



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงซึ่งก่ออกไซด์ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

Zinc Oxide Dye-Sensitized Solar Cell Preparation by
Rapid Thermal Treatment

ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการให้

ความร้อนอย่างรวดเร็ว

Zinc Oxide Dye-Sensitized Solar Cell Preparation by
Rapid Thermal Treatment

ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

๑. 12681696

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสีไวแสงซึ่งค่ออกไซด์ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

แหล่งเงิน เงินรายได้ประเภทส่งเสริมนักวิจัย

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2556 ถึง กันยายน 2557

ชื่อ – สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุหน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ ดร.พิชชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสีไวแสงซึ่งค่ออกไซด์-N719 (ZnO-N719 DSSCs) และตรวจสอบผลของอุณหภูมิตลอดจนระยะเวลาของการย้อมสีไวแสง N719 ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยเทคนิคการดูดกลืนแสงของสีย้อม การวิเคราะห์ลักษณะความหนาแน่นกระแสและความต่างศักย์ และค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายสีย้อม พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย้อมสีจนถึงระยะเวลาที่เหมาะสมค่าหนึ่งจากนั้นประสิทธิภาพลดลงสำหรับทุกอุณหภูมิสีย้อมที่ใช้คือ 30°C และ 50°C เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (0.918 %) เมื่อย้อมสีเป็นระยะเวลา 180 นาที สำหรับอุณหภูมิสีย้อม 30°C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสีย้อมเป็น 50°C พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมสีให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด (0.922%) ลดลงเป็น 30 นาที ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิของสีย้อมขึ้น 20°C สามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการย้อมสีได้สูงที่สุด 6 เท่าและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสูงที่สุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสีไวแสงได้

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสีไวแสง, ซึ่งค่ออกไซด์, สีย้อม, N719, ประสิทธิภาพ

Research Title: Zinc Oxide Dye-Sensitized Solar Cell Preparation by Rapid Thermal Treatment

Researcher: Pichanan Teesetsopon (Ph.D)

Faculty: Science **Department:** Physics

ABSTRACT

This paper 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, Dye, N719, Efficiency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 และได้รับการอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือวิจัยจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงขอแสดงความขอบคุณมา ณ ที่นี้

ดร. พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม.....	4
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell: DSSC).....	3
2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	3
2.1.2 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	7
2.2 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	14
2.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	15
3.1 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงระบบเชิงซ้อนไฮดรอกไซด์.....	18
3.2 การศึกษาสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าของ DSSCs.....	20
3.3 การศึกษาสมบัติความเป็นกรด - เบสของสีย้อม N719.....	22
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	23
4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงแสงของสีย้อม N719 ที่มีอุณหภูมิต่างกัน.....	30
4.2 ผลการศึกษากการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคกระตุ้นด้วยความร้อน.....	35
4.2.1 ผลต่อค่าความหนาแน่นกระแส.....	36
4.2.2 ผลต่อค่าฟิลแฟกเตอร์.....	37
4.2.2 ผลต่อค่าความต่างศักย์วงจรเปิด.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์.....	39
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง.....	50
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	51
6.1 สรุปรายชื่อผลผลิตงานวิจัย.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก เอกสารผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่.....	55
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย.....	56
ประวัติผู้วิจัย.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ (ZnO).....	9
2.2 สมบัติของสีย้อม N719.....	10
3.1 ระยะเวลาการย้อมสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และอุณหภูมิ 50°C	20
4.1 ปริมาณการดูดซับสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 30°C	22
4.2 ปริมาณการดูดซับสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 50°C.....	25
4.3 ความหนืดของเอทานอล.....	26
4.4 เปรียบเทียบความหนาแน่นกระแสเมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C	28
4.5 เปรียบเทียบค่าฟิลแฟกเตอร์ เมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C	30
4.6 ผลการทดสอบค่า pH ของสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิต่างๆ	32
4.7 เปรียบเทียบความต่างศักย์เมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C.....	34
4.8 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	6
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของ N_3	6
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ N719	7
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของ N749.....	8
2.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 ในตัวทำละลายอะซิโตนไตรไฮไดรด์.....	9
2.6 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	10
3.1 กระจกน้ำไฟฟ้า.....	12
3.2 บล็อกสำหรับ ZnO และ Pt.....	14
3.3 กระจกน้ำไฟฟ้าเคลือบด้วยแพลทินัม Pt.....	16
3.4 กระจกน้ำไฟฟ้าเคลือบด้วย ZnO.....	18
3.5 การเตรียมสีย้อม N719.....	20
3.6 การย้อม ZnO ด้วยสีย้อม N719.....	22
3.7 การกำหนดพื้นที่ทำงานของเซลล์.....	24
3.8 การประกอบขั้วบวกและขั้วลบ.....	24
3.9 การเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	28
3.10 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสง.....	30
3.11 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดประสิทธิภาพของ DSSCs.....	32
3.12 การวัดค่า pH ของสีย้อมที่อุณหภูมิต่างๆ.....	35
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 เมื่อเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 30°C ...	36
4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 เมื่อเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 50°C...	37
4.3 ปริมาณของสีย้อม N719 ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการดูดซับสีย้อม.....	39
4.4 ความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์เมื่อเตรียมเซลล์ที่อุณหภูมิ 30°C.....	40
4.5 ความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์เมื่อเตรียมเซลล์ที่อุณหภูมิ 50°C.....	41
4.6 ความหนาแน่นกระแสกับเวลาที่ทำการย้อมสี N719	42
4.7 (a) การเกาะตัวของสีย้อมกับอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ (b) การเกาะทับกันเองของสีย้อมที่อยู่ด้านบน	44
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟิลแฟกเตอร์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟิลแฟกเตอร์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 50°C.....	45
4.10 ขั้วไฟฟ้าลบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ช่วงระยะเวลา $T > T_{max}$	46
4.11 ขั้วไฟฟ้าลบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ช่วงระยะเวลา $T > T_{max}$	48
4.12 ขั้วไฟฟ้าลบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C ช่วงระยะเวลา $T < T_{max}$	48
4.13 ขั้วไฟฟ้าลบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C ช่วงระยะเวลา $T > T_{max}$	49
4.14 ความต่างศักย์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C.....	50
4.15 ประสิทธิภาพของเซลล์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และอุณหภูมิ 50°C .51	
4.16 ความหนาแน่นของกระแสกับความต่างศักย์ เมื่อย้อมสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 180 นาที และที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที.....	52

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาพลังงานทางเลือกเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วนสำหรับการแก้ปัญหาด้านความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ จากตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพและสมควรได้รับการพัฒนามาใช้ประโยชน์ในแง่ของการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้น โดยทั่วไปมักใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอนซึ่งมีต้นทุนในการผลิตสูงเนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง (Dye-sensitized solar cell, DSSC) ซึ่งสามารถเตรียมได้ง่ายในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป และมีต้นทุนการผลิตต่ำ หากทว่าประสิทธิภาพยังไม่สามารถแข่งขันกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนได้ด้วยเหตุนี้ การวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงจึงได้รับความสนใจจากหลากหลายกลุ่มวิจัยทั่วโลก

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักสี่ส่วน ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าลบ (Photoelectrode) สีย้อมไวแสง(Dye) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และ ขั้วไฟฟ้าบวก (Counter electrode) การศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จึงสามารถทำได้ในหลายส่วนด้วยกัน สำหรับโครงการวิจัยนี้ต้องการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการย้อมสีที่ขั้วไฟฟ้าลบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง

1.2.2 เพื่อพัฒนาการดูดซับสีย้อมที่ขั้วไฟฟ้าลบโดยการให้ความร้อนแบบรวดเร็ว

(Rapid thermal treatment)

1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงหลังการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าลบด้วยเทคนิคการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงที่มีขั้วไฟฟ้าลบสร้างจากอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ย้อมสีด้วยเทคนิคการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

1.3.2 วิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพ การดูดซับสีย้อม และสมบัติการนำไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าลบที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมได้ ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 สืบค้นหาข้อมูลและศึกษาหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.4.2 เตรียมอุปกรณ์ จัดซื้อสารเคมีและสีย้อมที่ใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.4.3 สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซึ่งค้ออกไซด์ที่จุ่มสีย้อมไวแสง N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ 50°C ในระยะเวลาต่างๆ

1.4.4 วัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซึ่งค้ออกไซด์

1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจหลักการทำงานของแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.5.2 เทคนิคการเตรียมแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

บทที่ 2

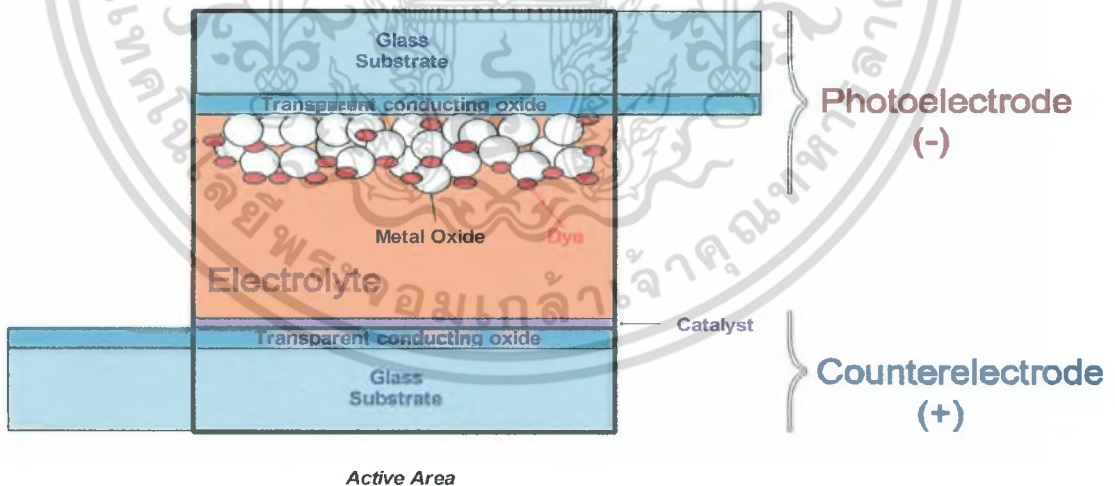
แนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell : DSSC)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นอุปกรณ์สำหรับการใช้แปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนให้เป็นกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยสีย้อมไวแสงเป็นตัวรับพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อกระตุ้นให้เกิดจากสร้างอิเล็กตรอน ทั้งนี้แนวคิดตั้งต้นเกิดมาจากการเลียนแบบการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชซึ่งพืชจะใช้คลอโรฟิลล์(Chlorophyll) ทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)ไปเป็นน้ำตาล ($\text{C}_2\text{H}_{12}\text{O}_6$) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีข้อดีในแง่ของความเรียบง่ายในการเตรียม วัสดุและสารเคมีที่ใช้มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนที่ใช้กันโดยทั่วไป มีสีส้มจากองค์ประกอบของสีย้อมทำให้สามารถนำไปประยุกต์กับการประดับตกแต่งอาคารพร้อมด้วยความสามารถในการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังคงมีจุดด้อยในด้านประสิทธิภาพ อายุการใช้งาน และระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียม จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาให้ดีขึ้นต่อไป ซึ่งต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในองค์ประกอบและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นเบื้องต้น

2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีส่วนประกอบต่างๆดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 โฟโตอิเล็กโทรด (Photoelectrode)

โฟโตอิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าหนึ่งของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง สร้างได้จากองค์ประกอบหลักพื้นฐานคือ สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) เคลือบลงบนกระจกใสที่มีฟิล์มของสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent conducting oxide glass : TCO glass) โดยที่พื้นผิวของสารกึ่งตัวนำเป็นตัวรองรับการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อมไวแสง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (โฟตอน) ให้กลายเป็นประจุไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ดังนั้นโฟโตอิเล็กโทรดจึงเป็นขั้วไฟฟ้าลบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ โดยมีหลักในการเลือกองค์ประกอบต่างๆข้างต้นดังต่อไปนี้

สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) [6]

สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นขั้วลบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นกลุ่มสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้างมากกว่า 3 eV (Wide band gap semiconductor) เช่น TiO_2 , SnO_2 , ZnO , Fe_3O_4 , NiO , SiO_2 เป็นต้น เพื่อให้แสงในย่านที่สามารถกระตุ้นการสร้างอิเล็กตรอนของสีย้อมได้คืบหน้าไปถึงสีย้อมได้ สารกึ่งตัวนำเหล่านี้มักถูกเตรียมให้อยู่ในสภาพของฟิล์มบางที่มีลักษณะเป็นรูพรุนสูง (High porous) เพื่อให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อมได้มากและ ทั้งนี้ระดับพลังงานของขอบล่างของแถบการนำ (Conduction band edge) ควรจะมีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานที่สถานะถูกกระตุ้นของโมเลกุลของสีย้อม เพื่อให้ทำให้เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของเม็ดสีมายังสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ได้ง่าย นอกจากนี้หากสารกึ่งตัวนำที่เลือกมาใช้นั้นมีค่าสภาพคล่องทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอนสูง (Electron mobility) ย่อมเป็นประโยชน์ในแง่ของการส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้สารกึ่งตัวนำชนิดซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ซึ่งนอกจากจะมีสมบัติข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว ยังมีราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal structure) โดยมีสมบัติทางกายภาพบางประการแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

สมบัติทางกายภาพ	ข้อมูล
โครงสร้างผลึก (Crystal structure)	Wurtzite
ค่าคงที่ของผลึก a (Lattice constant, a)	3.25 Å
ค่าคงที่ของผลึก c (Lattice constant, c)	5.12 Å
ความหนาแน่น (Density)	5.6 g cm ⁻³
ช่องว่างแถบพลังงาน (Optical band gap)	3.2 eV
มวลอิเล็กตรอนยังผล (Effective electron mass)	0.24-0.3 m _e
สภาพคล่องของอิเล็กตรอน (Electron mobility)	200 cm ² V ⁻¹ s ⁻¹

ฟิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสง

ฟิล์มบางออกไซด์นำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent conducting oxide thin film, TCO) เป็นฟิล์มที่มีสมบัติพิเศษคือสามารถนำไฟฟ้าได้ดีและยอมให้แสงผ่านได้มากจึงนิยมเรียกว่า เรียกว่า กระจกนำไฟฟ้า กระจกนำไฟฟ้าเหมาะแก่การนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของอุปกรณ์ทางแสงหลายชนิด เช่น จอแสดงผล (Flat panel display) และเป็นขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ วัสดุที่นำมาใช้ทำฟิล์มมักเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทโลหะออกไซด์ที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้าง อาทิ SnO₂, In₂O₃, ZnO, NiO เจือด้วยอะตอมบางชนิด เช่น In, F, Al, Li เป็นต้น² เพื่อให้เกิดสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าที่ดีดังที่กล่าวมา ฟิล์มบางที่เหมาะสมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ควรทนต่อความร้อนได้ดีเนื่องจากในกระบวนการเตรียมเซลล์จำเป็นต้องมีการให้ความร้อน ฟิล์มที่นิยมใช้ได้แก่ ฟิล์มบางทินออกไซด์เจือด้วยอินเดียม (Indium doped tin oxide, ITO) ฟิล์มบางทินออกไซด์เจือด้วยฟลูออรีน (Fluorine doped tin oxide, FTO) เป็นต้น

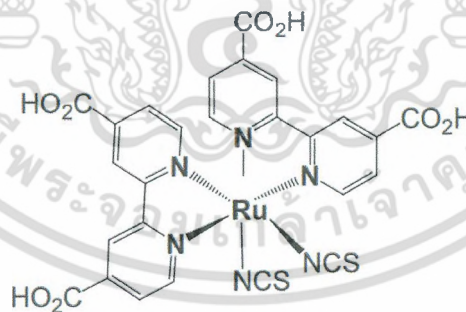
สีย้อมไวแสง (Dye)

สีย้อมไวแสงทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตอิเล็กตรอนก่อนจะส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับอนุภาคโลหะออกไซด์ที่สีย้อมยึดเกาะอยู่ สีย้อมไวแสงที่ดีจึงควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

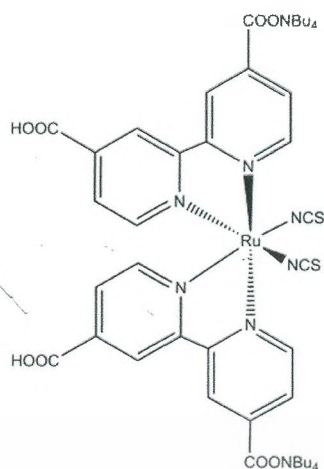
- มีช่วงสเปกตรัมสำหรับการดูดกลืนแสงกว้าง โดยเฉพาะในช่วงแสงที่ตามองเห็นได้เนื่องจากเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ปริมาณโฟตอนสูงที่สุด
- มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจับแสงโฟตอนที่ตกกระทบ
- มีระดับพลังงานสถานะกระตุ้น (LUMO) ที่สูงกว่าสารกึ่งตัวนำที่ใช้เล็กน้อยเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้ดี
- มีเสถียรภาพสูงในสถานะที่ถูกออกซิไดส์หรือภายใต้สารอิเล็กโทรไลต์
- สามารถยึดเกาะบนผิวอนุภาคโลหะออกไซด์ได้ดี

ในปัจจุบันสามารถแบ่งสีย้อมออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

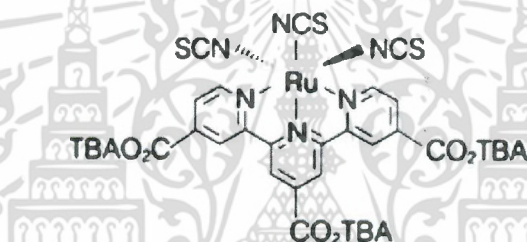
สีย้อมสังเคราะห์ ที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือกลุ่ม Organometallic dyes ซึ่งถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ได้ด้วยกลุ่มคาร์บอกซิล (Carboxyl group) ตัวอย่างสีย้อมไวแสง ได้แก่ N₃, N719 และ N749 ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 2.2-2.4 สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้สีย้อม N719 ซึ่งมีสมบัติและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังแสดงในตารางที่ 2.2 และ ภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของ N₃



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ N719

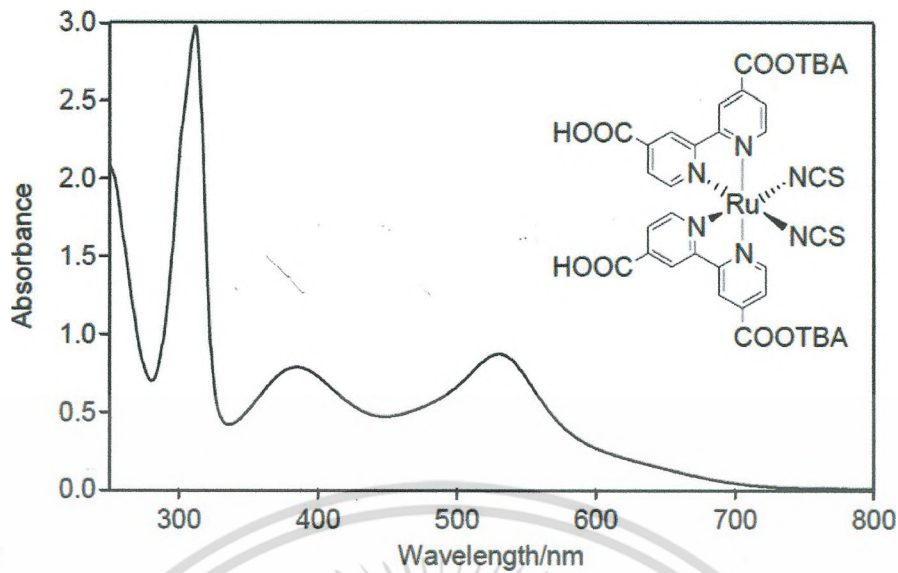


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของ N749

ตารางที่ 2.2 สมบัติของสีย้อม N719

Properties	Values
Molecular Formula	$C_{38}H_{86}N_8O_8Ru_2$
Molecular Weight	1188.55
Appearance	Maroon powder
UV absorption	λ_{max} 521.56 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 ในตัวทำละลายอะซิโตนในฟิล์ม

ที่มา : Wang, et.al, 2004 : 1832¹

2.1.1.2 เคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter-electrode)

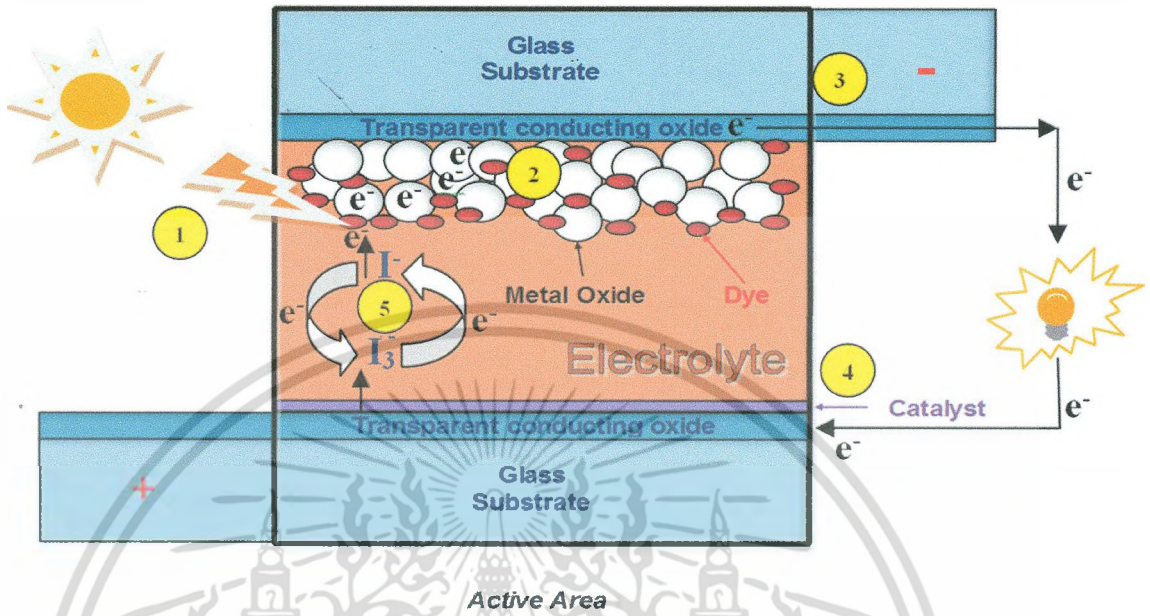
เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดเป็นขั้วบวกของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้คืนกลับให้แก่สีย้อมโดยผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) ดังนั้นที่เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดจึงต้องมีสารเร่งปฏิกิริยาเคลือบอยู่บนกระจกนำไฟฟ้า สารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ประกอบเป็นเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดคือโลหะแพลทินัม (Pt)

2.1.1.3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นตัวกลางในการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดในฝั่งที่เป็นฟิล์มบางของโลหะแพลทินัมไปเติมเต็มให้กับโมเลกุลของสีย้อมที่เสียอิเล็กตรอนไปจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง โดยอาศัยการรับอิเล็กตรอนผ่านปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) ที่ขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด และถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับสีย้อมในภาวะกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ดังนั้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ดีจึงควรมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันออกซิเดชันได้ง่ายเพื่อชดเชยอิเล็กตรอนให้แก่เมื่อดีสีย้อมที่อยู่ในภาพตัวออกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว มีความคงตัวสูง และไม่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตามองเห็น

2.1.2 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีกลไกการทำงานเป็นขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

- (1) แสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โมเลกุลสีย้อมไวแสงที่เคลือบเกาะติดบนผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์เช่น ZnO จะดูดกลืนแสงทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่สถานะพื้น (S_0) ถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่สถานะเร้า (S^*)
- (2) อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะเร้า (S^*) จะถูกส่งผ่านไปสู่แถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์
- (3) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ไปยังกระจกนำไฟฟ้าที่ขั้วลบ และไหลออกสู่วงจรภายนอกเพื่อนำไปใช้งาน
- (4) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่กลับมาสู่กระจกนำไฟฟ้าที่ขั้วบวก
- (5) ที่ขั้วบวกสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดกระบวนการรีดอกซ์โดยรับอิเล็กตรอนจากกระจกนำไฟฟ้าผ่านปฏิกิริยารีดักชันแล้วส่งอิเล็กตรอนคืนกลับให้กับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป (S^+) ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้โมเลกุลสีย้อมกลับสู่สถานะพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปวิเคราะห์ภายใต้ค่าความเข้มแสงมาตรฐาน โดยอ้างอิงจากค่า Air Mass 1.5 ซึ่งเทียบเท่ากับความเข้มที่แสงอาทิตย์เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมกับเส้นตั้งฉากจากดวงอาทิตย์มายังโลกที่มุม Zenith = 48.2° หรือเทียบได้เท่ากับค่าความเข้มรังสีของแสง หรือกำลังไฟฟ้าที่ตกกระทบบนพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 1,000 Wm²

มาตรฐานในการบอกความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เรียกว่าค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (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

หากนิยามให้ค่าฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor, FF) หรือพื้นที่ใต้กราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์เป็นค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง 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

จะสามารถหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากสมการที่ 2.4

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

ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์อุดมคติคือเซลล์ที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน จะมีประสิทธิภาพของเซลล์เป็น 100% กล่าวคือกำลังไฟฟ้าที่เซลล์ผลิตได้จะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้เซลล์หรือเซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมดโดยไม่มี การสูญเสียพลังงาน

2.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่มีการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นโดยนักวิจัยในกลุ่มของศาสตราจารย์ Grätzel⁵ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเซลล์ที่มีประสิทธิภาพดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำ^{6,7} โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงประกอบไปด้วยกระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคสารกึ่งตัวนำที่ดูดซับสีย้อมไวแสงทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าลด (Photoelectrode) ส่วนขั้วไฟฟ้าบวก (Counter electrode) ทำจากกระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยแพลตินัม คาร์บอน หรือแม้แต่เป็นโลหะ โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่ถ่ายโอนประจุระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ การศึกษาพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงจึงสามารถทำได้หลายส่วน เช่น การพัฒนาสีย้อมไวแสง^{8,9} การสร้างขั้วไฟฟ้าชนิดใหม่ๆ^{10,11} การคิดค้นอิเล็กโทรไลต์ในภาพแบบต่างๆ¹² ในปัจจุบันนักวิจัยสามารถพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงให้มีประสิทธิภาพสูงถึง 12.0%¹³ รวมทั้งมีการคิดค้นเซลล์ที่มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน มีความยืดหยุ่น และสามารถผลิตได้อย่างรวดเร็ว¹⁴ อย่างไรก็ดี ในการผลิตขั้วไฟฟ้าบวกโดยทั่วไปนั้น มักจะใช้โครงสร้างขนาดนาโนเมตรของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ อาทิ ไททาเนียมไดออกไซด์¹⁵ ซิงค์ออกไซด์^{16,17} ในตัวทำละลายอินทรีย์มาเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจำเป็นต้องมีกระบวนการให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกไป และเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกับกระจกนำไฟฟ้า^{18,19} อุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 400 °C – 500 °C เป็นเวลาหลายชั่วโมง^{16,20} ซึ่งทำให้กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีต้นทุนสูงชัน และใช้ระยะเวลาในการผลิตมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงต้องการคงไว้หรือเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงแต่ลดพลังงาน ต้นทุนและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงลงโดยการ พัฒนาการเทคนิคการเตรียมขั้วไฟฟ้าบวกที่โดยการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงระบบจิ้งจอกไฟ

3.1.1 อุปกรณ์และขั้นตอนการทำความสะอาดกระจกไฟฟ้า

อุปกรณ์

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

ขั้นตอนการเตรียมและทำความสะอาดกระจกนำไฟฟ้า

1. ทำการวัดขนาดกระจกนำไฟฟ้า (FTO glass) ให้มีขนาด 1.0×1.5 ซม. จากนั้นตัดกระจกโดยใช้ที่กรีดกระจกกรีดกระจกตามขนาดที่วัดไว้ ให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ
2. เจาะรูกระจกนำไฟฟ้าสำหรับหนีคิเล็กโตรไลต์ลงไปในเซลล์ (กระจกนำไฟฟ้าสำหรับเตรียม counter electrode) โดยใช้สว่านเจาะกระจก ซึ่งกระจกนี้จะถูกวางอยู่ในจานเพาะเชื้อ (petri dish) ที่มีน้ำอยู่ (คือใช้สว่านเจาะกระจกในน้ำ) เพื่อป้องกันกระจกแตกระหว่างการเจาะกระจก



ภาพที่ 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 อุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียมบล็อกสำหรับทำขั้วไฟฟ้าลบ

อุปกรณ์

1. กระจกสไลด์
2. เทป 3M
3. ไม้บรรทัดและมิดคัตเตอร์

ขั้นตอนการเตรียม

1. นำเทป 3M ขาวพอประมาณมาแปะไว้บนกระจกสไลด์
2. วาดบล็อกขนาด 0.7×0.7 ซม. ลงบนเทป
3. จากนั้นนำเทป 3M มาแปะอีกด้านของกระจกสไลด์ แล้วใช้มิดคัตเตอร์แกะบล็อกตามที่ได้ออกไว้



ภาพที่ 3.2 บล็อกสำหรับ ZnO และ Pt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 อุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าบวก

อุปกรณ์

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

ขั้นตอนการเตรียม

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

ภาพที่ 3.3 กระจกนำไฟฟ้าเคลือบด้วย 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 อุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียม 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. นำหลอดทดลองไปวางบนเครื่องกวนสารให้ความร้อน เพื่อคนสารให้เข้ากัน
4. จากนั้นเติม ZnO ที่เหลือให้หมด และเติมตัวประสาน Triton X 0.15 ml
5. คนสารทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง

3.1.5 อุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าลบบ

อุปกรณ์

1. กระดาษนำไฟฟ้า
2. บล็อกขนาด 0.7×0.7 ซม
3. คริม ZnO
4. มีดโกน

ขั้นตอนการเตรียม

1. นำกระจกนำไฟฟ้าที่ทำความสะอาดแล้ว มาแปะด้วยบล็อกรูปร่างที่เตรียมไว้
2. ตักครีม ZnO ลงบนกระจกที่แปะเทปใสแล้วใช้มีดโกนปาดครีม รอให้สารแห้งแล้วแกะบล็อกรูปร่างออก



ภาพที่ 3.4 กระจกนำไฟฟ้าเคลือบด้วย ZnO

3. นำกระจกที่เคลือบ ZnO แล้วไปให้ความร้อนในเตาเผาโดยใช้เงื่อนไขอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีเหมือนกับการเผาขั้วไฟฟ้าบวก

3.1.6 อุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียมสีย้อม N719 มีความเข้มข้น 0.5 mM

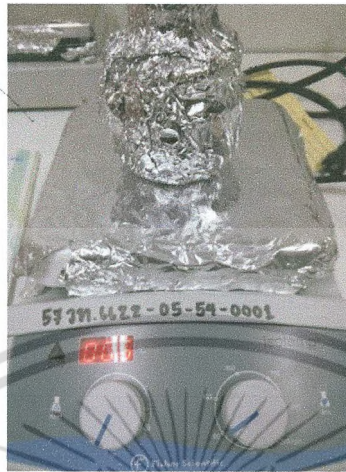
อุปกรณ์

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

ขั้นตอนการเตรียม

1. ชั่งสีย้อม N719 ปริมาณ 0.0178 g
2. ตวงเอทานอล 30 ml และนำสีย้อมที่ชั่งมาผสม
3. ใส่ Magnetic bar และห่อโหลด้วยกระจกชายพรอยด์

4. จากนั้นนำไปวางบนเครื่องกวนสารให้ความร้อน เพื่อคนสารให้เข้ากันเป็นเวลา 15 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.5 การเตรียมสีย้อม N719

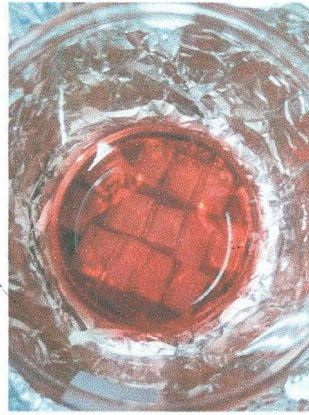
3.1.7 ขั้นตอนการย้อมสี

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

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาการย้อมสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 การข้อม ZnO ด้วยสีข้อม N719

2. นำกระจกออกจากสารละลายสีข้อมและเช็ดทำความสะอาด จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง

3.1.8 อุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

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)
- I₂ ความเข้มข้น 0.05 M (มวลโมเลกุล 253.81 g/mol)

ซึ่งผู้วิจัยจะเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ปริมาณ 20 มิลลิลิตรในอะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile) โดยมีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

1. ทำการเตรียมสารและชั่งสาร

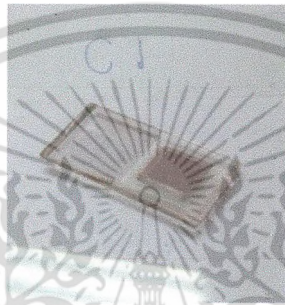
- TBP จำนวน 1.4648 มิลลิลิตร
- LiI จำนวน 1.3384 กรัม
- I₂ จำนวน 0.2535 กรัม

โดยใส่สารเคมีลงในขวดบรรจุสารที่สะอาดตามลำดับ จากนั้นเติมอะซิโตไนไตรล์ 20 มิลลิลิตร

2. นำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที ก็จะได้สารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.1.9 ขั้นตอนการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1. ตัดแผ่นพาราฟิล์มเป็นภาพสี่เหลี่ยมและเจาะรูตรงกลางแผ่นให้ช่องว่างขนาด 0.5×0.5 ซม.
2. กำหนดพื้นที่ทำงานของเซลล์ด้วยวงแผ่นพาราฟิล์มลงบนกระจกขี้วลบ (ด้านที่เคลือบฟิล์ม ZnO) และนำกระจกขี้วลบวางทับลงไป โดยหันด้านที่เคลือบฟิล์มเข้าหากันและให้ฟิล์ม ZnO ตรงกับฟิล์ม Pt ดังภาพที่ 3.7-3.8
4. นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปวางบนเครื่อง Hot plate ที่มีอุณหภูมิ 150°C เพื่อให้พาราฟิล์มละลายทำให้ขี้วลบทั้งสองติดกันเป็นเซลล์



ภาพที่ 3.7 การกำหนดพื้นที่ทำงานของเซลล์



ภาพที่ 3.8 การประกอบขี้วลบและขี้วลบ

3.1.10 ขั้นตอนการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

1. ใช้หลอดหยดสารในการดูดสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วเติมลงไปในเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านรูที่ได้เจาะเตรียมไว้บนขี้วลบ โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศขึ้นด้านในเซลล์
2. ปิดช่องที่เติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ด้วยเทปใสให้สนิทจะได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 การเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.1.11 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบคือ

- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) (มวลโมเลกุล 56.11 g/mol)
- น้ำปลอดประจุ (Deionized Water) (มวลโมเลกุล 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)

ในการวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ผู้วิจัยจะทำการวัดค่า I_0 ซึ่งคือค่าความเข้มแสงที่ผ่านเข้าสู่ควิวเวทท์ที่บรรจุด้วยสารตัวทำละลาย (KOH) จากนั้นวัดค่า I ซึ่งคือค่าความเข้มแสงที่ผ่านออกมาจากควิวเวทท์ที่บรรจุด้วยสีย้อม N719 ที่ถูกทำละลายใน KOH โดยค่าการดูดกลืนแสง (A) จะคำนวณจากความสัมพันธ์ดังนี้

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

ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ Beer-Lambert Law หรือเรียกว่า Beer's law คือแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง absorbance กับความเข้มข้นของสารละลายโดยค่า absorbance เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นซึ่ง Beer's law แสดงดังภาพสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)

ϵ = ค่าโมลาร์แอบซอร์ปทิวิตี (molar absorptivity)

l = ระยะทางที่แสงผ่าน (light path length)

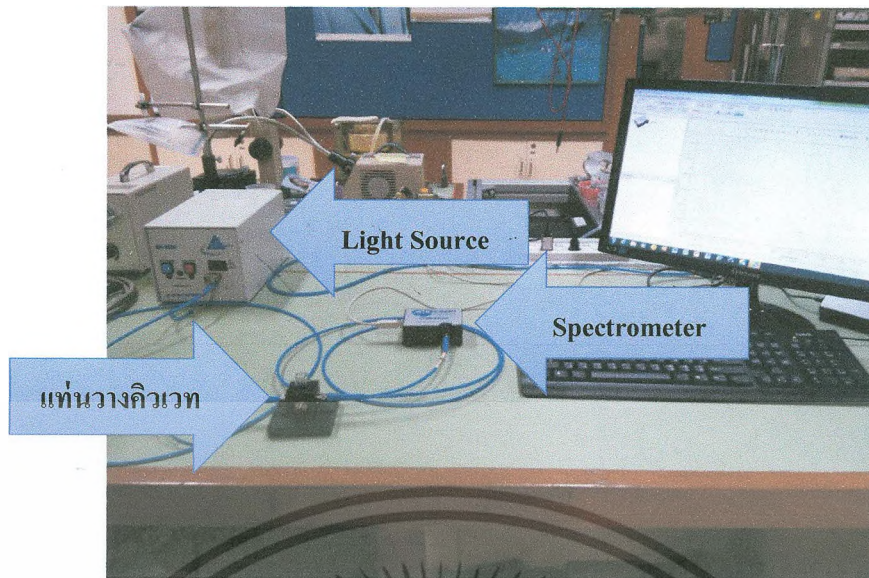
c = ความเข้มข้นของสารละลาย (concentration)

อุปกรณ์ที่ใช้การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorbance spectrum)

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ USB4000 Miniature Fiber Optic Spectrometer พร้อมเส้นใยแก้วนำแสง เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำหน้าที่ในการวัดแสง ซึ่งสามารถวัดแสงได้ในย่านความยาวคลื่น 350-1000 nm และเส้นใยแก้วนำแสงทำหน้าที่ในการนำส่งแสงที่ผ่านตัวอย่างสารเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
2. แหล่งกำเนิดแสง DH-2000 UV-VIS-NIR Light Source ช่วงความยาวคลื่นของแสง 190-2000 nm (หลอดควิทีเรียมและทั้งสแตนฮาโลเจน) หรือ 215-2000 nm (หลอดไฮโดรเจนมาตรฐานและหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน) สมบัติทางไฟฟ้า 85/265 V และความถี่ 50/60 Hz
3. อุปกรณ์สำหรับยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่ควิเวทท์

วิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorbance spectrum)

1. จัดอุปกรณ์การวัดการดูดกลืนแสงดังภาพที่ 3.10 โดยมีแหล่งกำเนิดแสง (DH-2000 UV-VIS-NIR Light Source) ต่อด้วยสาย Fiber optic เข้ากับแท่นจับยึดควิเวทท์ แล้วต่อสาย Fiber optic ในทิศตรงข้ามกับสาย Fiber optic แหล่งกำเนิดแสงเข้ากับเครื่อง Spectrometer (USB4000 Miniature Fiber Optic Spectrometer) จะทำการส่งข้อมูลที่วัดผ่านสาย USB เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3.10 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดการดูดกลืนแสง

2. นำคิวเวทที่มีสารตัวอย่างอยู่นั้นใส่ในช่องใส่คิวเวท
3. เปิดโปรแกรม Spectrasuite เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง
4. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณของสีย้อมที่เกาะอยู่บนอนุภาค ZnO

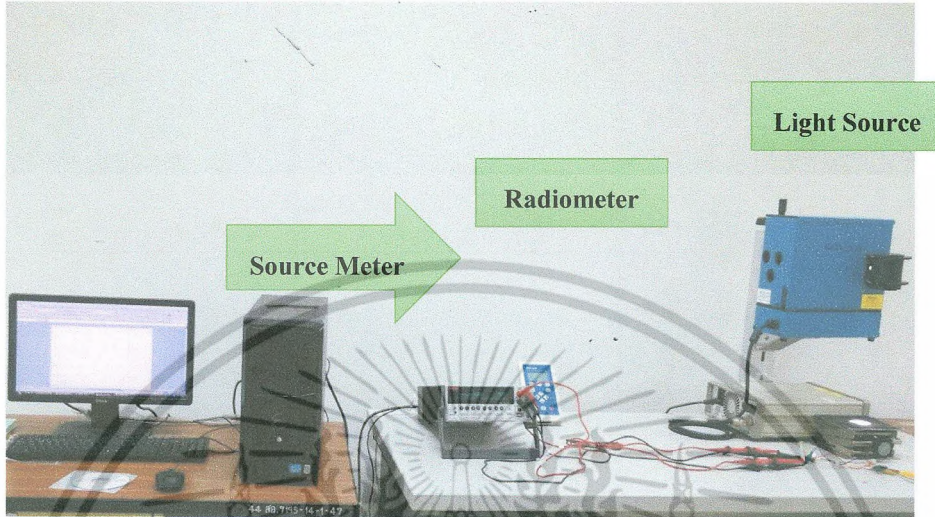
3.2.2 การวัดประสิทธิภาพของ DSSCs

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า I-V ของ DSSCs

1. แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟซีนอน 30 วัตต์ พื้นที่ในการส่องสว่างในแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 นิ้ว (3 ซม.) อายุการใช้งานของหลอดไฟประมาณ 900 ชั่วโมง
2. Xenon Lamp Power Supply (XPS300)
XPS300 เป็นอุปกรณ์การควบคุมและจำกัดการใช้พลังงานเพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการ ลูกบิดแผงด้านหน้าไว้สำหรับกำหนดตั้งค่าของ
3. ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) และ Data logging Radiometer (PMA2100)
 - ไพรานอมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดกำลังของแหล่งกำเนิดแสง
 - Data logging Radiometer เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการตรวจสอบการวัดค่าของเครื่องไพรานอมิเตอร์
4. Keithely 2400 SourceMeter style

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า สำหรับไฟฟ้า
กระแสตรง สามารถวัดกระแสได้ในช่วง 10 pA ถึง 1 A
5. ภาพที่ 3.11 แสดงอุปกรณ์สำหรับการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า



ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์สำหรับการวัดประสิทธิภาพของ DSSCs

3.3 การศึกษาสมบัติความเป็นกรด - เบสของสีย้อม N719

อุปกรณ์ที่ใช้การวัดค่า

1. Denver instruments pH meter
2. 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
3. ล้าง electrode ด้วยน้ำ DI ซับให้แห้ง ทำการ standardize ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ตัวถัดไป ตามขั้นตอนที่ 2
4. เตรียมสีย้อม N719 ที่ต้องการจะวัดค่า pH ด้วยการ นำสีย้อมไปใส่เครื่องอัลตราโซนิก ทำการสั่นเป็นเวลา 10 นาที แล้วแบ่งสีย้อมใส่หลอดทดลอง 3 หลอด
5. นำหลอดทดลองทั้งสามใส่บีกเกอร์วางไว้ที่เครื่อง Hot plate stirrer ปรับอุณหภูมิตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว จุ่ม electrode ลงในสี่ข้อมรจนสัญลักษณ์ S ปรากฏบนหน้าจอแล้วอ่านค่าที่ได้.



ภาพที่ 3.12 การวัดค่า pH ของสี่ข้อมที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะแสดงและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการจุ่มสีย้อม N719 ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงระบบซิงค์ออกไซด์ โดยศึกษาผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งในการทดสอบสมบัติของสีย้อมนั้น ผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorbance spectrum) ของสารละลายของสารละลาย ส่วนการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าจะกระทำโดยการวัดค่า J และ V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงแสงของสีย้อม N719 ที่มีอุณหภูมิต่างกัน

ผู้ทดลองได้ศึกษาสมบัติทางแสงโดยวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมเพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เกาะอยู่บนอนุภาคซิงค์ออกไซด์

การคำนวณหาจำนวน โมลของสีย้อม N719 ที่เกาะอยู่บนซิงค์ออกไซด์โดยอาศัยความสัมพันธ์ของค่า Absorbance (A) จาก Beer-Lambert Law ดังสมการที่ 4.1

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

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

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

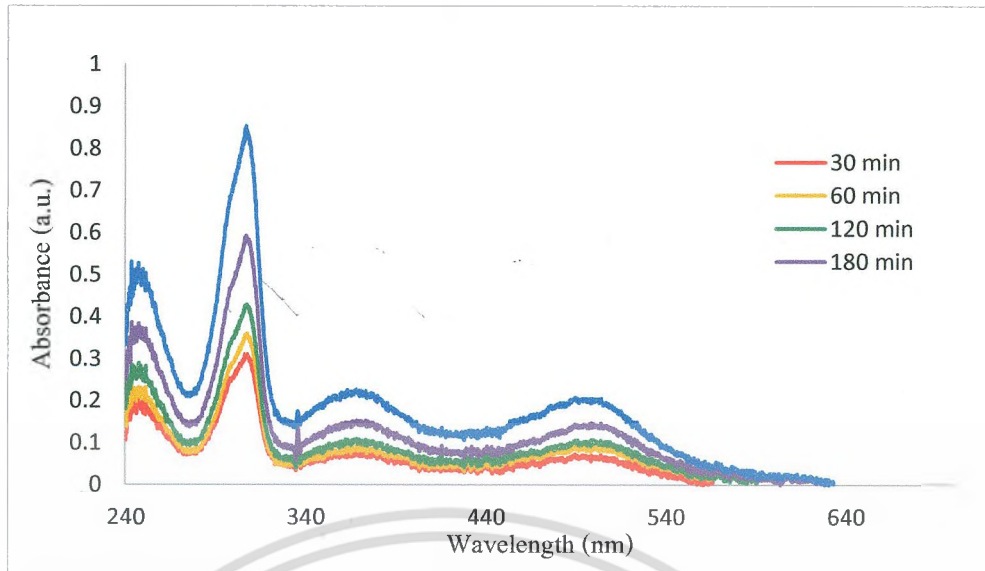
$$n(1 \text{ cm}^2) = [n(0.49 \text{ cm}^2)/ 0.49 \text{ cm}^2] \times 1 \text{ cm}^2 \quad (4.3)$$

เมื่อ n = จำนวน โมล

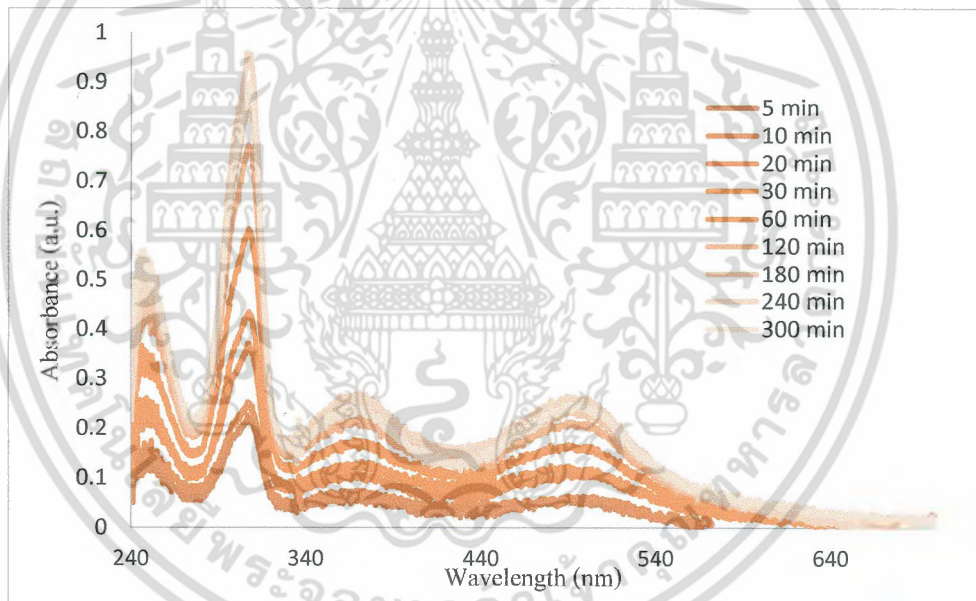
c = ความเข้มข้นของสารละลาย

v = ปริมาตรของสารละลาย

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่ละลายออกมาจากขั้วไฟฟ้าลบของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้เตรียมภายใต้อุณหภูมิ 30°C และ 50°C ที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการคำนวณจำนวน โมลของสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C และ 50°C ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 เมื่อเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 30°C



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อม N719 เมื่อเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

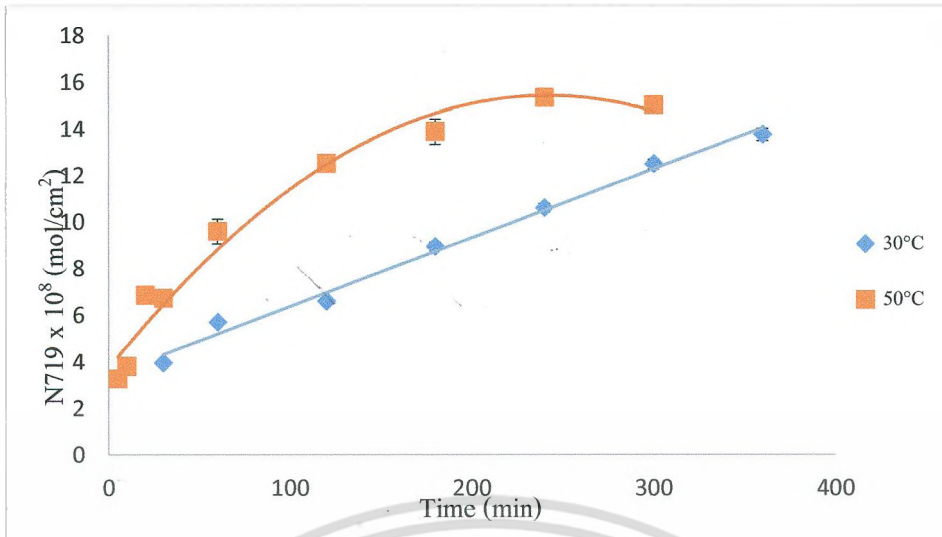
ตารางที่ 4.1 ปริมาณการดูดซับสีเขียว N719 ที่อุณหภูมิ 30°C

เวลา (นาที)	$N_{719} \times 10^8 (\text{mol/cm}^2)$	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 ปริมาณการดูดซับสีเขียว N719 ที่อุณหภูมิ 50°C

เวลา (นาที)	$N_{719} \times 10^8 (\text{mol/cm}^2)$	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ปริมาณของสีย้อม N719 ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการดูดซับสีย้อม

ภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของจำนวน โมลของสีย้อม N719 ที่เกาะอยู่บนชิ้นค้ออกไซด์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่างการจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C และ 50°C จากข้อมูลพบว่าปริมาณการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงในสีย้อมแบบเป็นเชิงเส้น ต่างจากการจุ่มเคลือบสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งอนุภาคซิงค์ออกไซด์จะสามารถดูดซับสีย้อมได้มากกว่าจนถึงที่ระยะเวลา 240 นาทีจึงเริ่มอิ่มตัวลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมขณะที่ย้อมสีนั้นสามารถเพิ่มการดูดซับสีย้อมบนอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการกระตุ้นด้วยความร้อนสามารถเพิ่มปริมาณการดูดซับสีย้อมหรือลดระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมสีในปริมาณเท่ากันได้เมื่อเทียบกับการย้อมสีที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการลดลงของความหนืดของเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลายสีย้อม N719 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในการตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความหนืดของเอทานอล

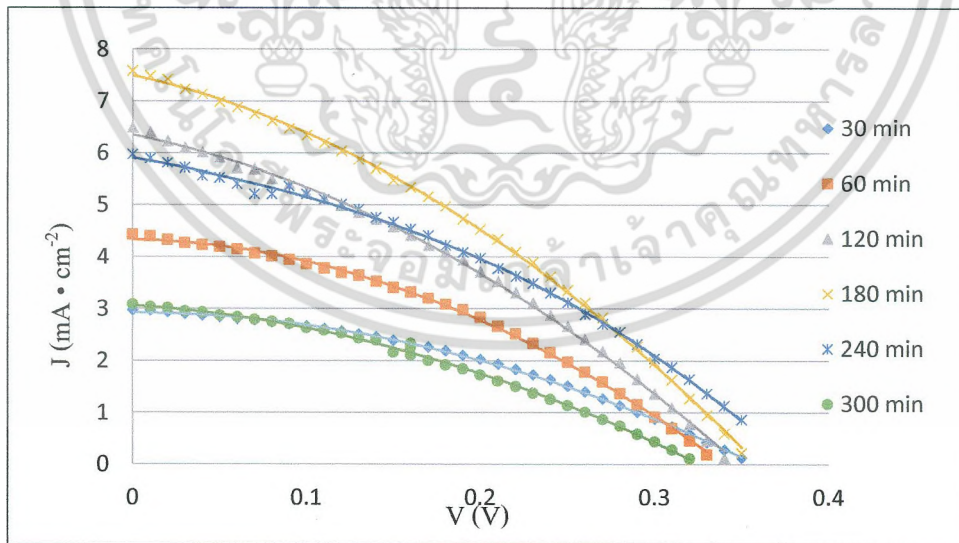
อุณหภูมิ (°C)	Viscosity (Pa • s)
0	1.77×10^{-3}
20	1.20×10^{-3}
40	8.34×10^{-4}
60	5.92×10^{-4}

4.2 ผลการศึกษาการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคกระตุ้นด้วยความร้อน

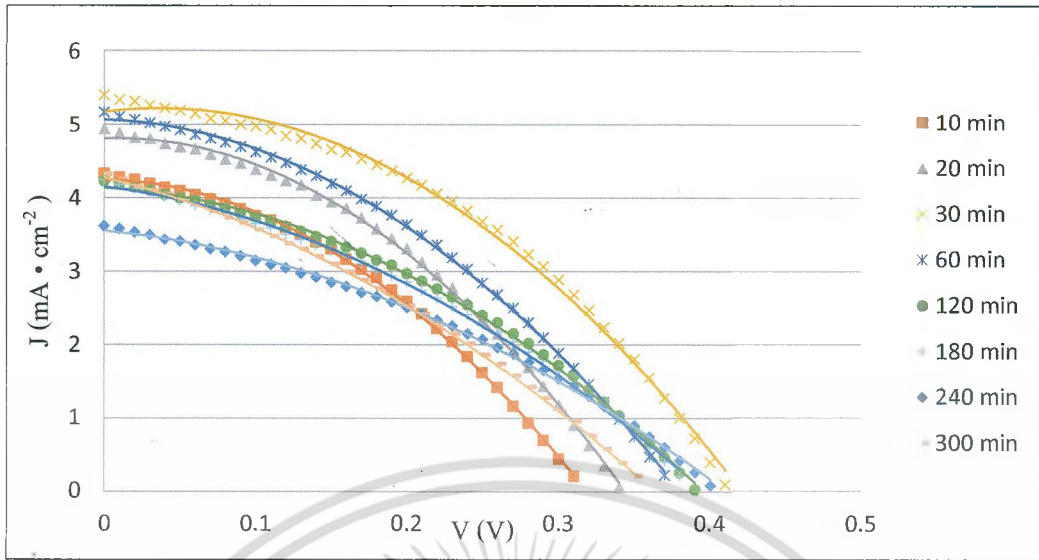
ผลการวัดค่า J และ V ของ DSSC ที่เตรียมที่อุณหภูมิห้อง และเตรียมด้วยเทคนิคการกระตุ้นด้วยความร้อน โดยใช้เครื่อง solar simulator แสดงได้ดังภาพที่ 4.4 - 4.5 ตามลำดับ และผลการคำนวณค่า J_{sc} , V_{oc} , Fill Factor และ Efficiency ได้โดยใช้โปรแกรม Pecell IV Curve Analyzer 2.1 ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมขึ้นด้วยพื้นที่ทำงานจริง 0.25 cm^2 แสดงดังภาพที่ 4.6-4.10 สอดคล้องกับค่าที่แสดงดังตารางที่ 4.4 - 4.8 ตามลำดับ

4.2.1 ผลต่อค่าความหนาแน่นกระแส

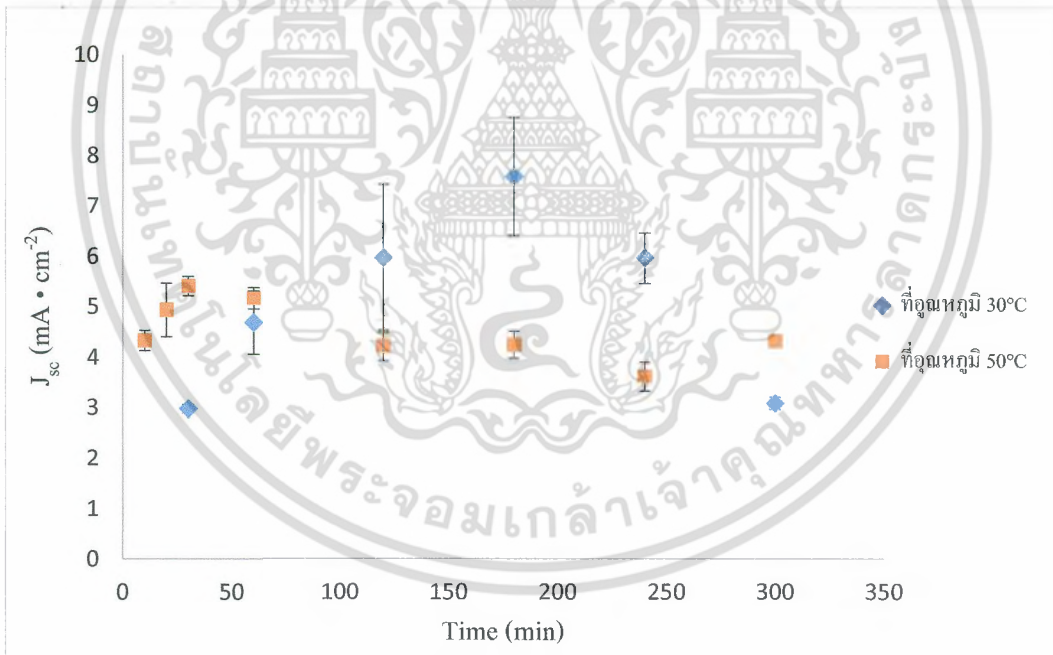
จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นกระแสพบว่ากระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมขณะเตรียมเซลล์จนมีค่าสูงที่สุดที่ระยะเวลาหนึ่ง (T_{max}) ค่าความหนาแน่นของกระแสที่เซลล์ผลิตได้จึงลดลง (T_{max} เท่ากับ 180 นาที สำหรับอุณหภูมิสีย้อม 30°C และ 30 นาที สำหรับอุณหภูมิสีย้อม 50°C) ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังแสดงไว้ในผลการศึกษาปริมาณสีย้อม ทั้งนี้ปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นหลังจากเวลา T_{max} อาจเกิดเนื่องจากการตกตะกอนทับกันของสีย้อมที่บริเวณผิวด้านบน อย่างไรก็ตามสีย้อมที่ไม่ได้สร้างพันธะกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์โดยตรงจะไม่สามารถส่งผ่านอิเล็กตรอนออกไปยังวงจรภายนอกได้ดังแสดงในภาพที่ 4.7 นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดการบดบังการซึมผ่านของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไปยังสีย้อมที่อยู่ส่วนลึกลงไปในพื้นที่เป็นเหตุให้ปริมาณกระแสที่ผลิตได้จริงลดลงเนื่องจากการลดลงของการเติมอิเล็กตรอนจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์คืนให้กับสีย้อมที่อยู่ในภาวะกระตุ้นอีกด้วย



ภาพที่ 4.4 ความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์เมื่อเตรียมเซลล์ที่อุณหภูมิ 30°C



ภาพที่ 4.5 ความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์เมื่อเตรียมเซลล์ที่อุณหภูมิ 50°C

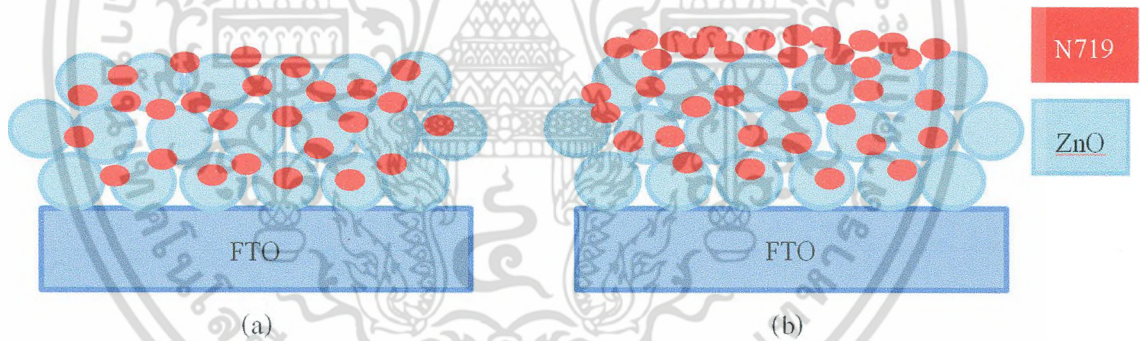


ภาพที่ 4.6 ความหนาแน่นกระแสกับเวลาที่ทำการย้อมสี N719

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

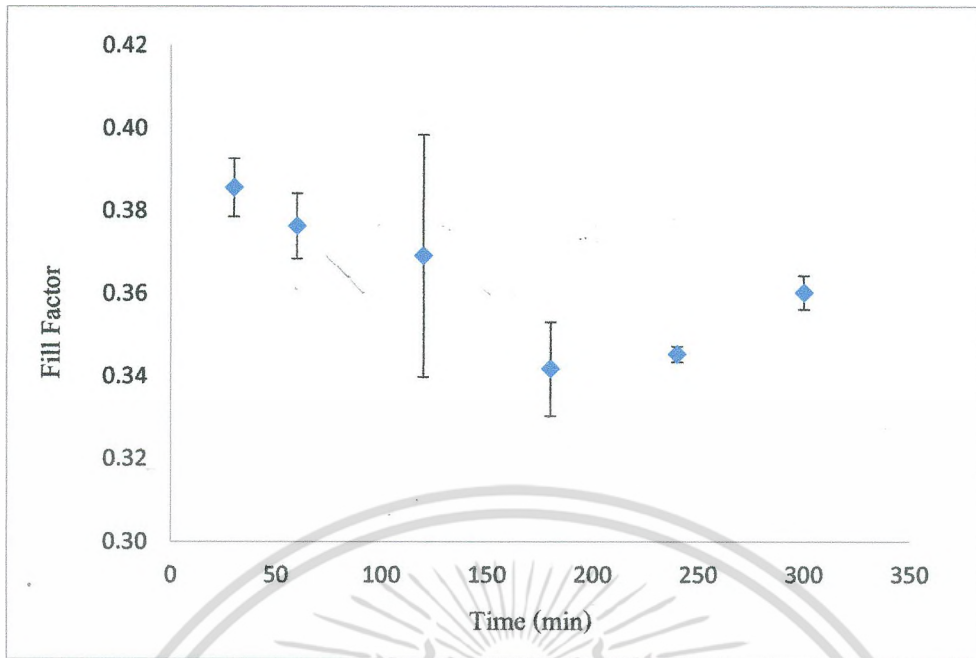
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความหนาแน่นกระแสเมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C

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

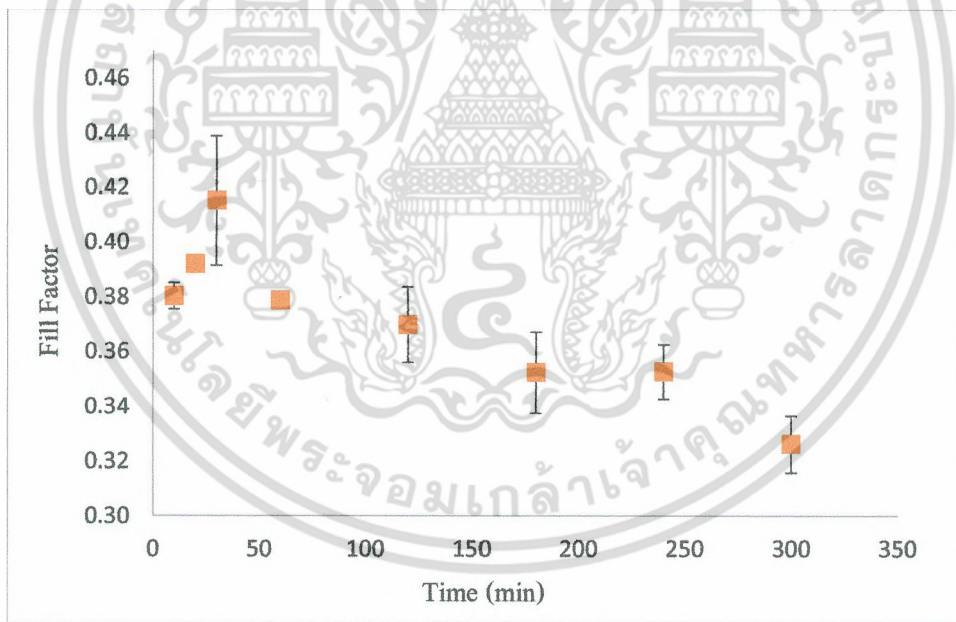


ภาพที่ 4.7 (a) การเกาะตัวของสีย้อมกับอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ (b) การเกาะทับกันเองของสีย้อมที่อยู่ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟิลแฟกเตอร์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟิลแฟกเตอร์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าฟิลแฟกเตอร์ เมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C

Time (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	30		50	
	Fill Factor	ค่าความคลาดเคลื่อน	Fill Factor	ค่าความคลาดเคลื่อน
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

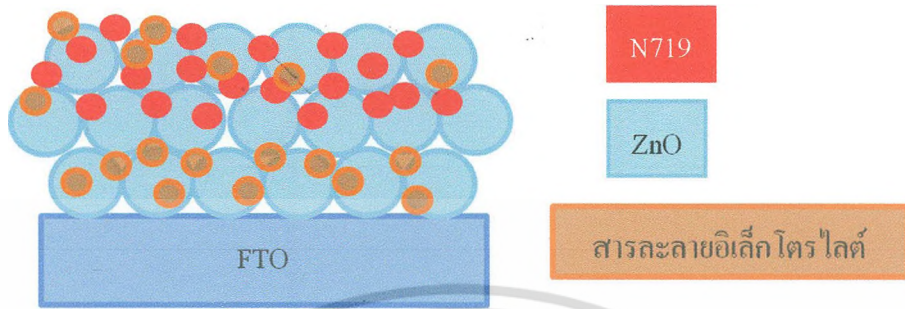
4.2.2 ผลต่อค่าฟิลแฟกเตอร์

เมื่อพิจารณาค่าฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor, FF) ซึ่งเป็นปัจจัยบ่งบอกคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับเซลล์อุดมคติ (ภาพที่ 4.8 – 4.9 และตารางที่ 4.5) พบว่าสำหรับเซลล์ที่เตรียมโดยการจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ค่า FF มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการจุ่มสีย้อมจนมีค่าต่ำที่สุดเมื่อถึงเวลา T_{max} จากนั้นค่า FF จึงเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับการเตรียมเซลล์ด้วยเทคนิคการกระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C ที่ค่า FF มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการจุ่มสีย้อมจนมีค่าสูงที่สุดเมื่อถึงเวลา T_{max} จากนั้นจึงลดลงตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากบดบังการซึมผ่านของอิเล็กโตรไลต์จากการเกาะทับกันของสีย้อมดังที่ได้กล่าวมาแล้วซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า FF ที่อุณหภูมิ 30°C และ 50°C โดยจะแบ่งการอธิบายเป็นสองช่วงดังนี้

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมด้วยการจุ่มฟิล์มซึ่งค้อออกไซด์ลงในสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ช่วงระยะเวลา $T < T_{max}$

เนื่องจากสีย้อมใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย สารละลายสีย้อมจึงมีความหนืดมากกว่าสารละลายอิเล็กโตรไลต์ซึ่งมีอะซิโตนเป็นตัวทำละลาย ทำให้อิเล็กโตรไลต์สามารถซึมผ่าน ไปสัมผัสอนุภาคซิงค้อออกไซด์ที่อยู่ด้านล่างได้ส่งผลให้เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างอนุภาคซิงค้อออกไซด์กับอิเล็กโตรไลต์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.10 นอกจากนี้เอทานอลยังมีความเป็นกรดอ่อนๆจึงสามารถละลายอนุภาคซิงค้อออกไซด์ได้ ดังนั้นเมื่อจุ่มสีย้อมเป็นระยะเวลาสั้นขึ้นจึง

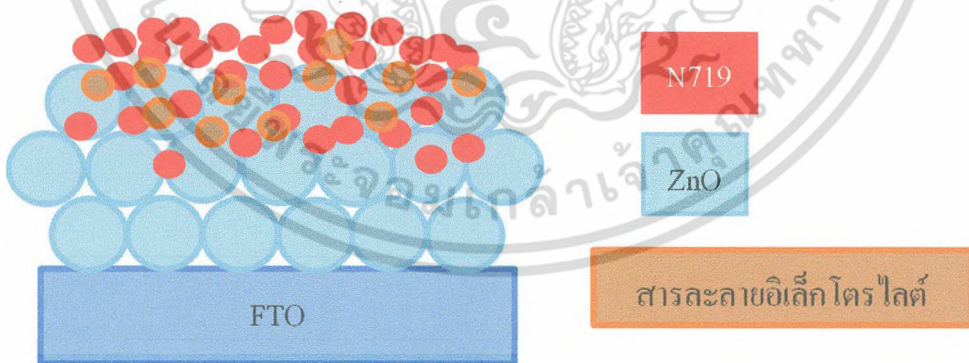
เป็นการเปิดช่องว่างให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมผ่านไปยังชั้นฟิล์มของซิงค์ออกไซด์ได้มากขึ้น ค่า FF จึงลดลง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.10 ขั้วไฟฟ้าลบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ช่วงระยะเวลา $T < T_{max}$

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมด้วยการจุ่มฟิล์มซิงค์ออกไซด์ลงในสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ช่วงระยะเวลา $T > T_{max}$

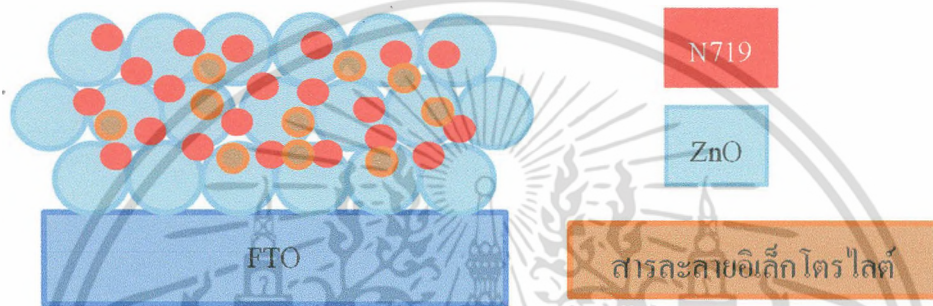
เมื่อสีย้อมเริ่มเกิดการเกาะทับกันเองจะทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้อิเล็กโทรไลต์ซึมผ่านไปสู่ชั้นล่างของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ได้น้อยลงดังแสดงในภาพที่ 4.11 การสูญเสียอิเล็กตรอนจึงลดลงสอดคล้องกับค่า FF ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการจุ่มสีย้อม



ภาพที่ 4.11 ขั้วไฟฟ้าลบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 30°C ช่วงระยะเวลา $T > T_{max}$

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมด้วยการจุ่มฟิล์มซิงค์ออกไซด์ลงในสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C ช่วงระยะเวลา $T < T_{max}$

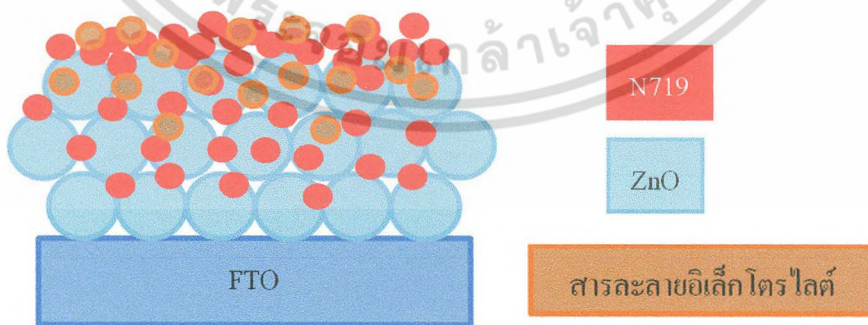
การเพิ่มขึ้นของค่า FF เมื่อเตรียมด้วยเทคนิคการกระตุ้นด้วยความร้อนอาจเกิดจากการลดลงของค่าความหนืดของเอทานอลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ตารางที่ 4.3) และค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นของเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายสีย้อม (ตารางที่ 4.6) ส่งผลให้สีย้อมสามารถซึมผ่านไปยังชั้นล่างของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ได้มากขึ้นทำให้เหลือพื้นที่ซิงค์ออกไซด์สัมผัสโดยตรงกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้อยลงส่งผลให้เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนน้อยลงหรือค่า FF สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ขั้วไฟฟ้าลบบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C ช่วงระยะเวลา $T < T_{max}$

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมด้วยการจุ่มฟิล์มซิงค์ออกไซด์ลงในสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C ช่วงระยะเวลา $T > T_{max}$

เมื่อจุ่มสีย้อมยาวนานจึงถึงระยะเวลาหนึ่งสีย้อมจะเริ่มเกาะทับกันที่ผิวด้านบน ส่งผลให้อิเล็กโทรไลต์ซึมผ่านไปยังชั้นล่างของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ได้น้อยลง การเติมอิเล็กตรอนคืนกลับให้แก่สีย้อมจึงน้อยลงทำให้ค่า FF มีค่าลดลง (ภาพที่ 4.13)



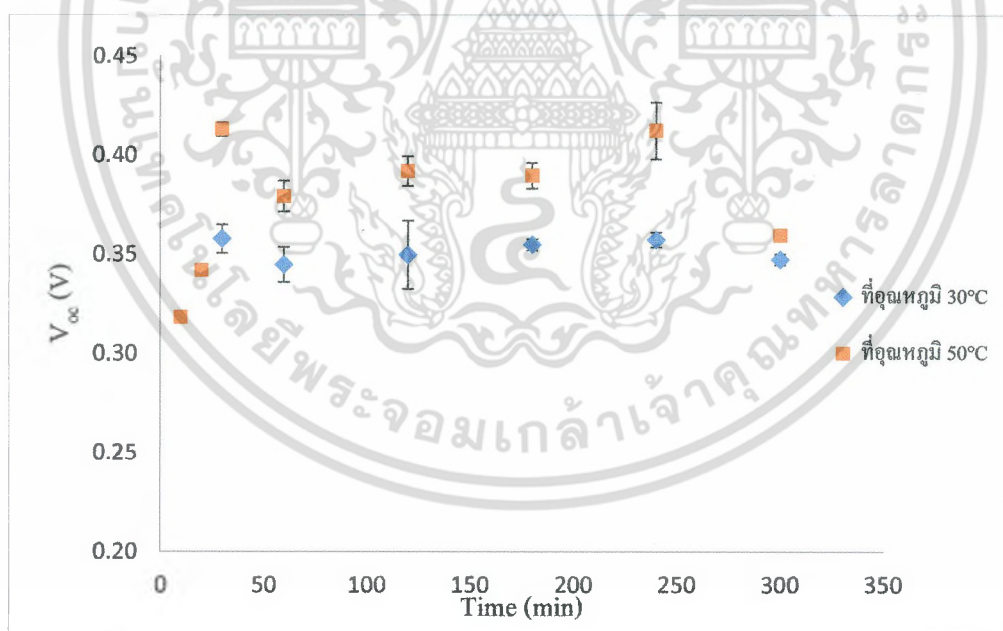
ภาพที่ 4.13 ขั้วไฟฟ้าลบบเมื่อจุ่มสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C ช่วงระยะเวลา $T > T_{max}$

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่า pH ของสีย้อม N719 ที่อุณหภูมิต่างๆ

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

4.2.2 ผลต่อค่าความต่างศักย์วงจรมืด

ภาพที่ 4.14 และตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นค่าความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 30°C คงที่ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทดลอง แต่สำหรับอุณหภูมิ 50°C ค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนเวลาถึง 30 นาที จากนั้นจึงลดลงมารักษาระดับคงที่ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณอิเล็กตรอนจากสีย้อมในช่วงแรกทำให้ระดับพลังงานเฟอร์มี (Fermi level, E_F) ของฉีกออกไซด์สูงขึ้น



ภาพที่ 4.14 ความต่างศักย์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความต่างศักย์เมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C

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

4.2.3 ผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์

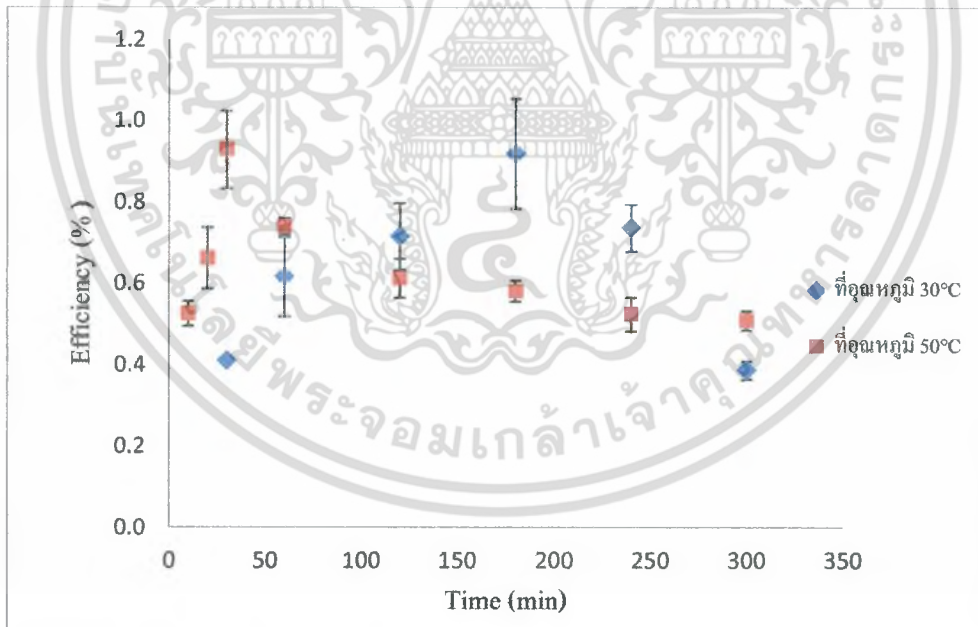
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้ง 3 ตัว (J_{sc}, V_{oc}, FF) ตามสมการที่ 2.2

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

ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันดังที่กล่าวมา ค่าประสิทธิภาพที่อุณหภูมิและระยะเวลาการจุ่มสีย้อมต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.15 จากข้อมูลจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงที่สุดสำหรับอุณหภูมิสีย้อม 30°C คือ 0.918% โดยจุ่มสีย้อมเป็นเวลา 180 นาที ในขณะที่อุณหภูมิ 50°C ค่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงสุดเท่ากับ 0.929% เมื่อจุ่มสีย้อมเป็นเวลา 30 นาที แสดงให้เห็นว่าการเตรียมโดยใช้เทคนิคการกระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C สามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการย้อมสีได้ 6 เท่า (จาก 180 นาที เหลือ 30 นาที) และให้เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงซึ่งคือออกไซด์-N719 ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย (ภาพที่ 4.16) ดังนั้น จึงสามารถเรียกเทคนิครูปแบบนี้ได้ว่าเป็นการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

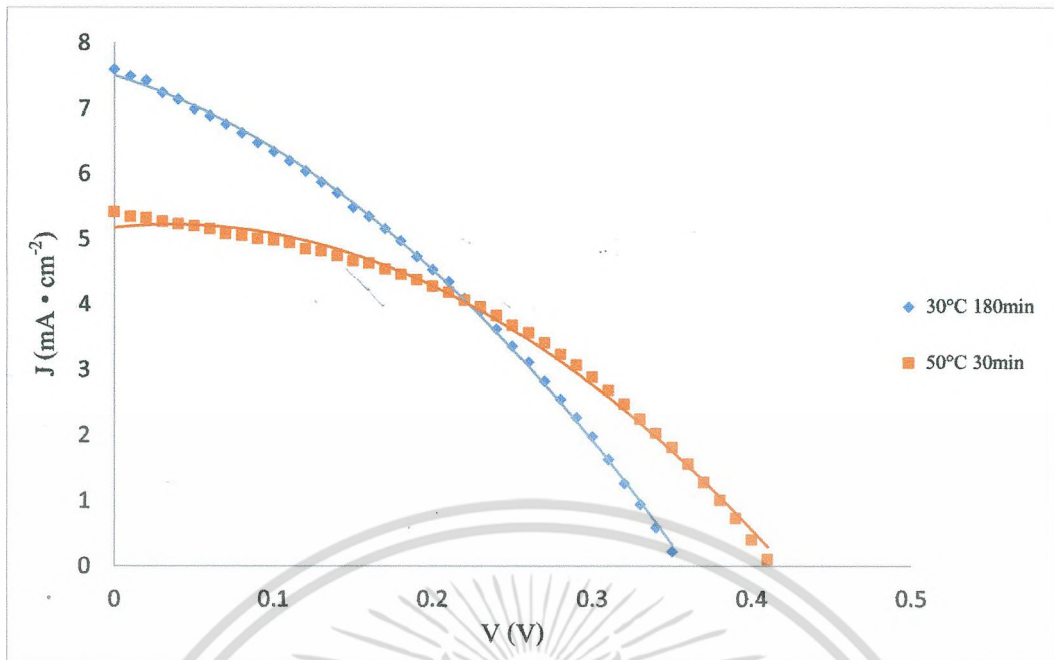
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเมื่อเตรียมเซลล์ด้วยสีย้อมอุณหภูมิ 30°C และ 50°C

Time (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	30		50	
	Efficiency (%)	ค่าความคลาดเคลื่อน	Efficiency (%)	ค่าความคลาดเคลื่อน
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



ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพของเซลล์กับเวลาที่ทำการย้อมสี N719 ที่อุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 ความหนาแน่นของกระแสกับความต่างศักย์ เมื่อเชื่อมสี่ขั้ว N719 ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 180 นาที และที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อม N719 เป็นสีย้อม ในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์ผู้วิจัยมีเงื่อนไขในการย้อมสีโดยจะควบคุมอุณหภูมิและเวลาการย้อมสีแล้วดูปริมาณสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์รวมทั้งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการวัดสมบัติทางแสงพบว่าปริมาณสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย้อมสีในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ แต่มีลักษณะการเพิ่มที่แตกต่างกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าการย้อมสีที่อุณหภูมิ 30°C ปริมาณสีย้อมที่เกาะอยู่บนขั้วออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อย 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 จะเห็นได้ว่าการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยเทคนิคการกระตุ้นด้วยความร้อนจะทำให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่น้อยลงได้ถึง 6 เท่า อาจเรียกได้ว่าเป็นเทคนิคการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. ขั้นตอนในการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์หลายขั้นตอนต้องอาศัยทักษะของผู้เตรียมเซลล์ จึงควรพัฒนาอุปกรณ์การเตรียมเซลล์เพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นได้
2. เนื่องจากจุดเดือดของเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายของสีย้อมคือ 78°C ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิของการย้อมสีย้อม N719 จึงมีขอบเขตจำกัดเพื่อหลีกเลี่ยงการระเหยของตัวทำละลายของสีย้อมที่อาจส่งผลให้ความเข้มข้นของสีย้อมนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้

บทที่ 6
สรุปผลผลิตงานวิจัย

6.1 สรุปรายชื่อผลผลิตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ 5th International Conference on Advanced Nanomaterials 2014 ระหว่างวันที่ 2-4 กรกฎาคม พ.ศ.2557 ประเทศโปรตุเกส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- 1 Boschloo, G., Edvinsson, T. & Hagfeldt, A. in *Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion* (ed Tetsuo Soga) 227-254 (Elsevier, 2006).
- 2 Stadler, A. Transparent Conducting Oxides—An Up-To-Date Overview. *Materials* **5**, 661-683 (2012).
- 3 Rhee, S.-W. & Kwon, W. Key technological elements in dye-sensitized solar cells (DSC). *Korean J. Chem. Eng.* **28**, 1481-1494, doi:10.1007/s11814-011-0148-8 (2011).
- 4 Wang, Z.-S., Kawauchi, H., Kashima, T. & Arakawa, H. Significant influence of TiO₂ photoelectrode morphology on the energy conversion efficiency of N719 dye-sensitized solar cell. *Coordination Chemistry Reviews* **248**, 1381-1389, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2004.03.006> (2004).
- 5 O'Regan, B. & Graetzel, M. Low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature* **353**, 737 (1991).
- 6 Kay, A. & Grätzel, M. Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **44**, 99-117, doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0927-0248\(96\)00063-3](http://dx.doi.org/10.1016/0927-0248(96)00063-3) (1996).
- 7 Sun, W. *et al.* A low cost mesoporous carbon/SnO₂/TiO₂ nanocomposite counter electrode for dye-sensitized solar cells. *Journal of Power Sources* **201**, 402-407, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.10.097> (2012).
- 8 Park, K. H. *et al.* Photochemical properties of dye-sensitized solar cell using mixed natural dyes extracted from *Gardenia Jasminoide* Ellis. *Journal of Electroanalytical Chemistry* **689**, 21-25, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2012.11.026> (2013).
- 9 Jungsuttiwong, S. *et al.* Theoretical study on novel double donor-based dyes used in high efficient dye-sensitized solar cells: The application of TDDFT study to the electron injection process. *Organic Electronics* **14**, 711-722, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.orgel.2012.12.018> (2013).
- 10 Liu, C. *et al.* Cu-doping ZnO/ZnS nanorods serve as the photoanode to enhance photocurrent and conversion efficiency. *Microelectronic Engineering* **103**, 12-16, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2012.09.006> (2013).
- 11 Hossein Habibi, M., Askari, E., Habibi, M. & Zendehtdel, M. Novel nanostructure zinc zirconate, zinc oxide or zirconium oxide pastes coated on fluorine doped tin oxide thin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- film as photoelectrochemical working electrodes for dye-sensitized solar cell. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **104**, 197-202, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2012.11.055> (2013).
- 12 Wu, J. *et al.* Progress on the electrolytes for dye-sensitized solar cells. *Pure and Applied Chemistry* **80**, 2241-2258 (2008).
- 13 Yella, A. *et al.* Porphyrin-sensitized solar cells with cobalt (II/III)-based redox electrolyte exceed 12 percent efficiency. *Science* **334**, 629-634, doi:10.1126/science.1209688 (2011).
- 14 Pettersson, H. & Gruszecki, T. Long-term stability of low-power dye-sensitized solar cells prepared by industrial methods. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **70**, 203-212, doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0248\(01\)00025-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0248(01)00025-3) (2001).
- 15 Zhang, Y. *et al.* A simple method to prepare uniform-size nanoparticle TiO₂ electrodes for dye-sensitized solar cells. *Journal of Power Sources* **189**, 1256-1263, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.01.023> (2009).
- 16 Chou, C. S., Chou, F. C. & Kang, J. Y. Preparation of ZnO-coated TiO₂ electrodes using dip coating and their applications in dye-sensitized solar cells. *Powder Technology* **215-216**, 38-45, doi:10.1016/j.powtec.2011.09.003 (2012).
- 17 Srivastava, P. & Bahadur, L. Dye-sensitized solar cell based on nanocrystalline ZnO thin film electrodes combined with a novel light absorbing dye Coomassie Brilliant Blue in acetonitrile solution. *International Journal of Hydrogen Energy* **37**, 4863-4870, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.12.064> (2012).
- 18 Chung, J., Lee, J. & Lim, S. Annealing effects of ZnO nanorods on dye-sensitized solar cell efficiency. *Physica B: Condensed Matter* **405**, 2593-2598, doi:10.1016/j.physb.2010.03.041 (2010).
- 19 Teesetsoon, P., Kumar, S. & Dutta, J. Photoelectrode optimization of zinc oxide nanoparticle based dye-sensitized solar cell by thermal treatment. *International Journal of Electrochemical Science* **7**, 4988-4999 (2012).
- 20 Nishanthi, S. T., Henry Raja, D., Subramanian, E. & Pathinettam Padiyan, D. Remarkable role of annealing time on anatase phase titania nanotubes and its photoelectrochemical response. *Electrochimica Acta* **89**, 239-245, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2012.11.008> (2013).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Recombination reduction of ZnO-dye sensitized solar cell by thermal stimulation

Pichanan Teesetsopon *

Department of Physics/Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology, Thailand

ktpichan@kmitl.ac.th

Zinc oxide nanoparticles dye-sensitized solar cells were prepared using thermal stimulated dye loading process. DSSCs efficiency enhancement was obtained with 6 times shorter in dye loading step. Current-voltage characterization and interfacial charge recombination investigation by electrochemical impedance spectroscopy indicated that higher efficiency was correlated with charge recombination reduction at the photoelectrodes.

INTRODUCTION

Dye-sensitized solar cells (DSSCs) have been an interesting photovoltaic technology due to the lower cost of production as compared to silicon-based solar cells¹. However, recombination process remains an important obstacle for DSSCs efficiency boosting^{1,2}. This work reveals that charge recombination at the photoelectrode could be reduced by thermal stimulated dye loading method.

EXPERIMENTAL/THEORETICAL STUDY

ZnO nanoparticles were prepared on fluorine doped tin oxide glass substrate by doctor blade method and annealed at 400°C for 30 minutes. The prepared ZnO samples were dipped in 0.5 mM Ruthenizer 535-bisTBA (N719) in ethanol under 30°C and 50°C temperature control at various times. UV-Vis spectroscopy, J-V characterization and electrochemical impedance spectroscopy (100 W/m² halogen light source at open circuit voltage) were used for ZnO-DSSCs investigation.

RESULTS AND DISCUSSION

The optimum dye loading time for 30°C and 50°C dipping temperature were found at 180 mins and 30 mins, respectively. The optimized parameters were shown in Table 1. Lower current

density was obtained for thermal stimulated DSSCs. Therefore higher efficiency should be influenced by higher fill factor and open circuit voltage.

Table1. Optimized parameters of ZnO-DSSCs

Parameters	30°C 180 mins	50°C 30 mins
Jsc (mA.cm ⁻²)	7.591	5.407
Voc (V)	0.355	0.413
Fill Factor	0.342	0.415
Efficiency (%)	0.918	0.929
Dye adsorption (x 10 ⁸ mol.cm ⁻²)	3.960	6.740

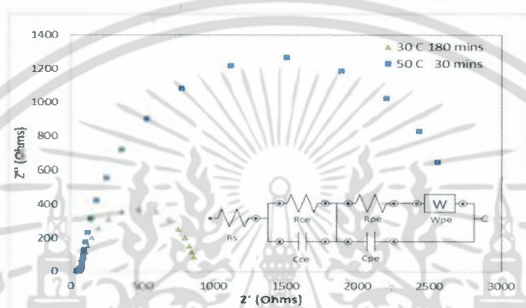


Fig. 1 Nyquist plot and equivalent circuit model (inset)

Table 2. Interfacial properties determined by EIS

EIS parameters	30°C 180 mins	50°C 30 mins
Rs (Ω)	55.17	50.07
Rce (Ω)	23.26	28.06
Cce x 10 ⁻⁵ (F)	2.29	1.36
Rpe (Ω)	736.93	2290.4
Cpe x 10 ⁻⁴ (F)	1.88	1.30
W x 10 ⁻² (S)	1.91	2.83
χ ²	0.10	0.24

Fill factor was known as an indicator for charge recombination inside DSSCs cells². It was also confirmed here by electrochemical impedance analysis (Fig.1 and Table 2) that enhanced efficiency DSSCs was caused by recombination resistance enhancement at the photoelectrode^{3,4}.

CONCLUSION

Thermal stimulation of dye loading process can enhance ZnO-DSSCs efficiency and shorten dye loading step up to 6 times. J-V and EIS investigation give evidences for charge recombination reduction at the photoelectrode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCES

1. A. Omar and H. Abdullah, *Ren. Sust. Energ. Rev* 31, 149 (2014).
2. Y. Tian et. al, *Appl. Surf. Sci.* 258 (1), 321 (2011).
3. P. Teesetsopon et.al, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7, 4988-4999 (2012).
4. N. Benekohal and G.P. Demopoulos, *J. Power Sources.* 240 (0), 667 (2013).

ACKNOWLEDGMENTS

This work has been supported by Faculty of Science, KMITL. The author would like to thank College of Nanotechnology, KMITL for instrumental support.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบรายงานค่าใช้จ่ายทุนวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2557

หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์

- ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงซึ่งก่ออกไซด์ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว
(ภาษาอังกฤษ) Zinc Oxide Dye-Sensitized Solar Cell Preparation by Rapid Thermal Treatment
- รายนามคณะผู้วิจัย
นางสาวพิชชานันท์ ชีเสริมฐ์โสภณ (หัวหน้าโครงการ)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล ktpichan@kmitl.ac.th
- งบประมาณการวิจัยที่ได้รับ 50,000 บาท
 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557
- สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน

หมวดค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
งบดำเนินงาน	
ค่าใช้สอย	12,000
ค่าวัสดุ	38,000
รวมงบประมาณที่จ่ายไปแล้ว	50,000

ลงชื่อ

(.....)

หัวหน้าโครงการ

วันที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว พิชชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Pichanan Teesetsopon
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-7399-00054-12-0
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
- หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ เลขที่ 3 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กทม. 10520
โทรศัพท์มือถือ 095-935-2917
โทรสาร 02-326-4413
E-mail ktpichan@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปี	ระดับ	วุฒิ	สถาบัน	ประเทศ
2545	ปริญญาตรี	วท.บ (ฟิสิกส์) เกียรตินิยมอันดับสอง	เกษตรศาสตร์	ไทย
2548	ปริญญาโท	วท.ม (ฟิสิกส์เชิงเคมี)	มหิดล	ไทย
2555	ปริญญาเอก	Ph.D. (Energy)	Asian institute of technology	ไทย

- ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

6.1 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดขั้วสัมผัสไวแสงซึ่งก่ออวกาศด้วยเทคนิคการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว

ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

แหล่งทุนสนับสนุน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2556 - 2557

งบประมาณ 50,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การตรวจสอบการสูญเสียอิเล็กตรอนในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

แหล่งทุนสนับสนุน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ปี 2557 - 2558

งบประมาณ 50,000 บาท

6.3 การพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานเชิงแผ่นเพื่อการตรวจสอบกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง

ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

แหล่งทุนสนับสนุน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ปี 2557 - 2559

งบประมาณ 450,000 บาท

ผลงานวิจัย

1. Pichanan Teesetsopon, S.Kumar and Joydeep Dutta, Photoelectrode Optimization of Zinc Oxide Nanoparticle Based Dye-Sensitized Solar Cell by Thermal Treatment, International Journal of Electrochemical Science Vol.7, 4988 – 4999 (2012)
2. Pichanan Teesetsopon, Recombination Reduction of ZnO-Dye Sensitized Solar Cell by Thermal Stimulation, 5th International Conference on Advanced Nanomaterials, Aveiro, Portugal (1-4 July 2014).

International Conferences/Workshop/Seminar

1. Advanced seminar in the use of the renewable energies, biomass and biofuels, Madrid, Spain (19 - 30 May 2008)
2. Intensive Program on Sustainability (IPoS) 2008: Food, Energy and Environment Rayong Province, Thailand (10 – 20 August 2008)
3. NISSAN Workshop in IPoS 2008: Cities and Sustainable Transport in 2050 Sajima Marina, Yokosuka, Japan (8-15 December 2008)
4. International Workshop on Advanced Materials (IWAM 2010), Ras Al Khaimah, United Arab Emirates (20-24 February 2010)
5. NanoThailand International Symposium (18-20 November 2010)
6. XAS Tutorial on Experiment and Data Analysis Program, College of Nanotechnology, KMITL, Thailand (27-28 February 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. 5th International Conference on Advanced Nanomaterials, Aveiro, Portugal (1-4 July 2014)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้