

การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
ระบบ ZnO-N719

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ZnO-N719 BASED
DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS

นางสาวงามจิต มงคลธนานนท์

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาค้นคว้าหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
ระบบ ZnO-N719

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ZnO-N719 BASED
DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS

นางสาวงามจิต มงคลชนานนท์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ZnO-N719 BASED
DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS**

Miss. NGARMJIT MONGKONTHANANONT

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

**IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

หัวข้อโครงการพิเศษ

การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด
สีย้อมไวแสงระบบ ZnO-N719

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF
ZnO-N719 BASED DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS

ชื่อนักศึกษา

นางสาวงามจิต มงคลธนานนท์

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต




สาขาวิชา

ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.พิชชานันท์ ชีเศรษฐ์โสภณ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ประยุกต์ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.วิชาญ เดชิตชีระ	
ดร. กฤษกร โส้เจริญรัตน์	
ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก	
ดร.พิชชานันท์ ชีเศรษฐ์โสภณ	พิชชานันท์ ชี.

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด สีย้อมไวแสงระบบ ZnO-N719
ชื่อนักศึกษา	นางสาวงามจิต มงคลธนานนท์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิชชานันท์ ชีเศรษฐ์โสภณ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษากระบวนการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิดออกไซด์-
N719 (ZnO-N719 DSSCs) และตรวจสอบผลของอุณหภูมิตลอดจนระยะเวลาของการย้อมสีย้อมไวแสง
N719 ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยเทคนิคการดูดกลืนแสงของสีย้อม การวิเคราะห์
ลักษณะความหนาแน่นกระแสและความต่างศักย์ และค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายสีย้อม พบว่า
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย้อมสีจนถึงระยะเวลาที่เหมาะสมค่า
หนึ่งจากนั้นประสิทธิภาพลดลงสำหรับทุกอุณหภูมิสีย้อมที่ใช้คือ 30°C และ 50°C เซลล์แสงอาทิตย์ที่
เตรียมได้มีประสิทธิภาพสูงสุด (0.918 %) เมื่อย้อมสีเป็นระยะเวลา 180 นาที สำหรับอุณหภูมิสีย้อม
30°C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสีย้อมเป็น 50°C พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมสีให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
(0.922%) ลดลงเป็น 30 นาที ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิของสีย้อมขึ้น 20°C สามารถลดระยะเวลาใน
ขั้นตอนการย้อมสีได้สูงที่สุด 6 เท่าและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไว
แสงได้

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง, Zinc Oxide, N719, ประสิทธิภาพ

Title	PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ZnO-N719 BASED DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS
Students	Miss. Ngarmjit Monkolthananont
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Physics
Academic Year	2013
Advisor	Dr. Pichanan Teesetsopon

ABSTRACT

This special project studied zinc oxide-N719 based dye-sensitized solar cell (ZnO-N719 DSSCs) preparation processes and investigated effects of N719 solution dipping time as well as temperature on the cell performance. Light absorption, current density-voltage characterization and pH determination techniques were used to examine the cells. The results showed that ZnO-N719 DSSCs efficiency increased with dipping time and reached the optimum point then decreased for both 30°C and 50°C solution temperature. The optimum dipping time for 30°C N719 solution was 180 minutes giving 0.918% efficiency while that for 50°C N719 solution was 30 minutes with 0.922 % efficiency. The results revealed that increasing N719 solution temperature from 30°C to 50°C could reduce dye adsorption period up to 6 times and improved ZnO-N719 DSSC performance.

Keywords: Dye-sensitized solar cell, Zinc oxide, N719, Efficiency

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.พิชชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ รศ. วิชาญ เตชิตธีระ รศ.ดร. วราวุฒิ เถลัดดา ผศ.ดร. ภัทธรียา กิตติเดชาชาญ ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี และ ดร. วิรัตน์ เจริญบุญ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมา รวมถึงการปลูกฝังสิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบพระคุณ ดร.กฤษกร โส้เจริญรัตน์ และ ดร. อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก ที่สละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบและให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ และรวมถึงวิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การเอื้อเพื่อเข้าใช้เครื่อง Solar simulation ในการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือและแนะนำสิ่งต่างๆ ในชีวิต รวมถึงบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงานฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

งามจิต มงคลชนานนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
คำย่อและสัญลักษณ์	XI

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)	5
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell : DSSC)	7
2.3 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	14
2.4 สีย้อมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการจัดเตรียม DSSCs	18
3.2 การศึกษาสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSCs	27
3.3 การศึกษาสมบัติความเป็นกรด - เบสของสีย้อม N719	34

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาคูณสมบัติเชิงแสงของสีย้อม N719	36
4.2 การศึกษาคูณสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSCs	40

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง	52
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	53

เอกสารอ้างอิง	54
---------------	----

ภาคผนวก

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย	3
2.1 แสดงสมบัติทางกายบางประการของ ZnO	9
2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของเพลทินัม	12
2.3 แสดงคุณสมบัติของสีย้อม N719	17
3.1 แสดงเวลาการย้อมสีของอุณหภูมิตั้งที่ 30°C และอุณหภูมิตั้งที่ 50°C	24
4.1 แสดงปริมาณการดูดซับสีย้อม N719 อุณหภูมิตั้งที่ 30°C	37
4.2 แสดงปริมาณการดูดซับสีย้อม N719 อุณหภูมิตั้งที่ 50°C	37
4.3 แสดงผลค่าความหนืดของเอทานอล	40
4.4 แสดงผลเปรียบเทียบความหนาแน่นกระแส	42
4.5 แสดงผลเปรียบเทียบความต่างศักย์	44
4.6 แสดงผลเปรียบเทียบค่าปัจจัยเติมเต็ม (Fill Factor)	46
4.7 แสดงผลการทดสอบค่า pH ของสีย้อม N719	49
4.8 แสดงผลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)	49

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single crystalline silicon solar cell)	6
2.2 เซลล์อาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly crystalline silicon solar cell)	6
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon solar cell)	6
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium arsenide solar cells)	7
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell)	7
2.6 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	8
2.7 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์	10
2.8 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	13
2.9 โครงสร้างพันธะของ N_3	16
2.10 โครงสร้างพันธะของ N719	16
2.11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 ในสารทำละลายเอทานอล	17
3.1 กระจกนำไฟฟ้า	19
3.2 บล็อกสำหรับ ZnO และ Pt	20
3.3 กระจกนำไฟฟ้าเคลือบด้วยแพลทินัม Pt	21
3.4 กระจกนำไฟฟ้าเคลือบด้วย ZnO	22
3.5 โหลดสำหรับสีย้อม N719	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 กระจกไฟฟ้าเคลือบฟิล์ม ZnO ชื่อมด้วยสี่ชื่อม N719	25
3.7 แผ่นพาราฟิล์มลงบนกระจกขั้วลบ	26
3.8 กระจกขั้วบวกวางทับที่กระจกขั้วลบ	26
3.9 เติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์	26
3.10 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์และสายใยแก้วนำแสง	28
3.11 แหล่งกำเนิดแสง DH-2000 UV-VIS-NIR Light Source	28
3.12 อุปกรณ์สำหรับยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่กิวเวท	29
3.13 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสง	29
3.14 แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟซีนอน	30
3.15 Xenon Lamp Power Supply (XPS300)	30
3.16 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) และ Data logging Radiometer (PMA2100)	31
3.17 Keithely 2400 SourceMeter style	31
3.18 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า	32
3.19 กดปุ่มด้านหลังและด้านหลังของเครื่อง Xenon Lamp Power Supply (XPS300)	32
3.20 คลิปหนีบขั้วบวกและขั้วลบ	33
3.21 เซลล์ไปวางตรงแสง	33
3.22 Denver instruments pH meter	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 Hot plate stirrer	34
3.24 ทำการวัดค่า pH	35
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โมลของสีย้อม N719 กับเวลา	38
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 กับความยาวคลื่นที่อุณหภูมิ 30°C	39
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 กับความยาวคลื่นที่อุณหภูมิ 50°C	39
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิ 30°C	41
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ ที่อุณหภูมิ 50°C	41
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกระแสกับความต่างศักย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 180 min และที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 min	42
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความหนาแน่นกระแสกับเวลา ที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C	43
4.8 (a) การเกาะตัวของสีย้อมกับซิงค์ออกไซด์ (b) การเกาะทับกันเองของสีย้อม	44
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา ที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fill Factor กับเวลา ที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C	46
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fill Factor กับเวลา ที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 50°C	47
4.12 แสดงช่วงแรกของกราฟที่ค่า Fill Factor ลดลง อุณหภูมิ 30°C	48
4.13 แสดงช่วงที่สองของกราฟที่ค่า Fill Factor เพิ่มขึ้น อุณหภูมิ 30°C	48
4.14 แสดงช่วงแรกของกราฟที่ค่า Fill Factor เพิ่มขึ้น อุณหภูมิ 50°C	49
4.15 แสดงช่วงที่สองของกราฟที่ค่า Fill Factor ลดลง อุณหภูมิ 50°C	49
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Efficiency กับเวลา ที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C	50

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
A	Absorbance
AM	Air Mass
c	Concentration
CB	Conduction band
DI	Deionized water
DSSC	Dye-sensitized solar cells
FF	Fill Factor
FTO	Fluorine doped tin oxide
ITO	Indium doped tin oxide
J_{\max}	ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด
J_{sc}	ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าวงจรถัด
KOH	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
l	Light path length
n	จำนวน โมล
P_{in}	Input power
P_{\max}	Maximum power

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
Pt	แพลทินัม
TCO	Transparent conducting oxide glass
TBP	4-Tert-butylpyridine
v	ปริมาตรของสารละลาย
VB	Valence band
V_{\max}	ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด
V_{oc}	ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด
XPS300	Xenon lamp power supply
ZnO	ซิงค์ออกไซด์
ϵ	Dielectric constant
ϵ	Molar absorptivity
η	Efficiency

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อมนุษย์และมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อโลกมีการพัฒนา มากยิ่งขึ้น แหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น จำเป็นต้องเริ่มลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ และกำลังจะหมดไปในอนาคตข้างหน้านี้ มนุษย์จึงเสาะหา แหล่งพลังงานที่ยั่งยืนและสะอาดมาทดแทนพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ตัวอย่างของพลังงานดังกล่าว ได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น

พลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานสะอาดไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งประดิษฐ์ทาง อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าทดแทนทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป โดย ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนใหญ่เซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ชนิดซิลิกอนผลึกซิลิกอนที่บริสุทธิ์มีเทคโนโลยีการผลิตค่อนข้างยากและยังมีราคาสูงดังนั้นนักวิจัย จึงคิดค้นและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ขึ้นเรียกเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ว่า “เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cells , DSSC)” [1]

DSSC มีข้อดี คือ สารกึ่งตัวนำที่ใช้เป็นสารประกอบโลหะออกไซด์ มีเสถียรภาพสูง ในช่วงการพัฒนาแรกๆ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำ และได้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพของเซลล์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะ Grätzel และคณะ เป็นกลุ่มวิจัยที่ประสบความสำเร็จอย่างมาก โดยในปี ค. ศ. 1991 ได้พัฒนาเซลล์ให้มีประสิทธิภาพสูงถึง 7% และสูงถึง 10% ในปี ค. ศ. 1993 ในปัจจุบันทีมของ Grätzel ได้พัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 15 % [2]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
- 1.2.2 เพื่อเรียนรู้วิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสง N719 ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซึ่งค้อออกไซด์
- 1.2.4 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิของสีย้อม N719 ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซึ่งค้อออกไซด์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
- 1.3.2 ศึกษาขั้นตอนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
- 1.3.3 วิเคราะห์การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสง N719 โดยใช้เทคนิค UV-Vis spectroscopy
- 1.3.4 ศึกษาการวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 สืบค้นหาข้อมูลและศึกษาหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงและการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาหลักการงานและการใช้เทคนิค UV-Vis spectroscopy

ขั้นตอนที่ 3 เตรียมอุปกรณ์ จัดซื้อสารเคมีและสีย้อมที่ใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ขั้นตอนที่ 4 สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงซึ่งค้ออกไซด์ที่จุ่มสีข้อมไวแสง N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ 50°C ในระยะเวลาต่างๆ

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์และทำการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงซึ่งค้ออกไซด์โดยใช้เทคนิค UV-Vis spectroscopy, I-V characterization, pH determination

ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

วิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

ปีการศึกษา	การดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน				
		พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
2556	ขั้นตอนที่ 1					
	ขั้นตอนที่ 2					
	ขั้นตอนที่ 3					
	ขั้นตอนที่ 4					

ปีการศึกษา	การดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน				
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
2556	ขั้นตอนที่ 4					
	ขั้นตอนที่ 5					
	ขั้นตอนที่ 6					

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง

1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงซึ่งค้ออกไซด์

1.5.3 มีความรู้ความสามารถในการวัดและวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น UV-Vis spectroscopy, I-V characterization, pH determination เป็นต้น

1.5.4 มีทักษะกระบวนการวิจัยตามหลักการทางวิทยาศาสตร์

1.5.5 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในอนาคตต่อไป
ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic effect) ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอทำให้เกิดการสร้างอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นขั้วบวกและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นขั้วลบ สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิกอน เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง ที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆ ขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม [3]

2.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น

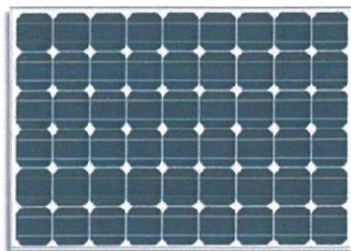
1.1 แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single crystalline silicon solar cell)

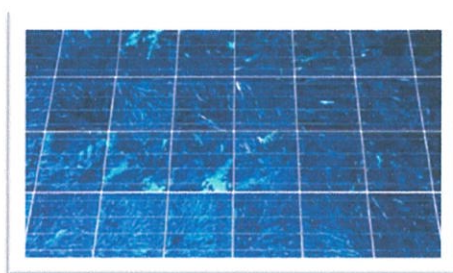
ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมาก ซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ธาตุซิลิกอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์

- ชนิดผลึกรวมซิลิกอน (Poly crystalline silicon solar cell)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว ซิลิกอนแบบผลึกโพลีหรือโพลีซิลิกอน ก็คือก้อนซิลิกอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็กๆ (ขนาดระดับ ไมโครเมตร - มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิกอน

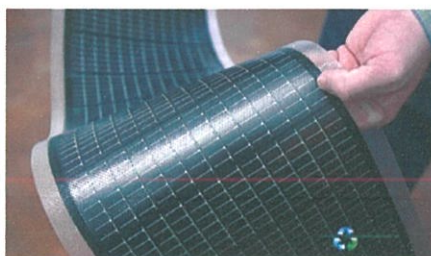


รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single crystalline silicon solar cell)



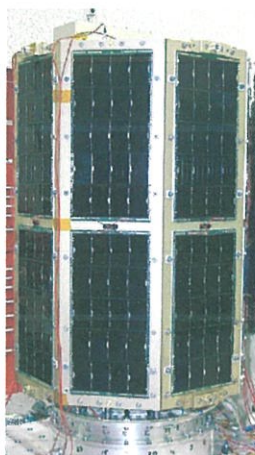
รูปที่ 2.2 เซลล์อาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly crystalline silicon solar cell)

1.2 แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon solar cell) การนำสารอะมอร์ฟัสมาทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน โดยมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่ายและข้อดีฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน คือไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

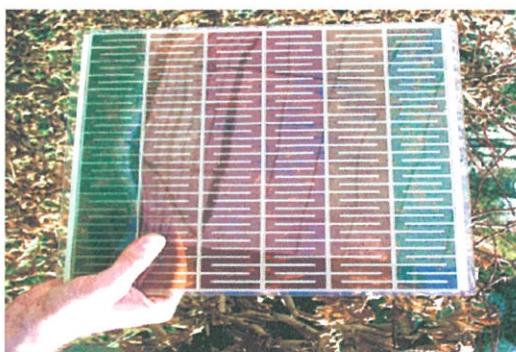


รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon solar cell)

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium arsenide) อินเดียมเทลลูไรด์ (Indium telluride) แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium telluride) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell)



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium arsenide solar cells)



รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell)

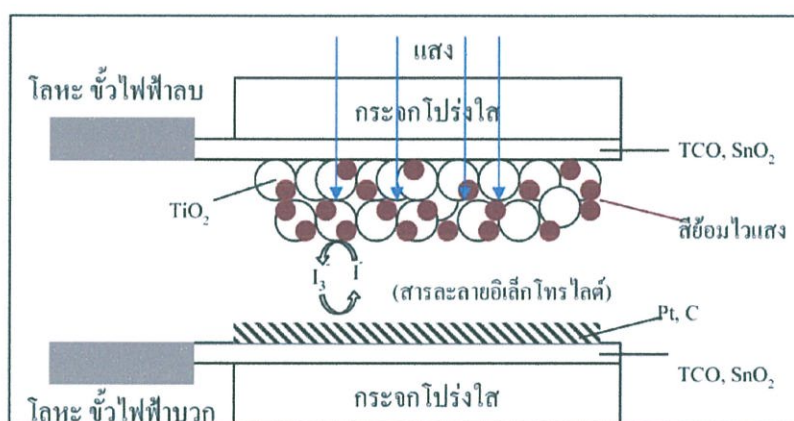
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell : DSSC) [5]

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นอุปกรณ์สำหรับการใช้แปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนให้เป็นกระแสไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ต่างไปจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิคอน โดยเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงจะใช้สีย้อมไวแสงเป็นตัวรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนให้กระโดดจากสถานะพื้น (Ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (Excited state) จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังอนุภาคของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) ที่เคลือบอยู่บนขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

แนวความคิดนี้เกิดจากการเลียนแบบการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชซึ่งพืชจะใช้คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไปเป็นน้ำตาล ($\text{C}_2\text{H}_{12}\text{O}_6$) และออกซิเจนจึงมีการไหลเวียนของอิเล็กตรอนในกระบวนการนี้และกระบวนการอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย

2.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงมีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ต่างกันเป็นชั้นๆ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง

2.2.1.1 เว็ทกิ้งอิเล็กโทรด (Working-electrode)

เว็ทกิ้งอิเล็กโทรดประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) เช่น TiO_2 , SnO_2 , ZnO , Fe_3O_4 , NiO , SiO_2 เป็นต้น เคลือบลงบนกระจกใสที่มีฟิล์มของสารนำไฟฟ้า โปร่งแสง (Transparent conducting oxide glass : TCO glass) เช่น สารกลุ่ม ITO (Indium doped tin oxide) หรือ FTO (Fluorine doped tin oxide) สารกึ่งตัวนำนี้ทำหน้าที่รับและส่งผ่านอิเล็กตรอน รวมทั้งเป็นพื้นผิวสำหรับการยึดเกาะของโมเลกุลสียอมไวแสง สารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมต้องมีแถบช่องว่างพลังงานกว้าง (มากกว่า 3 eV) และมีพื้นที่ผิวมาก

- สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) [6]

สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ เป็นกลุ่มสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง (Wide band gap semiconductor) และมักถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของฟิล์มบางที่มีลักษณะเป็นรูพรุนสูง (High porous) และเมื่อถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของเม็ดสียอมทำให้สามารถดูดกลืน

แสงอาทิตย์ ในช่วงที่ตาเรามองเห็น ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากต้องการให้โมเลกุลของสีย้อมมีการดูดกลืนแสงให้ได้มากที่สุด สารกึ่งตัวนำที่ใช้ควรจะไม่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น ทำให้ต้องเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้างมากกว่า 3 eV และระดับพลังงานของขอบล่างของแถบการนำ (Conduction band edge) ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับพลังงานที่สถานะถูกกระตุ้นของโมเลกุลของสีย้อม เพื่อทำให้เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของเม็ดสีมายังสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ได้ นอกจากนี้สารกึ่งตัวนำยังต้องมีค่าคงที่ของการนำไฟฟ้า (Dielectric constant, ϵ) ที่สูง มีความเสถียร ราคาถูก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

- ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) [7]

ซิงค์ออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทหนึ่งซึ่งในทางฟิสิกส์จะนิยามสารกึ่งตัวนำว่าเป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ($T = 0$ K) เนื่องจากประจุทั้งหมดอยู่ในแถบวาเลนซ์ (Valence Band, VB) จึงไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ในแถบการนำ (Conduction band, CB) แต่ที่อุณหภูมิ $T > 0$ K อิเล็กตรอนจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้ที่อุณหภูมิห้อง

ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal structure) โดยมีสมบัติทางกายภาพบางประการแสดงในตารางที่ 2.1

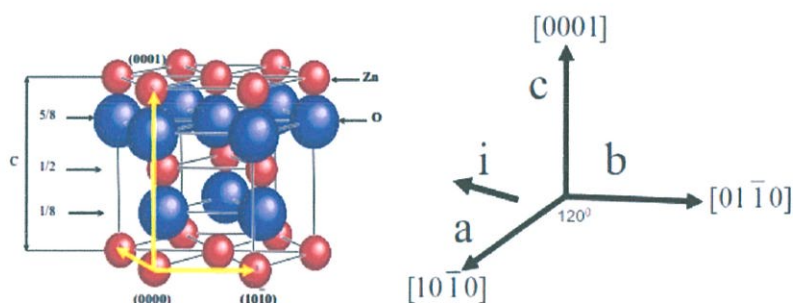
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพบางประการของซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

น้ำหนักโมเลกุล	81.7%
สัดส่วนน้ำหนักอะตอมของสังกะสี	65.7%
สัดส่วนน้ำหนักอะตอมของออกซิเจน	34.3%
ความหนาแน่น	5.6803 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	2248
จุดเดือด	-
ช่องว่างแถบพลังงาน	3.3 eV (~ 300 K)
โครงสร้าง	Hexagonal a=b=3.24 c=5.20 Å
Enthalpy of fusion	52.30 kJ/mol

เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอลซึ่งในบางครั้งการอธิบายระนาบของซิงค์ออกไซด์ ด้วยระบบ (hkl) นั้นไม่สามารถอธิบายได้ดีเพราะเวกเตอร์

a และเวกเตอร์ b ที่ใช้ในการบอกทิศทางในผลึกซึ่งไม่อยู่ในทิศของแกน x หรือ y โดยที่ a และ b ทำมุมกัน 120 องศา

ดังนั้นจึงเป็นเหตุทำให้การอธิบายระนาบในโครงสร้างเฮกซะโกนอลจำเป็นต้องใช้ตัวแปรถึง 4 ตัว คือเพิ่มตัวแปร i โดยที่ $i = -(h+k)$ ซึ่งจะเขียนเป็นระบบ (hkil) ยกตัวอย่างเช่น ระนาบ (110) เป็น (11 $\bar{2}$ 0) เป็นต้น ซึ่งระบบ (hkil) จะมีประโยชน์อย่างมากในการใช้อธิบายโครงสร้างของผลึกเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาระนาบที่เท่ากันแต่ระบบ (hkl) ต่างกัน ยกตัวอย่างระนาบ (110) เมื่อใช้ระบบ (hkl) จะสามารถหาระนาบอื่นๆ ได้คือ (110) และ ($\bar{1}\bar{1}$ 0) แต่เมื่อใช้ระบบ (hkil) แล้วจะได้ระนาบ (11 $\bar{2}$ 0) ($\bar{1}\bar{1}$ 20) (2 $\bar{1}\bar{1}$ 0) ($\bar{2}$ 110) ($\bar{1}$ 2 $\bar{1}$ 0) (1 $\bar{2}$ 10) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระนาบ (hkil) ใช้อธิบายระนาบได้หลากหลายกว่า



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์

- พิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent conducting oxide thin film : TCO)

ฟิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสงเป็นฟิล์มบางที่นำไปใช้กันมากในอุปกรณ์ Optoelectronic devices เช่น Flat panel display solar cell และอื่นๆซึ่งฟิล์มชนิดนี้เป็นฟิล์มที่มีสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงที่ดีควบคู่กัน โดยฟิล์มต้องมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดีและแสงสามารถทะลุผ่านได้ดีมาก ดังนั้นการเลือกสารตั้งต้นเพื่อนำมาเตรียมฟิล์มต้องพิจารณาคุณสมบัติทั้ง 2 ข้อนี้เป็นสำคัญและ โดยทั่วไปสารที่จะนำมาใช้ควรจะเป็นสารที่มีแถบช่องว่างพลังงานสูง สภาพต้านทานต่ำและความสามารถในการทะลุผ่านของแสงสูง ซึ่งฟิล์มบางที่นิยมใช้กันได้แก่ฟิล์มบางทินออกไซด์ (SnO_2) ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) อินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ฟิล์มบางแคดเมียมสแตนเนส (Cd_2SnO_4) ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้สามารถปรับปรุงสมบัติทั้งทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงได้ด้วยการเติมสารเจือ

- กระจกใสเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent conducting oxide glass)

สารนำไฟฟ้าโปร่งแสงมีคุณสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้ดี แต่ในขณะที่เดียวกันก็ยอมให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นผ่านได้ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มักใช้สารอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากในกระบวนการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะต้องมีการให้ความร้อนประมาณ 450 °C ในการเตรียมชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้าง ซึ่งพบว่าการใช้ ITO นั้นจะมีความเสถียร เมื่อผ่านอุณหภูมิสูงทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานเริ่มต้น อันจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจึงมีการใช้สารทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยสารฟลูออรีน (F: SnO₂) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง เป็นชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสง [8]

2.2.1.2 เคา์นเตอร์อิเล็กโทรด (Counter-electrode)

คา์นเตอร์อิเล็กโทรดทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) โดยที่คา์นเตอร์อิเล็กโทรดต้องมีสมบัติดังนี้คือ มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดีมีความเป็นรูพรุนสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาและจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วย วัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นคา์นเตอร์อิเล็กโทรดคือโลหะแพลทินัม (Pt)

- แพลทินัม (Platinum : Pt)

แพลทินัม (Platinum) หรือทองคำขาวเป็นธาตุเคมีในกลุ่มโลหะทรานซิชัน โดยทั่วไปสามารถใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเคมีซึ่งแพลทินัมมีเลขอะตอม 78 สัญลักษณ์คือแพลทินัม พังกัซันงาน 5.65 eV คุณสมบัติของแพลทินัมคือ เป็นโลหะสีเงินเทา เมื่อบริสุทธิ์จะอ่อนและเหนียวทนต่อการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของแพลทินัม

คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น	21.45 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	2041.4 K (1768.3°C)
จุดเดือด	4098 K (3825°C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	22.17 kJ/mol
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	469 kJ/mol

2.2.1.3 สีย้อมไวแสง

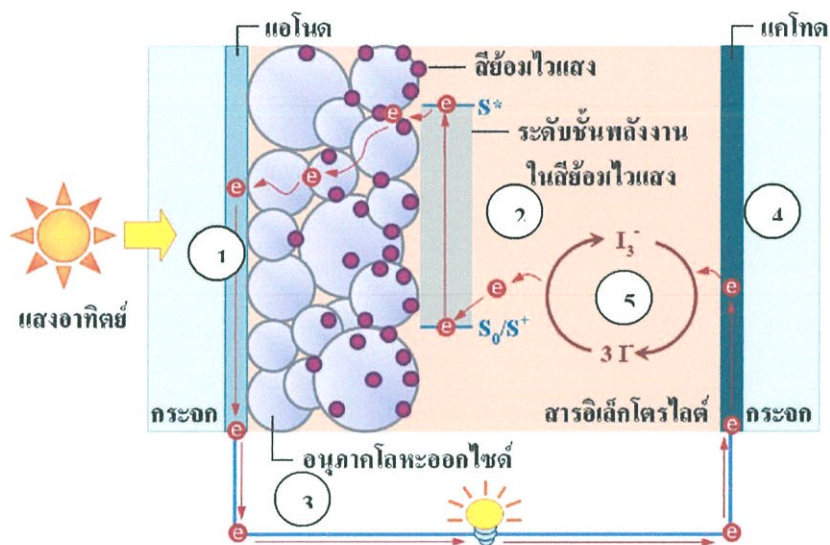
สีย้อมไวแสงจะเคลือบอยู่บนอนุภาคโลหะออกไซด์ และทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์และส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับอนุภาคโลหะออกไซด์

2.2.1.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าแคโทดรีดิวซ์อิเล็กโทรดในฝั่งที่เป็นฟิล์มบางของโลหะแพลทินัมไปยังโมเลกุลของเม็ดสีที่เสียอิเล็กตรอนไปในตอนแรกจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะอาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) ซึ่งคุณสมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ดีมีดังนี้ จะต้องไม่มีการดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตามองเห็น มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันออกซิเดชันได้ง่ายเพื่อขจัดเซย์อิเล็กตรอนให้แก่เม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปตัวออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วและจะต้องมีความคงตัวสูง

2.2.2 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง [9]

เซลล์อาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีกลไกการทำงานเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

(1) แสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โมเลกุลสีย้อมไวแสงที่เคลือบเกาะติดบนผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์เช่น ZnO จะดูดกลืนแสงทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่สถานะพื้น (S_0) ถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่สถานะเร้า (S^*)

(2) อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะเร้า (S^*) จะถูกส่งผ่านไปสู่แถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

(3) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ไปยังขั้วแอโนดและไหลออกสู่วงจรภายนอก

(4) และ (5) ที่ขั้วแคโทดสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดกระบวนการรีดอกซ์โดยให้อิเล็กตรอนกับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอน (S^+) ทำให้โมเลกุลสีย้อมกลับสู่สถานะพื้นและในขณะเดียวกันสารอิเล็กโทรไลต์จะรับอิเล็กตรอนคืนจากขั้วแคโทดโลหะแพลทินัม

2.3 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดลิเทียมโวลแทจ [10]

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปวิเคราะห์โดยอ้างอิงจากค่า Air Mass, AM ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{\cos(\theta_z)}$ โดยที่ θ_z หรือมุม Zenith คือมุมที่กระทำกับเส้นตั้งฉากจากดวงอาทิตย์มายัง โลก และเนื่องจากการสร้างกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ จะขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีของแสงที่นำมาทดสอบ ดังนั้นจึงกำหนดค่า AM ขึ้นเพื่อเป็นค่ามาตรฐานสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์คือ AM 1.5 ที่มุม Zenith = 48.2° ซึ่งเทียบได้เท่ากับค่าความเข้มรังสีของแสง หรือกำลังไฟฟ้าที่ตกกระทบบนพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ Wm}^{-2}$

มาตรฐานในการบอกความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เรียกว่า ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยคิดเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ นิยามจากกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับวงจรภายนอก (Maximum power : P_{max}) ต่อกำลังไฟฟ้าของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ (Input power : P_{in}) คูณด้วย 100 เปอร์เซ็นต์

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.1)$$

หรือ

$$\eta = \frac{J_{max} V_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.2)$$

เมื่อ J_{max} คือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด

V_{max} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด

ค่าฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor, FF) นิยามจากพื้นที่ใต้กราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง $J_{max} V_{max}$ กับพื้นที่ใต้กราฟที่มากที่สุดซึ่งพลอตระหว่าง $J_{sc} V_{oc}$

$$FF = \frac{J_{max} V_{max}}{J_{sc} V_{oc}} \quad (2.3)$$

เมื่อ J_{sc} คือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าวงจรมืด

V_{oc} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรมืด

ค่า FF นี้จะไม่เกิน 1 ถ้าค่า FF มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าเซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติมากซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปมีค่า FF เท่ากับ 0.6-0.8

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\eta = \frac{J_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.4)$$

ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์อุดมคติคือเซลล์ที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน จะมีประสิทธิภาพของเซลล์เป็น 100% กล่าวคือกำลังไฟฟ้าที่เซลล์ผลิตได้จะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้เซลล์หรือเซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมดโดยไม่มี การสูญเสียพลังงาน

2.4 สีย้อมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง [11]

สีย้อมไวแสงจะเคลือบอยู่บนอนุภาคโลหะออกไซด์ ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับอนุภาคโลหะออกไซด์

2.4.1 สมบัติทั่วไปของสีย้อมไวแสง

- สเปกตรัมการดูดกลืนแสงกว้างในช่วงที่ตามองเห็นและใกล้อินฟราเรดเพื่อดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด
- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจับแสง โฟตอนที่ตกกระทบ
- มีสภาวะพื้นและสภาวะกระตุ้นที่เหมาะสม
- มีเสถียรภาพสูงในสภาวะที่ถูกออกซิไดส์
- สามารถยึดเกาะบนผิวอนุภาคโลหะออกไซด์ได้ดี

2.4.2 ประเภทของสีย้อม

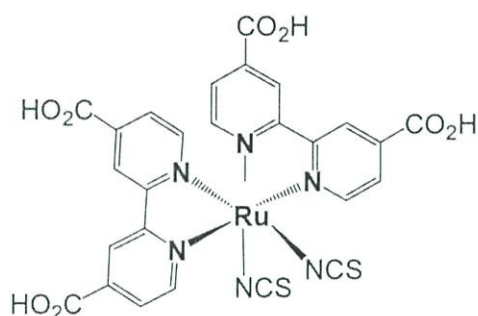
สีย้อมไวแสงทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงพลังงานแสงอาทิตย์และส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับอนุภาคโลหะออกไซด์ซึ่งสีย้อมจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจากสารสีย้อมมีหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนเมื่อสารสีย้อมได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โมเลกุลสีย้อมที่อยู่ในสถานะพื้น (LUMO) จะถูก

กระตุ้นให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (HOMO) จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกส่งผ่านไปยังแถบการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจึงเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้

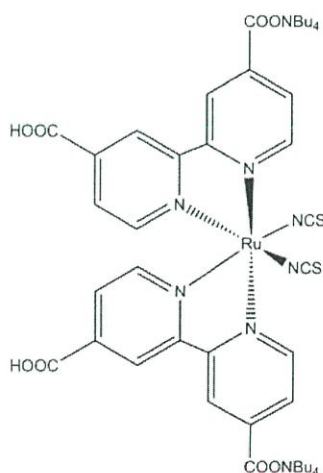
ในปัจจุบันสามารถแบ่งสีย้อมออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.4.2.1 สีย้อมสังเคราะห์

สีย้อมสังเคราะห์ เช่น Porphyrinsphthalocyanines Coumarin343 Carboxylated ที่พัฒนามาจาก Anthracene และ Polymeric film แต่ที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือกลุ่ม Transition metal complexes ตัวอย่างสีย้อมไวแสงที่มีความสามารถดูดซับบนพื้นผิวของโลหะออกไซด์ได้ดี ได้แก่ N_3 , N719 และ Coumarin6 มีโครงสร้างพันธะดังนี้



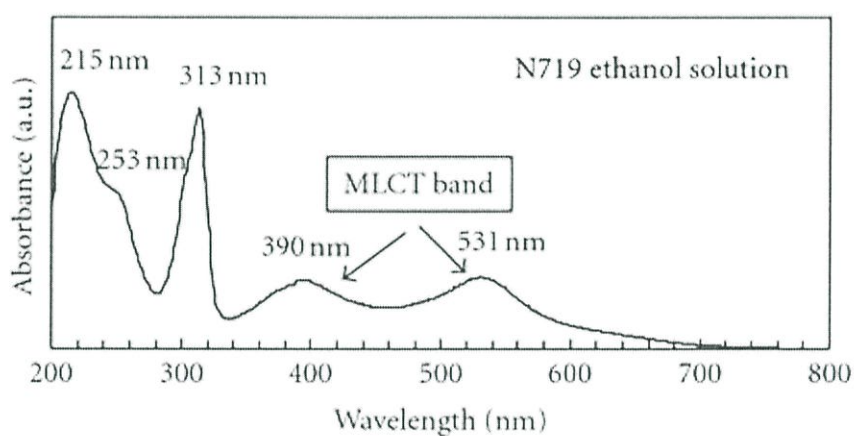
รูปที่ 2.9 โครงสร้างพันธะของ N_3



รูปที่ 2.10 โครงสร้างพันธะของ N719

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของสีย้อม N719

Properties	
Molecular Formula	$C_{58}H_{86}N_8O_8RuS_2$
Molecular Weight	1188.55
Appearance	Maroon powder
UV absorption	λ_{max} 521.56 nm



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 ในสารทำละลายเอทานอล [12]

2.4.2.2 สีย้อมธรรมชาติ (Natural sensitizers)

สีย้อมประเภทนี้สามารถสกัดได้จากธรรมชาติเช่น ผลไม้ ดอกไม้หรือใบไม้ เป็นต้น สีย้อมประเภทนี้มีข้อดีคือหาง่าย ราคาถูก ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม แต่สีย้อมประเภทนี้จะรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ได้น้อยกว่า Metal complex sensitizer นั่นคือจะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยเป็นการศึกษาการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar cell : DSSCs) โดยใช้สีย้อม N719 จะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ขั้นตอน

- 3.1 การศึกษากระบวนการจัดเตรียม DSSCs
- 3.2 การศึกษาสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSCs
- 3.3 การศึกษาสมบัติความเป็นกรด-เบสของสีย้อม N719

3.1 การศึกษากระบวนการจัดเตรียม DSSCs

3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมและทำความสะอาดกระจกไฟฟ้า

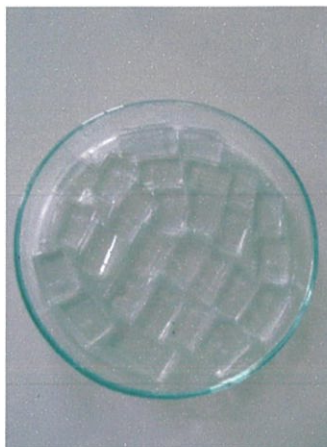
อุปกรณ์

1. กระจกนำไฟฟ้า (FTO glass)
2. เครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaner)
3. สว่านและดอกสว่านสำหรับเจาะกระจก
4. บีกเกอร์ (Beaker)
5. น้ำ DI (Deionized Water)
6. เอทานอล (Ethanol)
7. สารละลายอะซิโตน (Acetone)

ขั้นตอนการเตรียม

1. ทำการวัดขนาดกระจกนำไฟฟ้า (FTO glass) ให้มีขนาด 1.0×1.5 ซม. จากนั้นตัดกระจกโดยใช้ที่กรีดกระจกกรีดกระจกตามขนาดที่วัดไว้ให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ

2. เจาะรูกระจกนำไฟฟ้าสำหรับชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (กระจกนำไฟฟ้าสำหรับเตรียม counter electrode) โดยใช้สว่านเจาะกระจก ซึ่งกระจกนี้จะถูกวางอยู่ในจานเพาะเชื้อ (petri dish) ที่มีน้ำอยู่ (คือใช้สว่านเจาะกระจกในน้ำ) เพื่อป้องกันกระจกแตกระหว่างทำการเจาะกระจก



รูปที่ 3.1 กระจกนำไฟฟ้า

3. นำกระจกนำไฟฟ้าที่ตัดได้ขนาดและเจาะรูแล้วไปทำความสะอาด โดยล้างด้วยน้ำยาล้างจานและใช้ฟองน้ำถูพื้นผิวกระจกเบาๆ แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง

4. ทำความสะอาดกระจกไฟฟ้าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Cleaner) ในตัวทำละลายต่อไปนี้ตามลำดับ

- น้ำ DI (Deionized Water) เป็นเวลา 15 นาที
- อะซิโตน เป็นเวลา 15 นาที
- น้ำ DI เป็นเวลา 15 นาที
- เอทานอล เป็นเวลา 15 นาที
- น้ำ DI เป็นเวลา 15 นาที

3.1.2 ขั้นตอนการเตรียมบล็อก

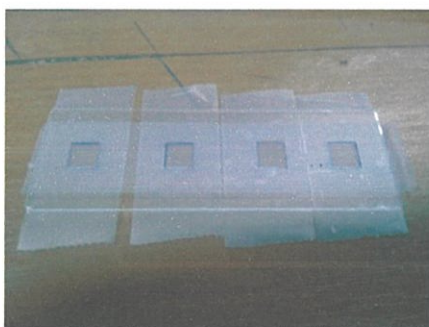
อุปกรณ์

1. กระจกสไลด์

2. เทป 3M
3. ไม้บรรทัดและมีดคัตเตอร์

ขั้นตอนการเตรียม

1. นำเทป 3M ยาวพอประมาณมาแปะไว้บนกระจกสไลด์
2. วาดบล็อกขนาด 0.7×0.7 ซม. ลงบนเทป
3. จากนั้นนำเทป 3M มาแปะอีกด้านของกระจกสไลด์ แล้วใช้มีดคัตเตอร์แกะบล็อกตามที่ได้วาดไว้



รูปที่ 3.2 บล็อกสำหรับ ZnO และ Pt

3.1.3 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าบวก

อุปกรณ์

1. บล็อกขนาด 0.7×0.7 ซม
2. กระจกนำไฟฟ้าที่เจาะรู
3. แพลทินัม Pt
4. มีดโกน

ขั้นตอนการเตรียม

1. นำกระจกนำไฟฟ้าที่เจาะรูและผ่านการทำความสะอาด มาแปะด้วยบล็อกที่เตรียมไว้
2. จากนั้นเคลือบแพลทินัม Pt ลงบล็อกที่เตรียมไว้โดยใช้เทคนิคการปาดเคลือบ (Doctor-blade)



รูปที่ 3.3 กระจกนำไฟฟ้าเคลือบด้วยแพลทินัม Pt

3. นำกระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบแพลทินัม Pt แล้วนำมาเผา โดยปรับอุณหภูมิของเตาเผาดังนี้

- ปรับอุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 10 นาที
- ปรับอุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 10 นาที
- ปรับอุณหภูมิเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 10 นาที
- ปรับอุณหภูมิเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 10 นาที
- ปรับอุณหภูมิเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 30 นาที

จากนั้นปรับอุณหภูมิให้ลดลงเหลือ 50 องศาเซลเซียส

3.1.4 ขั้นตอนการเตรียม ZnO (อัตราส่วน ZnO:Ethanol 1:1.25 โดยน้ำหนัก)

อุปกรณ์

1. ZnO (Zinc oxide nanopowder, <50 nm particle size (BET), >97%)
2. เอทานอล
3. ตัวประสาน Triton X
4. หลอดแก้ว
5. magnetic bar
6. ไมโครปิเปต
7. มีดโกน
8. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hot plate stirrer)

ขั้นตอนการเตรียม

1. นำ ZnO ไปชั่งให้ได้ 0.5 g จากนั้นแบ่ง ZnO ที่เตรียมไว้ใส่หลอดทดลอง และเติมเอทานอลลงไป 0.632 ml
2. ใส่ Magnetic bar อันเล็กในหลอดทดลอง
3. นำหลอดทดลอง ไปวางบนเครื่องกวนสารให้ความร้อน เพื่อคนสารให้เข้ากัน
4. จากนั้นเติม ZnO ที่เหลือให้หมด และเติมตัวประสาน Triton X 0.15 ml
5. คนสารทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง

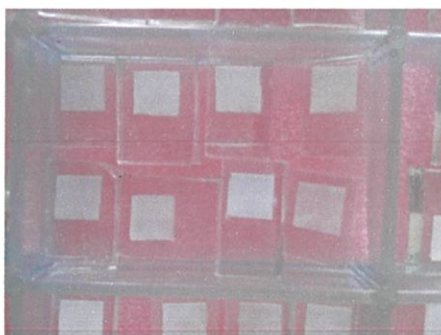
3.1.5 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าลบบ

อุปกรณ์

1. กระจกนำไฟฟ้า
2. บล็อกขนาด 0.7×0.7 ซม
3. ครีม ZnO
4. มีดโกน

ขั้นตอนการเตรียม

1. นำกระจกนำไฟฟ้าที่ทำความสะอาดแล้ว มาแปะด้วยบล็อกที่เตรียมไว้
2. ตักครีม ZnO ลงบนกระจกที่แปะเทปใสแล้วใช้มีดโกนปาดครีม รอให้สารแห้งแล้วแกะบล็อกออก



รูปที่ 3.4 กระจกนำไฟฟ้าเคลือบด้วย ZnO

3. นำกระจกที่เคลือบ ZnO แล้วไปให้ความร้อนในเตาเผาโดยใช้เงื่อนไขอุณหภูมิคงที่ที่ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีเหมือนกับการเผาขั้วไฟฟ้าบวก

3.1.6 ขั้นตอนการเตรียมสีย้อม N719 มีความเข้มข้น 0.5 mM

อุปกรณ์

1. สีย้อม N719 (Ruthenizer535-bisTBA)
2. เอทานอล
3. โหลสำหรับใส่สีย้อม
4. กระจกฟรอยด์
5. กระจกบอทดวง 50 ml
6. magnetic bar

ขั้นตอนการเตรียม

1. ชั่งสีย้อม N719 ปริมาณ 0.0178 g
2. ตวงเอทานอล 30 ml และนำสีย้อมที่ชั่งมาผสม
3. ใส่ Magnetic bar และห่อโหลด้วยกระจกฟรอยด์
4. จากนั้นนำไปวางบนเครื่องกวนสารให้ความร้อน เพื่อคนสารให้เข้ากันเป็นเวลา 15 ชั่วโมง



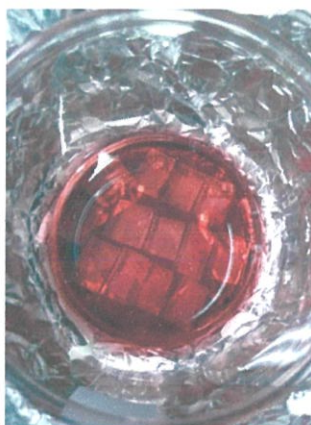
รูปที่ 3.5 โหลสำหรับใส่สีย้อม N719

3.1.7 ขั้นตอนการย้อมสี

1. นำกระจกนำไฟฟ้าเคลือบด้วยฟิล์ม ZnO ที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้วมาย้อมด้วยสารสีย้อม N719 โดยนำกระจกไปแช่ในโหลที่อุณหภูมิ 30°C และอุณหภูมิ 50°C เป็นเวลาดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาการย้อมสีของอุณหภูมิ 30°C และอุณหภูมิ 50°C

อุณหภูมิ (°C)	เวลาการย้อมสี (นาที)								
	30	-	-	-	30	60	120	180	240
50	5	10	20	30	60	120	180	240	300



รูปที่ 3.6 กระจกไฟฟ้าเคลือบฟิล์ม ZnO ย้อมด้วยสีย้อม N719

2. นำกระจกออกจากสารละลายสีย้อมและเช็ดทำความสะอาด จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง

3.1.8 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบคือ

- TBP (4-Tert-butylpyridine, TBP) ความเข้มข้น 0.4 M
ความหนาแน่น 0.923 g/ml
- LiI ความเข้มข้น 0.1 M (มวลโมเลกุล 133.84 g/mol)

- I_2 ความเข้มข้น 0.05 M (มวลโมเลกุล 253.81 g/mol)

ซึ่งผู้วิจัยจะเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ปริมาณ 20 มิลลิลิตรในอะซิโตนไนไตรล์ (Acetonitrile) โดยมีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

1. ทำการเตรียมสารและชั่งสาร

-TBP จำนวน 1.4648 มิลลิลิตร

-LiI จำนวน 1.3384 กรัม

- I_2 จำนวน 0.2535 กรัม

โดยใส่สารเคมีลงในขวดบรรจุสารที่สะอาดตามลำดับ จากนั้นเติมอะซิโตนไนไตรล์ 20 มิลลิลิตร

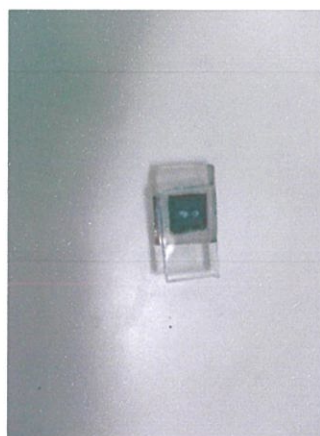
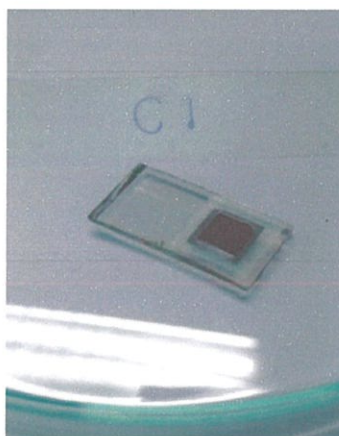
2. นำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที ก็จะได้สารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.1.9 ขั้นตอนกระบวนการประกอบ DSSCs

1. ตัดแผ่นพาราฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยมและเจาะรูตรงกลางแผ่นให้ช่องว่างขนาด 0.5×0.5 ซม.

2. วางแผ่นพาราฟิล์มลงบนกระจกขี้วลบ (ด้านที่เคลือบฟิล์ม ZnO) และนำกระจกขี้วบบวกวางทับลงไปโดยหันด้านที่เคลือบฟิล์มเข้าหากันและให้ฟิล์ม ZnO ตรงกับฟิล์ม Pt

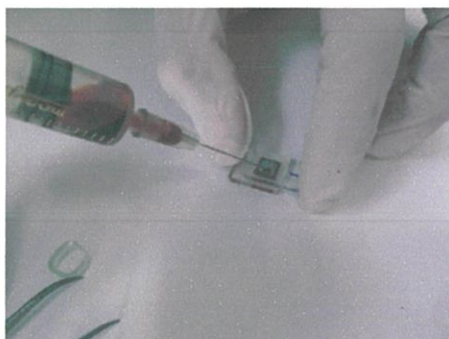
4. นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปวางบนเครื่อง Hot plate ที่มีอุณหภูมิ 150°C เพื่อให้พาราฟิล์มละลายทำให้ขี้วทั้งสองติดกันเป็นเซลล์



รูปที่ 3.7 แผ่นพาราฟิล์มลงบนกระจกขี้วลบ รูปที่ 3.8 กระจกขี้วบบวกวางทับที่กระจกขี้วลบ

3.1.10 ขั้นตอนการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

1. ใช้หลอดหยดสารในการดูดสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วเติมลงไปบนเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านรูที่ได้เจาะเตรียมไว้บนขั้วบวก โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศขึ้นด้านในเซลล์
2. ปิดช่องที่เติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ด้วยเทปใสให้สนิทจะได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงที่สมบูรณ์



รูปที่ 3.9 เติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.1.11 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบคือ

- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) (มวล โมเลกุล 56.11 g/mol)
- น้ำปลอดประจุ (Deionized Water) (มวล โมเลกุล 18.02 g/mol)

วิธีการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 mM

1. ทำการเตรียมสารและชั่งสาร
 - โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 0.02244 g
 - น้ำปลอดประจุ ปริมาตร 200 ml
2. นำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ชั่งเทใส่น้ำปลอดประจุที่เตรียมไว้ จากนั้นนำเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

3.2 การศึกษาสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSCs

3.2.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorbance spectrum)

ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ผู้วิจัยจะทำการวัดค่า I_0 ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงที่ผ่านเข้าสู่คิวเวทท์ที่บรรจุด้วยสารตัวทำละลาย (KOH) จากนั้นวัดค่า I ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงที่ผ่านออกมาจากคิวเวทท์ที่บรรจุด้วยสีย้อม N719 ที่ถูกทำละลายใน KOH โดยค่าการดูดกลืนแสง (A) จะคำนวณจากความสัมพันธ์ดังนี้

$$A = \log (I_0/I) \quad (3.1)$$

ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ Beer-Lambert Law หรือเรียกว่า Beer's law ก็คือแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง absorbance กับความเข้มข้นของสารละลายโดยค่า absorbance เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นซึ่ง Beer's law แสดงดังรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \epsilon lc \quad (3.2)$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)

ϵ = ค่าโมลาร์แอบซอร์บิวิตี (molar absorptivity)

l = ระยะทางที่แสงผ่าน (light path length)

c = ความเข้มข้นของสารละลาย (concentration)

อุปกรณ์ที่ใช้การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorbance spectrum)

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ USB4000 Miniature Fiber Optic Spectrometer พร้อมเส้นใยแก้วนำแสง เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำหน้าที่ในการวัดแสง ซึ่งสามารถวัดแสงได้ในย่านความยาวคลื่น 350-1000 nm และเส้นใยแก้วนำแสงทำหน้าที่ในการนำส่งแสงที่ผ่านตัวอย่างสารเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ [13]



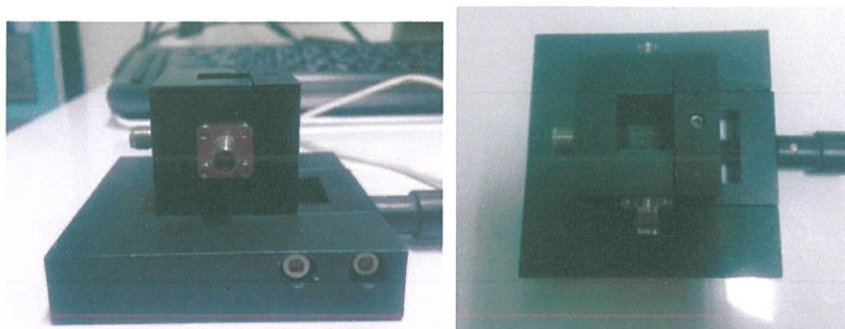
รูปที่ 3.10 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์และสายใยแก้วนำแสง

2. แหล่งกำเนิดแสง DH-2000 UV-VIS-NIR Light Source ช่วงความยาวคลื่นของแสง 190-2000 nm (หลอดควิที่เรียมและทั้งสแตนฮาโลเจน) หรือ 215-2000 nm (หลอดไฮโดรเจนมาตรฐานและหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน) สมบัติทางไฟฟ้า 85/265 V และความถี่ 50/60 Hz [14]



รูปที่ 3.11 แหล่งกำเนิดแสง DH-2000 UV-VIS-NIR Light Source

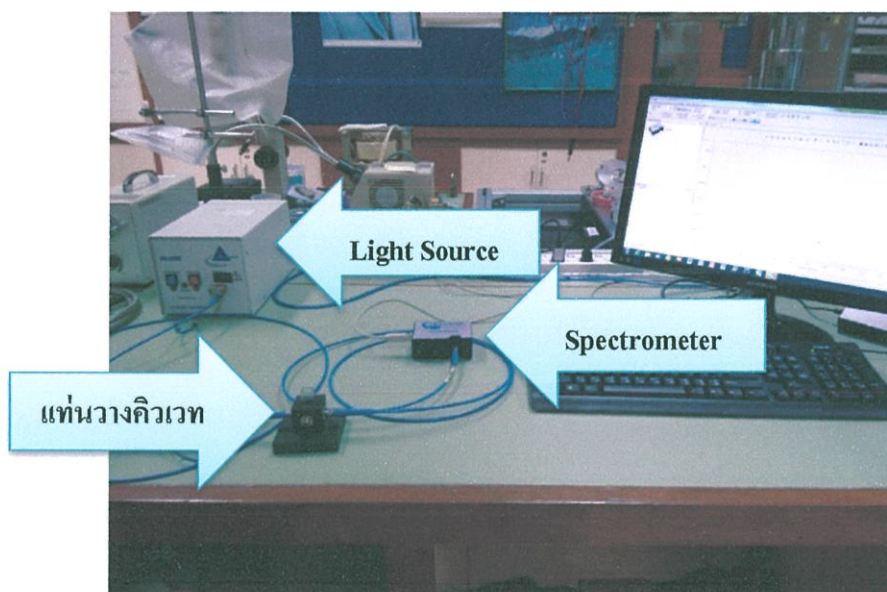
3. อุปกรณ์สำหรับยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่ควิเวทท์



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์สำหรับยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่ควิเวทท์

วิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorbance spectrum)

1. จัดอุปกรณ์การวัดการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 3.12 โดยมีแหล่งกำเนิดแสง (DH-2000 UV-VIS-NIR Light Source) ต่อด้วยสาย Fiber optic เข้ากับแท่นจับยึดคิ่วเวท แล้วต่อสาย Fiber optic ในทิศตรงข้ามกับสาย Fiber optic แหล่งกำเนิดแสงเข้ากับเครื่อง Spectrometer (USB4000 Miniature Fiber Optic Spectrometer) จะทำการส่งข้อมูลที่วัดผ่านสาย USB เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.13 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสง

2. นำคิ่วเวทที่มีสารตัวอย่างอยู่นั้นใส่ในช่องใส่คิ่วเวท
3. เปิดโปรแกรม Spectrasuite เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.2.2 การวัดประสิทธิภาพสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSCs ด้วยเครื่อง IV Tester

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า I-V ของ DSSCs

1. แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟซีนอน 30 วัตต์ พื้นที่ในการส่องสว่างในแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 นิ้ว (3 ซม.) อายุการใช้งานของหลอดไฟประมาณ 900 ชั่วโมง [15]



รูปที่ 3.14 แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟซีนอน

2. Xenon Lamp Power Supply (XPS300)

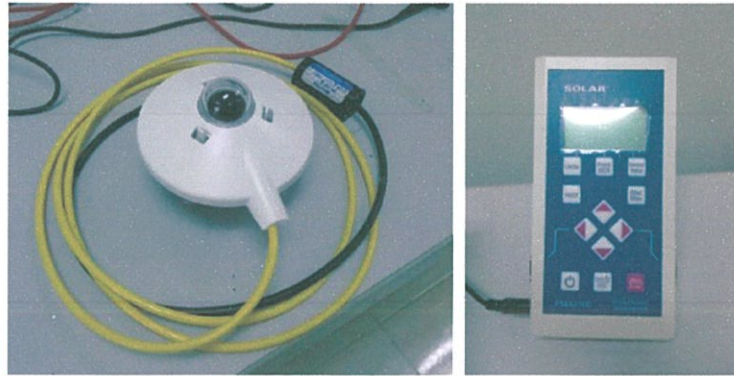
XPS300 เป็นอุปกรณ์การควบคุมและจำกัดการใช้พลังงานเพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการ ถูกปิดแผงด้านหน้าไว้สำหรับกำหนดตั้งค่าของกระแส [16]



รูปที่ 3.15 Xenon Lamp Power Supply (XPS300)

3. ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) และ Data logging Radiometer (PMA2100)

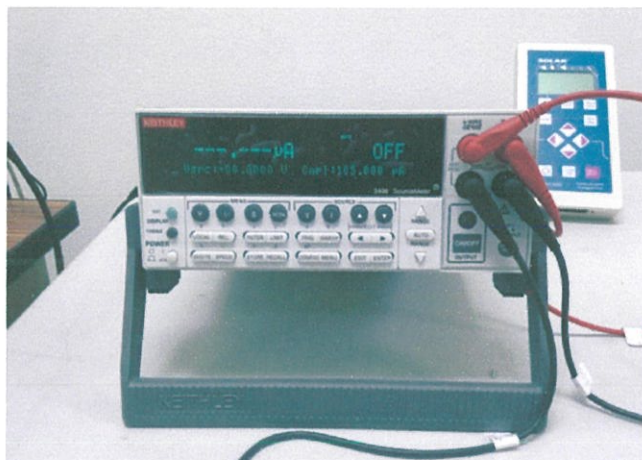
- ไพรานอมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดกำลังของแหล่งกำเนิดแสง [17]
- Data logging Radiometer เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการตรวจสอบการวัดค่าของเครื่องไพรานอมิเตอร์ [18]



รูปที่ 3.16 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) และ Data logging Radiometer (PMA2100)

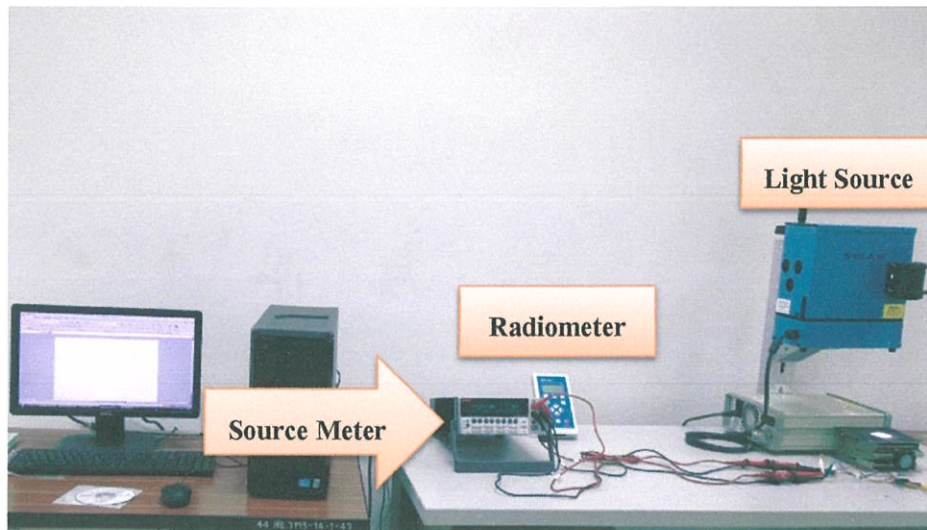
4. Keithely 2400 SourceMeter style [19]

เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า สำหรับไฟฟ้า
กระแสตรง สามารถวัดกระแสได้ในช่วง 10 pA ถึง 1 A



รูปที่ 3.17 Keithely 2400 SourceMeter style

5. การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.18 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

วิธีการวัดค่า I-V ของ DSSCs

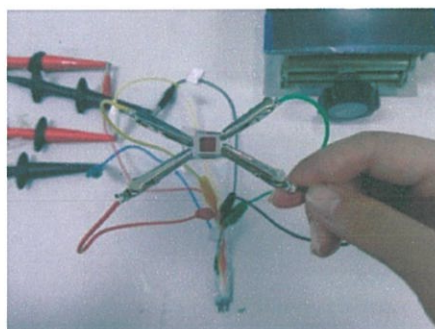
1. เปิดเครื่อง Xenon Lamp Power Supply (XPS300) ด้านหลังแล้วค่อยกดปุ่ม ON



รูปที่ 3.19 กดปุ่มด้านหลังและด้านหน้าของเครื่อง Xenon Lamp Power Supply (XPS300)

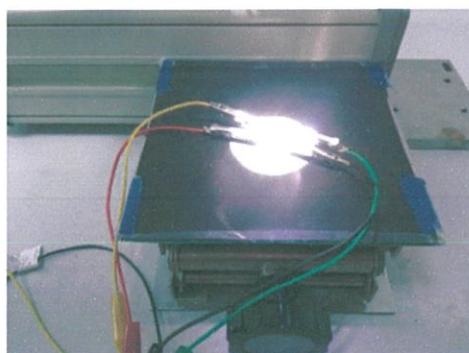
2. เปิดเครื่องไว้อย่างน้อยครึ่งชั่วโมง
3. เปิดโปรแกรม Pecell IV Curve Analyzer 2.1
4. จะต้องวัดค่าของ Silicon Standard Cell ก่อน เมื่อได้ค่า Power Efficiency เท่ากับ 12.9 % ก็ทำการวัดค่าเซลล์แสงอาทิตย์ได้
5. เตรียมเซลล์ที่จะทำการวัด โดยจะต้องเติมสารละลายยอเล็กโตรไลต์ก่อน

6. เมื่อเตรียมเซลล์พร้อมแล้วก็ทำการวัดค่าได้ โดยการหนีบขั้วบวกของเครื่องเข้ากับแคโทดเทอร์อิเล็คโทรคของเซลล์ และหนีบขั้วลบของเครื่องเข้ากับเวิร์คคิงอิเล็คโทรคของเซลล์



รูปที่ 3.20 คลิปหนีบขั้วบวกและขั้วลบ

7. จากนั้นก็นำเซลล์ไปวางตรงแสงเพื่อวัดค่า



รูปที่ 3.21 เซลล์ไปวางตรงแสง

8. กำหนดพื้นที่ของเซลล์ที่ต้องการตรวจสอบและวัดค่าด้วยโปรแกรม Pecell IV Curve Analyzer 2.1

3.3 การศึกษาสมบัติความเป็นกรด - เบสของสีย้อม N719

อุปกรณ์ที่ใช้การวัดค่า

1. Denver instruments pH meter



รูปที่ 3.22 Denver instruments pH meter

2. Hot plate stirrer

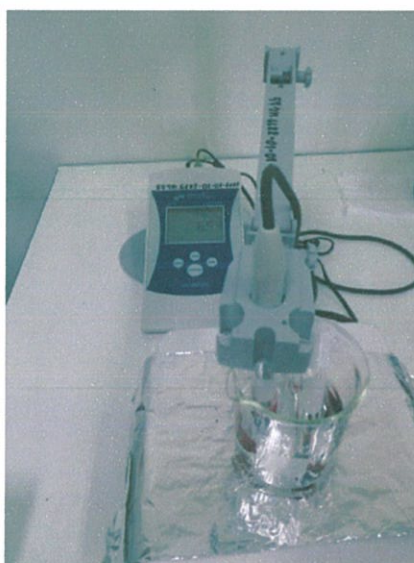


รูปที่ 3.23 Hot plate stirrer

วิธีการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง Denver instruments pH meter

1. กดปุ่ม setup เพื่อเลือกชุดบัฟเฟอร์ที่ต้องการใช้ กด enter เพื่อยืนยัน
2. นำ electrode จุ่มลงในสารละลายบัฟเฟอร์ กด standardize เพื่อทำการ standardize

- ล้าง electrode ด้วยน้ำ DI ซับให้แห้ง ทำการ standardize ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ตัวถัดไป ตามขั้นตอนที่ 2
- เตรียมสีย้อม N719 ที่ต้องการจะวัดค่า pH ด้วยการ นำสีย้อมไปใส่เครื่องอัลตราโซนิค ทำการสั่นเป็นเวลา 10 นาที แล้วแบ่งสีย้อมใส่หลอดทดลอง 3 หลอด
- นำหลอดทดลองทั้งสามใส่บีกเกอร์วางไว้ที่เครื่อง Hot plate stirrer ปรับอุณหภูมิเป็น 30 °C
- เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว จุ่ม electrode ลงในสีย้อมรอนจนสัญลักษณ์ S ปรากฏบนหน้าจอแล้วอ่านค่าที่ได้



รูปที่ 3.24 ทำการวัดค่า pH

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะแสดงและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการจุ่มสีย้อม N719 ต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซึ่งคือออกไซด์ โดยศึกษาผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งในการทดสอบสมบัติของสีย้อมนั้น ผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorbance spectrum) ของสารในรูปของสารละลาย ส่วนการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าจะกระทำโดยการวัดค่า J และ V ของ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

4.1 การศึกษาสมบัติเชิงแสงของสีย้อม N719 ที่มีอุณหภูมิต่างกัน

ผู้ทดลองได้ศึกษาสมบัติทางแสงโดยวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม เพื่อหาจำนวนโมลของสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์

การคำนวณหาจำนวนโมลของสีย้อม N719 ที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์โดยอาศัยความสัมพันธ์ของค่า Absorbance (A) จาก Beer-Lambert Law ดังสมการที่ 4.1

$$A = \epsilon lc \quad (4.1)$$

โดยค่าความยาวคลื่นที่ 515 นาโนเมตร ค่าโมลาร์แอบซอร์บิวิตี (Molar absorptivity, ϵ) ของสีย้อม N719 มีค่าเท่ากับ $1.41 \times 10^4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ จึงสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (c) ได้ และนำค่าความเข้มข้นของสารละลายมาคำนวณหาจำนวนโมลของสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์ที่มีพื้นที่ 0.49 ตารางเซนติเมตรได้และ 1 ตารางเซนติเมตรได้การจากสมการที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

$$n(0.49 \text{ cm}^2) = cv/1000 \quad (4.2)$$

$$n(1 \text{ cm}^2) = [n(0.49 \text{ cm}^2)/0.49 \text{ cm}^2] \times 1 \text{ cm}^2 \quad (4.3)$$

เมื่อ n = จำนวน โมล

c = ความเข้มข้นของสารละลาย

v = ปริมาตรของสารละลาย

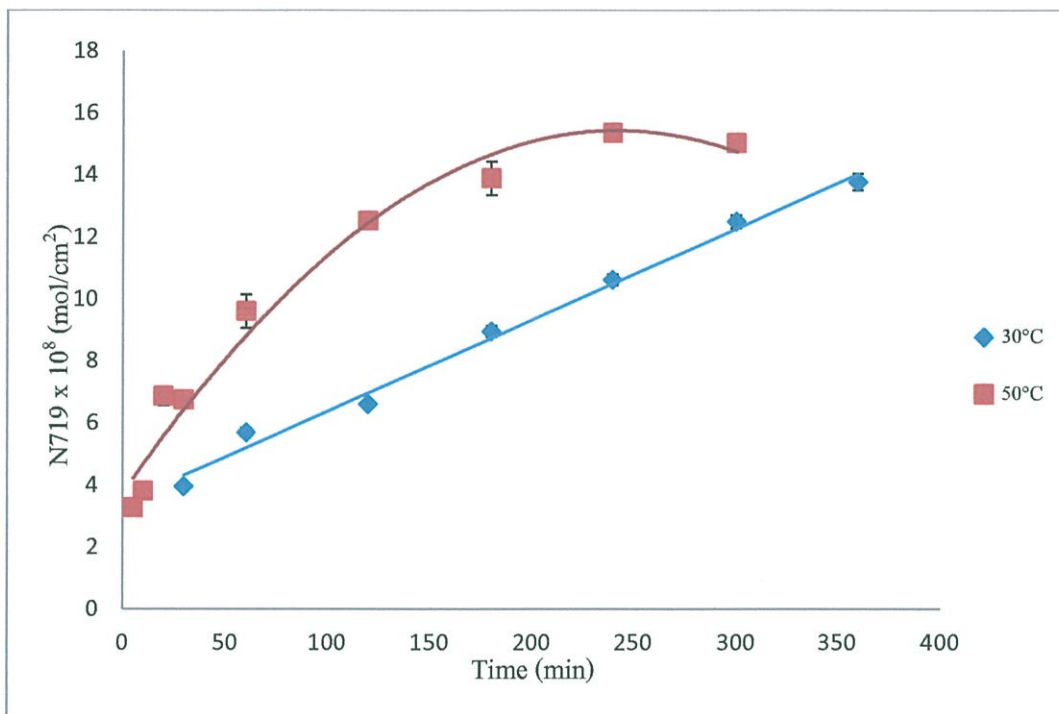
ผลของการคำนวณจำนวน โมลของสี่ย้อมที่อุณหภูมิ 30°C และ 50°C แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการดูดซับสี่ย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 30°C

เวลา (นาที)	$N719 \times 10^8 (\text{mol}/\text{cm}^2)$	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าความคลาด เคลื่อน
30	3.956	0.208	0.069
60	5.701	0.398	0.133
120	6.602	0.187	0.062
180	8.950	0.546	0.182
240	10.614	0.519	0.173
300	12.488	0.624	0.208
360	13.758	0.795	0.265

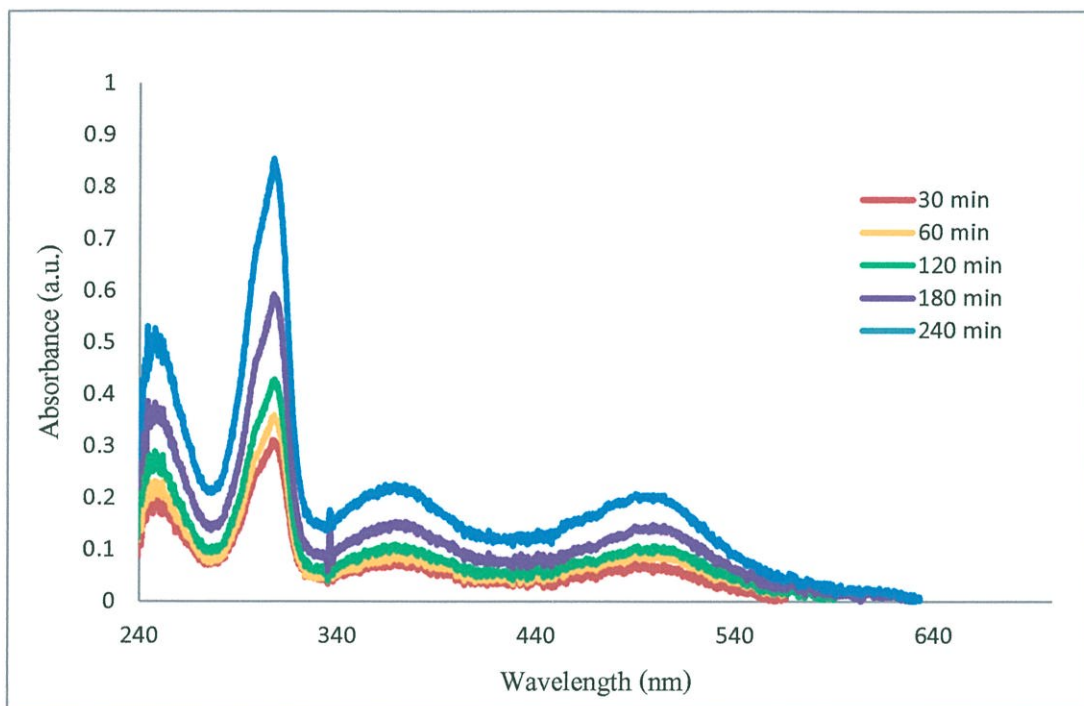
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณการดูดซับสี่ย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 50°C

เวลา (นาที)	$N719 \times 10^8 (\text{mol}/\text{cm}^2)$	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าความคลาด เคลื่อน
5	3.273	0.315	0.105
10	3.803	0.214	0.071
20	6.867	0.910	0.303
30	6.738	0.576	0.192
60	9.601	1.617	0.539
120	12.520	0.434	0.145
180	13.887	1.623	0.541
240	15.342	0.677	0.226
300	15.021	0.602	0.201

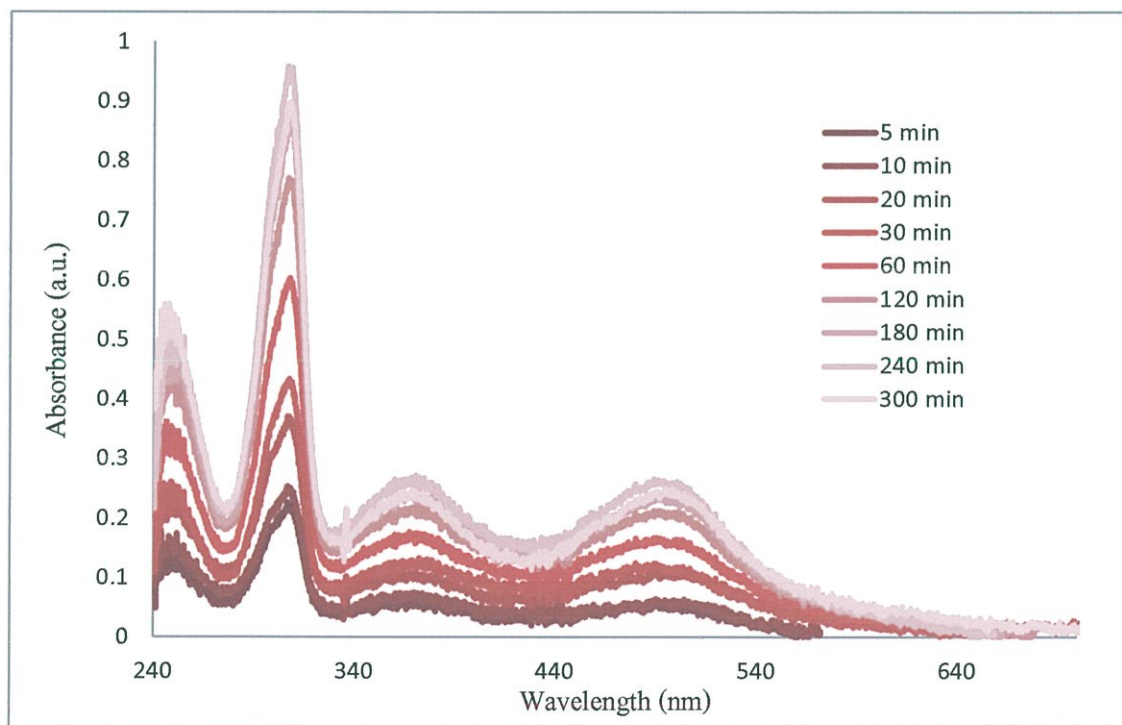


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โมลของสีย้อม N719 กับเวลา

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของจำนวน โมลของสีย้อม N719 ที่เกาะอยู่บนซิงค์-ออกไซด์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30°C และ 50°C เมื่อพิจารณาปริมาณการดูดซับสีย้อมพบว่าเมื่อสีย้อมมีอุณหภูมิ 30°C จำนวน โมลของสีย้อมที่เกาะซิงค์ออกไซด์นั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อระยะเวลาเพิ่มแบบเชิงเส้นตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง ส่วนที่อุณหภูมิ 50°C นั้นจะสังเกตเห็นว่าจำนวน โมลของสีย้อมที่เกาะซิงค์ออกไซด์ช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการจุ่มในสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ประมาณ 2 เท่า เมื่อเทียบกันระหว่างอุณหภูมิ 30°C และอุณหภูมิ 50°C ที่เวลา 60 นาทีก็เช่นเดียวกัน จะเห็นว่ามีจำนวน โมลของสีย้อมที่เกาะซิงค์ออกไซด์ต่างกันมาก เช่น ที่อุณหภูมิ 30°C มีจำนวน โมลประมาณ 5.701 mol/cm^2 และอุณหภูมิ 50°C มีจำนวน โมลประมาณ 9.601 mol/cm^2 ลักษณะเช่นนี้ดำเนินต่อไปจนถึงการจุ่มสีย้อมที่เวลา 180 นาที อัตราการเพิ่มของปริมาณสีย้อมบนอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 50°C จึงเริ่มลดลงจนเป็นศูนย์ (ปริมาณสีย้อมคงที่) เมื่อถึงเวลา 240 เป็นต้นไป



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 กับความยาวคลื่นที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 กับความยาวคลื่นที่อุณหภูมิ 50°C

รูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงเวลาในการย้อมสีนั้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ที่อุณหภูมิ 50°C เวลา 300 นานี้ การดูดกลืนแสงของสีย้อมเริ่มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.1

ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิของสีย้อมและระยะเวลาในการย้อมสีมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับสีย้อมบนอนุภาคซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการลดลงของความหนืดของเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลายสีย้อม N719 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในการตารางที่ 4.3

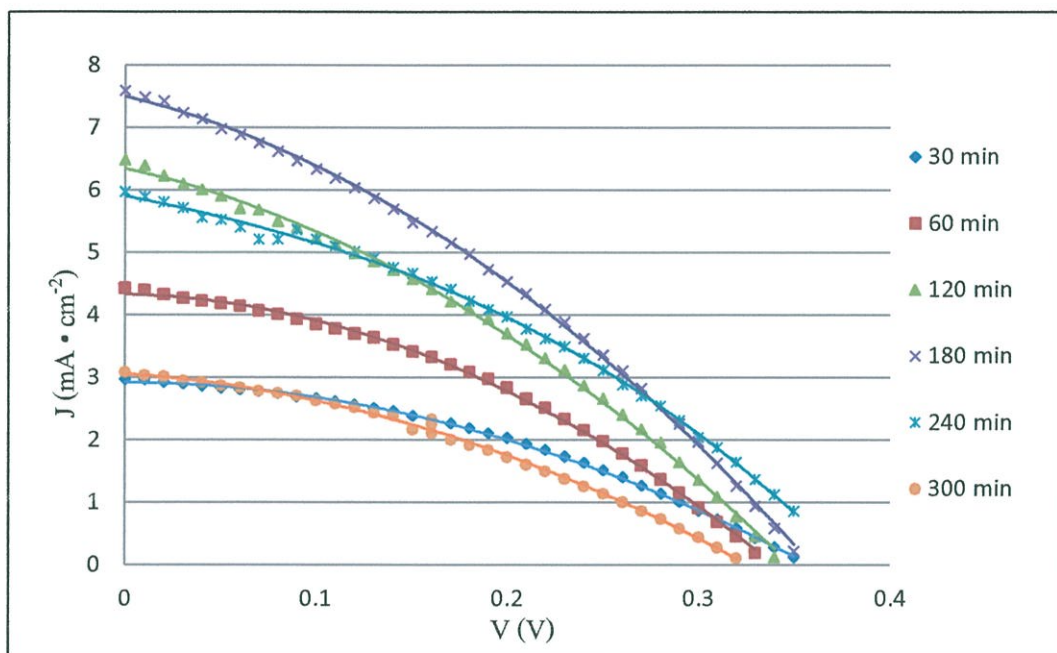
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลค่าความหนืดของเอทานอล [18]

อุณหภูมิ(°C)	Viscosity (Pa • s)
0	1.77×10^{-3}
20	1.20×10^{-3}
40	8.34×10^{-4}
60	5.92×10^{-4}

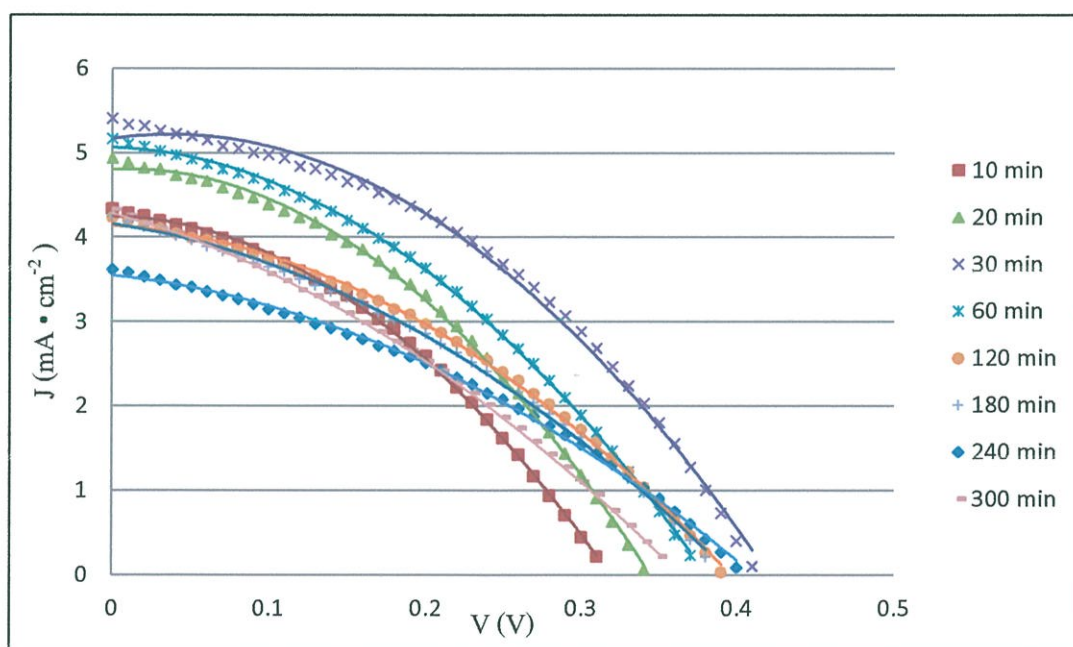
4.2 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSCs

ผลการทดลองคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSC พื้นที่ 0.25 cm² นั้น โดยทำการวัดค่า J และ V ของ DSSC ด้วยเครื่อง solar simulator และคำนวณค่า J_{sc} , V_{oc} , Fill Factor และ Efficiency ได้โดยใช้โปรแกรม Peccell IV Curve Analyzer 2.1 ที่ทำการวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 - 4.5 และตารางที่ 4.4

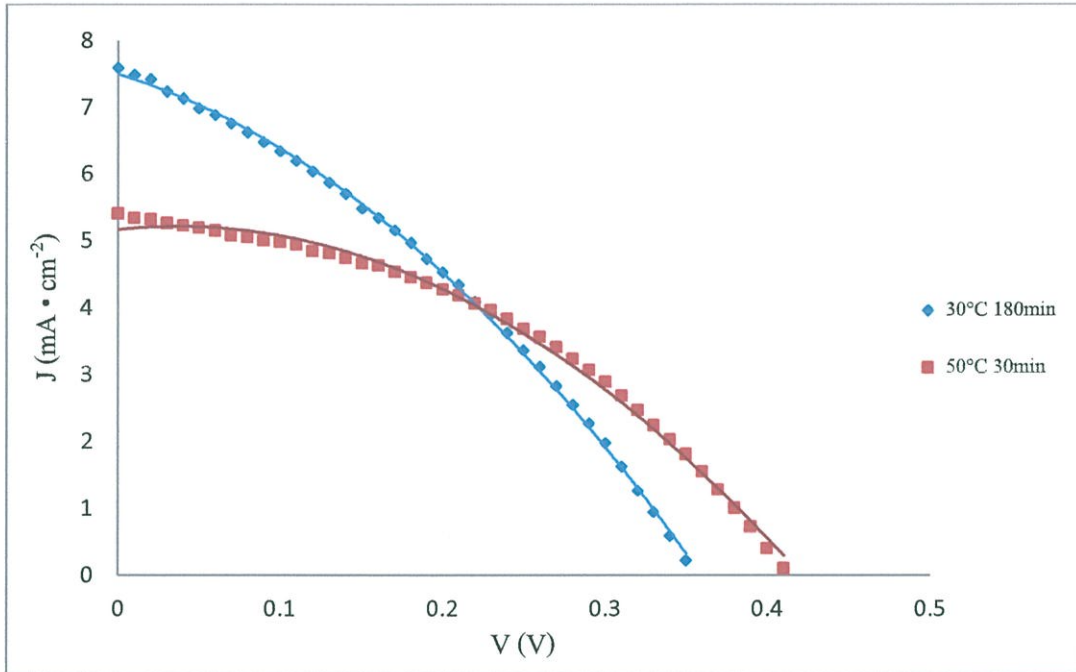
รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่ากราฟในช่วงเวลา 180 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C จะมีค่าความหนาแน่นกระแสสูงสุด ในขณะที่อุณหภูมิ 50°C ที่มีค่าความหนาแน่นกระแสมากที่สุดที่ระยะเวลา 30 นาที (รูปที่ 4.5) และรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบให้เห็นลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละอุณหภูมิระหว่างที่อุณหภูมิ 30°C เวลา 180 นาที กับ อุณหภูมิ 50°C เวลา 30 นาที



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิ 30°C



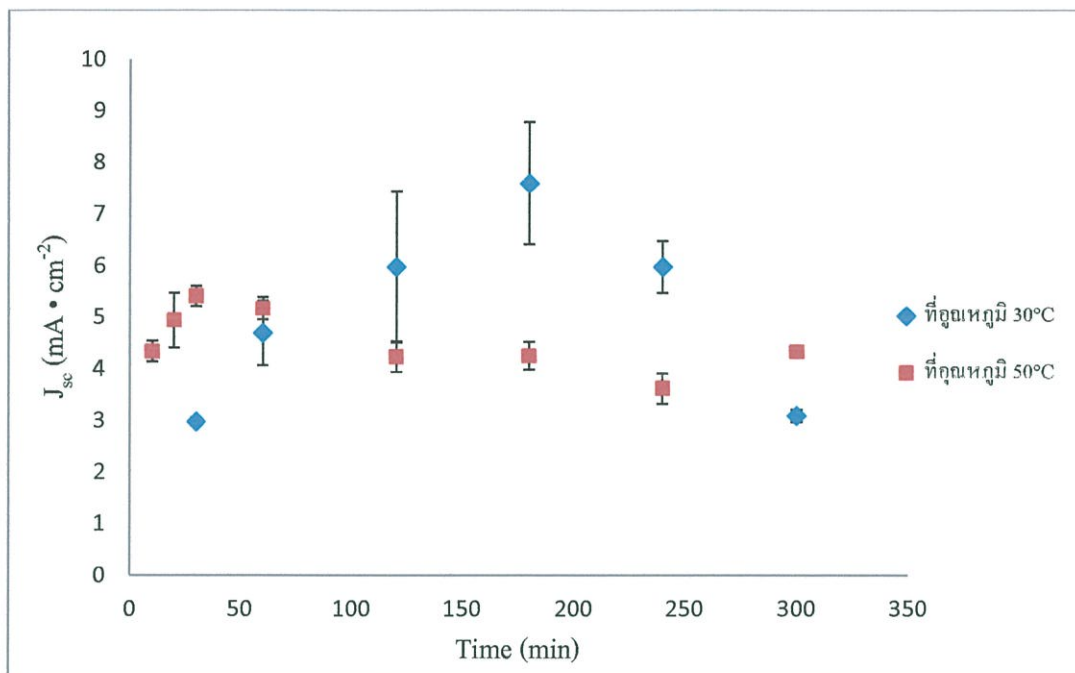
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ ที่อุณหภูมิ 50°C



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกระแสกับความต่างศักย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 180 นาที และที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.4 แสดงผลเปรียบเทียบความหนาแน่นกระแส

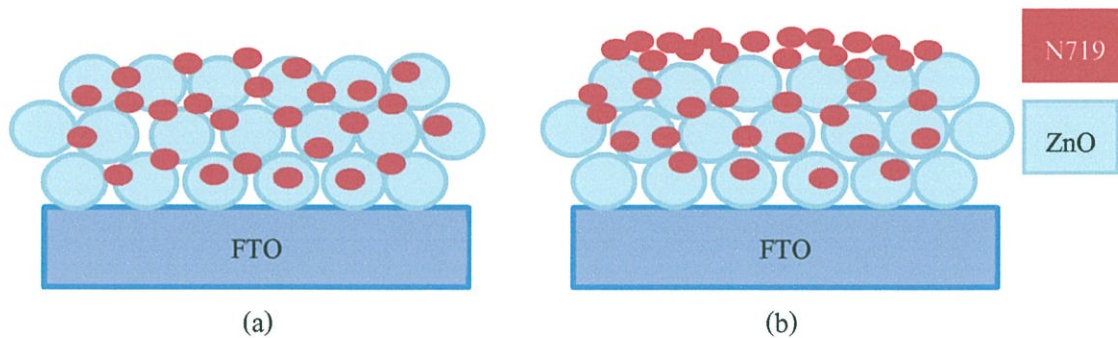
Time (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	30		50	
	J_{sc} (mA · cm ⁻²)	ค่าความคลาดเคลื่อน	J_{sc} (mA · cm ⁻²)	ค่าความคลาดเคลื่อน
10	-	-	4.336	0.202
20	-	-	4.939	0.532
30	2.974	0.082	5.407	0.198
60	4.690	0.625	5.170	0.218
120	5.971	1.467	4.233	0.301
180	7.591	1.185	4.247	0.273
240	5.973	0.500	3.616	0.294
300	3.086	0.121	4.327	0.089



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ความหนาแน่นกระแสกับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกระแสที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C จะแบ่งได้เป็นสองช่วง ในช่วงแรกของอุณหภูมิ 30°C และอุณหภูมิ 50°C ค่าความหนาแน่นกระแสจะเพิ่มเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นถึงระยะเวลาหนึ่ง (180 นาที สำหรับ 30°C และ 30 นาที สำหรับ 50°C) ค่าความหนาแน่นกระแสลดลง ซึ่งอาจเกิดจากค่าความหนืด (viscosity) ของเอทานอลที่เป็นตัวทำละลายสีย้อม N719 ที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

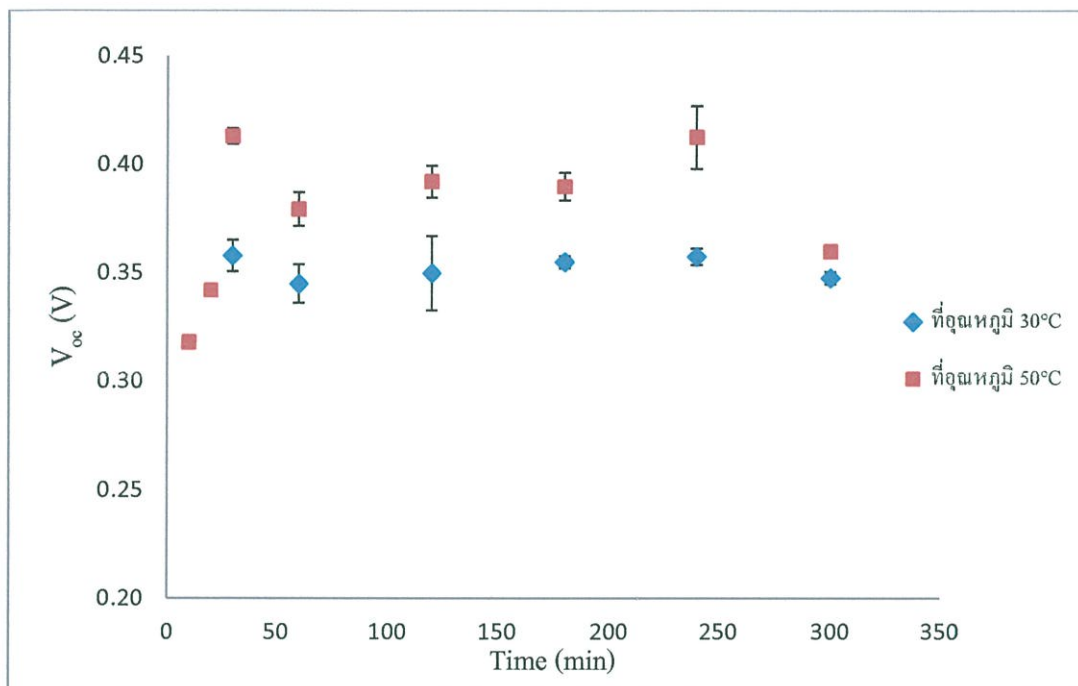
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดของเอทานอลนั้นก็ลดลงทำให้โมเลกุลของสีย้อมสามารถซึมผ่านชั้นอนุภาคและเกาะกับซิงค์ออกไซด์ได้มากขึ้นในช่วงแรก แต่ในช่วงที่สองสีย้อมอาจเริ่มที่จะเกาะทับกันเองจึงทำให้โอกาสในการสูญเสียอิเล็กตรอนให้กับสีย้อมข้างเคียงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสลดลงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 (a) การเกาะตัวของสีย้อมกับซิงค์ออกไซด์ (b) การเกาะทับกันเองของสีย้อม

ตารางที่ 4.5 แสดงผลเปรียบเทียบความต่างศักย์

Time (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	30		50	
	V_{oc} (V)	ค่าความคลาดเคลื่อน	V_{oc} (V)	ค่าความคลาดเคลื่อน
10	-	-	0.318	0.002
20	-	-	0.342	0.003
30	0.358	0.007	0.413	0.004
60	0.345	0.009	0.379	0.008
120	0.350	0.017	0.392	0.007
180	0.355	0.003	0.390	0.006
240	0.357	0.004	0.412	0.014
300	0.347	0.003	0.360	0.002

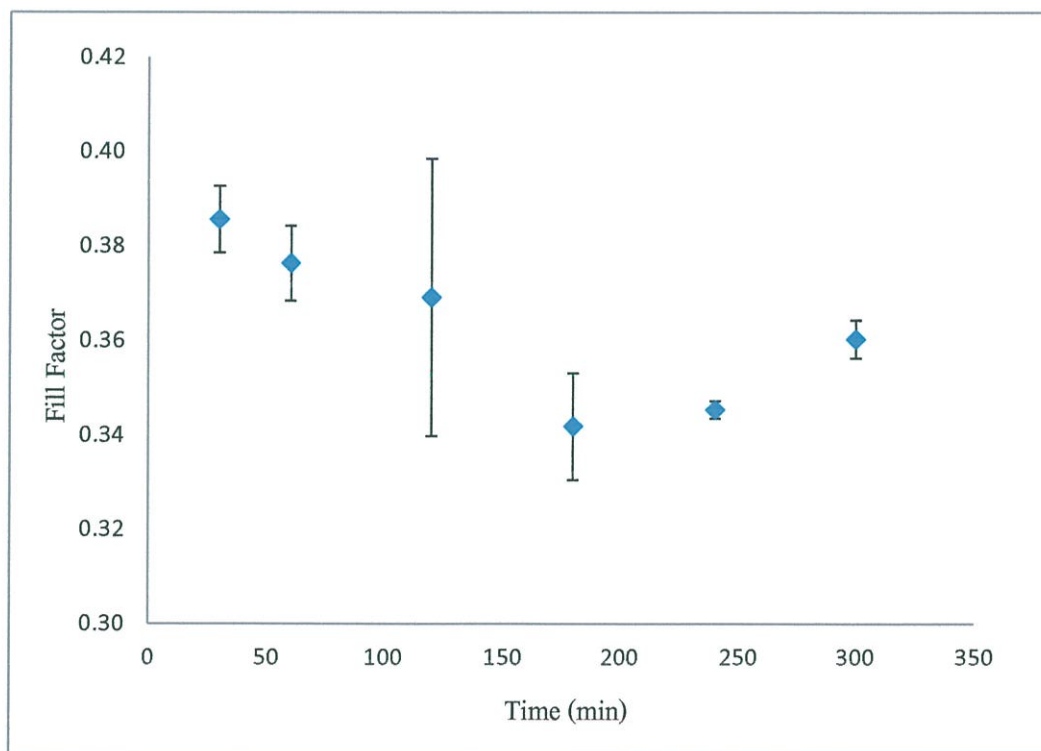


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลาที่ทำการช้อมสี n719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C

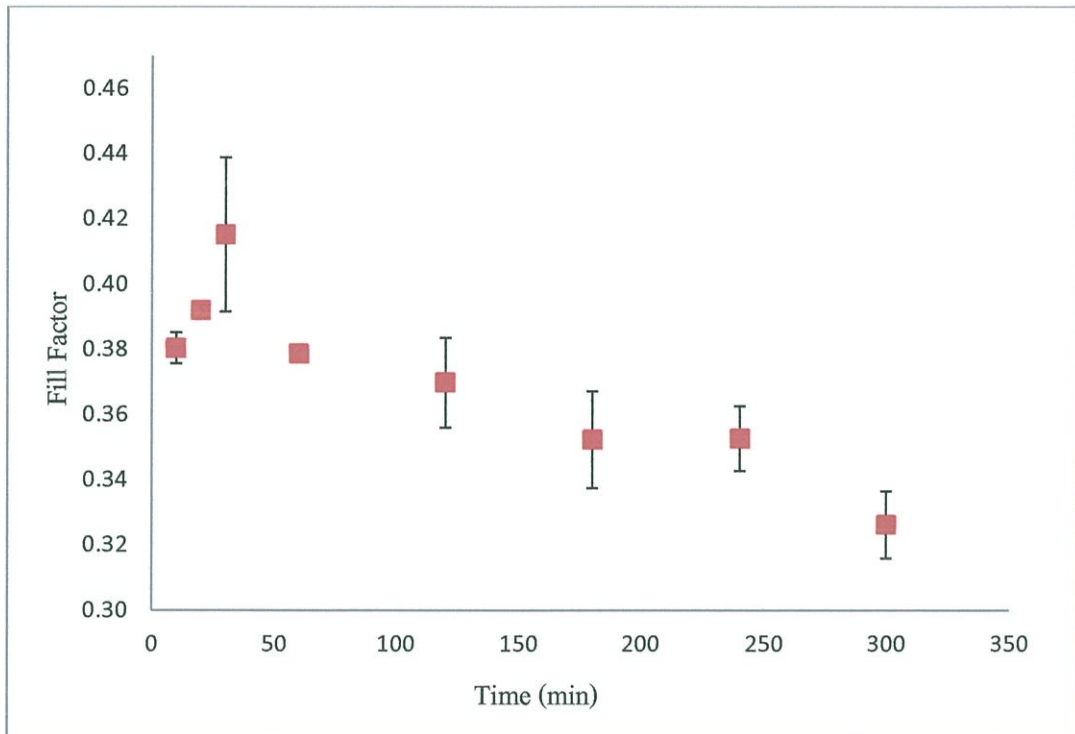
รูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นค่าความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 30°C คงที่ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทดลอง แต่สำหรับอุณหภูมิ 50°C ค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนเวลาถึง 30 นาที จากนั้นจึงลดลงมารักษาระดับคงที่ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณอิเล็กตรอนจากสีช้อมทำให้ระดับพลังงานเฟอร์มี (Fermi level, E_F) ของซิงค์ออกไซด์สูงขึ้น

ตารางที่ 4.6 แสดงผลเปรียบเทียบค่าปัจจัยเติมเต็ม (Fill Factor)

Time (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	30		50	
	Fill Factor	ค่าความคลาด เคลื่อน	Fill Factor	ค่าความคลาด เคลื่อน
10	-	-	0.380	0.005
20	-	-	0.392	0.001
30	0.386	0.007	0.415	0.024
60	0.376	0.008	0.379	0.000
120	0.369	0.029	0.370	0.014
180	0.342	0.011	0.352	0.015
240	0.345	0.002	0.353	0.010
300	0.360	0.004	0.326	0.010



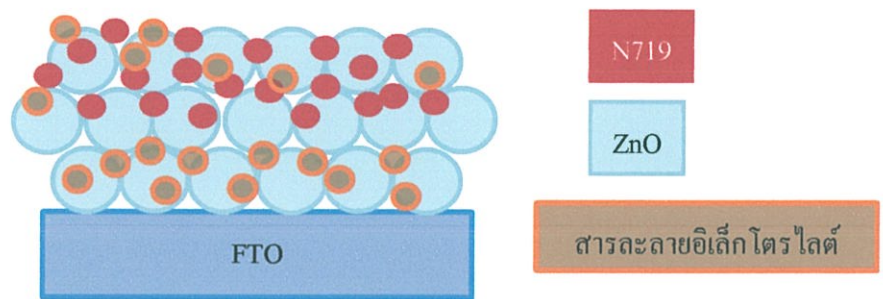
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fill Factor กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C



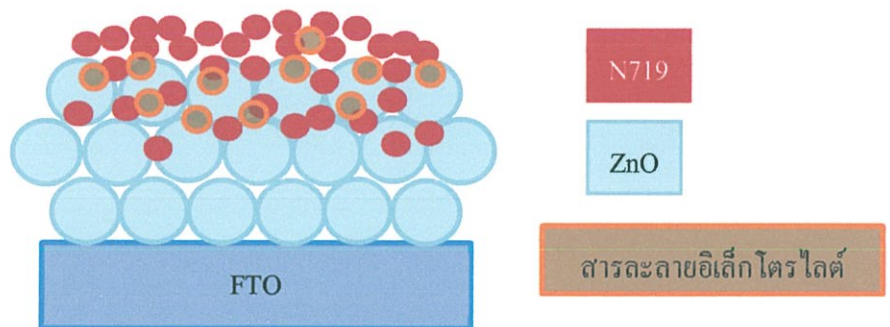
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fill Factor กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 50°C

รูปที่ 4.10 – 4.11 และตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นค่า Fill Factor ที่อุณหภูมิ 30°C และอุณหภูมิ 50°C โดยจะแบ่งการอธิบายเป็นสองช่วง ในช่วงแรกของอุณหภูมิ 30°C ที่ระยะเวลา 30 ถึง 180 นาที ค่า Fill Factor ลดลงเรื่อย ๆ แล้วจึงเพิ่มขึ้นในช่วงหลังจาก 180 นาที เป็นต้นไป ซึ่งอาจเกิดจากความหนืดและคุณสมบัติความเป็นกรดอ่อน ๆ ของเอทานอลที่เป็นตัวทำละลายสีย้อม N719 (ตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.7) จึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมเข้าไปเกาะที่ซิงค์ออกไซด์ได้น้อยและซิงค์ออกไซด์จะละลายในคุณสมบัติความเป็นกรด[22] ซิงค์ออกไซด์บางส่วนอาจจะละลายไปกับกรดทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น เมื่อนิโคตติลอะซิเตต (ตัวทำละลายอะซิโตนในไตรล์) จึงซึมเข้าไปในซิงค์ออกไซด์ได้ดีกว่าสีย้อมดังรูปที่ 4.9 และอะซิเตตอาจเข้าไปสัมผัสกับซิงค์ออกไซด์ทำให้เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างซิงค์ออกไซด์กับอะซิเตตได้ ค่า Fill Factor จึงลดลงหลังจาก 180 นาที เป็นต้นไปสีย้อมเกาะทับกันทำให้สารละลายอะซิเตตซึมผ่านเข้าไปในซิงค์ออกไซด์ได้ยากขึ้น การสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างซิงค์ออกไซด์กับอะซิเตตจึงน้อยลง(ดังรูปที่ 4.10) สอดคล้องกับค่า Fill Factor ที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ ซึ่งต่างจากอุณหภูมิ 50°C ที่ค่า Fill Factor เพิ่มขึ้นในช่วงแรกและค่อย ๆ ลดลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ค่าความหนืดของเอทานอลลดลง

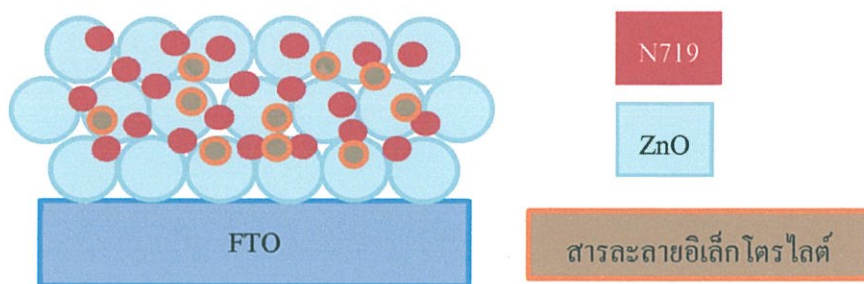
สีย้อมจึงสามารถซึมเข้าไปเกาะที่ซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ชั้นล่างได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 30°C ผิวของซิงค์ออกไซด์จึงถูกปกคลุมด้วยสีย้อมและลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างซิงค์ออกไซด์กับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลดค่า Fill Factor จึงเพิ่มขึ้น(ดังรูปที่ 4.11) แต่หลังจาก 30 นาที เป็นต้นไป ค่า Fill Factor ลดลงเป็นเพราะสีย้อมเริ่มที่เกาะทับกันทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมผ่านเข้าไปชั้นล่างได้ยาก ดังรูปที่ 4.12 การเติมอิเล็กตรอนทดแทนให้กับสีย้อมที่อยู่ชั้นในจึงลดน้อยลงส่งผลให้ค่า Fill Factor ลดน้อยลงด้วย



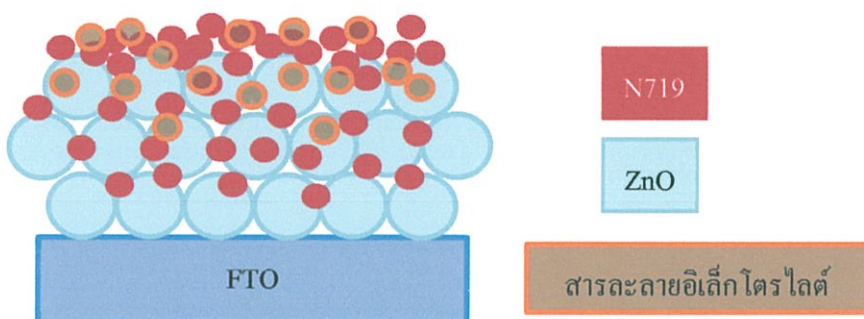
รูปที่ 4.12 แสดงช่วงแรกของกราฟที่ค่า Fill Factor ลดลง อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.13 แสดงช่วงที่สองของกราฟที่ค่า Fill Factor เพิ่มขึ้น อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.14 แสดงช่วงแรกของกราฟที่ค่า Fill Factor เพิ่มขึ้น อุณหภูมิ 50°C



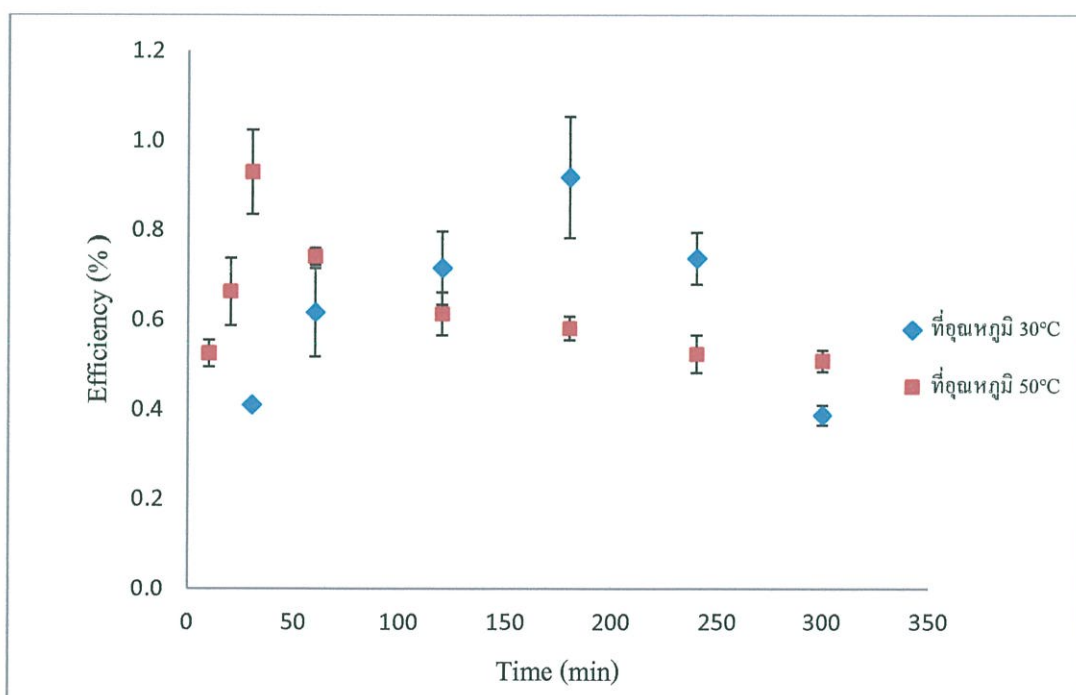
รูปที่ 4.15 แสดงช่วงที่สองของกราฟที่ค่า Fill Factor ลดลง อุณหภูมิ 50°C

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบค่า pH ของสีย้อม N719

อุณหภูมิสีย้อม (°C)	ค่า pH			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
30	6.85	6.89	6.95	6.90
50	6.72	6.70	6.75	6.72
70	6.57	6.55	6.56	6.56

ตารางที่ 4.8 แสดงผลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

Time (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	30		50	
	Efficiency (%)	ค่าความคลาด เคลื่อน	Efficiency (%)	ค่าความคลาด เคลื่อน
10	-	-	0.525	0.030
20	-	-	0.662	0.075
30	0.410	0.002	0.929	0.095
60	0.616	0.099	0.741	0.019
120	0.715	0.082	0.613	0.048
180	0.918	0.136	0.581	0.026
240	0.736	0.058	0.524	0.042
300	0.387	0.022	0.508	0.024



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Efficiency กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้ง 3 ตัว (J_{sc} , V_{oc} , FF) ตามสมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันดังที่กล่าวมา ค่าประสิทธิภาพที่อุณหภูมิและระยะเวลาการจุ่มสีย้อมต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.13 จากข้อมูลจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงที่สุดสำหรับอุณหภูมิสีย้อม 30°C คือ 0.918% โดยจุ่มสีย้อมเป็นเวลา 180 นาที ในขณะที่อุณหภูมิ 50°C ค่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงสุดเท่ากับ 0.929% เมื่อจุ่มสีย้อมเป็นเวลา 30 นาที แสดงให้เห็นการเพิ่มอุณหภูมิสีย้อมสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการย้อมสีได้ 6 เท่า (จาก 180 นาที เหลือ 30 นาที) และให้เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงซิงค์ออกไซด์-N719 ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อม N719 เป็นสีย้อม ในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์ผู้วิจัยมีเงื่อนไขในการย้อมสีโดยจะควบคุม อุณหภูมิและเวลาการย้อมสีแล้วดูปริมาณสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์รวมทั้งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการวัดสมบัติทางแสงพบว่าปริมาณสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย้อมสีในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ แต่มีลักษณะการเพิ่มที่แตกต่างกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าการย้อมสีที่อุณหภูมิ 30°C ปริมาณสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์ก็เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แบบเป็นเส้นตรง เมื่อเปรียบเทียบกับที่ย้อมสีที่อุณหภูมิ 50°C ปริมาณสีย้อมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกแล้วคงที่

เมื่อทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์โดยการวัดค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจร (J_{sc}) พบว่าโดยการเพิ่มระยะเวลาในการย้อมสีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้จนถึงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลง เนื่องจากการสูญเสียอิเล็กตรอนที่ขั้วไฟฟ้าลบ ค่าความหนาแน่นของกระแส ที่อุณหภูมิ 30°C เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อย้อมสีเป็นเวลา 180 นาที และที่อุณหภูมิ 50°C ค่าความหนาแน่นกระแสสูงสุดเมื่อย้อมสีเป็นเวลา 30 นาที สอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงสุดที่อุณหภูมิ 30°C ที่เวลา 180 นาที และอุณหภูมิ 50°C เวลา 30 นาที โดยมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.918 % และ 0.929 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้ทดลองเพิ่มอุณหภูมิเพียง 20°C จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในระยะเวลาสั้นลงได้ถึง 6 เท่า

5.2 ข้อเสนอนะและข้อควรระวัง

1. การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ละครั้งจะได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไม่เท่ากัน ซึ่งอาจจะเกิดจากพื้นที่ของเซลล์แต่ละเซลล์นั้นไม่เท่ากัน จึงควรควบคุมพื้นที่ในการเตรียมเซลล์ให้เท่ากันให้มากที่สุด

2. การเพิ่มอุณหภูมิของสีย้อม N719 มากกว่า 50°C ขึ้นไปทำให้ตัวทำละลายของสีย้อม (เอทานอล) ระเหยแม้จะอยู่ในภาชนะปิดอาจทำให้ความเข้มข้นของสีย้อมนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้ (จุดเดือดของเอทานอลคือ 78°C)

เอกสารอ้างอิง

- [1] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ๒๕๕๖. พลังงาน (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
<http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi2/energy/energy.htm>
- [2] cleantechnica. ๒๕๕๖. Dye-Sensitized Solar Cells Achieve Record Efficiency Of 15% (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
<http://cleantechnica.com/2013/07/15/dye-sensitized-solar-cells-achieve-record-efficiency-of-15>
- [3] ๒๕๕๖. ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://catadmin.cattelcom.com/training/CAT-elearning/cat_hrd_courses/17/ch2_3.htm
- [4] มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์. ๒๕๕๖. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
www.chulapedia.chula.ac.th
- [5] samarn. ๒๕๕๖. สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
<http://dyesolarcells-kku.blogspot.com/>
- [6] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ๒๕๕๖. คุณสมบัติของ ZnO (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/aphys1052pu_ch2.pdf
- [8] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ๒๕๕๖. กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
www.ubu.ac.th/ubu_center/files_up/08f2013032015072362.pdf
- [9] กมลพรรณ ชุมพล. ๒๕๕๕. การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ออนไลน์) แหล่งที่มา : www.nimt.or.th/nimt/upload/linkfile/sys-metrology-926-110.pdf
- [10] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ๒๕๕๖. สีย้อมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
www.ubu.ac.th/ubu_center/files_up/08f2013032015072362.pdf
- [11] กองประชาสัมพันธ์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ๒๕๕๖. ประวัติเซลล์แสงอาทิตย์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา : <http://www.bangkoksolar.com/th/products/>
- [12] Nature materials. ๒๕๕๖. สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 ใน

สารทำลายเอทานอล (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

http://www.nature.com/nmat/journal/v8/n8/fig_tab/nmat2475_F4.html

[13] Ocean Optics. ๒๕๕๖. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ USB4000 Miniature Fiber Optic Spectrometer

(ออนไลน์) แหล่งที่มา : <http://www.oceanoptics.com/products/usd4000.asp>

[14] Equipnet, Inc. ๒๕๕๖. แหล่งกำเนิดแสง DH-2000 UV-VIS-NIR Light Source (ออนไลน์)

แหล่งที่มา : http://www.equipnet.com/mikropack-dh-2000-uv-vis-nir-light-source_listid_386613/

[15] Solar Light. ๒๕๕๖. แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟซีนอน (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

<http://solarlight.com/product/16s-300-watt-solar-simulator/>

[16] Solar Light Company, Inc. ๒๕๕๖. Xenon Lamp Power Supply (XPS300) (ออนไลน์)

แหล่งที่มา : <http://datasheets.globalspec.com/ds/3910/SolarLight/D4BA1175-509E-4747-B22C-CDA698C301FE>

[17] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. ๒๕๕๖. ไพรานอมิเตอร์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

<http://www.chumphon.kmitl.ac.th/me/images/stories/km/km002.pdf>

[18] ๒๕๕๖. Data logging Radiometer (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

<http://www.es-france.com/pdf/pma2100-ES.pdf>

[19] Keithley. ๒๕๕๖. Data logging Radiometer (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

<http://www.keithley.com/events/proddemos/2400demo/2400.html>

[20] efunda. ๒๕๕๖. ค่าความหนืดของเอทานอล (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

https://www.efunda.com/materials/common_matl/show_liquid.cfm?MatlName=AlcoholEthanol

[21] Wikipedia. ๒๕๕๖. ค่าความหนืดของเอทานอล (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

[http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_\(data_page\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_(data_page))

[22] ๒๕๕๖. ค่าความหนืดของอะซิโตนไนไตร (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

<http://macro.lsu.edu/howto/solvents/viscosity.htm>

[23] DDBST. ๒๕๕๖. ค่าความหนืดของอะซิโตนไนไตร (ออนไลน์) แหล่งที่มา :

http://www.ddbst.com/en/EED/PCP/VIS_C3.php

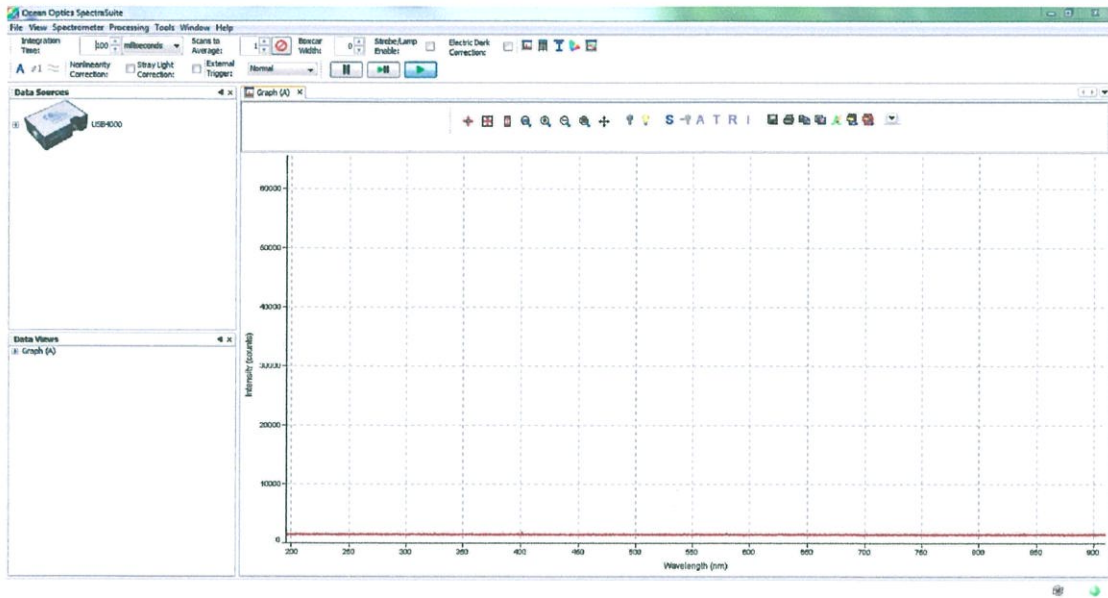
[24] ๒๕๕๖. ค่าความเป็นกรดของเอทานอล(ออนไลน์) แหล่งที่มา :

<http://scienceaid.co.uk/chemistry/organic/alcohols.html>

- [25] Influence of TiO₂ Nanocrystals Fabricating Dye-Sensitized Solar Cell on the Absorption Spectra of N719 Sensitizer. ๒๕๕๖.ค่าความเป็นกรดของเอทานอล(ออนไลน์) แหล่งที่มา : <http://www.hindawi.com/journals/ijp/2012/906198/>

ภาคผนวก

การใช้โปรแกรม Spectrasuite



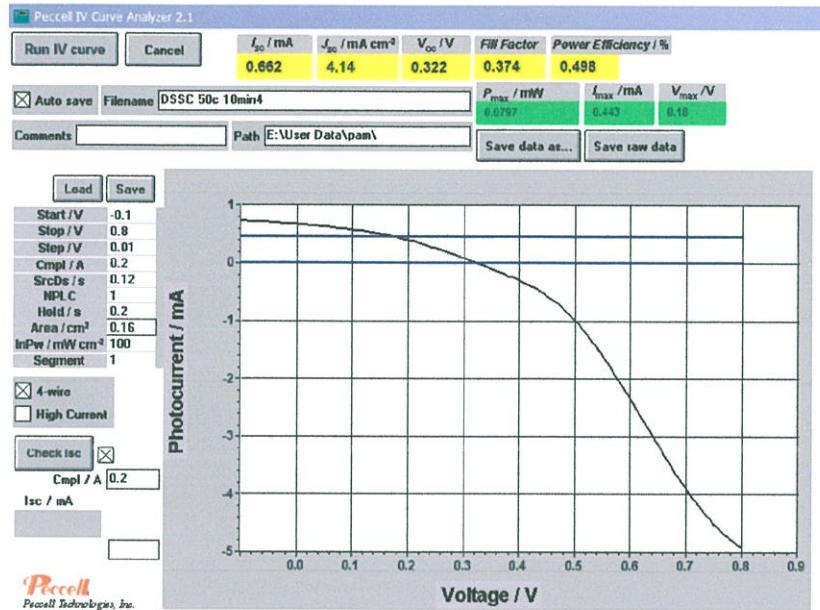
รูปที่ 1 โปรแกรม Spectrasuite



รูปที่ 2 แถบเครื่องมือ

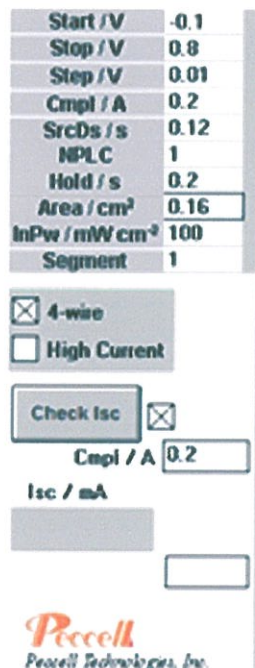
- เปิด โปรแกรม Spectrasuite
- กดเครื่องหมาย store dark ที่อยู่บนแถบเครื่องมือ
- กดเครื่องหมาย store reference
- จากนั้นนำคิ้วเวทที่มีสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) วางในแท่นสำหรับใส่คิ้วเวท
- กดเครื่องหมาย store reference
- นำคิ้วเวทที่มีสีย้อม N719 วางในแท่นสำหรับใส่คิ้วเวท
- กดเครื่องหมาย absordance
- ทำการเก็บข้อมูลโดยกดเครื่องหมาย copy data

การใช้โปรแกรม Peccell IV Curve Analyzer 2.1



รูปที่ 3 โปรแกรม Peccell IV Curve Analyzer 2.1

- เมื่อเปิดอุปกรณ์การวัดค่า I_{sc} , V_{oc} ของ DSSCs เรียบร้อยแล้ว
- เปิด โปรแกรม Peccell IV Curve Analyzer 2.1
- แล้วใส่ค่าตามที่กำหนดไว้ดังรูป 4 นี้



รูปที่ 4 ค่าที่กำหนดไว้

- พิมพ์ชื่อข้อมูลที่จะชื่อ File name

- พิมพ์เก็บข้อมูล Path
- นำ Silicon Standard Cell วางตรงแหล่งกำเนิดแสง
- กดปุ่ม Run IV Curve
- ข้อมูลจะถูกบันทึกโดยอัตโนมัติ