

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบวัดราคาอุทกสำหรับวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์

Development of a low-cost spectral response measurement system for solar cells



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 115862
วัน,เดือน,ปี: - 4 เม.ย. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒๒๑๘๓๗๒
b.....
i.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2553 และได้รับความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากบุคคลากรหลายท่านดังนี้

1. Prof. Tom Markvart, School of Engineering Sciences, University of Southampton
2. Dr. Lefteris Danos, School of Engineering Sciences, University of Southampton
3. รศ. ดร. วราวุฒิ เถาถัดดา
4. นางสาววิชญาพร สุญพานิช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการ

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การพัฒนาระบบวัดราคาถูกสำหรับวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์

(ภาษาอังกฤษ) Development of a low-cost spectral response measurement system for solar cells

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์

ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2552 ถึง 30 กันยายน 2553

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

ดร. กัทริยา กิตติเดชาชาญ

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-7373000 ต่อ 6207 โทรสาร 02-3264413

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ kkpattar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ถูกจัดทำขึ้นโดยมีเป้าหมายในการพัฒนาระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกลง กราฟสเปกตรัมการตอบสนองสามารถบอกถึงการตอบสนองของสิ่งประดิษฐ์ต่อโฟตอนที่ตกกระทบ กราฟนี้สามารถใช้หาความเร็วการรวมตัวกันของพาหะบริเวณผิวหน้า ระยะแพร่ซึมของพาหะ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์และกระบวนการผลิตสิ่งประดิษฐ์นั้น โดยทั่วไปการวัดสเปกตรัมการตอบสนองจะใช้แหล่งกำเนิดแสงซีนอน แต่ในระบบวัดที่จัดสร้างขึ้นนี้จะใช้ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง ซึ่งจะทำให้ระบบวัดมีราคาถูกลง แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะครอบคลุมย่านความยาวคลื่น 400-950 นาโนเมตร แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดจะมีความสม่ำเสมอและเหมาะสมสำหรับวัดสิ่งประดิษฐ์ที่มีขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร ระบบวัดนี้ได้ถูกนำมาทดสอบโดยการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และโฟโตไดโอด ผลการวัดได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับระบบวัดอื่น

ABSTRACT

The goal of this project was to develop a low cost laboratory system for measuring spectral responses of solar cells. The spectral response is generally used to determine the response of the devices to the incoming photon fluxes. It contains the richest information such as surface recombination velocity, carrier diffusion lengths which indicate the quality of the test devices and fabrication process. Typical spectral response measurement system employs a calibrated Xenon lamp as a main light source. In the present work, the Xenon lamp was replaced by an array of high power LEDs, resulting in a low cost measurement system. The LEDs cover the light spectrum from 400 nm to 950 nm. The uniformity of the illumination was measured and it was found to be suitable for samples with a dimension of $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Furthermore, the proposed system was employed to evaluate the performance of silicon solar cells and photodiodes. The measured spectral response curves were then compared with those obtained from a standard commercial system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการ.....	ข
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญเรื่อง.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการพื้นฐานของโฟโตไดโอดและเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.2 ประสิทธิภาพเชิงควอนตัมและสภาพตอบสนอง.....	5
2.3 หลักการและเทคนิคการวัดสเปกตรัมการตอบสนอง.....	6
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 การออกแบบระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนอง.....	8
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสง.....	9
3.3 การวัดสเปกตรัมการตอบสนองของสิ่งประดิษฐ์.....	11
3.4 การเปรียบเทียบผลการวัดสเปกตรัมกับระบบอื่น.....	12
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ข้อเสนอแนะ.....14

เอกสารอ้างอิง..... 15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย.....3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมแถบพลังงานและภาพตัดขวาง โครงสร้างชนิดรอยต่อ p-n.....	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสเปกตรัมการตอบสนองของโฟโตไดโอดที่สร้างจากวัสดุซิลิกอน.....	7
และกราฟ QE ของตัวตรวจวัดแสงที่สร้างจากวัสดุชนิดต่างๆ	
รูปที่ 3.1 ชุดวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
รูปที่ 3.2 ระบบที่ถูกจัดสร้างขึ้น.....	9
รูปที่ 3.3 ระบบวัดสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง.....	10
รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง.....	10
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของแหล่งกำเนิดแสง.....	11
รูปที่ 3.6 สเปกตรัมการตอบสนองของโฟโตไดโอด.....	12
รูปที่ 3.7 สเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์วัดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น.....	13
และระบบวัดอื่น	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

โดยทั่วไปแล้วการประเมินประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์กระทำโดยการวัดคุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I-V characteristics) ของเซลล์นั้นๆภายใต้เครื่องจำลองแสงแดดเทียม (sun simulator) วิธีการนี้สามารถใช้บ่งบอกประสิทธิภาพในภาพรวมของเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาและวิจัย วัสดุชนิดใหม่ๆ หรือเทคนิคแนวคิดใหม่ๆ (อาทิ nano-structured solar cells) เพื่อพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพที่คุ้มค่างบราคาที่ใช้ในการผลิต จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น

การวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์โดยปกติแล้วจะกระทำโดยการวัดกระแสลัดวงจร (ค่ากระแสสูงสุด) ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ในแต่ละความยาวคลื่นแสง โดยอาศัยเครื่องจำลองแสงแดดเทียมเป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้แบนด์พาสฟิลเตอร์ หรือเครื่องโมโนโครเมเตอร์ เพื่อกรองเอาแสงเฉพาะที่ความยาวคลื่นแสงหนึ่งๆมาตกกระทบบนเซลล์ที่ทำการทดสอบ

อย่างไรก็ดี ระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนองทางแสงที่กล่าวมาข้างต้นมักมีราคาแพงและต้องตั้งนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นจึงได้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยวิธีและเทคนิคที่แตกต่าง มีราคาถูก และสามารถใช้งานได้จริง โดยใช้วัสดุที่สามารถจัดหาได้ในภายในประเทศ นอกจากนี้ชุดต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำมาใช้ในงานวิจัยศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ ยังสามารถนำมาใช้ในวิชาปฏิบัติการระดับปริญญาตรี เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้และเข้าใจวิธีการวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. สร้างและพัฒนาระบบวัดสเปกตรัมราคาถูกเพื่อใช้สำหรับวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์
2. ทดสอบและเปรียบเทียบระบบวัดที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องวัดสเปกตรัมเทคนิคอื่นๆ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างและพัฒนาระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบบที่สร้างและพัฒนาขึ้นจะอาศัยวัสดุที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ ระบบวัดที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำมาสอบเทียบกับระบบวัดมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน โดยเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงจะถูกส่งไปวิเคราะห์และนำผลมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์หาความแม่นยำและความถูกต้องของสเปกตรัมการตอบสนองที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่เราพัฒนาขึ้น

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลวิจัยของการวัดสเปกตรัมการตอบสนองด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์และออกแบบระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนอง

ขั้นตอนที่ 3 จัดซื้ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต่อการสร้างระบบ

ขั้นตอนที่ 4 สร้างระบบตามแบบที่จำลองไว้

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบและประเมินผลประสิทธิภาพของระบบที่จัดสร้าง

ขั้นตอนที่ 6 จัดทำรายงานผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ขั้นตอนที่ ๑	■	■											
ขั้นตอนที่ ๒			■										
ขั้นตอนที่ ๓				■	■								
ขั้นตอนที่ ๔						■	■	■					
ขั้นตอนที่ ๕									■	■			
ขั้นตอนที่ ๖						■					■	■	

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในงานวิจัย

ใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของทางสาขาวิชาฟิสิกส์

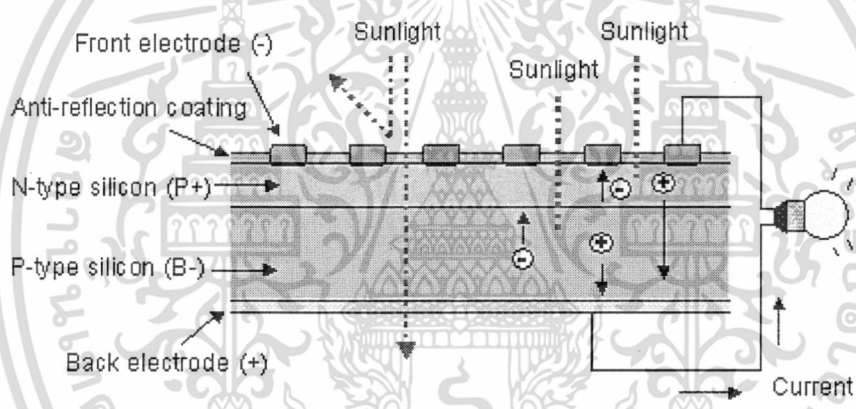
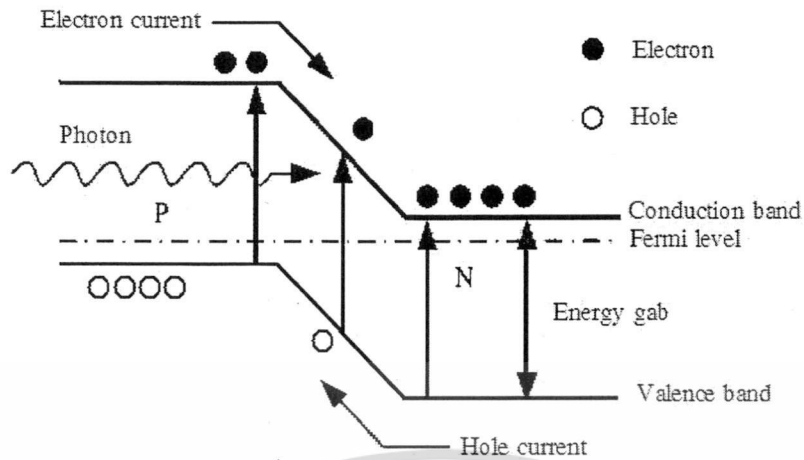
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของโฟโตไดโอดและเซลล์แสงอาทิตย์

โฟโตไดโอดและเซลล์แสงอาทิตย์คือสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า กลไกการแปลงพลังงานดังกล่าวขึ้นกับ โครงสร้างและวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งส่วนใหญ่นั้นจะเป็นวัสดุจำพวกสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้นของสิ่งประดิษฐ์ทั้งสอง เราจะพิจารณาสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำซิลิกอนที่มีโครงสร้างชนิดรอยต่อ p-n ดังรูปที่ 1 โดยโครงสร้างส่วนที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n คือสารกึ่งตัวนำซิลิกอนที่มีการเจือด้วยสารฟอสฟอรัส ทำให้โครงสร้างอะตอมมีอิเล็กตรอนเกินมา 1 ตัว ทำให้สารกึ่งตัวนำนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และโครงสร้างส่วนที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p คือสารกึ่งตัวนำซิลิกอนที่ได้รับการเจือด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมขาดอิเล็กตรอนหรือเกิดเป็นโฮล 1 ตัว จึงทำให้สารกึ่งตัวนำชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวรับอิเล็กตรอน

เมื่อแสงหรือโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Energy gap) ตกกระทบสิ่งประดิษฐ์ พลังงานแสงจะถูกดูดกลืนและนำไปใช้ในการผลิตคู่อิเล็กตรอนและโฮล กล่าวคือใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้กระโดดจากแถบวาเลนซ์ให้ขึ้นไปยังแถบความนำและทำให้เกิดโฮลในแถบวาเลนซ์ อิเล็กตรอนที่เกิดในแถบความนำของวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิด n จะสามารถแพร่ไปยังวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิด p ได้ และโฮลที่เกิดขึ้นจะสามารถเคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้าม กล่าวคือโฮลในแถบวาเลนซ์ของวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิด n จะสามารถแพร่ไปยังวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิด p ได้ การต่อขั้วไฟฟ้าให้กับวัสดุจะทำให้พาหะไหลสู่ขั้วจรภายนอกเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ โดยเฉพาะค่าช่องว่างแถบพลังงานที่เป็นส่วนจำกัดการใช้ประโยชน์จากแสงที่ตกกระทบ เนื่องจากแสงที่สามารถนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้จะต้องเป็นแสงที่มีค่าพลังงานสูงกว่าค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่านั้น



รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมแถบพลังงานและภาพตัดขวาง โครงสร้างชนิดรอยต่อ p-n

2.2 ประสิทธิภาพเชิงควอนตัมและสภาพตอบสนอง

ในการศึกษาถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตโวลตาอิกและเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเชิงควอนตัมและสภาพตอบสนองก็เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์นั้นได้

ประสิทธิภาพเชิงควอนตัม (Quantum Efficiency: QE) คืออัตราส่วนของจำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมดที่ไหลสู่วงจรภายนอกต่อจำนวนโฟตอนที่ถูกกระทบสิ่งประดิษฐ์

$$QE = \frac{n_e}{N} \dots\dots\dots(1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 5

และมีความสัมพันธ์กับค่ากระแสลัดวงจรดังสมการ

$$J_{sc} = q \int b_s(E)QE(E)dE \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ J_{sc} คือค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจร หรือกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สิ่งประดิษฐ์สามารถผลิตได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

q คือค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} C)

$b_s(E)$ คือความหนาแน่นโฟตอนฟลักซ์หรือจำนวนโฟตอนที่มีพลังงานในช่วง E ถึง $E+dE$ ที่ตกกระทบสิ่งประดิษฐ์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา

QE คือประสิทธิภาพเชิงควอนตัม

สภาพตอบสนอง $R_s(\lambda)$ ถูกนิยามว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต $I_o(\lambda)$ ต่อกำลังของแสง $P_o(\lambda)$ ที่ตกกระทบสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งสภาพตอบสนองของสิ่งประดิษฐ์ที่มีโครงสร้างของวัสดุต่างชนิดกัน จะมีความแตกต่างกันออกไป

$$R_s(\lambda) = \frac{I_o(\lambda)}{P_o(\lambda)} \quad \frac{A}{W} \dots\dots\dots(3)$$

จากนิยามข้างต้นสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงควอนตัมและสภาพตอบสนองดังสมการ

$$QE(\lambda) = R_s(\lambda) \frac{hc}{q\lambda} \dots\dots\dots(4)$$

$$QE(\lambda) = R_s(\lambda) \frac{1240}{\lambda} \times 100 \% \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ h คือค่าคงที่ของพลังค์

c คือความเร็วแสงในสุญญากาศ

λ คือความยาวคลื่นใดๆ

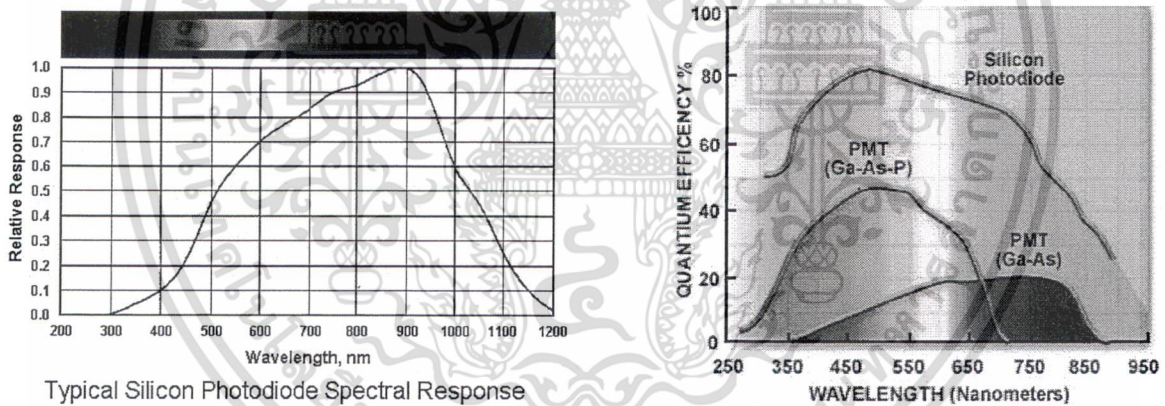
2.3 หลักการและเทคนิคการวัดสเปกตรัมการตอบสนอง

การวัดสเปกตรัมการตอบสนองของอุปกรณ์แสงใดๆสามารถกระทำได้โดยอาศัยการเปรียบเทียบกระแสเอาต์พุตของอุปกรณ์แสงที่ต้องการทดสอบกับค่ากระแสของอุปกรณ์แสงมาตรฐาน โดยจะทำการวัดที่

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความยาวคลื่นค่าต่างๆ โดยการวัดนี้จะต้องกระทำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน กล่าวคือภายใต้อุณหภูมิและความเข้มแสงคงที่

เทคนิคที่ในการวัดสภาพตอบสนองมีด้วยกันหลายรูปแบบ โดยเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการวัดสเปกตรัมการตอบสนองคือการฉายแสงเอกรงค์บนเซลล์ที่ต้องการทดสอบและเซลล์มาตรฐาน ในขณะที่เดียวกันจะทำการวัดค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ต้องการทดสอบและเซลล์มาตรฐาน ณ ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ค่ากระแสที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาค่าสภาพตอบสนองของเซลล์ที่ต้องการทดสอบได้หรือเทคนิคอย่างง่ายอีกวิธีหนึ่งในการวัดสเปกตรัมการตอบสนองคือสามารถกระทำได้โดยการฉายแสงขาวผ่านแผ่นกรองแสงชนิด bandpass filter จะทำให้แสงที่ได้เป็นแสงเอกรงค์ความยาวคลื่น λ แสงที่ผ่านแผ่นกรองแสงออกมาจะตกกระทบเซลล์ที่ต้องการทดสอบ เมื่อทำการวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์ และเปรียบเทียบค่ากระแสที่วัดได้กับกระแสของเซลล์มาตรฐานที่วัดได้ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันจะทำให้ทราบถึงสภาพตอบสนองของเซลล์ที่ต้องการทดสอบ ณ ความยาวคลื่น λ ได้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสเปกตรัมการตอบสนองของโฟโตไดโอดที่สร้างจากวัสดุซิลิกอน และกราฟ QE ของตัวตรวจวัดแสงที่สร้างจากวัสดุชนิดต่างๆ

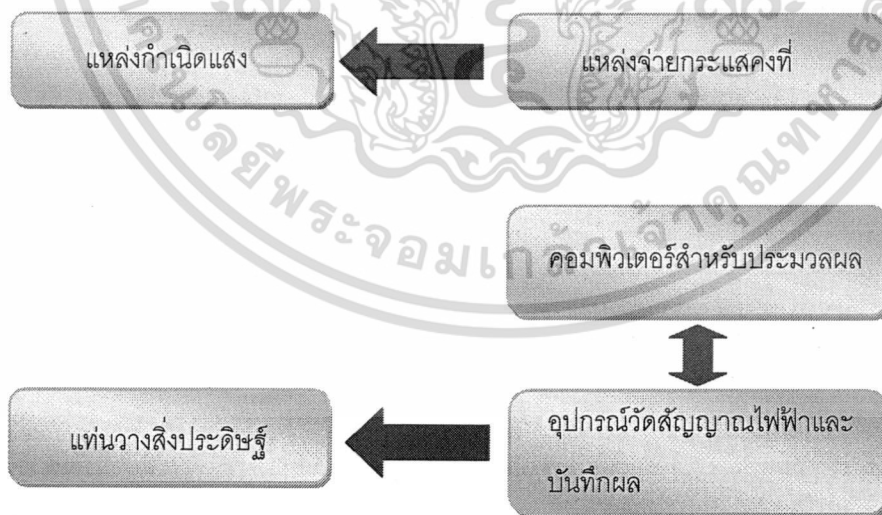
บทที่ 3

การทดลอง

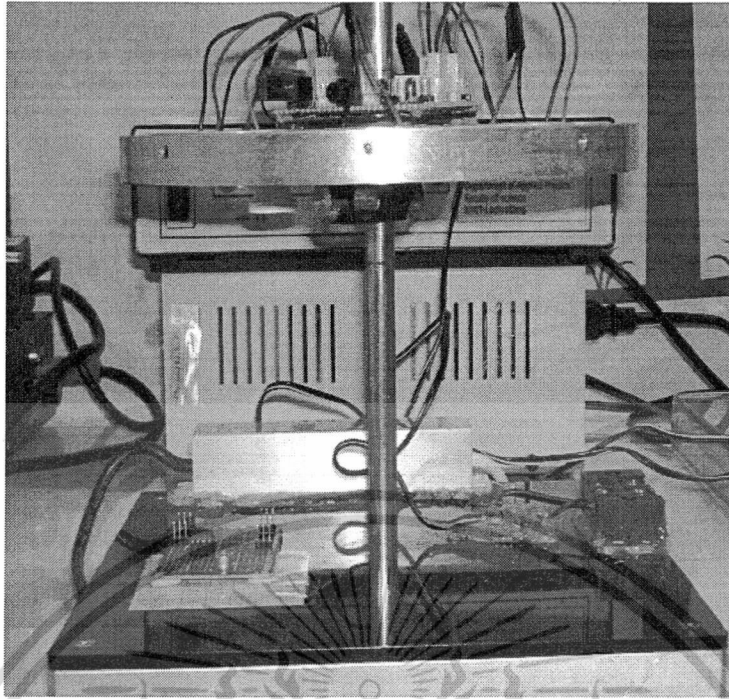
3.1 การออกแบบระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนอง

ระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบมีไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1 และระบบที่ถูกจัดสร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งระบบที่ถูกออกแบบและจัดสร้างขึ้นจะมีอุปกรณ์ประกอบไปด้วย

1. ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (high-power LED) จำนวน 7 ดวงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน
2. แหล่งจ่ายกระแสคงที่ขนาด 350 mA 1.4 W
3. แท่นอลูมิเนียมทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สำหรับแหล่งกำเนิดแสง
4. แท่นวางชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ
5. เกนหมุนเสตนเลสสูงสำหรับยึดแท่นอลูมิเนียมทรงกลมและปรับระดับความเข้มแสงที่ตกกระทบแท่นวางชิ้นงาน
6. มัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.1 ชุดวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.2 ระบบที่ถูกจัดสร้างขึ้น

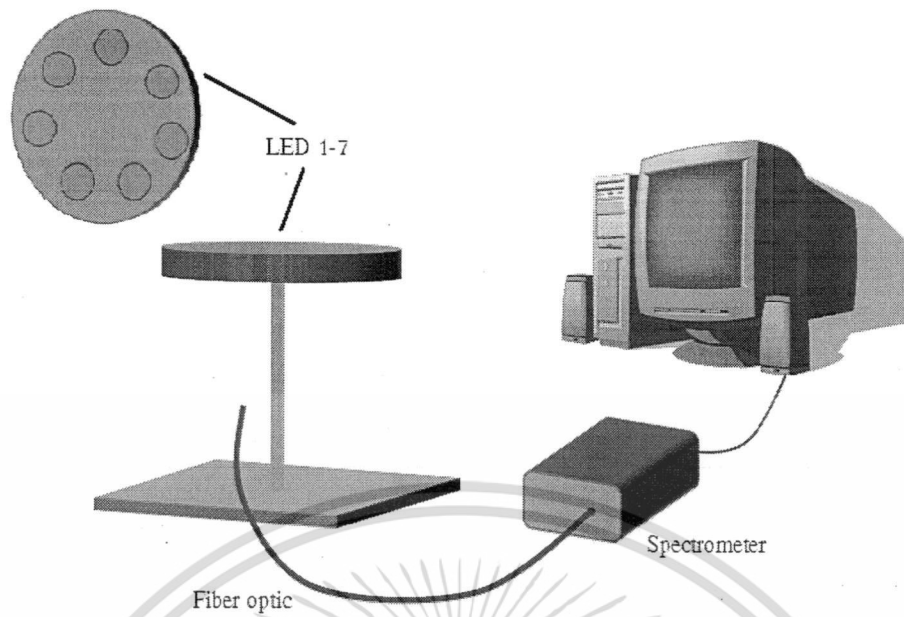
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสง

- การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิด

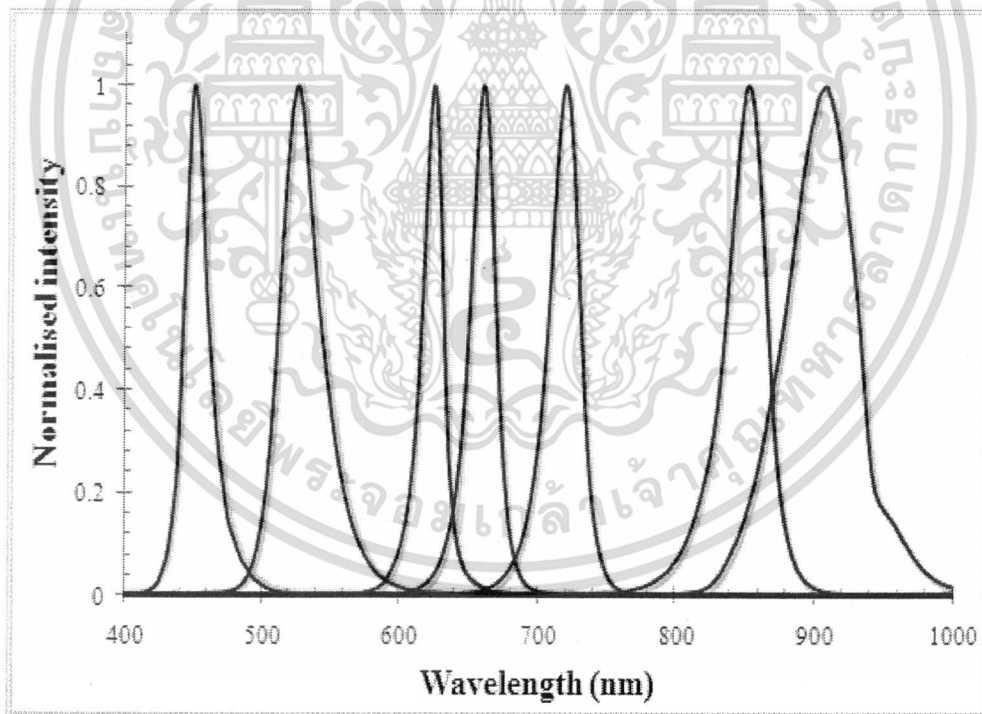
ผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละดวง (ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงขนาด 350 วัตต์) โดยอาศัยระบบวัดดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยระบบวัดจะประกอบไปด้วย

- แหล่งกำเนิดแสง
- สายใยแก้วนำแสง
- สเปกโตรมิเตอร์
- คอมพิวเตอร์

หลักการวัดสเปกตรัมจากระบบวัดคือแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกส่งผ่านมายังสายใยแก้วนำแสง ซึ่งถูกต่อเข้ากับสเปกโตรมิเตอร์ (Avantes) ที่เชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ ผลการวัดจะถูกส่งผ่านมายังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและเก็บบันทึกต่อไป ผลการวัดแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ระบบวัดสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง



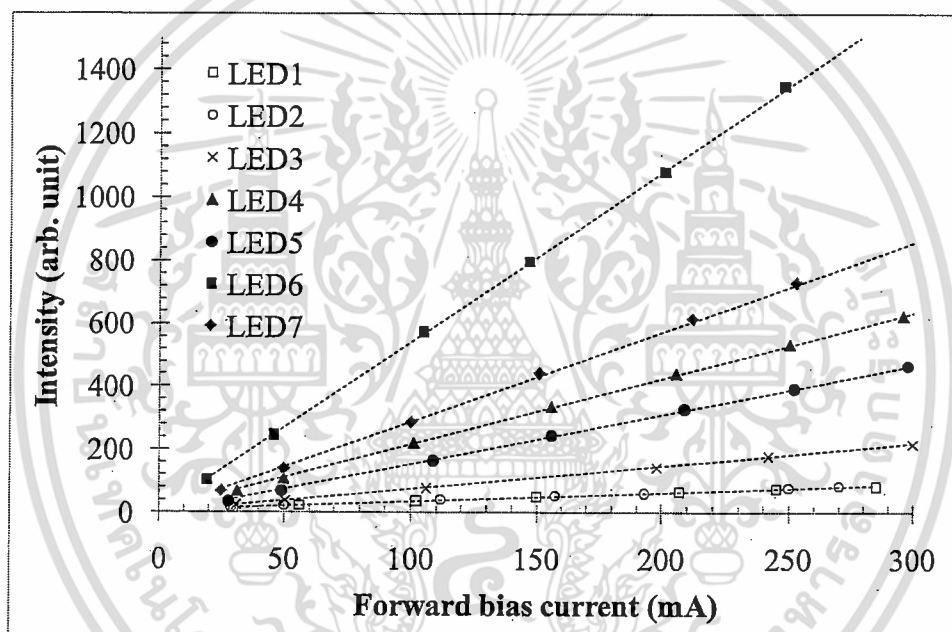
รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 10

ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง (LED 1-7) ที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นไปตามรูปที่ 3.4 คือประกอบไปด้วยความยาวคลื่น 450, 590, 525, 620, 660, 720, 855 และ 910 นาโนเมตร และมีค่า bandwidth แตกต่างกันออกไปคือ 20, 30, 18, 20, 25, 30 และ 60 นาโนเมตร ตามลำดับ

- ศึกษาความเป็นเชิงเส้นของแหล่งกำเนิดแสง

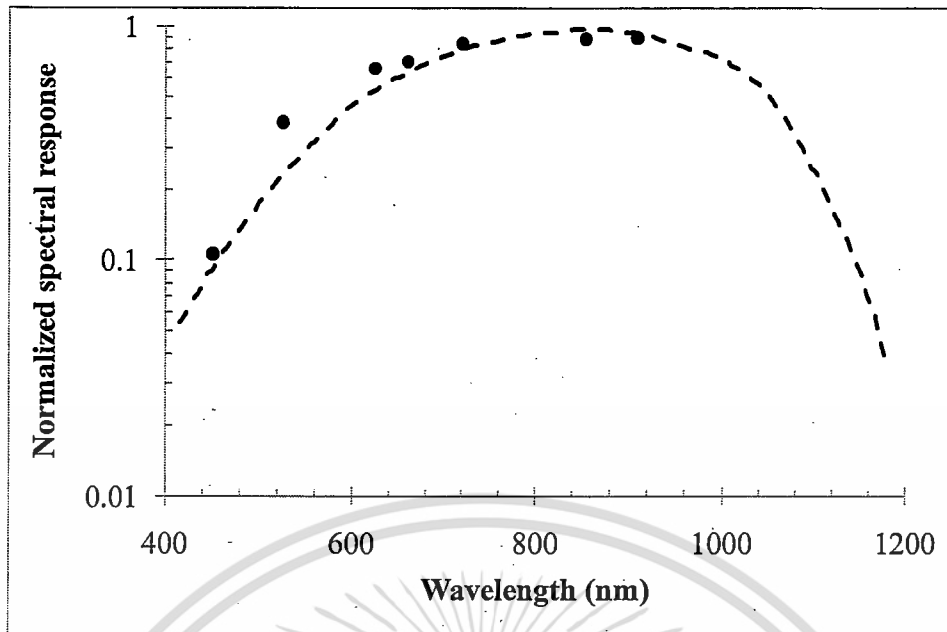
ความเป็นเชิงเส้นของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบวัดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวัด แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเป็นเชิงเส้นมากจะเป็นผลดีต่อระบบวัดมากขึ้นด้วย โดยในการศึกษาจะทำการพิจารณาความเป็นเชิงเส้นโดยการไปอัสเกรสแก่แหล่งกำเนิดแสงเพื่อพิจารณาความเข้มแสง



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง

3.3 การวัดสเปกตรัมการตอบสนองของสิ่งประดิษฐ์

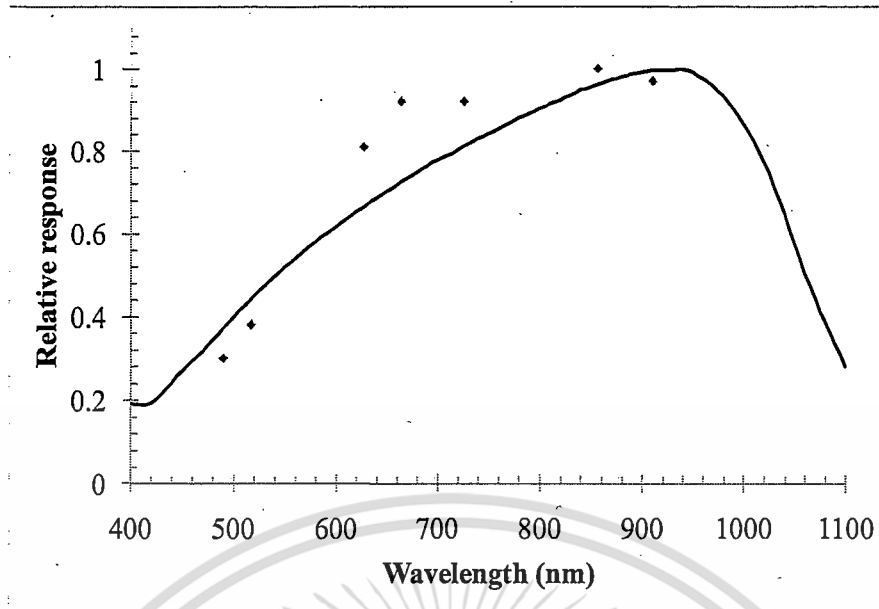
เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่จัดสร้างในเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ทดลองวัดสเปกตรัมการตอบสนองของโฟโตไดโอด ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามรูปที่ 3.6 เมื่อพิจารณาจะสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมการตอบสนองของโฟโตไดโอด จะตอบสนองได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 800-900 นาโนเมตร



รูปที่ 3.6 สเปกตรัมการตอบสนองของโฟโตไดโอด

3.4 การเปรียบเทียบผลการวัดสเปกตรัมกับระบบอื่น

นอกจากนั้นเพื่อให้ระบบวัดที่จัดสร้างขึ้นมีความใกล้เคียงกับระบบอื่นๆ และเพื่อทดสอบว่าระบบวัดที่สร้างขึ้นให้ผลได้ถูกต้องจริงหรือไม่ ผู้วิจัยได้ทดลองวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบวัดที่จัดสร้างขึ้น และได้นำเซลล์ชิ้นเดียวกันไปทดสอบวัดกับระบบวัดอื่น (Sounthampton UK) ซึ่งผลการวัดจากระบบทั้งสองแสดงดังรูปที่ 3.7 โดยระบบวัดที่จัดสร้างขึ้น (จุด) มีผลใกล้เคียงกับระบบวัดอื่น (เส้นทึบ) มีช่วงการตอบสนองที่ใกล้เคียงกันและมีการตอบสนองที่ดีที่สุดอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 800-900 นาโนเมตร เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.7 สเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์วัดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นและระบบวัดอื่น



บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและจัดสร้างระบบวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ระบบวัดที่ถูกพัฒนาขึ้นได้ถูกทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบและเปรียบเทียบผลการวัดกับระบบวัดอื่น ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1. ระบบวัดที่ถูกพัฒนาขึ้นมานี้สามารถใช้วัดประสิทธิภาพการตอบสนองของสิ่งประดิษฐ์ได้ในย่านความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร
2. แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบวัดมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเป็นเชิงเส้นกับกระแสที่ป้อนให้
3. ผลการวัดที่ได้จากระบบที่จัดสร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับผลที่วัดได้จากระบบวัดอื่น

ผลงานวิจัยนี้ได้ถูกนำมาทดลองใช้ประกอบการเรียน การสอนวิชาปฏิบัติการเครื่องมือวัด และปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ของนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในภาคการศึกษาที่ผ่านมา และผลงานวิจัยนี้ได้ถูกนำเสนอในงานประชุมวิชาการ Siam Physics Congress 2010, March 25-27 2010, Kanchanaburi, Thailand ดังมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ระบบทำงานได้ดียิ่งขึ้น กล่าวคือได้ผลการวัดครอบคลุมสเปกตรัมแสงในย่านที่กว้างขึ้น จำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบเพิ่มเติม โดยต้องเพิ่มชุดแหล่งกำเนิดแสงในย่านที่ต่ำกว่า 400 นาโนเมตร และสูงกว่า 800 นาโนเมตร และออกแบบระบบจับยึดแหล่งกำเนิดใหม่ให้สามารถรองรับแหล่งกำเนิดแสงที่เพิ่มขึ้นมา

เอกสารอ้างอิง

1. Standard Test Methods for Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays sing Reference Cells, ASTM Standard E1036M-96, 1977
2. Kohraku, S., Kurokawa, K., New methods for solar cells measurement by LED solar simulator, Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp. 1977-1980, 2003
3. Kohraku, S., Kurokawa, K., A fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90, pp. 3364-3370, 2006
4. Bliss, M., Betts, T.R., Gottschalg R., An LED-based photovoltaic measurement system with variable spectrum and flash speed, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 93, pp. 825-830. 2009





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low-cost spectral response measurement system Using high power LEDs

P. Kittidachachan^{1*}, B. Damrongsak²

¹Physics Department, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

²Physics Department, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakorn Pathom, Thailand.

This paper presents a low cost laboratory system for measuring spectral responses of optoelectronics sensors. The spectral response is generally used to determine the response of the devices to the incoming photon fluxes. It contains the richest information such as surface recombination velocity, carrier diffusion lengths which indicate the quality of the test devices and fabrication process. Typical spectral response measurement system employs a calibrated Xenon lamp as a main light source. In the present work, the Xenon lamp was replaced by an array of high power LEDs, resulting in a low cost measurement system. The LEDs cover the light spectrum from 400 nm to 950 nm. The uniformity of the illumination was measured and it was found to be suitable for samples with a dimension of 1×1 cm². Furthermore, the proposed system was employed to evaluate the performance of silicon solar cells and photodiodes. The measured spectral response curves were then compared with those obtained from a standard commercial system.

Keywords: Spectral response measurement, high power LED, solar cell.

1. INTRODUCTION

Spectral response (SR) of solar cells is used to present the responsivity of the devices as a function of wavelength. It tells us how solar cells response to the incoming photon fluxes, which can be used to evaluate the performance of the cells in addition to the current-voltage (I-V) characteristics of the cells. The responsivity of a solar cell at each wavelength ($R(\lambda)$) is defined as the ratio of the short-circuit current density of the cell ($J_{sc}(\lambda)$) and the spectral irradiance of the incident light at particular wavelength ($\phi(\lambda)$) [1] and can be expressed as

$$R(\lambda) = \frac{J_{sc}(\lambda)}{\phi(\lambda)} \quad (1)$$

The conventional approach to measure the spectral response of the solar cell is by comparing the J_{sc} of the test cell with that of a standard cell, which its absolute spectrum response is already known [2]. The measurement is normally performed in a solar simulator where the 1-Sun intensity is provided by a Xenon lamp. The sun simulator, however, is very expensive and consumes a great amount of energy. In addition, the high power Xenon lamp can raise the temperature of the cell under test. This thermal effect can cause the problem in the measurement for some type of solar cells, such as polymer and dyed-sensitized solar cells. Therefore, alternative approach to measure spectral responses of the solar cells was investigated.

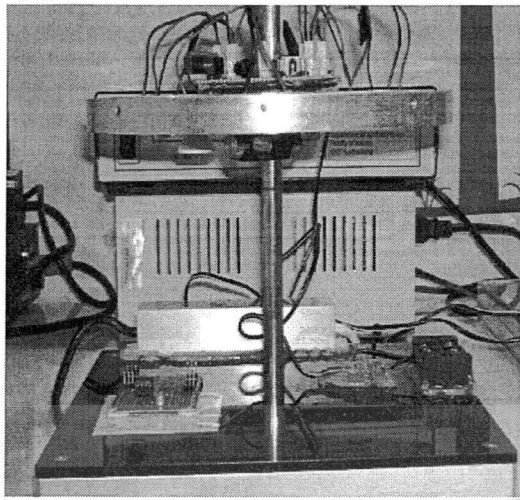
Kohraku *et al.* proposed the interesting idea by replacing a Xenon lamp with an array of light-emitting diodes (LEDs) [2-3]. The advantage of LEDs over a conventional Xenon lamp is that it has longer life time and consumes less energy. In addition, by pulsing LEDs heat generation in the test sample can be minimized. Furthermore, the LEDs-based system is relatively cheaper and more compact.

In this paper we present a LED-based measurement system for measuring the spectral response of solar cells. An array of high power LEDs covering the light spectrum from 400 nm to 950 nm was used as a main light source. The system was employed to evaluate the performance of silicon solar cells and photodiodes. The spectral response measured by the developed system was then compared with those obtained from a standard commercial system.

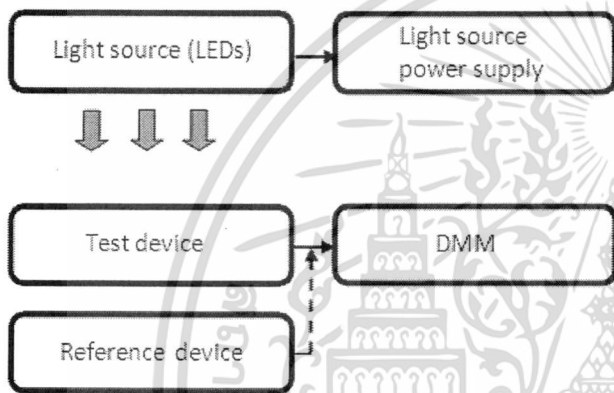
2. EXPERIMENTAL DETAILS

Figure 1(a) presents a photograph of the developed SR measurement. Its schematic diagram is also illustrated in Fig.1(b). The system is composed of a set of seven high-power LEDs (1 W), which covers the light spectrum ranging from 400 nm to 950 nm. The LEDs are mounted on an aluminum wheel that is fixed on a stand 15 centimeter above a test device. The LEDs are connected to a control circuit which provides a constant current of 250 mA. The illumination area is about 7 cm² with the uniformity over the small area (1.5×1.5 cm²). Thus the system is suitable for measuring samples with a dimension of 1×1 cm². The output of the test device will be measured using a digital multi-meter (DMM).

*Corresponding author. Tel: +662 7373000 Ext. 6207
Fax: 02-3264413 ; E-mail: kkpattar@kmitl.ac.th



(a)



(b)

FIGURE 1. (a) A photograph of the developed SR measurement. (b) Schematic diagram of the SR measurement system.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 2 illustrates the spectral characteristics of the LEDs. The spectra were obtained by collecting the light intensity in the center of illuminated area using optical fiber and an Avantes spectrometer. It is seen that the spectral bandwidth (FWHM) of each LED are ranging from 30 nm-50 nm.

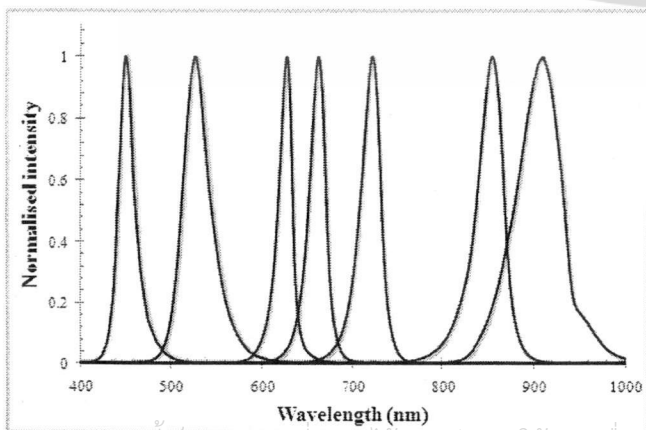


FIGURE 2. The spectral characteristics of the LEDs.

The relationship between the forward bias current (I_F) and the irradiance of light sources, measured using a silicon photodiode was also determined. As illustrated in Fig. 3 the light output of LEDs increases proportional with the current I_F . The relationship is almost linear for the current range 10-300 mA.

Figures 4 show the spectral response of a silicon photodiode measured using the constructed system. The spectral response given by the manufacturer was also shown for comparison. It is seen that the measured data agree well with that provided by the company. This ensures the reliability of the developed system. Note that the responsivities were measured by comparing the output of a test device with the device with known spectrum.

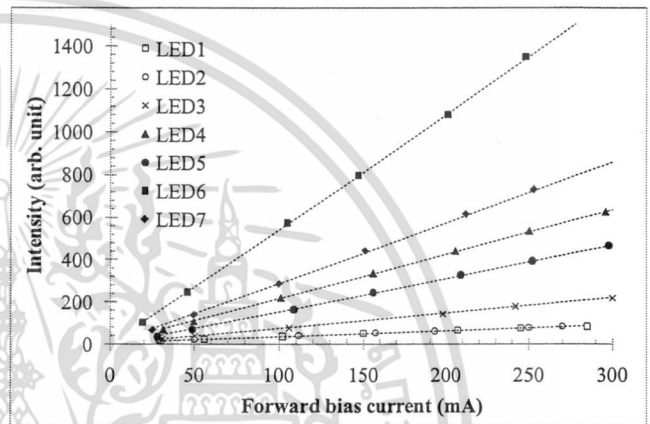


FIGURE 3. the relation between the forward bias current (I_F) and the intensity of light sources. The dash lines show the best linear fit to the experimental data.

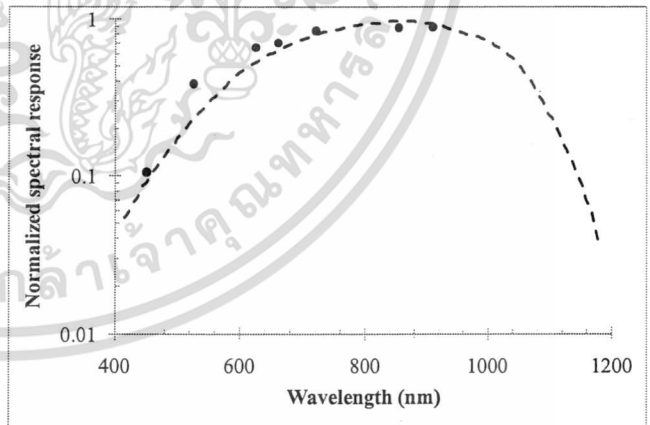


FIGURE 4. The spectral response of silicon photodetector measured using the constructed system (dot points). The spectral response given by the manufacturer was also shown for comparison.

Figure 5 shows the spectral response of a silicon solar cell measured using the constructed system. The measured spectral were also compared with those measured by the commercial system (Bentham, UK). As can be seen our measured data is agree well in the blue and the near IR region. However, we observed the mismatch in the wavelength region of 620-720 nm. This disagreement could possibly due to the instability of the LED's irradiance and

temperature during the measurement. It is crucial to point out at the data should be collected under identical conditions in order to obtain the accurate results.

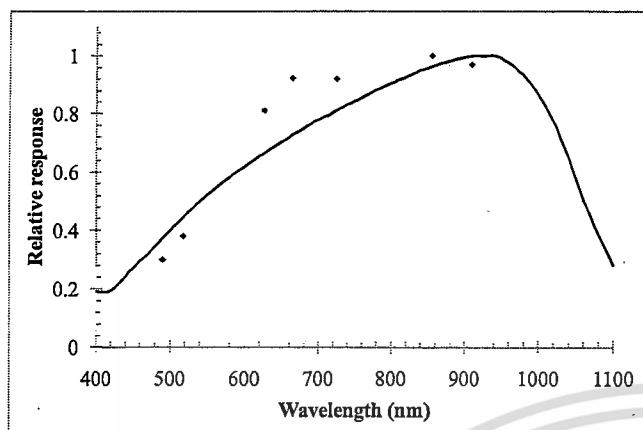


FIGURE 5. The spectral response of silicon solar cell measured using the constructed system (dot points) and a Bentham system (solid line).

4. CONCLUSION

A low cost spectral response measurement system has been developed. The system is composed of a set of high power LEDs, cover the light spectrum from 400 nm to 950 nm. The system was used to measure the spectral response of a silicon photodiode and a silicon solar cell. It was found that the spectral response of the photodiode obtained from

the developed system agrees well with those given by the company. This ensures the reliability of the developed system. The disagreement of the response curve of the solar cell between our system and the commercial system could be due to the instability of the LED's irradiance and temperature during the measurement.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to acknowledge Dr. Lefteris Danos, University of Southampton, for the help measuring the spectral response of solar cells. This work was partly financed by Faculty of Sciences, KMITL.

1. Standard Test Methods for Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays using Reference Cells, ASTM Standard E1036M-96, 1977
2. Kohraku, S., Kurokawa, K., New methods for solar cells measurement by LED solar simulator, Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp. 1977-1980, 2003
3. Kohraku, S., Kurokawa, K., A fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90, pp. 3364-3370, 2006
5. Bliss, M., Betts, T.R., Gottschalg R., An LED-based photovoltaic measurement system with variable spectrum and flash speed, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 93, pp. 825-830, 2009