สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์

The Study of Temperature Effect on Solar Cell Performance

นางภัทรียา ดำรงศักดิ์

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

RCH
ด1381ก
2556

เลขหมู่
เลขทะเบียน 137847
รับ,เดือน,ปี 6 ส.ค. 2558

b 12699755
i

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์
แหล่งเงิน เงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์
ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2556
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร. ภัทรียา ดำรงศักดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทดลองศึกษาสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ในย่านอุณหภูมิทำงาน -70 ถึง 70 องศาเซลเซียส ระบบวัดสมบัติของเซลล์ภายใต้อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำได้ถูกจัดเตรียมขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัสได้ถูกนำมาศึกษา สมบัติของเซลล์ได้ถูกวิเคราะห์ผ่านตัวแปรต่างๆ อาทิ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร และฟิลแฟกเตอร์ เป็นต้น ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลที่ไม่พึงประสงค์ต่อค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ทั้งสองชนิดเป็นอย่างมาก โดยค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะมีค่าลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อิทธิพลของอุณหภูมิต่อสมบัติโดยรวมของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดถูกพิจารณาผ่านค่าฟิลแฟกเตอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวมีค่าลดลงสูงกว่าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัส อุณหภูมิทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: The study of temperature effect on solar cell performance

Researcher: Asst. Prof. Pattareeya Damrongsak

Faculty: Science **Department:** Physics

ABSTRACT

This research experimentally investigates the performance of solar cells corresponding to the different operating temperature, ranging from -70 to 70 °C. The characterization system was developed in-house to measure the electrical performance of the cells under low and high temperatures. Two types of silicon solar cells, i.e. crystalline silicon (c-Si) and amorphous silicon (a-Si) solar cells, were studied. The performance of the solar cells is determined by various parameters, such as short circuit current (I_{sc}), open circuit voltage (V_{oc}) and fill factor (FF). It was found that an increase in temperature does have an adverse effect on the device performance for both types of the cells, primarily on the open-circuit voltage. The open-circuit voltage in c-Si and a-Si cells linearly decreases as operating temperature increases. On the contrary, the photo current increases slightly with an increase in temperature. The impact of operating temperatures on the overall performance of the c-Si and a-Si solar cell was evaluated by determining the fill factor. Results show that the fill factor of the c-Si cells decrease higher than that of the a-Si as the temperature increase.

Keywords : c-Si solar cells, a-Si solar cell, operating temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรียา ดำรงศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use: Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 1
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ 3
2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ 5
2.3 การแปลงพลังงานโดยเซลล์แสงอาทิตย์ 5
2.4 การดูดกลืนแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ 7
2.5 พารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ 7
2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ 9
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 14
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 14
3.2 วิธีการทดลอง 15
3.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ 17
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 21
4.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิสูง 21
4.2 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิต่ำ 42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 51
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง 53

ภาคผนวก 54

ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

ประวัตินักวิจัย 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง 24

4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง 25

4.3 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง 26

4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง 27

4.5 ค่ากระแสย้อนอิ่มตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง 28

4.6 ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง 29

4.7 ค่าความต้านทานชันต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง 30

4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง 35

4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง 36

4.10 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง 37

4.11 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง 38

4.12 ค่ากระแสย้อนอิ่มตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง 39

4.13 ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง 40

4.14 ค่าความต้านทานชันต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง 41

4.15 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ 45

4.16 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ 46

4.17 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ 47

4.18 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ 48

4.19 ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ 49

4.20 ค่าความต้านทานชันต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ชนิดเซลล์แสงอาทิตย์และสัดส่วนการผลิต	4
2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็น	5
2.3 การดูดกลืนโฟตอนและการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล	6
2.4 พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆจากกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า	9
2.5 วงจรสมมูลในทางอุดมคติ	10
2.6 กราฟ I-V ในสภาวะมืดและในสภาวะถูกฉายแสง	10
2.7 กราฟ I-V ในกรณีได้รับแสงความเข้มแตกต่างกัน	11
2.8 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อกราฟกระแส-แรงดันไฟฟ้า	11
2.9 วงจรสมมูลทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.10 ผลของความต้านทาน Rsh และความต้านทาน Rs ที่มีต่อกราฟ I-V	13
3.1 การตั้งค่าโปรแกรม Agilent U2722A source measure unit	15
3.2 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุสารกึ่งตัวนำภายใต้อุณหภูมิต่ำ	17
3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์	18
3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln(I) กับ V ของเซลล์แสงอาทิตย์	19
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง I-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่ได้รับแสง	20
4.1 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 1	21
4.2 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 1	22
4.3 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 2	22
4.4 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 2	23
4.5 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 3	23
4.6 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 3	24
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับอุณหภูมิ	25
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับอุณหภูมิ	26
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์กับอุณหภูมิ	27
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับอุณหภูมิ	28
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสย้อนอิ่มตัวกับอุณหภูมิ	29
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับอุณหภูมิ	30
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานชันต์กับอุณหภูมิ	31
4.14 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะมืด ครั้งที่ 1	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.15 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 1 32
4.16 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะมืด ครั้งที่ 2 33
4.17 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 2 33
4.18 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะมืด ครั้งที่ 3 34
4.19 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 3 34
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับอุณหภูมิ 35
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับอุณหภูมิ 36
4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์กับอุณหภูมิ 37
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับอุณหภูมิ 38
4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสย้อนอิ่มตัวกับอุณหภูมิ 39
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับอุณหภูมิ 40
4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานชันต์กับอุณหภูมิ 41
4.27 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 1 42
4.28 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 1 42
4.29 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 2 43
4.30 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 2 43
4.31 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 3 44
4.32 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 3 44
4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับอุณหภูมิ 45
4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับอุณหภูมิ 46
4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์กับอุณหภูมิ 47
4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับอุณหภูมิ 48
4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับอุณหภูมิ 49
4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานชันต์กับอุณหภูมิ 50
6.1 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมจัดเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [1-3] ดังนั้นเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะออกแบบและพัฒนาระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสำหรับทดสอบสมบัติของเซลล์ในช่วงกว้างประมาณ -70 ^{o}C – 70 ^{o}C และนำระบบที่พัฒนาได้มาศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ผลที่ได้จากศึกษานี้สามารถนำมาใช้ในการประเมินความเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดไปใช้ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อจัดสร้างระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

3. ขอบเขตของการวิจัย

- ออกแบบระบบสำหรับควบคุมการเปลี่ยนอุณหภูมิและวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
- ทดลองจัดสร้างระบบที่ได้ทำการออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่จัดสร้าง เช่น ย่านอุณหภูมิใช้งาน การวัดสมบัติทางไฟฟ้า
- ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว และชนิดอะมอร์ฟัส เป็นต้น

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 จัดหาวัสดุสำหรับสร้างระบบควบคุมการเปลี่ยนอุณหภูมิและวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนที่ 3 ทดลองสร้างระบบที่สามารถควบคุมการเปลี่ยนอุณหภูมิ

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบและพัฒนาสมบัติของระบบที่จัดสร้างขึ้นให้สามารถทำงานในย่านอุณหภูมิที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นตอนที่ 5 นำระบบมาทดลองวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้อุณหภูมิต่างๆ

ขั้นตอนที่ 6 จัดทำและส่งมอบรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

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

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการพลังงานทางเลือกและปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำของนักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4
2. สามารถนำผลการทดลองมาใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดไปใช้ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์คือสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถแปลงพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า การค้นพบสำคัญที่อาจนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างสิ่งประดิษฐ์นี้สามารถย้อนกลับไปในปี ค.ศ. 1839 (พ.ศ. 2382) เมื่อ Edmund Becquerel นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ค้นพบปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic effect) ซึ่งคือปรากฏการณ์ที่วัสดุไวแสงสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เมื่อถูกฉายด้วยแสง ในการทดลอง Becquerel ได้สังเกตเห็นการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลท์เมื่อมีแสงตกกระทบ

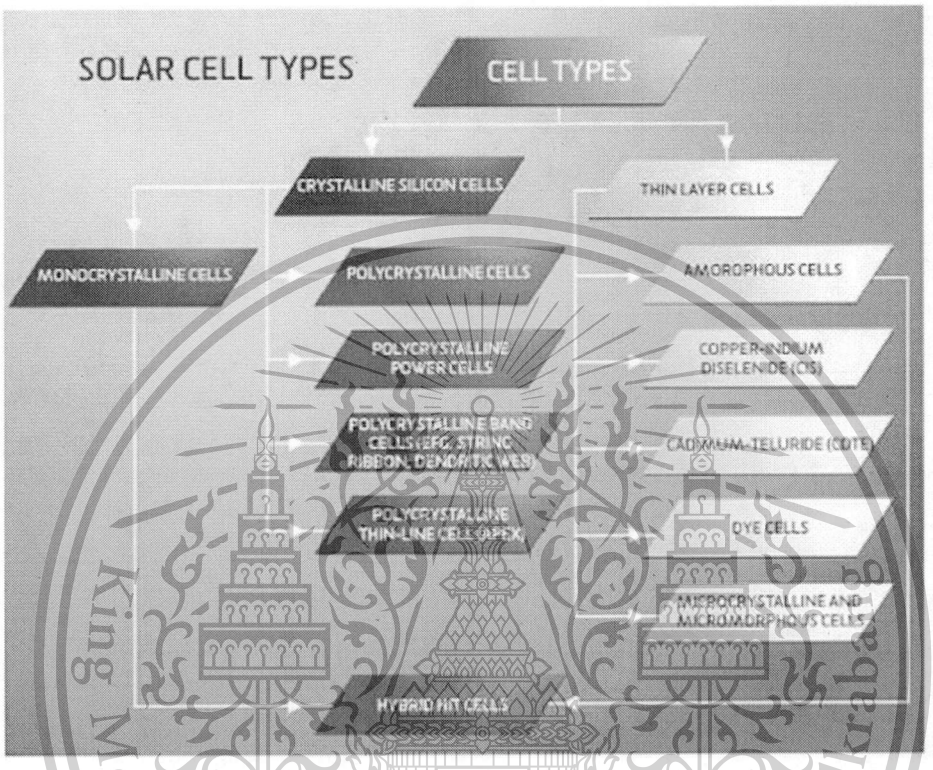
ถึงแม้ว่าปรากฏการณ์นี้จะถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1839 การนำความรู้นี้มาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ยังต้องอาศัยเวลายาวนานกว่าร้อยปีทั้งนี้เนื่องจากไม่มีเทคโนโลยีในศตวรรษที่ 19 ที่จะผลิตเซลล์ จุดเริ่มต้นของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่สำคัญเริ่มในปี ค.ศ. 1954 เมื่อห้องปฏิบัติการวิจัยของ Bell และ RCA ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีวัตถุประสงค์เบื้องต้นเพื่อผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในโครงการอวกาศ ต่อจากนั้นจึงได้เริ่มมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางและขยายผลสู่ระดับอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในระยะแรกจะมีราคาแพงมาก จึงจำกัดการใช้งานอยู่เฉพาะในงานวิทยุสื่อสาร และไฟฟ้าแสงสว่างขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกลเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม จากเหตุการณ์ราคาน้ำมันดิบตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วพร้อมๆกับปัญหาการขาดแคลนน้ำมันที่เกิดขึ้นจนกลายเป็นวิกฤตินำ้มันโลกครั้งแรกในปี ค.ศ. 1973 ตามด้วยสงครามโลกในปี ค.ศ. 1979 ได้ทำให้ประเทศผู้ใช้น้ำมัน โดยเฉพาะประเทศพัฒนา เช่นภาครัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา[1] เยอรมัน และญี่ปุ่น ได้ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจังและต่อเนื่อง ส่งผลให้ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำมาจากวัสดุหลายประเภทและมีส่วนแบ่งการตลาดที่แตกต่างกันดังภาพที่ 2.1 จากภาพจะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอนมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงสุด ทั้งนี้อาจสาเหตุจากการที่เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตเซลล์นั้นได้รับการพัฒนามาอย่างยาวนาน รวมถึงประสิทธิภาพที่ผลิตได้จากแผงเซลล์นั้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตของเซลล์จากวัสดุซิลิกอนนั้นยังค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการผลิตเซลล์จากวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น เช่น แคดเมียมเทลลู

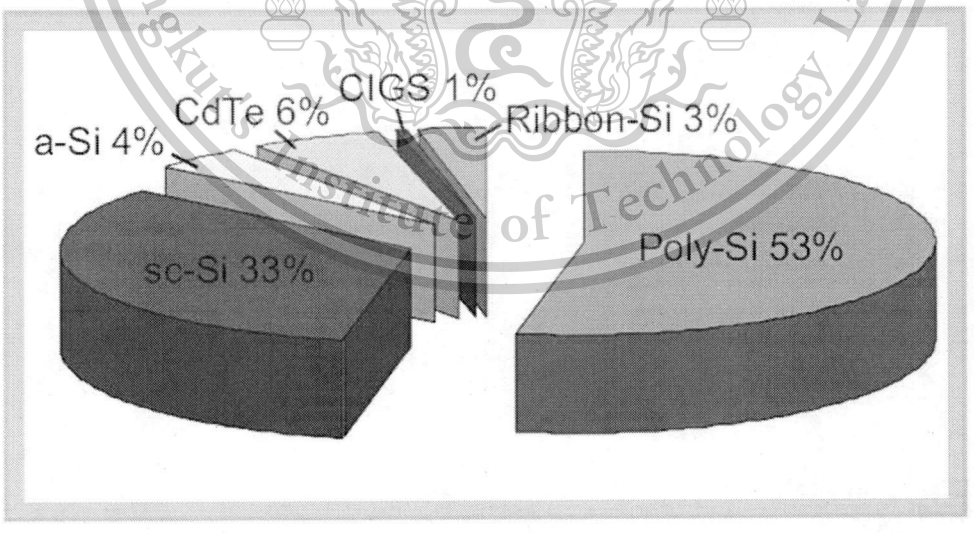
[1] ในสหรัฐอเมริกาภายใต้การบริหารของประธานาธิบดี จิมมี่ คาร์เตอร์ (Jimmy Carter) ได้สนับสนุนเงินทุนในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเซลล์แสงทิตย์ ทำให้งานวิจัยด้านนี้มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไลด์ (CdTe) คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CuInSe2 หรือ CIS) เป็นต้น นอกเหนือจากนี้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆในการผลิตเซลล์จากวัสดุอื่นๆด้วย เช่น วัสดุโพลิเมอร์ วัสดุสีย้อม เป็นต้น



(ก)



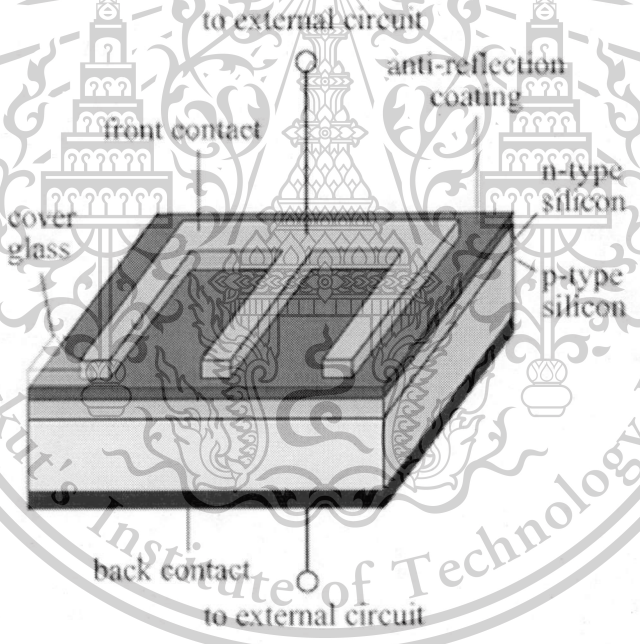
(ข)

ภาพที่ 2.1 ชนิดเซลล์แสงอาทิตย์และสัดส่วนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์จะสร้างเป็นรอยต่อพี-เอ็นดังภาพที่ 2.2 ลักษณะของโครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนของฐานซึ่งทำจากวัสดุชนิดพี (หรือวัสดุชนิดเอ็น) ที่มีความหนาประมาณ 200 ไมครอน ส่วนของวัสดุชนิดเอ็นที่ถูกเจือเข้ามาและทำให้เกิดรอยต่อพี-เอ็น (หนาประมาณ 0.5 ไมครอน) และส่วนของขั้วไฟฟ้าซึ่งถูกเคลือบบนผิวหน้าและหลังของเซลล์ โดยทั่วไปขั้วไฟฟ้าที่เคลือบบนผิวหน้าจะถูกออกแบบให้เป็นเส้นบางๆหลายๆเส้นคล้ายรูปนิ้วมือ (contact fingers) ทั้งนี้เพื่อให้มีพื้นที่ๆสามารถรับแสงได้มากที่สุดและขณะเดียวกันขั้วไฟฟ้าก็สามารถรวบรวมพาหะได้มากที่สุดด้วย ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังจะเคลือบเต็มพื้นที่ของเซลล์และมีผิวสัมผัสเป็นโอห์มมิกที่ดี ที่ผิวรับแสงด้านบนจะถูกเคลือบด้วยชั้นลดการสะท้อนแสง (Antireflection layer) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของเซลล์ด้วย ซึ่งวัสดุที่นิยมใช้เคลือบเพื่อลดการสะท้อนแสง เช่น SiO_2 SiN เป็นต้น



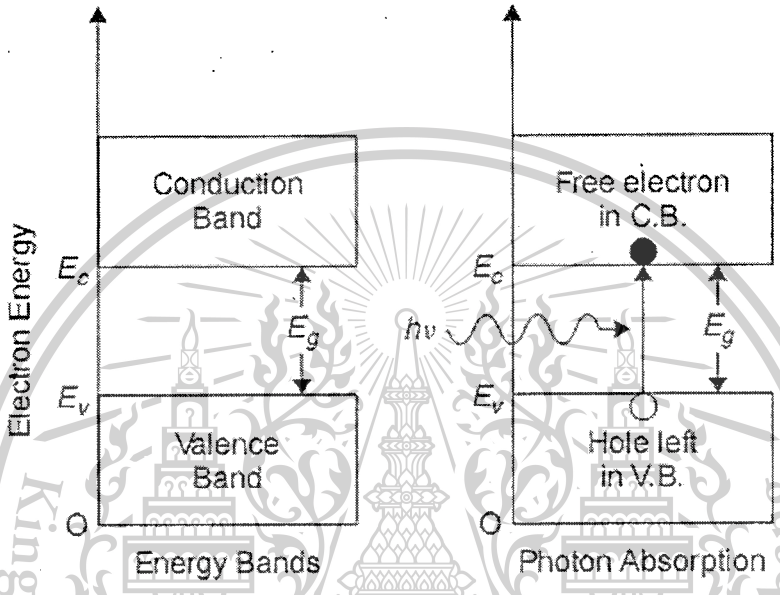
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพี-เอ็น

2.3 การแปลงพลังงานโดยเซลล์แสงอาทิตย์

การแปลงพลังงานโดยเซลล์แสงอาทิตย์จะมีกลไกที่แตกต่างกันขึ้นกับโครงสร้างและชนิดของวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างเซลล์ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนซึ่งเป็นเซลล์ที่ได้รับความนิยมและนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนเกิดจากการที่วัสดุซิลิกอนดูดกลืนพลังงานจากแสงหรือโฟตอนที่มีพลังงานอย่างน้อย Eg ทำให้อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในสถานะพื้นถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ในชั้นระดับพลังงานที่สูงขึ้น (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 การดูดกลืนโฟตอนและการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล

การที่จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกสู่วงจรภายนอกได้นั้น ผลต่างระหว่างพลังงานในสถานะกระตุ้นและสถานะพื้นหรือค่าแถบพลังงานหวงห้ามจะต้องมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานความร้อน k_BT มากๆ (k_B คือค่าคงที่โบลส์มาลน์และ T คืออุณหภูมิ) ทั้งนี้เพื่อให้อิเล็กตรอนสามารถอยู่ในระดับชั้นกระตุ้นได้ระยะเวลายาวนานกว่าระยะเวลาที่ตกกลับลงมาเนื่องจากผลของความร้อน (thermal relaxation time)

กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเกิดจากพาหะส่วนน้อย (minority carriers) ซึ่งแตกต่างจากกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพี-เอ็นที่ได้รับการไบอัสตรงที่กระไฟฟ้าเกิดจากพาหะส่วนมาก (majority carriers) กล่าวคืออิเล็กตรอนที่ถูกสร้างในวัสดุชนิดพีจะสามารถเคลื่อนผ่านมายังวัสดุชนิดเอ็นได้แต่อิเล็กตรอนที่ถูกสร้างในวัสดุชนิดเอ็นจะไม่สามารถเคลื่อนผ่านมายังวัสดุชนิดพีได้ การที่พาหะส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุสามารถเคลื่อนผ่านมายังอีกด้านหนึ่งได้เนื่องจากได้รับแรงสนับสนุนจากสนามไฟฟ้าที่บริเวณผิวรอยต่อ และการที่พาหะส่วนมากที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุไม่สามารถเคลื่อนผ่านมายังอีกด้านหนึ่งได้เนื่องจากได้รับแรงต้านจากสนามไฟฟ้าที่บริเวณผิวรอยต่อนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 การดูดกลืนแสงในเซลล์แสงอาทิตย์

การดูดกลืนแสงโดยเซลล์แสงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆดังสมการที่ 2.1

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \tag{2.1}$$

เมื่อ x คือระยะทาง (หรือความลึก) ที่แสงเดินทางผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ

I(x) คือความเข้มของแสงที่ความลึก x

I(0) คือความเข้มของแสงที่ตกกระทบผิวหน้าเซลล์

α คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของวัสดุ

จากสมการจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจัดว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดความสามารถในการดูดกลืนแสงของวัสดุ ถ้าวัสดุมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูง วัสดุนั้นก็จะสามารถดูดกลืนแสงได้สูงที่ระยะทางสั้นๆ ตัวอย่างเช่น วัสดุมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรเท่ากับ 10^4 cm^{-1} จะสามารถดูดกลืนแสงได้สูงถึง 90% ภายในเนื้อวัสดุที่มีความหนาเพียง 2.3 ไมโครเมตร อีกตัวแปรหนึ่งที่กำหนดความสามารถในการดูดกลืนแสงของเซลล์คือความหนาของเนื้อสาร ถ้าวัสดุมีความหนามากก็จะสามารถดูดกลืนแสงได้มากเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างของเซลล์จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงปริมาณทั้งสองนี้

2,5 พารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

- **กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc)**

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรคือค่ากระแสที่วัดได้ในขณะที่เซลล์อยู่ในสภาวะลัดวงจร ค่ากระแสลัดวงจรต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Isc/A) หรือ Jsc นี้จะมีค่าขึ้นกับปริมาณฟลักซ์ของโฟตอนและค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัม (quantum efficiency) ดังสมการ

$$J_{sc} = q \int b_s(E) QE(E) dE \tag{2.2}$$

เมื่อ bs(E) คือความหนาแน่นฟลักซ์ของโฟตอน

QE(E) คือค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัมหรือค่าโอกาสที่โฟตอน 1 ตัวซึ่งมีพลังงาน E จะทำให้เกิดอิเลคตรอน 1 ตัวไหลสู่วงจรภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- **แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Voc)**

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดคือแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเซลล์อยู่ในสภาวะเปิดวงจร แรงดันที่วัดได้จะมีค่าสูงสุด และในสภาวะอุดมคติค่า Voc จะมีค่าเท่ากับ

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_0} + 1\right) \quad (2.3)$$

เมื่อ J_0 คือค่าความหนาแน่นกระแสในสภาวะมืดหรือบางครั้งเรียกว่ากระแสรั่วไหล

- **ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power point)**

ค่าความหนาแน่นกำลัง (power density) ถูกนิยามว่าคือผลคูณระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า

$$P = JV \quad (2.4)$$

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า (ภาพที่ 2.4) พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดที่จุดหนึ่งเรียกว่าจุด MPP หรือ maximum power point ซึ่งจุดนี้คือจุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ จุด MPP นี้ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ Vmp และกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ Imp

- **ฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor)**

การพิจารณาความเป็นอุดมคติของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะสามารถพิจารณาได้จากค่าฟิลแฟกเตอร์ ค่าฟิลแฟกเตอร์หรือ FF ถูกนิยามดังสมการ

$$FF = \frac{J_{mp}V_{mp}}{J_{sc}V_{oc}} = \frac{I_{mp}V_{mp}}{I_{sc}V_{oc}} \quad (2.5)$$

- **ประสิทธิภาพ (Efficiency)**

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ η คือสัดส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์จ่ายสู่โหลดภายนอก Pm และค่ากำลังหรือความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์ Ps

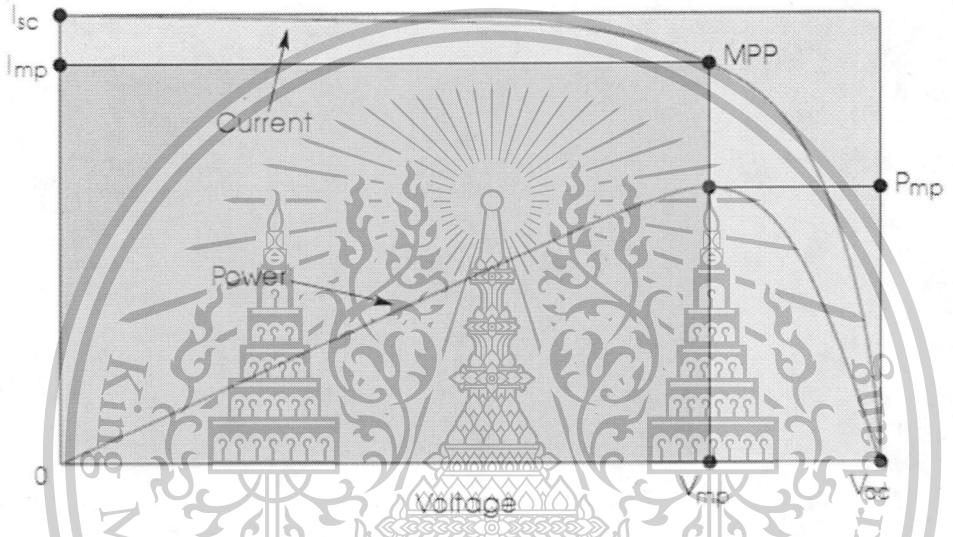
$$\eta = \frac{P_m}{P_s} = \frac{I_m V_m}{P_s} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ค่า η มีความสัมพันธ์กับค่า FF, Voc และ Jsc ดังสมการ

$$\eta = \frac{J_{sc}V_{oc}FF}{P_s} \tag{2.7}$$

ภาพที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆที่วัดได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 2.4 พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆจากกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า

2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางอุดมคติจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสและไดโอดต่อกันดังภาพที่ 2.5 แหล่งจ่ายกระแสเปรียบเสมือนตัวแทนของกระแสโฟโตและไดโอดคือตัวแทนของรอยต่อพี-เอ็น ค่ากระแสที่ผลิตจากเซลล์จะมีความสัมพันธ์กับกระแส I_L และ I_D ดังความสัมพันธ์

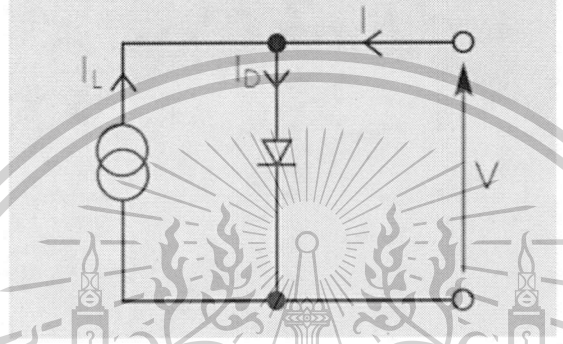
$$I = I_D - I_L \tag{2.8}$$

เมื่อแทนค่า $I_D = I_0\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1\right]$ ในสมการดังกล่าว จะได้

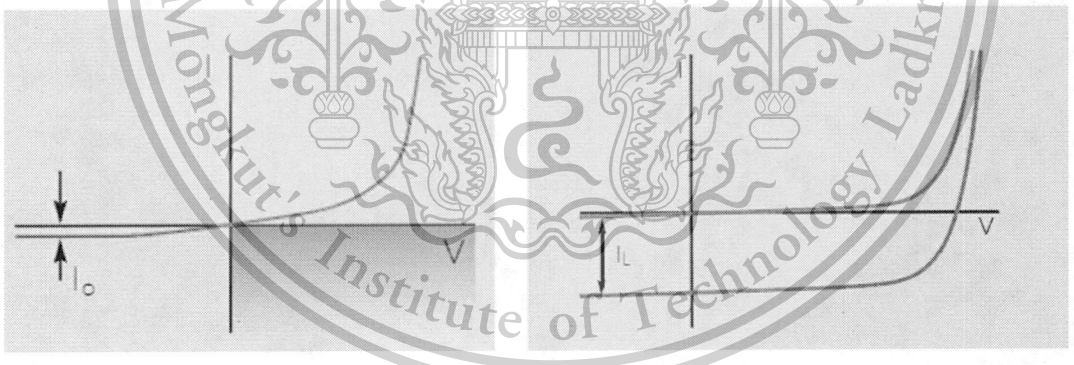
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1\right] - I_L \qquad (2.9)$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะเลื่อนต่ำลงมาในกรณีที่เซลล์ได้รับแสงและผลิตกระแสเท่ากับ I_L ดังภาพที่ 2.6



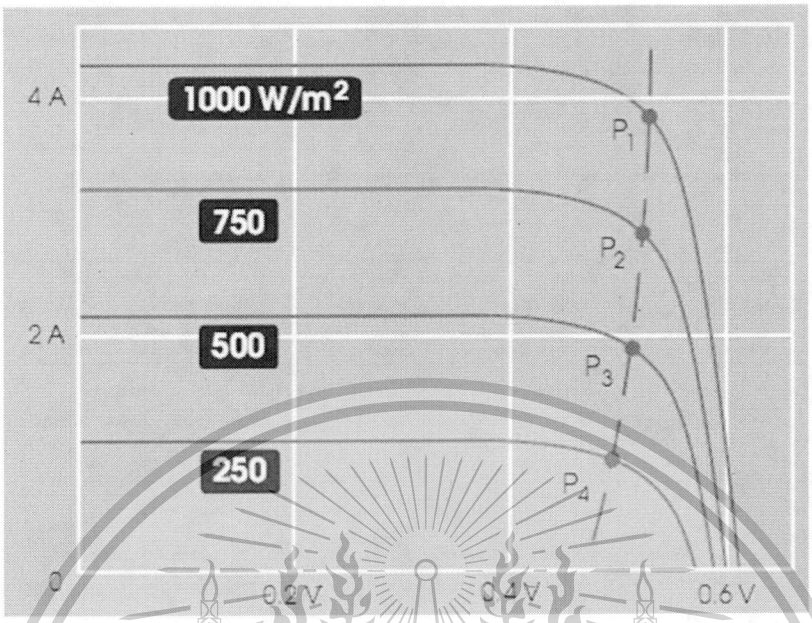
ภาพที่ 2.5 วงจรสมมูลในทางอุดมคติ



ภาพที่ 2.6 กราฟ I-V ในสภาวะมืดและในสภาวะถูกฉายแสง

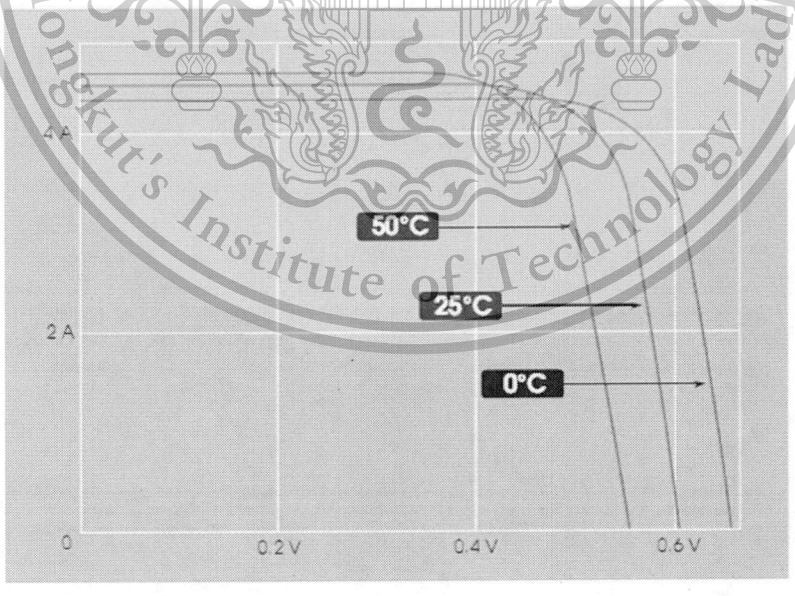
การฉายแสงที่มีค่าความเข้มต่างกันตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าสูงขึ้นและมีกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปดังภาพที่ 2.7 และการเปลี่ยนความเข้มแสงจะส่งผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.7 กราฟ I-V ในกรณีได้รับแสงความเข้มแตกต่างกัน

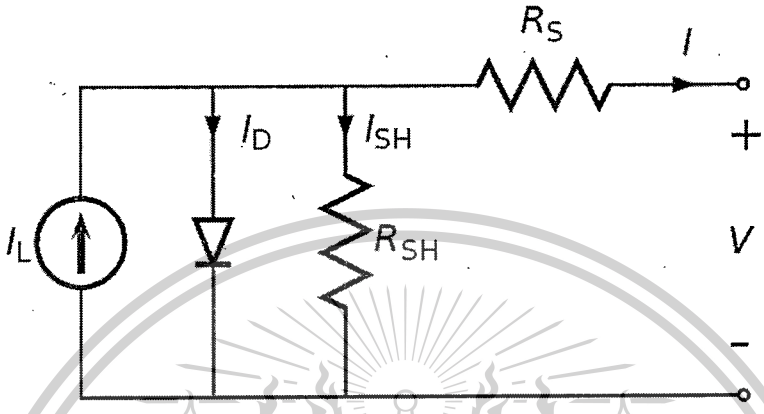
ภาพที่ 2.8 แสดงผลของความร้อนต่อกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า ในกรณีที่เซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะสังเกตเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะมีค่าลดลง แต่ค่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



ภาพที่ 2.8 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อกราฟกระแส-แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในทางปฏิบัติการสร้างเซลล์ให้มีสมบัติตามอุดมคตินั้นทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยตั้งต้นจากวัสดุที่นำมาสร้างเซลล์ รวมถึงกระบวนการและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตเซลล์ ดังนั้นวงจรสมมูลของเซลล์จึงแตกต่างไปจากวงจรอุดมคติที่กล่าวมา ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 วงจรสมมูลทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

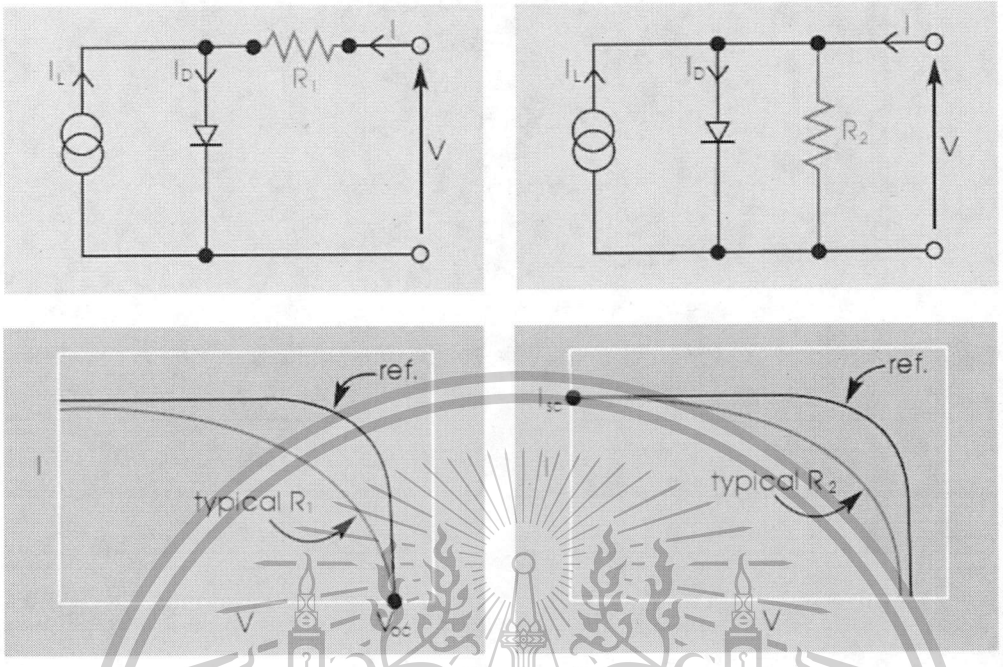
ค่าความต้านทาน R_{sh} ที่เขียนเพิ่มในวงจรคือตัวแทนที่แสดงถึงผลจากการเกิดกระแสรั่วไหลตามบริเวณของของเซลล์ ความไม่สม่ำเสมอในการเจือสารเพื่อสร้างรอยต่อ เป็นต้น และค่าความต้านทาน R_s คือตัวแทนของค่าความต้านทานเนื่องจากผิวรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำและโลหะ ความต้านทานภายในเนื้อวัสดุสารกึ่งตัวนำและวัสดุโลหะ เป็นต้น จากวงจรสมมูลจะเห็นว่าเซลล์ที่ดีควรจะมีค่า R_s น้อยๆ (มีค่าเท่ากับศูนย์ในทางอุดมคติ) และมีค่า R_{sh} มากๆ (มีค่าเข้าใกล้อนันต์)

สมการไดโอดที่รวมผลของความต้านทาน Rs และ Rsh มีรูปฟอร์มดังนี้

$$J = J_{sc} - J_o(e^{q(V+JAR_s)/kT} - 1) - \frac{V + JAR_s}{R_{sh}} \tag{2.10}$$

ภาพที่ 2.10 แสดงวงจรไฟฟ้าสมมูลและผลของความต้านทาน Rsh (ในรูปจะเขียนแสดงด้วย R_2) และความต้านทาน Rs (เขียนแสดงด้วย R_1) ที่มีผลต่อลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ จะสังเกตว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและค่าฟิลแฟกเตอร์จะมีค่าลดลงเมื่อความต้านทาน Rsh มีค่าลดลง สำหรับกรณีของความต้านทาน Rs เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรและค่าฟิลแฟกเตอร์ลดลง แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.10 ผลของความต้านทาน Rsh และความต้านทาน Rs ที่มีต่อกราฟ I-V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติทางฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้จัดเตรียมระบบเพื่อศึกษาสมบัติของเซลล์ภายใต้อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง โดยสามารถลดหรือเพิ่มอุณหภูมิให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนที่จะทำการศึกษา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดช่วงของอุณหภูมิในการศึกษาระหว่าง -70 ℃ ถึง 70 ℃ ซึ่งคือช่วงอุณหภูมิที่อาจเกิดขึ้นเมื่อนำเซลล์ไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ผลการวัดจะถูกนำมาวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของเซลล์ เช่น ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ฟิลล์แฟกเตอร์ ความต้านทานอนุกรม และความต้านทานชันท์เป็นต้น

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

- หลอดไฟ BED Halogen Floodlight CQ 500D ขนาด 500 W สำหรับให้แสงสว่างกับเซลล์แสงอาทิตย์
- แหล่งกำเนิดแสงแฮโลเจน ขนาด 100 w
- มัลติมิเตอร์ UT55 สำหรับวัดสัญญาณไฟฟ้า
- แหล่งกำเนิดความร้อนที่ปรับค่าได้ (hot plate รุ่น IKA C-MAG HS 4) สำหรับให้ความร้อนกับเซลล์แสงอาทิตย์
- เทอร์โมคับเปิล type K สำหรับวัดอุณหภูมิ
- เครื่อง Agilent U2722A source measure unit สำหรับวัดกราฟ I-V
- แท่นจับยึดอุปกรณ์
- ปั๊มสุญญากาศ สำหรับลดความดันให้กับระบบขณะทำงานที่อุณหภูมิต่ำ
- หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับแปลงไฟ 220 V เป็น 110 V
- แชมเบอร์ สำหรับบรรจุเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ต่างๆขณะทำการวัด
- โพรบวัดสัญญาณทางไฟฟ้า
- ไนโตรเจนเหลว สำหรับทำความเย็นให้กับระบบ
- เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส

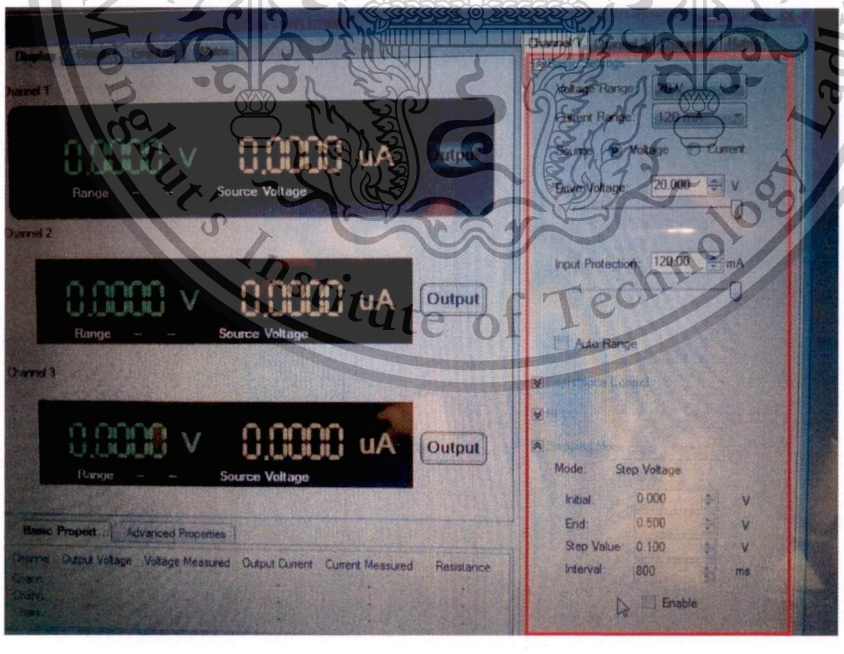
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 วิธีการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ชนิดคือชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส โดยทำการวัดในสภาวะมืดและสภาวะที่เซลล์ได้รับแสง โดยวิธีการทดลองมีดังนี้

3.2.1 การวัดสมบัติทางไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิสูงในที่มืด

1. นำเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งในแท่นวางเซลล์ที่บรรจุอยู่ในแชมเบอร์
2. นำสายเทอร์โมคับปิลมาแปะไว้ที่ผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวและนำกระดาษฟอยล์มาครอบที่เซลล์แสงอาทิตย์ให้ติดไว้กับเครื่องกำเนิดความร้อนที่ปรับค่าได้
3. ต่อสายไฟของเซลล์เข้ากับเครื่อง Agilent U2722A source measure unit และนำสายที่เหลืออีกข้างของเทอร์โมคับเปิลมาต่อเข้ากับดิจิตอลมัลติมิเตอร์
4. ต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ากับเครื่อง Agilent U2722A source measure unit
5. นำเซลล์ไปวางไว้ใต้แหล่งกำเนิดแสงแฮโลเจน ขนาด 100 w ที่ติดอยู่กับแท่นจับยึด (ในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงแฮโลเจนเพื่อให้ความร้อนกับผิวหน้าเซลล์)
6. ตั้งค่าโปรแกรม Agilent U2722A source measure unit โดยกำหนดให้จ่าย Voltage พร้อมกำหนดค่าต่างๆดังภาพที่ 3.1 พร้อมทั้งกดปุ่ม Enable



ภาพที่ 3.1 การตั้งค่าโปรแกรม Agilent U2722A source measure unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7. ทำการเปิดแหล่งกำเนิดแสงรอให้อุณหภูมิถึงระดับที่กำหนดจึงทำการบันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์ โดยเราจะทำการบันทึกค่าที่อุณหภูมิ 30 °C-70 °C
8. ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนเซลล์ที่ทดลองเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวแผ่นอื่นๆและเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสจนครบ

3.2.2 การวัดสมบัติทางไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิสูงในสภาวะที่มีแสง

1. ทำการจัดอุปกรณ์เหมือนในข้อ 3.2.1
2. ต่ออุปกรณ์เหมือนเดิมแต่เปลี่ยนแล่งกำเนิดแสงเป็น BED Halogen Floodlight CQ 500D ขนาด 500 W
3. ปรับแหล่งกำเนิดความร้อนที่ปรับค่าได้ เพื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 °C-70 °C ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองซ้ำข้อ 6-8 ในหัวข้อ 3.2.1

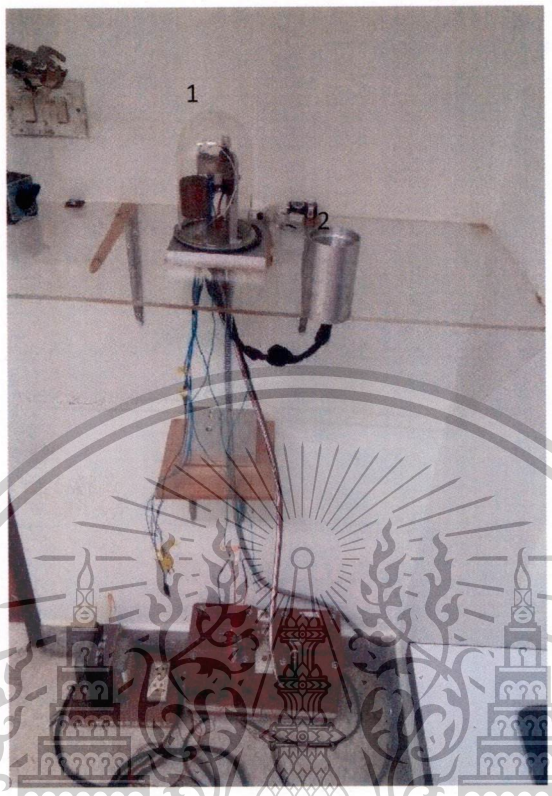
3.2.3 การวัดสมบัติทางไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิต่ำ

ในการศึกษาสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้อุณหภูมิต่ำ ผู้วิจัยเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว ขนาด 1×1 cm^2 จำนวน 3 เซลล์ มาทำการทดลอง โดยวิธีการทดลองมีดังนี้

1. นำเซลล์มาติดตั้งในแชมเบอร์ที่จัดเตรียมไว้ดังภาพที่ 3.2
2. นำเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว มาใส่ในเครื่องวัดคุณสมบัติทางฟ้าของวัสดุสารกึ่งตัวนำ บริเวณทองแดง ที่มีเข็มสองเข็มเป็นขั้วบวกและขั้วลบ (หมายเลข1) จากนั้นนำไนโตรเจนเหลวที่ใส่ภาชนะบรรจุเรียบร้อยแล้วมาเติมลงในกระบอกอลูมิเนียม (หมายเลข2)
3. ต่อเครื่อง Agilent U2722A source measure unit เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตั้งค่าเหมือนการทดลองที่ผ่านมารอให้อุณหภูมิถึงค่าที่กำหนดจึงกดปุ่ม output บันทึกค่า โดยช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาคือ -70 °C- 25 °C ตามลำดับ
4. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนเซลล์เป็นแผ่นอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 3.2 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุสารกึ่งตัวนำภายใต้อุณหภูมิต่ำ

3.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.1 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})

การหาค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร จะสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจากตัวอย่างภาพที่ 3.3 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรคือค่ากระแสที่วัดได้เมื่อแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์

3.3.2 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด จะสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจากตัวอย่างภาพที่ 3.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดคือค่าแรงดันที่วัดได้เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

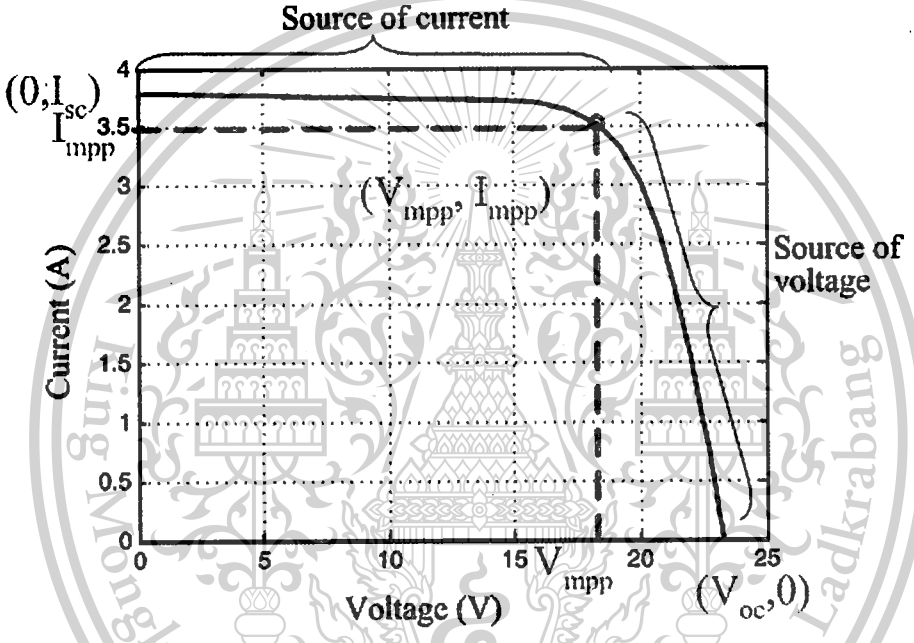
13,347

3.3.3 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max})

การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด จะสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจากตัวอย่างภาพที่ 3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดคือค่าผลคูณของค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดกับกระแสไฟฟ้าสูงสุด

3.3.4 ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)

การหาค่าฟิลล์แฟกเตอร์สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (2.5) ในบทที่ 2

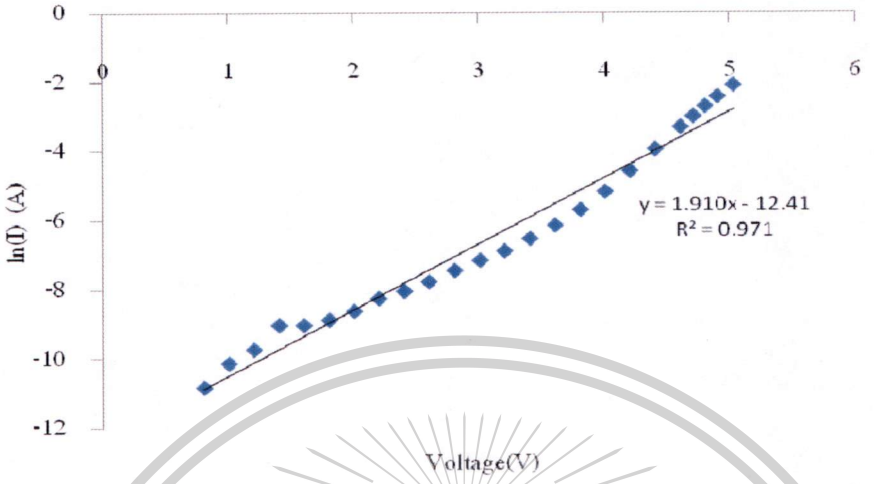


ภาพที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.5 กระแสไฟฟ้าย้อนอิ่มตัว (I_0)

การหาค่ากระแสไฟฟ้าย้อนอิ่มตัวสามารถหาได้โดยการนำสมการที่ (2.9) ในบทที่ 2 มาเขียนในรูปของ logarithm จะได้ $\ln(I) = \frac{qv}{nkT} + \ln(I_0)$ และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln(I) (แกน y) กับ V (แกน x) ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งค่า $\ln(I_0)$ หาได้จากจุดตัดแกน y ถูกนำมาหาค่า I_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln(I) กับ V ของเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.6 ความต้านทานชันต์ (R_{sh}) และความต้านทานอนุกรม (R_s)

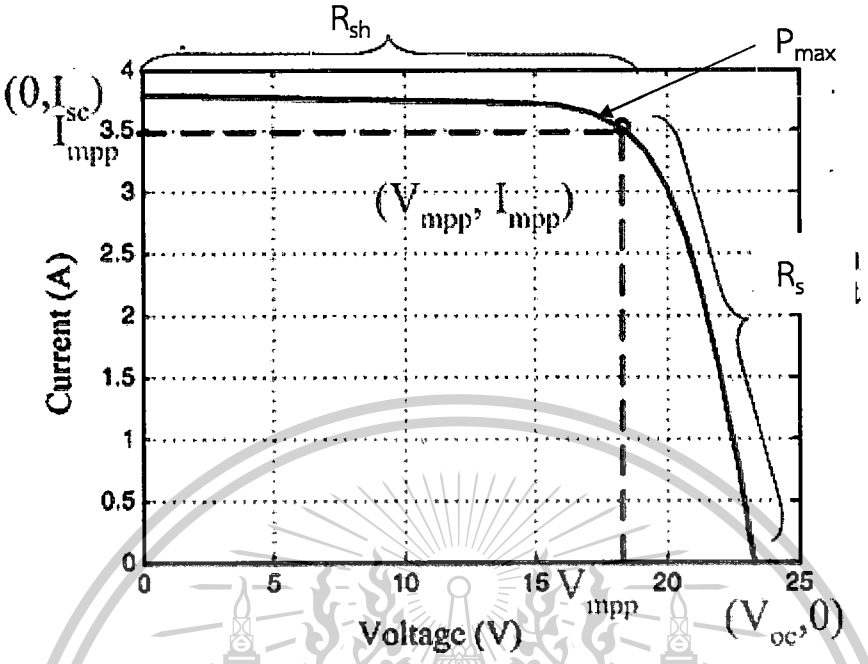
การหาค่าความต้านทานชันต์และความต้านทานอนุกรมสามารถหาได้โดยพล็อตกราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่มีแสง (แกน x หรือแรงดันไฟฟ้า = 0) และหาค่าความชันของกราฟในแต่ละส่วนดังภาพที่ 3.5 โดยในการแบ่งช่วงเพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานจะพิจารณาจากจุดที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

3.3.7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูล ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหาออกมาแล้วมีค่ามากนั้นหมายความว่า ข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายกันมาก เช่น ถ้าเป็นคะแนนสอบของนักเรียนก็บ่งบอกว่านักเรียนได้คะแนนต่างกัน แต่ถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหาออกมาแล้วมีค่าน้อยนั้นหมาย ความว่าข้อมูลชุดนั้นเป็นข้อมูลที่เกาะกลุ่มกันอยู่ เป็นข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีวิธีการหาได้ดังสมการ

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} \qquad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง I-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่ได้รับแสง

3.3.8 **ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of the mean)**

ค่า SEM เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างไปยังค่าเฉลี่ยของประชากร ถ้า SEM มีค่าน้อย การประมาณค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างไปยังค่าเฉลี่ยของประชากรจะมีโอกาสถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นค่าเฉลี่ยของประชากรจะมีค่าอยู่ระหว่าง $\bar{x}$ - SEM จนถึง $\bar{x}$ + SEM

ค่า SEM นี้จะมีค่าสวนทางกับจำนวนของกลุ่มตัวอย่าง ถ้า n มีจำนวนมาก ค่า SEM จะมีค่าลดน้อยลง ดังนั้นจำนวนกลุ่มตัวอย่างยิ่งมาก การประมาณค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างไปยังค่าเฉลี่ยของประชากรยิ่งมีโอกาสถูกต้องมากขึ้น ซึ่งมีวิธีการหาโดยใช้สมการ $SEM = \frac{S}{\sqrt{n-1}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

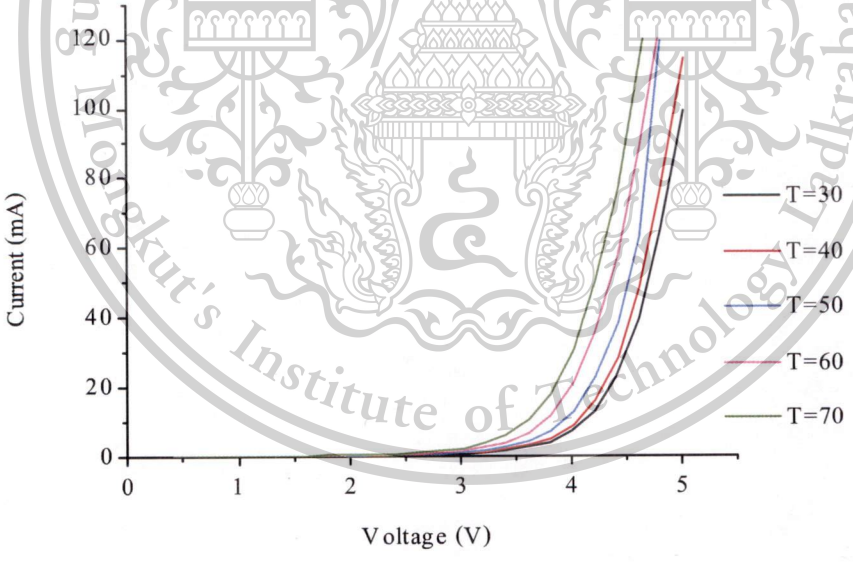
4.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิสูง

ผู้วิจัยได้อาศัยระบบวัดที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2 ในการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์อาทิตย์ชนิดซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวและอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง โดยได้ทำการวัดทั้งในสภาวะมืดและสภาวะที่มีแสง แต่ละเซลล์จะทดลองซ้ำ 3 ครั้งและทำการบันทึกผลเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส

4.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว

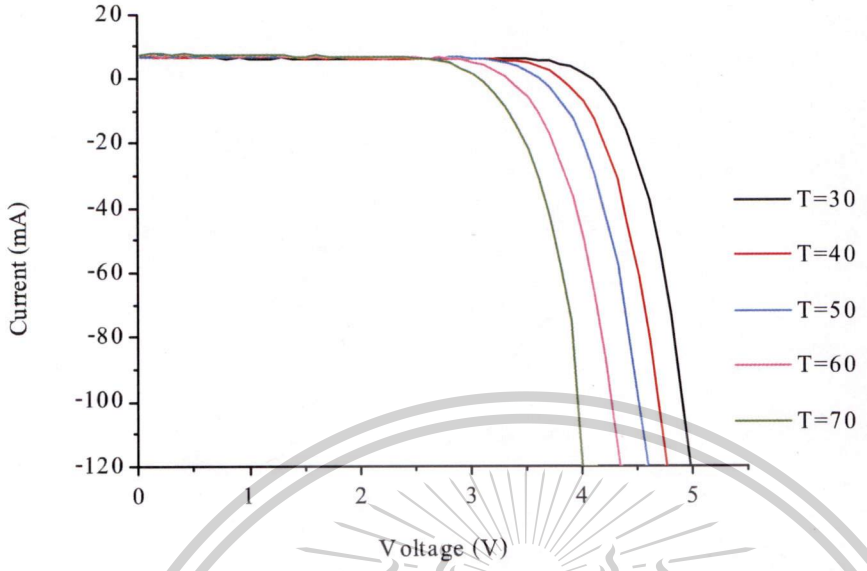
ผลการวัดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืดและสภาวะที่ได้รับแสง แสดงดังภาพที่ 4.1-4.6 ตามลำดับ

ผลการวัดครั้งที่ 1



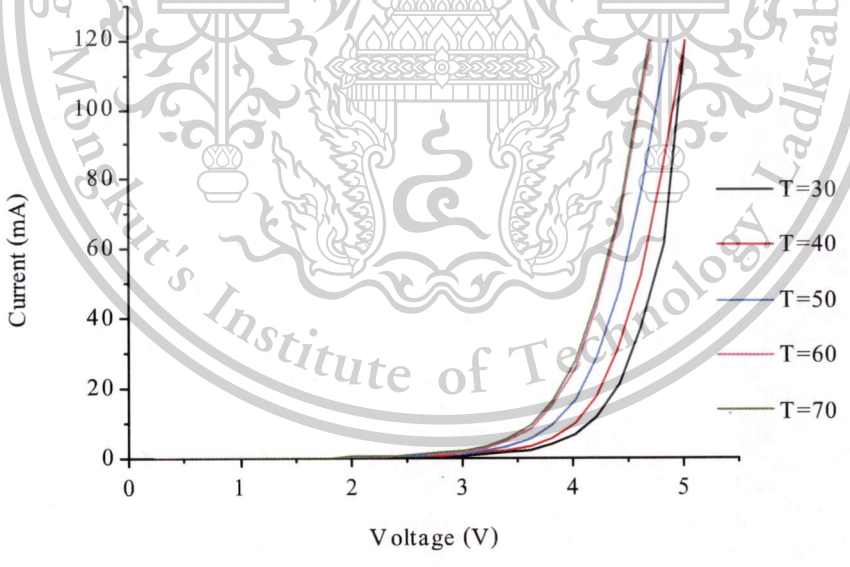
ภาพที่ 4.1 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



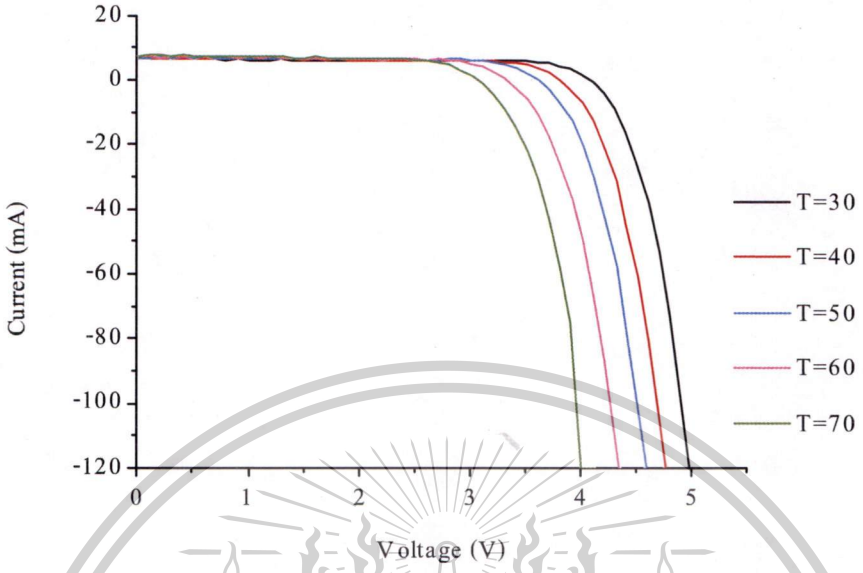
ภาพที่ 4.2 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 1

ผลการวัดครั้งที่ 2



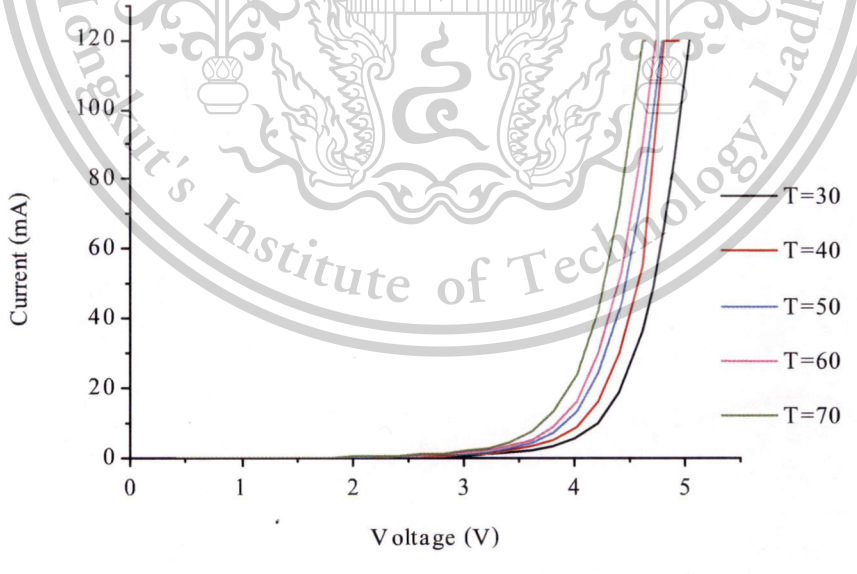
ภาพที่ 4.3 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



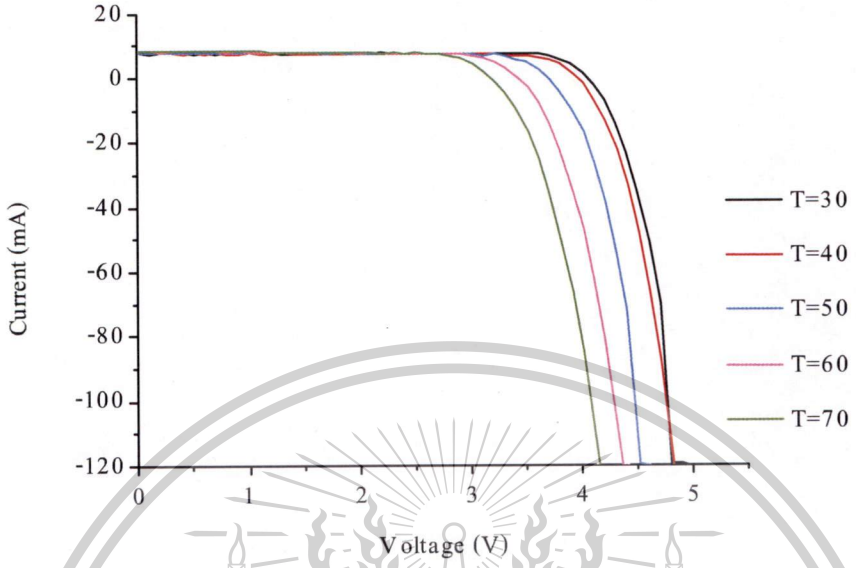
ภาพที่ 4.4 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 2

ผลการวัดครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.5 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



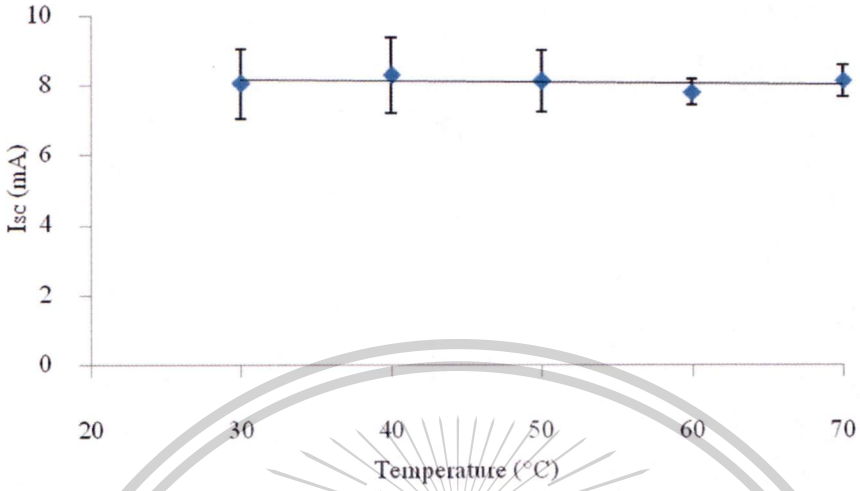
ภาพที่ 4.6 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 3

เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์มาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์ได้แก่ I_0, I_{sc} , V_{oc} , P_{max} , FF , R_{sh} และ R_s ให้ผลตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง

กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (mA)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	6.560	9.920	7.680	8.050	1.710	0.990
40	6.780	10.360	7.740	8.290	1.850	1.070
50	6.880	9.840	7.680	8.130	1.530	0.880
60	7.100	8.160	8.180	7.810	0.620	0.360
70	7.280	8.820	8.310	8.137	0.780	0.450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



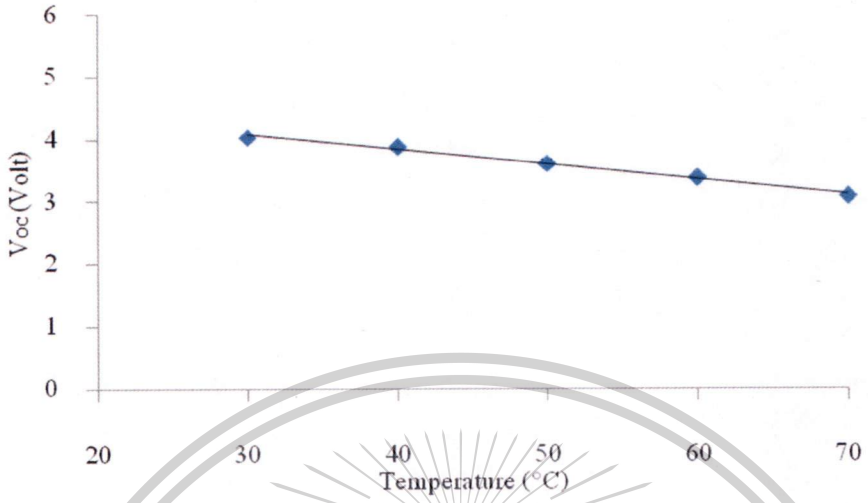
ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับอุณหภูมิดังภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีแนวโน้มแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นอยู่ 1.08%

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Volt)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	4.010	4.110	4.010	4.040	0.057	0.033
40	3.810	3.917	3.911	3.880	0.061	0.035
50	3.513	3.720	3.611	3.614	0.103	0.060
60	3.314	3.412	3.414	3.380	0.057	0.033
70	3.011	3.110	3.112	3.080	0.058	0.033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



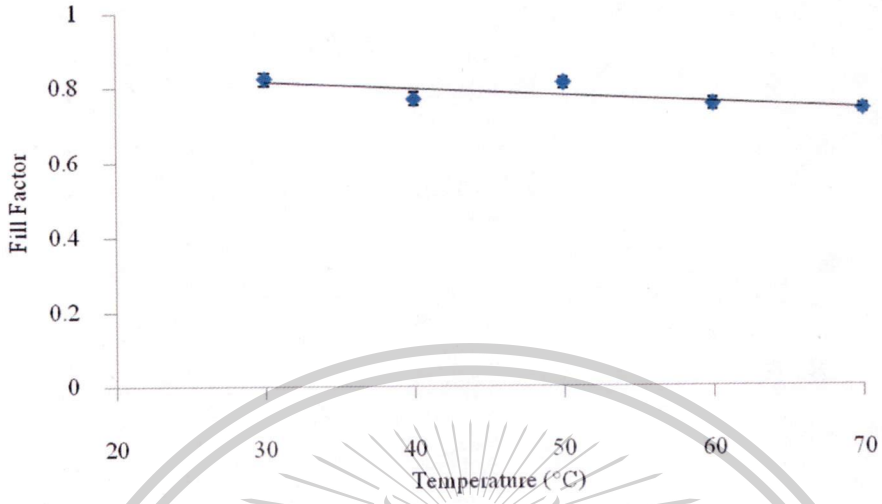
ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับอุณหภูมิดังภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะมีแนวโน้มลดลงแบบเป็นเชิงเส้นซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดลดลงอยู่ที่ 23.76%

ตารางที่ 4.3 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง

ฟิลล์แฟกเตอร์						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	0.790	0.850	0.830	0.823	0.031	0.018
40	0.731	0.783	0.790	0.770	0.032	0.019
50	0.782	0.830	0.823	0.812	0.026	0.015
60	0.733	0.790	0.742	0.754	0.030	0.017
70	0.720	0.740	0.760	0.740	0.020	0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



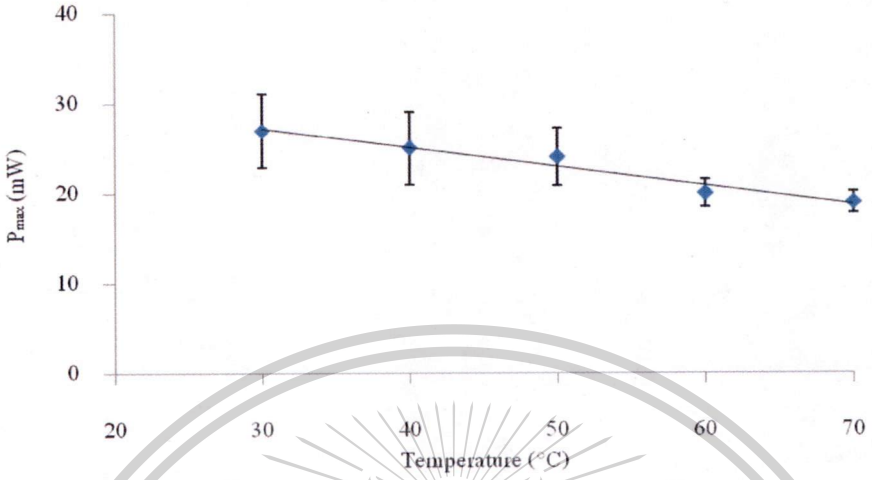
ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่าฟิลล์แฟกเตอร์จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของค่าฟิลล์แฟกเตอร์ลดลงอยู่ 10.09% ทั้งนี้เนื่องจากค่าของฟิลล์แฟกเตอร์แปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (mW)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	21.000	35.000	26.000	27.000	7.100	4.100
40	18.000	32.000	24.000	25.000	7.024	4.060
50	19.000	30.000	23.000	24.000	5.600	3.215
60	17.000	22.000	21.000	20.000	2.650	1.530
70	16.000	20.000	19.000	19.000	2.100	1.200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



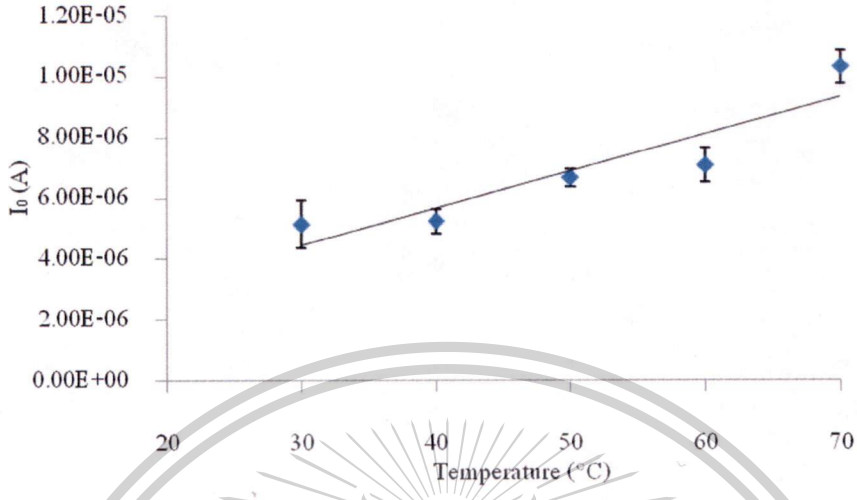
ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลด ลงแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงอยู่ 29.63%

ตารางที่ 4.5 ค่ากระแสย้อนอิ่มตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง

กระแสย้อนอิ่มตัว (A)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	6.65E-06	4.660E-06	4.060E-06	5.120E-06	1.355E-06	7.820E-07
40	4.43E-06	5.710E-06	5.520E-06	5.220E-06	6.905E-07	4.000E-07
50	6.49E-06	6.230E-06	7.220E-06	6.650E-06	5.113E-07	2.950E-07
60	6.96E-06	8.060E-06	6.130E-06	7.050E-06	9.657E-07	5.600E-07
70	1.06E-05	1.100E-05	9.220E-06	1.030E-05	9.469E-07	5.470E-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



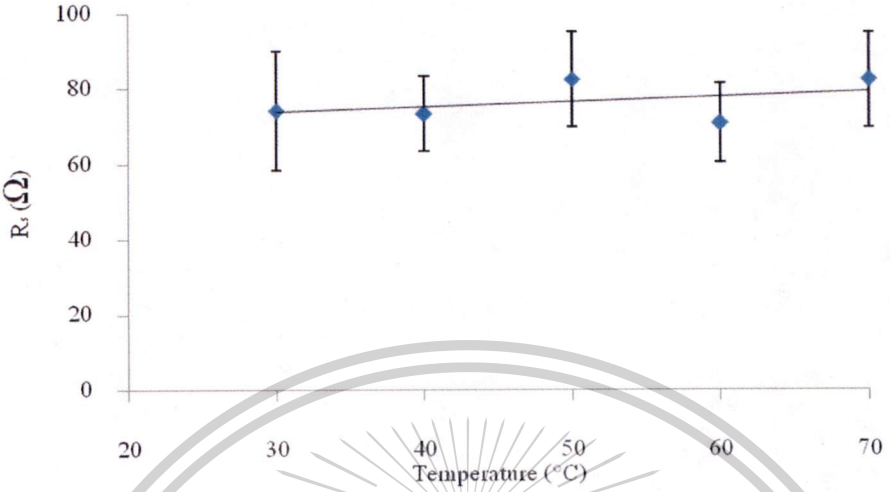
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสย้อนอิ่มตัวกับอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสย้อนอิ่มตัว I_0 และอุณหภูมิดังภาพที่ 4.11 จะเห็นว่าค่ากระแส I_0 จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิของเซลล์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเซลล์จะได้รับพลังงานความร้อน จึงทำให้พาหะหลักบางส่วนมีโอกาสที่จะข้ามกำแพงศักย์ไฟฟ้าได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของกระแสย้อนอิ่มตัวสูงถึง 50.30%

ตารางที่ 4.6 ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง

ความต้านทานอนุกรม (Ω)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	105.822	58.840	57.750	74.140	27.450	15.850
40	93.002	66.086	60.750	73.280	17.300	10.000
50	107.600	69.241	70.341	82.393	21.834	12.610
60	89.890	69.260	53.390	70.844	18.301	10.600
70	106.863	73.880	65.791	82.180	21.760	12.600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



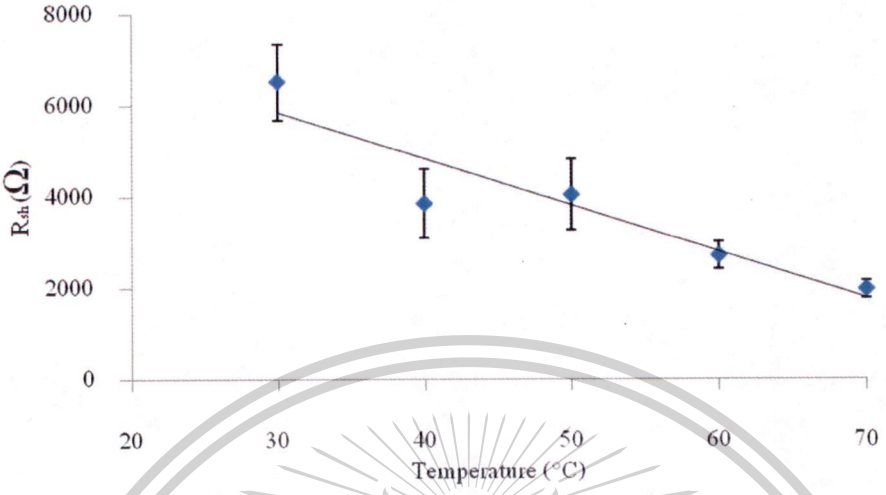
ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับอุณหภูมิ

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานอนุกรม ทำโดยหาค่าความชันของกราฟซึ่งอาศัยหลักการที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.3.6 จากภาพที่ 4.12 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานอนุกรมจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นอยู่ 12.54%

ตารางที่ 4.7 ค่าความต้านทานชันต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิสูง

	ความต้านทานชันต์ (Ω)					
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	5663.800	6526.990	7331.920	6507.600	834.230	481.643
40	3855.942	3084.710	4604.900	3848.520	760.124	438.860
50	4679.020	3174.810	4256.950	4036.924	775.870	447.950
60	3007.610	2704.750	2406.450	2706.270	300.583	173.540
70	2149.110	1762.210	1977.900	1963.100	193.874	111.930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานชันต์กับอุณหภูมิ

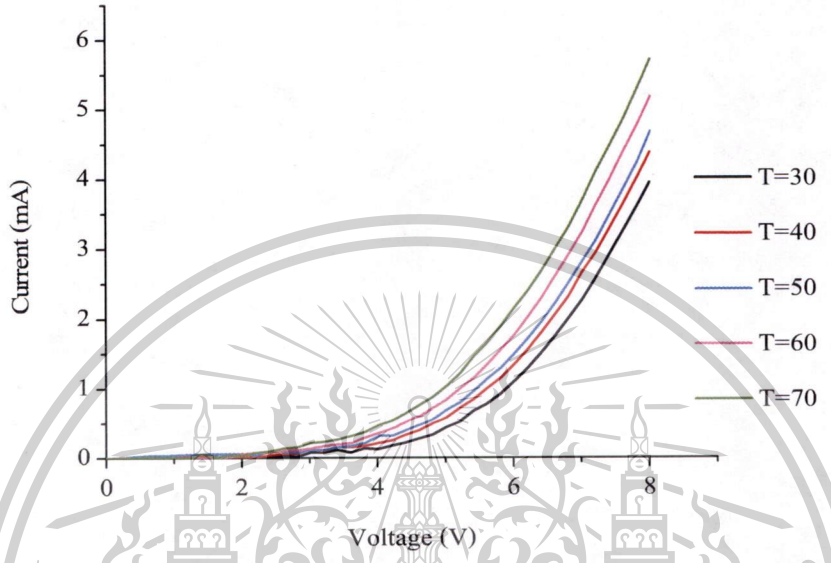
เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานชันต์ โดยอาศัยหลักการที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.3.6 และนำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์กับอุณหภูมิจะให้ผลดังภาพที่ 4.13 จากกราฟจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานชันต์จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของความต้านทานชันต์ลดลงอยู่ 69.83%

4.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัส

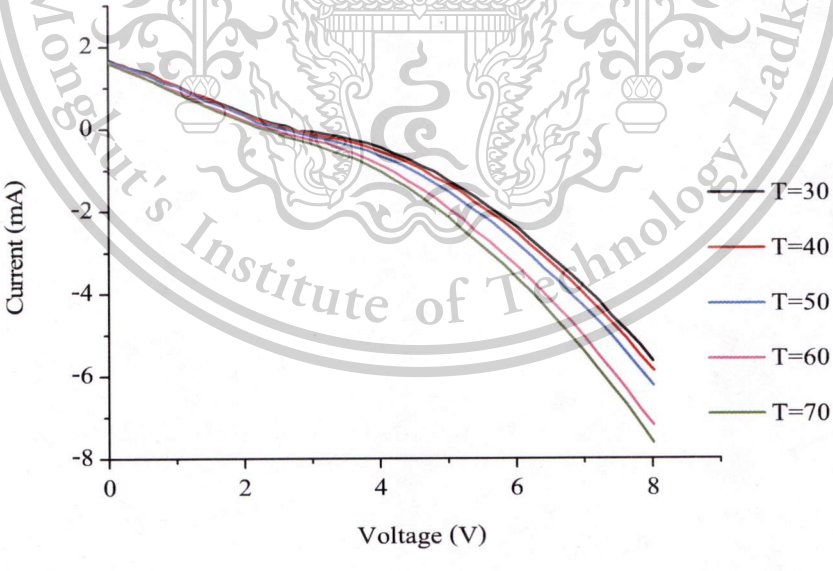
ผลการวัดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะมืดและสภาวะที่ได้รับแสง แสดงดังภาพที่ 4.14-4.19 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการวัดครั้งที่ 1



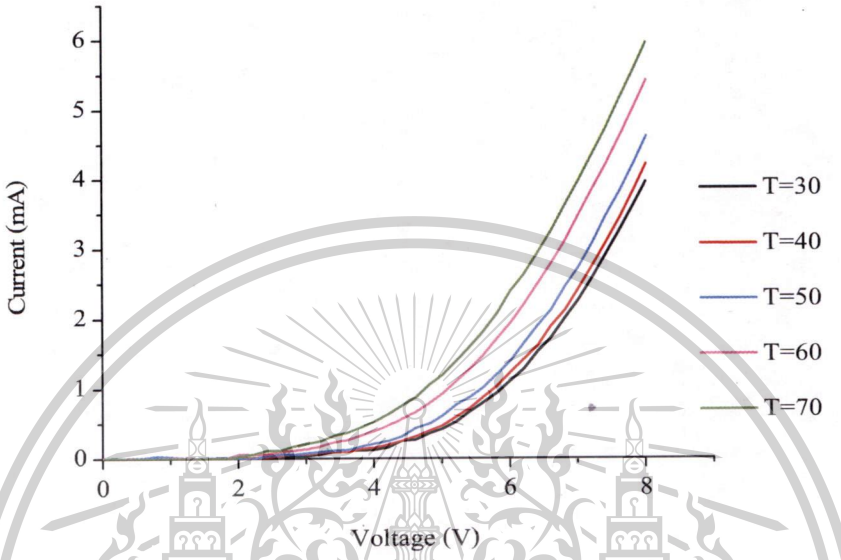
ภาพที่ 4.14 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะมืด ครั้งที่ 1



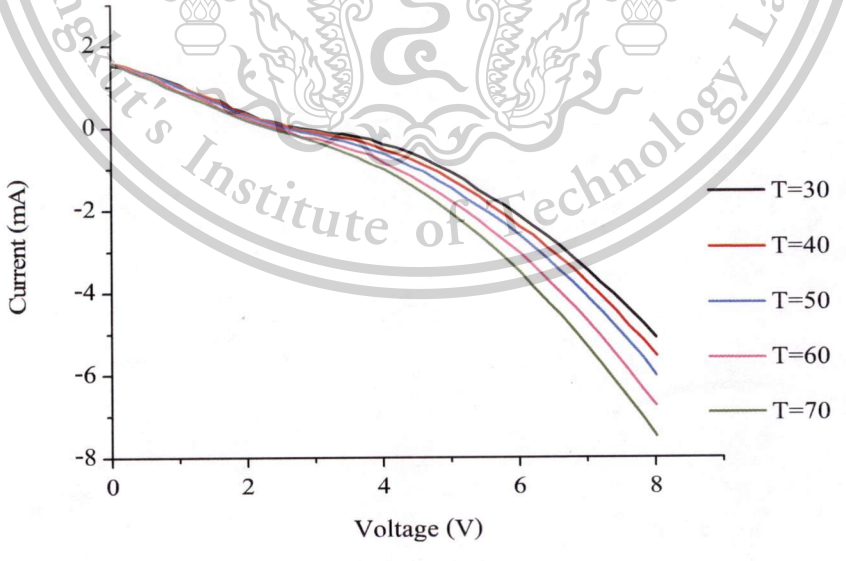
ภาพที่ 4.15 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการวัดครั้งที่ 2



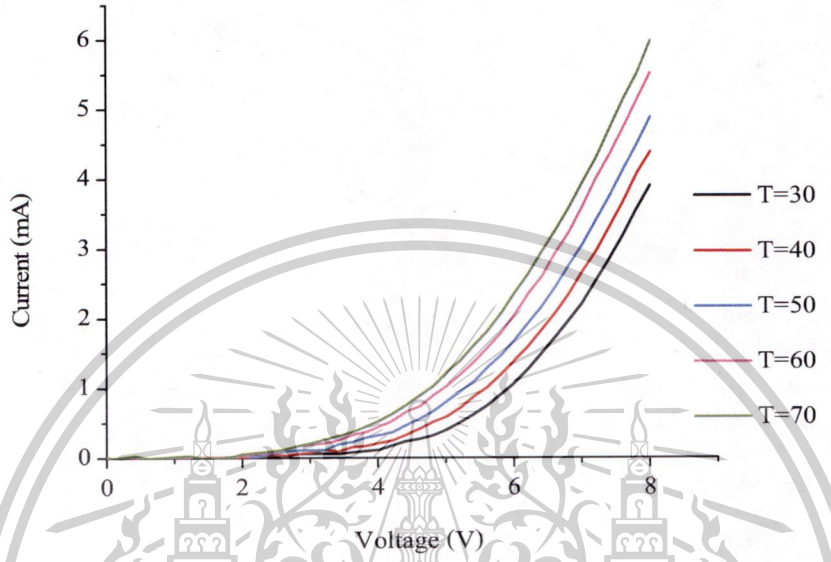
ภาพที่ 4.16 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะมืด ครั้งที่ 2



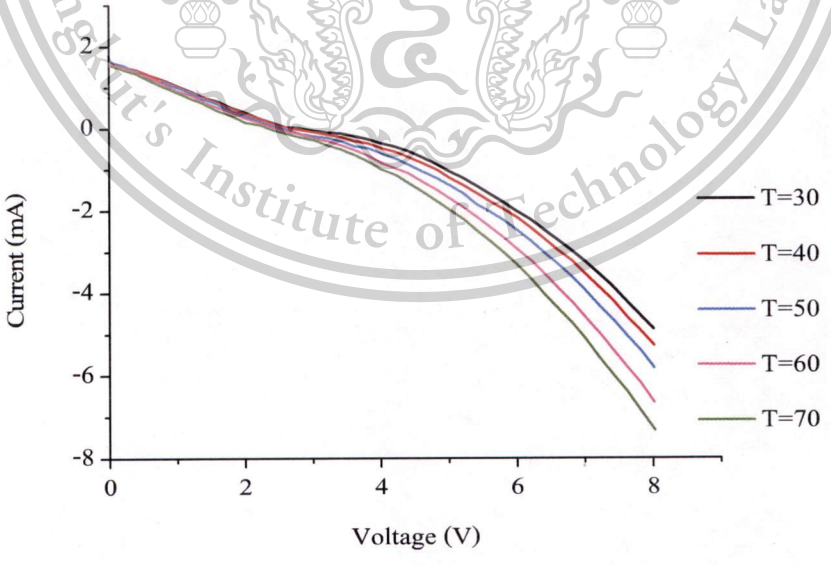
ภาพที่ 4.17 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการวัดครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.18 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะมืด ครั้งที่ 3



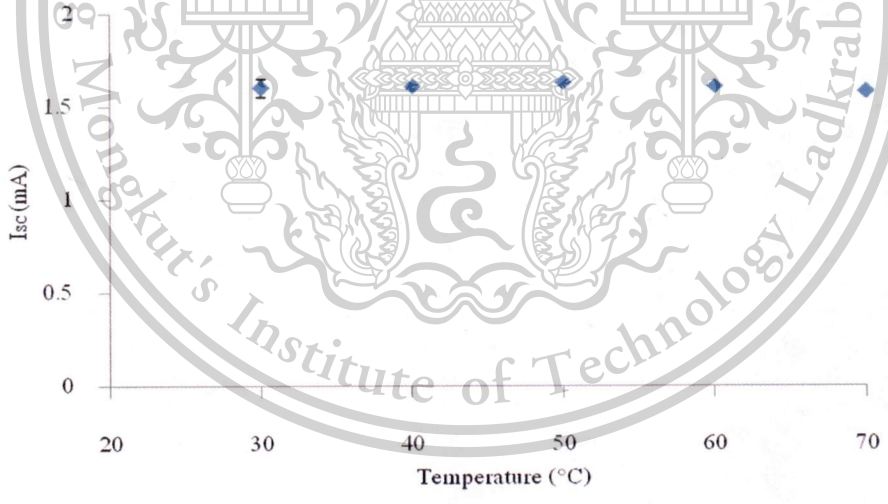
ภาพที่ 4.19 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์มาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์ได้แก่ I_0, I_{sc} , V_{oc} , P_{max} , FF , R_{sh} และ R_s ให้ผลตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง

กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (mA)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	1.680	1.520	1.580	1.600	0.081	0.047
40	1.640	1.600	1.600	1.610	0.023	0.013
50	1.640	1.600	1.640	1.630	0.023	0.013
60	1.620	1.600	1.600	1.610	0.012	0.007
70	1.600	1.580	1.560	1.580	0.020	0.012



ภาพที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับอุณหภูมิ

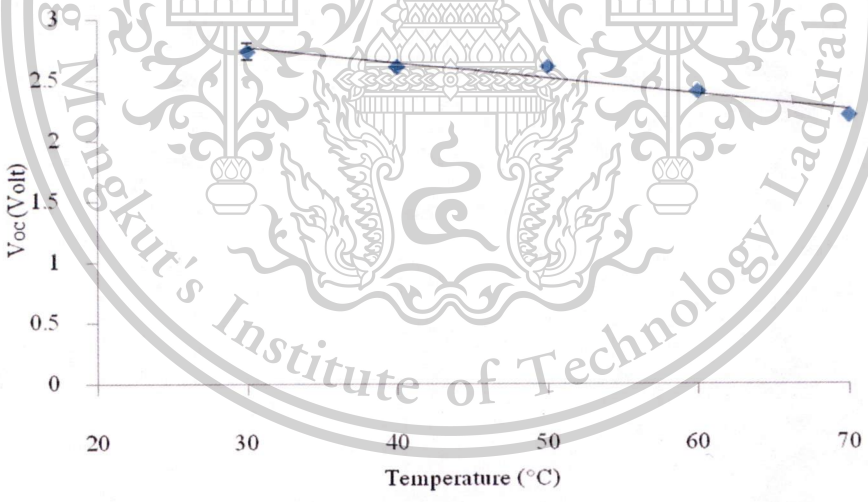
เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร I_{sc} และอุณหภูมิดังภาพที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของเซลล์สูงขึ้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 1.25%

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Volt)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	2.610	2.807	2.807	2.741	0.114	0.066
40	2.607	2.607	2.608	2.607	0.001	0
50	2.610	2.612	2.606	2.610	0.003	0.002
60	2.407	2.407	2.407	2.407	0	0
70	2.207	2.210	2.207	2.208	0.001	0.001



ภาพที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับอุณหภูมิ

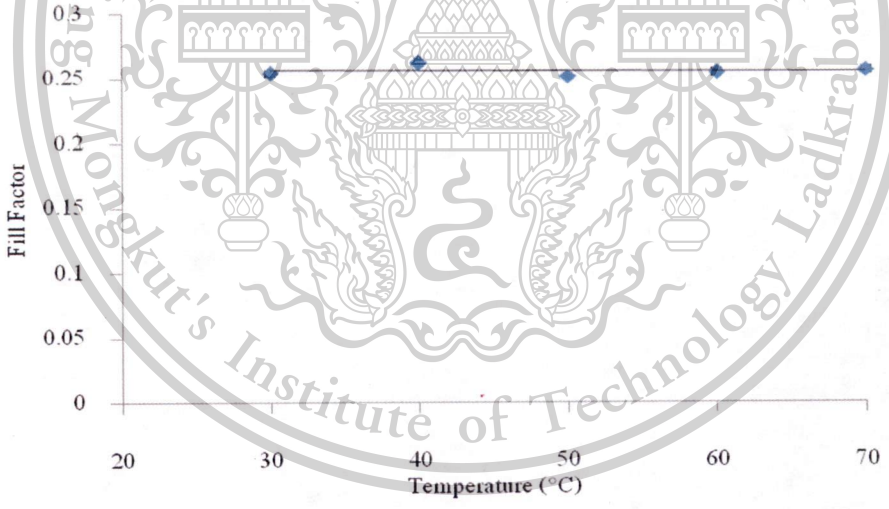
จากภาพที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสจะมีแนวโน้มลดลงแบบเป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดลดลงอยู่ 19.45%

ตารางที่ 4.10 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง

ฟิลล์แฟกเตอร์						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	0.257	0.256	0.250	0.254	0.004	0.002
40	0.263	0.263	0.260	0.262	0.002	0.001
50	0.250	0.254	0.250	0.251	0.003	0.002
60	0.248	0.257	0.257	0.254	0.005	0.003
70	0.253	0.256	0.260	0.256	0.004	0.002



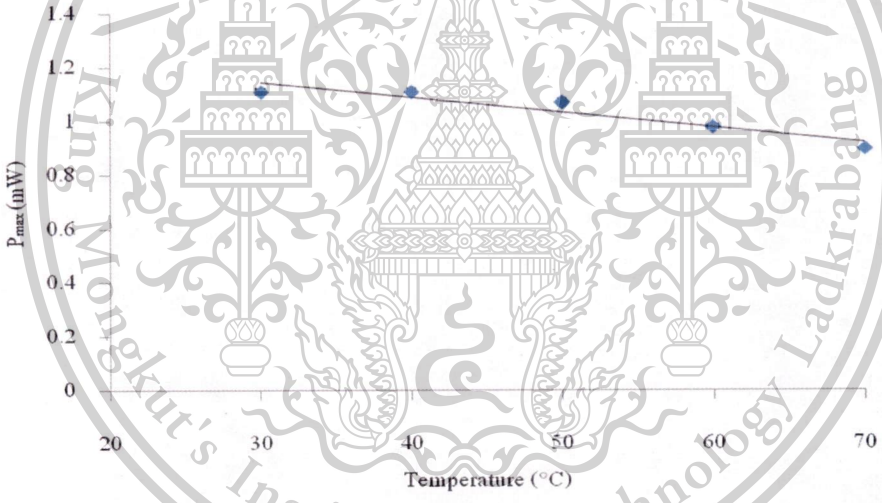
ภาพที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่าของฟิลล์แฟกเตอร์จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลต่างจากเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวที่จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งค่าฟิลล์แฟกเตอร์ที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีค่าต่างกันประมาณ 0.79%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.11 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (mW)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	1.130	1.100	1.100	1.110	0.017	0.010
40	1.130	1.100	1.100	1.110	0.017	0.010
50	1.070	1.100	1.060	1.070	0.021	0.012
60	0.970	1.000	1.000	0.980	0.012	0.007
70	0.900	0.900	0.900	0.900	0	0



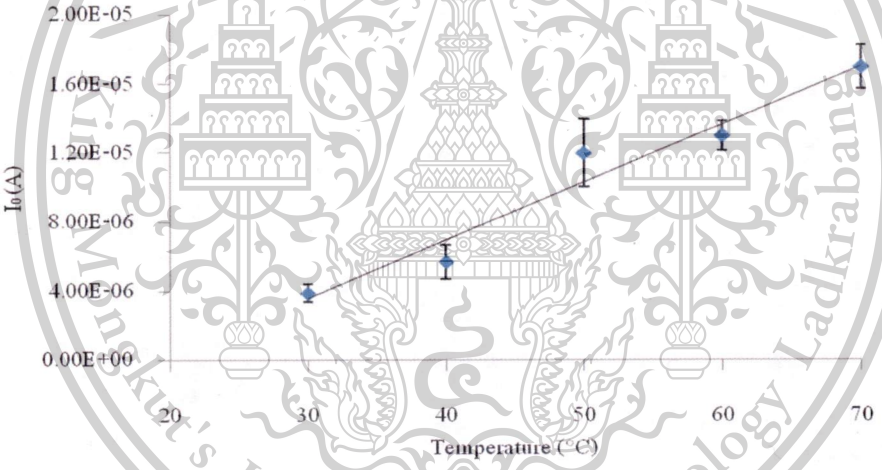
ภาพที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลด ลงแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว และเมื่อเปรียบเทียบค่า P_{max} ที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของค่าประมาณ 18.92%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.12 ค่ากระแสย้อนอิ่มตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง

กระแสย้อนอิ่มตัว (A)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	5.000E-06	3.440E-06	3.400E-06	3.910E-06	9.000E-07	5.200E-07
40	7.280E-06	3.940E-06	5.800E-06	5.700E-06	1.700E-06	9.810E-07
50	1.600E-05	9.500E-06	1.040E-05	1.200E-05	3.410E-06	2.000E-06
60	1.400E-05	1.420E-05	1.140E-05	1.300E-05	1.500E-06	8.700E-07
70	1.480E-05	1.700E-05	1.920E-05	1.700E-05	2.200E-06	1.300E-06



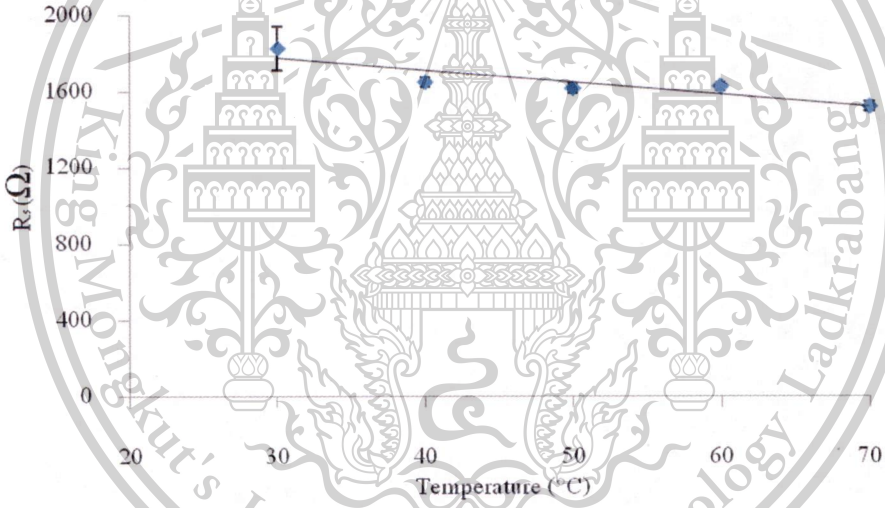
ภาพที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสย้อนอิ่มตัวกับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นค่ากระแสย้อนอิ่มตัวจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว เพราะจากทฤษฎีตามสมการที่ (2.3) จะเห็นได้ว่าค่ากระแสย้อนอิ่มตัวจะแปรผกผันกับค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นค่ากระแสย้อนอิ่มตัวจะมีค่ามากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งเปรียบ เทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของกระแสย้อนอิ่มตัวเพิ่มขึ้นอยู่ 77%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.13 ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง

ความต้านทานอนุกรม (Ω)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	1668.310	2047.292	1766.410	1827.340	196.702	113.600
40	1605.652	1690.674	1650.400	1648.900	42.530	24.600
50	1566.500	1652.780	1628.850	1616.041	44.600	25.750
60	1612.700	1591.600	1664.724	1623.000	37.653	21.740
70	1474.200	1518.900	1564.020	1519.030	44.920	26.000



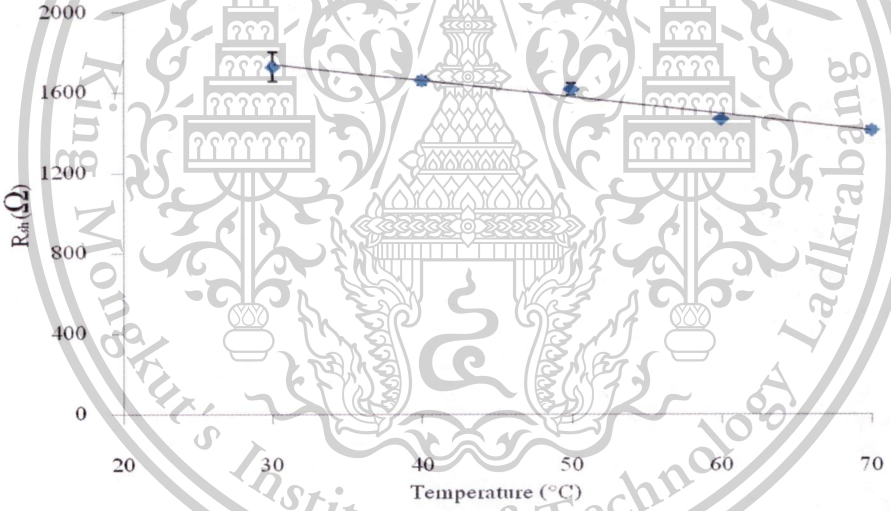
ภาพที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับอุณหภูมิ

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานอนุกรม ทำโดยหาค่าความชันของกราฟซึ่งอาศัยหลักการที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.3.6 และนำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์กับอุณหภูมิจะให้ผลดังภาพที่ 4.25 จากกราฟจะเห็นว่าค่าความต้านทานอนุกรมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงแบบเป็นเชิงเส้น และเมื่อเปรียบเทียบค่า Rs ที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของค่าประมาณ 16.86%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.14 ค่าความต้านทานซันต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดอะมอร์ฟัสภายใต้อุณหภูมิสูง

ความต้านทานซันต์ (Ω)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
30	1591.600	1755.834	1849.660	1732.400	130.640	75.430
40	1619.200	1674.710	1693.300	1662.400	38.600	22.300
50	1645.700	1651.910	1559.800	1619.120	51.500	30.000
60	1459.920	1473.150	1480.823	1471.300	10.600	6.200
70	1390.100	1418.600	1439.000	1415.900	24.600	14.200



ภาพที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานซันต์กับอุณหภูมิ

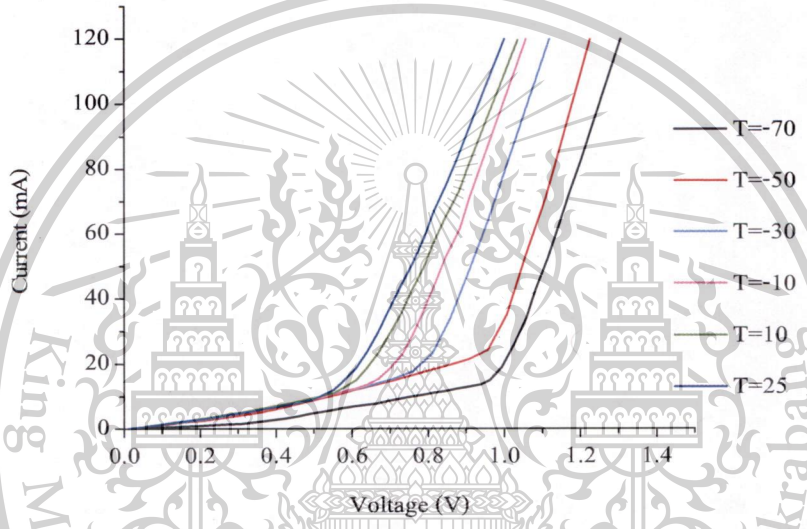
เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานซันต์ โดยอาศัยหลักการที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.3.6 และนำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์กับอุณหภูมิจะให้ผลดังภาพที่ 4.26 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานซันต์จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของความต้านทานซันต์ลดลงอยู่ 18.27%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

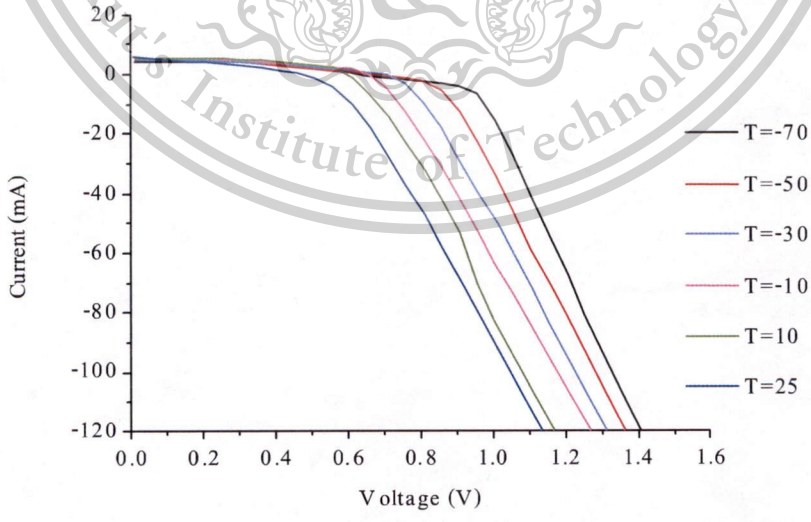
4.2 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าภายใต้อุณหภูมิต่ำ

ผู้วิจัยได้ทำการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์อาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำโดยอาศัยระบบวัดที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2 โดยได้ทำการวัดทั้งในสภาวะมืดและสภาวะที่มีแสง แต่ละเซลล์จะทดลองซ้ำ 3 ครั้งและทำการบันทึกผลเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ผลการวัดแสดงดังภาพที่ 4.27-4.32

ผลการวัดครั้งที่ 1



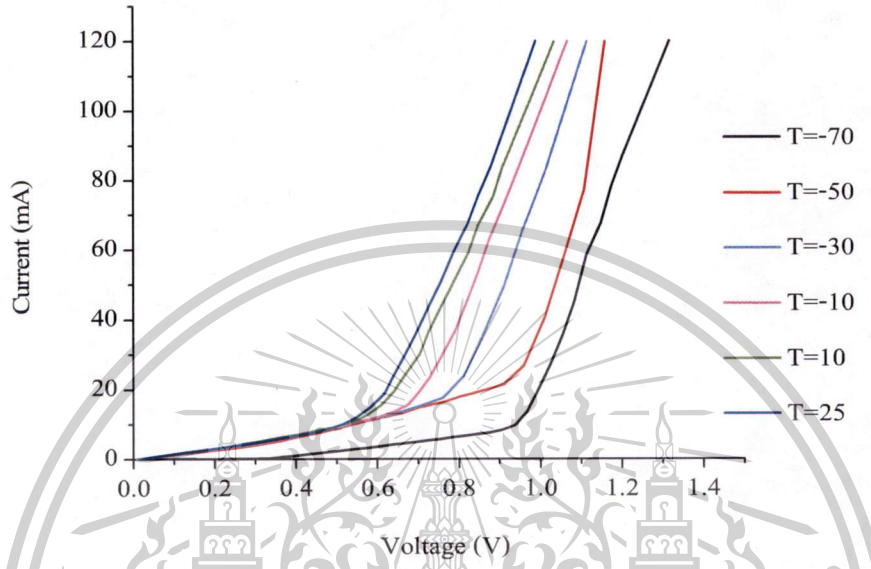
ภาพที่ 4.27 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 1



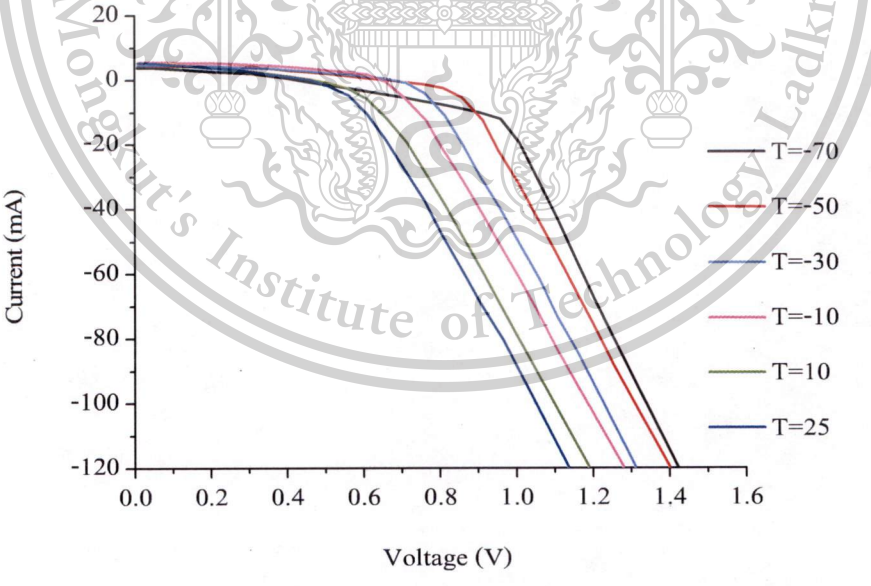
ภาพที่ 4.28 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการวัดครั้งที่ 2



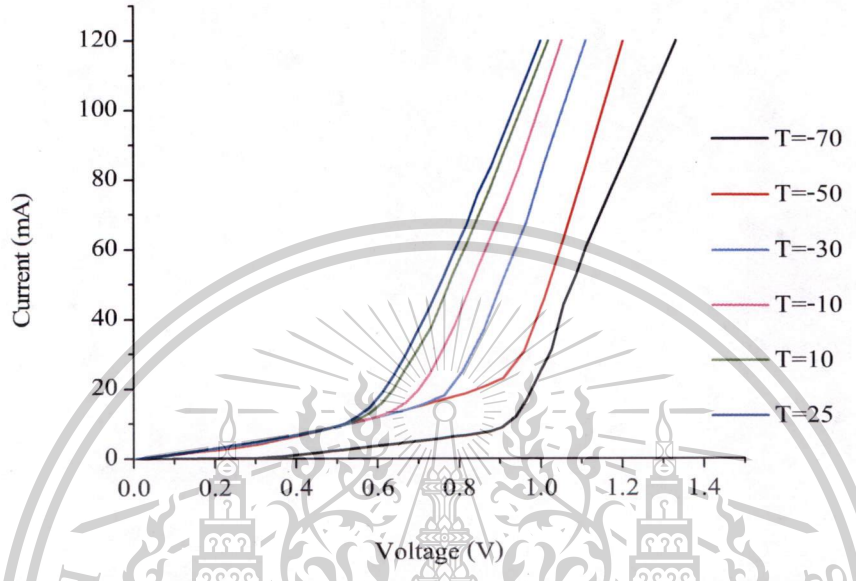
ภาพที่ 4.29 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 2



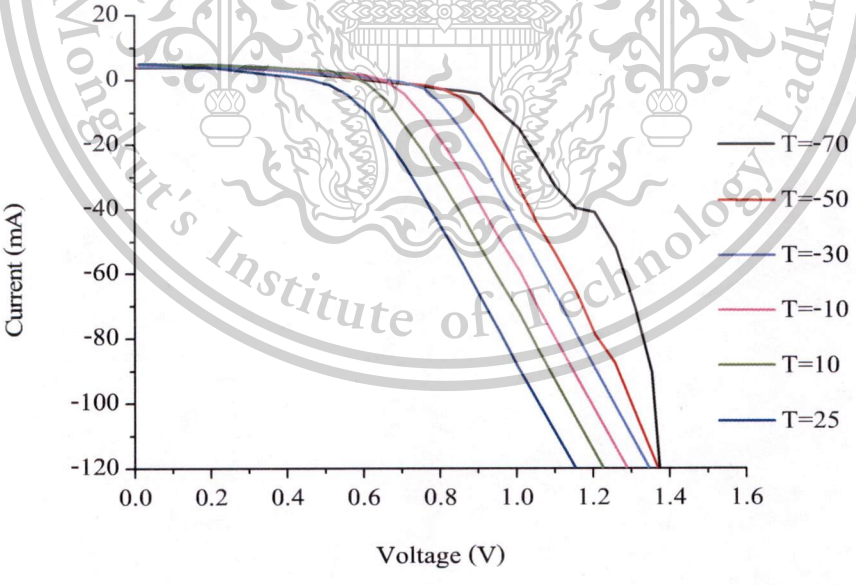
ภาพที่ 4.30 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการวัดครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.31 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะมืด ครั้งที่ 3



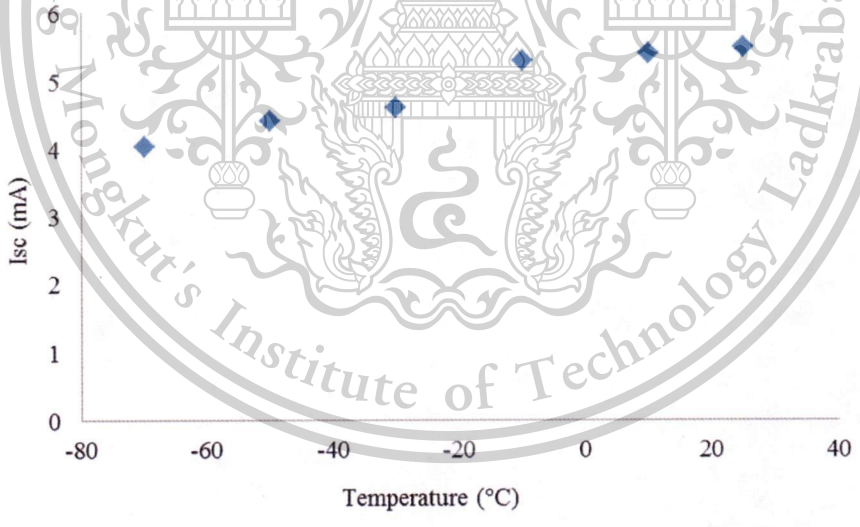
ภาพที่ 4.32 กราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวในสภาวะที่มีแสง ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์มาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่ I_{sc} , V_{oc} , P_{max} , FF , R_{sh} และ R_s จะให้ผลตาราง 4.15-4.20

ตารางที่ 4.15 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ

กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (mA)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
25	5.800	5.500	5.120	5.500	0.330	0.200
10	5.620	5.400	5.110	5.400	0.260	0.150
-10	5.300	5.440	5.110	5.300	0.170	0.100
-30	4.900	4.720	4.200	4.600	0.350	0.202
-50	4.580	4.500	4.140	4.400	0.230	0.133
-70	4.260	3.900	4.000	4.040	0.200	0.120



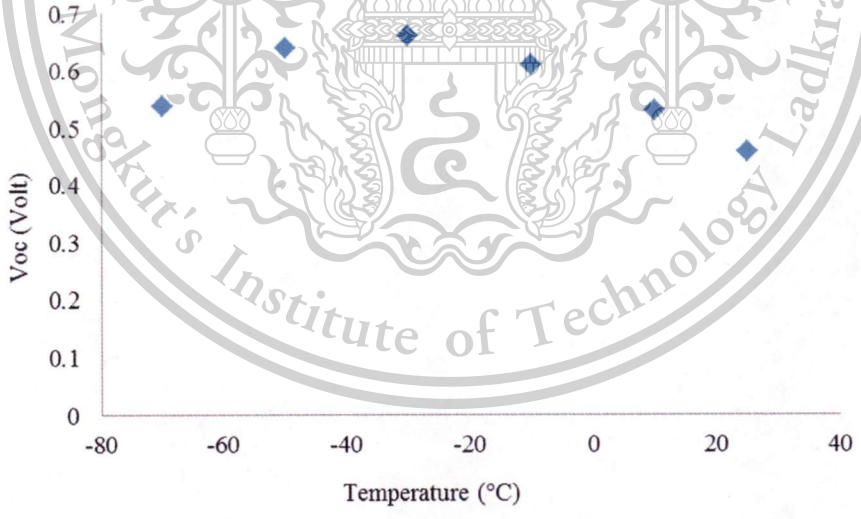
ภาพที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรก็มีค่าลดลงแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 25 และ -70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงอยู่ 46.61%

ตารางที่ 4.16 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Volt)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
25	0.460	0.460	0.460	0.460	0	0
10	0.560	0.460	0.562	0.530	0.060	0.035
-10	0.610	0.610	0.610	0.610	0.002	0.001
-30	0.660	0.660	0.660	0.660	0	0
-50	0.660	0.660	0.610	0.640	0.030	0.020
-70	0.610	0.404	0.610	0.540	0.120	0.070



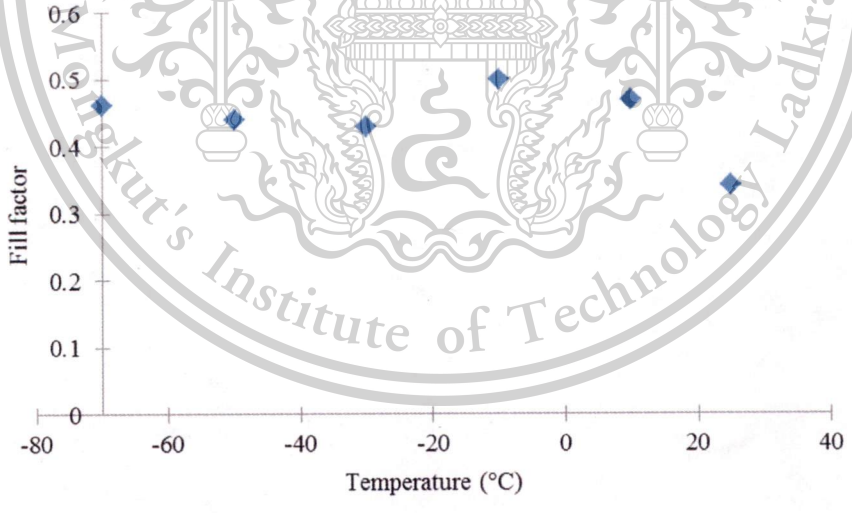
ภาพที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียส ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 25 และ -70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเพิ่มขึ้นอยู่ 17.40%

ตารางที่ 4.17 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ

ฟิลล์แฟกเตอร์						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
25	0.340	0.350	0.341	0.342	0.006	0.003
10	0.550	0.333	0.533	0.470	0.120	0.070
-10	0.530	0.510	0.460	0.500	0.035	0.021
-30	0.451	0.420	0.422	0.430	0.020	0.012
-50	0.443	0.430	0.455	0.441	0.013	0.007
-70	0.504	0.405	0.480	0.462	0.051	0.030



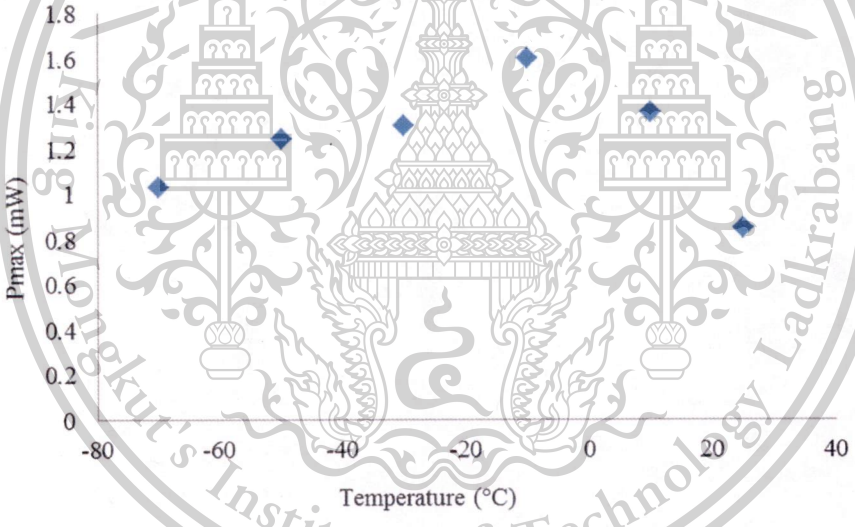
ภาพที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.35 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิลดลง ค่าฟิลล์แฟกเตอร์จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 25 และ -70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของฟิลล์แฟกเตอร์เพิ่มขึ้นอยู่ 35.10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.18 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (mW)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
25	0.900	0.880	0.800	0.850	0.053	0.031
10	1.710	0.820	1.530	1.360	0.470	0.271
-10	1.700	1.700	1.430	1.600	0.156	0.100
-30	1.440	1.300	1.160	1.300	0.140	0.080
-50	1.330	1.250	1.140	1.240	0.095	0.055
-70	1.300	0.630	1.150	1.030	0.351	0.203



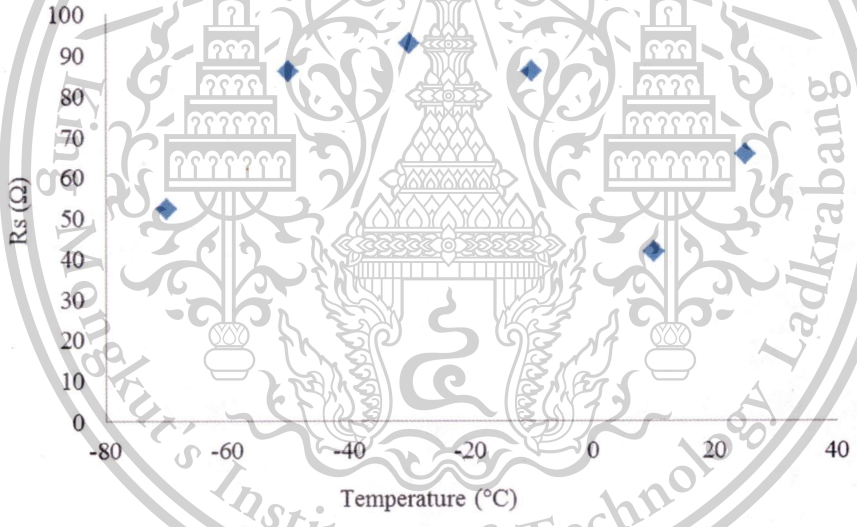
ภาพที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.36 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดก็เหมือนจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยใน ช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง -10 °C และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า -10 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.19 ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ

ความต้านทานอนุกรม (Ω)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
25	67.950	62.100	66.700	65.560	3.100	1.800
10	65.970	57.910	0.910	41.600	35.500	20.500
-10	87.260	83.770	87.100	86.040	2.000	1.200
-30	87.414	93.703	96.800	92.631	4.800	2.800
-50	82.980	85.883	88.600	85.812	2.800	1.620
-70	79.460	0.890	75.720	52.023	44.320	25.600



ภาพที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับอุณหภูมิ

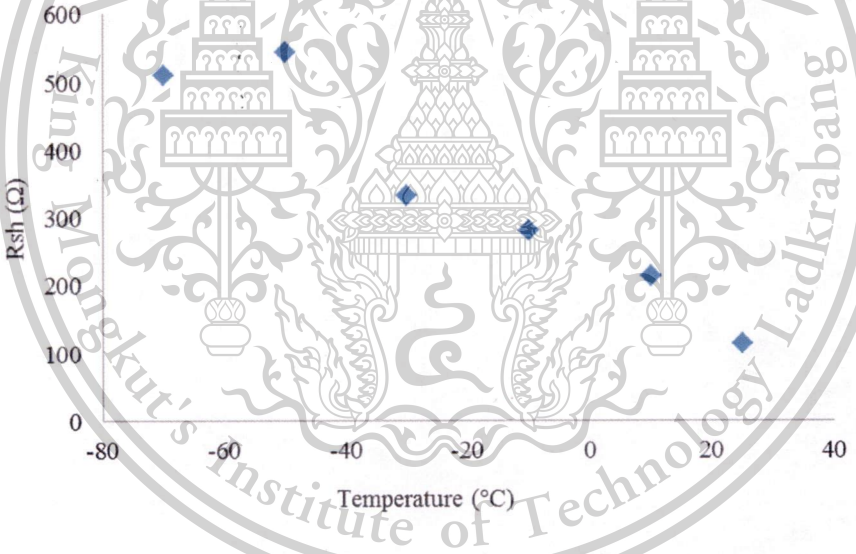
จาก

ภาพที่ 4.37 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงค่าความต้านทานอนุกรมจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงกว่า -30 องศาเซลเซียสจึงมีค่าลดลง ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 25 และ -70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นอยู่ 20.65%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.20 ค่าความต้านทานชันต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ

ความต้านทานชันต์ (Ω)						
อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Error
25	108.940	111.700	121.920	114.200	6.840	4.000
10	286.140	104.610	250.300	213.680	96.150	55.500
-10	243.320	361.000	239.260	281.200	69.144	40.000
-30	276.560	319.700	401.250	332.500	63.323	36.600
-50	451.900	803.700	374.500	543.400	228.753	132.100
-70	661.440	155.010	715.300	510.600	309.110	178.500



ภาพที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานชันต์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4.38 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงค่าความต้านทานชันต์จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 25 และ -70 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างของความต้านทานชันต์เพิ่มขึ้นอยู่ 77.64%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

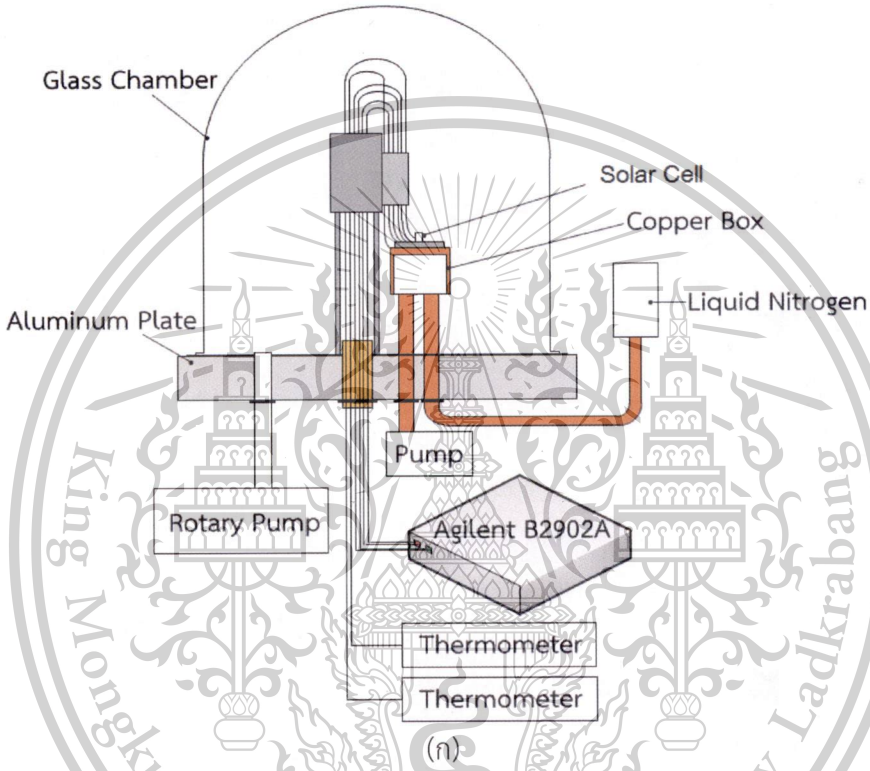
งานวิจัยนี้ได้ทดลองศึกษาสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวและอะมอร์ฟัสในช่วงอุณหภูมิ -70 ถึง 70 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยได้จัดเตรียมระบบที่สามารถใช้ทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว และทำการวัดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าทั้งในสภาวะที่เซลล์ไม่ได้รับแสงและในสภาวะที่เซลล์ได้รับการฉายแสงในย่านอุณหภูมิดังกล่าว และนำผลการวัดมาวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆที่สำคัญของเซลล์ คือค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ค่าฟิลแฟกเตอร์ ค่ากระแสย้อนอิ่มตัว ค่าความต้านทานอนุกรม และค่าความต้านทานชันท์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสมบัติของเซลล์ทั้งสองชนิดกว่าวคือจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ทั้งสองชนิดลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรลดลงประมาณ 23.8% และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรลดลงประมาณ 19.5 % เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ 30 และ 70 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรในช่วงอุณหภูมินี้พบว่าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยสำหรับเซลล์ทั้งสองประเภท คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.1% และ 1.3% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวและอะมอร์ฟัสตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิยังส่งผลให้ค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องค่าความต้านทานภายในสิ่งประดิษฐ์มีค่าเปลี่ยนแปลง โดยค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจะมีค่าลดลงสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยวภายใต้อุณหภูมิต่ำ โดยทำการศึกษาในช่วง 30 ถึง -70 องศาเซลเซียส ผลการวัดแสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่ากระแสสูงถึง 46.6% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ 30 และ -70 องศาเซลเซียส สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียสจึงมีค่าลดต่ำลง และเมื่อพิจารณาค่าฟิลแฟกเตอร์ยังพบว่ามีค่าแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามระบบวัดที่ถูกจัดเตรียมนี้ยังไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้กับเซลล์ได้อย่างต่อเนื่องจาก -70 ถึง 70 องศาเซลเซียส กล่าวคือหากต้องการวัดภายใต้อุณหภูมิสูงจะต้องนำเซลล์ที่ต้องการทดสอบไปติดตั้งในระบบหนึ่ง และหากต้องการวัดภายใต้อุณหภูมิต่ำจะต้องนำเซลล์ที่ต้องการทดสอบไปติดตั้งในอีกระบบหนึ่ง ดังนั้นผลการวัดที่ได้ทั้ง 2 เงื่อนไขจึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกันได้ ดังนั้นหากต้องการเปรียบเทียบผลตลอดทั้งช่วงอุณหภูมิ จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบให้สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้กับเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง

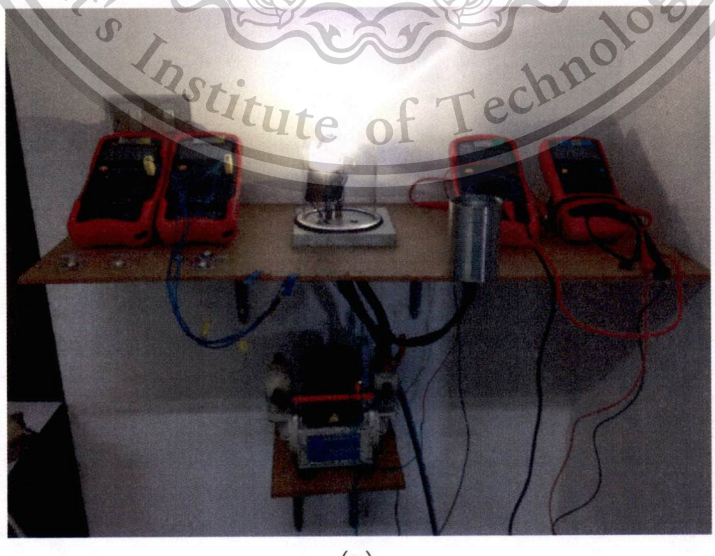
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ ระบบสำหรับทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเปลี่ยนอุณหภูมิได้ในช่วง -70 ถึง 70 องศาเซลเซียส ปัจจุบันระบบที่จัดเตรียมนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ระดับชั้นปีที่ 3 ของนักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.



(ก)



(ข)

ภาพที่ 6.1 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้าของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (ก) ไดอะแกรม (ข) ระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

1. P. Singha, S.N. Singha, M. Lalal, M. Husainb (2008). Temperature dependence of I–V characteristics and performance parameters of silicon solar cell. **Solar Energy Materials and Solar Cells. vol. 92,** 1611–1616.
2. P. Singh and N.M. Ravindra (2012). Temperature dependence of solar cell performance—an analysis. **Solar Energy Materials and Solar Cells. vol. 101,** 36–45.
3. S. Dubey, J. Narotam Sarvaiya, B. Seshadri (2013). Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. **Energy Procedia. vol. 33,** 311-321.
4. T. Markvart (2000). **Solar Electricity (2nd ed).** Chichester. John Wiley & Sons, Ltd.
5. Paul A. Lynn (2010). **Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics.** Chichester. John Wiley & Sons, Ltd.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รหัสโครงการ/รหัสสัญญา 25260205040

แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1 รอบ 6 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2556

☐ แหล่งงบประมาณแผนดิน (แบบปกติ) ✓ แหล่งเงินรายได้ (ประเภทส่งเสริมนักวิจัย)

ชื่อโครงการ(ภาษาไทย) การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์

(ภาษาอังกฤษ) The study of temperature effect on solar cell performance

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2556

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 50,000.- บาท 100 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 22 ตุลาคม 2555

งวดที่ 2 ..... บาท ..... % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) .....

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย	5,000.00.-	10,000.00.-	(-5,000.00.-)
ค่าวัสดุ	45,000.00.-	34,746.77.-	10,253.23.-
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	50,000.00.-	44,746.77.-	5,253.23.-

ภัทรียา กิตติเดชาชาญ

(ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

...../...../.....

(นางพูลทรัพย์ วิสัยเกษม)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน

1 / ต.ค. / 56

หมายเหตุ: นักวิจัยหรือเจ้าหน้าการเงินสามารถปรับหรือเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมข้อความได้ตามความเหมาะสมและสอดคล้องกับการดำเนินงาน อาทิเช่น นักวิจัยอยู่ระหว่างการดำเนินการเคลียร์ด้านเอกสารทางการเงิน หรือข้อความอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางภัทรียา ดำรงศักดิ์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	ฟิสิกส์	สจล.	2540
วท.ม.	ฟิสิกส์ประยุกต์	สจล.	2545
PhD.	Engineering materials	University of Southampton	2550

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ Fluorescent spectroscopy, Semiconductor device characterization

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2556	Best Poster Presentation Award	Thai Physics Society

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2545-2550	ทุนพัฒนาอาจารย์	ทบวงมหาวิทยาลัย (สกอ.)
2555	ทุนส่งเสริมนักวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
2556	ทุนส่งเสริมนักวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
2557	ทุนส่งเสริมนักวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

Pattareeya Kittidachachan, Wichayaporn Soonpanich, Badin Damrongsak, Improved Light Harvesting in N719 Sensitized Nanocrystalline TiO_2Solar Cells with Coumarin 6 Dye, Energy Procedia, 152–156, 2014.

S. Rujihan, **P. Kittidachachan,** and B. Damrongsak, Prototype Microfluidic System for Fluorescence-based Chemical Sensing, Proceeding of Siam Physics Congress 2013, March21-23, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

S. Rujihan, **P. Kittidachachan,** and B. Damrongsak, Low-cost Fabrication of Masters for Plastic-Based Microfluidic Devices, Thai Journal of Physics, Series 8, 2012.

W. Soonpanich, U. Asawapirom, A. Keawprajak, and **P. Kittidachachan**, Spectral Down-Conversion for Dye Sensitized Solar Cells using Coumarin 6, Thai Journal of Physics, Series 8, 2012.

T. Kaewon, A. Chomna, P. Saowaros, P. Khunrungrueng, **P. Kittidachachan**, T. Taoladda, and B. Damrongsak, Development of Optical Beam Deflection Detection System for Microcantilever-Based Sensors, Thai Journal of Physics, Series 8, 2012.

วิชญาพร สูญพานิช, **ภัทรียา กิตติเดชาชาญ**, อุดม อัศวาภิรมย์ การศึกษาผลการใช้ฟิล์มบางลูมิเนสเซนต์ต่อการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์, Proceeding of the 7th Conference on Energy Network of Thailand, 557-561, 3-5 พฤษภาคม 2554.

W. Soonpanich, U. Asawapirom, and **P. Kittidachachan**, Development of luminescence multilayer films for photovoltaic application, Thai Journal of Physics, Series 7, 2011.

วิชญาพร สูญพานิช, สุกฤต สมุทระกพงศ์, **ภัทรียา กิตติเดชาชาญ** การศึกษาการรวมแสงของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์ นำเสนอในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, 5-7 พฤษภาคม 2553

P. Kittidachachan, B. Damrongsak, Low cost spectral response measurement system using high power LEDs, Thai Journal of Physics, Series 6, 2010.

P. Kittidachachan and W. Thowladda. Use of organic dyes to modify solar spectrum, Proceeding of the 6th International Conference on Advanced Materials, 138-143, 2009.

P. Kittidachachan, T. Markvart, D.M. Bagnall, R. Greef, and G.J. Ensell. A detailed study of pn junction solar cells by means of collection efficiency. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2007; 91: 160–166. มี impact factor 2.321

P. Kittidachachan, L. Danos, T.J.J. Meyer, N. Alderman, and T. Markvart. Photon collection efficiency of fluorescent solar collectors. CHIMIA 2007; 61: 780-786.

P. Kittidachachan, T. Markvart, G.J. Ensell, R. Greef, and D.M. Bagnall. An analysis of a 'dead layer' in the emitter of $n^+/p/p^+$ solar cells. In Conference Record of the 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pages 1103–1106, Orlando, Florida, USA, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

T. Markvart, L. Danos, **P. Kittidachachan**, and R. Greef. Detailed balance efficiency of ideal single-stage fluorescent collectors. In 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pages 171–174, Barcelona, Spain, 2005.

P. Kittidachachan, L. Danos, R. Greef, T.J.J. Meyer, N. Alderman, and T. Markvart. Characterisation of fluorescent collectors in terms of spectral photon collection efficiency. In 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 2007.

P. Kittidachachan, N. Sangkeaw, A. Wichianchai. Barrier Heigth of Metel-Semiconductor Contacts Measurement System. In 27th Congress on Sciences and Technology of Thailand, Prince of Songkla University, 16-18 October 2001.

การเสนอผลงานวิชาการ

วิชญาพร สูญพานิช, สุกฤต สมุทระกพงศ์, ภัทรียา กิตติเดชาชาญ การศึกษาการรวมแสงของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์ นำเสนอในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, 5-7 พฤษภาคม 2553

P. Kittidachachan and W. Thowladda. Use of organic dyes to modify solar spectrum, Proceeding of the 6th International Conference on Advanced Materials, 138-143, 2009.

P. Kittidachachan, T. Markvart, G.J. Ensell, R. Greef, and D.M. Bagnall. An analysis of a 'dead layer' in the emitter of $n^+/p/p^+$ solar cells. In Conference Record of the 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pages 1103–1106, Orlando, Florida, USA, 2005.

P. Kittidachachan, L. Danos, R. Greef, T.J.J. Meyer, N. Alderman, and T. Markvart. Characterisation of fluorescent collectors in terms of spectral photon collection efficiency. In 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 2007.

P. Kittidachachan, N. Sangkeaw, A. Wichianchai. Barrier Heigth of Metel-Semiconductor Contacts Measurement System. In 27th Congress on Sciences and Technology of Thailand, Prince of Songkla University, 16-18 October 2001.

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

P.Kittidachachan, T. Markvart and L. Danos, Solar Cell Assembly, *International PCT* Patent, Patent number WO2011/042708, April 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.