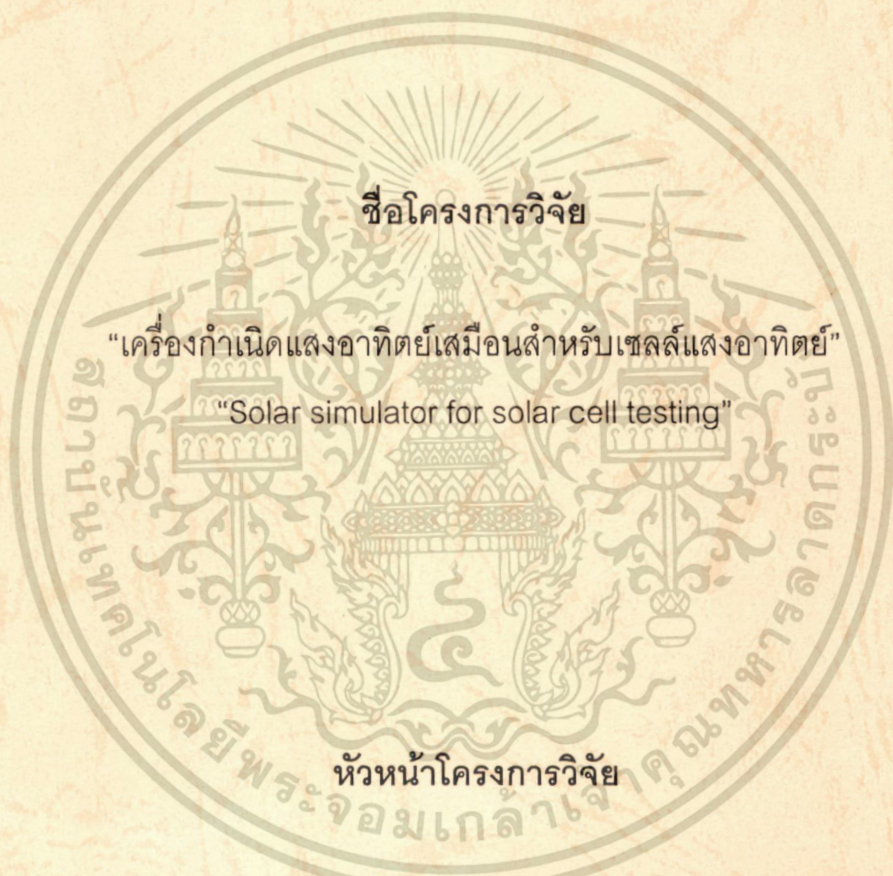


รายงานโครงการวิจัย
เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปีงบประมาณ 2549



ชื่อโครงการวิจัย
“เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์”
“Solar simulator for solar cell testing”

หัวข้อโครงการวิจัย

นายโยธิน วงศ์ประเสริฐ

ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

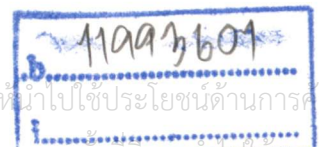
งานวิจัยฉบับนี้เสร็จอย่างสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนโครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2549 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน สำหรับคำแนะนำทางวิชาการ คำปรึกษา แนวความคิดที่เป็นประโยชน์อย่างมาก และให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

โยธิน วงศ์ประเสริฐ



RCH
TK
108๗
๒๘๔๒ค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 84518
วัน,เดือน,ปี... 13 ต.ค. 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำใบนี้ไป

บทคัดย่อ

เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนจึงเป็นอุปกรณ์ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในการทดลองหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ถ้าต้องขึ้นกับสภาพอากาศ และได้รับแสง ทำให้การพัฒนาต้องล่าช้าและไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งเครื่องมือกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนที่ใช้ในปัจจุบัน นั้นมีราคาแพงและเป็นเครื่องมือที่ต้องทำการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงคิดประดิษฐ์เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนเพื่อใช้ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วในราคา ถูก

ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนนี้ พบว่าค่ากำลังส่องสว่างเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $1,057 \text{ mWm}^{-2}$ มีความสม่ำเสมอ 5.7% โดยสามารถวิเคราะห์ได้ในพื้นที่ $10 \times 10 \text{ cm}^2$ โดยเลือกหลอด ทั้งสแตนฮาลोजен 220V 300W เป็นแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เบื้องต้นได้จริงตามมาตรฐาน แต่ปัญหาที่ไม่สามารถควบคุมได้คือ อุณหภูมิของบริเวณที่ทดสอบจะมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน AM1.5G

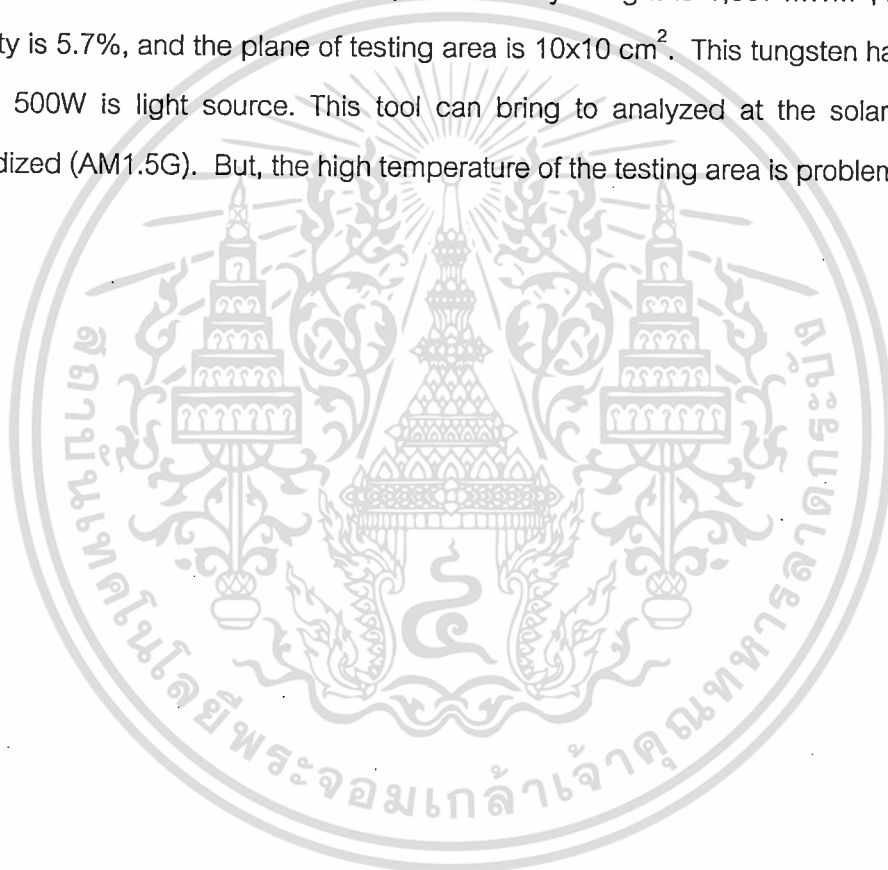


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 $1,057 \text{ mWm}^{-2}$, the error of uniformity is 5.7%, and the plane of testing area is $10 \times 10 \text{ cm}^2$. This tungsten halogen tube at 220V 500W is light source. This tool can bring to analyzed at the solar effectively standardized (AM1.5G). But, the high temperature of the testing area is problem.



สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญเรื่อง.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
สัญลักษณ์.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 ผลงานแสงที่โลกได้รับ.....	1
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	6
2.1 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.1.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง.....	12
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.2.1 ผลของความต้านทานอนุกรมในเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.2.2 ความเข้มของแสง.....	16
2.2.3 อุณหภูมิ.....	16
2.2.5 การรวมประจุพาหะ.....	20
2.3 การวัดและคำนวณเซลล์แสงอาทิตย์.....	24
2.3.1 วงจรสมมูลในการวัด.....	24
2.3.2 การวัดกระแสและแรงดัน.....	27
2.4 พิลแพคเตอร์และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง.....	31
3.1 การออกแบบ.....	31
3.1.1 ความถี่ของแสง.....	32
3.1.2 ความเข้มของแสง.....	36
3.1.3 อุณหภูมิ.....	38
3.1.4 ขนาดพื้นที่.....	38
3.2 การสร้าง.....	38
บทที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน.....	40
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่อง.....	40
4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของแสง.....	40
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์.....	42
บรรณานุกรม.....	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สัญลักษณ์ของ Radiometric Photometric และ Photon	31
3.2 หน่วยวัดแสงในระบบต่างๆ.....	32
3.3 ชนิดแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ.....	33
3.4 ค่ามาตรฐานของเครื่องกำเนิดแสงเสมือน.....	37
4.1 ความเข้มแสงในหน่วยวัดต่อตารางเมตรที่ตำแหน่งต่างๆ.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	พลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับ.....2
1.2	พลังงานแสงอาทิตย์ที่สูญหายไป.....3
1.3	ลักษณะการแผ่รังสีแบบ AM0 AM 1.0 AM 1.5 และ AM 2.0.....4
1.4	ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์.....5
2.1	เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว.....7
2.2	เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป.....8
2.3	เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน.....10
2.4	ตัวอย่างภาคตัดขวางแสดงโครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น.....11
2.5	แถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น..... 12
2.6	ระบบการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์..... 12
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เขียนอยู่บนกราฟแบบเซมิล็อก.....14
2.8	ผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....15
2.9	ลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันในสภาพมืดของเซลล์แสงอาทิตย์.....15
2.10	ผลของความเข้มที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....16
2.11	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระแส แรงดันและพลังงานของแสงอาทิตย์.....19
2.12	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์และแผนภาพของแถบพลังงาน.....21
2.13	วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็น.....24
2.14	คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสง.....26
2.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....27
3.1	รูปคลื่นความถี่จากแสงอาทิตย์.....32
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับการแผ่รังสีของ Quartz Tungsten Halogen 10 W 20W และ 50W ที่ระยะ 0.5 เมตร.....35
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับการแผ่รังสีของ Quartz Tungsten Halogen 250 W และ 100W ที่ระยะ 0.5 เมตร.....35
3.4	แนวการแผ่รังสีของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน.....36
3.5	ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
V_m	แรงดันสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
V_o	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต
V_R	แรงดันขั้วเดิมช่วง Reverse
\bar{V}	ความเร็วของประจุไฟฟ้าในวัสดุ
V_{oc}	แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร
α	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
χ_o	อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี
ϵ	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก
ϵ_o	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสุญญากาศ
ϕ	ค่าฟังก์ชันงาน
ϕ_m	ค่าฟังก์ชันงานของโลหะ
ϕ_s	ค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ
λ	ความยาวคลื่นของแสง
σ	สภาพความนำไฟฟ้า
σ_D	สภาพนำไฟฟ้ามืด
σ_{ph}	สภาพนำไฟฟ้าทางแสง
υ	ความถี่ของคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีที่มีแสงมาตกกระทบ และกระแสไฟฟ้าที่ได้จะเป็นกระแสไฟฟ้าตรง เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าพลังงานสะอาด เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งมีไม่จำกัดและในการติดตั้งแต่ละครั้งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี ประโยชน์ของเซลล์แสงอาทิตย์นอกจากจะเป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่างๆต่อชุมชนเมืองและชนบทที่อยู่ห่างไกล พื้นที่ทุรกันดารและพื้นที่ห่างไกลความเจริญต่างๆ

1.1 ความเป็นมาของพลังงานแสงอาทิตย์

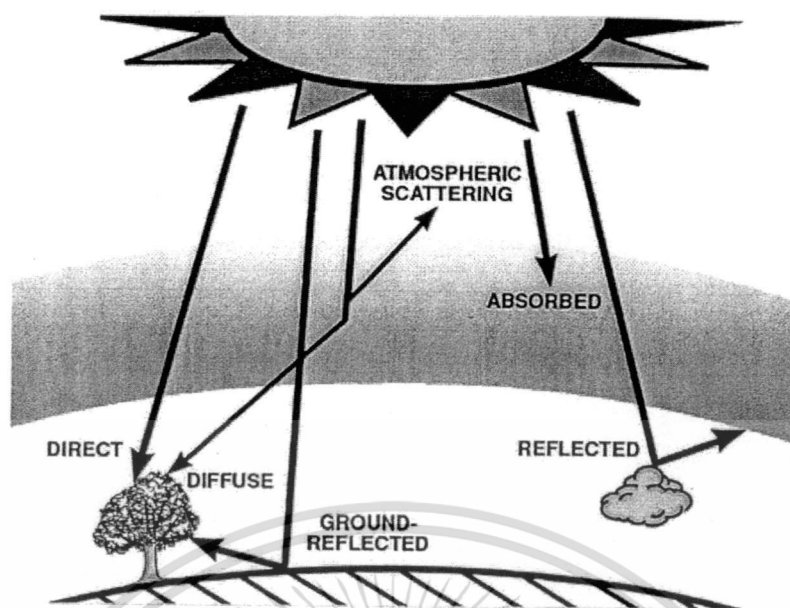
พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเป็นพลังงานร้อยละ 99.98 ของพลังงานที่โลกได้รับล้วนมาจากแสงอาทิตย์ ส่วนร้อยละ 0.02 ได้มาจากพลังงานใต้พิภพ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่โลกมีมากถึง 1.77×10^{14} KW ซึ่งมากกว่าพลังงานที่มนุษย์ต้องการ 8×10^7 KW ถึงล้านเท่า ดังนั้นถ้าใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะประหยัดพลังงานได้มาก รวมทั้งสามารถรักษาสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นถ้าเราพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะได้รับประโยชน์จากแสงอาทิตย์มากขึ้นด้วย

สำหรับประเทศไทย บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 1000 W หรือเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{kWh/m}^2/\text{day}$) ซึ่งหมายความว่า ในวันหนึ่งๆบนพื้นที่เฉลี่ย 1 ตารางเมตรนั้น เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ 1 KW เป็นเวลานานถึง 4-5 ชั่วโมงนั่นเอง ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับ 15 % ก็แสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 150 W หรือเฉลี่ย $600-750 \text{ Wh/m}^2/\text{day}$

1.2 พลังงานแสงที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกผ่านชั้นบรรยากาศแอมโมสเฟียร์ (Atmosphere) จะมีพลังงานลดน้อยลง และมีผลตอบสนองของทางความถี่แสงแตกต่างไปจากแสงอาทิตย์ที่อยู่บนชั้นบรรยากาศแอมโมสเฟียร์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในชั้นบรรยากาศแอมโมสเฟียร์ประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด รวมทั้งไอน้ำและฝุ่นละอองต่างๆที่เป็นตัวดูดกลืนพลังงานแสงบางส่วนเอาไว้และทำให้แสงบางส่วนเปลี่ยนทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 พลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับ

เพื่อความสะดวกในการพิจารณาความเข้มและผลตอบสนองทางความถี่ของแสงอาทิตย์ จึงได้มีการกำหนดค่า แอร์แมสเอ็ม (Air Mass m) ขึ้น โดยที่แอร์แมสเอ็ม คืออัตราส่วนระหว่างระยะทางเดินของแสงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ ต่ระยะทางเดินของแสงเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ แสดงได้โดยสมการ

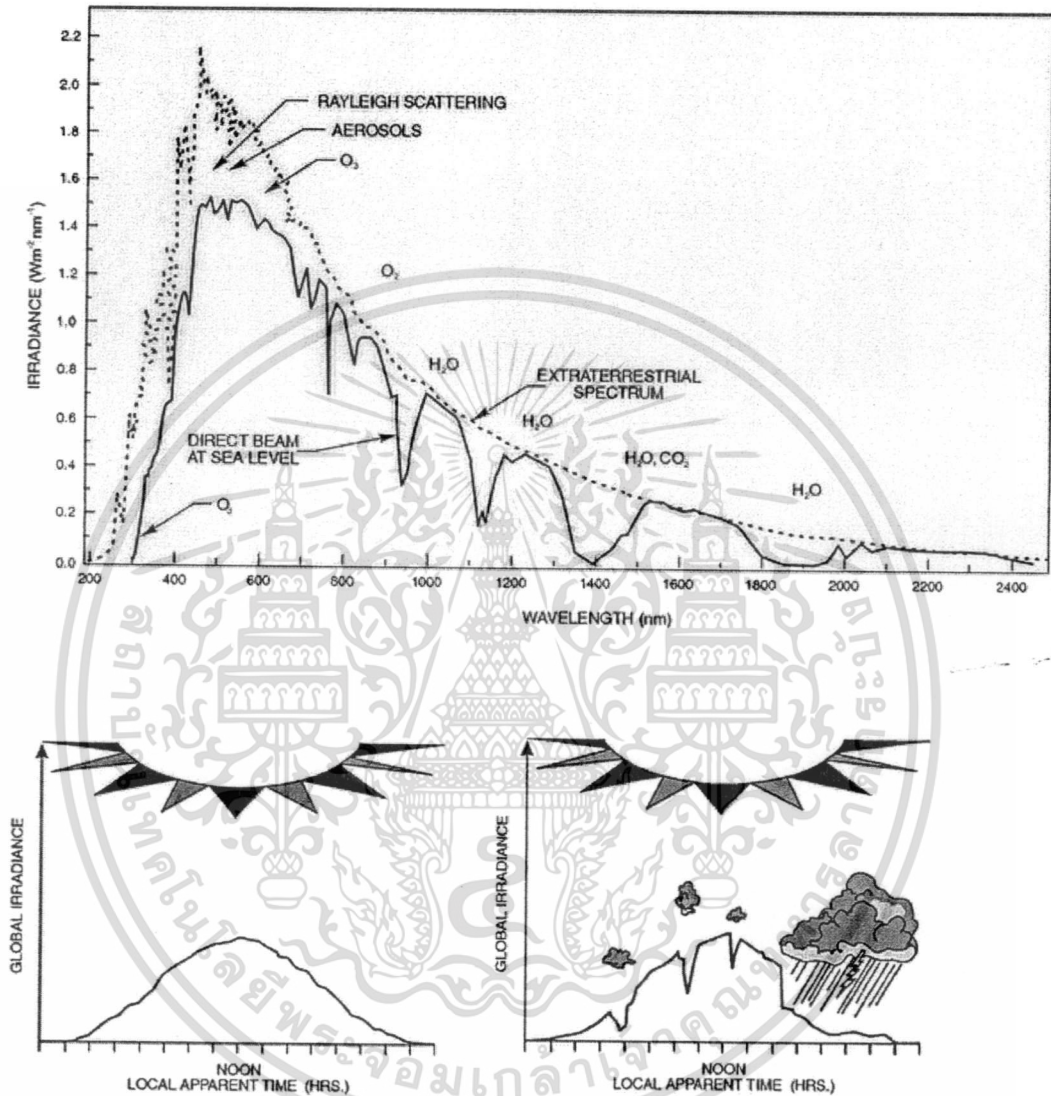
$$m = \sec(z) = 1/\cos(z) \quad (1.1)$$

โดยที่ z (Zenith angle) คือมุมระหว่างแนวของลำแสงที่ทำกับแนวตั้ง

แสงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศเอทโมสเฟียร์จะเรียกว่า ชั้นแอร์แมสซีโร่ (Air Mass Zero, AM0) พลังงานจากการแผ่รังสีต่อพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางของดวงอาทิตย์ นอกบรรยากาศของโลกจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ความเข้มของการแผ่รังสีนี้ เราเรียกว่า solar constant หรือที่นิยมเรียกกันว่า แบบ air mass zero เขียนย่อๆได้เป็น AM0 ซึ่งในงานโฟโตโวลตาอิก การแผ่รังสีแบบ AM0 กำหนดว่ามีค่าเท่ากับ 135.3 mW/cm^2

สำหรับบนพื้นผิวโลก พลังงานจากแสงอาทิตย์จะสูญเสียไปในชั้นบรรยากาศของโลก เนื่องจากชั้นของก๊าซต่างๆ เช่น O_2 , O_3 , ไอน้ำ, CO_2 เป็นต้น ดังนั้นความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะลดลง และองค์การนาซ่า (NASA) แห่งสหรัฐอเมริกาได้เป็นผู้กำหนดมาตรฐานของพลังงานที่ได้รับในระดับน้ำทะเล เมื่อแสงอาทิตย์มีทิศทางตั้งฉากกับผิวโลกมีค่า 100 mW/cm^2 และกำหนดว่าเป็นการแผ่รังสีแบบ air mass 1 หรือเขียนย่อๆได้เป็น AM1 ค่าของพลังงานนี้ถูกเอ็กส์ตรานเป็นเอ็กส์ตร้าพอลาร์เพื่อใช้ในการแข่งขันเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

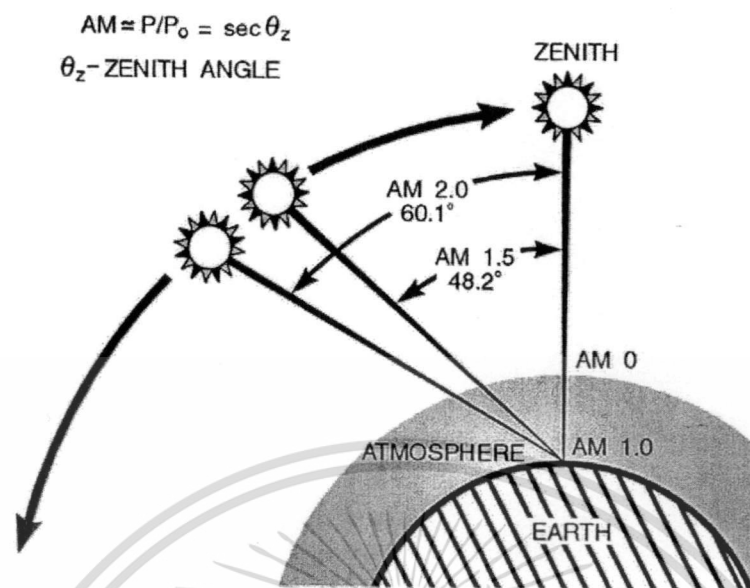
นำมาใช้เป็นค่าเปรียบเทียบความสามารถ หรือประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ในการเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น ถ้าดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับโลกเป็นมุม 60° ลักษณะของการแผ่รังสีนี้จะเรียกว่าเป็นแบบ AM2



รูปที่ 1.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่สูญเสียไป

ยิ่งค่าของ air mass มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่เงื่อนไขอื่นๆไม่เปลี่ยนแปลง พลังงานแสงอาทิตย์ที่มายังผิวโลกก็จะมีค่าลดลง ค่าพลังงานมาตรฐานบนพื้นโลกที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางอีกค่าหนึ่งคือ ลักษณะการแผ่รังสีแบบ AM1.5 ที่มุม $\theta = 48.19^\circ$ ดังรูปที่ 1.3 มีค่าพลังงานรวมทั้งหมด 83.2 mW/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 ลักษณะการแผ่รังสีแบบ AM0 AM 1.0 AM 1.5 และ AM 2.0

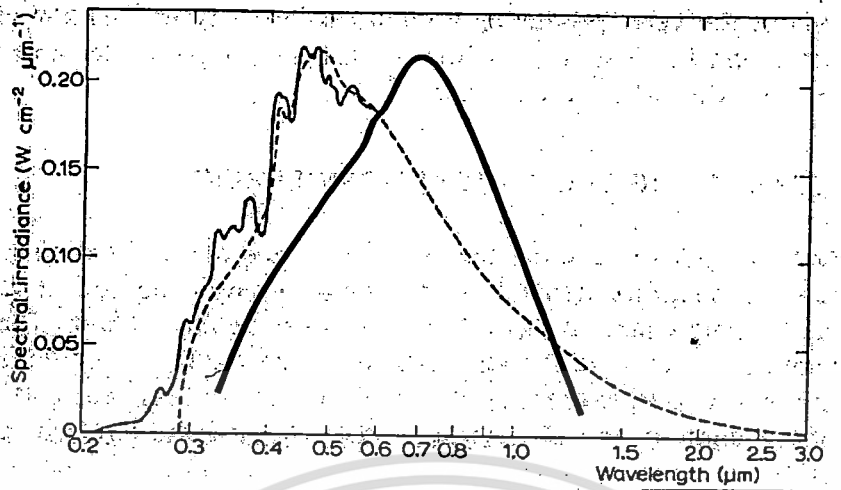
ลำแสง หรือรังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลก จะประกอบด้วยรังสี 2 ส่วน คือ

1. ลำแสงโดยตรง (direct sunlight)
2. ลำแสงอาทิตย์ที่แพร่กระจาย (indirect or diffused sunlight)

ลำแสงอาทิตย์โดยตรงเป็นส่วนหนึ่งของแสงอาทิตย์ที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง และลำแสงอาทิตย์ที่แพร่กระจายเป็นส่วนหนึ่งของแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง แต่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนกับชั้นบรรยากาศของโลก ประมาณกันว่า แม้แต่ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสปราศจากเมฆหมอก ลำแสงแพร่กระจายจะมีค่าเป็น 10 - 20% ของรังสีทั้งหมดที่ได้รับ ยิ่งในวันที่มีเมฆหมอก ปกคลุมมากๆ ปริมาณของแสงอาทิตย์แบบแพร่กระจายนี้จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ

เนื่องจากแสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความถี่ต่างๆ มากมายรวมกันอยู่ตั้งแต่แสงที่มองไม่เห็นและมองเห็นด้วยตาเปล่า เส้นปะในรูปที่ 1.4 เป็นผลตอบสนองของความถี่ของแสงอาทิตย์ในชั้น AM1 เมื่อได้พิจารณาผลตอบสนองของความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนที่มีความถี่ต่างๆ ดังแสดงเป็นเส้นทึบในรูปจะเห็นได้ว่าจุดสูงสุดของกราฟทั้งสองมีความถี่ไม่ตรงกัน ซึ่งถือว่าการสูญเสียพลังงานแสงในกรณีนี้ไปส่วนหนึ่ง โดยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 5000 อังสตรอม ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลตอบสนองของความถี่แสงมากที่สุดที่ประมาณ 8000 อังสตรอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์

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

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนจริงเป็นอุปกรณ์ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน ในการทดลองหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ถ้าต้องขึ้นกับสภาพอากาศ และได้รับแสง ทำให้การพัฒนาต้องล่าช้าและไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งเครื่องมือกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีราคาแพงและเป็นเครื่องมือที่ต้องทำการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงคิดประดิษฐ์เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนเพื่อใช้ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วในราคาถูกลง

บทที่ 2 ทฤษฎี

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น เหมือนกับโฟโตไดโอด และให้หลักการโฟโตโวลตาอิกเหมือนกัน โดยเมื่อมีแสงตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์จะเหมือนกับไดโอดทั่วไปทุกประการ แตกต่างกันเพียงแต่ ชั้นของสารกึ่งตัวนำทางด้านที่รับแสง ต้องมีความบางมาก ๆ จนแสงส่องทะลุไปถึงรอยต่อและสารกึ่งตัวนำด้านที่เป็นฐานรองได้ เพราะฉะนั้น กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ถูกแสง จะมีลักษณะเหมือนกันกับไดโอดทั่วไป แต่ถ้ามีแสงมาตกกระทบแล้ว คุณลักษณะกระแสและแรงดันจะเปลี่ยนไป

2.1 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

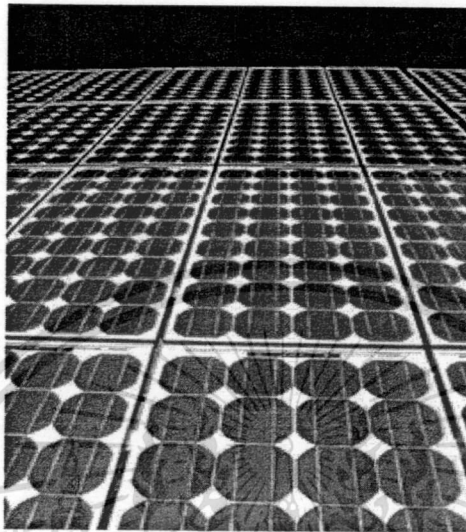
โดยการทำงานอธิบายได้ด้วยอุปกรณ์โฟโตไดโอด โฟโตไดโอดเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่รับแสงชนิดโฟโตอิเล็กทริกแบบภายใน(internal photoelectric) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพี-เอ็น เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่รอยต่อพี-เอ็น จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันขึ้น โดยความหมายกว้างๆ อาจจะรวมถึงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วถ้ากล่าวถึงโฟโตไดโอดจะหมายถึงเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและใช้ตรวจจับความเข้มของแสง

2.1.1 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) เนื่องจากเซลล์ชนิดนี้จะมีราคาสูงอีกทั้ง เมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์ หรือโมดูล (modules) จะทำให้สูญเสียพื้นที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้านของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

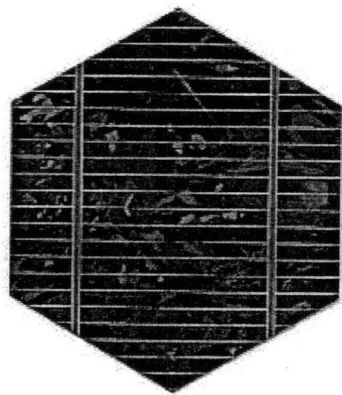
เซลล์ และในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ยังไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นผลึกที่มีคุณภาพสูงเช่นนี้ จึงได้มีการนำเอาผลึกแบบหลายรูป (polycrystal) มาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แทน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยว

2. แบบผลึกหลายรูป (poly or multi crystalline) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน ผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอนคือ แท่งซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของผลึกเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตรถึงระดับมิลลิเมตร) ของซิลิคอนแบบผลึกรูปเดี่ยว โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมเหลวลงในเบ้าหลอม (crucible) แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆ ซึ่งก็จะได้แท่งของโพลีซิลิคอนที่มีรูปร่างตามเบ้าหลอมที่ใช้ หลังจากนั้น การนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกรูปเดี่ยว คือ นำไปตัดเป็นเวเฟอร์ (wafer) หนาขนาด 300 - 400 ไมโครเมตร แล้วนำไปสร้างรอยต่อพี-เอ็นต่อไป เซลล์ชนิดนี้มีต้นทุนที่ถูกกว่าแบบผลึกรูปเดี่ยวแต่ก็มีประสิทธิภาพน้อยกว่าด้วย (ประมาณ 15 - 16%) อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของเซลล์แบบผลึกโพลี คือ รูปร่างของแผ่นเซลล์ซึ่งสามารถทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้ ทำให้มีช่องว่างบนแผงเซลล์น้อยกว่าแบบแผ่นกลม ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่าแบบแผ่นกลมถึง 25% เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูปแสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป

3. แบบริบบอน (ribbon silicon) เทคโนโลยีของการสร้างแผ่นผลึกทั้งแบบผลึกรูปเดี่ยวที่เป็นแผ่นกลม 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 มีโครงสร้างของผลึกที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับวิธีของโซคราลสกีและการที่ซิลิคอนต้องถูกหลอมเหลวอยู่ภายในเบ้าหลอมแล้ว ยังต้องมีการดึงผ่านช่องแคบๆ ของแกรไฟต์อีกวิธีการเช่นนี้ ทำให้แผ่นผลึกที่ได้มีความไม่สมบูรณ์สูง เนื่องจากสิ่งแปลกปลอม และสารเจือปนต่างๆ จากเบ้าหลอมและแผ่นแกรไฟต์สามารถเข้าไปในเนื้อซิลิคอนได้ง่าย วิธีการที่สามารถจะลดความไม่บริสุทธิ์ของแผ่นผลึกแบบริบบอนได้ก็คือ วิธีการแบบเดนดริติก

การดึงแผ่นผลึกริบบอนแบบเดนดริติก จะใช้เมล็ดผลึกไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องที่มีอยู่เฉพาะตรงขอบทั้ง 2 ด้าน เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมในแบบริบบอนแผ่นผลึกที่สร้างด้วยวิธีนี้จะมีความบริสุทธิ์สูงใกล้เคียงกับวิธีของโซคราลสกี เมื่อนำไปสร้างเซลล์จะได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอีเอฟจี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนของเซลล์แบบริบบอนนั้นถือว่าถูกกว่าแบบชนิดอื่นเพราะมีการสูญเสียซิลิคอนน้อยกว่าทุกวิธี แต่เซลล์ที่ได้ก็มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าแบบอื่นคือประมาณ 13.5 - 15% และมีราคาจำหน่ายที่สูงเนื่องจากการผลิตที่ต่ำ

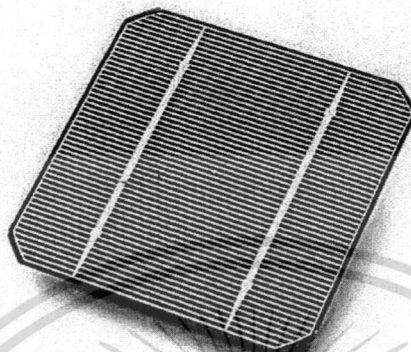
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกของซิลิคอนทั้ง 3 แบบดังกล่าว ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากแผ่นเวเฟอร์ (wafer-based manufacturing) เนื่องจากเป็นการนำแผ่นซิลิคอน หรือเวเฟอร์ (wafer) ที่มีความหนาประมาณ 180-240 ไมโครเมตร มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ และนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่อเชื่อมกันให้เป็นโมดูล (module) ก่อนนำไปใช้ ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์จากฟิล์มบาง (thin film) ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากโมดูล หรือ แผงเซลล์ (module-based manufacturing) เพราะแผงเซลล์ที่เป็นฐานรองนั้นจะถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการ และทำการตัดออกเป็นแต่ละเซลล์ด้วยแสงเลเซอร์ (laser scribe) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากฟิล์มบางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon films) เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง ซึ่งเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช่เวเฟอร์ โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองด้วยเทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิคอนติดอยู่ เช่น ก๊าซไซเรน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ และตรงบริเวณที่วางแผ่นฐานรองก็จะมีกระแสจุน เช่น โดยใช้พลาสมา เพื่อส่งพลังงานให้ซิลิคอนแยกตัวออกจากก๊าซ เข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง โดยส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว สแตนเลส หรือพลาสติก ซึ่งได้ทำให้การเคลือบชั้นตัวนำไปรองแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่นฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่น เกิดเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้ หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน (boron) เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วย เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดพี (p-type Si) และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสฟอรัส (phosphorus) เช่น PH_3 เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type Si) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้ เราสามารถควบคุมการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างให้เกิดชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการได้

จุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส ก็คือ มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำมาก และอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีช่องว่างพลังงาน (energy bandgap) 1.7 eV มากกว่าแบบผลึกซิลิคอน (1.1 eV) ทำให้อัตราการดูดแสงของอะมอร์ฟัสซิลิคอนสูงกว่าแบบผลึกมาก จึงสามารถลดความหนาของฟิล์มเป็นระดับ 1 ไมโครเมตรได้ ในขณะที่แบบผลึกต้องทำอย่างน้อยหนาประมาณ 300 ไมโครเมตรซึ่งทั้งนี้ก็เพื่อ ความแข็งแรงทางกลของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย นั่นก็คือ อะมอร์ฟัสซิลิคอนสามารถประหยัดปริมาณของซิลิคอนได้มากกว่า และยังนิยมนำมาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างเป็นไดโอด (diode) 2 ตัวเรียงต่อกันเป็นชั้น (tandem cell) ให้เซลล์ด้านบนเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนเพื่อดูดกลืนแสงย่านที่ตามองเห็น (visible light) และปล่อยให้แสงย่านอินฟราเรด (infrared) ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูตกئينโดยเซลล์ด้านล้าางซึ่งเป็นผลึกระดบันาโนเมตรของซิลิคอน (nanocrystalline Si) ที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากับผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน

จุดด้อยของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส คือ ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ต่ำประมาณ 8% และเซลล์แบบนี้ยังมีอายุการใช้งานที่สั้น เมื่อนำไปใช้กับแสงแดด ปัญหาการเสื่อมลงของเซลล์แบบอะมอร์ฟัสนี้ยังเป็นปัญหาหลักที่ยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขกันต่อไปอีก

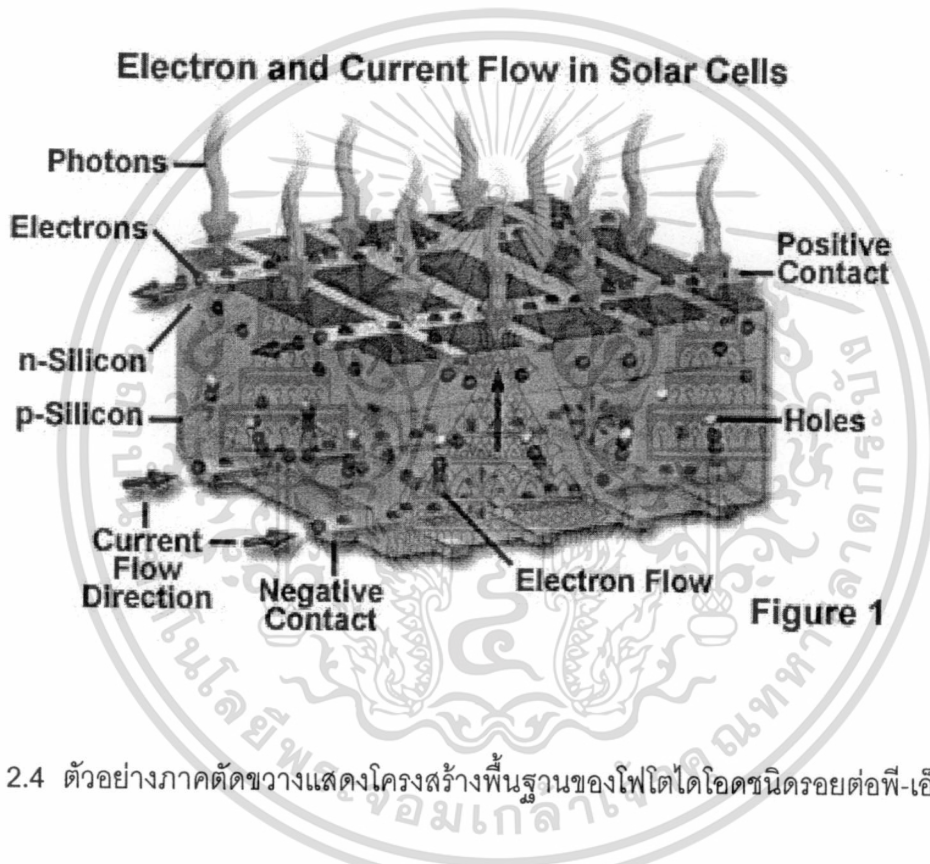
2. แบบซีไอเอส (CIS) เซลล์แสงอาทิตย์แบบซีไอเอสถูกสร้างขึ้นด้วยฟิล์มบางของธาตุที่ประกอบไปด้วย ทองแดง (copper) อินเดียม (indium) และ ซีลีเนียม (selenium) มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ $CuInSe_2$ หรือ $Cu(In_x Ga_{1-x})(Se_x S_{1-x})_2$ ฟิล์มบางของเซลล์แบบซีไอเอสจะมีความหนาน้อยกว่าเซลล์แบบโพลีอยู่ประมาณ 10 เท่า ประสิทธิภาพของเซลล์แบบซีไอเอสนี้สูงถึง 11% แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนก็ยังมีราคาที่สูงอยู่มาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

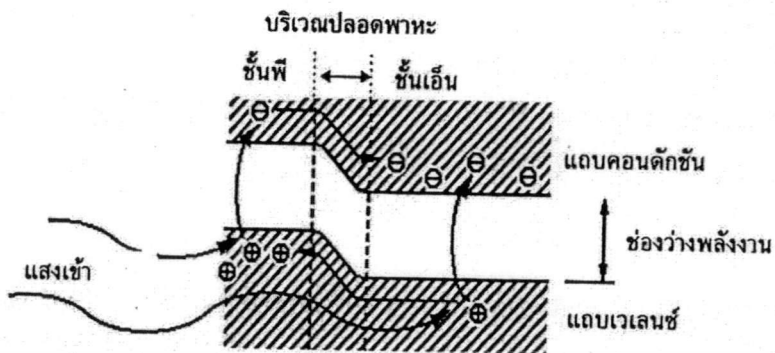
หลักการทำงานของโฟโตไดโอดที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างภาคตัดขวางของโฟโตไดโอด ทางด้านที่รับแสงเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่ต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ที่รอยต่อพี-เอ็นนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ด้วยขบวนการโฟโตโวลตาอิก เมื่อมีแสงมาตกกระทบโฟโตไดโอด และถ้าพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ แสงจะถูกสารกึ่งตัวนำดูดกลืน โดยพลังงานโฟตอนของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบความนำ และที่แถบวาเลนซ์จะเหลือโฮลอยู่



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาคตัดขวางแสดงโครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะแถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ที่ชั้นพี ที่ชั้นปloedพาหะ และที่ชั้นเอ็น อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบความนำในชั้นพี จะแพร่กระจายไปในชั้นเอ็น และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบความนำในชั้นปloedพาหะจะถูกศักย์ไฟฟ้าภายในพัดพาให้วิ่งไปสู่ในชั้นเอ็น ส่วนในกรณีของโฮลก็จะไหลในทิศทางที่ตรงข้ามกับอิเล็กตรอน กล่าวคือ จะไหลจากแถบวาเลนซ์ในชั้นเอ็น หรือชั้นปloedพาหะไปสู่ในชั้นพี จำนวนการเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้จะแปรผันตรงกับจำนวนโฟตอนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

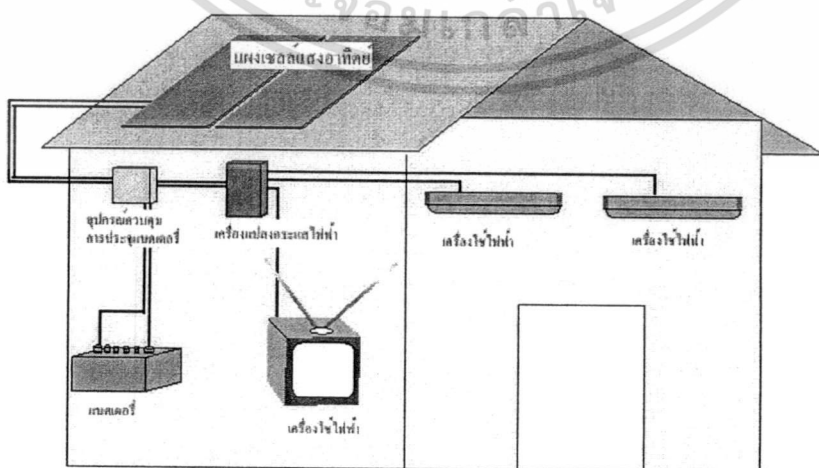


รูปที่ 2.5 แถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อพี-เอ็น

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

2.1.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงเซลล์จะจ่ายไฟฟ้าออกมา ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์นี้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) พลังงานไฟฟ้าที่ได้สามารถนำไปใช้ได้ทันที หรืออาจมีอุปกรณ์ร่วมเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) แล้วจึงนำไปใช้เพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆทำงานได้ต่อไป ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระบบการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 ผลของความต้านทานอนุกรมในเซลล์แสงอาทิตย์

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

$$I_o = I_L - I_s \left[\exp(qV_o / kT) - 1 \right] \quad (2.1)$$

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

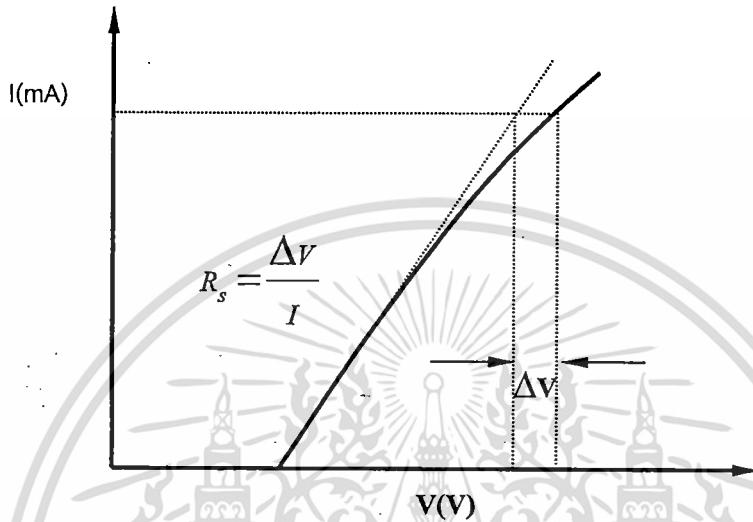
$$\text{แรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ } (V) = V_o + I_o \cdot R_s$$

$$I_o = I_L - I_s \left[\exp \left\{ \frac{q(V_o + I_o \cdot R_s)}{kT} \right\} - 1 \right] \quad (2.2)$$

ความต้านทานอนุกรมสามารถหาได้โดยวิธีการดังนี้เนื่องจากกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเอ็กโพเนนเชียล-เชิงเส้น เช่นเดียวกับกับไดโอด เมื่อนำค่ากระแสและแรงดันนี้ไปเขียนลงในกราฟเซมิล็อก จะได้เป็นกราฟเส้นตรง แต่เนื่องจากผลของความต้านทานภายในเซลล์ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานนี้ แรงดันส่วนนี้จะมี ความสัมพันธ์กับกระแสในลักษณะเชิงเส้น เมื่อกระแสไหลผ่านเซลล์มากผลของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานอนุกรมนี้ จะทำให้ได้กราฟเส้นตรงที่ได้ในช่วงกระแสสูงๆ นี้เพียงเบนออกจากแนวเดิม ค่าที่เบี่ยงเบนออกมานี้จะนำไปใช้ในการหาค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ได้

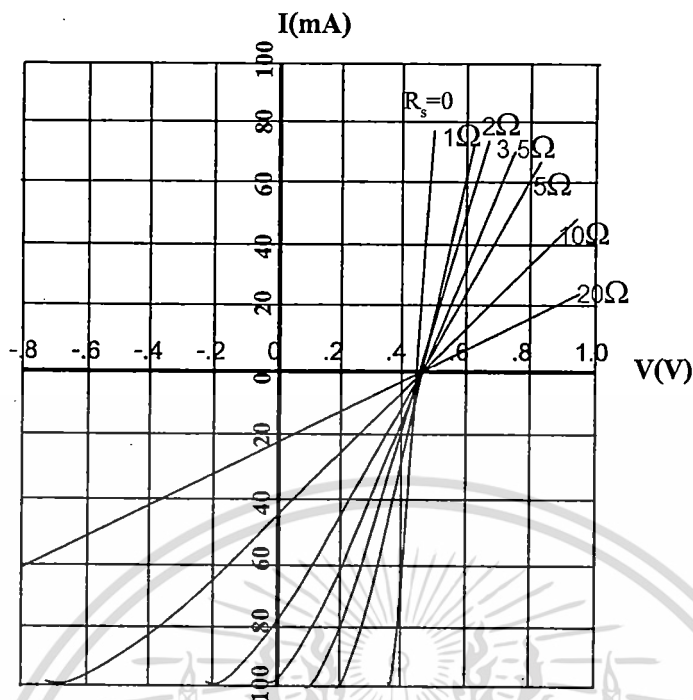
จากกราฟในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์ ที่ค่ากระแส I จะหาค่า R_s จากการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV ได้ดังนี้

$$R_s = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.3)$$



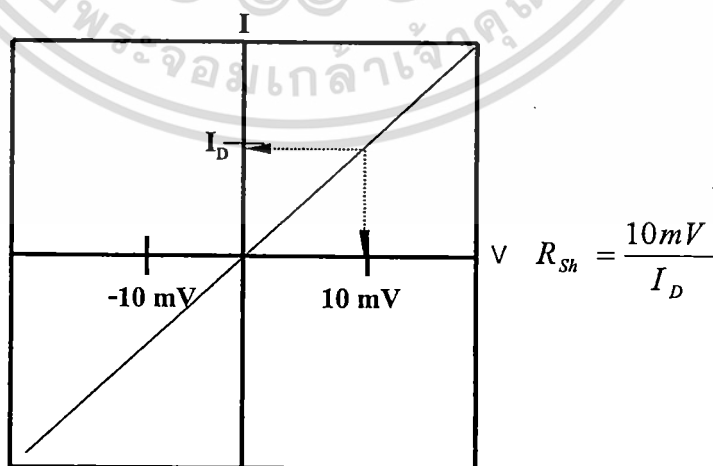
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เขียนอยู่บนกราฟแบบเซมิล็อก

แสดงผลของ R_s ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 2.8 จากรูปจะเห็นว่าเซลล์ที่มีค่า R_s สูงจะให้กระแสลัดวงจรน้อยลงและความชันของกราฟก็ลดลงด้วยเป็นผลให้พลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ลดน้อยลงไปมาก ดังนั้นในการสร้างเซลล์ จึงควรรหาทางลดค่า R_s ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้



รูปที่ 2.8 ผลของความต้านทานอนุกรมภายในที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนความต้านทานชั้นดีนั้นอาจเกิดจากกระแสรั่วที่บริเวณขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก ในเซลล์แสงอาทิตย์นั้นความต้านทานชั้นดีควรมีค่าสูง มากๆ แต่อาจจะมีค่าลดลงได้เนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น การหาค่าความต้านทานชั้นดี นั้นสามารถทำได้โดยการวัดคุณสมบัติกระแสและแรงดันในสภาพมืด โดยการไปแอสให้กับเซลล์ ในระดับแรงดันต่างๆ ประมาณ 10-20 mV ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันในสภาพมืดของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของอุณหภูมิต่อ I_L

กระแส I_L ที่เกิดขึ้นจากแสงนั้นมีสมการดังต่อไปนี้

$$I_L = qg(x)A(L_e + L_h) \quad (2.4)$$

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

$$L = \sqrt{D\tau} \quad (2.5)$$

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

องค์ประกอบอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อ I_L ก็คือ $g(x)$ โดยพบว่า $g(x)$ จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิต่ำขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องจากช่องว่างแถบพลังงานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำขึ้น ทำให้พลังงานโฟตอนจากแสงสามารถไปกระตุ้นให้เกิดพาหะได้มากขึ้นกว่าเดิม แต่ผลที่เกิดขึ้นนี้เมื่อพิจารณาการนำไปใช้งานจริงๆ 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

$$I_0 = Aqn_i^2 \left[\frac{1}{N_a} \left(\frac{D_e}{\tau_e} \right)^{1/2} + \frac{1}{N_d} \left(\frac{D_h}{\tau_h} \right)^{1/2} \right] \quad (2.6)$$

จากสมการของ I_0 ในกรณีของซิลิกอน พบว่า n_i^2 จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ตามสมการดังนี้คือ

$$n_i^2 = 15 \times 10^{32} \cdot T^3 \cdot \exp\left(\frac{-1.12}{kT}\right) \quad (2.7)$$

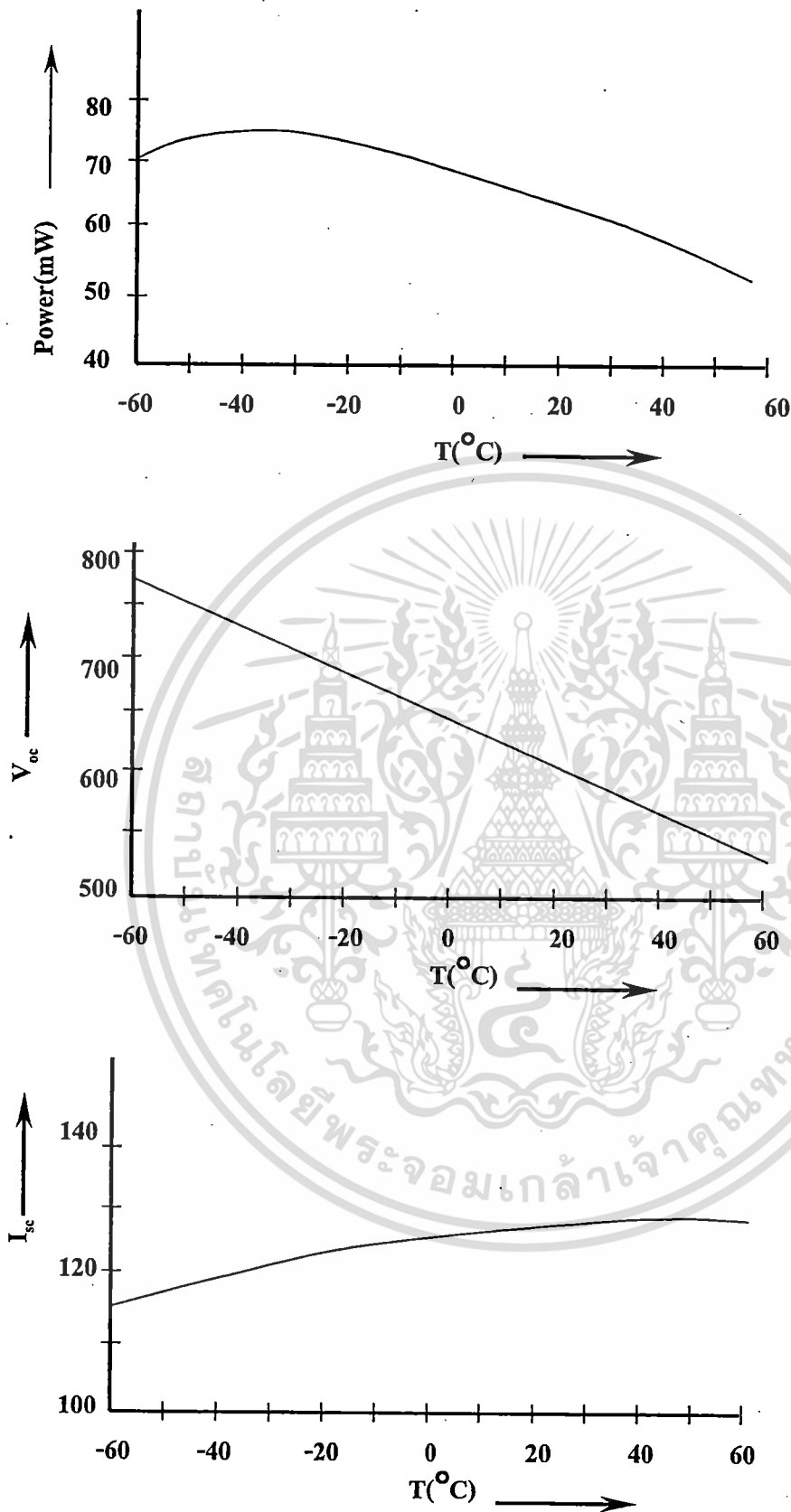
จากสมการจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น n_i^2 จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นแบบเอกโพเนนเชียล เป็นผลให้ I_0 มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จากผลอันนี้ แสดงว่า I_s จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ V_{oc}

สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อความสะดวกจะพิจารณาค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (V_{oc}) ตามสมการดังนี้

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (2.8)$$

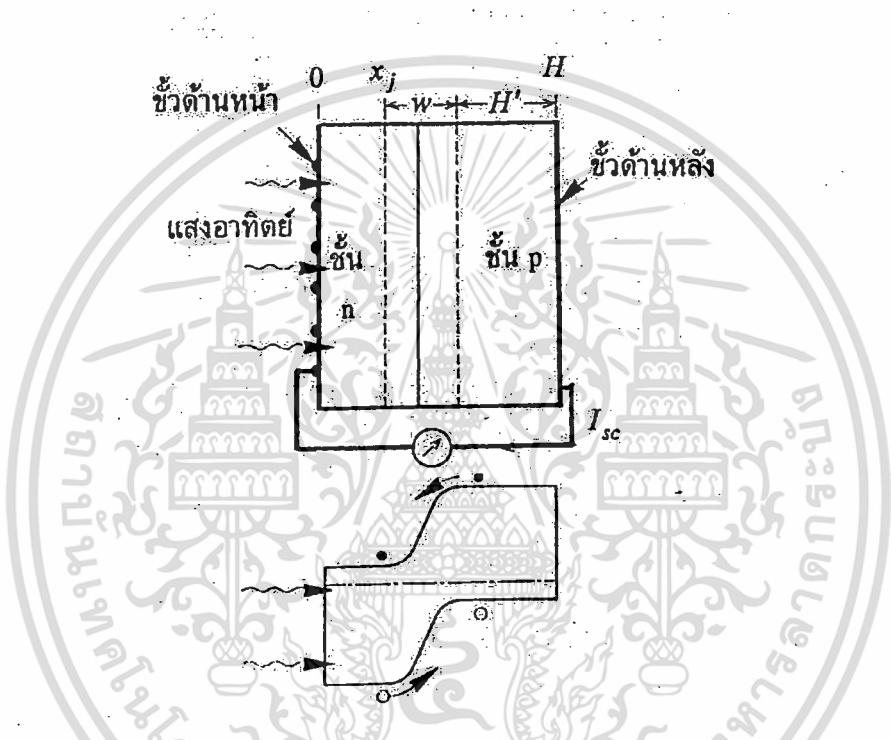
จากสมการนี้ค่าของ kT/q จะมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของ V_{oc} เนื่องจากค่าของ kT/q มีค่าต่ำมาก ค่าที่มีผลต่อ V_{oc} คือค่าของ I_0 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เป็นผลทำให้ค่าของ V_{oc} มีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิมียุ้ค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ I_{sc} , V_{oc} , P_0 แสดงไว้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระแส แรงดันและพลังงานของแสงอาทิตย์
 เอกสารนี้เน้นเอกสารพลังงานเพื่อใช้ในงานวิจัยในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะในประเด็นการคำนวณ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะของเซลล์แสงอาทิตย์กำหนดให้ความหนาแน่นของสารเจือชนิดเอ็นและชนิดพีต้องมีค่าเท่ากัน จากรูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์และแถบพลังงาน ประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะคำนวณได้โดยการแบ่งเซลล์ออกเป็นชั้นเอ็น ชั้นปลอดพาหะ และชั้นพี และคำนวณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

ในสถานะคงตัว(steady state) สมการต่อเนื่องของพาหะข้างน้อยชนิดโฮลที่เกิดจากแสงในชั้นเอ็นแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์และแผนภาพของแถบพลังงาน

$$\frac{dJ_h}{dx} + \frac{p_n - p_{n0}}{q\tau_h} - g(x) = 0 \tag{2.11}$$

$$J_h = q\mu_h p_n E - qD_h \frac{dp_n}{dx} \tag{2.12}$$

และสมการต่อเนื่องของพาหะข้างน้อยชนิดอิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงในชั้นพี แสดงได้ดังนี้

$$\frac{dJ_e}{dx} + \frac{n_p - n_{p0}}{q\tau_e} - g(x) = 0 \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_e = q\mu_e n_p E + qD_e \frac{dn_p}{dx} \quad (2.14)$$

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

$$J_h = -qD_h \frac{dp_n}{dx} = [q \frac{F(1-R)\alpha L_h}{\alpha^2 L_h^2 - 1}] \times [\frac{S_h L_h}{D_h} + \alpha L_h - \exp(\alpha x_j) (\frac{S_h L_h}{D_h} \cosh \frac{x_j}{L_h} + \sinh \frac{x_j}{L_h}) - \alpha L_h \exp(-\alpha x_j) \frac{S_h L_h}{D_h} \sinh \frac{x_j}{L_h} + \cosh \frac{x_j}{L_h}] \quad (2.15)$$

โดยที่

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

ในทำนองเดียวกันกระแสไฟฟ้าโฟโตของอิเล็กตรอน ที่ผลิตได้ในชั้นพี คำนวณโดยใช้เงื่อนไขขอบเขต จะได้ดังนี้

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

$$\times [\alpha L_e \frac{D_e}{L_e} \frac{S_e L_e}{L_e} (\cosh \frac{H'}{L_e} - \exp(-\alpha H')) + \sinh \frac{H'}{L_e} + \alpha L_e \exp(-\alpha H')] \quad (2.16)$$

$$\frac{S_e L_e}{D_e} \sinh \frac{H'}{L_e} + \cosh \frac{H'}{L_e}$$

โดยที่ $H' = H - (x_j + w)$

จากสมการที่ 2.15 และ 2.16 เราทราบได้ว่า "กระแสไฟฟ้าโฟโตของโฮล" (J_h) และของอิเล็กตรอน (J_e) มีค่าแปรผันตรงกับผลคูณของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α) และระยะทางแพร่ซึมของพาหะ (L_e และ L_h)

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

$$J_{dr} = qF(1-R) \exp(-\alpha x_j) [1 - \exp(-\alpha w)] \quad (2.17)$$

โดยที่ w คือ ความกว้างของชั้นปลอดพาหะ มีค่าเท่ากับ

$$w = \left[\frac{2\epsilon_s}{q} (V_d - V) \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

โดยที่

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

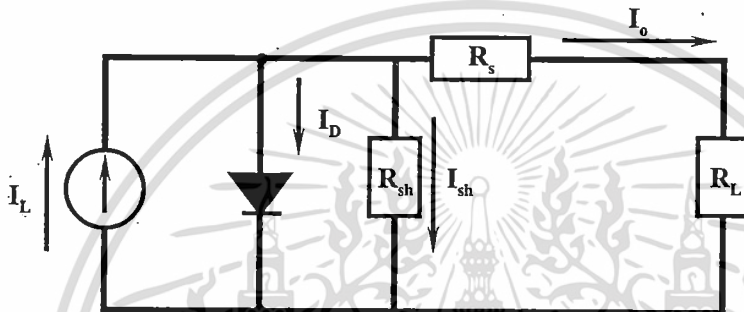
ทั้งหมดสรุปได้ว่า กระแสไฟฟ้าโฟโวลต์ตรงจที่ผลิตได้ ณ ความยาวคลื่นแสงใดๆ ($J_{sc}(\lambda)$) ในรอยต่อพี-เอ็น จะเป็นผลรวมของกระแสต่างๆดังนี้

$$J_{sc}(\lambda) = J_h(\lambda) + J_e(\lambda) + J_{dr}(\lambda) \quad (2.19)$$

2.3 การวัดและคำนวณเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็นแบบง่ายๆ จะมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant current source : I_L) ต่อขนานอยู่กับรอยต่อพี-เอ็นแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็น

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายกระแสคงที่นั่นก็คือกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s) ความต้านทานขั้ว (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

$$I_L = I_D + I_o \quad (2.20)$$

$$I_o = I_L - I_D \quad (2.21)$$

เมื่อ $R_s = 0$ กระแส I_D มีค่าดังนี้

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.22)$$

ค่า n (Ideality factor) เป็นค่าที่แสดงให้รู้ว่ารอยต่อมีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด ในทางอุดมคติถือว่า $n = 1$ ดังนั้น วิชาการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.23)$$

$$I_o = I_L - I_s \left[\exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.24)$$

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

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

ในกรณีนี้ I_o ก็คือ I_{sc} ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสที่เกิดมาจากแสง

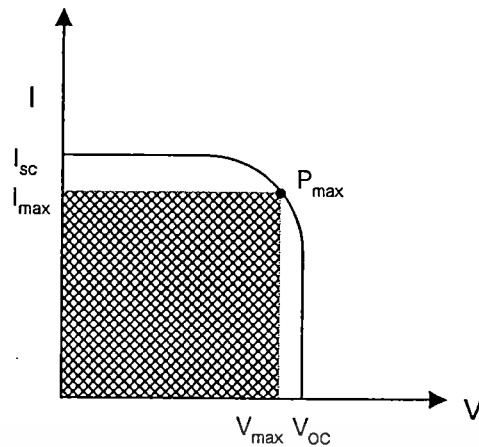
ในกรณีที่เปิดวงจรทางโหลดเพื่อที่จะดูค่าแรงดันแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) จะได้ว่า $I_o = 0$ ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$I_L = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.26)$$

$$\ln \frac{I_L}{I_s} = \frac{qV}{kT} - 1 \quad (2.27)$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \left(\ln \frac{I_L}{I_s} + 1 \right) \quad (2.28)$$

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 2.14



รูปที่ 2.14 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสง

ดังนั้นกำลังงานสูงสุดจึงถูกนิยามว่าค่ากำลังงานสูงสุดที่เซลล์สามารถจ่ายให้แก่โหลด โดย $P_{\max} < I_{sc} \cdot V_{oc}$ ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟรูปที่ 2.14 คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า "ฟิลแฟกเตอร์" (F.F. : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริงๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

$$F.F. = \frac{P_m}{P_0} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.29)$$

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

$$\text{ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นว่า เซลล์จะจ่ายกระแสออกมามากที่สุดเมื่อเซลล์ถูกัดดวงจรซึ่งให้มีค่าเป็น I_{sc} และ เซลล์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดดวงจรออก ซึ่งให้มีค่าเป็น V_{oc} เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันแล้ว จะพบว่า กราฟคุณสมบัติของเซลล์ในขณะที่ได้รับแสงในรูปที่ 2.15 จะมีอยู่จุดหนึ่งที่ค่าผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่าสูงสุด จุดนี้จะเรียกว่าจุดพลังงานสูงสุดของเซลล์ กระแสและแรงดันที่จุดนี้มีค่าเป็น I_m และ V_m ตามลำดับถาเรานำไปให้กับแหล่งรับพลังงานหรือโหลด ที่มีความต้านทานพอดีกับจุดนี้ เซลล์จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดมีค่าสูงสุด ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้จะคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_m ต่อ I_{sc} เพราะฉะนั้น ค่าความต้านทานโหลด $= V_m / I_{sc}$

ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟรูปที่ 2.15 คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า "ฟิลแฟกเตอร์" (F.F. : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริงๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

$$F.F. = \frac{P_m}{P_0} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.33)$$

เมื่อ F.F. คือ ค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

P_m คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ

I_m คือ กระแสสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์

V_m คือ แรงดันสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์

P_0 คือ พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์ในทางอุดมคติ

I_{sc} คือ ค่ากระแสัดดวงจร

V_{oc} คือ แรงดันขณะวงจรถูกเปิด

จะเห็นได้ว่าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 มาก แสดงว่า เซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับทางอุดมคติมาก

2.4 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

$$P_m = I_m V_m \quad (2.34)$$

และค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมหาได้โดยสมการ

$$R_{load} = \frac{V_m}{I_m} \quad (2.35)$$

ค่าของ P_m , V_m และ I_m แสดงได้ดังกราฟคุณสมบัติของเซลล์ในรูปที่ 2.11

ค่าฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor) เขียนอักษรย่อเป็น FF ค่าของฟิลแฟคเตอร์ ถูกนิยามไว้ว่าคือ อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานสูงสุดที่เซลล์จะจ่ายให้แก่โหลดได้จริงกับค่าของพลังงานสูงสุดในทางอุดมคติที่เซลล์จ่ายได้ นั่นคือ

$$FF = \frac{P_m}{P_o} = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (2.36)$$

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

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

$$\eta = \frac{FF \cdot I_{sc} V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.37)$$

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

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปที่ 2.13 พบว่า ยิ่งกระแสอิ่มตัวของไดโอดมีค่าสูงขึ้น ยิ่งค่าความต้านทานอนุกรมในวงจรมีค่าสูงขึ้น และความต้านทานขนานในวงจรมีค่าต่ำลง ย่อมส่งผลถึงค่ากำลังงานของเซลล์ที่จ่ายได้ต่ำลง หรือประสิทธิภาพที่ลดลงของเซลล์ด้วย เพราะค่าความต้านทานอนุกรมที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานจากผลของ $I^2 R$ ค่าความต้านทานขนานที่ลดต่ำลง และ หรือการเพิ่มขึ้นของกระแสอิ่มตัว (I_{02}) จะส่งผลถึงค่าฟิลแฟคเตอร์ (FF) และแรงดันที่ลดต่ำลง การที่เซลล์มีความเร็วในการรวมตัวที่ผิว (surface recombination velocity) ต่ำ และมีค่าเวลาชีวิตในเนื้อสาร (bulk lifetime) ที่สูง จะช่วยปรับปรุงค่า I_{01} และคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก

พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่เซลล์ได้รับเกิดจากการดูดกลืนพลังงานโฟตอนที่มีค่าสูงมากกว่า E_G ส่วนโฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า E_G จะไม่มีผลทำให้เกิดกระแส 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

3.1 การออกแบบ

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดหน่วยในการวัดมากมายหลายระบบ ในบทนี้จะพยายามใช้ระบบ CIE ซึ่งเป็นข้อตกลงกันระหว่างประเทศ ระบบ CIE ใช้หน่วยในการวัดเป็นระบบ SI ซึ่งเป็นระบบที่คุ้นเคยและใช้มากที่สุดสำหรับการวัดการทำงานในช่วง Ultra Violet (UV) และ In far Red (IR) โดยกำหนดหน่วยสำหรับค่าจำกัดความของ Radiometric, Photometric และ Photon quantities ซึ่งจะมีการใช้สัญลักษณ์ หน่วย ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

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.

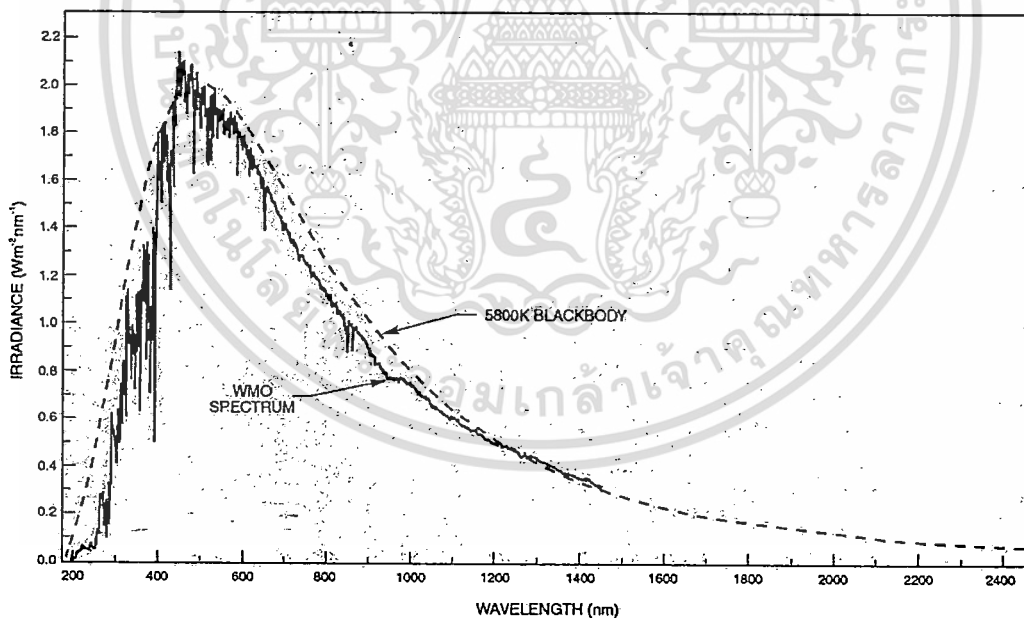
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.1.1 ความถี่ของแสง

จากการศึกษาพบว่าแสงอาทิตย์มีช่วงความถี่แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งให้พลังงานสูงสุดในการแผ่รังสีที่ค่าความยาวคลื่นประมาณ 550 nm ในการเลือกการพิจารณาความถี่ของแหล่งจ่ายแสงของเครื่องแสงอาทิตย์เทียมต้องคำนึงถึงช่วงความถี่ที่สอดคล้องกับเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลักดังแสดงดังรูปที่ 1.4 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกเดี่ยวมีการตอบสนองในช่วงความถี่สูงสุดที่ 750 nm.



รูปที่ 3.1 รูปคลื่นความถี่จากแสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาหลอดไฟที่ให้ความสว่างจะมีค่าความถี่ต่างๆกันดังตารางที่ 3.3 เมื่อพิจารณาถึงช่วงความถี่ของหลอดแต่ละชนิดอย่างละเอียดด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการแผ่รังสี พบว่า Quartz Tungsten Halogen เหมาะสมกับนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ชนิดแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ

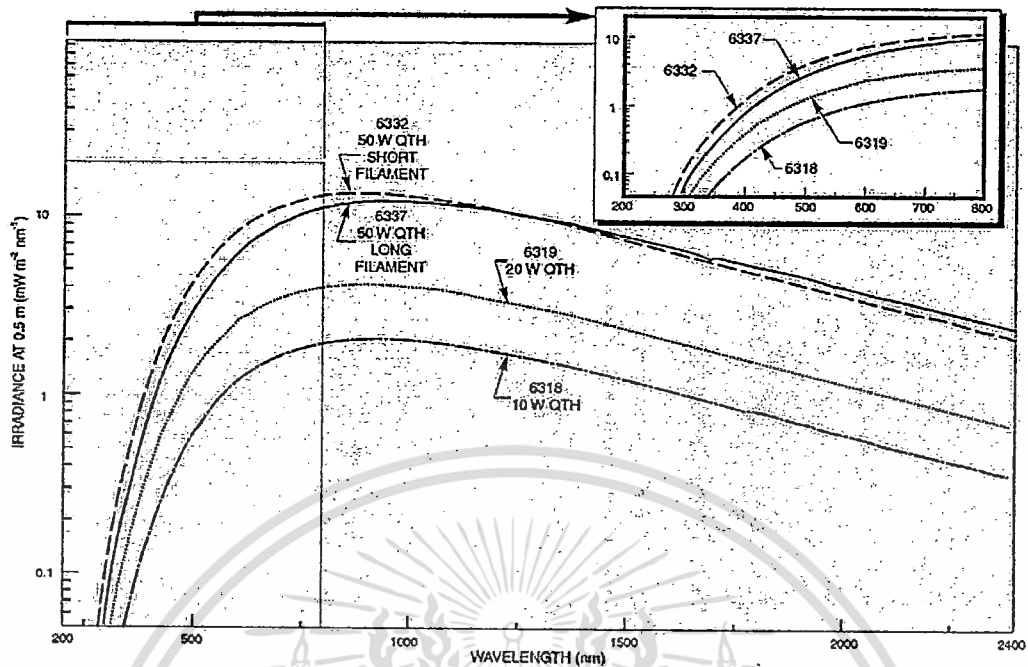
Lamp Type	Wavelength Range	Wattage/Power	Model
Deuterium	~160 to 400 nm	High Uniformity, Ozone Free, 30 W	63161 and 70620
		High Uniformity, Full Spectrum, 30 W	63162 and 70623
		High Irradiance, Ozone Free, 30 W	63164 and 70621
		High Irradiance, Full Spectrum, 30 W	63163 and 70624
		High Irradiance/ Stability, Ozone Free, 30 W	63165 and 70622
Xenon	200 to 2500 nm	75 W Xe	6251NS
		75 W Xe, High Stability	6247
		75 W Xe, OF	6263
		100 W Xe, OF	6257
		150 W Xe	6253
		150 W Xe, OF	6255
		150 W Xe, UV Enhanced	6254
		150 W Xe	6256
		300 W Xe, OF	6258
		450 W Xe	6261
		450 W Xe, OF	6266
		450 W Xe (UV Enhanced)	6262
		500 W Xe, OF	6267
		1000 W Xe	6269
1000 W Xe, OF	6271		
1600 W Xe, OF	62711		
Mercury	200 to 2500 nm	50 W Hg	6282
		100 W Hg	6281
		200 W Hg	6283NS
		350 W Hg	6286
		500 W Hg	6285
		1000 W Hg	6287

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

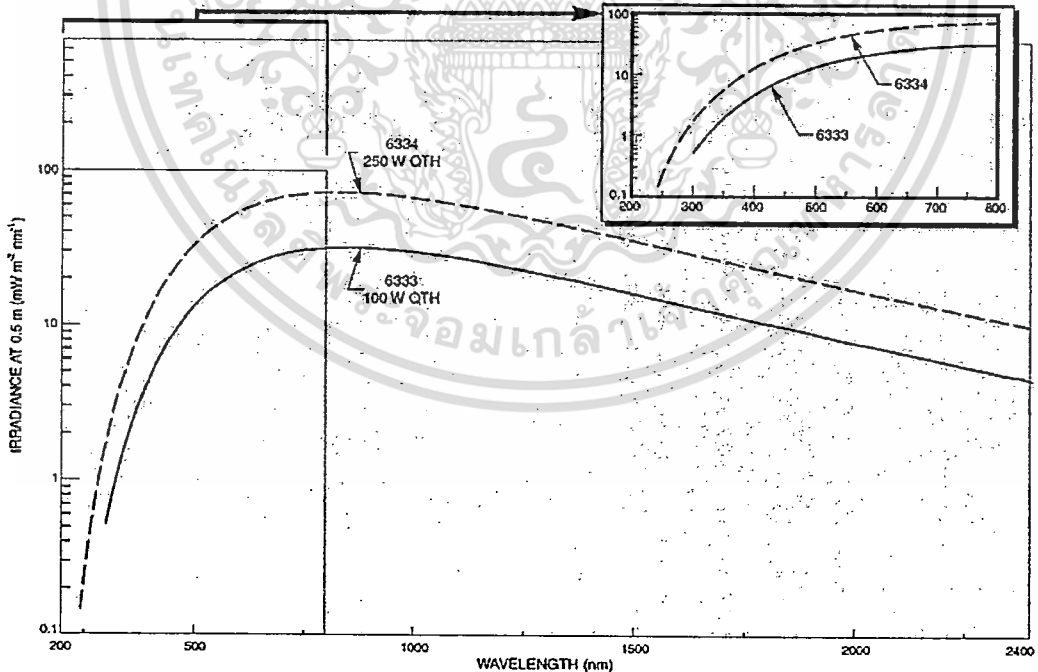
ตารางที่ 3.3 ชนิดแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ (ต่อ)

Mercury(Xenon)	200 to 2500 nm	200 W Hg(Xe)	6291
		200 W Hg(Xe), OF	6292
		500 W Hg(Xe)	66142
		1000 W Hg(Xe)	6293
		1000 W Hg(Xe), OF	6295NS
		1600 W Hg(Xe), OF	62712
Quartz Tungsten Halogen	240 to 2700 nm	10 W QTH	6318
		20 W QTH	6319.
		50 W, Short Filament	6332
		50 W Long Filament QTH	6337
		100 W QTH	6333
		250 W QTH	6334NS
		600 W QTH	6336
		1000 W FEL QTH	6315
Infrared Elements	1 to 25 μ m	140 W IR Emitter	6363.
		22 W Infrared Element	6575
		9 W Infrared Element	6580.
		0.8 W Miniature IR element	6581
		24 W SiC Source Element	80030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับการแผ่รังสีของ Quartz Tungsten Halogen 10 W 20W และ 50W ที่ระยะ 0.5 เมตร

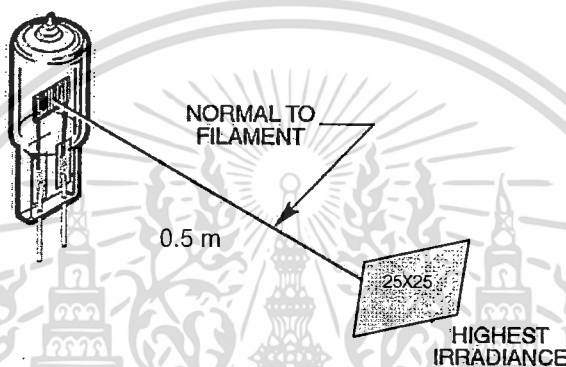


รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับการแผ่รังสีของ Quartz Tungsten Halogen 100 W และ 250W ที่ระยะ 0.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

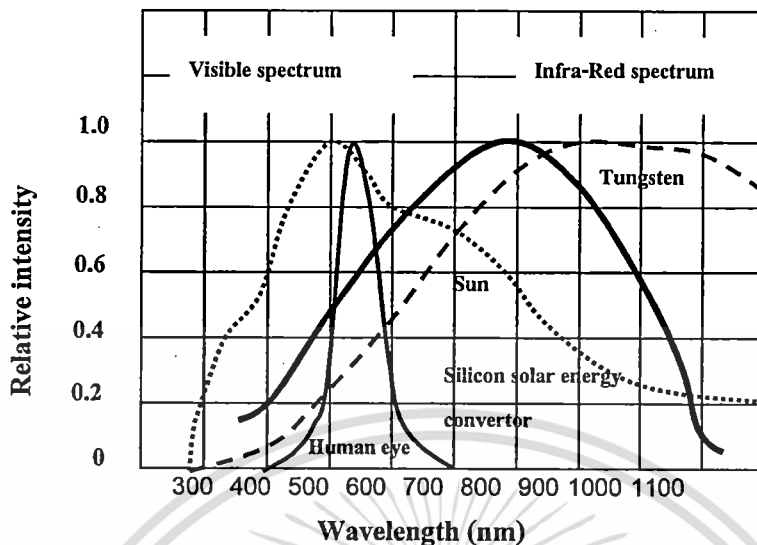
3.1.2 ความเข้มของแสง

การคำนวณหาความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดนั้นต้องทำการวัดความเข้มที่บริเวณที่ตำแหน่งระนาบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคุณสมบัติของความเข้มแสงต้องมีความสม่ำเสมอเหมือนแสงที่แผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งตำแหน่งของหลอดไฟกำเนิดแสงเมื่ออยู่ห่างจากตำแหน่งมากจะมีผลต่อความเข้ม ข้อมูลการวัดการแผ่รังสีในมาตรฐานของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์. วัดการเทียบค่าการแผ่รังสีที่ความยาวคลื่นในช่วง 250 ถึง 2500 nm ด้วยหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน ส่วนในการเทียบค่าความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 nm ด้วยหลอดดิวทีเรียม ในกรณีทั้ง 2 นี้พบว่าที่ตำแหน่งตรงกลางหลอดมีการแผ่รังสีมากที่สุดและจะลดลงไปตามลำดับดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แนวการแผ่รังสีของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน

ในการทดลองทำการวัดการแผ่รังสีของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนจะพบว่าเมื่อเราวางหลอดห่างจากตัววัดแสงเป็นระยะ 0.5 เมตร จะพบว่าจะมีพื้นที่บริเวณตรงกลางได้หลอดจะมีความสม่ำเสมอเป็นพื้นที่ประมาณ 2.5X2.5 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานของเครื่องกำเนิดแสงเสมือนดังตารางที่ 3.4 ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ CE/IEC* 904-3 เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยต้องคำนวณหาความเข้มแสงที่ 1000 Wm^{-2} ซึ่งเป็นการวัดที่ค่า AM1.5 G โดยกำหนดพื้นที่ในการทดลองที่ 10X10 เซนติเมตร โดยเมื่อนำค่าความถี่ของแสงจากหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนกับเซลล์แสงอาทิตย์มาเขียนกราฟรวมกันจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผลตอบสนองทางความถี่ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

ตารางที่ 3.4 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

* Integration by modified trapezoidal technique

CEI = Commission Electrotechnique Internationale

IEC = International Electrotechnical Commission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 อุณหภูมิ

ในการทดลองนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์นำไปวางกลางแจ้งและทำการวัดอุณหภูมิในการทำการทดลองพบว่าอุณหภูมิมียุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25 – 37 C° และเมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาทำการวัดด้วยแสงจากหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนจะมีอุณหภูมิในช่วง ระหว่าง 25 – 41 C° ซึ่งผลการทดลองทำให้ต้องทำการระบายความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อการเกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโฮล เป็นผลให้การทดลองจะเกิดข้อผิดพลาดได้ โดยค่ามาตรฐานได้กำหนดอุณหภูมิต้องควบคุมที่อุณหภูมิ 25 C° โดยจะใช้พัดลมระบายอากาศจากหลอดไฟรวมทั้งการแผ่รังสีมายังหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนด้วย

3.1.4 ขนาดพื้นที่

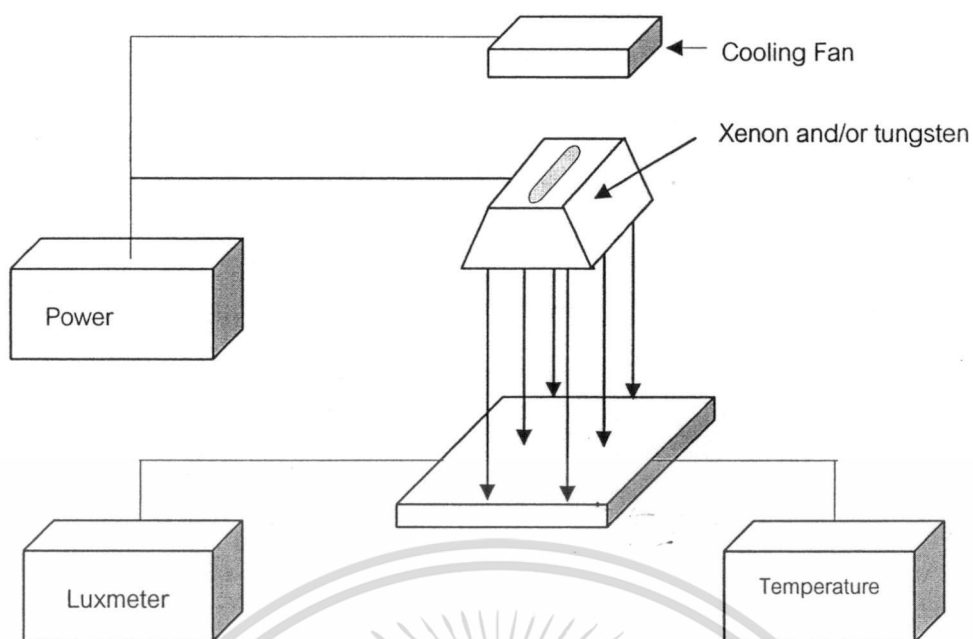
พื้นที่ในการแผ่รังสีของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนจะเป็นพื้นที่ 10 X 10 เซนติเมตร เนื่องจากการทดลองในห้องปฏิบัติการจะทำการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบที่มีขนาดไม่เกิน 5 X 5 เซนติเมตร จึงทำให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการทดลองวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบได้อย่างเหมาะสม โดยจะทำการวัดค่าความสว่างทุกๆ 2 เซนติเมตร เพื่อหาความสม่ำเสมอของแสง

3.2 การสร้าง

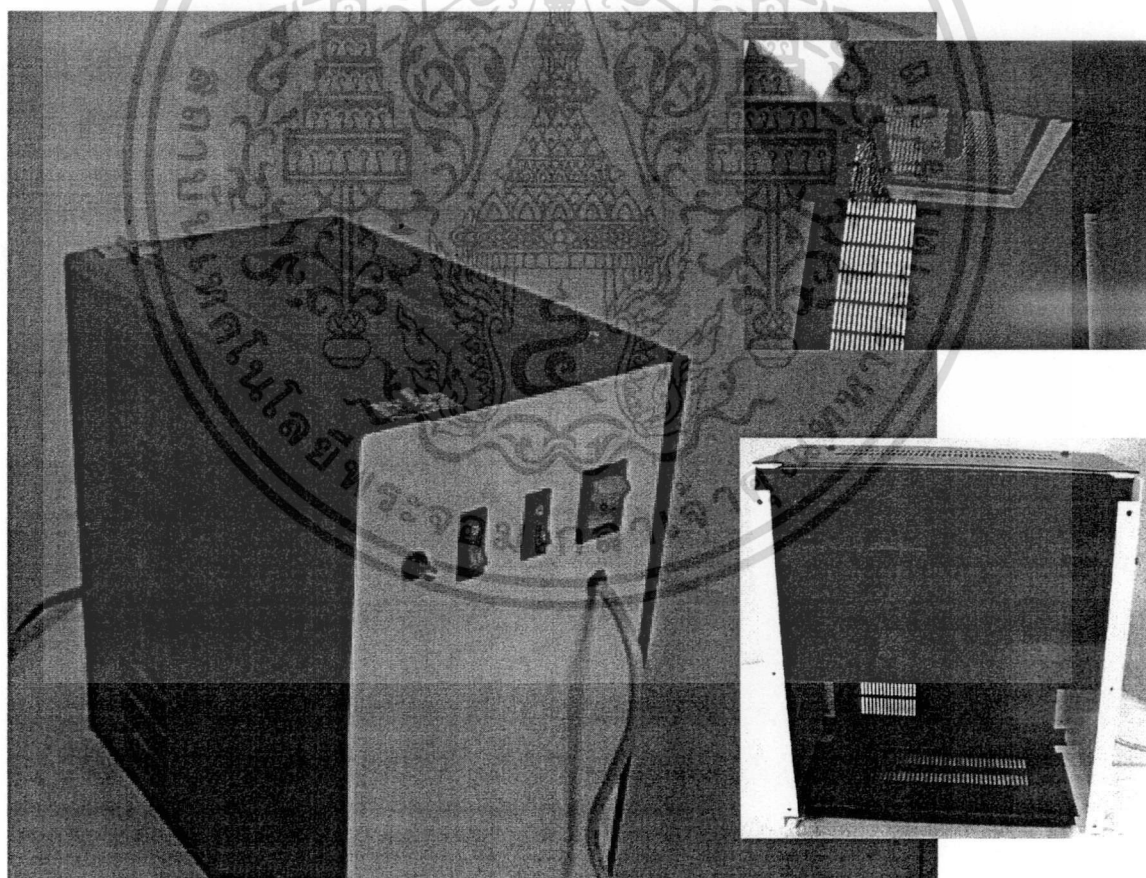
การสร้างชุดทดลองประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายกระแสไฟ 220 V 5 A
2. แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน
 - หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน 220 V. 50w 10 หลอด
 - หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน 220 V. 100w 10 หลอด
 - หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน 220 V. 150w 10 หลอด
 - หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน 220 V. 300w 10 หลอด
 - หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน 220 V. 500w 10 หลอด
 - หลอดซีโนอน
 - ชุดควบคุมจ่ายกระแสคงที่แก่หลอด
 - ชุดระบายความร้อนหลอดกำเนิดแสง
3. ชุดวัดความสว่างและความเข้มแสง
4. ชุดกระจกรวมแสง และกระจายแสงแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผนภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน



รูปที่ 3.7 ภาพชุดเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่อง

ผลการทดสอบสามารถวัดค่าความเข้มแสงและค่ากำลังส่องสว่างและคำนวณหาความเข้มแสงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีผลทดสอบดังนี้

ค่าความเข้มสูงสุด	1,170 Wm^{-2}
ค่าความเข้มต่ำสุด	997 Wm^{-2}
ค่าความเข้มเฉลี่ย	1,057 Wm^{-2}
ค่าความเข้มสม่ำเสมอ	5.7 %
อุณหภูมิสูงสุด	28 $^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิต่ำสุด	32 $^{\circ}\text{C}$

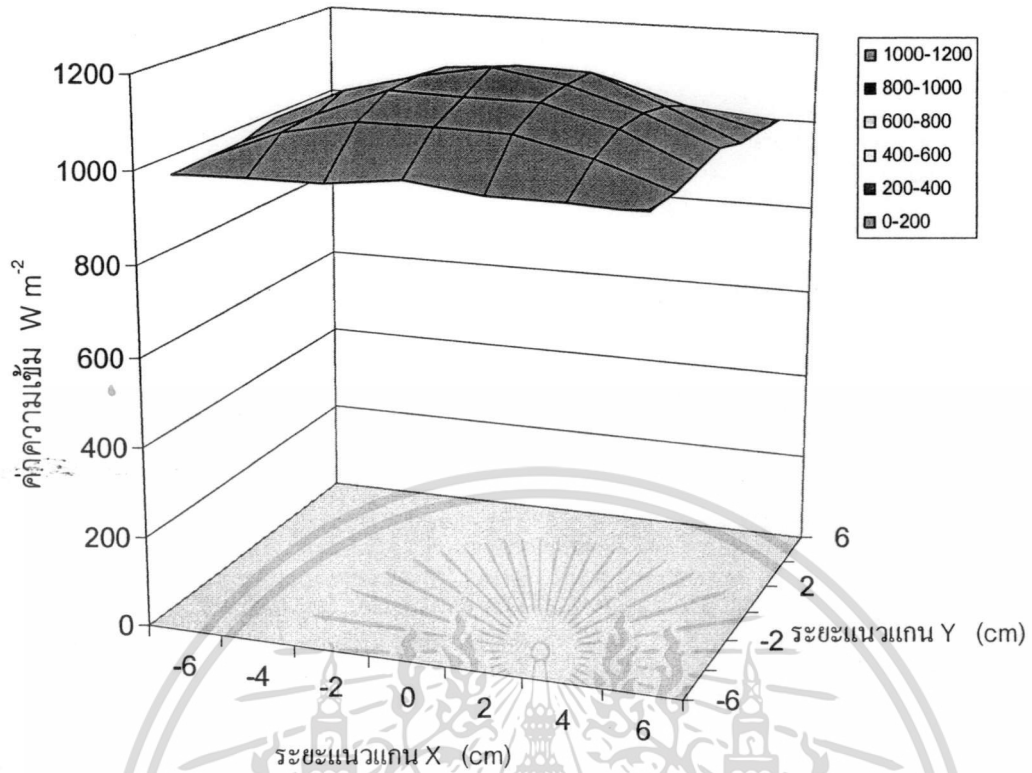
4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของแสง

พื้นที่ในการแผ่รังสีของหลอดทั้งสแตนฮาไลเจนจะเป็นพื้นที่ 10×10 เซนติเมตร จึงทำการวัดค่าความเข้มและคำนวณหาความเข้มแสงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรได้ดังตารางที่ 4.1 ให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการทดลองวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบได้อย่างเหมาะสม โดยจะทำการวัดค่าความสว่างทุกๆ 2 เซนติเมตรทั้งสองแกน เพื่อหาความสม่ำเสมอของแสง

ตารางที่ 4.1 ความเข้มแสงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรที่ตำแหน่งต่างๆ

X \ Y	-6	-4	-2	0	2	4	6
-6	999	1004	1004	1024	1004	1004	998
-4	1004	1068	1098	1099	1098	1058	1004
-2	1004	1076	1136	1134	1133	1088	1014
0	1028	1098	1142	1170	1143	1093	1026
2	1004	1078	1132	1148	1142	1078	1008
4	1004	1058	1098	1098	1098	1048	1004
6	1001	1004	1004	1024	1014	1011	997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การกระจายแสงของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เสมือนนี้ พบว่าค่ากำลังส่องสว่างเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $1,057 \text{ mWm}^{-2}$ มีความสม่ำเสมอ 5.7% โดยสามารถวิเคราะห์ได้ในพื้นที่ $10 \times 10 \text{ cm}$ โดยเลือกหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน 220V 300W เป็นแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เบื้องต้นได้จริง แต่ปัญหาที่ไม่สามารถควบคุมได้คือ อุณหภูมิของบริเวณที่ทดสอบจะมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน AM1.5 G

ในการพัฒนาเครื่องมือนี้ต้องมีการเพิ่มชุดควบคุมอุณหภูมิให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากแหล่งจ่ายแสงจะให้ความร้อนออกสูงมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ดุสิต เครื่องงาม. "สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งานต่าง 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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้