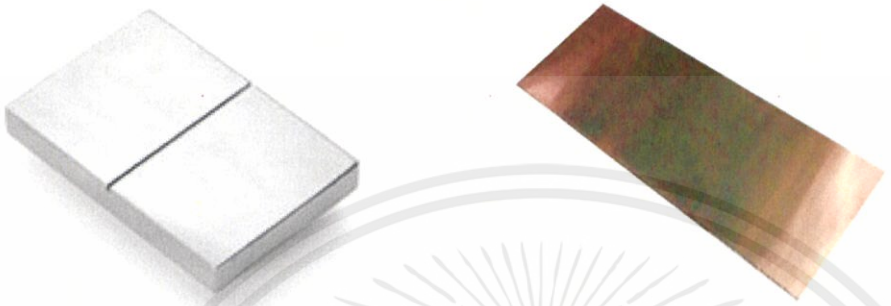
Cartridge Heater หรืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นความร้อน ขนาด 24 โวลต์ 250 วัตต์ รัศมี 7.5 มิลลิเมตร ความยาว 11 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 Cartridge Heater แบบทรงกระบอก 24V 250W รัศมี 7.5 mm ยาว 11 cm

3.2.6 อลูมิเนียมและแผ่นทองแดง

อลูมิเนียมมีขนาดความกว้าง 8 เซนติเมตร ความยาว 11 เซนติเมตร และความหนา 1 เซนติเมตร แผ่นทองแดงมีขนาดความกว้าง 8 เซนติเมตร ความยาว 11 เซนติเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 อลูมิเนียมขนาด 8×11×1 cm และแผ่นทองแดงขนาด และ 8×11×0.1 cm

3.2.7 กล่องใส่วงจร

กล่องใส่วงจรมีขนาดความกว้าง 21 เซนติเมตร ความยาว 26 เซนติเมตร

รูปที่ 3.7 กล่องใส่วงจรขนาด 21×26 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงขนาด 5 โวลต์ 120 มิลลิแอมป์

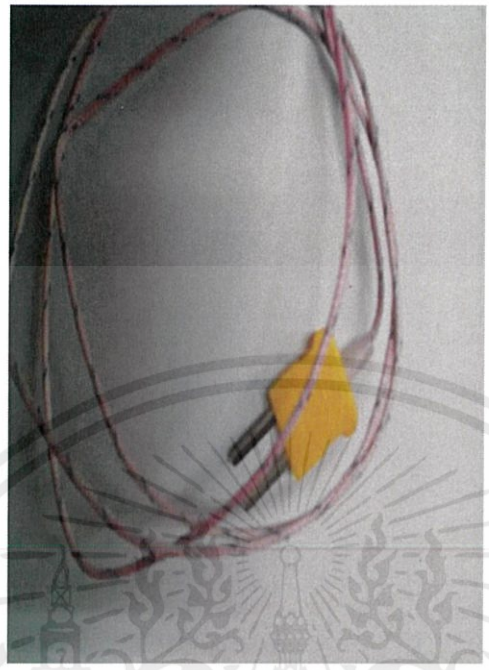
รูปที่ 3.8 ไดโอดเปล่งแสงขนาด 5V 120 mA

3.2.9 มัลติมิเตอร์ UT55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 มัลติมิเตอร์ รุ่น UT55

3.2.10 สายเทอร์โมคับเปิล



รูปที่ 3.2.10 สายเทอร์โมคับเปิล type K

3.2.11 Agilent U2722A USB Modular Source Measure Unit

Agilent Measurement หรือเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า รุ่น U2722A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 Agilent U2722A USB Modular Source Measure Unit

3.2.12 Spectrometer Avantes 2048-EDU

Spectrometer หรือเครื่องวัดสเปกตรัม ของ Avantes รุ่น 2048-EDU

รูปที่ 3.12 Spectrometer Avantes 2048-EDU

3.2.13 Luminance meter LS-110

Luminance meter หรือกล้องวัดความสว่าง รุ่น LS-110

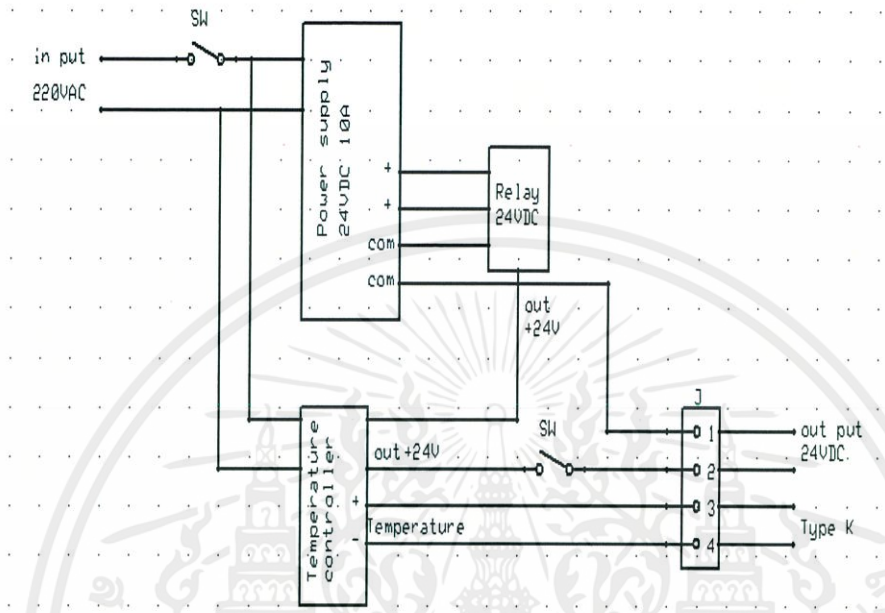
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 กล้องวัด Luminance รุ่น LS-110

3.3 วิธีทำการทดลอง

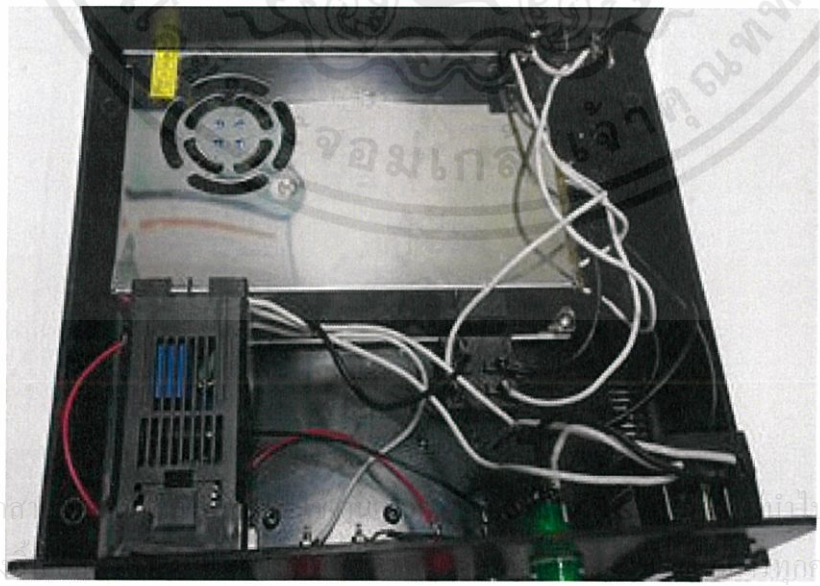
3.3.1 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ

1. ออกแบบวงจรเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสให้กับ Heater โดยใช้ Temperature controller ในการควบคุมการปิดเปิดโดยใช้การวัดอุณหภูมิจากไดโอดเปล่งแสงเป็นหลัก



รูปที่ 3.14 การออกแบบวงจรเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสให้กับ Heater

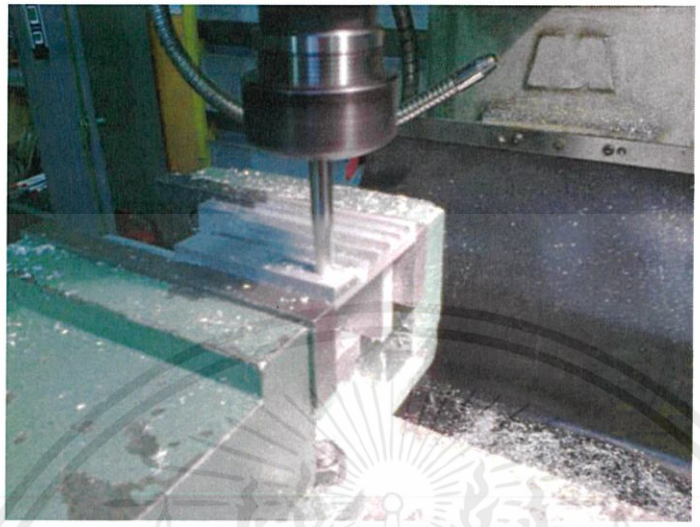
2. การทำระบบควบคุมอุณหภูมิ นำอุปกรณ์มาทั้งหมดมาวางเรียงกันในกล่องใส่วงจรและต่อวงจรตามวงจรที่ได้ออกแบบไว้แล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกส นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

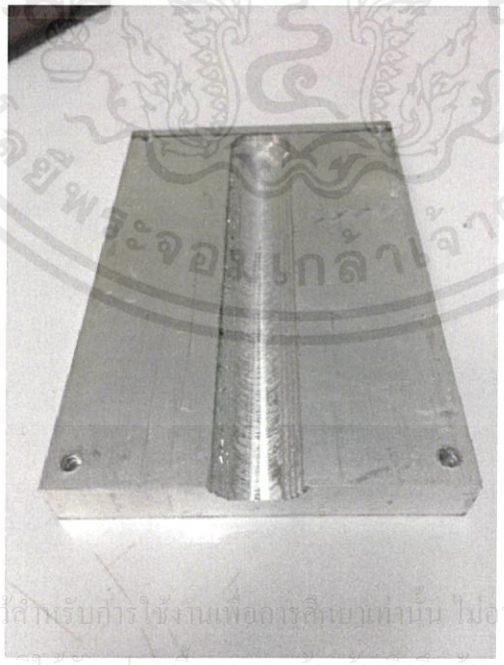
รูปที่ 3.15 แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิเมื่อต่อเสร็จแล้ว

3. การทำ Heater ให้เป็นฐานวางไดโอดเปล่งแสง นำอลูมิเนียมไปกัดให้ได้ขนาดประมาณแท่ง Heater เพื่อที่จะสามารถวางแท่ง Heater ให้อยู่ตรงกลางพอดี โดยใช้หัวกัดขนาด 10mm



รูปที่ 3.16 แสดงการกัดอลูมิเนียมด้วนหัวกัดขนาด 10 mm

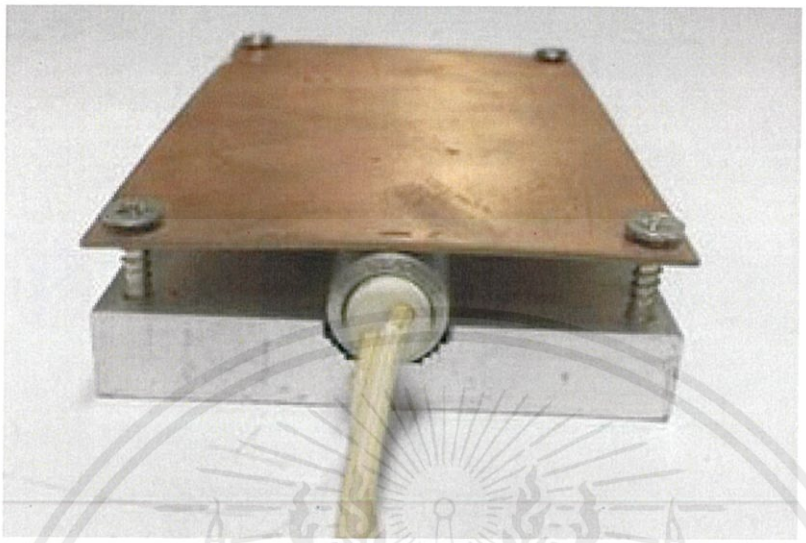
เมื่อกัดอลูมิเนียมเรียบร้อยแล้ววางแท่ง Heater ให้อยู่ตรงกลางจากนั้นนำแผ่นทองแดงที่มีขนาดเท่ากับอลูมิเนียมมาประกบแท่ง Heater โดยใช้สกรูขัน 4 มุมให้แน่น เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนนั้นรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

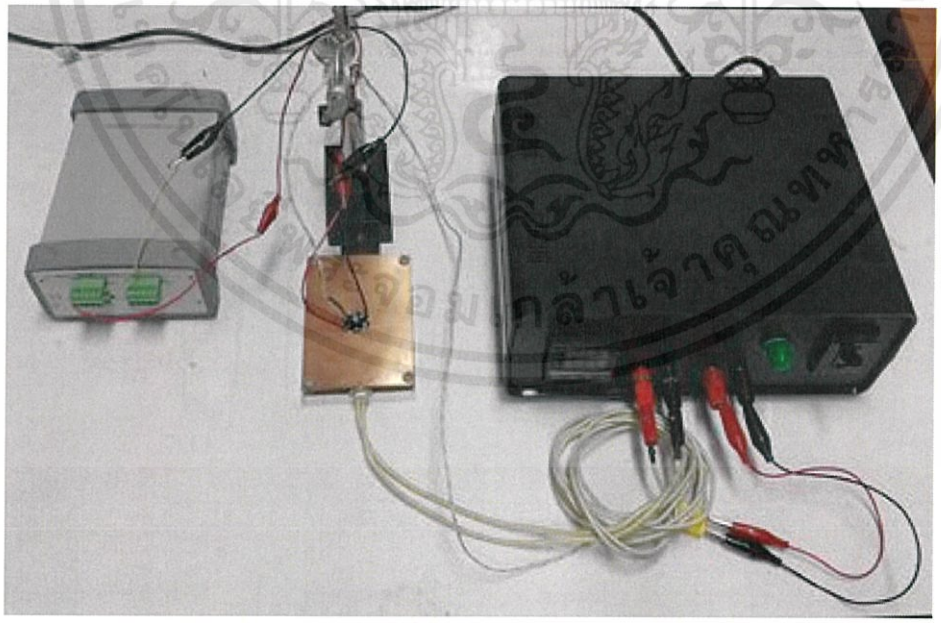
รูปที่ 3.17 อลูมิเนียมเมื่อกัดเสร็จแล้ว

นำแท่ง Heater วางระหว่างช่องที่กัดและนำแผ่นทองแดงประกบเข้าด้วยกัน จะได้ฐานวางไดโอดเปล่งแสง ที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับแท่ง Heater



รูปที่ 3.18 นำอุปกรณ์ทั้งหมดประกบเข้าด้วยกันและยึดด้วนสกูลทั้ง 4 มุม

4. นำอุปกรณ์ทั้งหมดมา set up เพื่อเตรียมทดลอง

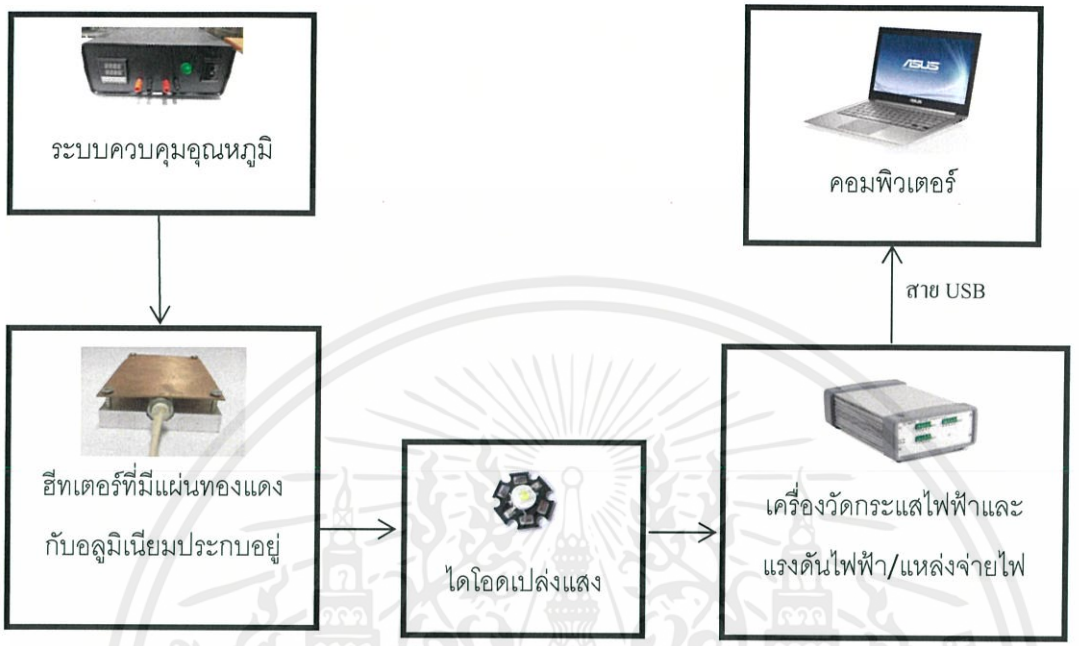


รูปที่ 3.19 Set up เครื่องทั้งหมดเพื่อเตรียมการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง

การวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงแสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.20 ระบบการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของหลอดไดโอดเปล่งแสง

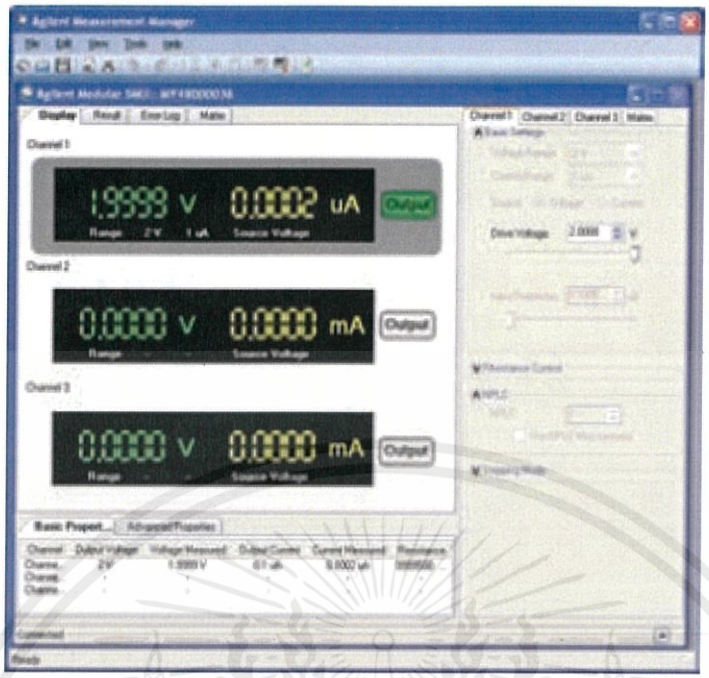
1. ตั้งค่าเครื่องควบคุมอุณหภูมิให้มีอุณหภูมิในช่วง50-70 องศาเซลเซียส โดยตั้งค่าผ่าน Temperature Controller โดยกำหนดค่าอุณหภูมิจะเป็นตัวเลขสีเขียวด้านล่าง ตัวเลขสีแดงด้านบนจะเป็นอุณหภูมิที่วัดได้

2. เมื่อ Heater มีอุณหภูมิตามที่กำหนดให้นำ ไดโอดเปล่งแสงวางตรงกึ่งกลางของแผ่นทองแดงเพื่อให้ขั้วของหลอดไดโอดเปล่งแสงมีอุณหภูมิสูงขึ้น

3. รอให้ขั้วของหลอดไดโอดเปล่งแสงมีอุณหภูมิตามที่กำหนด

4. ทำการจ่ายกระแสและแรงดันเข้าไปเพื่อให้ไดโอดเปล่งแสงเกิดการเปล่งแสงโดยใช้ Agilent Measurement U2722A ในการป้อนกระแสไฟฟ้า 120mA โดยใช้โปรแกรม Agilent IO Libraries Suite 15.1 ในการจ่ายกระแส สังเกตแรงดันสูงสุดที่วัดได้ของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่อุณหภูมิดังกล่าว ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

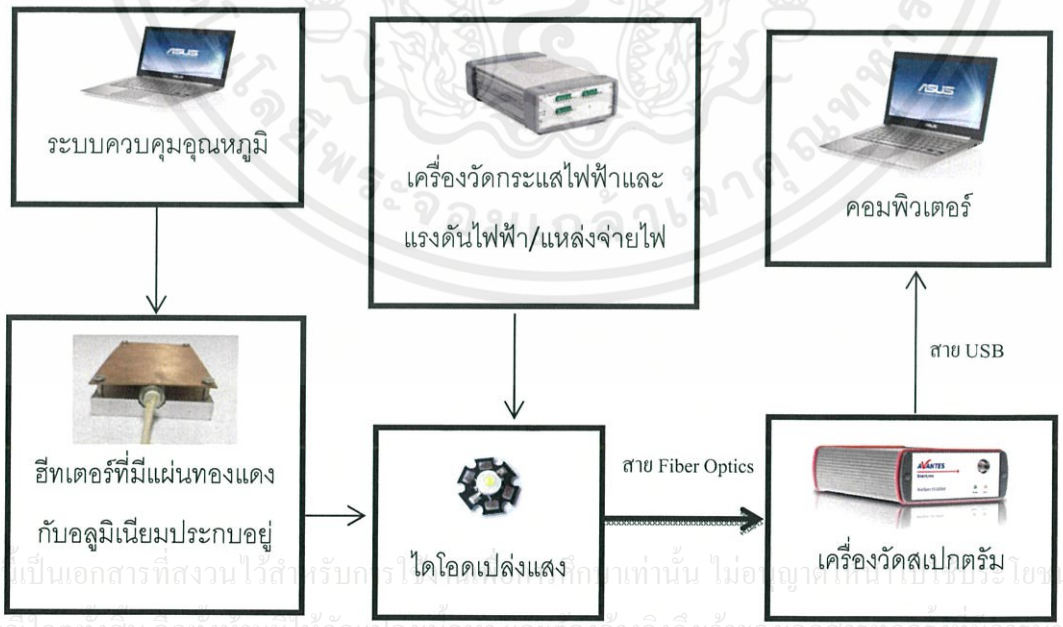


รูปที่ 3.21 โปรแกรมที่ใช้ควบคุม Agilent U2722A USB Modular Source Measure Unit

5. ทำแบบนี้กับอุณหภูมิที่ต่างกัน 5 ค่า จนครบทั้ง 5 สี

3.3.3 การทดลองวัดค่าสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง

การวัดสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงแสดงดังรูปที่ 3.21

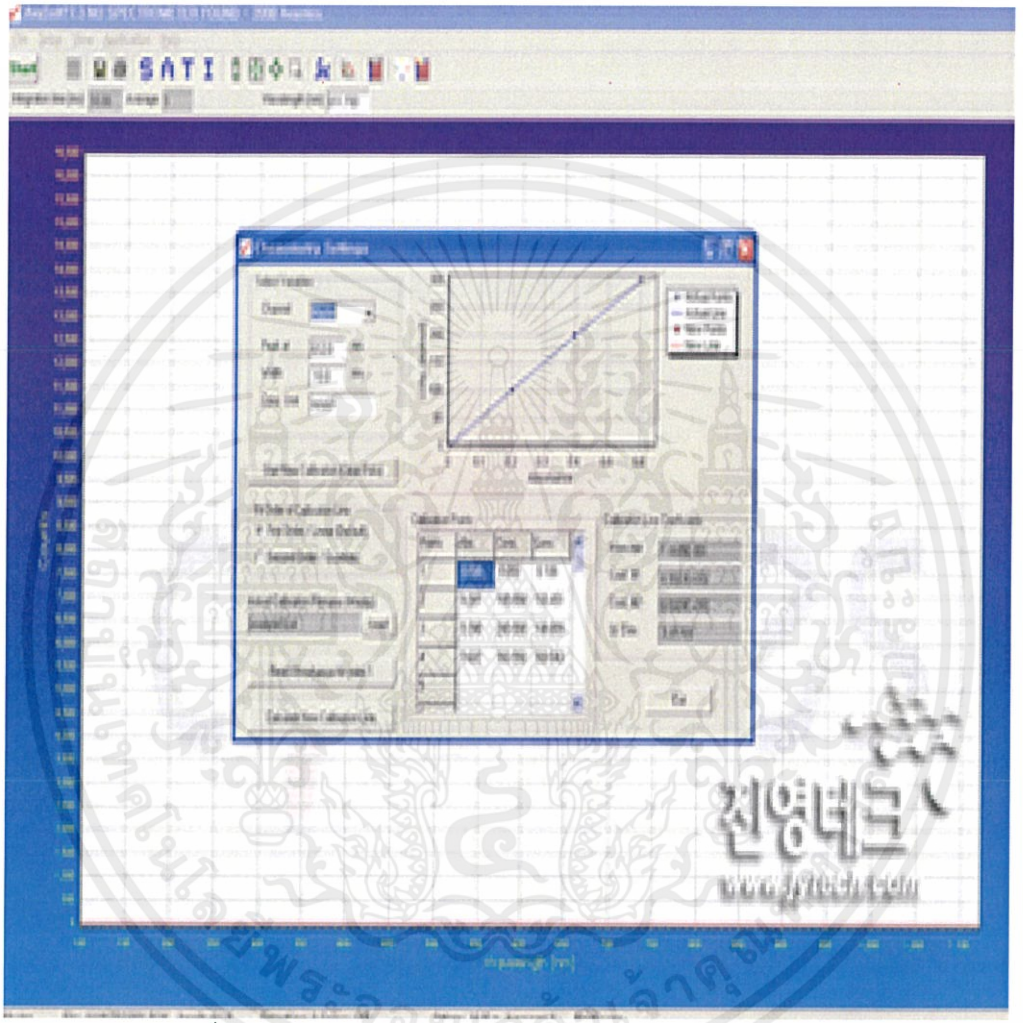


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 ระบบการวัดสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง

1. วัดสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงโดยใช้ Spectrometer Avantes 2084 ในการวัดสเปกตรัมของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดไดโอดเปล่งแสง จะผ่านเส้นใยแก้วนำแสงหรือสายไฟเบอร์ออฟติกมาเข้า Spectrometer เพื่อดูสเปกตรัมของแสง

2. สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง ที่วัดได้จะถูกประมวลผลด้วยโปรแกรม Avasoft 7.4 ดังรูป



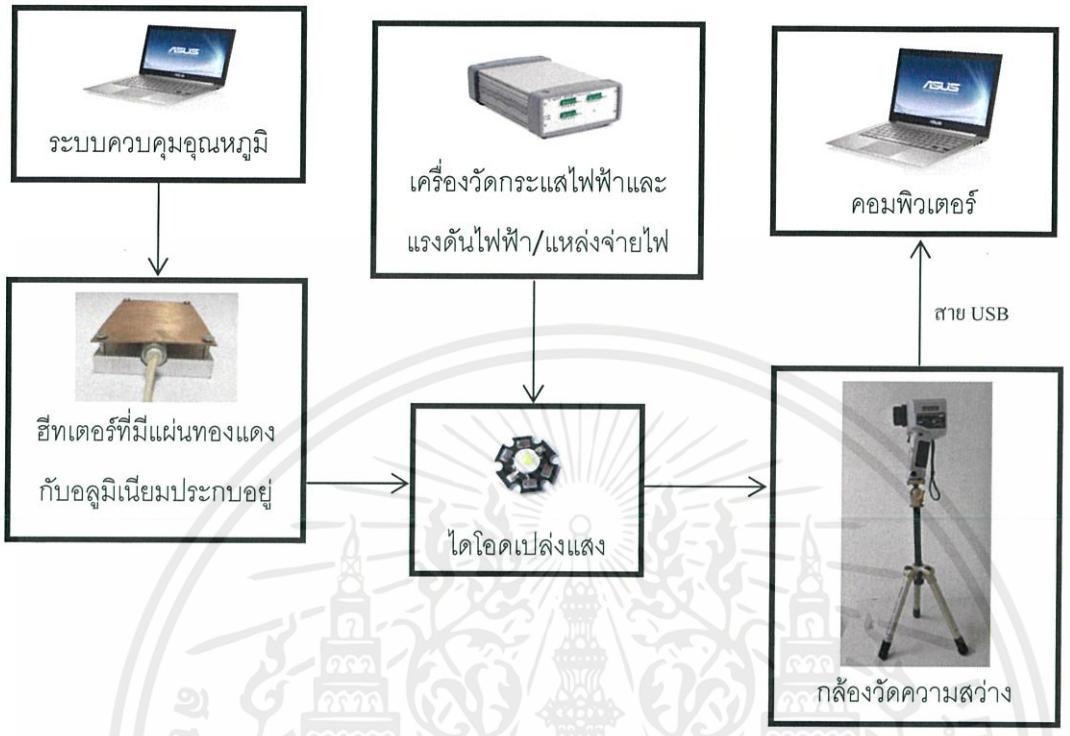
รูปที่ 3.23 แสดงการประมวลผมของโปรแกรม Avasoft 7.4

3. เปรียบเทียบสเปกตรัมของ LED ที่อุณหภูมิต่างกัน 5 ค่า ทั้ง 5 สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดลองวัดค่าความสว่างของไดโอดเปล่งแสง

การวัดความสว่างของไดโอดเปล่งแสงแสดงดังรูป 3.23



รูปที่ 3.24 ระบบการวัดความสว่างของแอลอีดี

1. วัดระยะห่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสงกับ Luminance meter LS-110 ห่างกัน 2 m
2. ตั้งกล้องให้มีระนาบเดียวกับกับแนวแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดไดโอดเปล่งแสง
3. Luminance meter LS-110 จะทำการประมวลผลที่ได้ออกมาในรูปของค่าความเข้มแสงแสดงในจอแสดงผล
4. ทำการวัดที่อุณหภูมิต่างกัน 5 ค่า จนครบทั้ง 5 สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

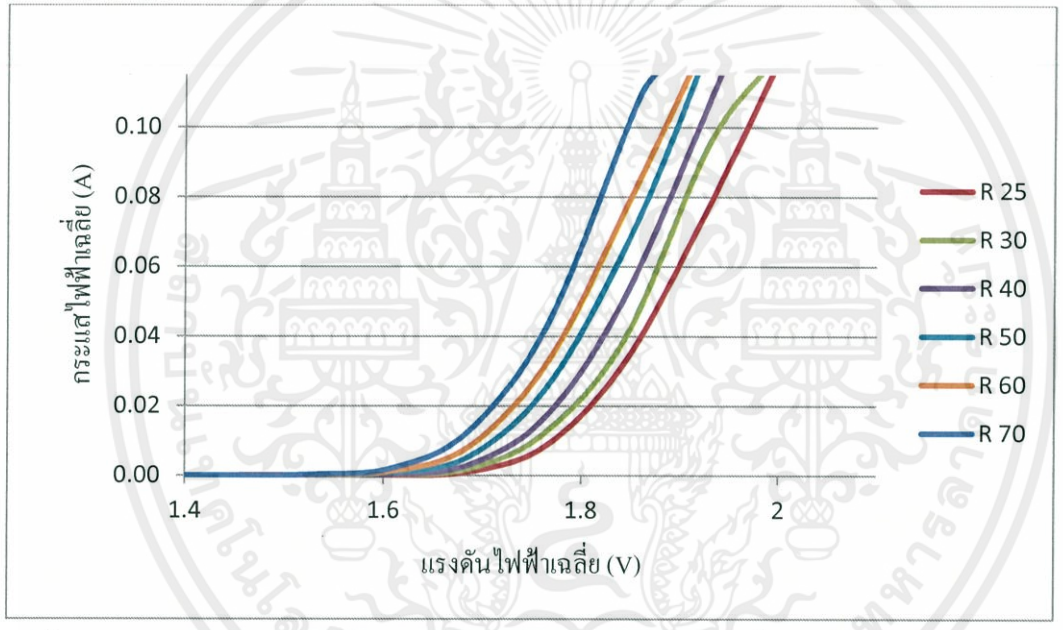
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงที่อุณหภูมิสูง

ในการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงผู้ทดลองจะทำการวัดทั้งหมด 5 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีขาว Warm White และสีขาว Cool White โดยจะอาศัยระบบการวัดที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3 และจะทำการบันทึกผลในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า

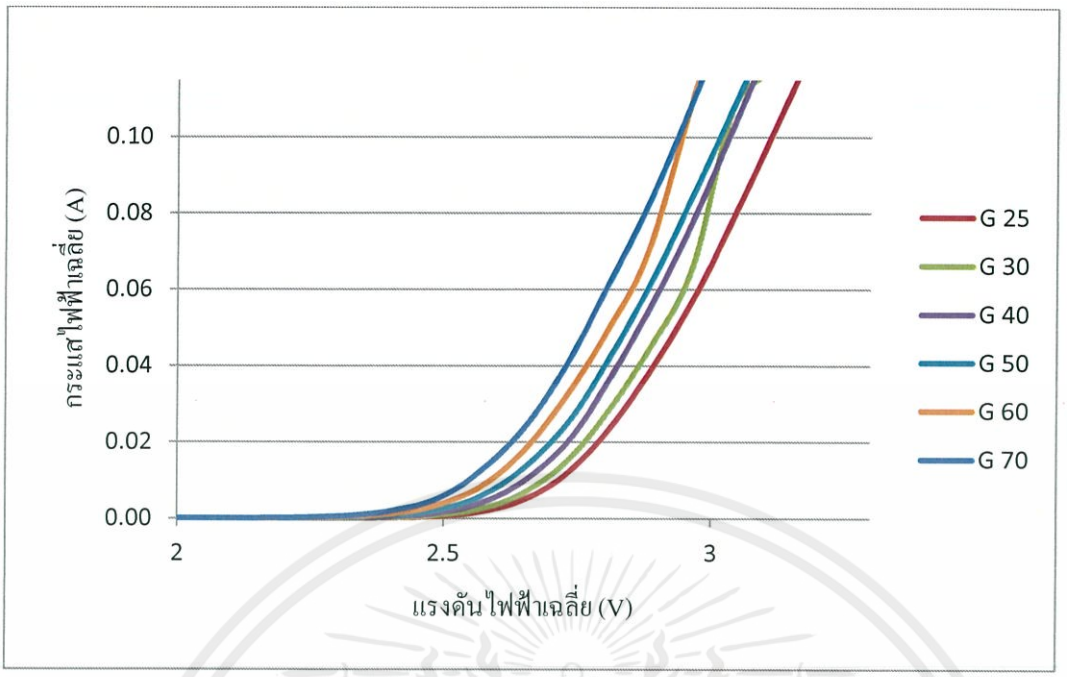
ผลการทดลอง

ผลการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีแสดงดังรูปที่ 4.1-4.5

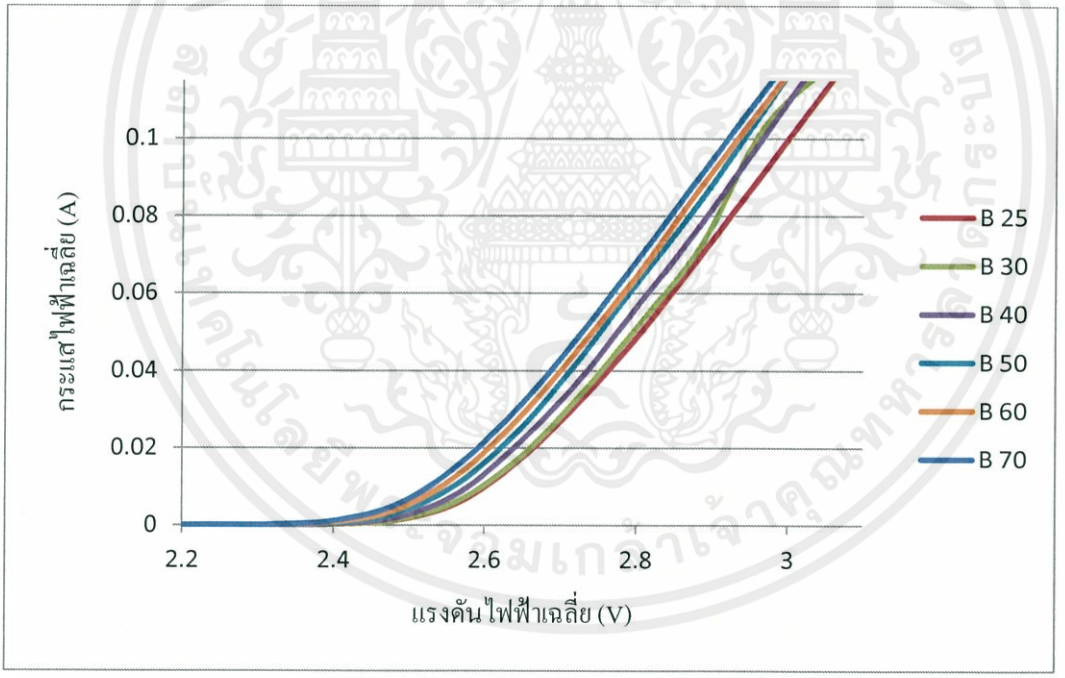


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

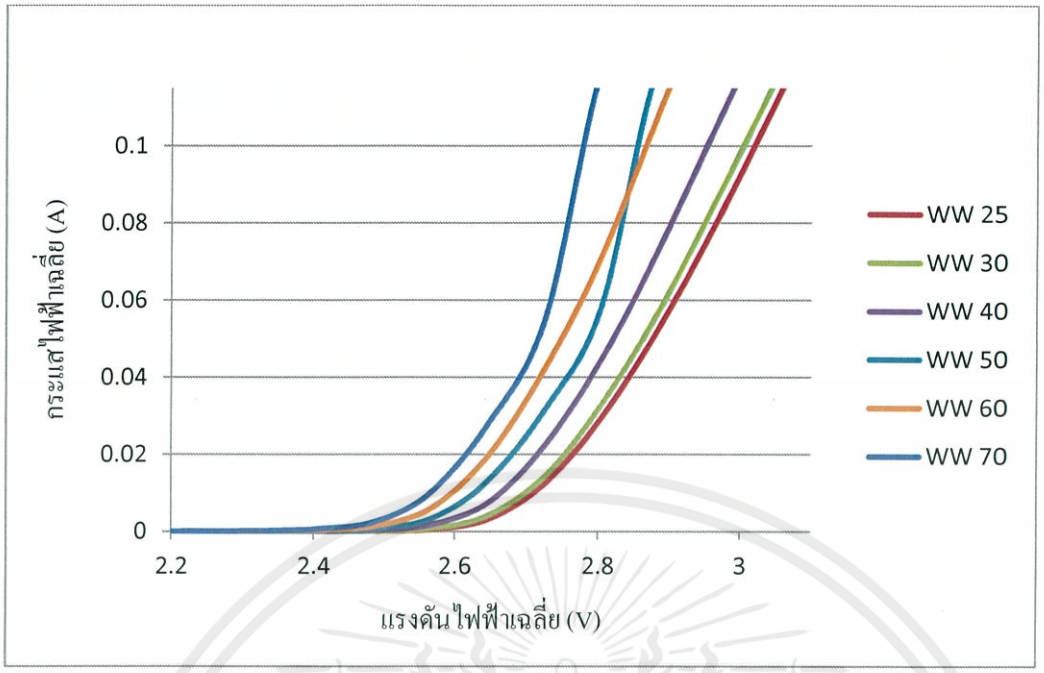


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

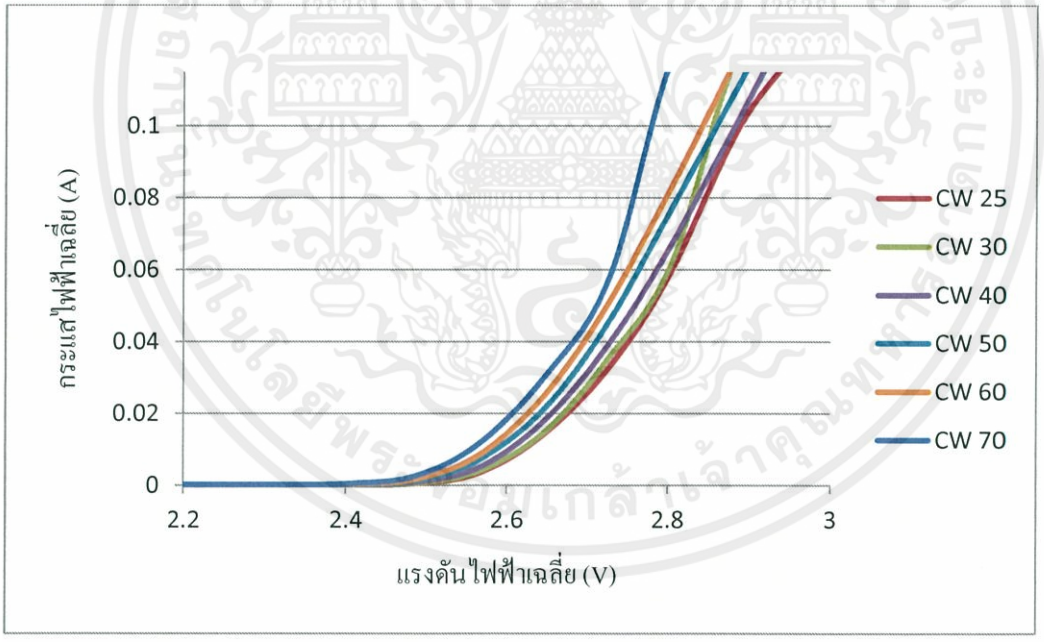


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



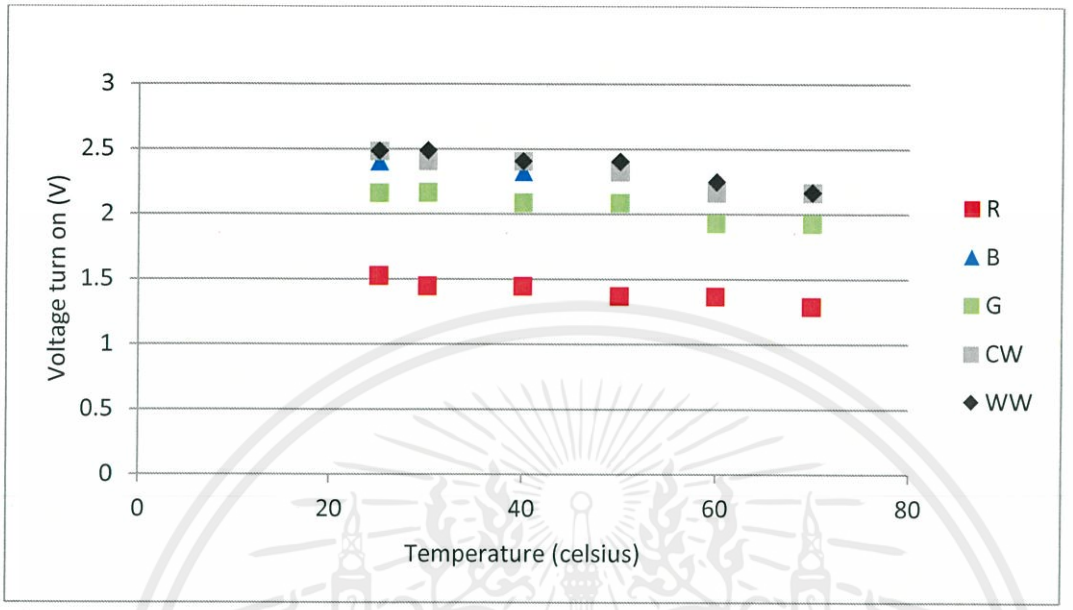
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำส่วนที่เป็นจุดเริ่มทำงานของกราฟรูปที่ 4.1-4.5 มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ Voltage turn on ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage turn on กับ Temperature ของไดโอดเปล่งแสง 5 สี

จากกราฟรูปที่ 4.6 สามารถใช้สมการเชิงเส้น $y = mx + c$ เพื่อหาตัวแปร m, c และ R^2 มาวิเคราะห์ ดังตารางที่ 4.1

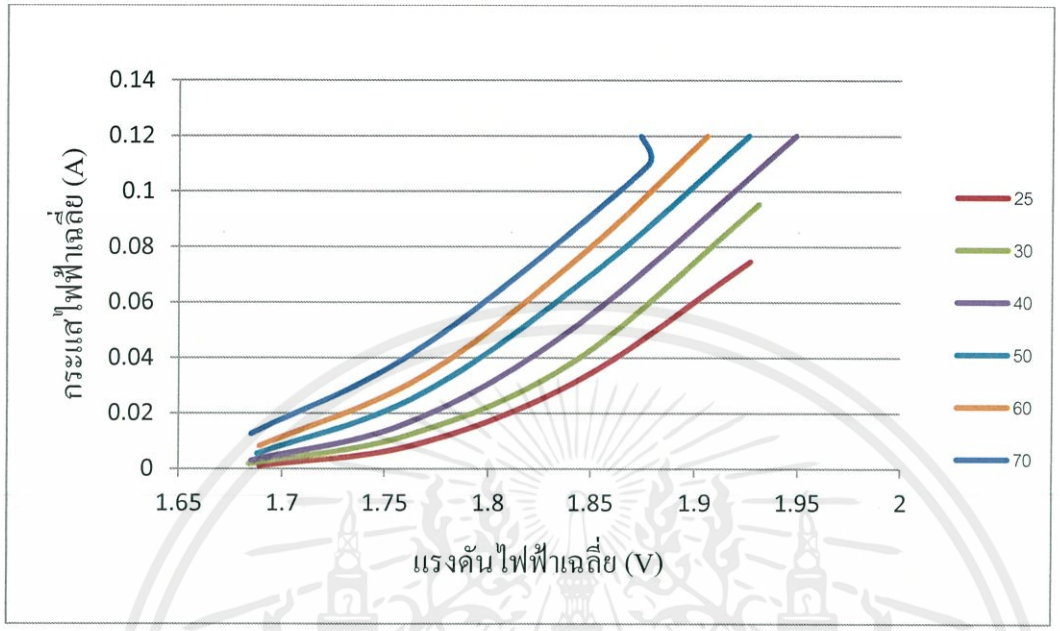
ตารางที่ 4.1 แสดงตัวแปรของ Voltage turn on ของไดโอดเปล่งแสง 5 สี

สี	m	c	R^2
ขาว Cool White	0.0073	2.6621	0.9194
ขาว Warm White	0.0072	2.6979	0.9232
เขียว	0.0059	2.3287	0.9065
น้ำเงิน	0.0052	2.5505	0.9449
แดง	0.0045	1.6162	0.9174

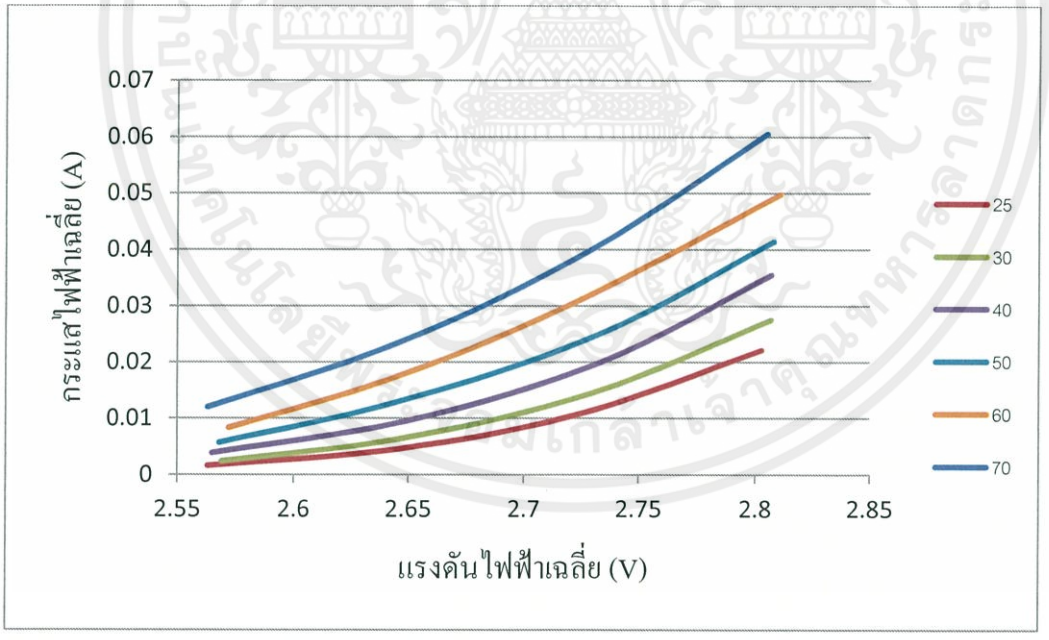
ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าไดโอดเปล่งแสง สีแดง มีความชันของเส้นตรงน้อยที่สุดและไดโอดเปล่งแสง สีขาว Cool White มีความชันของเส้นตรงมากที่สุด จึงบอกได้ว่าสีที่มีการเปลี่ยนแปลง Voltage turn on เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากที่สุดคือสีขาว Cool White เนื่องจากช่องว่างของแถบพลังงานของวัสดุสารกึ่งตัวนำจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงในสมการของ Vashni ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง ทำซ้ำ หรือเผยแพร่ต่อ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟรูปที่ 4.1-4.5 มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าความต้านทานภายในเนื้อวัสดุ จะให้ผลแสดงดังรูปที่ 4.7-4.11

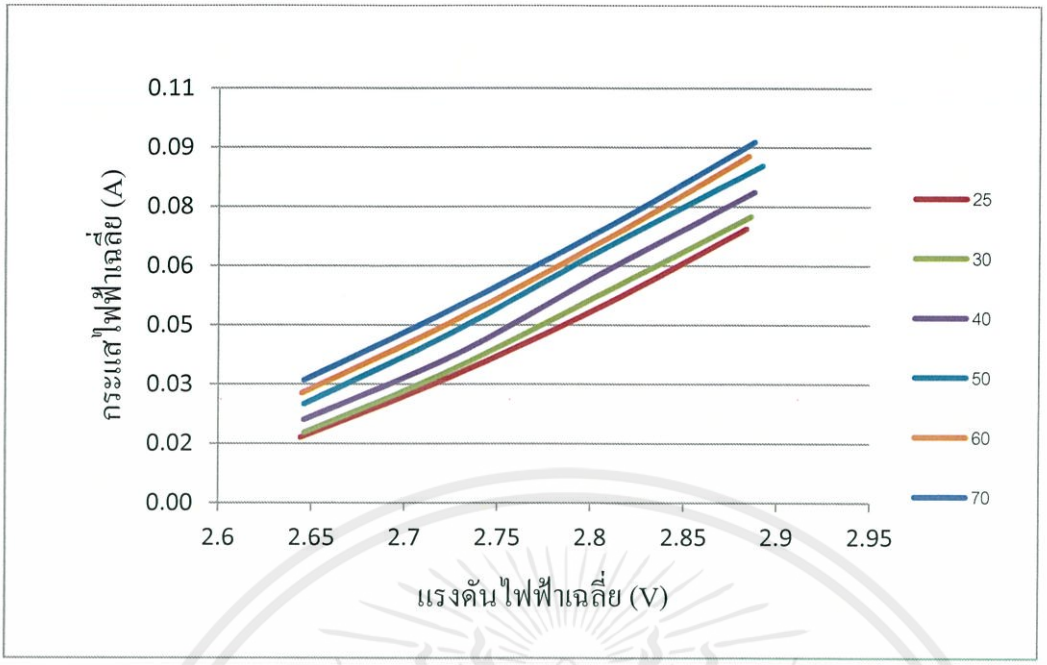


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีแดง

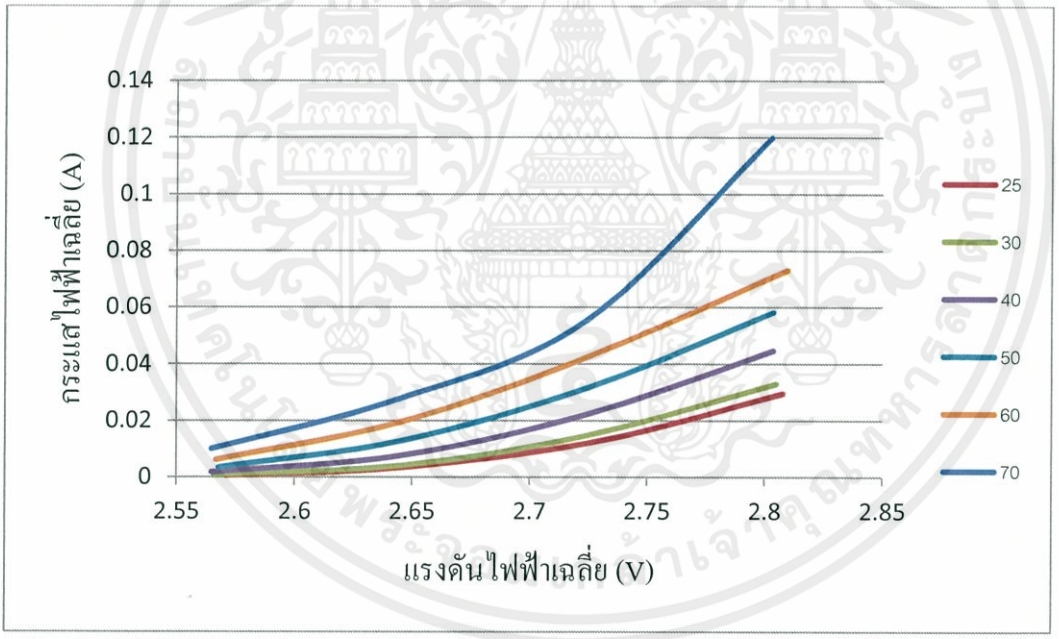


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

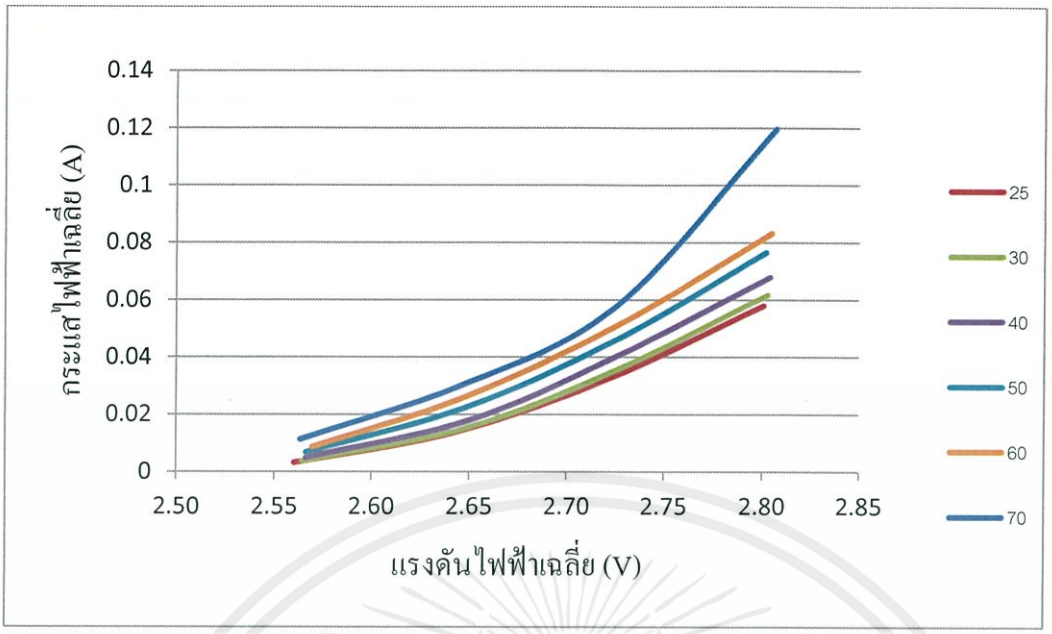


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White

จากรูปที่ 4.7-4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ส่วนที่เป็นเส้นตรงระหว่างกระแสกับแรงดันเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสง 5 สีสามารถหาความต้านทานได้จาก $R = \frac{1}{m}$ โดยใช้สมการ $y = mx + c$ ดังตารางที่ 4.2-4.6

ตารางที่ 4.2 แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีแดง

T	ความชัน	ความต้านทาน(โอห์ม)
25	0.3095	3.231
30	0.3774	2.650
40	0.4497	2.224
50	0.4851	2.061
60	0.5162	1.937
70	0.5513	1.814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

T	ความชัน	ความต้านทาน(โอห์ม)
25	0.0844	11.84834
30	0.1044	9.578544
40	0.1289	7.757952
50	0.1473	6.788866
60	0.1741	5.743825
70	0.1998	5.005005

ตารางที่ 4.4 แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน

T	ความชัน	ความต้านทาน(โอห์ม)
25	0.2204	4.537205
30	0.2293	4.361099
40	0.2403	4.161465
50	0.2469	4.050223
60	0.2499	4.001601
70	0.2491	4.014452

ตารางที่ 4.5 แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White

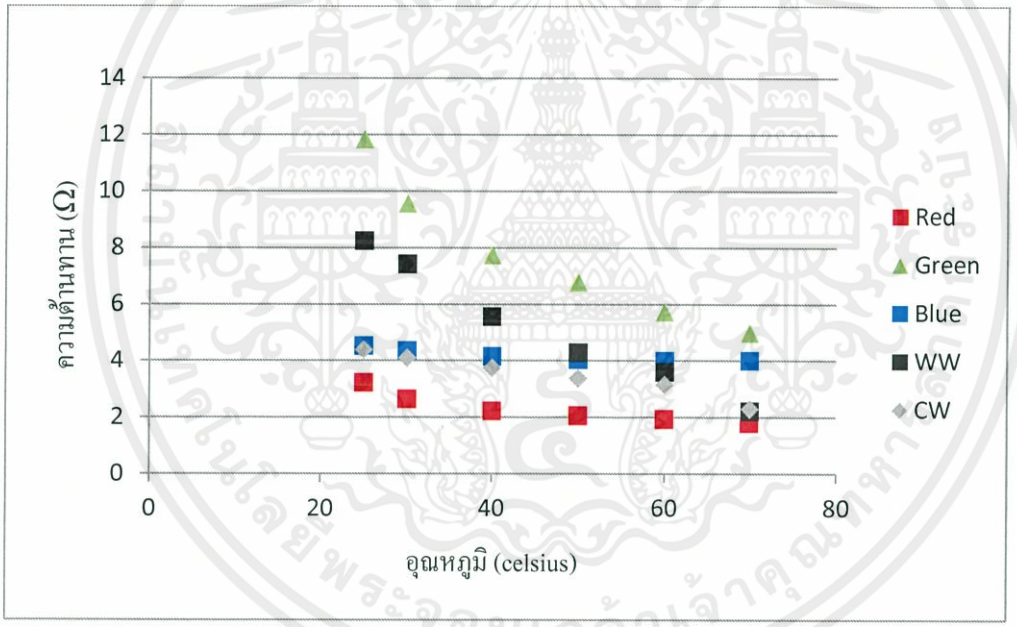
T	ความชัน	ความต้านทาน(โอห์ม)
25	0.1212	8.250825
30	0.1346	7.429421
40	0.1795	5.571031
50	0.2327	4.297379
60	0.2776	3.602305
70	0.4496	2.224199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงความชันและความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White

T	ความชัน	ความต้านทาน(โอห์ม)
25	0.228	4.385965
30	0.2436	4.10509
40	0.2669	3.746722
50	0.2958	3.380663
60	0.3168	3.156566
70	0.4344	2.302026

เมื่อนำความต้านทานจากตารางที่ 4.2-4.6 มาพลอตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิจะได้กราฟดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสง 5 สี

ค่าความต้านทานซึ่งหาได้จากค่าส่วนกลับของความชันกราฟแสดงดังตารางที่ 4.2-4.6 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สภาพนำไฟฟ้าของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำเพิ่มสูงขึ้นดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

$$\rho = \frac{1}{nq\mu}$$

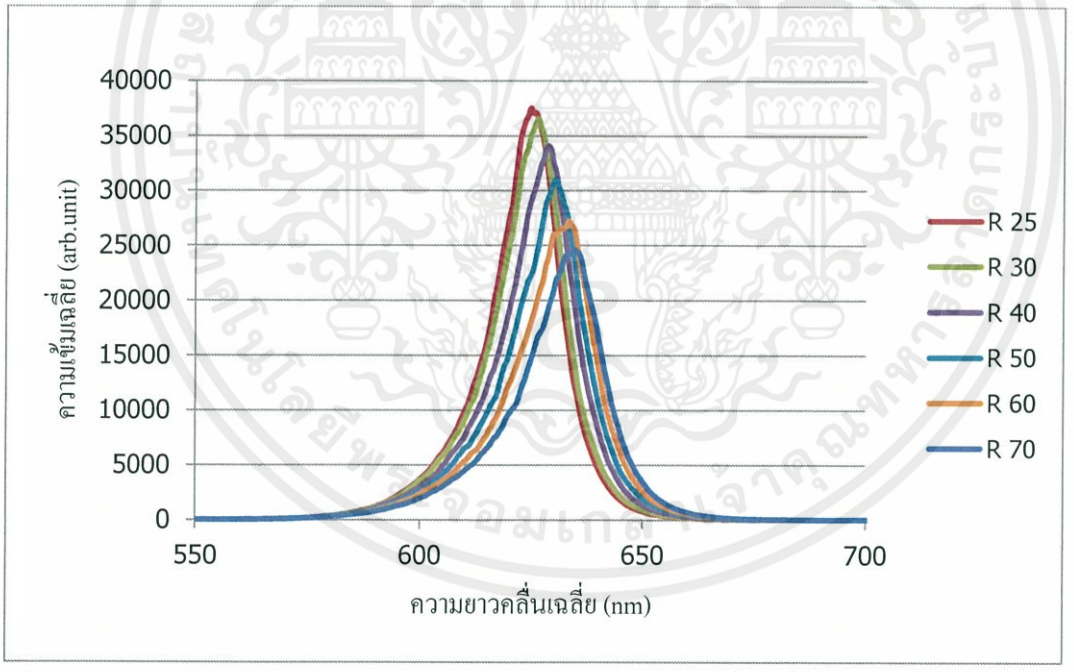
$$\rho = \frac{1}{q\mu\, N_c exp^{\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right)}}$$

4.2 ผลการวัดสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงที่อุณหภูมิสูง

ในการวัดสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงผู้ทดลองจะทำการวัดทั้งหมด 5 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีขาว Warm White และสีขาว Cool White โดยจะอาศัยระบบการวัดที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3 และทำการบันทึกผลในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส เพื่อมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัม

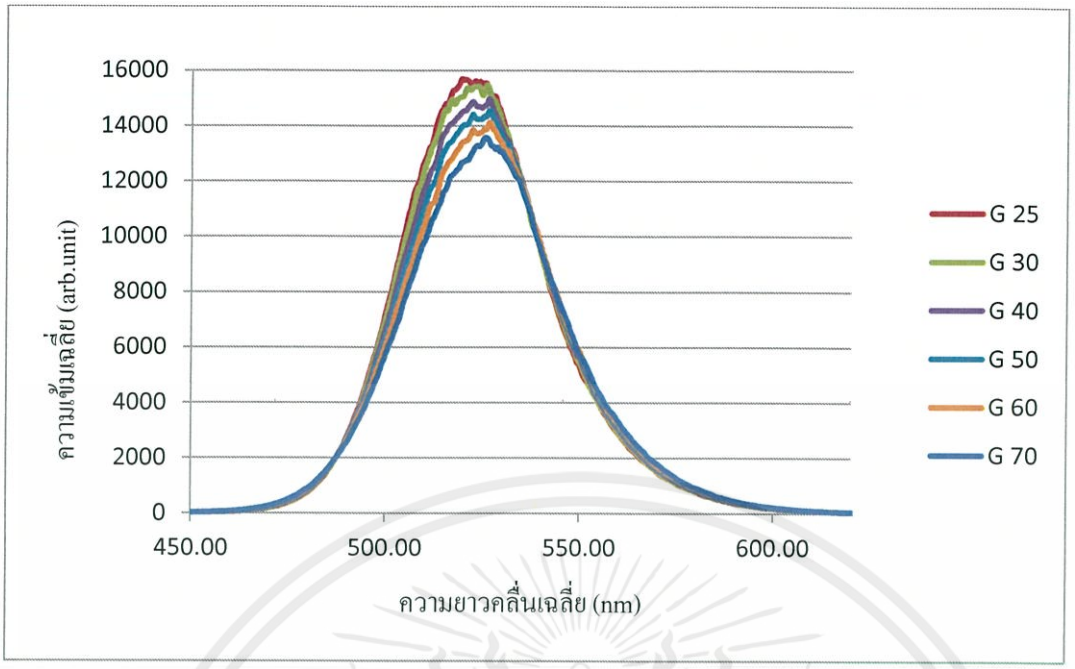
ผลการทดลอง

ผลการวัดสเปกตรัมแสงของไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีแสดงดังรูปที่ 4.13-4.17

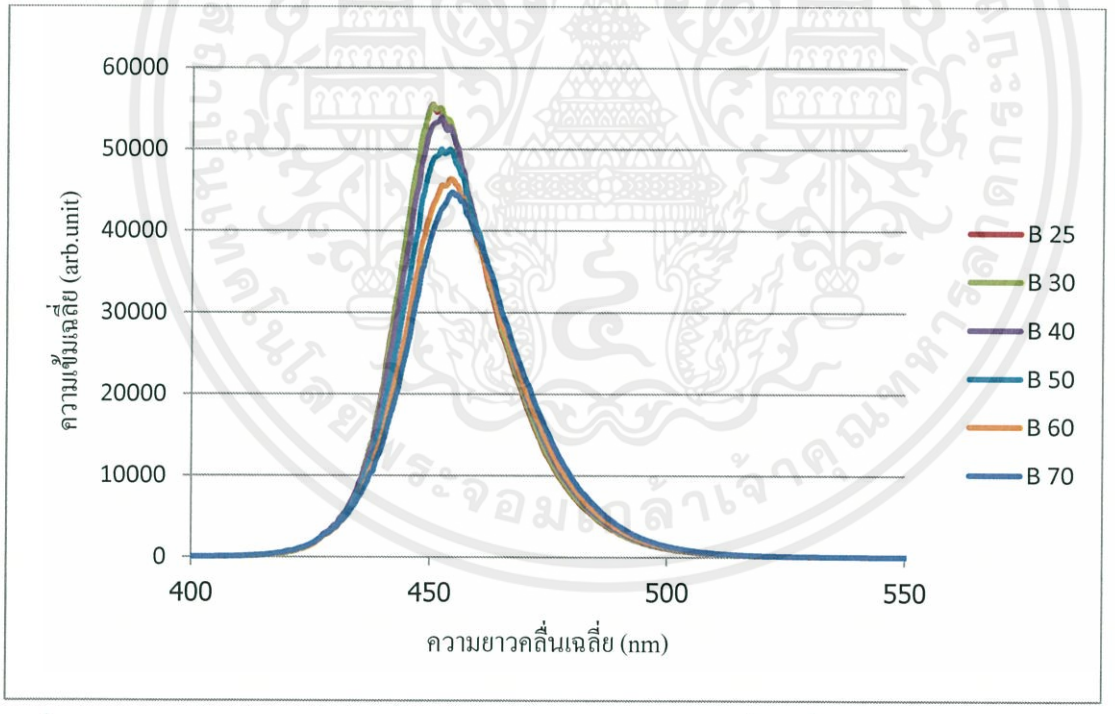


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

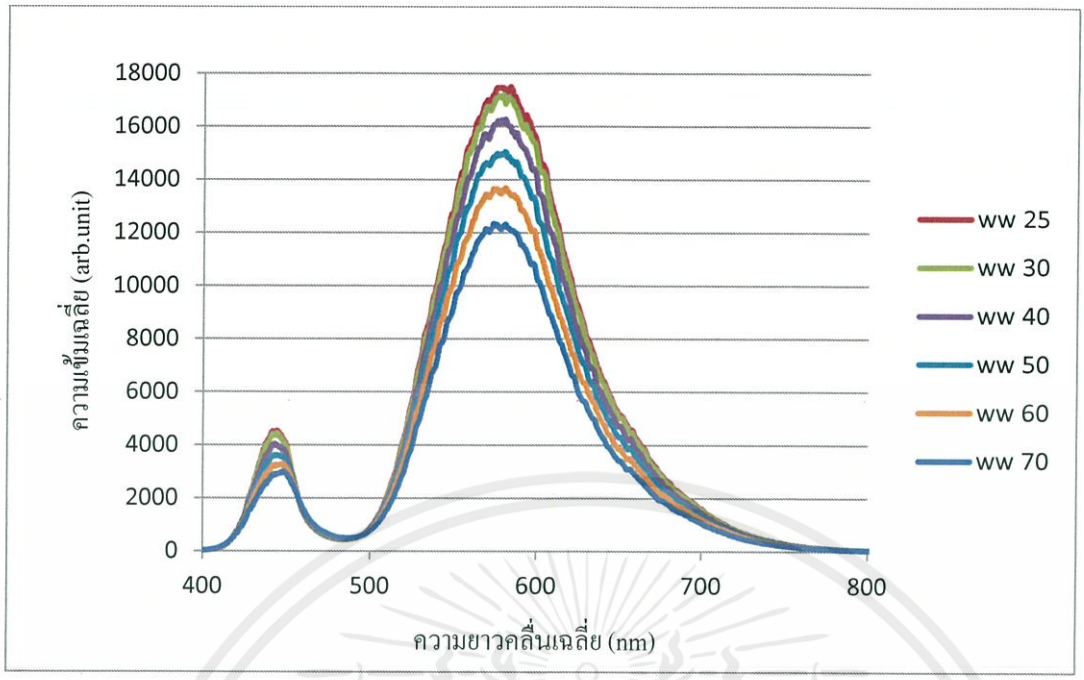


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

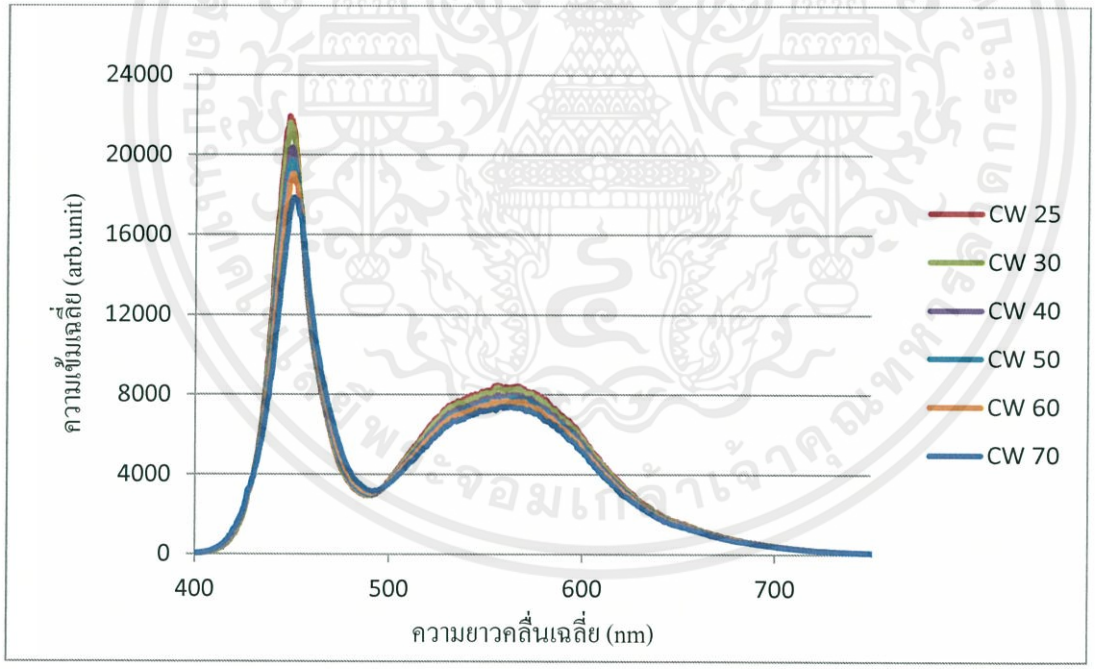


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ยของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นเฉลี่ยของ ไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นว่าแหล่งกำเนิดแสงแต่ละสีมีย่านความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน และมีค่าพีคการเปล่งแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน สรุปดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงย่านความยาวคลื่นและความยาวคลื่นที่มากที่สุดของไดโอดเปล่งแสง 5 สี

สี	λ (nm)	λ_{max} (nm)	T_{max} (Celsius)
แดง	600-650	624.66	25
เขียว	450-650	519.10	25
น้ำเงิน	400-500	450.37	25
ขาว Warm White	400-800	583.28	25
ขาว Cool White	400-700	448.03	25

หมายเหตุ T_{max} คือ อุณหภูมิของความเข้มแสงสูงสุด

ผลการวัดแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความเข้มแสงจะมีค่าลดลงและมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ให้ค่าพีคสูงสุดของไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีสามารถสรุปดังตารางที่แสดงมาข้างต้น

นอกจากนี้ผู้ทดลองสังเกตเห็นการเลื่อนของพีคไปทางย่านความยาวคลื่นที่มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้มีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงค่าช่องว่างของแถบพลังงานของวัสดุสารกึ่งตัวนำดังที่แสดงในสมการของ Vashni ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวัดค่าความสว่างของไดโอดเปล่งแสงที่อุณหภูมิสูง

ในการวัดค่าความสว่างของไดโอดเปล่งแสงผู้ทดลองจะทำการวัดทั้งหมด 5 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีขาว Warm White และสีขาว Cool White โดยผู้ทดลองจะทำการวัดเมื่อไดโอดเปล่งแสงมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป และจะทำการบันทึกผลในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส

ผลการทดลอง

ผลการวัดความสว่างของไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีแสดงดังตารางที่ 4.8-4.12

ตารางที่ 4.8 แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสง สีแดง ที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (Celsius)	ความสว่างของสีแดง (cd/m^2)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	20060	20230	21010	20433.33
30	19840	19620	19670	19710
40	18910	18830	17540	18426.67
50	16380	16530	16900	16603.33
60	15820	15600	15660	15693.33
70	14160	15030	14900	14696.67

ตารางที่ 4.9 แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสง สีเขียว ที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (Celsius)	ความสว่างของสีเขียว (cd/m^2)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	47440	47410	47440	47430
30	46910	46830	46810	46850
40	45310	45310	45310	45310
50	44330	44380	44260	44323.33
60	43080	43080	42960	43040
70	41730	41560	41680	41656.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสง สีน้ำเงิน ที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (Celsius)	ความสว่างของสีน้ำเงิน (cd/m^2)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	6236	6239	6244	6239.667
30	6264	6266	6256	6262
40	6246	6241	6246	6244.333
50	6216	6218	6223	6219
60	6161	6171	6173	6168.333
70	6078	6075	6080	6077.667

ตารางที่ 4.11 แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสง สี Warm White ที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส

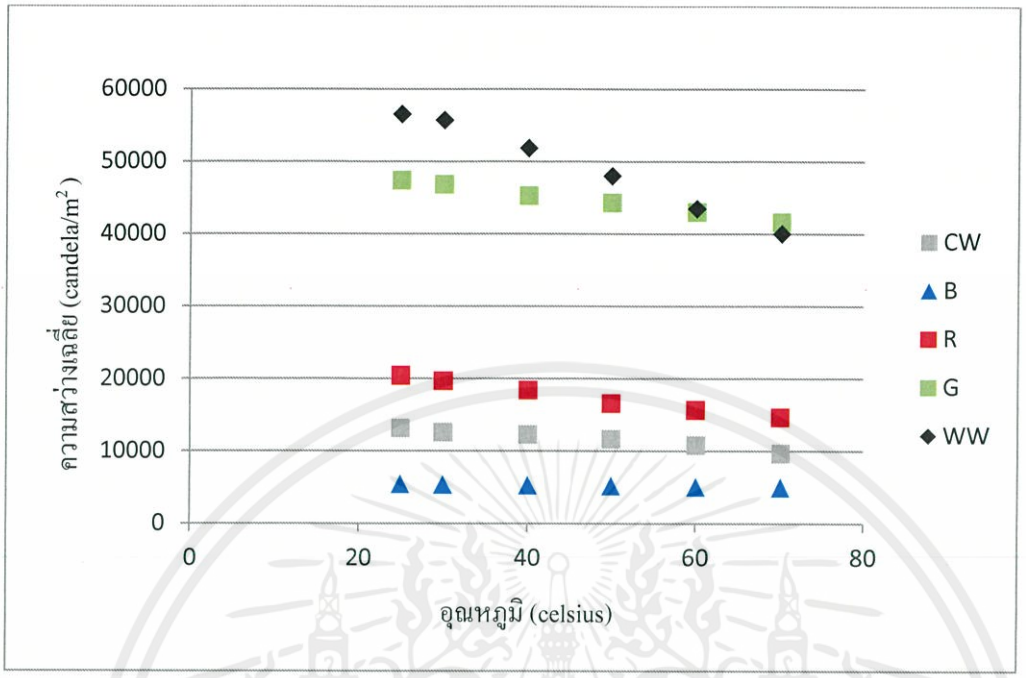
อุณหภูมิ (Celsius)	ความสว่างของสี Warm White (cd/m^2)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	56620	56570	56390	56526.67
30	55640	55720	55740	55700
40	51710	51880	51940	51843.33
50	47950	48040	48000	47996.67
60	43470	43510	43430	43470
70	40250	40040	39800	40030

ตารางที่ 4.12 แสดงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงสี Cool White ที่อุณหภูมิ 25-70 องศาเซลเซียส

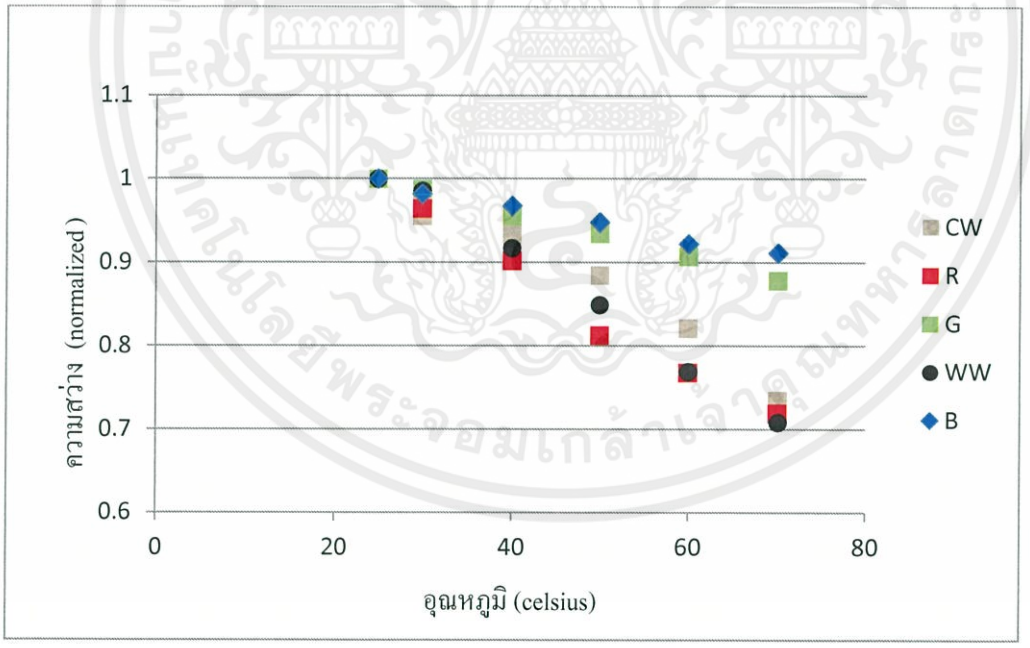
อุณหภูมิ (Celsius)	ความสว่างของสี Cool White (cd/m^2)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	13180	13160	13200	13180
30	12490	12610	12690	12596.67
40	12010	12450	12440	12300
50	11440	11830	11700	11656.67
60	10910	10950	10610	10823.33
70	9710	9529	9810	9683

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่ได้มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิ



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างเฉลี่ยกับอุณหภูมิของ ไดโอดเปล่งแสง 5 สี



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง(normalized)กับอุณหภูมิของ ไดโอดเปล่งแสง 5 สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์เมื่อใช้สมการเชิงเส้น $y = mx + c$ ในการพิจารณาเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีจะให้ค่าตัวแปร m, c และ R^2 ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงตัวแปรที่สอดคล้องกับเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสว่างของไดโอดเปล่งแสง

สี	m	c	R^2
ขาว Warm White	0.0067	1.1800	0.9955
แดง	0.0064	1.1539	0.9889
ขาว Cool White	0.0055	1.1394	0.9689
เขียว	0.0027	1.0666	0.9976
น้ำเงิน	0.0020	1.0452	0.9875

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White มีความชันของเส้นตรงมากที่สุด และไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินมีความชันของเส้นตรงน้อยที่สุด จึงบอกได้ว่าสีที่มีการเปลี่ยนแปลงความสว่างเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากที่สุดคือสีขาว Warm White เนื่องจากช่องว่างของแถบพลังงานของวัสดุสารกึ่งตัวนำจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงในสมการของ Vashni ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง จะทำการวัดจำนวน 5 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สี Cool White สี Warm White ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส โดยในการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง ทั้ง 5 สี พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น Voltage turn on จะมีค่าลดลง สีที่มี Voltage turn on ลดลงน้อยที่สุดคือสีแดงมีค่า 0.0045 และสีที่มี Voltage turn on ลดลงมากที่สุดคือสีขาว Cool White มีค่า 0.0073 โดยสังเกตจากความชันของเส้นตรง และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความต้านทานลดลงโดยสีน้ำเงินมีค่าความต้านทานลดลงน้อยที่สุด มีค่า 0.5228 โอห์ม และสีเขียวมีค่าความต้านทานลดลงมากที่สุด มีค่า 6.8433 โอห์ม ในช่วงอุณหภูมิที่ทดสอบผลการวัดสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสง ทั้ง 5 สียังพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเข้มแสงจะมีค่าลดลงและความยาวคลื่นจะมีค่ามากขึ้น และยังเห็นการเลื่อนของพีคไปยังย่านที่มีความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อโทนของสีที่เปล่งออกมา และยัง พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความสว่างจะมีค่าลดลง สีน้ำเงินมีความสว่างลดลงน้อยที่สุด 1.0972 เท่า และสีขาว Warm White มีความสว่างลดลงมากที่สุด 1.4121 เท่า ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงอัตราการลดลงของไดโอดเปล่งแสง 5 สี ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส

สี	Voltage turn on (ความชัน)	Δความต้านทาน (โอห์ม)	ความสว่าง (จำนวนเท่า)	Δความเข้มแสง (arb.unit)
Cool White	0.0073	2.0839	1.3611	4063
Warm White	0.0072	6.0266	1.4121	5165
เขียว	0.0059	6.8433	1.1386	2121.67
น้ำเงิน	0.0052	0.5228	1.0972	10759.34
แดง	0.0045	1.417	1.3903	12926.33

สมบัติของไดโอดเปล่งแสงที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายได้โดยการลดลงของช่องว่างแถบพลังงานเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามสมการของ Vashni ในหัวข้อ 2.9 และความต้านทานของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสามารถอธิบายได้โดยสมการสภาพต้านทานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน. (2011). **LED ศักยภาพความสดใสของแสงและสีต้องพิสูจน์.**
[Online]. Available : http://www.arch.chula.ac.th/journal/files/article/znyItzeM9eThu95555.pdf.

[2] **ไดโอดคืออะไร.**
[Online]. Available : http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/LED/thaiLED1.htm.

[3] **How does led work.**
[Online]. Available : http://www.omslighting.com/ledacademy

[4] Vilnius University. (2013). **Temperature characteristics of LEDs.**
[Online]. Available : http://web.vu.lt/tmi/a.zabiliute/wpcontent/uploads/sites/2/2013/11/LED_Temperature_characterstics.pdf.

[5] Journal of Semiconductors. (2013). **Effect of temperature on the intensity and carrier lifetime of an AlGaAs based red light emitting diode.**
[Online]. Available : http://www.jos.ac.cn/bdtxbcn/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=13020203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

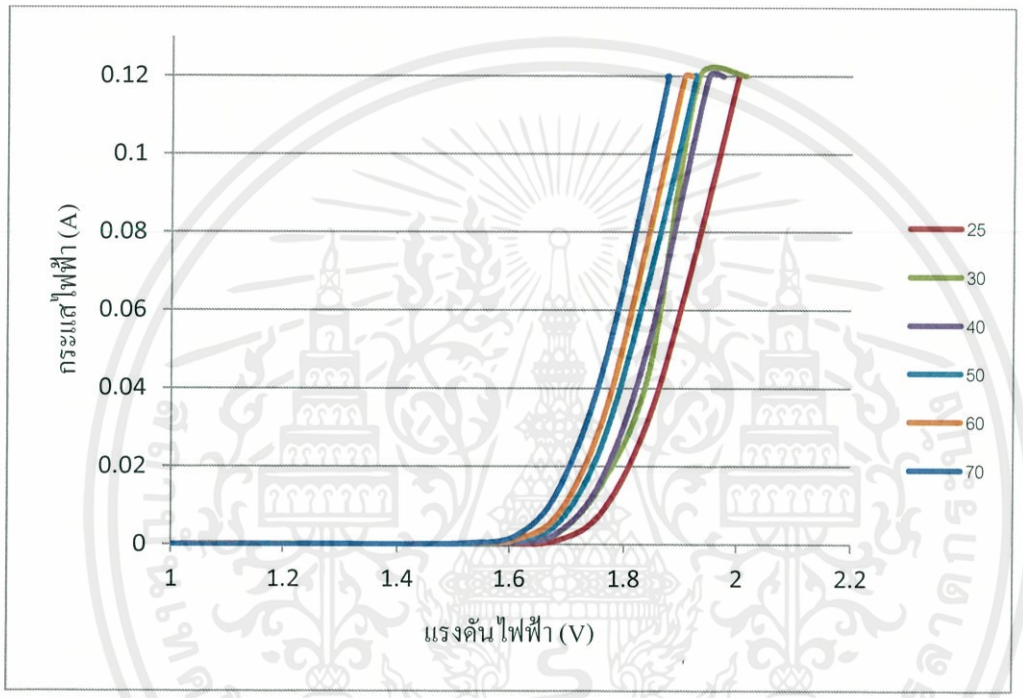
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

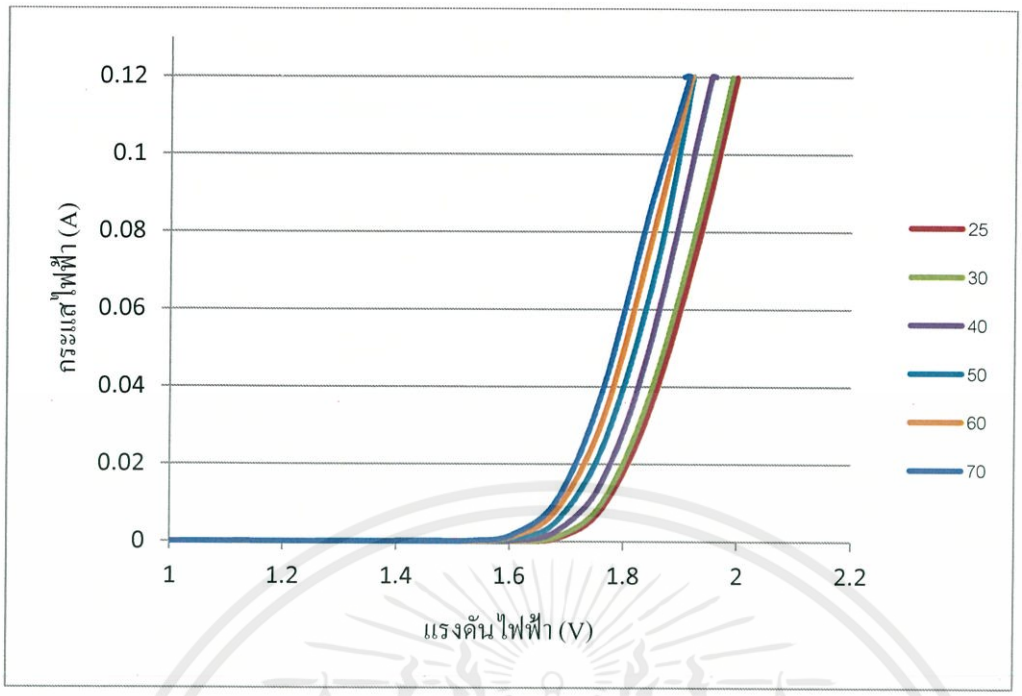
ในการวัดสมบัติของไดโอดเปล่งแสงผู้ทดลองจะทำการวัดทั้งหมด 5 สี ได้แก่ สีแดงสีเขียว สีน้ำเงิน สีขาว Warm White และสีขาว Cool White และจะทำการบันทึกผลในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 70 องศาเซลเซียส

ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง

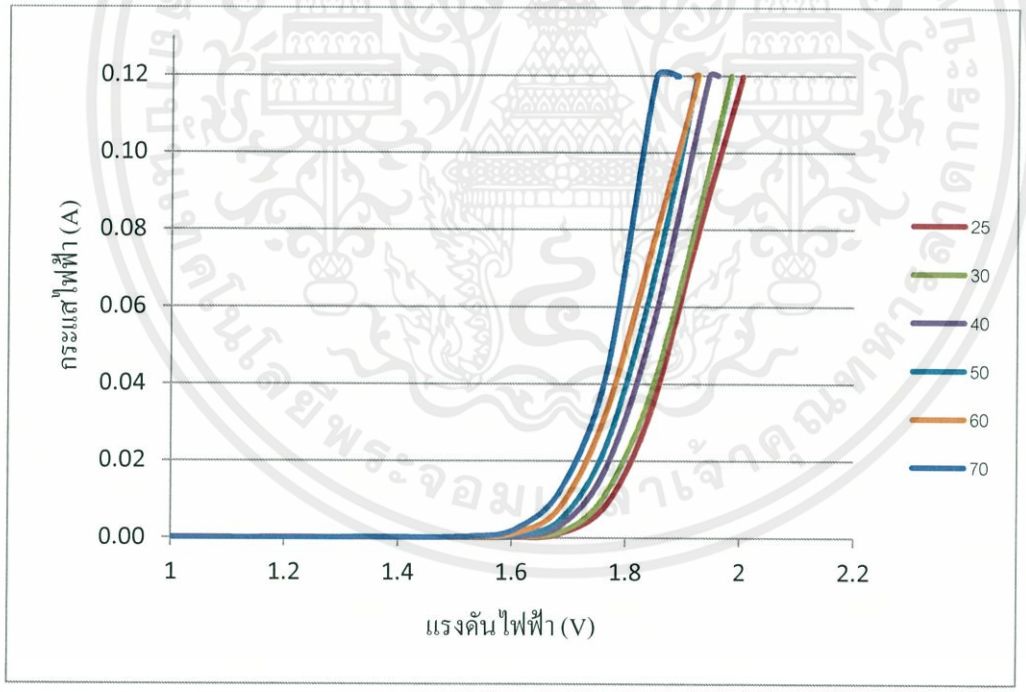


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

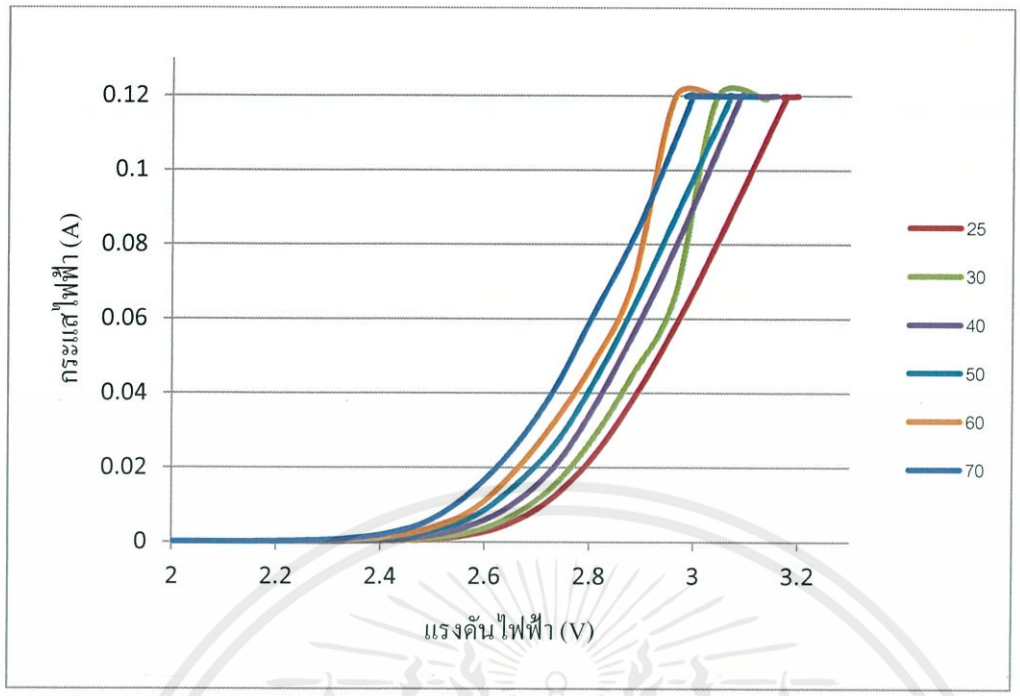


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 2

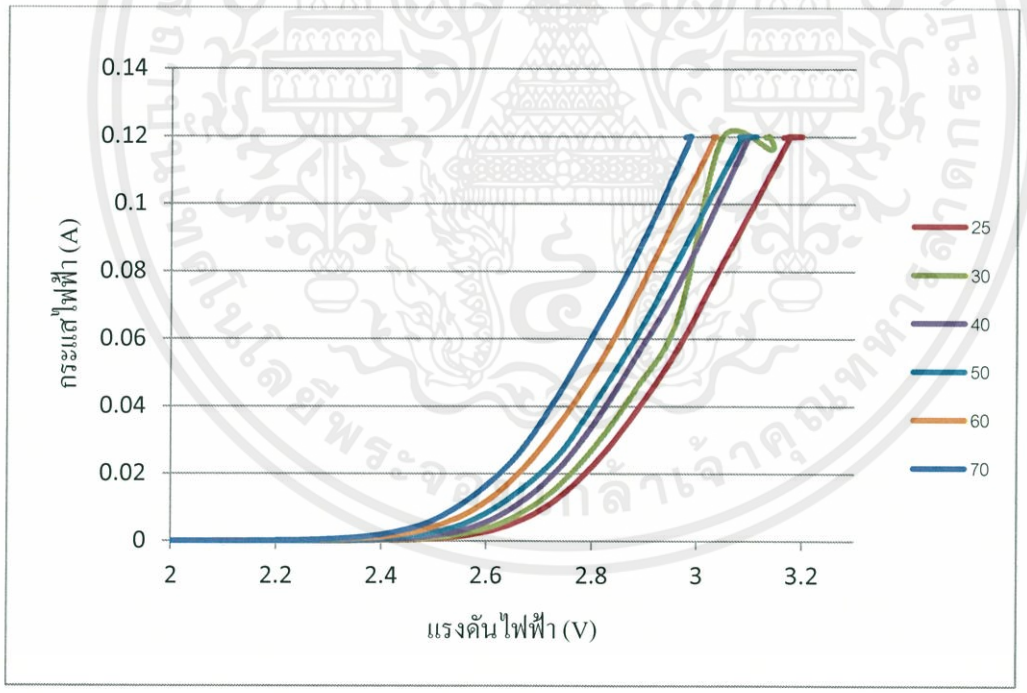


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

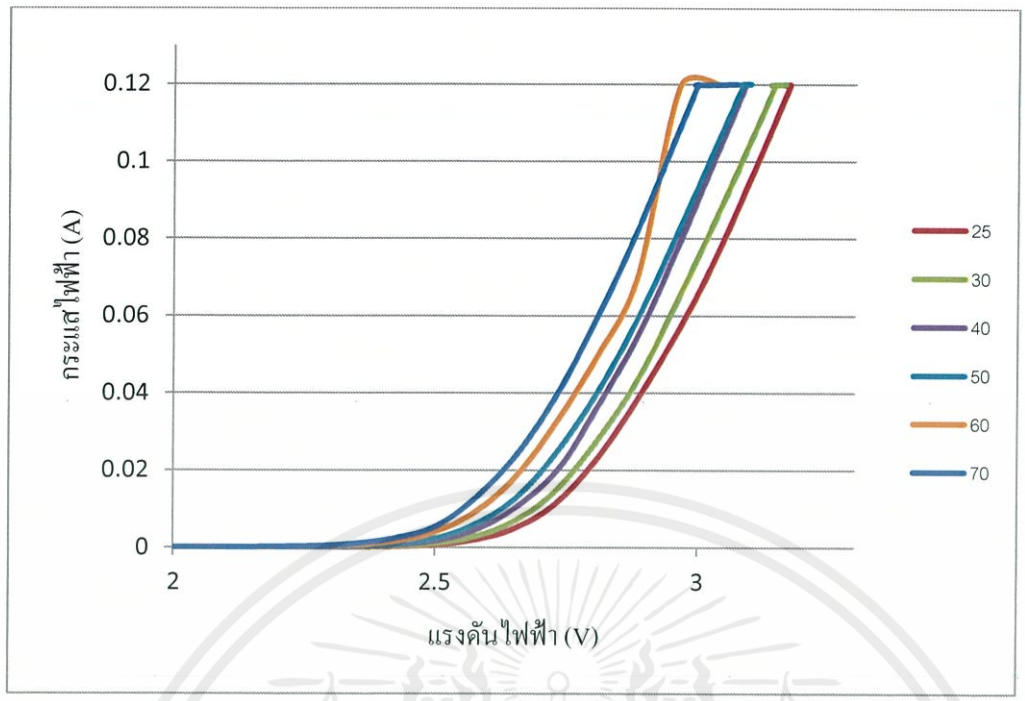


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 1

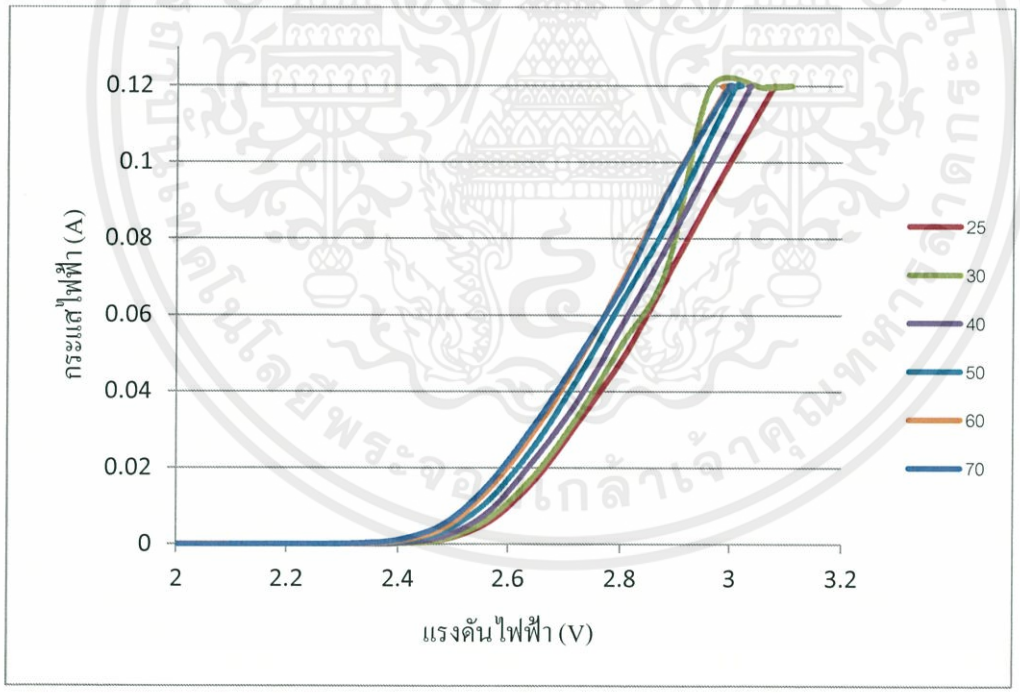


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

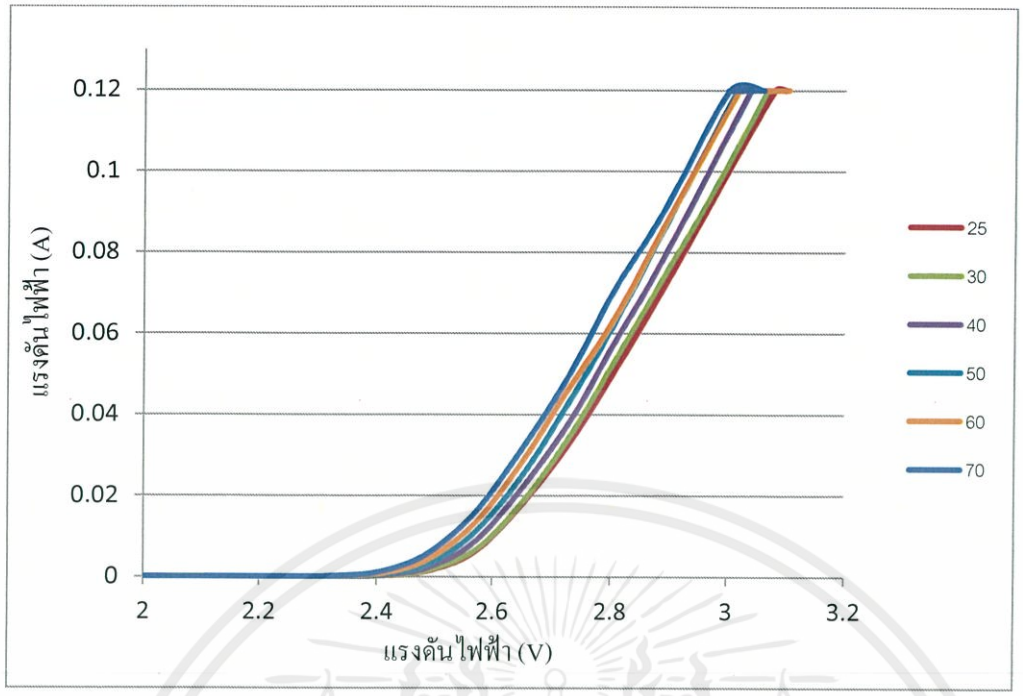


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 3

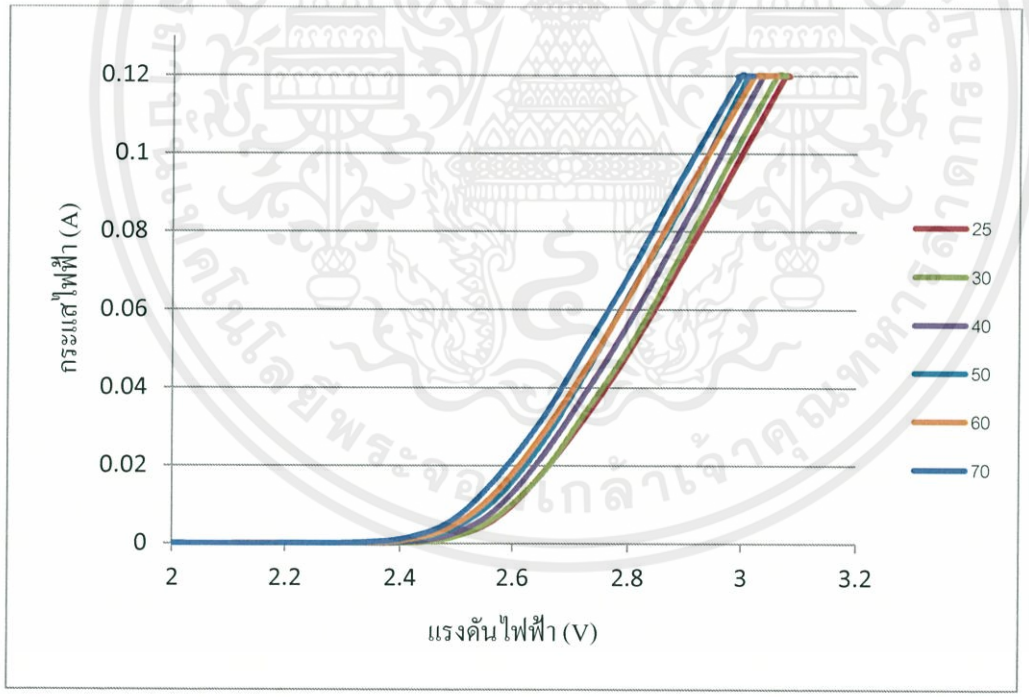


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

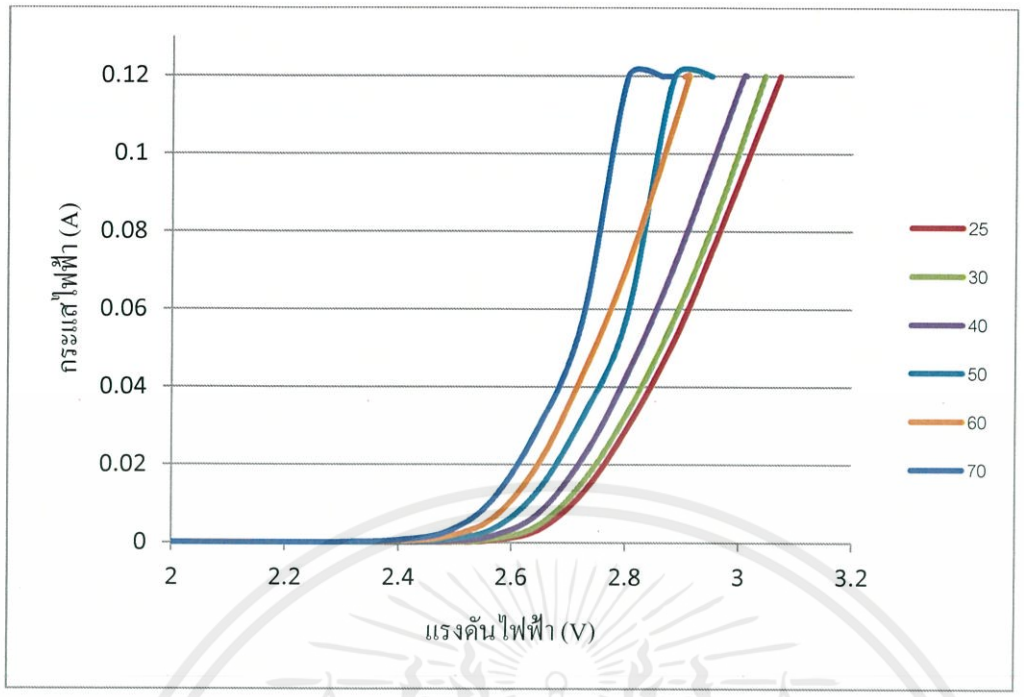


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 2

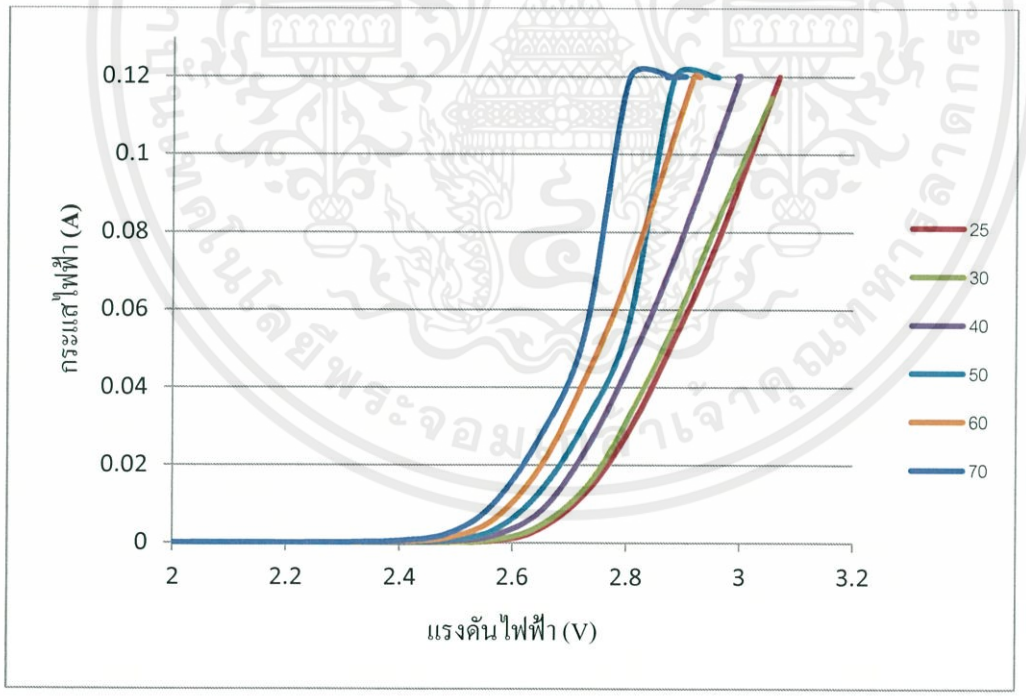


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

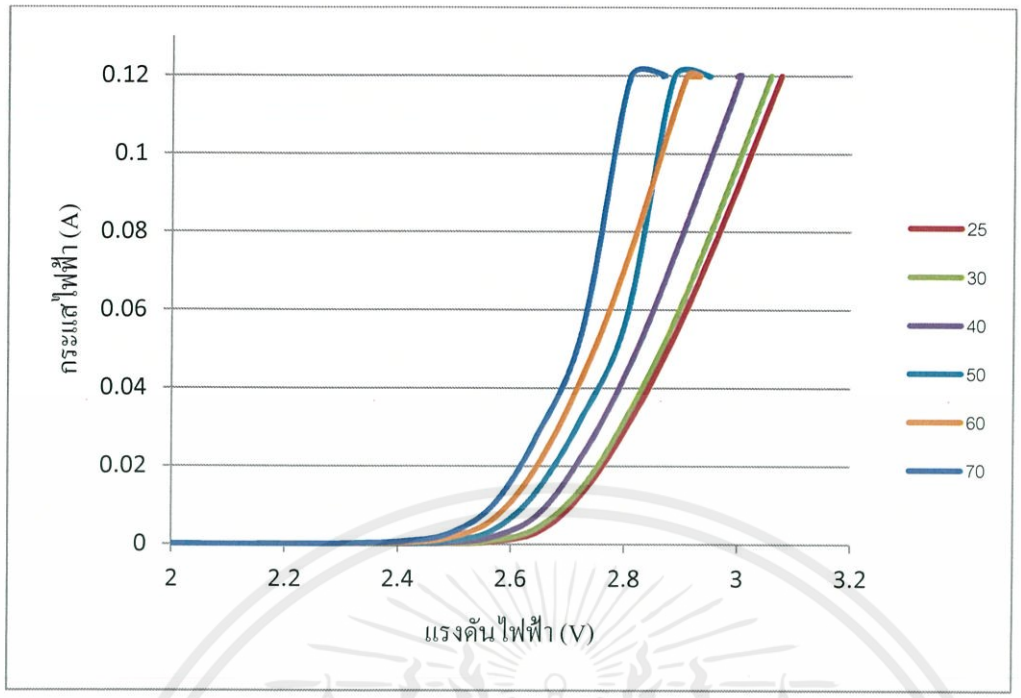


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 1

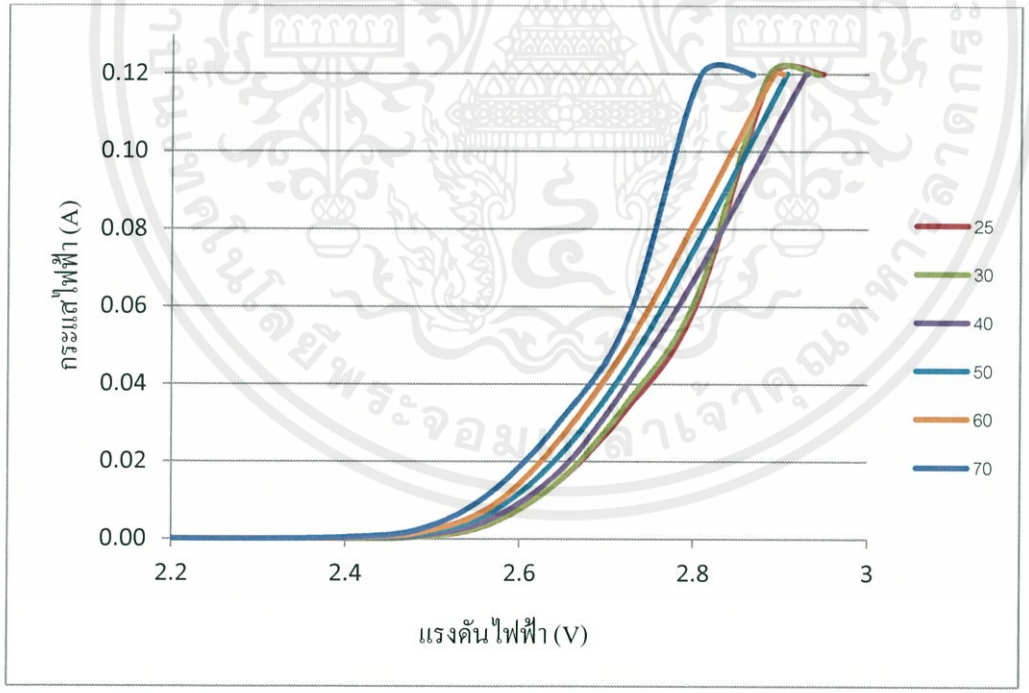


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

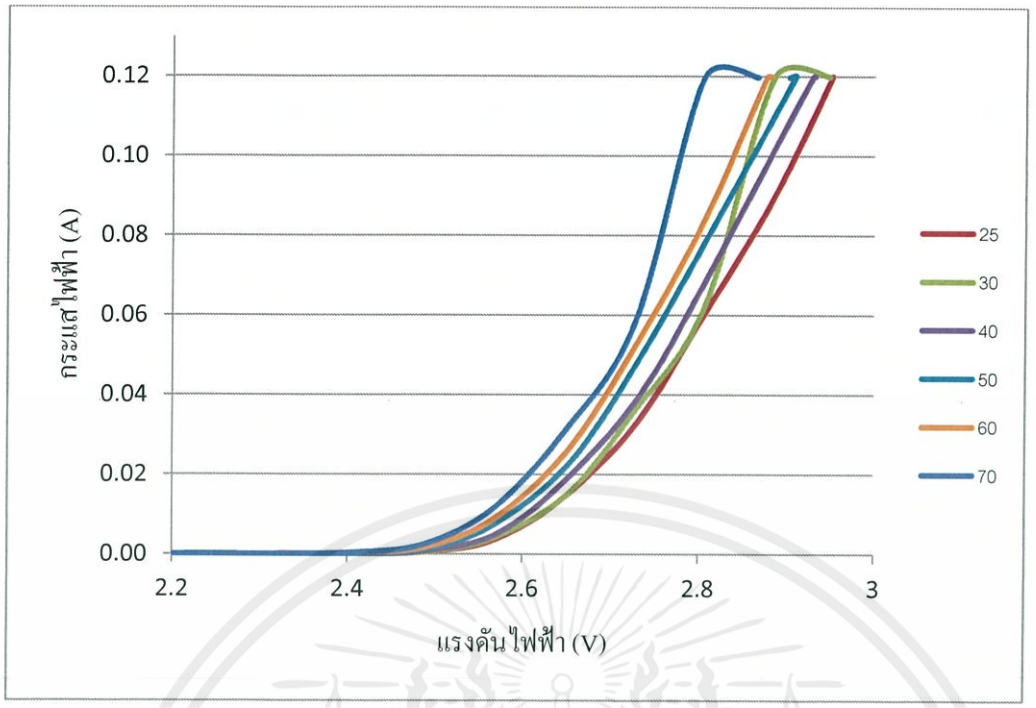


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 3

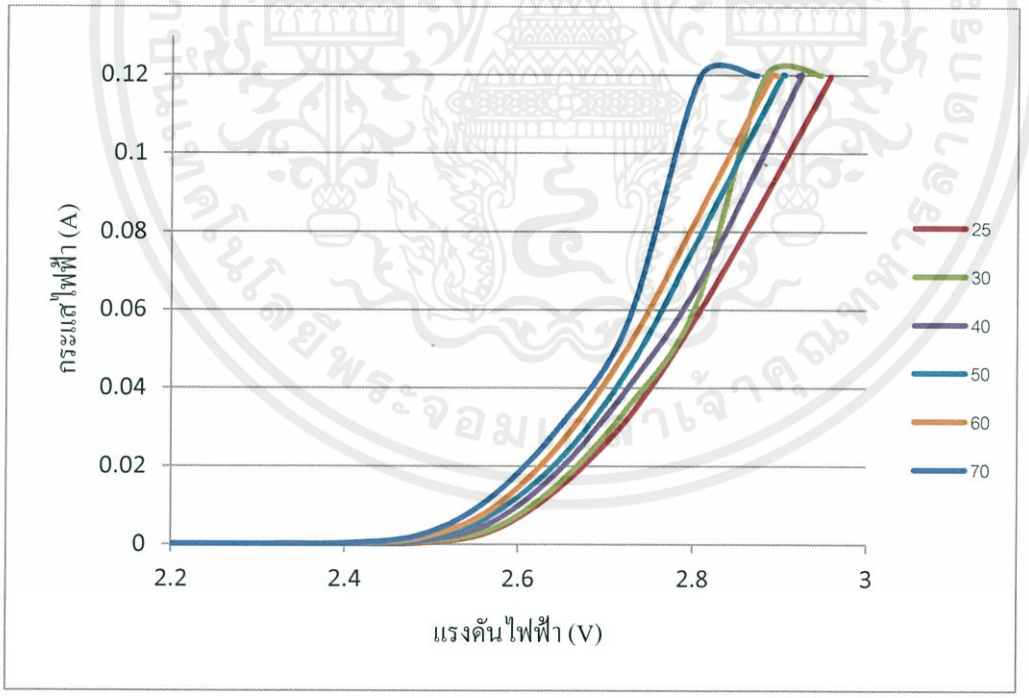


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



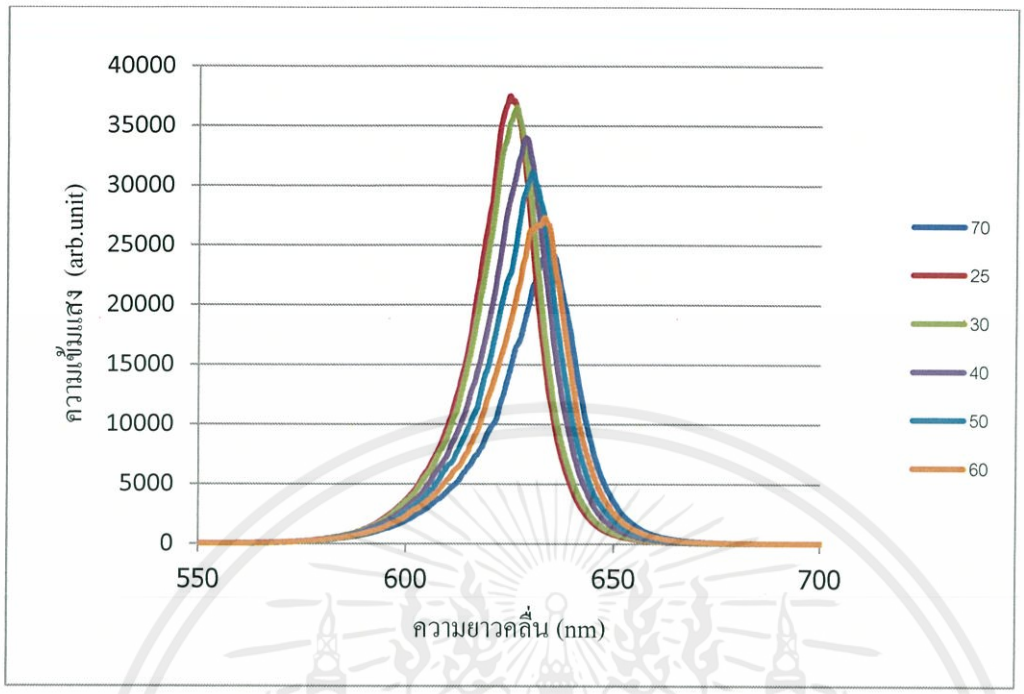
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 2



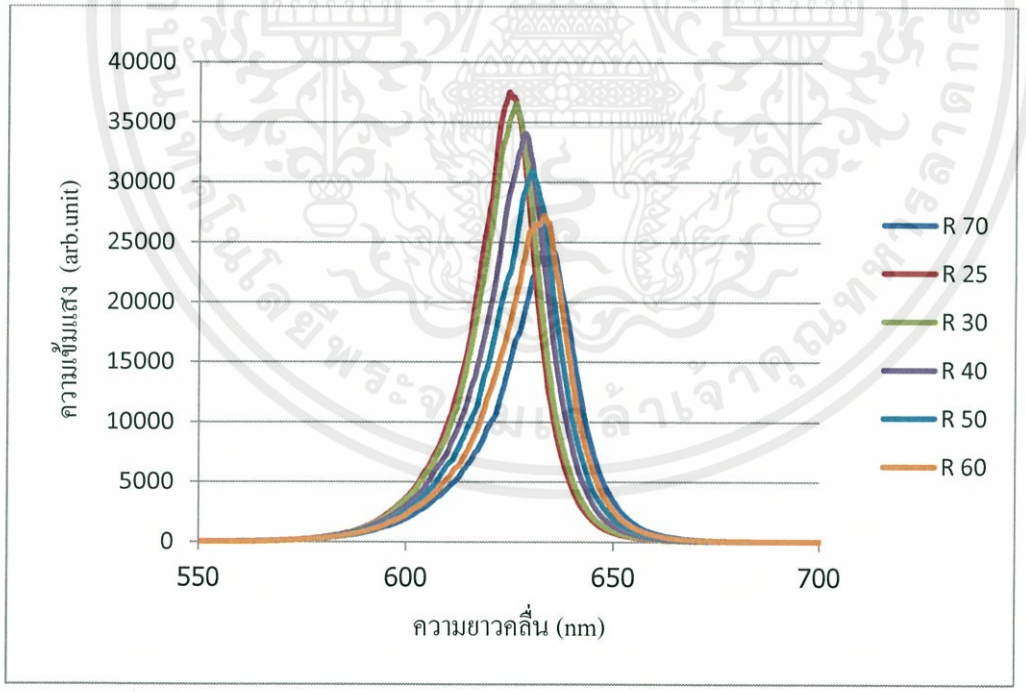
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง

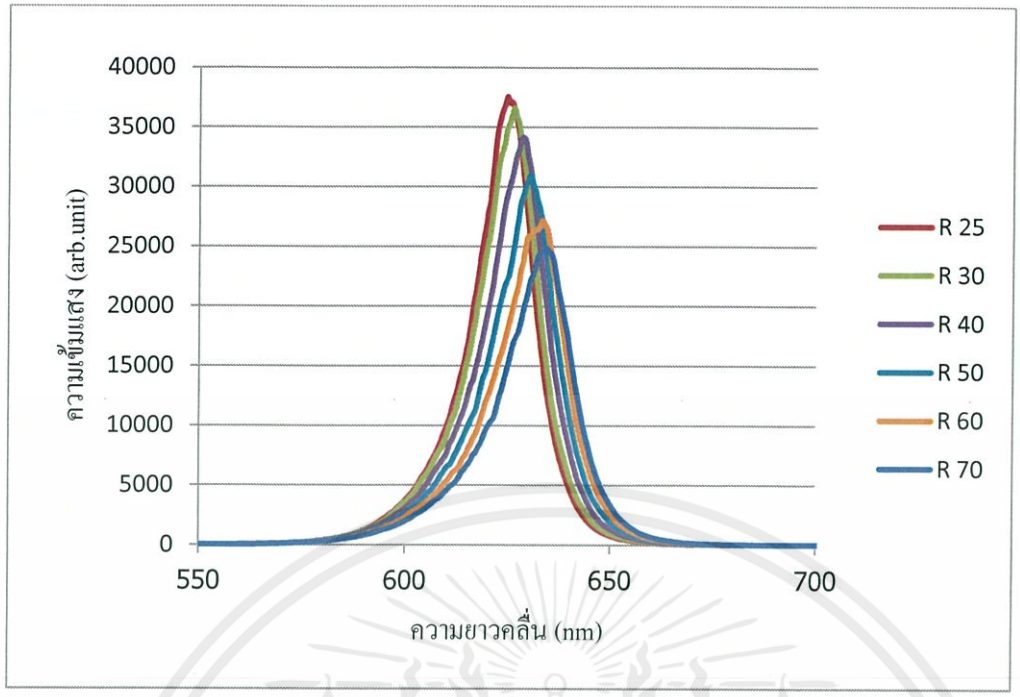


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 1

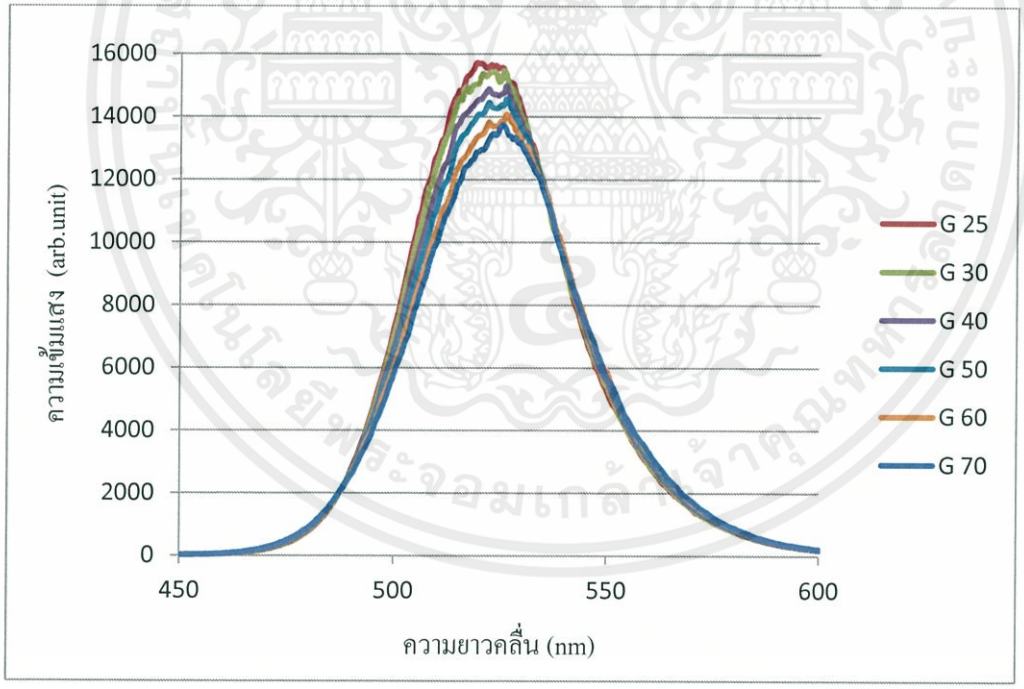


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

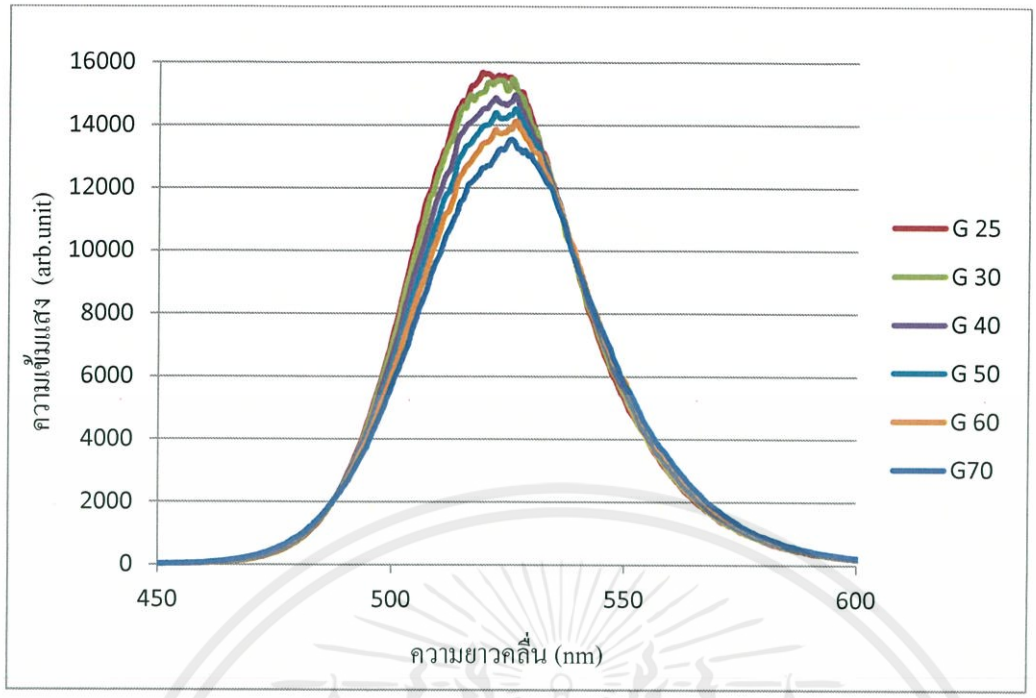


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 3

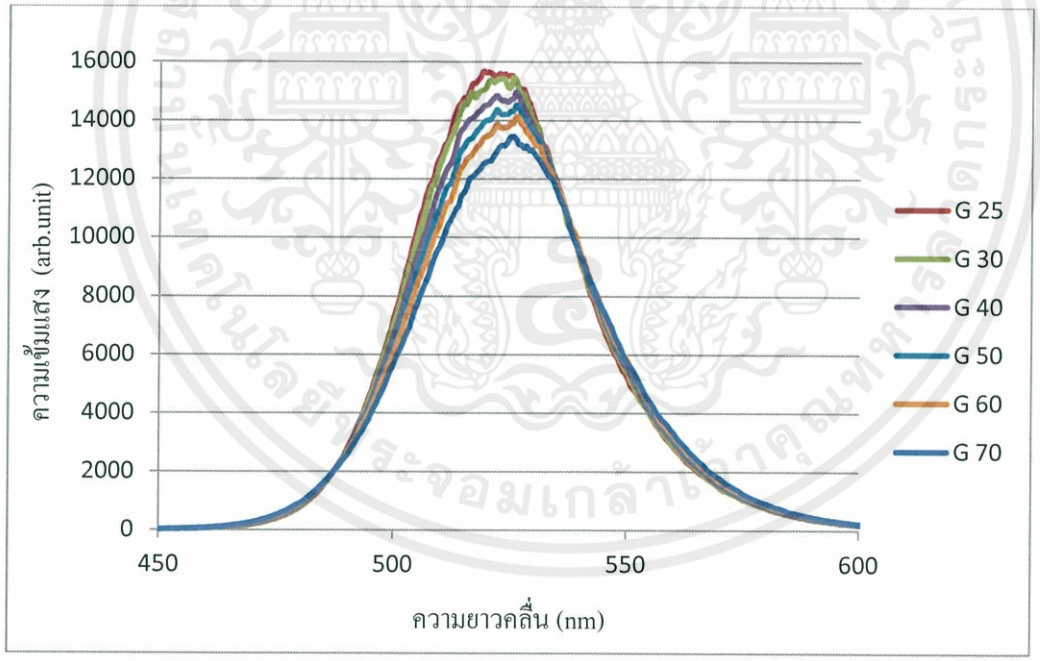


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

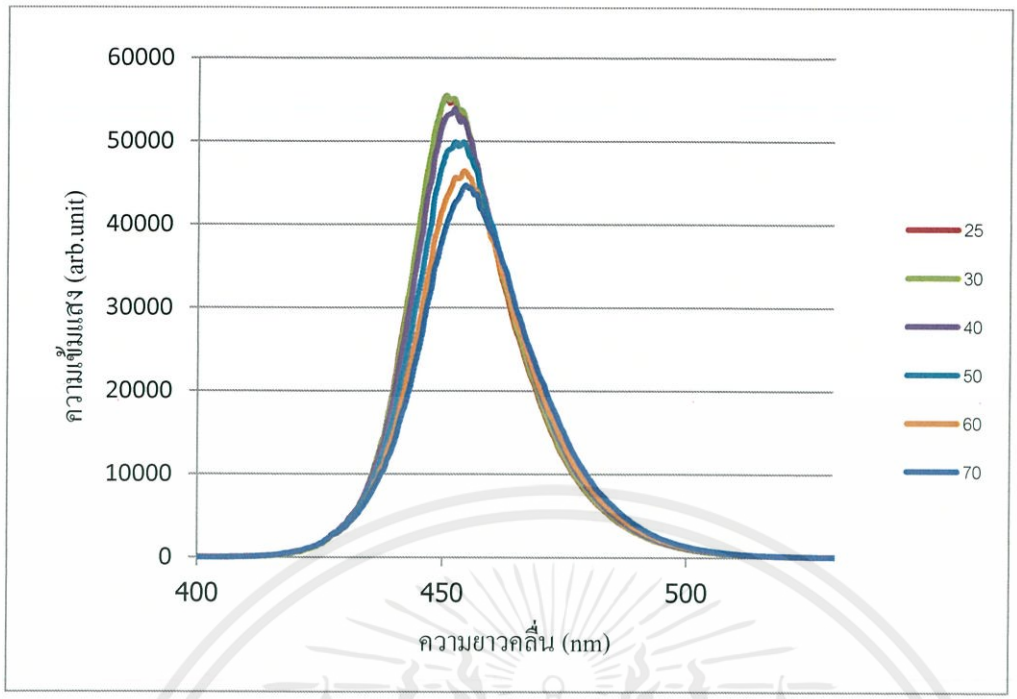


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 2

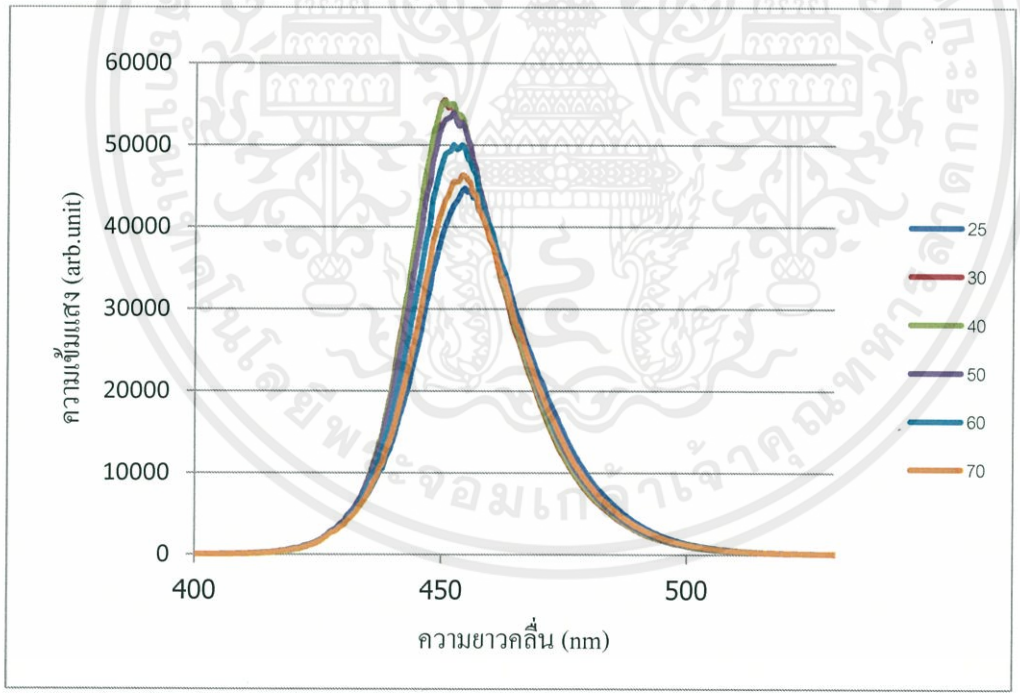


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

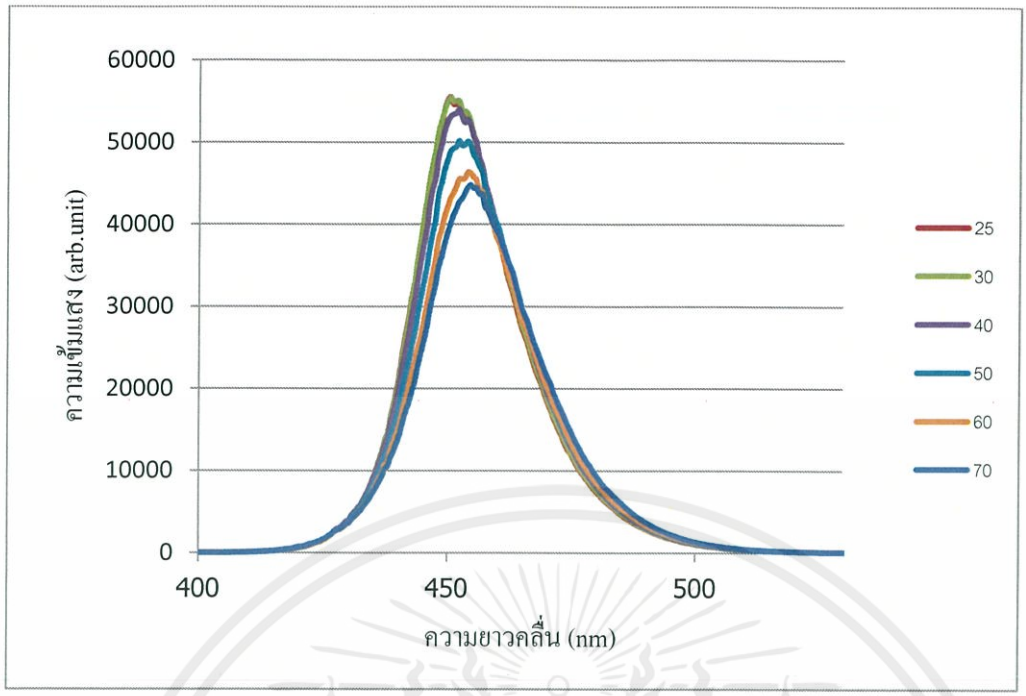


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 1

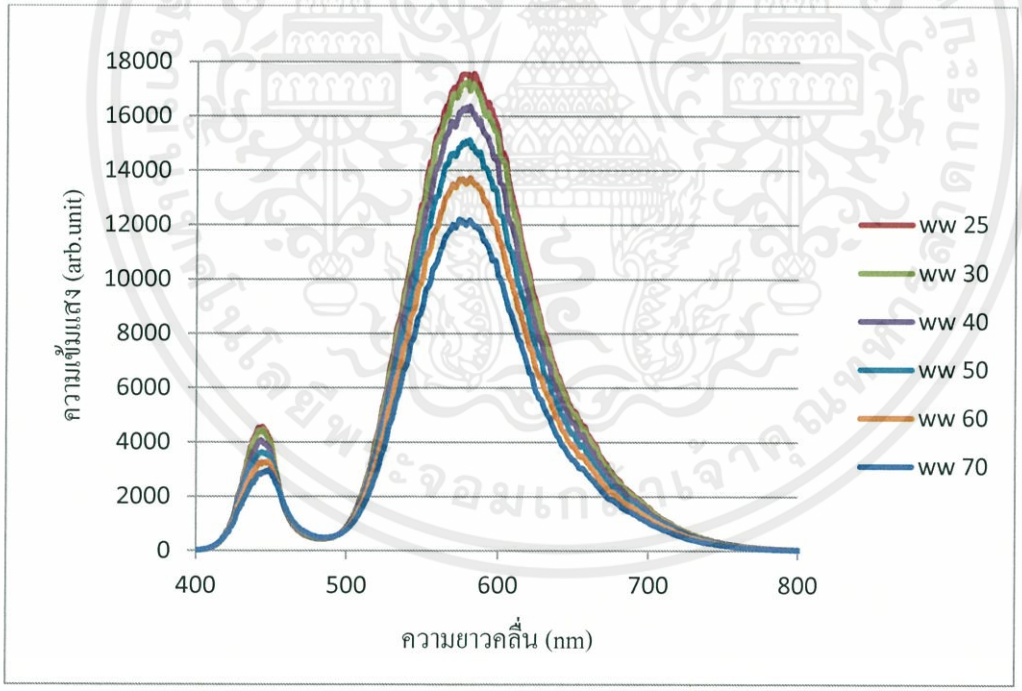


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

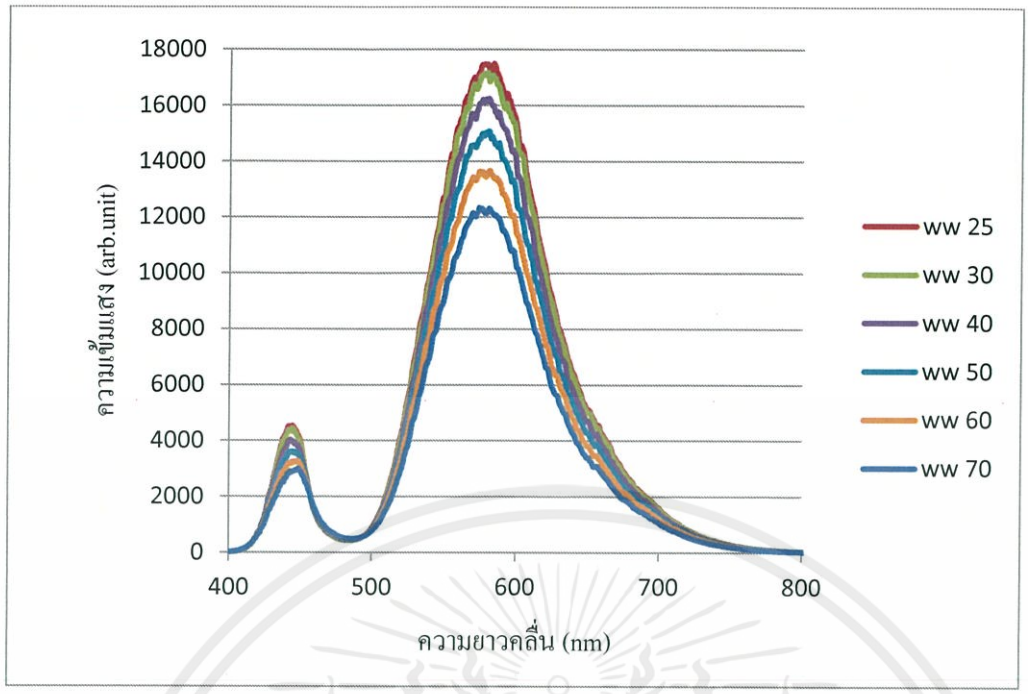


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 3

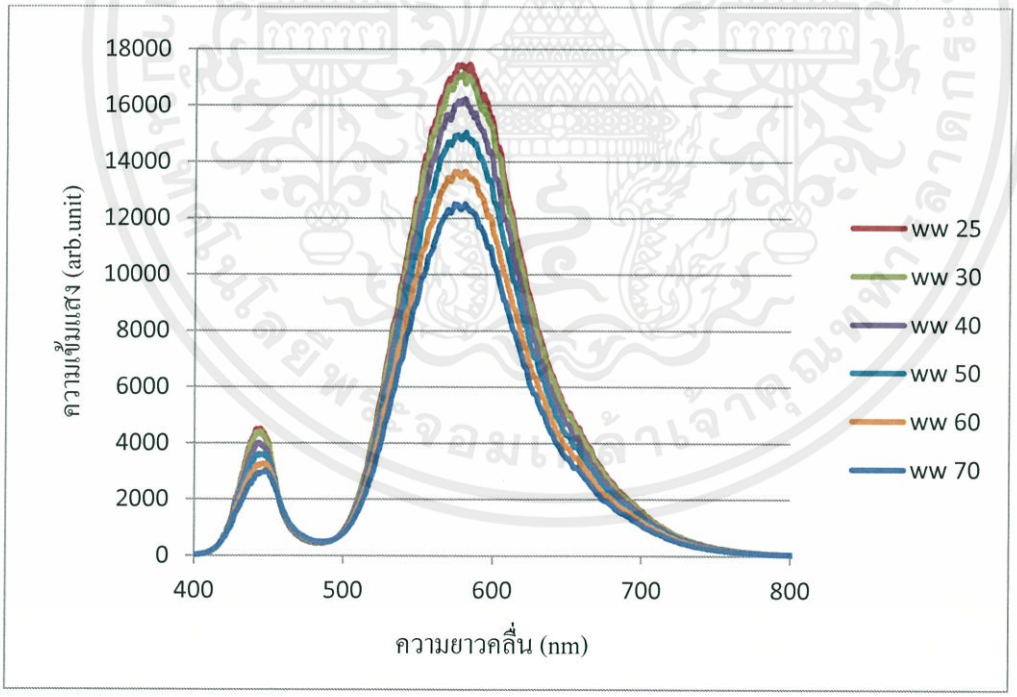


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

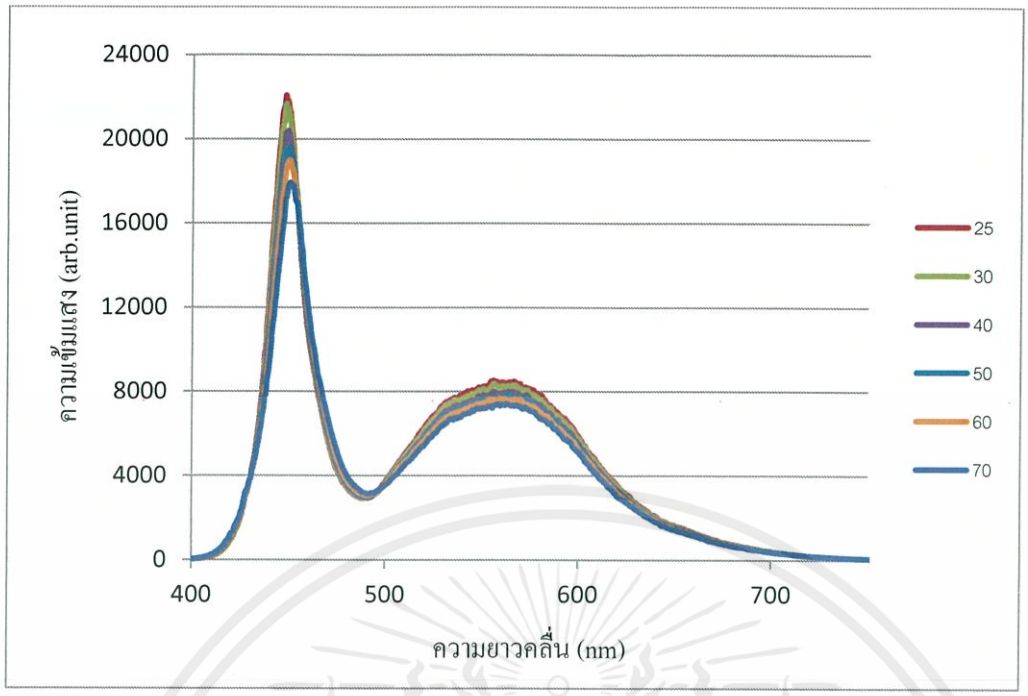


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 2

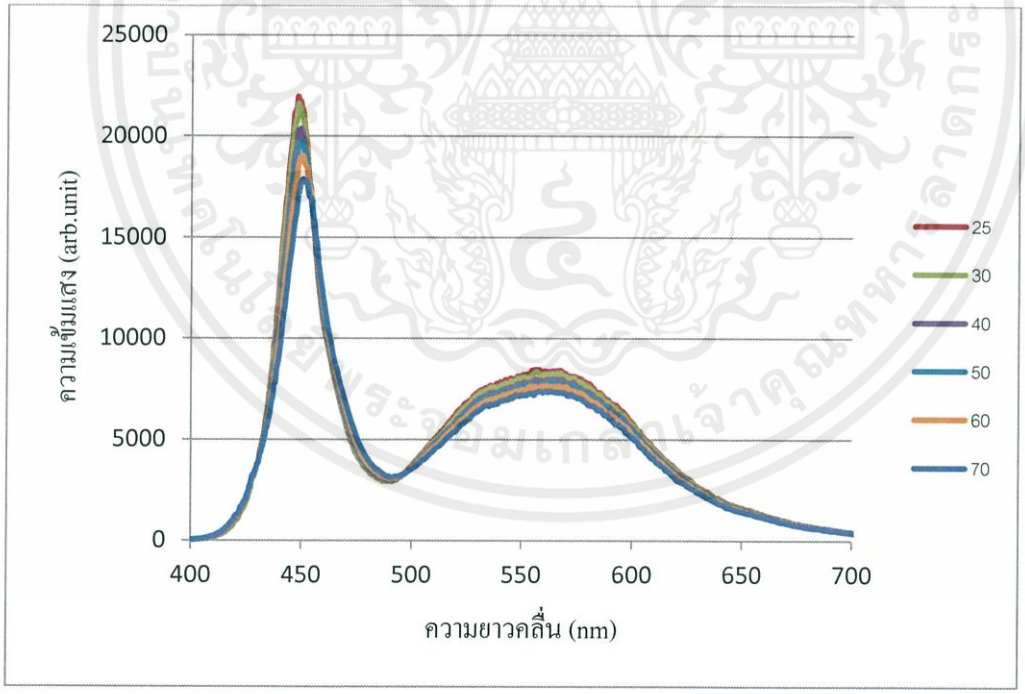


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

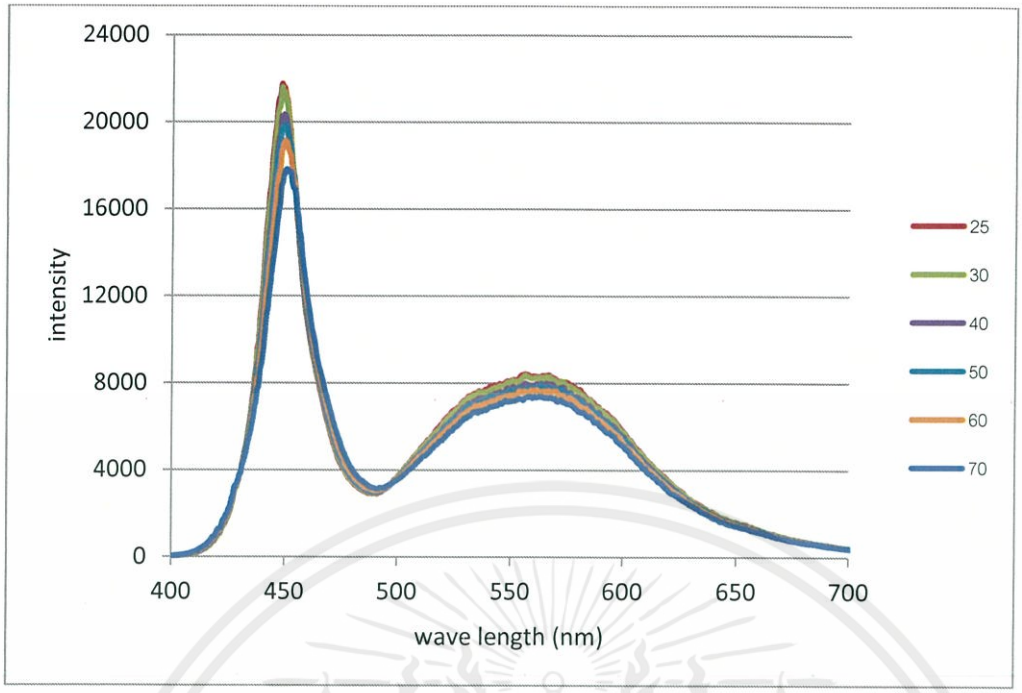


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 1



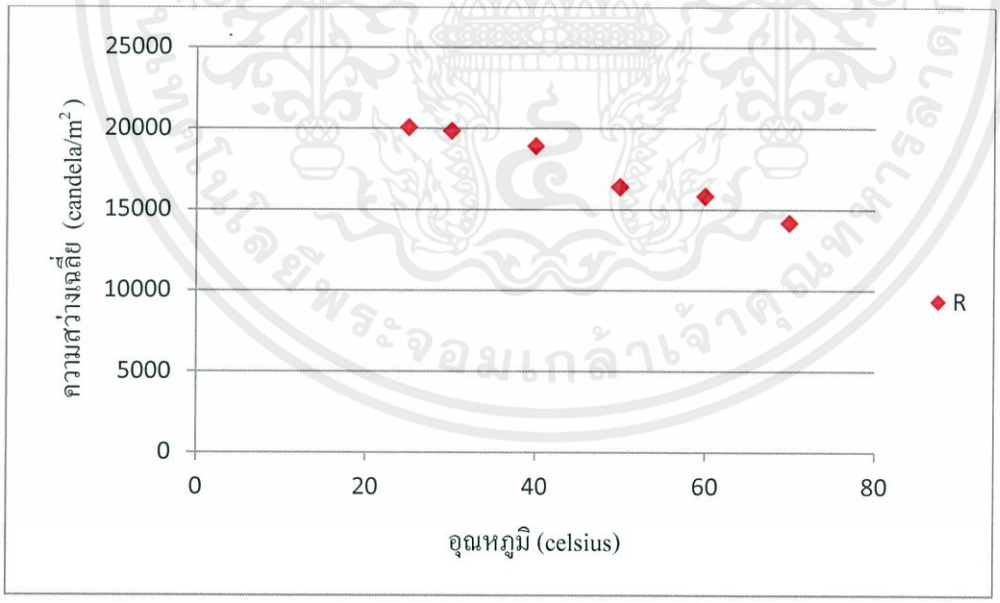
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



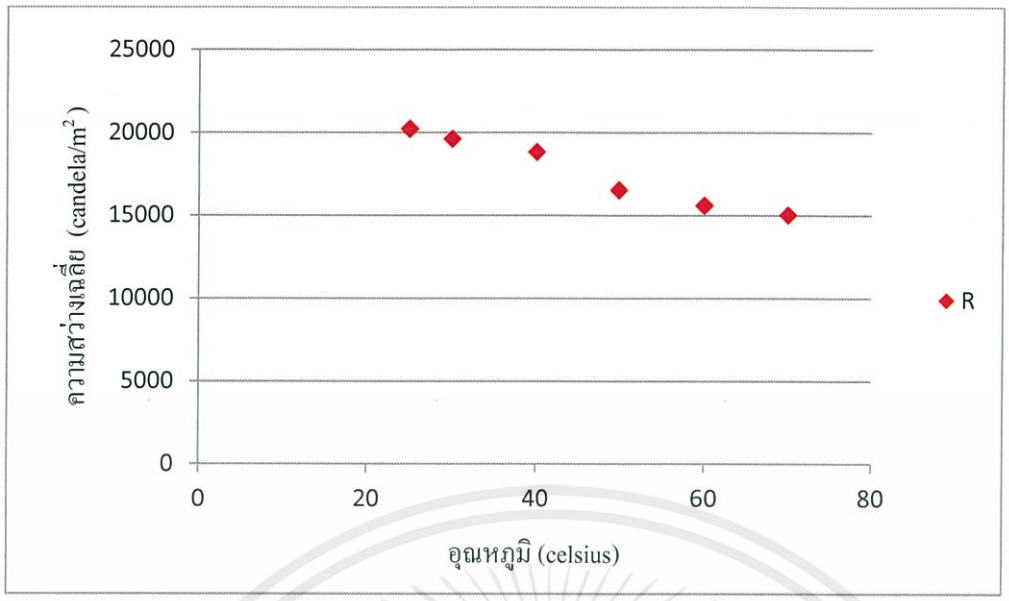
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 3

ผลการวัดความสว่างของไดโอดเปล่งแสง

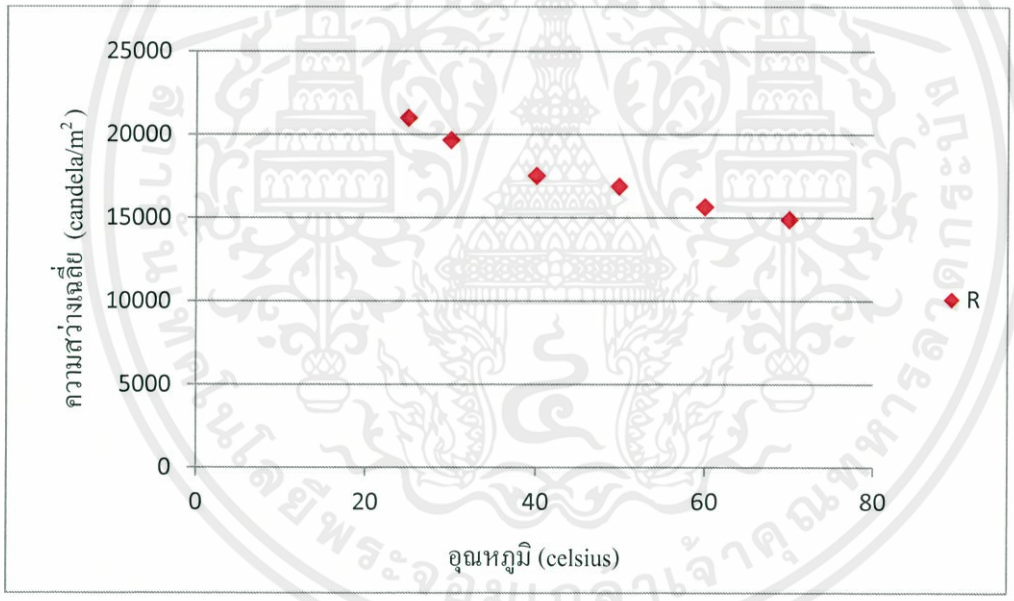


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

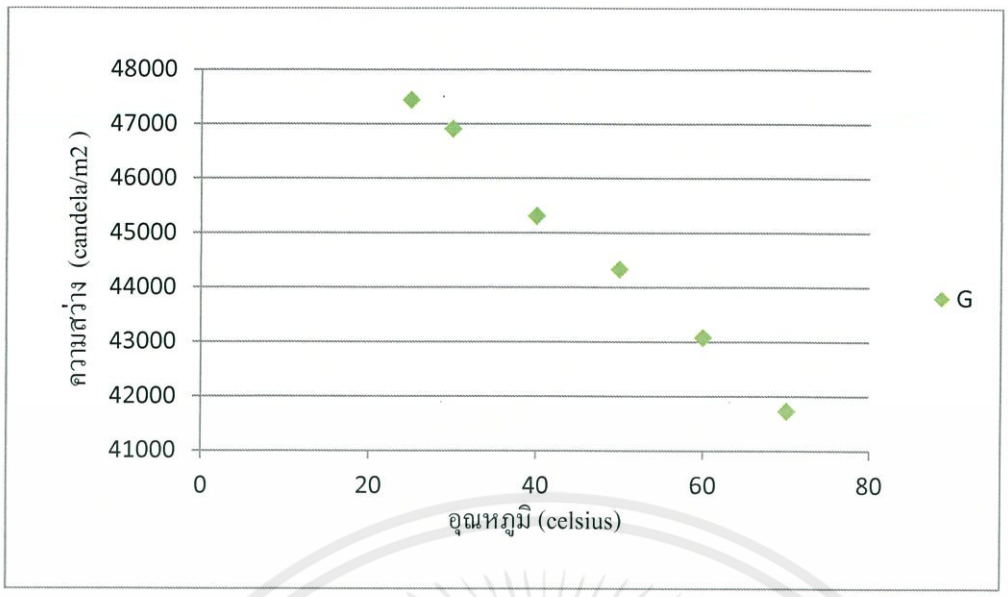


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 2

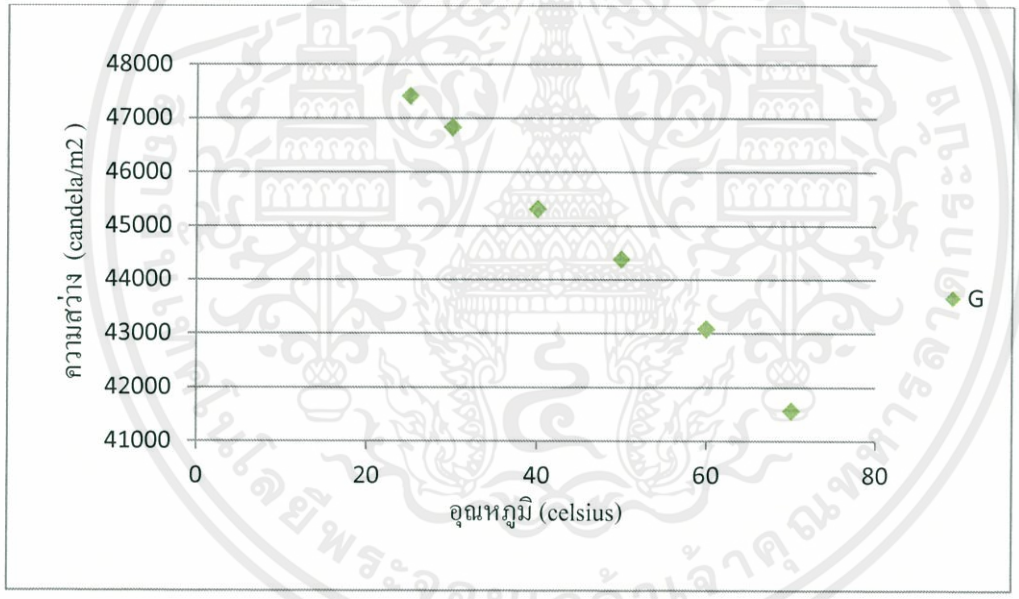


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีแดง ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

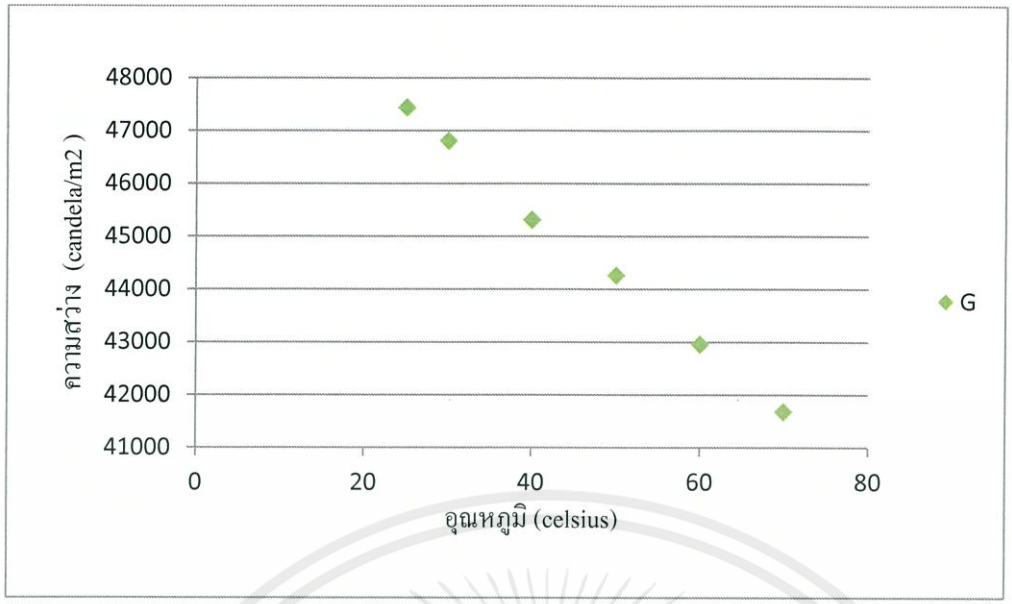


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 1

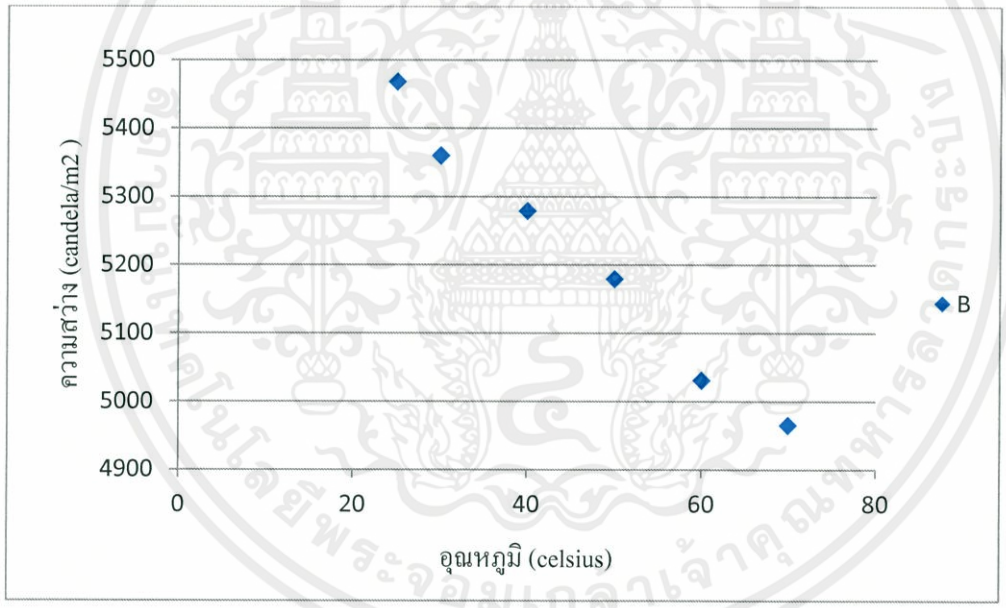


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

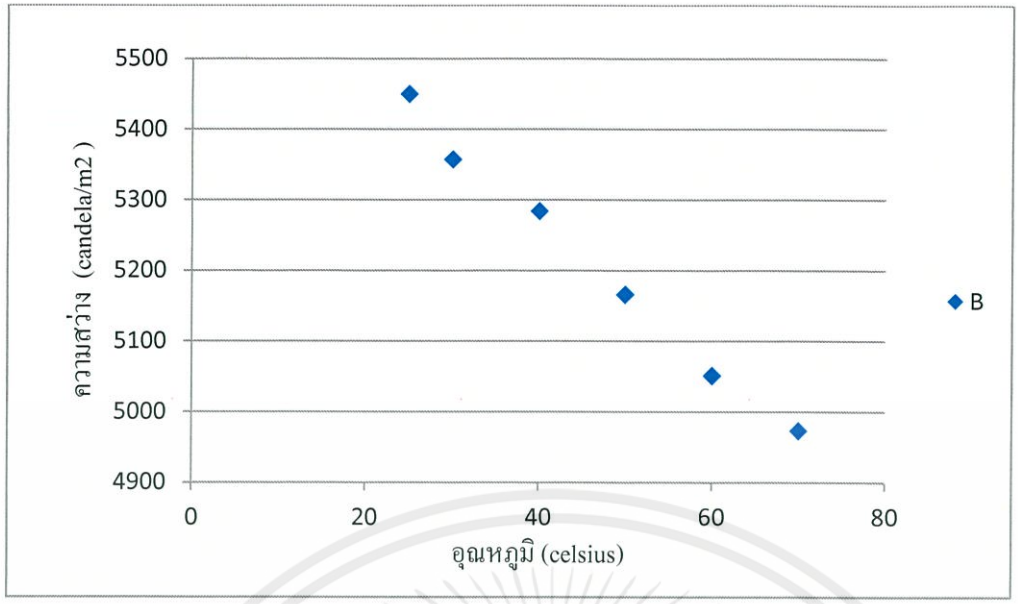


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ครั้งที่ 3

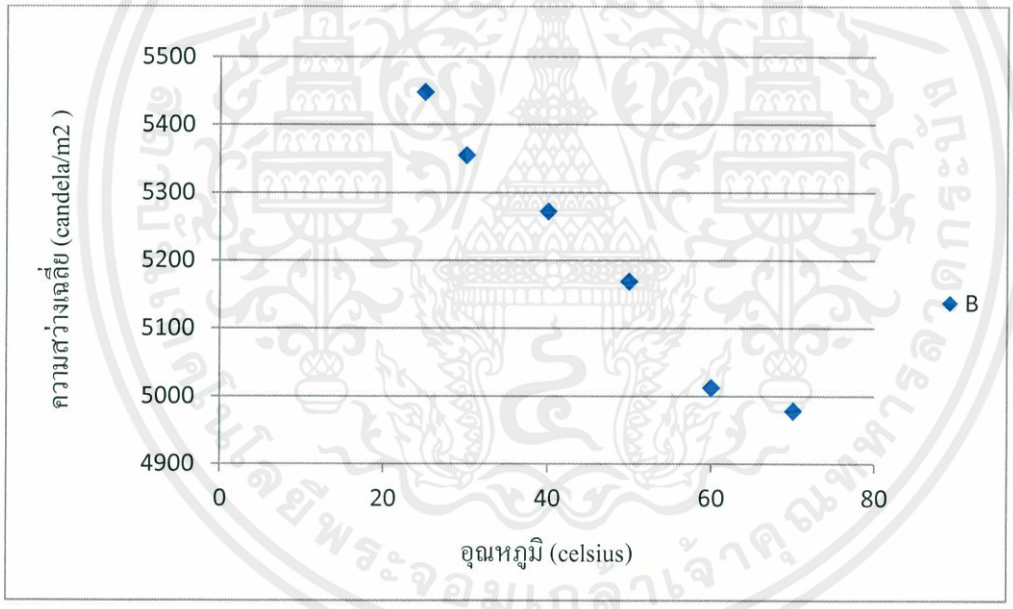


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

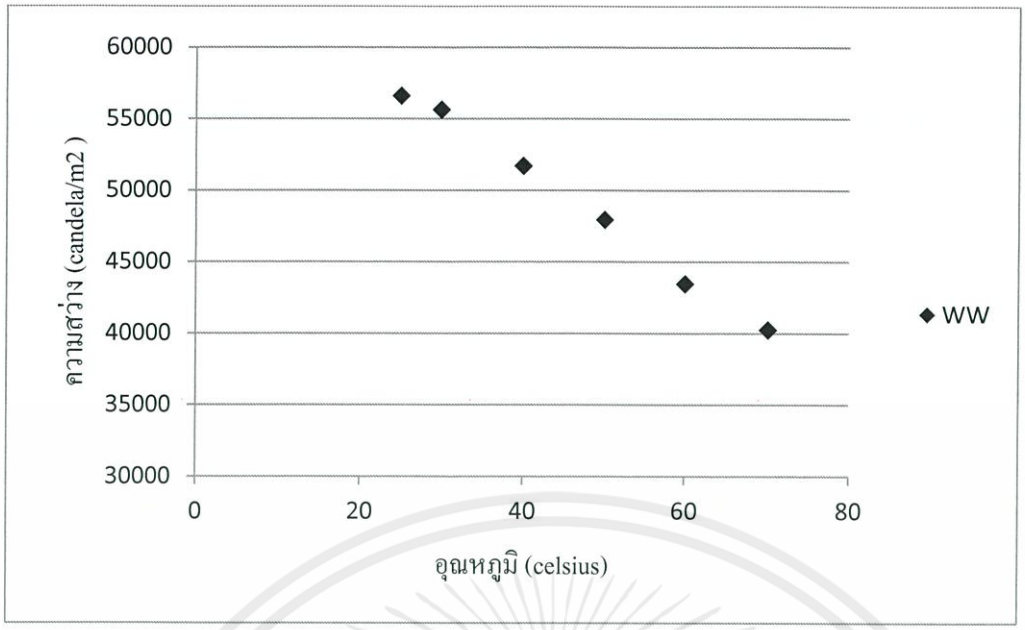


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 2

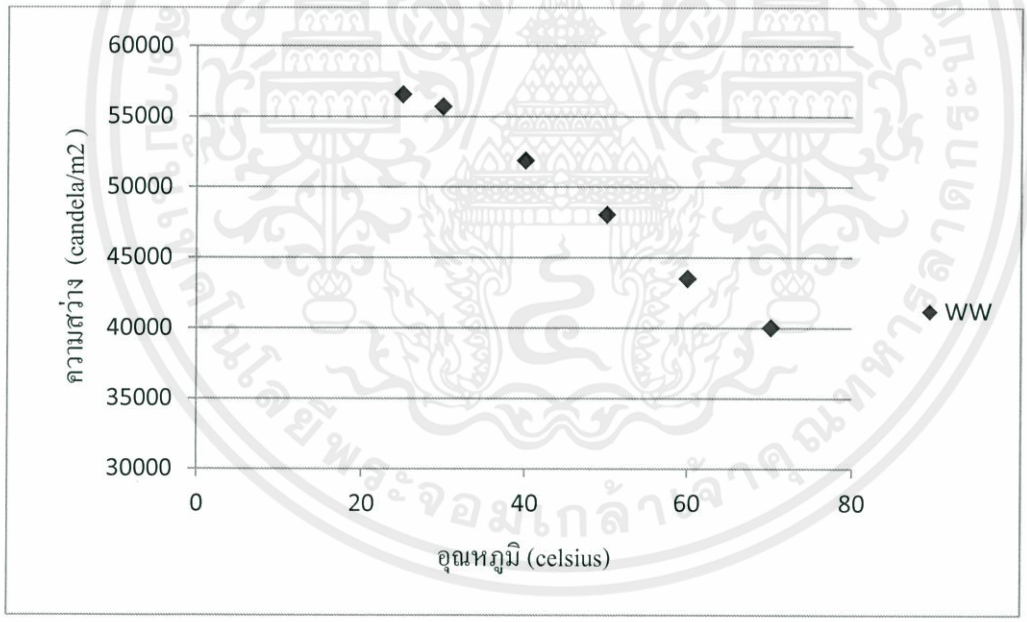


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

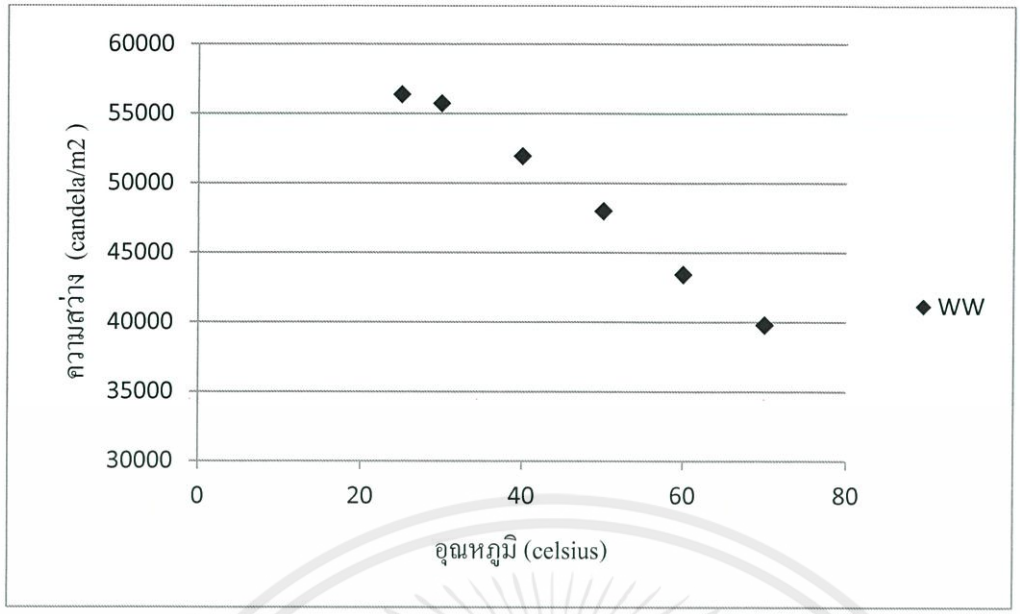


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 1

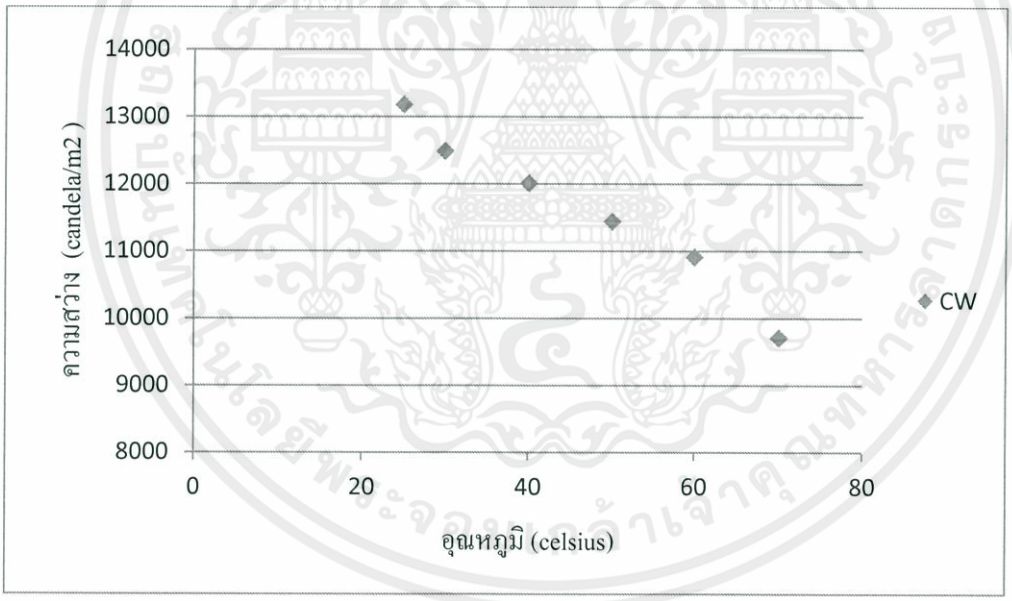


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

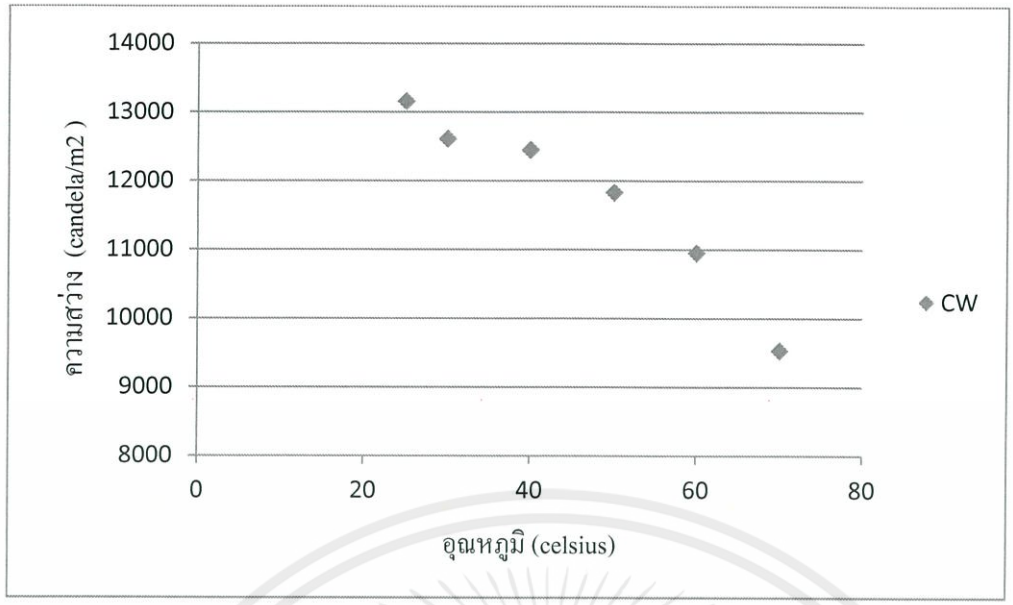


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Warm White ครั้งที่ 3

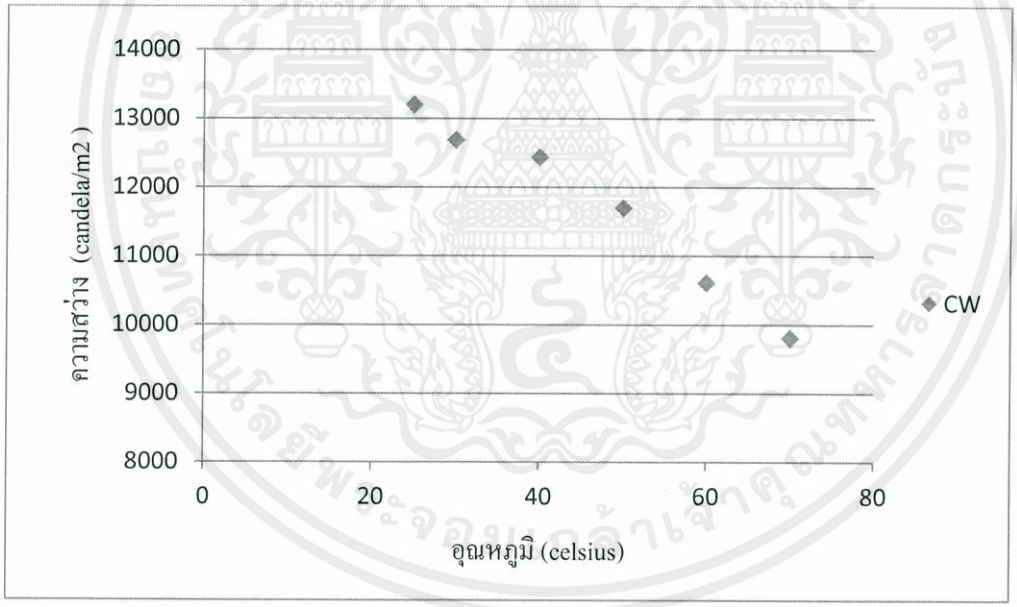


กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 2



กรางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับอุณหภูมิของไดโอดเปล่งแสงสีขาว Cool White ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้