

รายงานโครงการวิจัย
เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปีงบประมาณ 2550



“เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนด้วยไดโอดเปล่งแสงแบบความยาวคลื่นไม่ต่อเนื่อง”
“Discrete-wavelength LED solar simulator”

RCH
TK
1087
218220

นายไยถิ่น วงศ์ประเสริฐ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 84487
วัน,เดือน,ปี... 13 ต.ค. 2551

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก
b.....
g.....

119 92840

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จอย่างสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนโครงการวิจัยโดยใช้
เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2550 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

โยธิน วงศ์ประเสริฐ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนจึงเป็นอุปกรณ์ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในการทดลองหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ถ้าต้องขึ้นกับสภาพอากาศและได้รับแสง ทำให้การพัฒนาต้องล่าช้าและไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งเครื่องมือกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนที่ใช้ในปัจจุบัน นั้นมีราคาแพงและเป็นเครื่องมือที่ต้องทำการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงคิดประดิษฐ์เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนเพื่อใช้ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วในราคาถูก พบว่าค่ากำลังส่องสว่างเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 90 mWm^{-2} มีความสม่ำเสมอ 5.6% โดยสามารถวิเคราะห์ได้ในพื้นที่ $10 \times 10 \text{ cm}$ โดยเลือกหลอดแสงสีขาวความเข้มสูงและอินฟราเรดร่วมกันเป็นแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เบื้องต้นได้จริงโดยสามารถเปรียบเทียบได้กับเครื่องโซลาร์ซิมูเลเตอร์ได้ โดยไม่มีปัญหาที่การควบคุมอุณหภูมิของบริเวณที่ทดสอบจะมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน AM1.5 G



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

The solar simulator is the equipment in solar cell development. In the experiment of solar cell has to analyze the efficiency of the solar cell. If it be under the weather, and receive the light from sun, the development of it be slow exhausted and no the standard. Moreover, solar simulator tool is expensive and import from the foreign countries. This project has main idea to study and invent solar simulator for solar cell development efficiently and cheap. The solar simulator was tested, the intensity of light is 90 mWm^{-2} , the error of uniformity is 5.6 %, and the plane of testing area is $10 \times 10 \text{ cm}^2$. This LED is light source. This tool can bring to analyzed at the solar effectively standardized (AM1.5G). Adding, no has problem of high temperature in testing.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้อง III ถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญเรื่อง.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
สัญลักษณ์.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	6
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง.....	6
2.1.1 การเป็นคลื่นของแสง.....	6
2.1.2 การเป็นอนุภาคของแสง.....	7
2.2 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.2.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.2.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง.....	14
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.3.1 ผลของความต้านทานอนุกรมในเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.3.2 ความเข้มของแสง.....	18
2.3.3 อุณหภูมิ.....	18
2.3.4 ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะ.....	22
2.4 การวัดและคำนวณเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
2.4.1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
2.4.2 สัมพันธะระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	29
2.5 พิลแฟคเตอร์และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้อง IV ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง.....	33
3.1 ความถี่ของแสง.....	34
3.2 ความเข้มของแสง.....	35
3.3 อุณหภูมิ.....	37
3.4 ขนาดพื้นที่.....	37
3.5 การสร้าง.....	37
บทที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน.....	40
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่อง.....	40
4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของแสง.....	40
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์.....	42
บรรณานุกรม.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ค่ามาตรฐานของเครื่องกำเนิดแสงเสมือน	4
3.1 สัญลักษณ์ของ Radiometric Photometric และ Photon	34
3.2 หน่วยวัดแสงในระบบต่างๆ.....	34
4.1 ความเข้มแสงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรที่ตำแหน่งต่างๆ.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	ค่าความเข้มและความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ธรรมชาติ.....1
1.2	แผนภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนด้วยไดโอดเปล่งแสงชนิดต่างๆ.....5
2.1	การทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....7
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่ของแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....8
2.3	เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยว.....9
2.4	เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป.....10
2.5	เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน.....12
2.6	ตัวอย่างภาคตัดขวางแสดงโครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น.....13
2.7	แถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น.....14
2.8	ระบบการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์.....15
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....16
2.10	ผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....17
2.11	ลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันในสภาพมืดของเซลล์แสงอาทิตย์.....17
2.12	ผลของความเข้มที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....18
2.13	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระแส แรงดันและพลังงานของแสงอาทิตย์.....21
2.14	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์และแผนภาพของแถบพลังงาน.....23
2.15	วงจรมุมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็น.....26
2.16	คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสง.....28
2.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....29
3.1	ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์.....33
3.2	รูปคลื่นความถี่จากไดโอดเปล่งชนิด GaN InGaN และ Ce:YAG.....35
3.3	รูปคลื่นความถี่จากไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน เขียวและแดง.....35
3.4	หลอดไดโอดเปล่งแสงย่านความถี่ต่าง.....36
3.5	ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน.....36
3.6	แผนภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน.....37
3.7	แผนภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนด้วยไดโอดเปล่งแสงชนิดต่างๆ.....38
3.8	ตัวอย่างวงจรส่วนย่อยของไดโอดเปล่งแสงขนาด 4 X 4 cm.....38
3.9	ตัวอย่างวงจรส่วนย่อยของไดโอดเปล่งแสง.....38

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 การเรียงไดโอดเปล่งแสงแบบต่างๆ.....	39
4.1 การกระจายแสงของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน.....	41
4.2 แหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง.....	41
4.3 การปรับระดับความสว่างของไดโอดเปล่งแสง.....	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้อง VIII ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
E_c	แถบความนำ
E_m	ระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
E_g	ช่องว่างแถบพลังงาน
E_v	แถบวาเลนซ์
\bar{E}	สนามไฟฟ้า
\bar{E}_0	แอมพลิจูดของ \bar{E}
E	ประจุไฟฟ้า
FF	ค่าฟิลต์แฟคเตอร์
H	ค่าคงที่ของพลังค์
I_D	กระแสไฟฟ้ามีดในไดโอด
I_L	กระแสไฟฟ้าโฟโตที่เกิดจากแสง
I_m	กระแสสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
I_o	กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต
I_s	กระแสไฟฟ้าย้อนกลับ
I_{ph}	กระแสไฟฟ้าเนื่องมาจากแสง
I_{sc}	กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
I'	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_{sh}
M	แอมป์แมตเอ็ม
P_m	พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ
P_o	พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์ในทางอุดมคติ
P	ความหนาแน่นของจำนวนโฮล
Q	ประจุไฟฟ้า
R_L	ความต้านทานโหลด
R_s	ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์
R_{sh}	ความต้านทานขนั้ด
V_a	แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด
V_b	แรงดันภายในของไดโอด
V_D	ศักย์ภายในที่เกิดขึ้นในรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้อง IX อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
V_m	แรงดันสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
V_o	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต
V_R	แรงดันขีดเริ่มช่วง Reverse
\dot{V}	ความเร็วของประจุไฟฟ้าในวัสดุ
V_{oc}	แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร
α	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
χ_e	อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี
ϵ	ค่าคงที่ได้อิเล็กทริก
ϵ_0	ค่าคงที่ได้อิเล็กทริกของสุญญากาศ
ϕ	ค่าฟังก์ชันงาน
ϕ_m	ค่าฟังก์ชันงานของโลหะ
ϕ_s	ค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ
λ	ความยาวคลื่นของแสง
σ	สภาพความนำไฟฟ้า
σ_o	สภาพนำไฟฟ้ามืด
σ_{ph}	สภาพนำไฟฟ้าทางแสง
ν	ความถี่ของคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

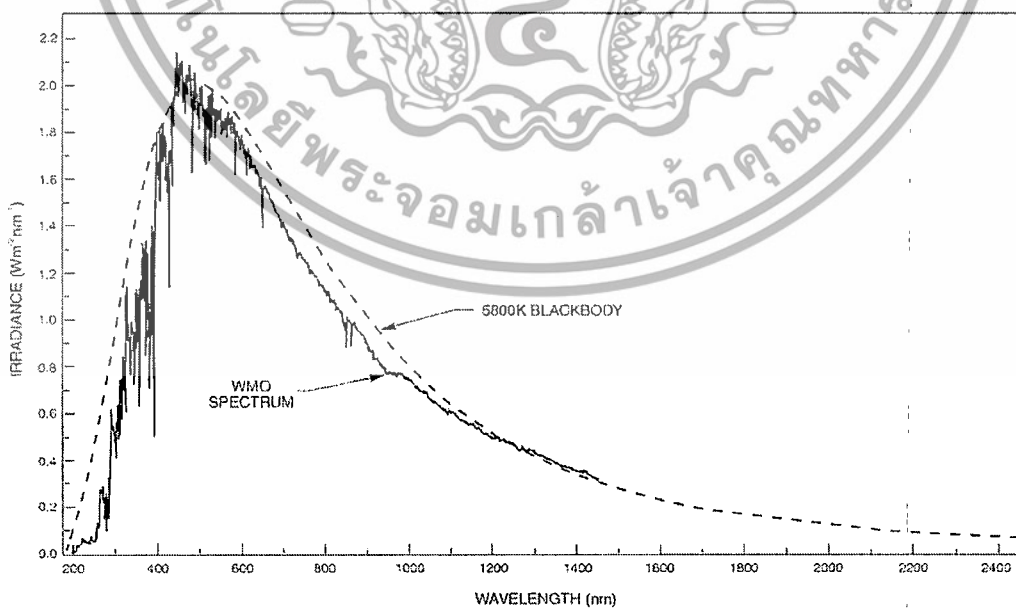
บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันจากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ทำให้เทคโนโลยีของ LED ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ได้มีการนำ LED มาใช้ประโยชน์แพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น ในเครื่องคิดเลข สัญญาณจราจร ไฟท้ายรถยนต์ ป้ายสัญญาณต่างๆ ไฟฉาย ไฟให้สัญญาณของประกาศาร จอภาพยนตร์ขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น หน้าจอ LCD ของโทรศัพท์มือถือที่เราใช้กันทั่วไป เกือบทั้งหมดจะให้แสงสว่างด้วย LED

ตัวแปรที่สำคัญของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วยตัวเซลล์แสงอาทิตย์และส่วนประกอบอื่นๆ ต้องมีความน่าเชื่อถืออย่างมาก เพราะฉะนั้นเทคโนโลยีสำหรับการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่สำคัญ ในขณะที่การประกอบเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนได้ถูกปรับปรุง แต่ยังมีราคาแพงซึ่งเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนประกอบด้วย หลอดซีนอน (Xenon) หรือ ฮาโลเจน (Halogen) โดยหลอดทั้งสองชนิดนี้ยังมีอายุการใช้งานของหลอดสั้น (~ 1,000 ชั่วโมง) และต้องการพลังไฟฟ้ามาก

ในการใช้ไดโอดเปล่งแสง (LED: Light Emitting Diode) เป็นอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน ราคาถูก และมีความสว่างที่มากเพียงพอต่อนำมาทดลองใช้เป็นแหล่งจ่ายแสงแทนหลอดซีนอน และฮาโลเจน โดยหลอด LED มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าสิบเท่า (~ 10,000 ชั่วโมง) ในการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กๆ การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ LED ต้องทำการศึกษาถึง ความเข้มและแถบความยาวของ LED แต่ละชนิดให้เหมือนกับแสงอาทิตย์จากธรรมชาติให้มากที่สุด ซึ่งแถบแสงของแสงธรรมชาติแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1.1 ค่าความเข้มและความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode ย่อ LED) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอด ที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบ เมื่อถูกไบอัสทางไฟฟ้าในทิศทางไปข้างหน้า ปฏิกิริยาการเปล่งแสงนี้อยู่ในรูปของ electroluminescence สีของแสงที่เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่นำมาใช้ และเปล่งแสงได้ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงแสงที่มองเห็น และช่วงอินฟราเรด ผู้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงขึ้นเป็นคนแรก คือ นิก โฮโลนยัค (Nick Holonyak Jr.) (เกิด ค.ศ. 1928) แห่งบริษัท เจเนรัล อิเล็กทริก (General Electric Company) โดยได้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงแสงที่มองเห็น และสามารถใช้งานได้ในเชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรก เมื่อ ค.ศ. 1962

หลอด LED สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง สามารถผสมเพื่อผลิตแสงสีต่างๆ รวมถึงแสงสีขาว หรือนำ LED อินฟราเรด และอัลตราไวโอเล็ต (UVA) การนำ LED หลายชนิดมารวมกันเป็นการประยุกต์นำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้แก่ หลอดไฟ จอแสดงผล สัญญาณจราจร รวมถึงเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการแสงสว่างเพื่อบอกสถานะต่าง การทำงานของ LED เป็นการจ่ายกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรง (Forward bias) กับ LED จะทำให้เกิดอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ (electroluminescence) ที่หลอดไฟบริเวณรอยต่อ P-N จะเกิดการเปล่งแสงออกมา

การนำไปใช้งานทำให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพของ LED ให้มีพลังงานแสงที่เปล่งออกมาให้สูงขึ้นเพื่อการส่องแสงต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น โดยปกติ LED มีพื้นที่น้อยกว่า 1 mm^2 เป็นต้นกำเนิดแสงสว่าง ได้มีการพัฒนาการสร้าง LED ให้มีการเพิ่มความสว่างและสี รวมถึงแสงอินฟราเรดและอัลตราไวโอเล็ตด้วยการเปลี่ยนวัสดุสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำเป็น LED นอกจากการส่องสว่างแล้วมีการนำหลอด LED ชนิดอัลตราไวโอเล็ตไปใช้สำหรับการฆ่าเบคทีเรียในน้ำและฆ่าเชื้อโรค โดยทั่วไป LED เป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ที่สร้างจากวัสดุต่างๆดังนี้

- อะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ (AlGaAs) ได้แสงสีแดง และอินฟราเรด
- อะลูมิเนียมฟอสไฟด์ (AlGaP) ได้แสงสีเขียว
- อะลูมิเนียมอินเดียมฟอสไฟด์ (AlGaInP) ได้แสงมีความสว่างสูง สีแดงส้ม, ส้ม, เหลือง, และสีเขียว
- แกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (GaAsP) ได้แสงสีแดง, สีแดงส้ม, ส้ม, และเหลือง
- แกเลียมฟอสไฟด์ (GaP) ได้แสงสีแดง, เหลือง และสีเขียว
- แกเลียมไนไตรด์ (GaN) ได้แสงสีเขียว, สีเขียวบริสุทธิ์ หรือสีเขียวมรกต และสีน้ำเงินขาว
- อินเดียมแกเลียมไนไตรด์ (InGaN) ได้แสงอัลตราไวโอเล็ตช่วงความยาวคลื่น 450 - 470 nm สีเขียวแกมน้ำเงิน และสีน้ำเงิน
- ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ได้แสงสีน้ำเงิน
- ซิลิคอน (Si) ทำให้เป็นสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ทำให้เป็นสีน้ำเงิน
- ซิงค์เทลไนด์ (ZnSe) ทำให้เป็นสีน้ำเงิน
- เพชร(C) ทำให้เป็นอัลตราไวโอเล็ต

อะลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN), อะลูมิเนียมแกลเลียมไนไตรด์ (AlGaInN), อะลูมิเนียมแกลเลียมอินเดียมไนไตรด์ (AlGaInN) ทำให้เป็นอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่นต่ำกว่า 210 nm

สำหรับข้อดีของ LED มีหลายประการ

- LED ยังมีประสิทธิภาพการให้พลังงานแสงสว่างที่ระดับสูงถึง 70 ลูเมน/วัตต์ สูงกว่าหลอดไฟฟ้แบบขดลวดที่มีประสิทธิภาพที่ระดับ 15 ลูเมน/วัตต์ แม้ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอด LED ในปัจจุบันจะต่ำกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึง 80 – 100 ลูเมน/วัตต์ อย่างไรก็ตามแสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จะแพร่ออกไปทุกทิศทาง ทำให้สูญเสียเปล้าจำนวนมาก ขณะที่แสงสว่างของ LED จะส่องไปเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น ดังนั้น ประสิทธิภาพของ LED ที่ระดับ 70 ลูเมน/วัตต์ จึงนับมีมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ระดับ 100 ลูเมน/วัตต์ ยิ่งไปกว่านั้น LED ก้าวหน้าเร็วมาก ทำให้มีแนวโน้มว่าจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากในช่วงที่ผ่านมาประสิทธิภาพของ LED เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 5 ลูเมน/วัตต์ ในปี 2539 เป็น 50 ลูเมน/วัตต์ ในปี 2546 และเพิ่มขึ้นเป็น 70 วัตต์/ลูเมน ในปี 2547 ล่าสุดบริษัท Nichia ได้ประกาศเมื่อปลายปี 2549 ว่าประสบผลสำเร็จในด้านวิจัยและพัฒนา LED ต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 150 ลูเมน/วัตต์

-หลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากภายในบรรจุไอของปรอท ขณะที่หลอดไฟ LED มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

-สามารถควบคุมคุณภาพของแสงให้ปล่อยออกมาได้ ดังนั้น จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการให้แสงสว่างในสถานที่สำคัญ เป็นต้นว่า พิพิธภัณฑ์ลูฟฟองกรุงปารีส ได้ใช้แสงจาก LED ในการให้แสงสว่างต่อภาพเขียนโมนาลิซ่า เนื่องจากสามารถควบคุมแสงสว่างจาก LED ไม่ให้มีส่วนผสมของแสงที่เป็นอันตรายต่อภาพเขียน เช่น แสงอินฟราเรด แสงอัลตราไวโอเล็ต ฯลฯ

-LED ปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้อาคารลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานมากขึ้นไปอีก

-อายุการใช้งานของหลอด LED ยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง หรือ 11 ปีเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีอายุใช้งาน 30,000 ชั่วโมง หรือหลอดไฟฟ้แบบขดลวดที่มีอายุใช้งานเพียง 1,000 – 2,000 ชั่วโมงเท่านั้น

-หลอด LED ยังมีความทนทานต่อการสั่นสะเทือนมากกว่า จึงเหมาะสมสำหรับติดตั้งในเครื่องบินหรือรถยนต์ นอกจากนี้ หลอด LED ไม่เปราะบางเหมือนกับหลอดไฟฟ้แบบขด3621 .วดหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ บางครั้งแม้ถูกทุบตีอย่างแรง ก็ยังสามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-หลอด LED เหมาะสำหรับหลอดไฟที่ต้องการให้เปิดปิดบ่อยครั้ง เนื่องจากสามารถเปิดปิดบ่อยๆ โดยไม่มีปัญหาแต่อย่างใด และเมื่อเปิดหลอดไฟ จะให้ความสว่างโดยทันทีที่นับว่าแตกต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หากเปิดปิดบ่อยครั้งจะเสีง่าย หรือหลอด HID ซึ่งเมื่อเปิดสวิตช์แล้ว จะใช้เวลาช่วงหนึ่งกว่าจะให้แสงสว่างออกมา

การนำ LED ไปใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย แต่กลับยังไม่ได้นำมาใช้แพร่หลายเพื่อให้แสงสว่างภายในบ้าน เนื่องจากมีข้อจำกัดสำคัญ คือ ยังไม่สามารถผลิต LED ที่เปล่งแสงสีขาวโดยแท้จริงได้ โดยปัจจุบันมี 2 วิธี ที่นำมาใช้เพื่อผลิต LED ที่เปล่งแสงสีขาวโดยทางอ้อม

- การเคลือบ LED สีน้ำเงินด้วยสารเรืองแสงสีเหลือง อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ทำให้ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างลดลง

- คือ การนำแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน มาผสมกันให้พอเหมาะเพื่อให้เป็นสีขาว ซึ่งมีข้อดีคือ นอกจากผสมกันเป็นสีขาวแล้วยังสามารถผสมสีออกมาเป็นสีต่างๆ ได้ตามต้องการนับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของวิธีการนี้คือ มีความยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูงในการบำรุงรักษาเนื่องจากจะต้องมีหลอด LED จำนวนมาก

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนด้วยไดโอดเปล่งแสงว่า จะสามารถนำมาเป็นเครื่องมือในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ได้หรือไม่จากกรณีวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน และการตอบสนอง (SR: Spectral response) ให้ได้มีความสามารถนำไปวิเคราะห์ได้

เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานของเครื่องกำเนิดแสงเสมือนดังตารางที่ 1 ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ CEI/IEC* 904-3 เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยต้องคำนวณหาความเข้มแสงที่ 1000 Wm^{-2} ซึ่งเป็นการวัดที่ค่า AM1.5 G โดยทำการออกแบบให้ชุด LED หนึ่งชุดให้มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์มาตรฐานมากที่สุด และจะเพิ่มจำนวนชุดเพื่อให้ได้ความเข้มแสง ตารางที่ 1.1 ค่ามาตรฐานของเครื่องกำเนิดแสงเสมือน

Solar Condition	Standard	Power Density (Wm^{-2})		
		Total	250 - 2500 nm	250 - 1100 nm
	WMO Spectrum	1367		
AM 0	ASTM E 490	1353	1302.6	1006.9
AM 1	CIE Publication 85		969.7	779.4
AM 1.5 D	ASTM E 891	768.3	756.5	584.7
AM 1.5 G	ASTM E 892	963.8	951.5	768.6
AM 1.5 G	CEI/IEC* 904-3	1000	987.2	797.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* Integration by modified trapezoidal technique

CEI = Commission Electrotechnique Internationale

IEC = International Electrotechnical Commission

ปัญหาอีกส่วนหนึ่งที่เป็นปัญหาที่สำคัญคือความร้อนที่มาจากแหล่งจ่ายแสง เนื่องจากความร้อนที่ออกมาจากหลอด LED นั้นน้อยเมื่อเทียบกับหลอดซีแอลแอลและฮาโลเจน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งในการลดข้อผิดพลาดลดลงได้



รูปที่ 2.2 แผนภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนด้วยไดโอดเปล่งแสงชนิดต่างๆ

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. สร้างชุดเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนด้วยไดโอดเปล่งแสง
2. ศึกษาเงื่อนไขต่างๆที่มีผลต่อการกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนที่ความเข้มอย่างคงที่
3. วิเคราะห์สมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานด้วยเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น เหมือนกับโฟโตไดโอด และใช้หลักการโฟโตโวลตาอิกเหมือนกัน โดยเมื่อมีแสงตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์จะเหมือนกับไดโอดทั่วไปทุกประการ แตกต่างกันเพียงแต่ ชั้นของสารกึ่งตัวนำทางด้านที่รับแสง ต้องมีความบางมากๆ จนแสงส่องทะลุไปถึงรอยต่อและสารกึ่งตัวนำด้านที่เป็นฐานรองได้ เพราะฉะนั้น กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ถูกแสง จะมีลักษณะเหมือนกันกับไดโอดทั่วไป แต่ถ้ามีแสงมาตกกระทบแล้ว คุณลักษณะกระแสและแรงดันจะเปลี่ยนไป

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่น (wave) และอนุภาค (particle) ปรากฏการณ์ที่เราเห็นอยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น การสะท้อน(reflection) การแทรกสอด(interference) และการหักเหแสง(refraction) แสดงให้เห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น ส่วนปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นหรืออธิบายได้ว่าแสงเป็นอนุภาคได้แก่ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก(external photoelectric effect)

2.1.1 การเป็นคลื่นของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งถ้าให้ λ เป็นความยาวคลื่นแสง v คือ ความถี่ของคลื่นแสง และ c_0 คือความเร็วของแสงที่เดินทางในสุญญากาศ ($c_0 = 2.99792458 \times 10^8$ m/s) จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\lambda = \frac{c_0}{v} \quad (2.1)$$

ถ้าแสงเดินทางในวัสดุที่มีเนื้อเรียบตลอดและเป็นวัสดุไอโซโทรปีแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง แต่ถ้าแสงเดินทางจากวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่ง ที่ขอบของวัสดุทั้งสองนั้นแสงจะหักเหหรือสะท้อนกลับได้ การเดินทางของแสงในวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหแสงเท่ากับ (n) จะทำให้ความเร็วของแสงช้ากว่าในสุญญากาศ กล่าวคือความเร็วแสง (c) ในวัสดุเท่ากับ

$$c = \frac{c_0}{n} \quad (2.2)$$

ค่าดัชนีหักเหแสงของวัสดุใดๆจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและความถี่ของแสงด้วย และค่าดัชนีหักเหแสงนี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ϵ ของวัสดุ ดังนี้

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} \quad (2.3)$$

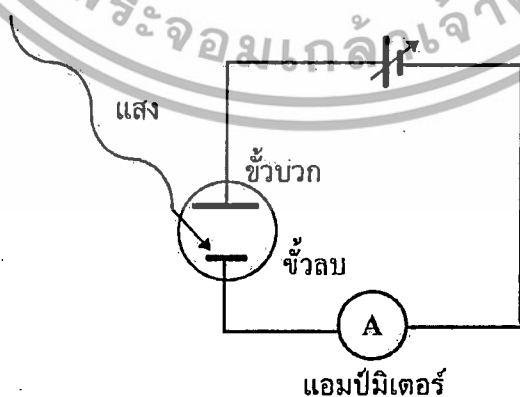
โดยที่ ϵ_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสุญญากาศ $= 8.854182 \times 10^{-12}$ F/m

2.1.2 การเป็นอนุภาคของแสง

แสงนอกจากจะมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคด้วย เราเรียกอนุภาคของแสงว่า โฟตอน(Photon) อนุภาคของแสงจะมีพลังงานอยู่ในตัวของมันและถ้าแสงมีความถี่เท่ากับ ν อนุภาคของแสงหนึ่งตัวจะมีพลังงานเท่ากับ $h\nu$ eV โดยที่ h คือค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) $= 6.6261 \times 10^{-34}$ J.s และแสงที่มีความยาวคลื่น λ ใดๆ จะมีพลังงานโฟตอนเป็น

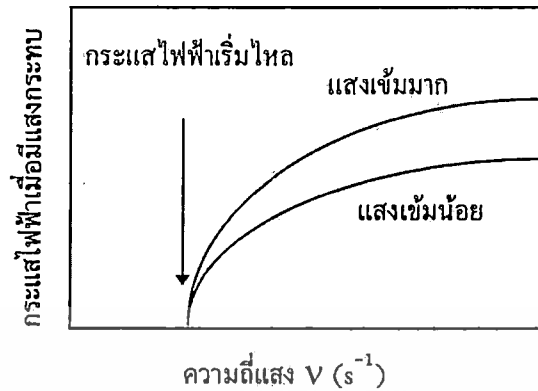
$$\text{พลังงานโฟตอน} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.4)$$

ตัวอย่างปรากฏการณ์หนึ่งที่แสดงว่าแสงเป็นอนุภาคได้แก่ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการส่องแสงลงบนผิวของโลหะที่วางอยู่ในสุญญากาศ แล้วทำให้อิเล็กตรอนที่ผิวโลหะกระเด็นออกจากโลหะ แสดงวิธีการทดลองดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่ของแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์นี้ไอน์สไตน์ได้อธิบายไว้ว่า เมื่อแสงที่มีความถี่ ν เดินทางไปในปริภูมิ (space) แสงนั้นไม่ได้มีพลังงานเป็นค่าต่อเนื่อง แต่แสงจะเป็นอนุภาคที่มีพลังงานเท่ากับ $h\nu$ ที่วิ่งไปในปริภูมินั้นไอน์สไตน์ได้ตั้งชื่ออนุภาคแสงนี้ว่า light quantum ต่อมาเรารู้จักกันในชื่อ โฟตอน

จากนั้นไอน์สไตน์ยังได้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์ในรูปที่ 2.2 ไว้ว่า พลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากโลหะ E มีค่าเท่ากับพลังงานของแสงที่ฉายลงบนผิวโลหะ $h\nu$ ลบด้วยพลังงานที่จำเป็นในการดึงอิเล็กตรอนในโลหะให้หลุดออกมาข้างนอก $q\phi$ และเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$E = h\nu - q\phi \quad (2.5)$$

โดยที่ ϕ เรียกว่า เวิร์กฟังก์ชัน (Work function) และ $q\phi$ มีหน่วยเป็น eV

2.2 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

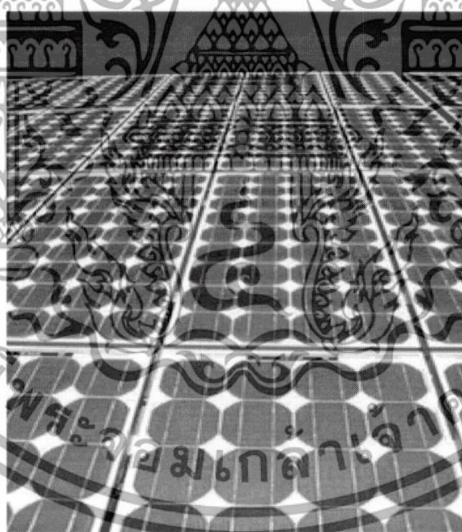
โดยการทำงานอธิบายได้ด้วยอุปกรณ์โฟโตไดโอด โฟโตไดโอดเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ตรวจรับแสงชนิดโฟโตอิเล็กทริกแบบภายใน (internal photoelectric) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพี-เอ็น เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนที่รอยต่อพี-เอ็น จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันขึ้น โดยความหมายกว้างๆ อาจจะรวมถึงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วถ้ากล่าวถึงโฟโตไดโอดจะหมายถึงเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและใช้ตรวจจับความเข้มของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันมากกว่า 95% ทำมาจากซิลิคอน อันประกอบไปด้วยผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน (single crystalline Si) ผลึกหลายรูปของซิลิคอน (multi crystalline Si) และอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous Si) ในที่นี้มากกว่า 90% อยู่ในรูปของผลึกซิลิคอนเพียงอย่างเดียว ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากผลึกของซิลิคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบผลึกรูปเดี่ยว (single crystal or monocrystalline wafers) เป็นการนำเอาแผ่นผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.999%) ซึ่งได้จากกระบวนการไซโคราลสกี (Czochralski process) มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์ประเภทนี้มีราคาค่อนข้างแพง แต่ก็มีประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูง ในทางการค้าเซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 16-17% และสูงถึง 20% ในบางบริษัท (บริษัท Sunpower) เนื่องจากเซลล์ชนิดนี้จะมีราคาสูงอีกทั้งเมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์ หรือโมดูล (modules) จะทำให้สูญเสียพื้นที่บริเวณมมทั้ง 4 ด้านของเซลล์ และในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ยังไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นผลึกที่มีคุณภาพสูงเช่นนี้ จึงได้มีการนำเอาผลึกแบบหลายรูป (polycrystal) มาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แทน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยว

2. แบบผลึกหลายรูป (poly or multi crystalline) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน ผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอนคือ แท่งซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของผลึกเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตรถึงระดับมิลลิเมตร) ของซิลิคอนแบบผลึกรูปเดี่ยว โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมเหลวลงในเบ้าหลอม (crucible) แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆ ซึ่งก็จะได้แท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโพลีซิลิคอนที่มีรูปร่างตามเป้าหมายที่ใช้ หลังจากนั้น การนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะสามารถคัดลอกกับกรณีของแบบผลึกเดี่ยว คือ นำไปตัดเป็นเวเฟอร์ (wafer) หนาขนาด 300 - 400 ไมโครเมตร แล้วนำไปสร้างรอยต่อพี-เอ็นต่อไป เซลล์ชนิดนี้มีต้นทุนที่ถูกกว่าแบบผลึกเดี่ยวแต่ก็มีประสิทธิภาพน้อยกว่าด้วย (ประมาณ 15 - 16%) อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของเซลล์แบบผลึกโพลี คือ รูปร่างของแผ่นเซลล์ซึ่งสามารถทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้ ทำให้มีช่องว่างบนแผงเซลล์น้อยกว่าแบบแผ่นกลม ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่าแบบแผ่นกลมถึง 25% เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูปแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป

3. แบบริบบอน (ribbon silicon) เทคโนโลยีของการสร้างแผ่นผลึกทั้งแบบผลึกเดี่ยวที่เป็นแผ่นกลม และแบบผลึกหลายรูปที่เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมนั้น ยังคงเป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองวัสดุอยู่ เนื่องจากต้องมีการตัดแผ่นผลึกทำให้ต้องเสียเนื้อของซิลิคอนไปส่วนหนึ่ง จึงได้มีการปรับปรุงเทคนิคต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผ่นซิลิคอนให้เป็นแผ่นบาง และยาว ที่เรียกว่า ริบบอน (ribbon) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบผลึกหลายรูป ทำให้ไม่ต้องเสียเนื้อซิลิคอนในการตัดให้เป็นแผ่นบางๆ เทคนิคในการสร้างแผ่นผลึกแบบริบบอนมีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีอีเอฟจี และเดนดริติก (dendritic)

อีเอฟจี (EFG) ย่อมาจาก Edge-defined film-fed growth เป็นวิธีการสร้างแผ่นผลึกที่คล้ายกับวิธีของโซคราลสกี ที่ต้องใช้เมล็ดผลึกไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องเล็กๆ บางๆ ที่ทำด้วยแกรไฟต์ เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมยาวตามที่ต้องการ แผ่นผลึกที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะมีความหนาราว 150-300 ไมครอน มีความกว้างตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร ข้อเสียของริบบอนแบบอีเอฟจีนี้ คือ มีโครงสร้างของผลึกที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับวิธีของโซคราลสกีและการที่ซิลิคอนต้องถูกหลอมเหลวอยู่ภายในเป้าหมายแล้ว ยังต้องมีการดึงผ่านช่องแคบๆ ของแกรไฟต์อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการเช่นนี้ ทำให้แผ่นผลึกที่ได้มีความไม่สมบูรณ์สูง เนื่องจากสิ่งแปลกปลอม และสารเจือปน ต่างๆจากแก้วหลอมและแผ่นแกรไฟต์สามารถเข้าไปในเนื้อซิลิคอนได้ง่าย วิธีการที่สามารถจะลด ความไม่บริสุทธิ์ของแผ่นผลึกแบบribbon ก็ได้คือ วิธีการแบบเดนดริติก

การดึงแผ่นผลึกribbonแบบเดนดริติก จะใช้เมล็ดผลึกไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมา ทางช่องที่มีอยู่เฉพาะตรงขอบทั้ง 2 ด้าน เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมในแบบribbon แผ่นผลึกที่สร้างด้วยวิธีนี้ จะมีความบริสุทธิ์สูงใกล้เคียงกับวิธีของโซคราลสกี เมื่อนำไปสร้างเซลล์ จะได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบซีเอฟซี

ต้นทุนของเซลล์แบบribbonนั้นถือว่าถูกกว่าแบบชนิดอื่น เพราะมีการสูญเสียซิลิคอนน้อยกว่าทุกวิธี แต่เซลล์ที่ได้ก็มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าแบบอื่นคือประมาณ 13.5 - 15% และมีราคา จำหน่ายที่สูงเนื่องจากการผลิตที่ต่ำ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกของซิลิคอนทั้ง 3 แบบดังกล่าว ถือเป็นอุตสาหกรรมที่ รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากแผ่นเวเฟอร์ (wafer-based manufacturing) เนื่องจากเป็นการ นำแผ่นซิลิคอน หรือเวเฟอร์ (wafer) ที่มีความหนาประมาณ 180-240 ไมโครเมตร มาสร้างเป็นเซลล์ แสงอาทิตย์ และนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่อเชื่อมกันให้เป็นโมดูล (module) ก่อนนำไปใช้ ในขณะที่ เซลล์แสงอาทิตย์จากฟิล์มบาง (thin film) ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์ จากโมดูล หรือ แผงเซลล์ (module-based manufacturing) เพราะแผงเซลล์ที่เป็นฐานรองนั้นจะ ถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการ และทำการตัดออกเป็นแต่ละเซลล์ด้วยแสงเลเซอร์ (laser scribe) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากฟิล์มบางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon films) เซลล์แสงอาทิตย์แบบ อะมอร์ฟัส มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง ซึ่งเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช่เว เฟอร์ โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองด้วยเทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิคอนติดอยู่ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อ สูญญากาศ และตรงบริเวณที่วางแผ่นฐานรองก็จะมีกระแสความร้อน เช่น โดยใช้พลาสมา เพื่อส่ง พลังงานให้ซิลิคอนแยกตัวออกจากก๊าซ เข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง โดยส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว สแตนเลส หรือพลาสติก ซึ่งได้ทำให้การเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่น ฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่น เกิดเป็นอะมอร์ฟัส ซิลิคอน ในขั้นตอนนี้ หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน (boron) เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วย เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่ เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดพี (p-type Si) และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสฟอรัส (phosphorus) เช่น PH_3 เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type Si) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้ เรา สามารถควบคุมการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างให้เกิดชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส ก็คือ มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำมาก และอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีช่องว่างพลังงาน (energy bandgap) 1.7 eV มากกว่าแบบผลึกซิลิคอน (1.1 eV) ทำให้อัตราการดูดแสงของอะมอร์ฟัสซิลิคอนสูงกว่าแบบผลึกมาก จึงสามารถลดความหนาของฟิล์มเป็นระดับ 1 ไมโครเมตรได้ ในขณะที่แบบผลึกต้องทำอย่างน้อยหนาประมาณ 300 ไมโครเมตรซึ่งทั้งนี้ก็เพื่อ ความแข็งแรงทางกลของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย นั่นก็คือ อะมอร์ฟัสซิลิคอนสามารถประหยัดปริมาณของซิลิคอนได้มากกว่า และยังสามารถนำมาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างเป็นไดโอด (diode) 2 ตัวเรียงต่อกันเป็นชั้น (tandem cell) ให้เซลล์ด้านบนเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนเพื่อดูดกลืนแสงย่านที่ตามองเห็น (visible light) และปล่อยให้แสงย่านอินฟราเรด (infrared) ถูกดูดกลืนโดยเซลล์ด้านล่างซึ่งเป็นผลึกระดับนาโนเมตรของซิลิคอน (nanocrystalline Si) ที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากับผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน

จุดด้อยของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส คือ ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ต่ำประมาณ 8% และเซลล์แบบนี้ยังมีอายุการใช้งานที่สั้น เมื่อนำไปใช้กับแสงแดด ปัญหาการเสื่อมลงของเซลล์แบบอะมอร์ฟัสนี้ยังเป็นปัญหาหลักที่ยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขกันต่อไปอีก

2. แบบซีไอเอส (CIS) เซลล์แสงอาทิตย์แบบซีไอเอสถูกสร้างขึ้นด้วยฟิล์มบางของธาตุที่ประกอบไปด้วย ทองแดง (copper) อินเดียม (indium) และ ซีลีเนียม (selenium) มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ $CuInSe_2$ หรือ $Cu(In \ x \ Ga \ 1-x)(Se \ x \ S \ 1-x)_2$ ฟิล์มบางของเซลล์แบบซีไอเอสจะมีความหนาน้อยกว่าเซลล์แบบโพลีอูประมาณ 10 เท่า ประสิทธิภาพของเซลล์แบบซีไอเอสนี้สูงถึง 11% แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนก็ยังมีราคาที่สูงอยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Dye-sensitized (Dye-sensitized solar cells) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อีกแบบหนึ่งที่ใช้ปฏิกิริยาทางแสง-ไฟฟ้า-เคมี (photoelectrochemical cells) ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดย Michael Graetzel และคณะ เซลล์ชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Graetzer cells แนวความคิดของเซลล์แบบไดซ์-เซินซิไทท์นั้นมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (process of photosynthesis) และกำลังอยู่ในขั้นตอนของการศึกษาวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดนี้สามารถขึ้นไปได้ถึง 33% ในทางทฤษฎี และมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2010 จะเริ่มมีเซลล์ชนิดนี้ออกวางจำหน่ายในทางการพาณิชย์

2.2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานของโฟโตไดโอดที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างภาคตัดขวางของโฟโตไดโอด ทางด้านที่รับแสงเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่ต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ที่รอยต่อพี-เอ็นนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ด้วยขบวนการโฟโตโวลตาอิก เมื่อมีแสงมาตกกระทบโฟโตไดโอด และถ้าพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ แสงจะถูกสารกึ่งตัวนำดูดกลืน โดยพลังงานโฟตอนของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบความนำ และที่แถบวาเลนซ์จะเหลือโฮลอยู่

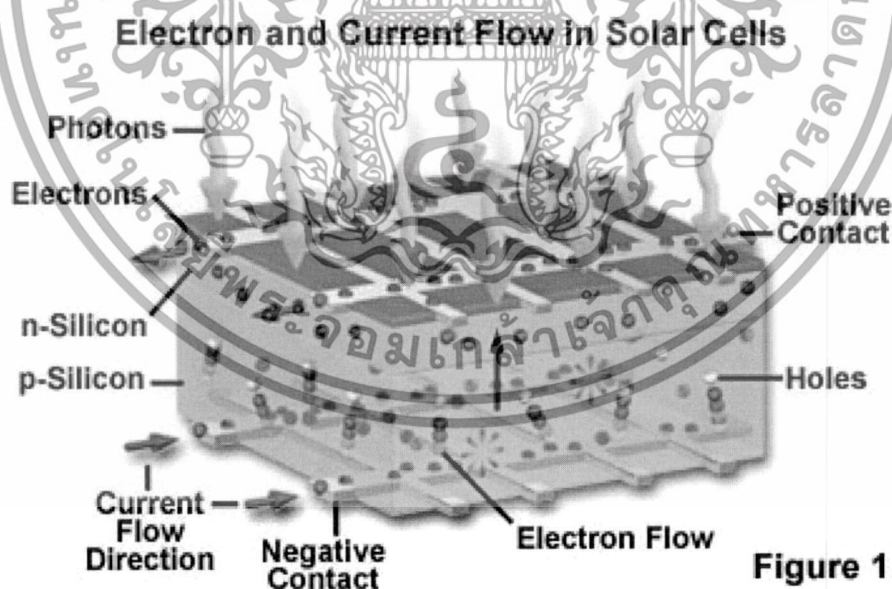
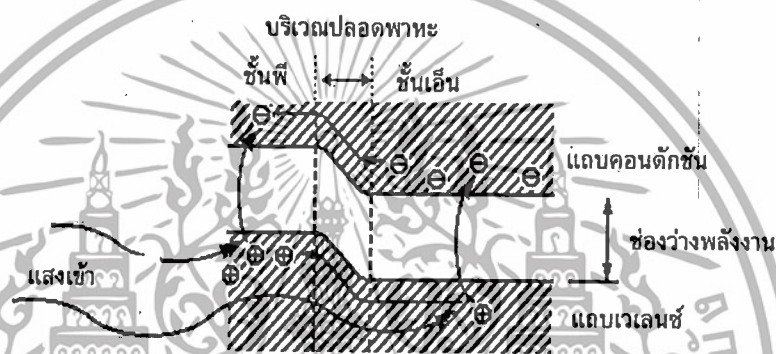


Figure 1

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างภาคตัดขวางแสดงโครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะแถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ที่ชั้นพี ที่ชั้นปลอดพาหะ และที่ชั้นเอ็น อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบความนำในชั้นพี จะแพร่กระจายไปในชั้นเอ็น และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบความนำในชั้นปลอดพาหะจะถูกดักยไฟฟ้าภายในพัคพาหะให้วิ่งไปสู่ในชั้นเอ็น ส่วนในกรณีของโฮลก็จะไหลในทิศทางที่ตรงข้ามกับอิเล็กตรอน กล่าวคือ จะไหลจากแถบวาเลนซ์ในชั้นเอ็น หรือชั้นปลอดพาหะไปสู่ในชั้นพี จำนวนการเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้จะแปรผันตรงกับจำนวนโฟตอนของ



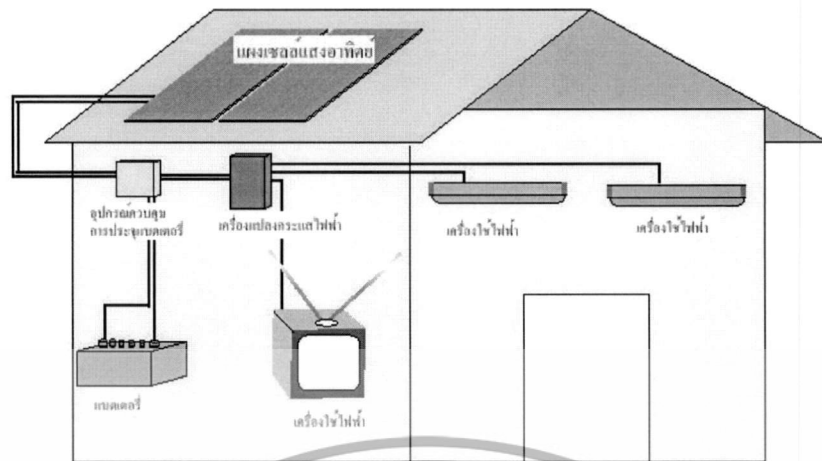
รูปที่ 2.7 แถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น

แสง (Photon flux) ที่สารกึ่งตัวนำดูดกลืน อิเล็กตรอนที่สะสมในชั้นเอ็น จะทำให้ชั้นเอ็นมีประจุเป็นลบและโฮลที่สะสมในชั้นพี จะทำให้ชั้นพี มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก หลังจากนั้นถ้าเราต่อโฟโตไดโอดกับวงจรภายนอก อิเล็กตรอนก็จะไหลจากชั้นเอ็น และโฮลจะไหลจากชั้นพีไปสู่วงจรภายนอก

2.2.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงเซลล์จะจ่ายไฟฟ้าออกมา ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์นี้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) พลังงานไฟฟ้าที่ได้สามารถนำไปใช้ได้ทันที หรืออาจมีอุปกรณ์ร่วมเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) แล้วจึงนำไปใช้เพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆทำงานได้ต่อไป ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ระบบกรใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น แทบทั้งหมดทำจากธาตุซิลิคอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลกรองจากออกซิเจน ทำให้ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากมายเหลือใช้ แต่การนำมาทำให้บริสุทธิ์ใช้งานได้ ต้องมีเทคนิคและใช้พลังงาน นั่นคือ ต้องมีค่าใช้จ่าย ซิลิคอนเป็นวัสดุที่ใช่มากโดยแทบจะเรียกได้ว่าเป็นเมล็ดข้าวสารของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ในปัจจุบันก็ว่าได้ ทรานซิสเตอร์ และไอซี (IC) แทบทั้งหมดสร้างโดยใช้ซิลิคอน นั่นก็คือ การจะนำซิลิคอนมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ในแง่ของวัตถุดิบ และอุตสาหกรรมมีรองรับอยู่แล้ว

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.1 ผลของความต้านทานอนุกรมในเซลล์แสงอาทิตย์

ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์ (R_s) เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำ และความต้านทานที่รอยสัมผัส (Contact) ความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์มาก จากสมการที่ 2.1 ซึ่งคิดที่ $R_s = 0$ และได้ I_o ออกมาดังนี้

$$I_o = I_L - I_s \left[\exp(qV_o / kT) - 1 \right] \quad (2.6)$$

ซึ่งถ้า $R_s \neq 0$ แล้ว แรงดัน V_o ที่วัดได้จะเป็นผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อและแรงดันที่ตกคร่อม R_s ซึ่งเท่ากับ $I_o \cdot R_s$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อจริงๆ จะมีค่าดังนี้

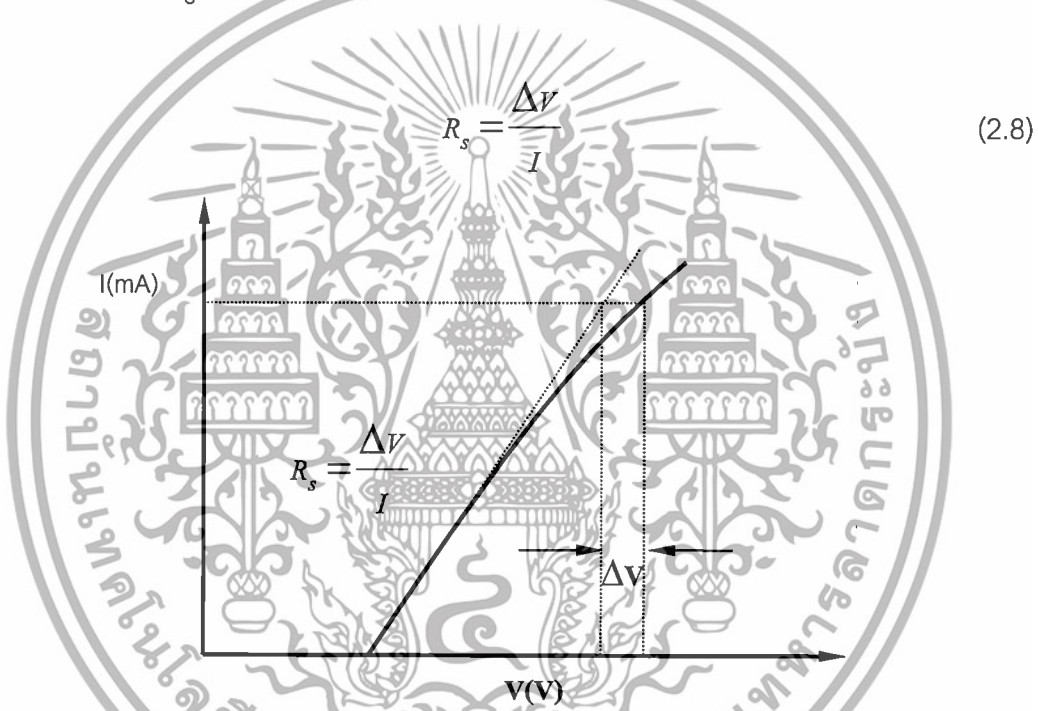
$$\text{แรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ } (V) = V_o + I_o \cdot R_s$$

$$I_o = I_L - I_s \left[\exp \left\{ \frac{q(V_o + I_o \cdot R_s)}{kT} \right\} - 1 \right] \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

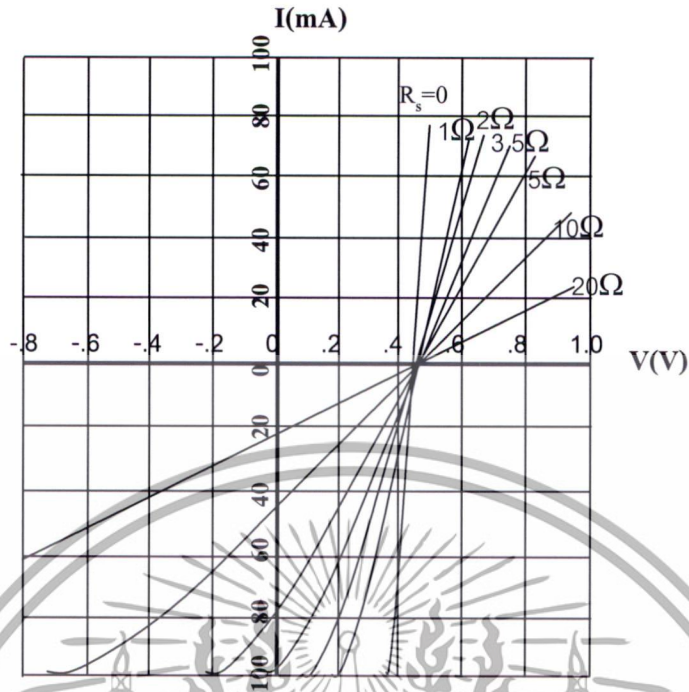
ความต้านทานอนุกรมสามารถหาได้โดยวิธีการดังนี้เนื่องจากกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเอ็กโพเนนเชียล เช่นเดียวกับกับไดโอด เมื่อนำค่ากระแสและแรงดันนี้ไปเขียนลงในกราฟเซมิล็อก จะได้เป็นกราฟเส้นตรง แต่เนื่องจากผลของความต้านทานภายในเซลล์ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานนี้ แรงดันส่วนนี้จะมี ความสัมพันธ์กับกระแสในลักษณะเชิงเส้น เมื่อกระแสไหลผ่านเซลล์มากผลของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานอนุกรมนี้ จะทำให้ได้กราฟเส้นตรงที่ได้ในช่วงกระแสสูงๆ นี้เบี่ยงเบนออกจากแนวเดิม ค่าที่เบี่ยงเบนออกมานี้จะนำไปใช้ในการหาค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ได้

จากกราฟในรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ ที่ค่ากระแส I จะหาค่า R_s จากการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV ได้ดังนี้



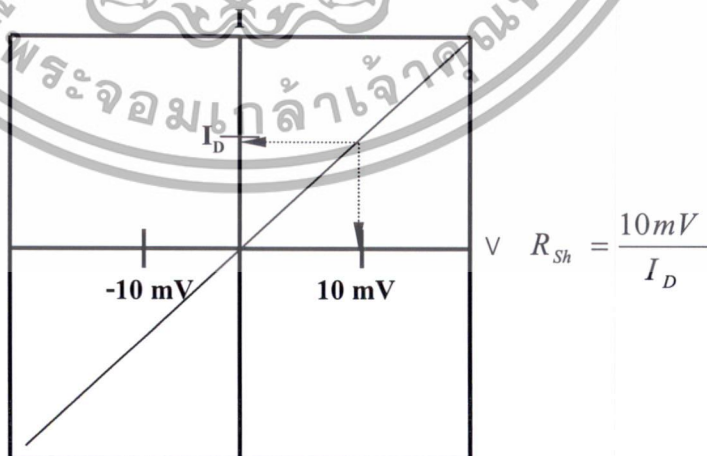
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

แสดงผลของ R_s ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 2.10 จากรูปจะเห็นได้ว่าเซลล์ที่มีค่า R_s สูงจะให้กระแสลัดวงจรน้อยลงและความชันของกราฟก็ลดลงด้วยเป็นผลให้พลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ลดน้อยลงไปมาก ดังนั้นในการสร้างเซลล์ จึงควรหาทางลดค่า R_s ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้



รูปที่ 2.10 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนความต้านทานชั้นต้นนั้นอาจเกิดจากกระแสที่บริเวณขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก ในเซลล์แสงอาทิตย์นั้นความต้านทานชั้นต้นควรจะมีค่าสูง มากๆ แต่อาจจะมีค่าลดลงได้เนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น การหาค่าความต้านทานชั้นต้น นั้นสามารถทำได้โดยการวัดคุณสมบัติกระแสและแรงดันในสภาพมืด โดยการไบแอสให้กับเซลล์ ในระดับแรงดันต่ำๆ ประมาณ 10-20 mV ดังรูปที่ 2.11

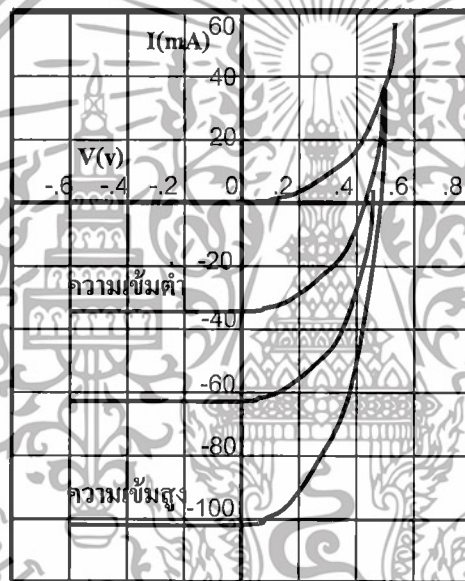


รูปที่ 2.11 ลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันในสภาพมืดของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลข้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ความเข้มของแสง

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงาน จำเป็นต้องมีแสงมากกระตุ้นให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานสูงพอที่จะเป็นอิสระ และทิ้งให้โฮลเกิดขึ้น ดังนั้น ถ้าหากแสงที่มาตกกระทบมีความเข้มสูงมาก หรือก็คือ ปริมาณความหนาแน่นของโฟตอนมีค่าสูง ก็จะทำให้เกิดคู่ประจุพาหะอิเล็กตรอน-โฮลเป็นจำนวนมาก ผลที่ได้จะทำให้ปริมาณกระแสเนื่องจากแสง มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มแสง ทำให้มีการใช้เลนส์รวมแสงเพื่อเพิ่มความเข้มแสงให้มากขึ้น แล้วฉายลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์จ่ายกระแสได้สูง (เนื่องจากกระแสแสงแปรกับความเข้มแสงโดยตรง) โดยที่ประสิทธิภาพของเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้น ข้อดีของระบบรวมแสง (concentrating system) ก็คือ การเพิ่มกระแส โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าปกติ



รูปที่ 2.12 ผลของความเข้มที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.3 อุณหภูมิ

ในการนำเซลล์ไปใช้งานจริงๆนั้น เซลล์จะต้องได้รับความร้อนอันเนื่องมาจากแสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนนี้ก็มีผลต่อกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย เมื่อได้พิจารณาสมการของกระแส I_R ที่ไหลผ่านมายังโหลด R_L จะพบว่า กระแส I_R นี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรจะขึ้นอยู่กับกระแสเนื่องจากแสง I_L และกระแส I_j ที่ไหลผ่านรอยต่อ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมาพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อ I_L และ I_j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของอุณหภูมิต่อ I_L

กระแส I_L ที่เกิดขึ้นจากแสงนั้นมีสมการดังต่อไปนี้

$$I_L = qg(x)A(L_e + L_h) \quad (2.9)$$

เนื่องจาก I_L แปรผันตาม $g(x)$ และ L จึงควรพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อ $g(x)$ และ L จากสมการ

$$L = \sqrt{D\tau} \quad (210)$$

เมื่อ D คือสัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึมของสาร(Diffusion coefficient) สำหรับอุณหภูมิต่ำๆ นั้น จะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ในการแพร่ซึมน้อยมาก จากสมการของ L จึงเหลืออยู่แค่อายุของพาหะ τ (Carrier lifetime) ที่ต้องพิจารณา ซึ่งก็พบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำๆ นั้น จะมีผลต่ออายุของพาหะน้อยมากเช่นกัน (สำหรับอายุของพาหะขึ้นอยู่กับระดับการแพร่ซึมและระดับแตรบเป็นส่วนใหญ่)

องค์ประกอบอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อ I_L ก็คือ $g(x)$ โดยพบว่า $g(x)$ จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิต่ำขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องจากช่องว่างแถบพลังงานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำขึ้น ทำให้พลังงานโฟตอนจากแสงสามารถไปกระตุ้นให้เกิดพาหะได้มากขึ้นกว่าเดิม แต่ผลที่เกิดขึ้นนี้เมื่อพิจารณากการนำไปใช้งานจริงๆ ที่อุณหภูมิต่ำๆ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำเพียงเล็กน้อย (ในช่วง 20-70 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิจะมีผลต่อค่า $g(x)$ น้อยมาก จึงสรุปได้ว่า I_L จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมากกับอุณหภูมิต่ำ

ผลของอุณหภูมิต่อ I_j

เมื่อพิจารณาค่าของ I_j ในสมการ $I_j = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$

จากสมการจะเห็นได้ว่า I_0 จะมีผลต่อกระแส I_j มากที่สุด จึงควรพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อ I_0 โดยพิจารณาจากสมการของ I_0 ดังนี้

$$I_0 = Aq n_i^2 \left[\frac{1}{N_a} \left(\frac{D_e}{\tau_e} \right)^{1/2} + \frac{1}{N_d} \left(\frac{D_h}{\tau_h} \right)^{1/2} \right] \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ I_0 ในกรณีของซิลิกอน พบว่า n_i^2 จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ตามสมการ
ดังนี้คือ

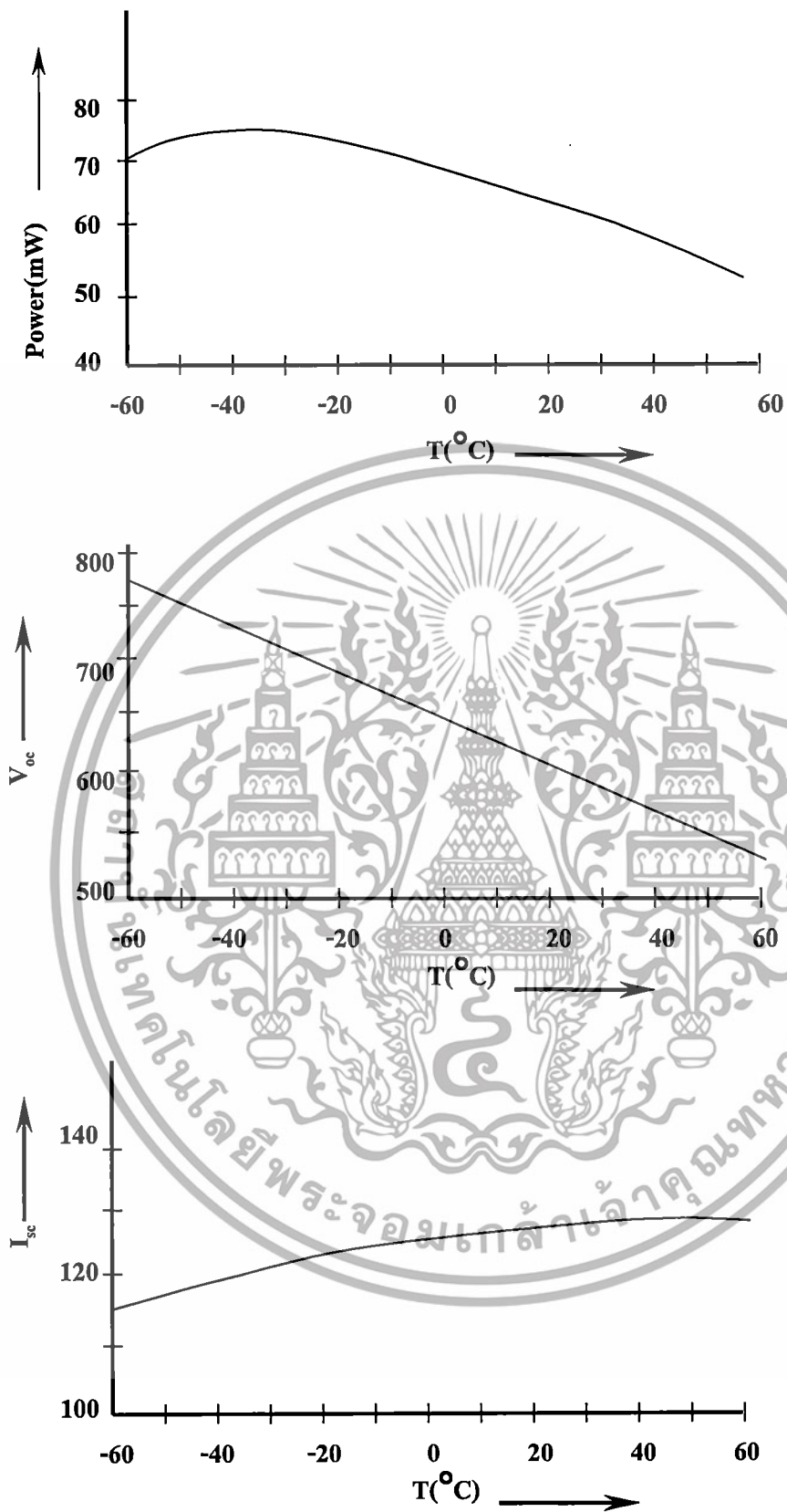
$$n_i^2 = 15 \times 10^{32} \cdot T^3 \cdot \exp\left(\frac{-1.12}{kT}\right) \quad (2.12)$$

จากสมการจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น n_i^2 จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นแบบเอกโพเนนเชียล เป็นผลให้ I_0 มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จากผลอันนี้ แสดงว่า I_j จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ V_{oc}
สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อความสะดวกจะพิจารณาค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (V_{oc}) ตามสมการดังนี้

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (2.13)$$

จากสมการนี้ค่าของ kT/q จะมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของ V_{oc} เนื่องจากค่าของ kT/q มีค่าต่ำมาก ค่าที่มีผลต่อ V_{oc} คือค่าของ I_0 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เป็นผลทำให้ค่าของ V_{oc} มีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ I_{sc} , V_{oc} , P_0 แสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระแส แรงดันและพลังงานของแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะ

เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์ ค่ากระแสโฟโต(photo current) ที่เซลล์จะผลิตได้ จะขึ้นอยู่กับลักษณะของสเปกตรัมของแสงและ ผลตอบสนองเชิงสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลตอบสนองเชิงสเปกตรัม (spectrum response) หมายถึง อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าโฟโตลัดวงจร $J_{sc}(\lambda)$ ต่อพลังงานแสง $P(\lambda)$ ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ ซึ่งทั้ง $J_{sc}(\lambda)$ และ $P(\lambda)$ เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น แอมแปร์/วัตต์ (A/W)

ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะ (collection efficiency) หมายถึงอัตราส่วนของจำนวนอิเล็กตรอนที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตต่อจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นแสง และมีนิยามอีก 2 ชนิด ดังนี้

1 ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะภายใน(internal collection efficiency : η_{in}) หมายถึง ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะในกรณีสมมติว่าที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการสะท้อนแสง

2 ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะภายนอก(external collection efficiency : η_{ext}) หมายถึง ประสิทธิภาพการรวบรวมประจุพาหะในกรณีสมมติว่าที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีการสะท้อนแสง

โดยมีสูตรดังนี้

$$\eta_{in} = \frac{J_{sc}(\lambda)}{P(\lambda)} = \frac{J_{sc}(\lambda)}{qF(\lambda)[1-R(\lambda)]} \quad (2.14)$$

$$\eta_{ext} = \eta_{in}(\lambda)[1-R(\lambda)] = \frac{J_{sc}(\lambda)}{qF(\lambda)} \quad (2.15)$$

โดยที่

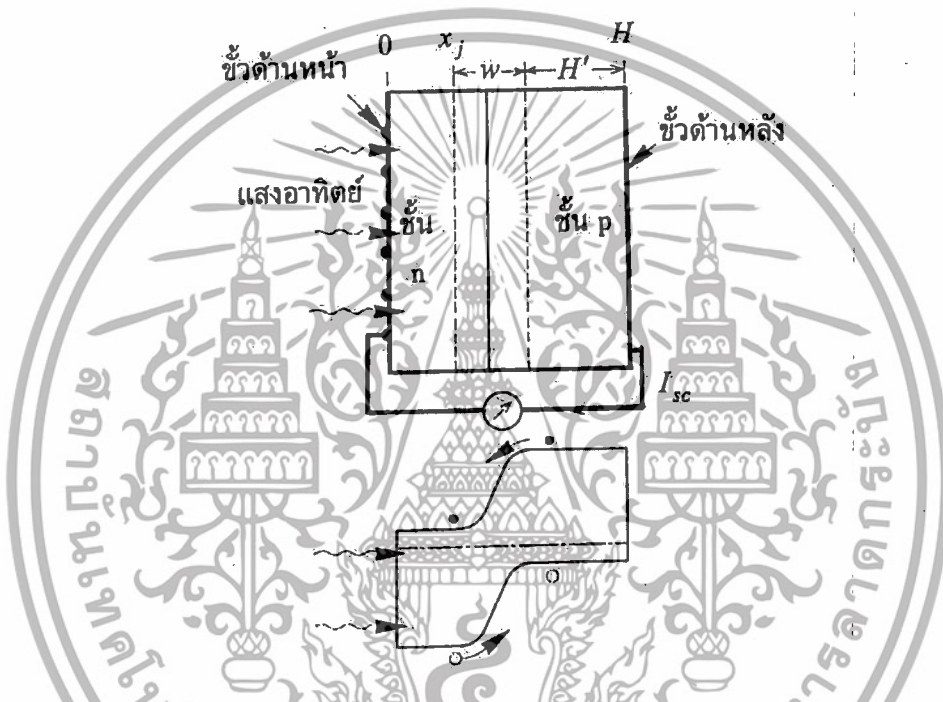
$R(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์

$F(\lambda)$ คือ โฟตอนฟลักซ์ ซึ่งหมายถึง จำนวนโฟตอนต่อหน่วยพื้นที่และหน่วยเวลาที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปแล้วผลการรวบรวมประจุภายในจะมากกว่าภายนอกเสมอและผลรวมของทั้งสองจะน้อยกว่าหนึ่งเสมอ

การพิจารณาประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะของเซลล์แสงอาทิตย์กำหนดให้ความหนาแน่นของสารเจือชนิดเอ็นและชนิดพีต้องมีค่าเท่ากัน จากรูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์และแถบพลังงาน ประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะคำนวณได้โดยการแบ่งเซลล์ออกเป็นชั้นเอ็น ชั้นปลอดพาหะ และชั้นพี และคำนวณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

ในสถานะคงตัว(steady state) สมการต่อเนื่องของพาหะข้างน้อยชนิดโฮลที่เกิดจากแสงในชั้นเอ็นแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์และแผนภาพของแถบพลังงาน

$$\frac{dJ_h}{dx} + \frac{p_n - p_{no}}{q\tau_h} - g(x) = 0 \tag{2.16}$$

$$J_h = q\mu_h p_n E - qD_h \frac{dp_n}{dx} \tag{2.17}$$

และสมการต่อเนื่องของพาหะข้างน้อยชนิดอิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงในชั้นพี แสดงได้ดังนี้

$$\frac{dJ_e}{dx} + \frac{n_p - n_{no}}{q\tau_e} - g(x) = 0 \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_e = q\mu_e n_p E + qD_e \frac{dn_p}{dx} \quad (2.19)$$

โดยที่

- J_e คือ กระแสไฟฟ้าของอิเล็กตรอนต่อหน่วยพื้นที่
 J_h คือ กระแสไฟฟ้าของโฮลต่อหน่วยพื้นที่
 τ_e คือ อายุของอิเล็กตรอน
 n_p คือ จำนวนอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ในชั้นพี
 D_e คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของอิเล็กตรอน
 $g(x)$ คือ อัตราการผลิตพาหะในหนึ่งวินาที (generation rate)
 τ_h คือ อายุของโฮล
 p_n คือ จำนวนโฮลต่อพื้นที่ในชั้นเอ็น
 D_h คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮล

การแก้สมการโดยใช้เงื่อนไขขอบเขตจะได้ว่า

$$J_h = -qD_h \frac{dp_n}{dx} = [q \frac{F(1-R)\alpha L_h}{\alpha^2 L_h - 1} - \frac{S_h L_h}{D_h} + \alpha L_h - \exp(\alpha x_j) (\frac{S_h L_h}{D_h} \frac{\cosh \frac{x_j}{L_h} + \sinh \frac{x_j}{L_h}}{L_h} - \alpha L_h \exp(-\alpha x_j))] \times [\frac{S_h L_h}{D_h} \frac{\sinh \frac{x_j}{L_h} + \cosh \frac{x_j}{L_h}}{L_h}] \quad (2.20)$$

โดยที่

- S_e คือ ความเร็วในการรวมตัว (surface recombination velocity) ของอิเล็กตรอนที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์
 S_h คือ ความเร็วในการรวมตัว ของโฮลที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์
 w คือ ความกว้างของชั้นปลดพาหะ

ในทำนองเดียวกันกระแสไฟฟ้าโฟโตของอิเล็กตรอน ที่ผลิตได้ในชั้นพี คำนวณโดยใช้เงื่อนไขขอบเขต จะได้ดังนี้

$$J_e = -qD_e \frac{dn_p}{dx} = \left[q \frac{F(1-R)\alpha L_e}{\alpha^2 L_e^2 - 1} \right] \exp[-\alpha(x_j + w)]$$

$$\times \left[\alpha L_e \frac{\frac{S_e L_e}{D_e} \left(\cosh \frac{H'}{L_e} - \exp(-\alpha H') \right) + \sinh \frac{H'}{L_e} + \alpha L_e \exp(-\alpha H')}{\frac{S_e L_e}{D_e} \sinh \frac{H'}{L_e} + \cosh \frac{H'}{L_e}} \right] \quad (2.21)$$

โดยที่ $H' = H - (x_j + w)$

จากสมการที่ 2.15 และ 2.16 เราทราบได้ว่า “กระแสไฟฟ้าโฟโตของโฮล” (J_h) และของอิเล็กตรอน (J_e) มีค่าแปรผันตรงกับผลคูณของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α) และระยะทางแพร่ที่มของพาหะ (L_e และ L_h)

ต่อไปเราจะคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าโฟโตที่ผลิตในชั้นปลอดพาหะ กระแสที่ถูกกระตุ้นในชั้นปลอดพาหะนั้น จะถูกสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อ พัดพาให้ไหลไปสู่จรรยาภายนอก พาหะเหล่านี้จะไม่มีกรรวมตัวกันในบริเวณปลอดพาหะ หรือรวมตัวกันน้อยมาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลเช่นนี้เรียกว่ากระแสดริฟท์ (Drift current : J_{dr}) จะมีค่าเท่ากับ

$$J_{dr} = qF(1-R)\exp(-\alpha x_j)[1 - \exp(-\alpha w)] \quad (2.22)$$

โดยที่ w คือ ความกว้างของชั้นปลอดพาหะ มีค่าเท่ากับ

$$w = \left[\frac{2\epsilon_s}{q} (V_d - V) \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

โดยที่

- ϵ_s คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของสารกึ่งตัวนำ
- $N_a N_d$ คือ ความหนาแน่นของสารเจือผู้รับและผู้ให้ตามลำดับ
- V_d คือ แรงดันไฟฟ้าภายในที่เกิดจากรอยต่อพี-เอ็น
- V คือ แรงดันไฟฟ้าไบแอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

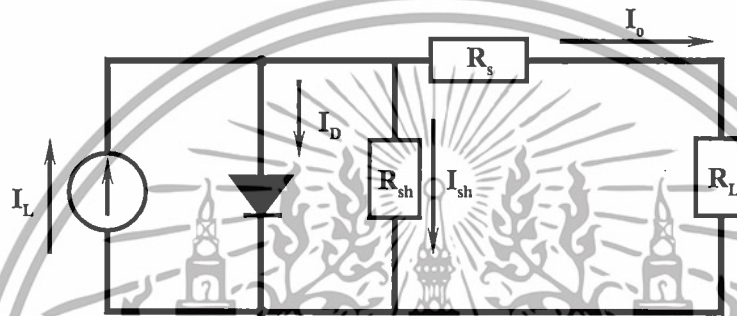
ทั้งหมดสรุปได้ว่า กระแสไฟฟ้าโฟโวลต์ดวงจรที่ผลิตได้ ณ ความยาวคลื่นแสงใด ๆ ($J_{sc}(\lambda)$) ในรอยต่อพี-เอ็น จะเป็นผลรวมของกระแสต่างๆ ดังนี้

$$J_{sc}(\lambda) = J_h(\lambda) + J_e(\lambda) + J_{dr}(\lambda) \quad (2.24)$$

2.4 การวัดและคำนวณเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็นแบบง่าย ๆ จะมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant current source : I_L) ต่อขนานอยู่กับรอยต่อพีเอ็นแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็น

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายกระแสคงที่นั่นก็คือกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s) ความต้านทานชั๊นท์ (R_{sh}) และ รอยต่อพี-เอ็นของไดโอด กระแส I_L ที่เกิดเนื่องจากแสงนี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอด และ R_s แล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L) กระแสที่ไหลผ่าน R_s และ R_L ให้มีค่าเป็น I_o จะได้ว่า

$$I_L = I_D + I_o \quad (2.25)$$

$$I_o = I_L - I_D \quad (2.26)$$

เมื่อ $R_s = 0$ กระแส I_D มีค่าดังนี้

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.27)$$

ค่า n (Ideality factor) เป็นค่าที่แสดงให้รู้ว่ารอยต่อมีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด

ในทางอุดมคติถือว่า $n = 1$ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.28)$$

$$I_o = I_L - I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.29)$$

ในกรณีที่ลัดวงจรทางโหลด เพื่อที่จะดูค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ จะได้ว่า $V = 0$ ดังนั้น

$$I_o = I_L \quad (2.30)$$

ในกรณีนี้ I_o ก็คือ I_{sc} ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสที่เกิดมาจากแสง ในกรณีที่เปิดวงจรทางโหลดเพื่อที่จะดูค่าแรงดันแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) จะได้ว่า $I_o = 0$ ดังนั้นเราจะได้ว่า

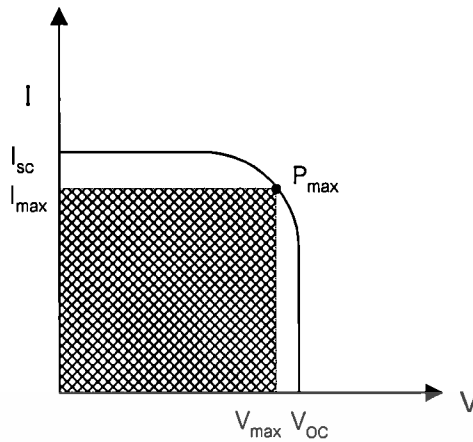
$$I_L = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.31)$$

$$\ln \frac{I_L}{I_s} = \frac{qV}{kT} - 1 \quad (2.32)$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \left(\ln \frac{I_L}{I_s} + 1 \right) \quad (2.33)$$

กรณีที่โหลดมีค่า $0 < R_L < \infty$ จะได้ว่าเซลล์จะจ่ายกระแส I และแรงดัน V ให้แก่โหลดค่าหนึ่งซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 < I < I_{sc}$ และ $0 < V < V_{oc}$ ตามลำดับ กำลังงาน (Power) ที่เซลล์จ่ายให้แก่โหลด R_L สามารถหาได้จากผลคูณของกระแสและแรงดันที่โหลดได้รับ ค่าของกระแสและแรงดันที่ทำให้ผลคูณของปริมาณทั้งสองมีค่าสูงสุด เรียกว่า กระแสสูงสุด (I_{max}) และ แรงดันสูงสุด (V_{max}) ตามลำดับ ซึ่งที่จุดนี้จะให้ กำลังงานสูงสุด (Maximum Power : P_{max}) แสดงดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสง

ดังนั้นกำลังงานสูงสุดจึงถูกนิยามว่าค่ากำลังงานสูงสุดที่เซลล์สามารถจ่ายให้แก่โหลด โดย $P_{max} < I_{sc} \cdot V_{oc}$ ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟรูปที่ 2.16 คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าๆหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า "ฟิลแฟกเตอร์" (F.F. : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริงๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

$$F.F. = \frac{P_m}{P_0} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.34)$$

จะเห็นได้ว่าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่า เซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับทางอุดมคติมาก พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือ ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน (Energy conversion efficiency) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Cells Efficiency) ซึ่งถูกนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่เซลล์สามารถจ่ายได้กับกำลังงานที่เซลล์ได้รับจากแสง ดังนั้นถ้าพิจารณาว่าเซลล์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดได้เป็นค่าสูงสุดจะได้ว่า

$$\text{ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่ไปประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

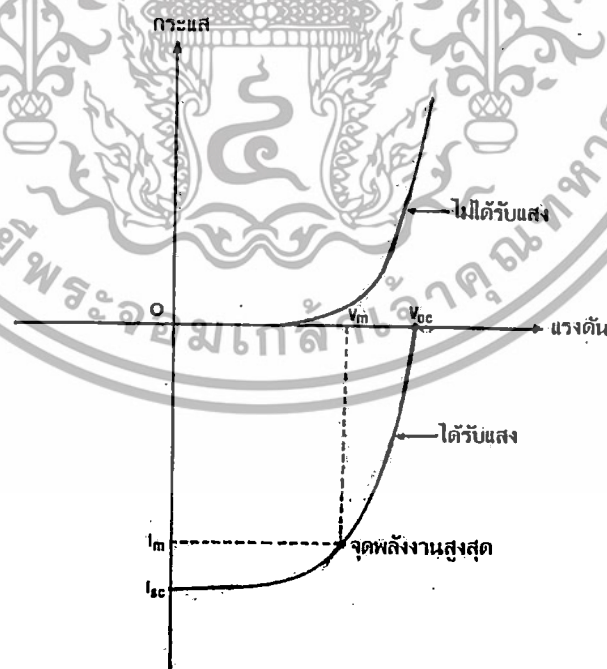
$$\eta = \frac{I_{\max} V_{\max}}{P_{in}} = \frac{F.F. \times I_{sc} V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.36)$$

หรือ

$$\eta = \frac{P_{\max} (W)}{Area (m^2) \times P_{in} (W)} \times 100\% \quad (2.37)$$

2.4.2 สัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น เพียงรอยต่อเดียว เหมือนไดโอด ดังนั้นคุณสมบัติทางแสงของเซลล์ในขณะที่ยังไม่ได้รับแสงจึงเหมือนกับไดโอดทั่วไป เพียงแต่มีกระแสรั่วไหลที่รอยต่อมากกว่าเท่านั้น นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ยังมีพื้นที่รอยต่อมากกว่า ในขณะที่เซลล์ได้รับแสงทิศทางการไหลของกระแสที่ผ่านรอยต่อของเซลล์จะตรงกันข้ามกับขณะที่ยังไม่ได้รับแสง โดยที่แรงดันยังมีลักษณะเหมือนเดิม กราฟความสัมพันธ์ที่ได้จึงตกมาอยู่ที่ควอดแรนต์ที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่า เซลล์จะจ่ายกระแสออกมามากที่สุดเมื่อเซลล์ถูกลัดวงจรซึ่งให้ค่าเป็น I_{sc} และ เซลล์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออก ซึ่งให้ค่าเป็น V_{oc} เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันแล้ว จะพบว่า กราฟคุณสมบัติของเซลล์ในขณะที่ได้รับแสงในรูปที่ 2.17 จะมีอยู่จุดหนึ่งที่ค่าผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่าสูงสุด จุดนี้จะเรียกว่าจุดพลังงานสูงสุดของเซลล์ กระแสและแรงดันที่จุดนี้มีค่าเป็น I_m และ V_m ตามลำดับถ้าเรานำไปให้กับแหล่งรับพลังงานหรือโหลด ที่มีความต้านทานพอดีกับจุดนี้ เซลล์จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดมีค่าสูงสุด ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้จะคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_m ต่อ I_{sc} เพราะฉะนั้น ค่าความต้านทานโหลด $= V_m / I_{sc}$

ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟรูปที่ 2.17 คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า "ฟิลแฟคเตอร์"(F.F. : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริงๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

$$F.F. = \frac{P_m}{P_0} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.38)$$

- เมื่อ F.F. คือ ค่าฟิลแฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์
 P_m คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ
 I_m คือ กระแสสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
 V_m คือ แรงดันสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
 P_0 คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์ในทางอุดมคติ
 I_{sc} คือ ค่ากระแสลัดวงจร
 V_{oc} คือ แรงดันขณะวงจรเปิด

จะเห็นว่าค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟคเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่า เซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับทางอุดมคติมาก

2.5 พิลแฟคเตอร์และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน

อย่างไรก็ดีขณะที่นำเซลล์ไปใช้งาน เซลล์จะไม่อยู่ในภาวะลัดวงจร หรือเปิดวงจร ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์จะต้องถูกต่อเข้ากับโหลด (load) ซึ่งมีค่าความต้านทานค่าหนึ่ง ดังนั้นแรงดัน และกระแสที่เซลล์จ่ายออกมาให้แก่โหลดจะมีค่าน้อยกว่า ค่า V_{oc} และ I_{sc} โหลดซึ่งนำมาต่อ เมื่อมีค่าความต้านทานที่เหมาะสมค่าหนึ่ง จะทำให้ผลคูณของแรงดันและกระแสที่เซลล์จ่ายออกมามีค่าสูงสุด หรือที่เรียกว่า ค่ากำลังงานสูงสุด (maximum power) ที่เซลล์จ่ายให้แก่โหลดได้ เขียนย่อๆ ได้ว่า P_m ค่าของกระแสและแรงดันที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเขียนอักษรย่อแทนเป็น I_m และ V_m ตามลำดับ นั่นคือ

$$P_m = I_m V_m \quad (2.39)$$

และค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมหาได้โดยสมการ

$$R_{load} = \frac{V_m}{I_m} \quad (2.40)$$

ค่าของ P_m , V_m และ I_m แสดงได้ดังกราฟคุณสมบัติของเซลล์ในรูปที่ 2.11

ค่าฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor) เขียนอักษรย่อเป็น FF ค่าของฟิลแฟคเตอร์ ถูกนิยามไว้ว่าคือ อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานสูงสุดที่เซลล์จะจ่ายให้แก่โหลดได้จริงกับค่าของพลังงานสูงสุดในทางอุดมคติที่เซลล์จ่ายได้ นั่นคือ

$$FF = \frac{P_m}{P_o} = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (2.41)$$

ค่าของฟิลแฟคเตอร์นี้จะไม่เกิน 1 ถ้าฟิลแฟคเตอร์มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ใกล้เคียงกับเซลล์ในทางอุดมคติมาก เซลล์ที่ใช้งานโดยทั่วไปค่าฟิลแฟคเตอร์จะมีค่าระหว่าง 0.6 - 0.8 นอกจากนี้คุณสมบัติประการสำคัญยิ่งของเซลล์แสงอาทิตย์ ก็คือค่าประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงาน (energy conversion efficiency) เขียนตัวย่อเป็น η ประสิทธิภาพของเซลล์ ถูกนิยามไว้คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์ นั่นคือ

$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{FF \cdot I_{sc} V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.42)$$

เมื่อ P_{in} คือ พลังงานที่ตกกระทบผิวหน้าของเซลล์ในหนึ่งวินาที หรือก็คือกำลังงานไฟฟ้าอินพุท นั่นเอง (input power)

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปที่ 2.15 พบว่า ยิ่งกระแสอิ่มตัวของไดโอดมีค่าสูงขึ้น ยิ่งค่าความต้านทานอนุกรมในวงจรมีค่าสูงขึ้น และค่าความต้านทานขนานในวงจรมีค่ายิ่งต่ำลง ย่อมส่งผลถึงค่ากำลังงานของเซลล์ที่จ่ายได้ต่ำลง หรือประสิทธิภาพที่ลดลงของเซลล์ด้วย เพราะค่าความต้านทานอนุกรมที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานจากผลของ I^2R ค่าความต้านทานขนานที่ลดต่ำลง และ หรือการเพิ่มขึ้นของกระแสอิ่มตัว (I_{02}) จะส่งผลถึงค่าฟิลแฟคเตอร์ (FF) และแรงดันที่ลดต่ำลง การที่เซลล์มีความเร็วในการรวมตัวที่ผิว (surface recombination velocity) ต่ำและมีค่าเวลาชีวิตในเนื้อสาร (bulk lifetime) ที่สูง จะช่วยปรับปรุงค่า I_{01} และคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก

พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่เซลล์ได้รับเกิดจากการดูดกลืนพลังงานโฟตอนที่มีค่าสูงมากกว่า E_G ส่วนโฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า E_G จะไม่มีผลทำให้เกิดกระแสแสง และในโฟตอนบางส่วนที่มี พลังงานสูงกว่า E_G อาจไม่เกิดกระแส แต่จะกระจายพลังงานออกมาในรูปของความร้อน ซึ่งหากเป็นกรณีนี้ ประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลง ดังนั้น ขนาดของ E_G จึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ [19] และอาจสรุปได้ว่า

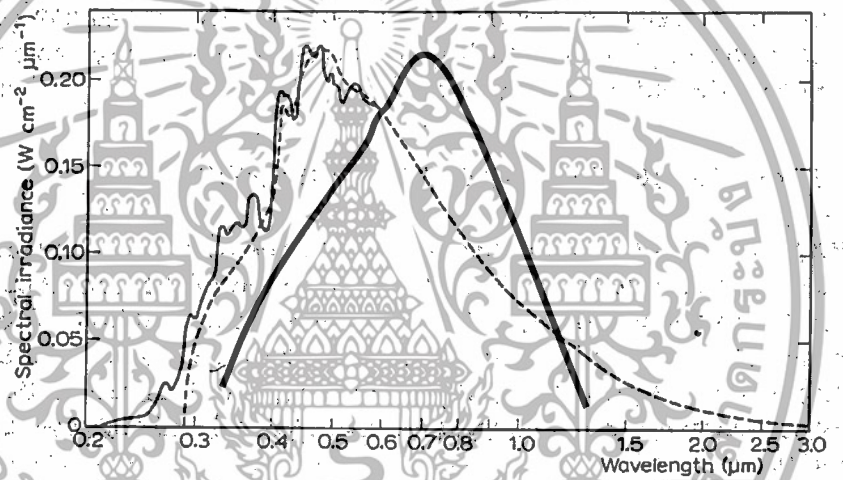
$$E_G \propto \frac{1}{I_m} \quad \text{และ} \quad E_G \propto V_m$$

แสดงว่า E_G ค่าหนึ่ง จะทำให้ผลคูณของ $I_m V_m$ มีค่าสูงสุด หรือประสิทธิภาพของเซลล์สูงสุด เราเรียก E_G ค่านั้นว่า E_G (optimum) หรือ Optimum Energy Gap

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

เนื่องจากแสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความถี่ต่างๆ มากมายรวมกันอยู่ตั้งแต่แสงที่มองไม่เห็นและมองเห็นด้วยตาเปล่า เส้นปะในรูปที่ 1 เป็นผลตอบสนองของความถี่ของแสงอาทิตย์ในชั้น AM1 เมื่อได้พิจารณาผลตอบสนองของความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนที่มีความถี่ต่างๆ ดังแสดงเป็นเส้นทึบในรูปจะเห็นได้ว่าจุดสูงสุดของกราฟทั้งสองมีความถี่ไม่ตรงกัน ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียพลังงานแสงในกรณีนี้ไปส่วนหนึ่ง โดยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 5000 อังสตรอม ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลตอบสนองของความถี่แสงมากที่สุดที่ประมาณ 8000 อังสตรอม



รูปที่ 3.1 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง พบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ปานกลางแต่เป็นบริเวณกว้างโดยเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 1,300-1,600 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งถือได้ว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดหน่วยในการวัดมากมายหลายระบบ ในบทนี้จะพยายามให้ระบบ CIE ซึ่งเป็นข้อตกลงกันระหว่างประเทศ ระบบ CIE ใช้หน่วยในการวัดเป็นระบบ SI ซึ่งเป็นระบบที่คุ้นเคยและใช้มากที่สุดสำหรับการวัดการทำงานในช่วง Ultra Violet (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ In far Red (IR) โดยกำหนดหน่วยสำหรับคำจำกัดความของ Radiometric, Photometric และ Photon quantities ซึ่งจะมีการใช้สัญลักษณ์ หน่วย ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์ของ Radiometric Photometric และ Photon

Radiometric			Photometric			Photon		
Quantity	Usual Symbol	Units	Quantity	Usual Symbol	Units	Quantity	Usual Symbol	Units
Radiant Energy	Q_e	J	Luminous Energy	Q_v	lm s	Photon Energy	N_p	*
Radiant Power or Flux	Φ_e	W	Luminous Flux	Φ_v	lm	Photon Flux		s^{-1}
Radiant Exitance or Emittance	M_e	$W m^{-2}$	Luminous Exitance or Emittance	M_v	$lm m^{-2}$	Photon Exitance	m_p	$s^{-1} m^{-2}$
Irradiance	E_e	$W m^{-2}$	Illuminance	E_v	lx	Photon Irradiance	E_p	$s^{-1} m^{-2}$
Radiant Intensity	I_e	$W sr^{-1}$	Luminous Intensity	I_v	cd	Photon Intensity	I_p	$s^{-1} sr^{-1}$
Radiance	L_e	$W sr^{-1} m^{-2}$	Luminance	L_v	$cd m^{-2}$	Photon Radiance	L_p	$s^{-1} sr^{-1} m^{-2}$

* Photon quantities are expressed in number of photons, followed by the units, e.g. photon flux (number of photons) s^{-1} . The unit for photon energy is number of photons.

ตารางที่ 3.2 หน่วยวัดแสงในระบบต่างๆ

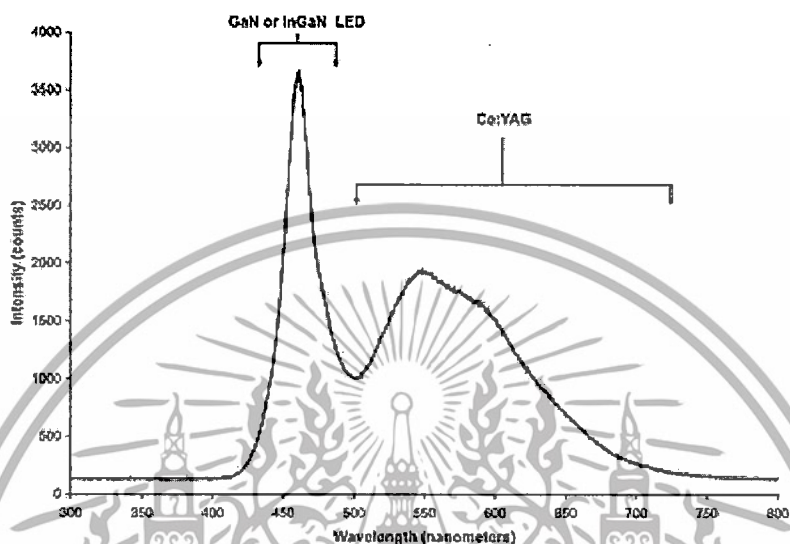
Units	Equivalent	Quantity
Talbot	lm s	Luminous Energy
Foot candle	lm ft ⁻²	Illuminance
Foot-lambert	cd ft ⁻²	Luminance
Lambert	cd cm ⁻²	Luminance

3.1 ความถี่ของแสง

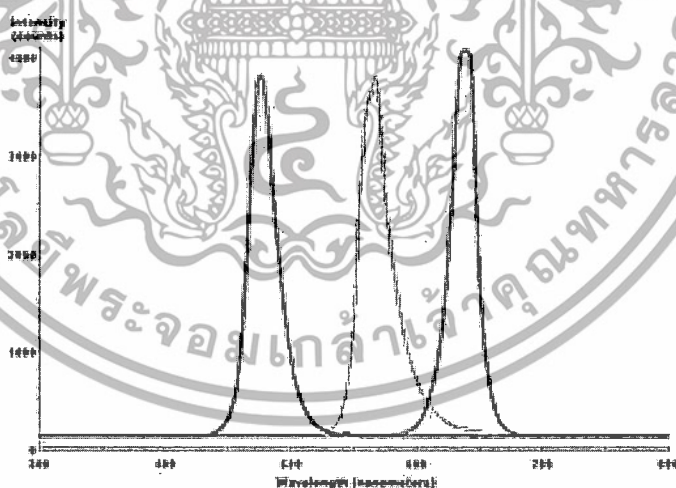
จากการศึกษาพบว่าแสงอาทิตย์มีช่วงความถี่ที่แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งให้พลังงานสูงสุดในการแผ่รังสีที่ค่าความยาวคลื่นประมาณ 550 nm ในการเลือกการพิจารณาความถี่ของแหล่งจ่ายแสงของเครื่องแสงอาทิตย์เทียมต้องคำนึงถึงช่วงความถี่ที่สอดคล้องกับเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลักดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังรูปที่ 3.1 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกเดี่ยวมีการตอบสนองในช่วงความถี่สูงสุดที่ 750 nm.

เมื่อพิจารณาความถี่ของไดโอดเปล่งแสงที่ใช้วัสดุต่างๆในการผลิตจะได้ดังรูปที่ 3.2 และเมื่อพิจารณาความถี่ของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน เขียว และ แดงจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นความถี่จากไดโอดเปล่งชนิด GaN InGaN และ Ce:YAG

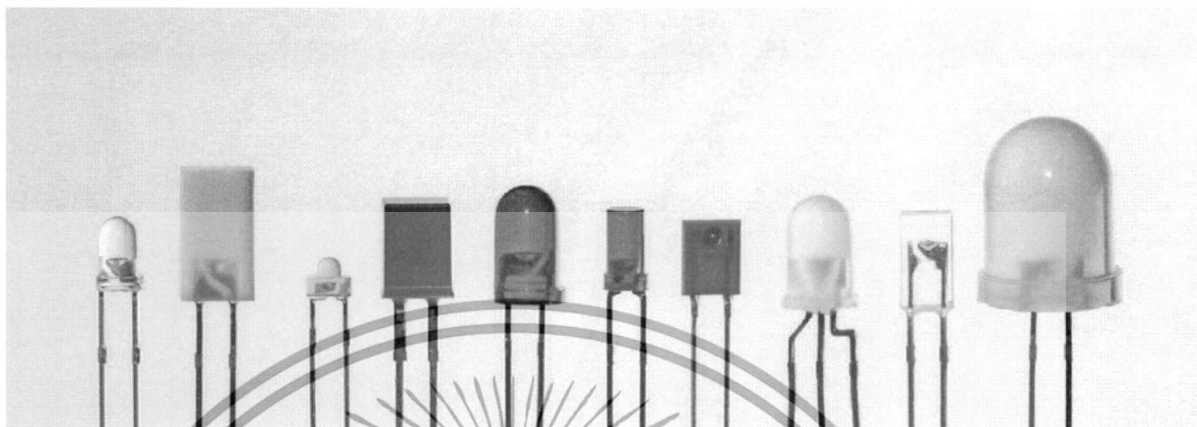


รูปที่ 3.3 รูปคลื่นความถี่จากไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน เขียวและแดง

3.2 ความเข้มของแสง

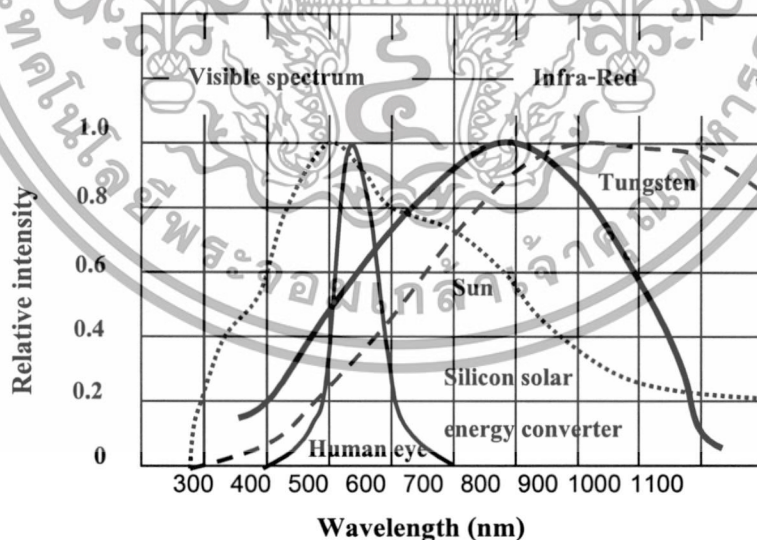
การคำนวณหาความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดนั้นต้องทำการวัดความเข้มที่บริเวณที่ตำแหน่งระนาบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคุณสมบัติของความเข้มแสงต้องมีความสม่ำเสมอเหมือนแสงที่แผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งตำแหน่งของหลอดไฟกำเนิดแสงเมื่ออยู่ห่างจากตำแหน่งมากจะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่อความเข้ม ข้อมูลการวัดการแผ่รังสีในมาตรฐานของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์. วัดการเทียบค่าการแผ่รังสีที่ความยาวคลื่นในช่วง 250 ถึง 2500 nm ด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสงตามลำดับดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หลอดไดโอดเปล่งแสงย่านความถี่ต่าง

ในการทดลองทำการวัดการแผ่รังสีของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะพบว่าเมื่อเราวางหลอดห่างจากตัววัดแสงเป็นระยะ 15 cm. จะพบว่าจะมีพื้นที่บริเวณตรงกลางมีความสม่ำเสมอเป็นพื้นที่ประมาณ 2.5X2.5 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานของเครื่องกำเนิดแสงเสมือนดังตารางที่ 1 โดยกำหนดพื้นที่ในการทดลองที่ 10X10 เซนติเมตร โดยเมื่อนำค่าความถี่ของแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสงกับเซลล์แสงอาทิตย์มาเขียนกราฟรวมกันจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุณหภูมิ

ในการทดลองนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์นำไปวางกลางแจ้งและทำการวัดอุณหภูมิในการทำการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง $25 - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาทำการวัดด้วยแสงจากหลอดไดโอดเปล่งจะมีอุณหภูมิในช่วง ระหว่าง $25 - 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งผลการทดลองทำโดยไม่ต้องทำการระบายความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิจจะมีผลต่อการเกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโฮล เป็นผลให้การทดลองจะเกิดข้อผิดพลาดได้ โดยค่ามาตรฐานได้กำหนดอุณหภูมิต้องควบคุมที่อุณหภูมิ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

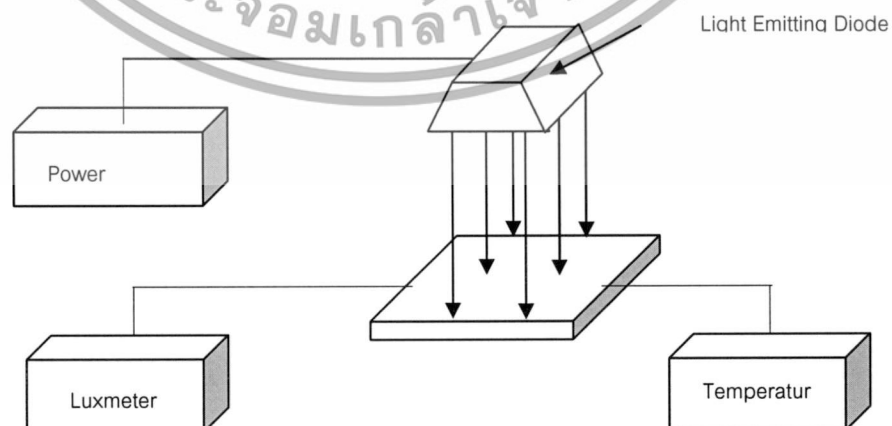
3.4 ขนาดพื้นที่

พื้นที่ในการแผ่รังสีของหลอดทั้งสแตนดาโลเจนจะเป็นพื้นที่ 10×10 เซนติเมตร เนื่องจากการทดลองในห้องปฏิบัติการจะทำการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบที่มีขนาดไม่เกิน 5×5 เซนติเมตร จึงทำให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการทดลองวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบได้อย่างเหมาะสม โดยจะทำการวัดค่าความสว่างทุกๆ 2 เซนติเมตร เพื่อหาความสัมพันธ์ของแสง

3.5 การสร้าง

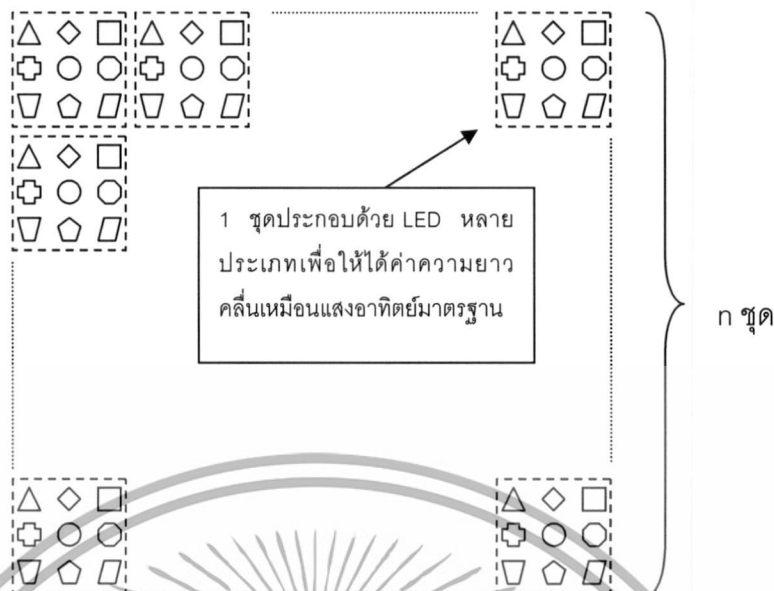
ประกอบชุดเครื่องวัดโดยมีอุปกรณ์พื้นฐาน ประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายกระแสไฟตรง $1.2 - 6\text{ V}$, 1 A
2. แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน
 - หลอด LED แสงขาว ความเข้มแสงสูง
 - หลอด LED อินฟราเรด ความเข้มแสงสูง
3. ชุดวัดความสว่างและความเข้มแสง
4. ชุดควบคุมและระบายความร้อน

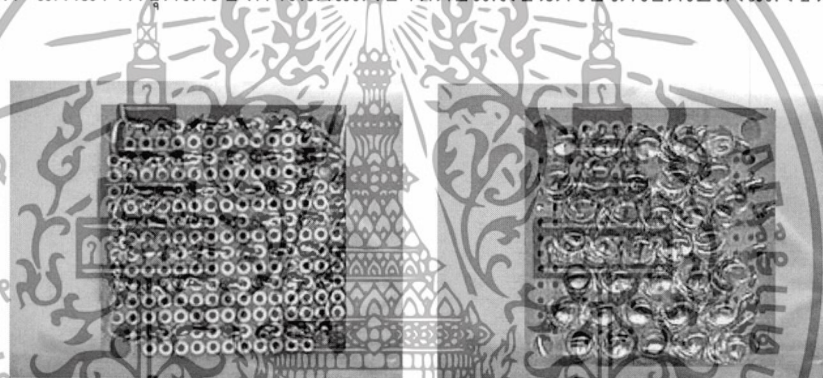


รูปที่ 3.6 แผนภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แผนภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนด้วยไดโอดเปล่งแสงชนิดต่างๆ

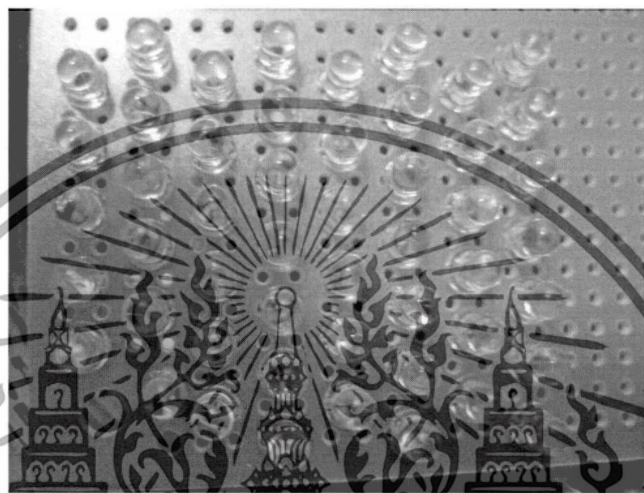
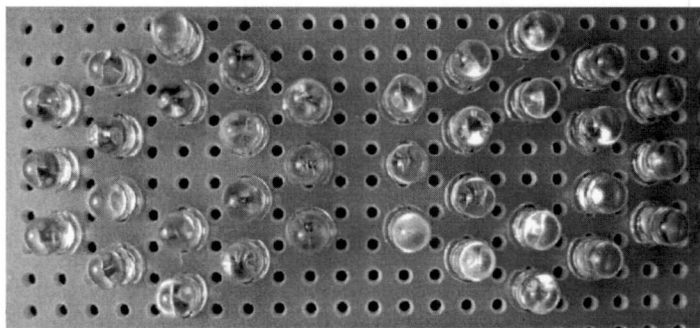


รูปที่ 3.8 ตัวอย่างวงจรสวณย่อยของไดโอดเปล่งแสงขนาด 4 X 4 cm



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างวงจรสวณย่อยของไดโอดเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การเรียงไดโอดเปล่งแสงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่อง

ผลการทดสอบสามารถวัดค่าความเข้มแสงและค่ากำลังส่องสว่างและคำนวณหาความเข้มแสงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีผลทดสอบดังนี้

ค่าความเข้มสูงสุด	95 Wm^{-2}
ค่าความเข้มต่ำสุด	85 Wm^{-2}
ค่าความเข้มเฉลี่ย	90 Wm^{-2}
ค่าความเข้มสม่ำเสมอ	5.6 %
อุณหภูมิสูงสุด	28 $^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิต่ำสุด	26 $^{\circ}\text{C}$

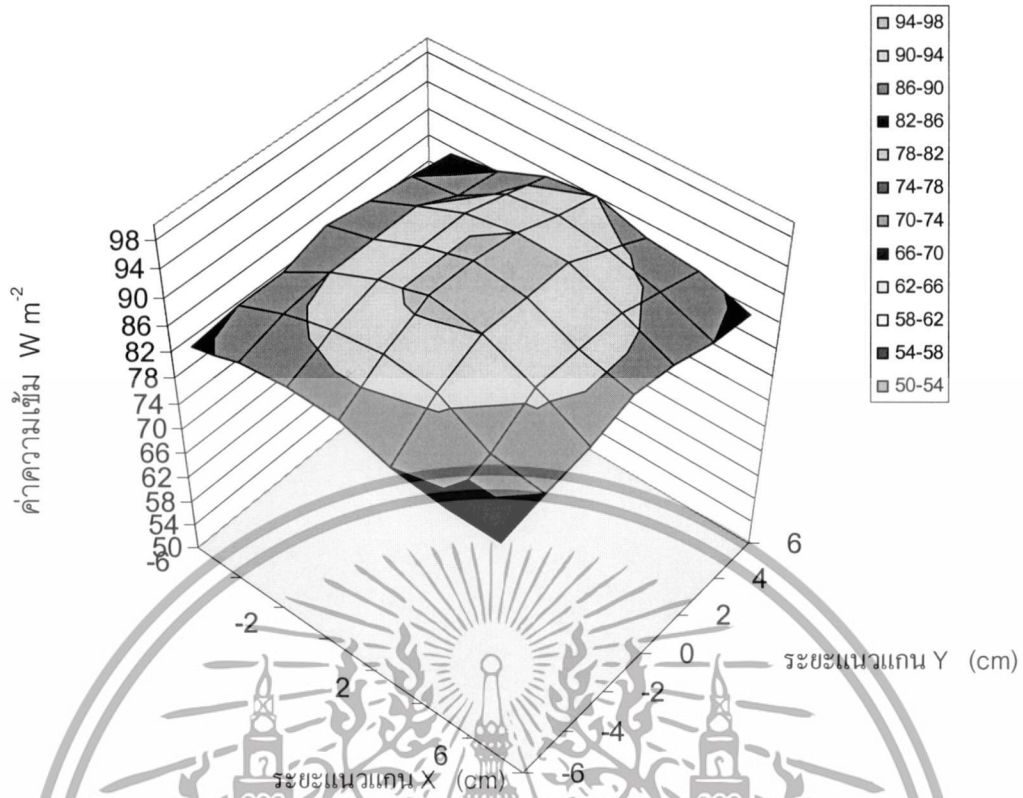
4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของแสง

พื้นที่ในการแผ่รังสีของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะเป็นพื้นที่ 10 X 10 เซนติเมตร จึงทำการวัดค่าความเข้มและคำนวณความเข้มแสงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรได้ดังตารางที่ 4.1 ให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการทดลองวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบได้อย่างเหมาะสม โดยจะทำการวัดค่าความสว่างทุกๆ 2 เซนติเมตรทั้งสองแกน เพื่อหาความสม่ำเสมอของแสง

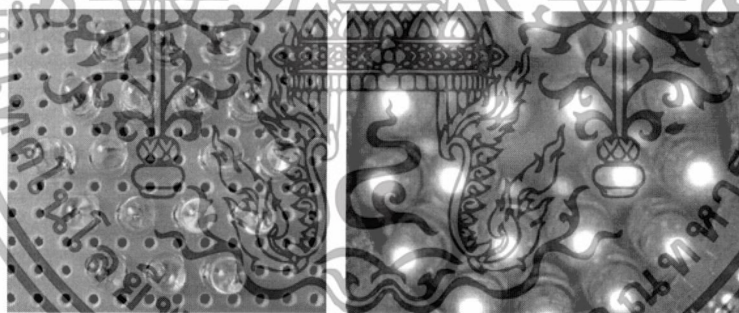
ตารางที่ 4.1 ความเข้มแสงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรที่ตำแหน่งต่างๆ

X \ Y	-6	-4	-2	0	2	4	6
-6	85	87	88	88	86	85	85
-4	86	89	91	92	91	87	86
-2	86	90	93	95	94	91	87
0	88	90	93	95	94	91	89
2	87	90	93	94	94	91	88
4	86	87	91	92	91	89	86
6	85	86	89	90	88	87	85

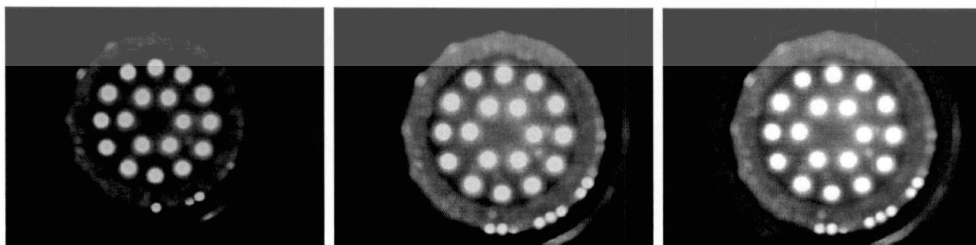
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การกระจายแสงของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน



รูปที่ 4.2 แหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 4.3 การปรับระดับความสว่างของไดโอดเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนนี้ พบว่าค่ากำลังส่องสว่างเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 90 mWm^{-2} มีความสม่ำเสมอ 5.6% โดยสามารถวิเคราะห์ได้ในพื้นที่ $10 \times 10 \text{ cm}$ โดยเลือกหลอดแสงสีขาวความเข้มสูงและอินฟราเรดร่วมกันเป็นแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เบื้องต้นได้จริงโดยสามารถเปรียบเทียบได้กับเครื่องโซลาร์ซิมูเลเตอร์ได้ โดยไม่มีปัญหาที่การควบคุมอุณหภูมิของบริเวณที่ทดสอบจะมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน AM1.5 G



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ดุสิต เครื่องงาม. "สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และ การใช้งานต่าง เล่ม 1"
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. สมเกียรติ สุขเดช.2545. **เซมิคอนดักเตอร์ดีไวซ์**.พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ.
3. สมชัย วงเมตตา "การสร้างและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์และซิลิกอน" วิทยานิพนธ์สำหรับ
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2525
4. Kanaan Kano. **Semiconductor Devices**. :Prentice-Hall,International,Inc.
5. Leigh Canham.1997. **Properties of Porous Silicon**. London . Inspec.
6. Matsuo Fukada. **Optical Semiconductor Devices**. United State of America : John-
Wiley & Sons,INC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้