



รายงานวิจัย

การพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอิเล็กโตรไลต์
สถานะของแข็งโดยไม่ต้องใช้ clean room

A novel development for dye sensitized solar cell
solid state electrolytes without the use of a clean room

ดร. สุรศักดิ์ แสนทวีสุข

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

มิถุนายน 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

รายงานวิจัย

การพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอิเล็กโทรไลต์
สถานะของแข็งโดยไม่ต้องใช้ clean room

A novel development for dye sensitized solar cell
solid state electrolytes without the use of a clean room

ดร. สุรศักดิ์ แสนทวีสุข

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

มิถุนายน 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากท่าน รศ. ดร. ศุภกร ภูเก็ติด
อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผศ.ดร. อุดม ทิพรราช อาจารย์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ ผศ.ดร. สำเร็จ คันธี อาจารย์
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและ
เสนอแนะ เป็นอย่างดีมาตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่นารี คุณเกษมศรี
แสนทวิสุข ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการวิจัยด้วยดีมาตลอด ประโยชน์ ความดี และคุณค่า
อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ ขอมอบแต่บุพการี บุรพอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุน
และเป็นกำลังใจ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จาก
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

(นายสุรศักดิ์ แสนทวิสุข)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

- ชื่อเรื่อง** : การพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง โดยไม่ต้องใช้ clean room
- โดย** : ดร. สุรศักดิ์ แสนทวีสุข
- สาขาวิชา** : ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- ศัพท์สำคัญ** : อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง, เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงเป็นไฟฟ้า, โททานิยมไดออกไซด์

เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง สามารถเตรียมได้โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) และไอโอดีน (I_2) ผสมในอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ซึ่งประกอบไปด้วย 1,2,4,5-tetrakisbromomethylbenzene (TB) γ -butyrolactone (GBL) propylene carbonate (PC) 1-methyl-3-propylimidazodium iodide (MPI) poly(styrene-co-acrylonitril) (P(S-A)) และ ethylene carbonate (EC) คือ ตัวอย่าง 1,2,3 และ 4 จนเป็นเจล เกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ละลายได้ดีในอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ผลจากการการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงเป็นไฟฟ้า ภายใต้แสงตกกระทบ 80 mW/cm^2 คือ 2.49 %, 2.56 %, 2.16 % และ 2.18 % ตามลำดับ การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง มีเสถียรภาพดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์ของเหลวเมื่อเวลาเปลี่ยนไปมากขึ้น

ABSTRACT

TITLE : A novel development for dye sensitized solar cell
solid state electrolytes without the use of a clean room

BY : Surasak Santhaveesuk

MAJOR : Physics Faculty of Science and Technology

KEYWORDS : solid state electrolytes, dye sensitized solar cell,
energy conversion efficiency of light to electricity,
Titanium dioxide

Dye sensitized solar cell solid state electrolytes were prepared by adding potassium iodide (KI) and iodine (I₂) into solid state electrolytes. The electrolytes was composed of 1,2,4,5-tetrakisbromomethyl benzene (TB), γ -butyrolactone (GBL), propylene carbonate (PC), 1-methyl-3-propylimidazolium iodide (MPI) poly(styrene-co-acrylonitril) (P(S-A)) and ethylene carbonate (EC) gelled with samples 1, 2, 3 and 4. Potassium iodide salt was dissolved completely in solid state electrolytes. The results showed that energy conversion efficiency of light to electricity were 2.49 %, 2.56 %, 2.16 % and 2.18 % respectively, under irradiation of 80 mW/cm². The performance of the dye sensitized solar cell with solid state electrolytes is more stable than that of liquid electrolytes as time changed several days.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง	5
2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง	7
2.2.1 สีย้อมไวแสง	8
2.2.2 ชั้นของอนุภาคของโลหะออกไซด์	8
2.2.3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์	8
2.2.4 ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง	9
2.3 การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง	9
2.3.1 การพัฒนาสีย้อมไวแสง	9
2.3.2 การพัฒนาระบบอิเล็กโทรไลต์	11
2.3.3 การพัฒนาอนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์	13
2.4 ข้อดีและข้อที่ต้องปรับปรุงของเซลล์แสงอาทิตย์ TiO_2	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงสร้างนาโน	14
2.4.2 ข้อที่ต้องปรับปรุงของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2	14
2.5 การเตรียมฐานรองแก้วและการสังเคราะห์ฟิล์มบาง TiO_2	14
2.5.1 การสังเคราะห์ฟิล์มบางของ In-Sn-O ด้วยวิธี sputtering	15
2.5.2 การสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบ dip coating	16
2.6 การเตรียมอนุภาคนาโนและฟิล์มของ TiO_2	16
2.6.1 การเตรียมอนุภาคนาโนของ TiO_2 ด้วยวิธี sol-gel	16
2.6.2 การสังเคราะห์ฟิล์มของ TiO_2 ด้วยวิธี screen printing	17
2.7 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง	17
2.7.1 ฟิลล์แพกเตอร์	20
2.7.2 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน	20
2.8 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	
3.1 การสังเคราะห์ฟิล์มบางของ TiO_2	27
3.2 การทำ TiO_2 โครงผลึกนาโน	28
3.3 การเตรียมอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์	29
3.3.1 สารตั้งต้น	29
3.3.2 การเตรียมโพลิเมอร์	29
3.4 การประกอบเซลล์	31
3.4.1 Working electrode	31
3.4.2 Counter electrode	33
3.5 การทดสอบสารตัวอย่างด้วย XRD	34
วิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 ทดสอบการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง	36
3.7 ทดสอบการดูดกลืนแสงของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งด้วย UV – visible spectrometer	37
3.8 ทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงาน	38
4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วย XRD	39
4.2 ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ด้วยเครื่อง UV – visible	44
4.3 ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง	45
4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงาน	47
4.5 ผลการทดสอบเสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วย อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง	53
5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปและอภิปรายผล	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	64
ก. ประวัติผู้วิจัย	65
ข. ผลงานตีพิมพ์ในระดับชาติ/นานาชาติ	71

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ประสิทธิภาพรวมอิเล็กทรอนิกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	12
4.1	อิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็งที่ถูกร่วมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน	52

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	พลังงานและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO ₂ โคร่งผลึกนาโน	6
2.2	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ TiO ₂ และอิเล็กโทรไลต์ของเหลว	7
2.3	sputtering system สำหรับการเคลือบฟิล์มบาง In-Sn-O	16
2.4	การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1	17
2.5	กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการต่อวงจรแบบที่ 1	18
2.6	การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 2	18
2.7	กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการต่อวงจรแบบที่ 2	19
2.8	สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ณ AM 1.0 และ 1.5	21
3.1	การสังเคราะห์ฟิล์มบาง	27
3.2	กระบวนการทำ TiO ₂ โคร่งผลึกนาโน	28
3.3	การเตรียมอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง	29
3.4	อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง	31
3.5	ฟิล์มบางของ TiO ₂ โคร่งผลึกนาโน บน working electrode (ก) โลหะออกไซด์เคลือบบนแก้ว TCO นำไปเผา (ข) โลหะออกไซด์เคลือบบนแก้ว TCO นำไปแช่ในสีย้อมไวแสง	32
3.6	counter electrode ของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง	33
3.7	เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นแต่ละ sample	34
3.8	การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากกระนาบของอะตอม	35
3.9	การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ sample ทั้ง 4 ชนิด	36
4.1	XRD สเปกตรัมของ std TiO ₂	39
4.2	XRD สเปกตรัมของ sample 1 หลังเผา 450 °C เวลา 30 นาที	40
4.3	XRD สเปกตรัมของ sample 2 หลังเผา 450 °C เวลา 30 นาที	40
4.4	XRD สเปกตรัมของ sample 3 หลังเผา 450 °C เวลา 30 นาที	41
4.5	XRD สเปกตรัมของ sample 4 หลังเผา 450 °C เวลา 30 นาที	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.6	(ก) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า และ (ข) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง TEM	43
4.7	UV-visible KI ในอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง	44
4.8	แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 1 ด้วยเครื่อง TEM	45
4.9	แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 2 ด้วยเครื่อง TEM	45
4.10	แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 3 ด้วยเครื่อง TEM	46
4.11	แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 4 ด้วยเครื่อง TEM	46
4.12	I-V curves ของ sample ทั้ง 4 ชนิด	47
4.13	เสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

พลังงานไฟฟ้าที่มนุษย์ใช้อยู่บนโลกปัจจุบันมาจากพลังงานซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuel) ซึ่งจากการคาดการณ์ของนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า ในระหว่างปี ค.ศ. 2000 ถึง 2030 จะมีปริมาณการใช้ที่เพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 70 % [1] ปัญหาการขาดแคลนพลังงานจึงเป็นปัญหาอันดับหนึ่งของโลก เพื่อตอบสนองความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นและการขยายตัวด้านอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศทั่วโลก จำเป็นต้องทำการวิจัยและพัฒนา พลังงานอย่างเร่งด่วนเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อทดแทนพลังงานซากดึกดำบรรพ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่กำลังจะหมดไปและไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก พลังงานนี้ควรเป็นพลังงานที่ผันกลับได้ (renewable) และใช้ได้อย่างไม่มีหมดหรือมีความยั่งยืน (sustainable) รวมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (environmentally friendly) การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีต่าง ๆ โดยการใช้ทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ได้ถูก เสนอแนะนำไปสู่การใช้งานจริงไปบ้างแล้ว วิธีที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า (photovoltaic) [2] อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าของวัสดุสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสม เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ขาดประสิทธิภาพที่สุดอย่างหนึ่ง เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีนี้ใช้เพียงแสงอาทิตย์เป็นวัตถุดิบ และไม่ปลดปล่อยก๊าซพิษใด ๆ สู่บรรยากาศ ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลภาวะ และเป็นพลังงานที่ยั่งยืน เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1839 โดย E. Becquerel นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส โดยพบว่าเมื่อจุ่มขั้วไฟฟ้าสองขั้วลงไปในอิเล็กโทรไลต์ จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นเมื่อถูกแสงอาทิตย์ เริ่มมีการวิจัยที่จริงจังครั้งแรก ในปี ค .ศ. 1954 ที่ BTL (Bell Telephone Laboratories) [3] ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพ 6 % ซึ่งใช้สำหรับยานอวกาศ (satellites) โดยใช้ซิลิกอน (Si) เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำ ซึ่งถือว่าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (conventional solar cell)

เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง (dye – sensitized solar cell) ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โครงผลึกนาโน มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ได้กลายมาเป็นวัสดุการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าทางเลือกใหม่ สามารถผลิตได้ง่ายกว่า และมีแนวโน้มว่าให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า [4] รวมทั้งใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงการทำฟิล์มบาง TiO_2 โครงผลึกนาโน [5-6] มีประสิทธิภาพการผันพลังงาน 11 % [7] และกำลังได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น การออกแบบเซลล์เพื่อที่จะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและเสถียรภาพและความคงทน ซึ่ง การเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (I^-/I_3^-) ผสมกับสารอินทรีย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง และสามารถได้ประสบผลสำเร็จ คือ acetonitrile, propylene carbonate และ ethylene carbonate อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสารละลายอินทรีย์นี้ระเหยง่าย ไม่เหมาะสมกับการทำเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง นี่คือข้อจำกัดของการทำเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง จึงเป็นความพยายามที่จะแก้ไขปัญหานี้ โดยการใช้อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของแข็ง (solid-state electrolyte) หรือ quasi solid-state electrolyte (polymer gel electrolyte) แทนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ [8] เพื่อป้องกันการรั่วหรือระเหยของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ [9-10] ขณะนี้มีหลาย ๆ โพลีเมอร์ [11-12] ที่เหมาะกับการทำเจลอิเล็กโทรไลต์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง และเจลอิเล็กโทรไลต์นี้ จะมีความเข้มข้นของไอออน I^- ที่มีระยะการรับและการจ่ายอิเล็กตรอนเร็วในการทำเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ดังนั้นไอออน I^- ที่ถูกเติมด้วย LiI หรือ NaI ในเจลอิเล็กโทรไลต์จะมีการรับและการจ่ายอิเล็กตรอนเร็วให้ความหนาแน่นกระแสสูงแต่ศักย์ไฟฟ้าต่ำ อย่างไรก็ตาม มันเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการเติมแคทไอออนลงในเกลือไอโอดัด เช่น N-methyl pyridine iodide [11] หรือ 1, 3-dimethyl-3-imidazolium iodine [13] ลงในเจลอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออน I^- ที่ถูกนำมาใช้ในการทำอิเล็กโทรไลต์เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง [14-15] นั้นหมายความว่า การเติมแคทไอออนที่มากพอในเจลอิเล็กโทรไลต์เป็นการปรับปรุงการทำเจลอิเล็กโทรไลต์กึ่งของแข็งแต่ในการเติมเกลือ LiI ของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงจะมีความเข้มข้น มีราคาแพงกว่าเกลือไอโอดัด และโลหะอัลคาไลด์อื่น ๆ เช่น NaI และ KI ในปัจจุบันจากการรายงานผลการทำเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงไททาเนียมไดออกไซด์โครงผลึกนาโน มีประสิทธิภาพสูง 11.18 % ภายใต้แสงตกกระทบ AM 1.5 (1000 W/m^2) เมื่อใช้ปฏิกิริยา รีดอกซ์ (I^-/I_3^-) อิเล็กโทรไลต์ของเหลว [16] และกำลังได้รับการพัฒนาให้สูงขึ้น ไม่ต้องใช้ห้องทดลองที่สะอาด (clean room) ใช้วัสดุที่มีราคาถูก สามารถทำในอุณหภูมิห้องและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาจึงได้เสนอแนวทางในการประดิษฐ์และศึกษาคุณสมบัติเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง เพื่อมีเสถียรภาพคงทน และ เพื่อพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ที่มีประสิทธิภาพ และราคาถูก โดยไม่ต้องใช้ clean room

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง จะมีเสถียรภาพ และมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ในระดับดี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงผลึกนาโน โดยวิธีเทคนิค doctor blade ด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง และศึกษาประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถเตรียมฟิล์มบาง (thin film) TiO_2 ที่ไม่ต้องยุ่งยาก สามารถทำในอุณหภูมิห้อง และอากาศภายนอกได้
2. ผลงานได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่ในวารสารที่ยอมรับในระดับชาติหรือนานาชาติ

3. นำมาใช้ในกระบวนการเรียนการสอนของนักศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก ในรายวิชาฟิสิกส์เซลล์สุริยะและฟิสิกส์ฟิล์มบาง
4. นำเสนอผลงานในเวทีระดับชาติหรือนานาชาติ

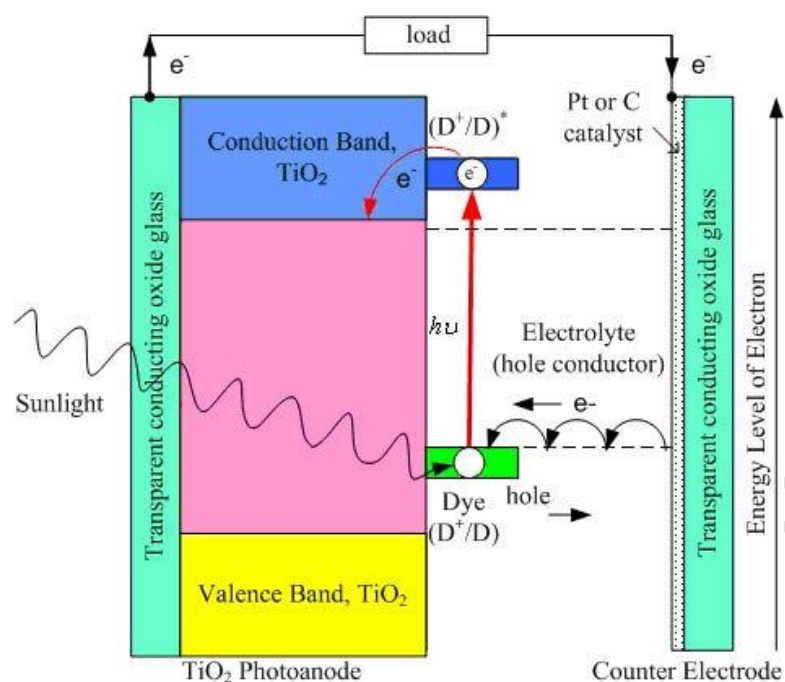
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง การพัฒนาสีย้อมไวแสง การพัฒนาระบบอิเล็กทรอนิกส์ การพัฒนาอนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ ข้อดีและข้อที่ต้องปรับปรุงของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 การเตรียมฐานรองแก้ว การสังเคราะห์ฟิล์มบาง การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง

นับตั้งแต่ B. O'regan และ M. Grätzel [17] ได้ค้นพบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงในปี ค.ศ. 1991 จากนั้นพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ได้ดำเนินการก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว การวิจัย ได้มุ่งเน้นสู่ความเข้าใจต่อกลไกการทำงานของเซลล์ และพัฒนาการผลิตทางการค้าของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีศักยภาพ เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงผลิตด้วยวัสดุราคาต่ำ TiO_2 ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เป็นพลังงานที่ยั่งยืนและผลิตง่ายโดยไม่ต้องใช้ห้อง clean room เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงประกอบด้วย electrode 2 ส่วน คือ working electrode ที่ประกอบด้วย แผ่นแก้วตัวนำ (conducting glass) 1 แผ่น สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ และมี SnO_2 สังเคราะห์เป็นฟิล์มบางบนแผ่นแก้วตัวนำ และใช้ สีย้อม (dye) TiO_2 ส่วนที่ 2 คือ counter electrode ที่ประกอบด้วย แผ่นแก้วตัวนำ (conducting glass) 1 แผ่น สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ และมี SnO_2 สังเคราะห์เป็นฟิล์มบาง บนแผ่นแก้วตัวนำ ซึ่งใช้ Pt/C catalyst เคลือบบนแผ่นแก้วตัวนำเพื่อสร้าง counter electrode และสาร electrolyte ที่เคลือบบน counter electrode จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับ working electrode และ counter electrode สำหรับการนำไฟฟ้าไปใช้งาน ดังภาพที่ 2.1 จวบจนปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 10 % [18] อย่างไรก็ตาม เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงส่วนใหญ่ใช้ liquid electrolyte [19] เสถียรภาพเซลล์มีเสถียรภาพน้อยเนื่องจากของเหลวอาจจะระเหยเป็นไอ



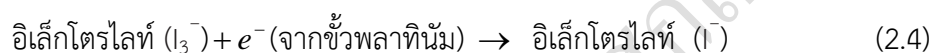
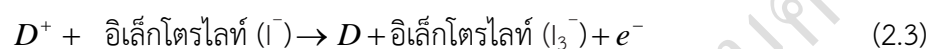
ภาพที่ 2.1 พลังงานและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO₂
โครงผลึกนาโน [19]

เมื่อเซลล์ไม่ถูกซีล (sealed) อย่างสมบูรณ์ การซึมผ่าน (permeation) ของโมเลกุลของออกซิเจนหรือน้ำ และการทำปฏิกิริยากับ electrolytes ทำให้การผลิตเป็น modules ยุ่งยาก ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะพัฒนา solid, quasi solid – state electrolyte หรือ quasi solid – state hole conductor เพื่อใช้แทน liquid electrolytes เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO₂ โครงผลึกนาโน มีหลักการทำงานเลียนแบบการสังเคราะห์แสงในพืช [20] ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์โมเลกุลสีย้อมไวแสงที่ทำหน้าที่ photosensitizer อิเล็กตรอนของโมเลกุลจะถูกทำให้ตื่นตัวและถูกฉีด (ejected) สู่อแถบนำไฟฟ้า (conduction band) ของไททาเนียม อิเล็กตรอนเหล่านี้แพร่สู่แก้วตัวนำโปร่งแสงและไหลผ่านโพลี สีย้อมได้รับอิเล็กตรอนจากอิเล็กโตรไลต์ (I⁻) สารอิเล็กโตรไลต์ (I₃⁻) แพร่เข้าสู่คาร์บอน (C) หรือ พลาทินัม (Pt) ของ counter electrode จากนั้นอิเล็กโตรไลต์ จะถูกรีดิวซ์สู่ I⁻ (ได้รับอิเล็กตรอน) ในขณะที่โฮล (hole) จะเคลื่อนที่ตรงข้ามกับอิเล็กตรอนในอิเล็กโตรไลต์ จึงเรียกระบบอิเล็กโตรไลต์ว่าเป็น hole conductor ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ขบวนการเกิดตลอดเวลาเมื่อมีแสงตกกระทบ [19] ปฏิกิริยาการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

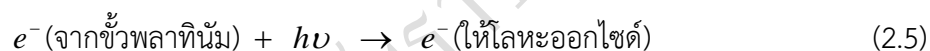
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอนอด



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด

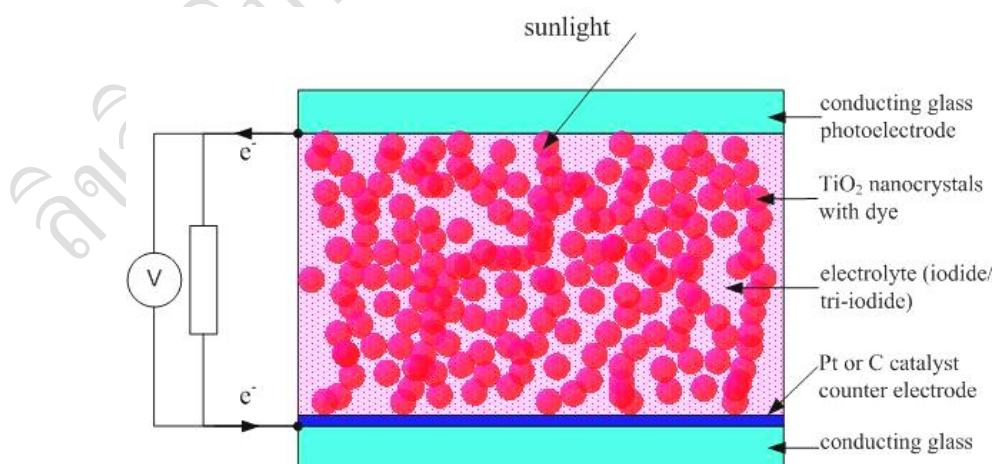


ปฏิกิริยารวม



2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง

เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงมีโครงสร้างที่สำคัญ คือ ขั้วไฟฟ้า สีย้อมไวแสง อนุภาคของ TiO_2 โครงผลึกนาโน และอิลีกโตรไลต์หรือตัวส่งผ่านประจุบวก ดังภาพที่ 2.2 โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่และสมบัติที่สำคัญ ดังนี้ [21-22]



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ TiO_2 และอิลีกโตรไลต์ของเหลว [19]

2.2.1 สีย้อมไวแสง

ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับโลหะออกไซด์ ดังนั้นจะต้องมีสมบัติที่สำคัญ เช่น มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงกว้างในช่วงตามองเห็น 400 – 700 นาโนเมตร และใกล้อินฟราเรด เพื่อดูดกลืนแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับแสงโฟตอนที่มาตกกระทบ มีคุณสมบัติของสภาวะพื้นและสภาวะกระตุ้นที่เหมาะสม มีเสถียรภาพสูงในสภาวะถูกออกซิไดซ์ และสามารถยึดเกาะบนผิวอนุภาคโลหะออกไซด์ได้ดี มีราคาถูกและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งปกติแล้วมักใช้โมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม (Ru) กับลิแกนด์ในกลุ่มของโพลีไพริดีน (polypyridine) เนื่องจากว่าสารดังกล่าวมีราคาแพง

2.2.2 ชั้นของอนุภาคของโลหะออกไซด์

ทำหน้าที่รับและส่งผ่านอิเล็กตรอน ต้องมีแถบช่องว่างพลังงานกว้าง (wind band gap semiconductor) (มากกว่า 3 eV) และมักถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของฟิล์มบางที่มีลักษณะเป็นรูพรุนสูง (high porous) สำหรับการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อมไวแสง ทำให้สามารถดูดกลืนแสงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากต้องการให้โมเลกุลของสีย้อมมีการดูดกลืนแสงให้ได้มากที่สุด สารกึ่งตัวนำที่ใช้ควรจะไม่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น ทำให้ต้องเลือกแถบช่องว่างพลังงานกว้าง และระดับพลังงานของขอบล่างของแถบการนำ (conduction band edge) ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับพลังงานที่สถานะถูกกระตุ้นของโมเลกุลของสีย้อม เพื่อทำให้เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอน จากโมเลกุลของเม็ดสีมายังสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ ได้แก่ TiO_2 , SnO_2 , ZnO , Fe_3O_4 , NiO และ SiO_2 เป็นต้น

2.2.3 สารละลายอิเล็กโตรไลต์

สารละลายอิเล็กโตรไลต์หรือตัวส่งผ่านอิเล็กตรอน ทำหน้าที่ชดเชยอิเล็กตรอนให้กับโมเลกุลสีย้อมไวแสง หรือรับประจุบวกจากขั้วไฟฟ้าแคโทด สารละลายอิเล็กโตรไลต์จะอาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) ซึ่งคุณสมบัติของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่ดีมีดังนี้ ไม่ดูดกลืนแสงในช่วงตามองเห็น มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน - ออกซิเดชันได้ง่าย เพื่อชดเชยอิเล็กตรอนให้แก่เม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปตัวออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว มีอายุการใช้งานยาวนานไม่ก่อให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นภายในเซลล์ สารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่นิยมใช้ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง คือ สารละลายอิเล็กโตรไลต์ในระบบที่ได้จากการแตกตัวของสารไอโอดีน (I_2) โดยจะมีประสิทธิภาพในการให้อิเล็กตรอนกับเม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปของตัวออกซิไดซ์ที่สถานะพื้นได้เป็นอย่างดี

2.2.4 ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง

ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าแอโนด ทำหน้าที่ส่งผ่าน อิเล็กตรอน (electron transfer) ไปสู่วงจรรภายนอก นิยมใช้ fluoride doped tin oxide (FTO) และขั้วไฟฟ้าแคโทดหรือแคโทดเตอร์ อิเล็กโทรด ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนกลับคืนสู่สารประกอบอิเล็กโทรไลต์ ต้องนำไฟฟ้าที่ดี มีความเป็นรูพรุนสูง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา จะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วย และมีค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัวสำหรับการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของอิเล็กโทรไลต์ต่ำ นิยมใช้โลหะแพลทินัม (Pt) แต่เนื่องจากโลหะแพลทินัมมีราคาแพงอาจจะใช้วัสดุอื่นแทน เช่น ผงคาร์บอน ท่อคาร์บอนนาโนหรือแกรไฟต์

2.3 การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง

สำหรับแนวทางการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ให้มีประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้น อาจจะสรุปได้ 3 แนวทาง [23] ดังนี้

2.3.1 การพัฒนาสีย้อมไวแสง

การพัฒนาสีย้อมไวแสง สามารถแบ่งเป็น 3 แนวทางหลัก คือ ก) ทาสีย้อมไวแสงชนิดใหม่ ที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงกว้าง ตั้งแต่ช่วงแสงตาเห็นจนถึงแสงใกล้อินฟราเรด เพื่อเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนในสถานะเร้าให้มากที่สุด ข) เพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของสีย้อมไวแสงกับพื้นผิวของโลหะออกไซด์ เพื่อเพิ่มปริมาณสีย้อมไวแสงให้เกาะกับโลหะออกไซด์ ในปริมาณมาก และ ค) เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสีย้อมกับโลหะออกไซด์ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอน จากแนวทางดังกล่าวสามารถจำแนกสีย้อมไวแสงออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

2.3.1.1 กลุ่มสีย้อมไวแสงจำพวก สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียมกับ ลิแกนด์ โพลีไพริดีน สีย้อมกลุ่มไวแสงกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและศึกษาพัฒนาอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก รูเทเนียมเป็นโลหะมีความต่างศักย์รีดอกซ์สูง เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นและส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังอนุภาคนาโน ของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ออกไซด์ได้ดี Grätzel และคณะ เป็นกลุ่มวิจัยแรกที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในการพัฒนาสีย้อมไวแสงประเภทนี้ โดยสังเคราะห์ สารประกอบเชิงซ้อนของ โลหะรูเทเนียมกับลิแกนด์โพลีไพริดีนหรือ อนุพันธ์ของโพลีไพริดีน โดยลิแกนด์โพลีไพริดีนจะมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (-COOH) เป็นส่วนประกอบของโมเลกุลและมีความสามารถดูดซับบนพื้นผิวของโลหะออกไซด์ได้ดี ตัวอย่างสีย้อมไวแสงกลุ่มนี้ ได้แก่ N3 dye และ N719 dye พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงกลุ่มนี้พบว่าให้ประสิทธิภาพรวมสูงถึง 10.4 % มีค่าใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนา

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียมกับลิแกนด์โพลีไพริดีน โดยสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน โมเลกุลและที่มีหมู่ลิแกนด์ไพโรโรล และไฮโอฟินเพิ่มขึ้นมา แม้ว่าการใช้สารประกอบเชิงซ้อนกลุ่มโลหะ รูเทเนียมกับลิแกนด์โพลีไพริดีนจะให้ประสิทธิภาพพววมสูง แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น มีช่วง การดูดกลืนคลื่นแสงอาทิตย์ที่แคบ การสังเคราะห์และทำให้บริสุทธิ์ยาก และยังมีราคาแพง จึงมี การศึกษาและทดลองใช้สีย้อมไวแสงชนิดอื่น ๆ แทน

2.3.1.2 กลุ่มสีย้อมไวแสงสารอินทรีย์ เป็นการนำสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ หรืออาจจะสังเคราะห์ขึ้นมาใช้เป็นสีย้อมไวแสงส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลที่มีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวต่อกันยาว และมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้วสูง ตัวอย่างสีย้อมไวแสงสารอินทรีย์ เช่น โมเลกุล เป็นอนุพันธ์ของเคมาริน (coumarin) พบว่าให้ประสิทธิภาพพววมประมาณ 7.7% นอกจากนี้ยังมีอีกกลุ่มหนึ่งที่น่าสนใจคือ สารกลุ่มเพอริลีน (perylene dye) พบว่าให้ประสิทธิภาพพววมใกล้เคียงกันกับอนุพันธ์ของเคมาริน แม้ว่าสีย้อมไวแสงสารอินทรีย์ให้ประสิทธิภาพพววมต่ำกว่ากลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียม แต่ยังคงได้รับความสนใจและศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะมีราคาถูก สังเคราะห์ได้ง่าย และมีความเป็นพิษต่ำ

2.3.1.3 กลุ่มสีย้อมไวแสงพอร์ไพริน สีย้อมชนิดนี้พัฒนามาจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นโครโมฟอร์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยในปี ค.ศ. 1993 Grätzel [24] ได้สังเคราะห์อนุพันธ์พอร์ไพรินเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการดูดกลืนแสงบนตัวดูดซับไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าสีย้อมไวแสง Cu-MP ให้ประสิทธิภาพพววมเท่ากับ 2.6 % ในปี ค. ศ. 1996 Boschloo และ Goossens [25] ได้สังเคราะห์พอร์ไพริน Zn-TCPP พบว่าให้ประสิทธิภาพพววมประมาณ 1.1% ต่อมาในปี ค. ศ. 2000 Cherian และ Wamser [26] ใช้ TCPP ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ Zn-TCPP แต่ปราศจากโลหะ Zn เป็นโมเลกุลสีย้อมไวแสง พบว่าให้ประสิทธิภาพพววมเพิ่มเป็น 3.5% และในปี 2004 [27] สังเคราะห์พอร์ไพริน meso-linkes สาร Zn-1a, Zn-1b และ Zn-1c พบว่าให้ประสิทธิภาพพววมของ Zn-1b สูงถึง 4.2 % แม้ว่าประสิทธิภาพพววมของสีย้อมกลุ่มพอร์ไพรินจะมีค่าต่ำกว่าของสีย้อมกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียมมากแต่การสังเคราะห์สีย้อมไวแสงพอร์ไพริน สามารถปรับเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันภายในโมเลกุลได้ง่าย และมีแนวโน้มในการเพิ่มประสิทธิภาพไปในทางที่ดีขึ้น ทำให้ในปัจจุบันสีย้อมไวแสงพอร์ไพรินยังคงได้รับความสนใจศึกษาอยู่อย่างต่อเนื่อง

2.3.2 การพัฒนาระบบอิเล็กโทรไลต์

ระบบอิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนสำคัญที่ต้องได้รับการพัฒนาเช่นกัน เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้ประสิทธิภาพสูงสำหรับผลิตในเชิงการค้า ในระยะเริ่มแรก ระบบอิเล็กโทรไลต์เป็นระบบที่เตรียมได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก คือ อิเล็กโทรไลต์ของเหลว มีส่วนประกอบของ คู่ปฏิกิริยารีดอกซ์ของไอโอดีน/ไตรไอโอดีน (I^-/I_3^-) ที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน ไนโตร โพรพิโอนไนโตร เมทริกซ์อะซิโตนไนโตร โพรพิลีนคาร์บอนเนต เป็นต้น ในปัจจุบันอิเล็กโทรไลต์ชนิดนี้ สามารถให้ประสิทธิภาพรวมของเซลล์สูงกว่า 10 % ทั้งนี้เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการขนส่งของไอออนที่รวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือตัวทำละลายที่ใช้ระเหยง่าย จึงทำให้เกิดปัญหาการหายไปหรือรั่วซึมของสารละลายออกจากตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพรวม อายุการใช้งานและความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงลดลง ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับเซลล์ที่ใช้ระบบอิเล็กโทรไลต์ของเหลว และต้องได้รับการแก้ไขให้แล้วเสร็จก่อนที่จะผลิตต้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงออกสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป จากปัญหาดังกล่าวนำไปสู่ระบบอิเล็กโทรไลต์ของเหลวไอออนิก ที่มีจุดเดือดสูงขึ้น มีการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเสถียรภาพต่อสารเคมีและความร้อนที่ดี และไม่ติดไฟ ระบบอิเล็กโทรไลต์ของเหลวไอออนิกที่นิยมใช้คือสารประกอบของ imidazolium แม้ว่าระบบอิเล็กโทรไลต์นี้จะสามารถแก้ไขปัญหาระเหยได้ แต่ยังมีปัญหาการรั่วซึมอยู่ และให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่ำกว่าระบบอิเล็กโทรไลต์ของเหลว เพราะมีความหนืดสูง ทำให้ไอออนไอโอดีนแพร่ตัวได้ช้า ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ได้ยังไม่สูงมากนัก (2 – 4 %) ต่อมาได้มีรายงานว่าระบบอิเล็กโทรไลต์ 1-methyl-3-propylimidazolium iodide, 1-methyl-3-ethylimidazolium dicyanamide และ lithium iodide สามารถให้ประสิทธิภาพรวมสูงขึ้นเป็น 6.6 % เมื่อนำไปประกอบรวมกับเซลล์ที่ใช้สีย้อมไวแสงกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนโลหะรูเทเนียม การเติม lithium iodide สามารถเพิ่มประสิทธิภาพรวมอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ electron injection yield และ dye regeneration rate ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของ อิเล็กโทรไลต์ เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าระบบอิเล็กโทรไลต์ของเหลวที่ไม่ระเหยส่วนใหญ่จะใช้ไอโอดีน แต่ประสิทธิภาพรวมที่ได้ก็ยังไม่สูงมากนัก ทำให้ยังมีการพัฒนาระบบอิเล็กโทรไลต์อย่างต่อเนื่อง เช่น ระบบอิเล็กโทรไลต์ที่ปราศจากตัวทำละลายของคู่ปฏิกิริยารีดอกซ์ $SeCN^-/(SeCN)^{3-}$ ซึ่งมีความหนืดที่ต่ำกว่าระบบอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ imidazolium iodide มาก (ประมาณ 45 เท่า) สามารถให้ประสิทธิภาพรวมของเซลล์สูงมากถึง 7.5–8.3 % ภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง ความเข้มแสง AM 1.5 ระบบอิเล็กโทรไลต์อีกระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา คือ โพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์ มีจุดเด่นสำคัญในเรื่องการนำพาไอออนที่สูงกว่าของไหล และสามารถแข็งตัวได้ง่าย โดยโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์มีลักษณะเป็นเจล ที่มีโครงสร้างแบบโครงร่างแหสามมิติ เพื่อเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรไลต์แบบแข็งและชั้นรูพรุนระดับนาโนของอนุภาคนาโนโลหะออกไซด์

นอกจากนี้สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และไม่มีขั้นตอนซับซ้อน ในปัจจุบันนิยมใช้ poly (ethyleneglycol) (PEG) และ poly(ethylene oxide) (PEO) เป็นโพลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ และพบว่า การใช้ประโยชน์โพลิเมอร์ร่างแหแบบเจลของ PEO segments ในการทำโคโพลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ สามารถให้ประสิทธิภาพเซลล์สูงสุดเท่ากับ 8.1 % ภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง ความเข้มแสง AM 1.5 และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ โดยการเพิ่มความหนาของชั้นอนุภาคนาโนโลหะออกไซด์ การปรับปรุงสัดส่วน ความหนืด และค่าคงที่ ไดอิเล็กตริกของตัวทำละลาย และสามารถเติม oligomers หรือ plasticizers อัดฐานเข้าไปใน อิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ เพื่อเพิ่มการนำพาไอออน และเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคสีย้อม ไวแสงกับโพลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้มีการ พัฒนาอิเล็กโทรไลต์เจลแบบนาโนคอมพอสิต พบว่าสามารถให้ประสิทธิภาพสูงถึง 7 % นอกจากนี้ ระบบอิเล็กโทรไลต์ที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีระบบ อิเล็กโทรไลต์อีกระบบที่น่าสนใจ คือ ระบบอิเล็กโทรไลต์ฟิล์มบาง (thin-film solid-electrolytes) หรือตัวส่งผ่านประจุบวก (hole conductors) โดยจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นตัวส่งผ่านประจุบวก เช่น โมเลกุลคาร์บาโซล (carbazole) อิเล็กโทรไลต์ระบบนี้ จะไม่มีปัญหาการรั่วซึมหรือการระเหยของอิเล็กโทรไลต์ และมีอายุการใช้งานนาน จากที่กล่าวมาข้างต้น ระบบอิเล็กโทรไลต์ ยังคงต้องได้รับการพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพรวมของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อม ไวแสงให้สูงขึ้น ตัวอย่างประสิทธิภาพรวมอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้อนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ ดังสรุป ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพรวมอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สารกึ่งตัวนำ	อิเล็กโทรไลต์	η_{global} (%)	ความเข้มแสง (mW/cm ²)	เอกสารอ้างอิง (Ref)
TiO ₂	P(VDF-HFP)	8.35	100 (AM 1.5)	[28]
TiO ₂	P(MMA-co-MAA)/PEG	4.85	100 (AM 1.5)	[29]
TiO ₂	PEO	0.77	100 (AM 1.5)	[30]
TiO ₂	PVD-HFP	>6	100(AM 1.5)	[31]
TiO ₂	EC+PC	4.79	100(AM 1.5)	[32]
	BL+EC	4.96	100(AM 1.5)	
	BL+PC	4.41	100(AM 1.5)	

2.3.3 การพัฒนาอนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

เพื่อให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงสูงสุดชั้นอนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ จะต้องมีความเสถียรภาพสูง มีพลังงานแถบช่องว่าง (E_g) ที่กว้าง มีพื้นที่ผิวมากเพื่อให้โมเลกุลสีย้อมยึดเกาะได้ในปริมาณมาก มีการกระจายตัวของรูพรุนสม่ำเสมอเพื่อให้การแพร่ผ่านของไอออนอิเล็กโทรไลต์ได้ดี และแต่ละอนุภาคจะต้องเชื่อมติดกันอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้อิเล็กตรอนสามารถแพร่ผ่านได้ดี อนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำที่กลุ่มของ Grätzel [25] เลือกใช้ในการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงครั้งแรก คือ อนุภาคผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีพลังงานแถบช่องว่างกว้าง ประมาณ 3.2 eV มีความเสถียรภาพสูง ในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จึงได้มีความพยายามที่จะเปลี่ยนอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นอนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำที่มีพลังงานแถบช่องว่างชนิดอื่น ๆ แทน เช่น ทินออกไซด์ (SnO_2) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไนโอเบียมออกไซด์ (Nb_2O_5) และสตรอนเชียมไททาเนต (SrTiO_3) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้สารกึ่งตัวนำผสมระหว่าง ทินออกไซด์กับซิงค์ออกไซด์ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีสีย้อมชนิด N3 ให้ประสิทธิภาพรวม เท่ากับ 8 % ที่ความเข้มแสง 90 mW/cm^2 ในปัจจุบันอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ยังคงเป็นสารกึ่งตัวนำ ที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพรวมสูงสุด นอกจากการเปลี่ยนชนิดของสารกึ่งตัวนำ แล้ว แนวทางหนึ่งสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง คือ การปรับเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคของสารกึ่งตัวนำ ทั้งเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อให้ปริมาณโมเลกุลสีย้อมไวแสงสามารถยึดเกาะได้มากขึ้น ทำให้มีการกระจายตัวของช่องว่างระหว่างอนุภาคอย่างสม่ำเสมอ และเพิ่มระยะทางการแพร่ของอิเล็กตรอนให้มากขึ้น เพื่อลดการเกิดการรีคอมไบเนชันของประจุ โดยในปี ค.ศ. 2005 Law และคณะ [33] พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้สีย้อมไวแสง N719 ดูดซับบนเส้นลวด นาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพรวมใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ที่ใช้อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจาก ลวดนาโนช่วยให้ส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าได้มากขึ้น และลวด นาโนมีพื้นที่ผิวสูง และในปี ค.ศ. 2006 Baxter และ Aydil [34] สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสง N719 ดูดซับบนลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 0.7 – 0.8 V กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 3 mA/cm^2 และมีประสิทธิภาพรวม 1.1 % ลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับความสนใจศึกษา เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีค่าพลังงานแถบช่องว่างใกล้เคียงกับไททาเนียมไดออกไซด์ และมีกระบวนการเตรียมให้อยู่ในรูปของลวดนาโนง่ายกว่า

2.4 ข้อดีและข้อที่ต้องปรับปรุงของเซลล์แสงอาทิตย์ TiO_2

2.4.1 ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงผลึกนาโน

เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงผลึกนาโน มีประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 11.18 % [35] ซึ่งมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมที่ผลิตจาก amorphous (Si) กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงผลึกนาโน เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม พบว่า ผลิตได้ง่ายไม่จำเป็นต้องใช้ clean room เหมือน Si-based วัสดุที่ใช้ผลิตมีมาก ราคาถูก และใช้น้อยมาก ทั้งสีย้อม ไวแสง (dye) และ TiO_2 เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นแบบฟิล์มบาง ทำให้ ต้นทุนการผลิตต่ำและสามารถผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสีต่าง ๆ ตามชนิดของสีย้อม ไวแสง สามารถใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประดับอาคารได้ เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมทั้งขบวนการผลิต เนื่องจากไม่มีการโด๊ป และการ ใช้งาน ไม่มีการใช้เชื้อเพลิงที่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำมัน ถ่านหินหรือก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เมื่อเซลล์หมดอายุการใช้งานสามารถนำมาใช้ได้อีก โดยการล้าง electrode ด้วยสารละลาย alkali แล้วนำแผ่นแก้ว electrode ไปใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ได้อีก

2.4.2 ข้อที่ต้องปรับปรุงของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงสร้างนาโน เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมที่ผลิตจาก GaAs พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงผลึกนาโนมีประสิทธิภาพต่ำกว่า และเสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ สีย้อมไวแสงจะขึ้นอยู่กับชนิดของสาร electrolyte คือ เซลล์สีย้อมไวแสงที่ใช้ liquid electrolyte จะมีเสถียรภาพต่ำกว่าเซลล์สีย้อมไวแสงที่ใช้ solid-state electrolyte หรือ quasi solid-state electrolyte (polymer electrolyte)

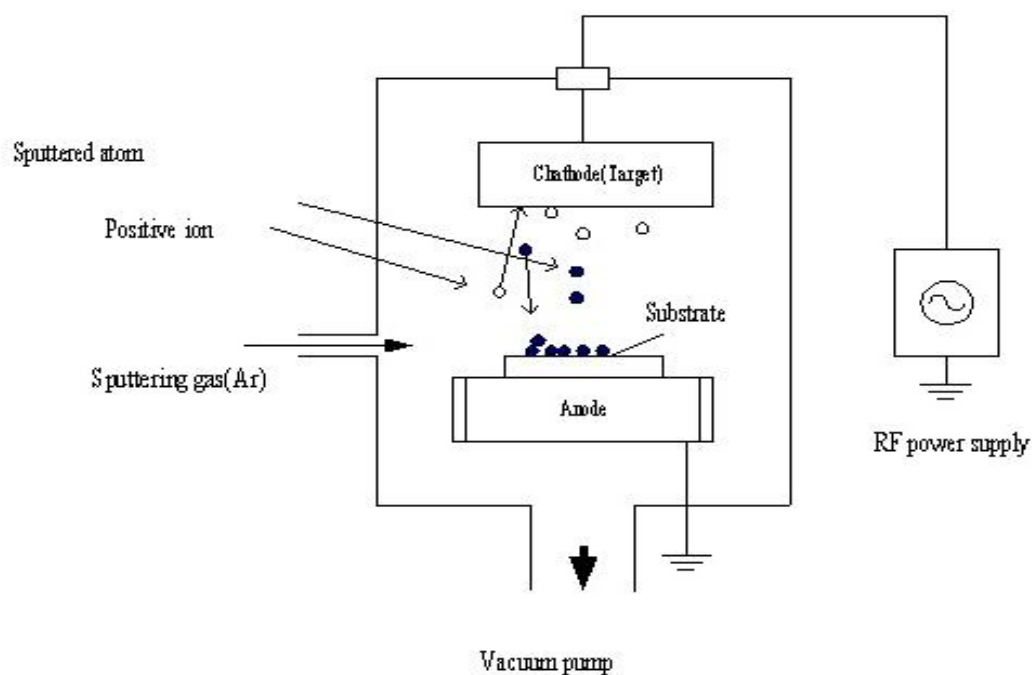
2.5 การเตรียมฐานรองแก้วและการสังเคราะห์ฟิล์มบาง TiO_2

แก้วที่ใช้เป็นฐานรอง (substrate) ในการสังเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง คือ transparent conducting oxide glass (FTO หรือ TCO glass) ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี มีความต้านทานภายในต่ำและแสง สามารถทะลุผ่านได้ เป็นการเคลือบสารที่สามารถทำหน้าที่ electrode ได้ดีให้เป็นฟิล์มบาง (thin film) บนฐานรอง sodalime glass กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางมีหลายกระบวนการ เช่น sputtering techniques, spray pyrolysis process, chemical vapor deposition (CVD) เป็นต้น ซึ่งวิธี CVD นี้เป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโน TiO_2 โดยการทำให้อะตอม

ของไททาเนียมหลุดออกโดยใช้ความร้อนหรือพลาสมา จากนั้นอะตอมของไททาเนียมจะระเหยเป็นไอแล้วทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ก่อนที่จะไปกระทบที่แผ่นฐานรอง วิธี CVD นี้มีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการทำให้อะตอมของไททาเนียมหลุด และขั้นตอนที่สองเป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโน TiO_2 โดยทั่วไปเมื่อตกกระทบที่ผิวของแผ่นฐานรองจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบาง ในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่างกระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางพอสังเขป ดังนี้

2.5.1 การสังเคราะห์ฟิล์มบางของ In-Sn-O ด้วยวิธี sputtering

การสังเคราะห์ฟิล์มบางของ In-Sn-O ระบบ คือ planar magnetron sputtering เป้าที่ใช้ คือ $\text{InO}_2 : \text{SnO}$ ด้วยสัดส่วน 90 : 10 บดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเผาที่อุณหภูมิ $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามด้วยการอบร้อน (annealing) ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนที่อุณหภูมิ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นอัดเป็นแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 0.125 นิ้ว ขั้นตอนสุดท้ายนำไปผ่านการอบร้อน ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนที่อุณหภูมิ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อทำให้เย็นลงจะได้เป้า (target) เพื่อใช้เป็นเป้าสำหรับกระบวนการ sputtering ระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ vacuum chamber, Edward 350 เริ่มต้นโดยการทำความสะอาดภายใน chamber ใส่เป้าใน sputtering gun ตามด้วยการใส่แก้วฐานรอง ที่ได้ผ่านการทำความสะอาดแล้ว start vacuum system เพื่อสร้างสุญญากาศใน chamber เมื่อความดันถึง 5.5×10^{-5} mbar ปล่องก๊าซอาร์กอนเข้าสู่ระบบเพื่อสร้าง plasma process ปรับก๊าซอาร์กอนเพื่อให้ได้ความดัน 4.2×10^{-2} mbar เปิดระบบ RF-Power ที่ 270 W ปล่องให้มีการสปีดเตอร์เพื่อให้เกิดการเคลือบที่สม่ำเสมอ กด shutter เพื่อทำการเคลือบจับเวลาที่ทำการเคลือบ เสร็จปิดระบบ RF-Power ปิดวาล์วก๊าซอาร์กอนเพื่อไม่ให้ก๊าซอาร์กอนไหลเข้าสู่ระบบ vent ให้อากาศเข้าเพื่อให้ความดันภายใน chamber เท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก นำตัวอย่างออกจาก chamber



ภาพที่ 2.3 sputtering system สำหรับการเคลือบฟิล์มบาง In-Sn-O [19]

2.5.2 การสังเคราะห์ฟิล์มบางแบบ dip coating

การเตรียมฟิล์มบางโดยใช้เทคนิคการ dip coating ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น วัสดุที่เป็นฐานรอง ลักษณะของพื้นผิวฟิล์มในการเคลือบ รูปแบบของฟิล์มที่ต้องการและ ปัจจัยหลายอย่างอีก เช่น ความหนาของฟิล์มและอุณหภูมิในขณะเคลือบ กระบวนการ dip coating นั้นเป็นวิธีการเคลือบที่จุ่มแผ่นฐานรองลงไปอย่างช้า ๆ ในของเหลว แล้วค่อย ๆ ดึงขึ้นอย่างช้า ๆ จาก ภาชนะที่บรรจุของเหลว อัตราเร็วในการเคลือบขึ้นอยู่กับที่จะกำหนดรูปแบบการเคลือบฟิล์มนั้น ๆ กระบวนการเคลือบเสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์โดยการคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบ [36]

2.6 การเตรียมอนุภาคนาโนและฟิล์มบางของ TiO_2

2.6.1 การเตรียมอนุภาคนาโนของ TiO_2 ด้วยวิธี sol-gel

กระบวนการเตรียมทั้งหมดอยู่ในไนโตรเจน glove box เริ่มต้นด้วยการใช้ สารละลาย $\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$ เติมลงใน propanal ครึ่งหลอด แล้วเติม DI water (deionized water) กวนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนนาน 10 นาที จะเห็นตะกอนสีขาวเกิดขึ้น จากนั้นเติม HNO_3 ความเข้มข้น 65 % ปริมาตร 1 ml ลงไปแล้วกวนต่ออีกนาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 80°C โดยใน

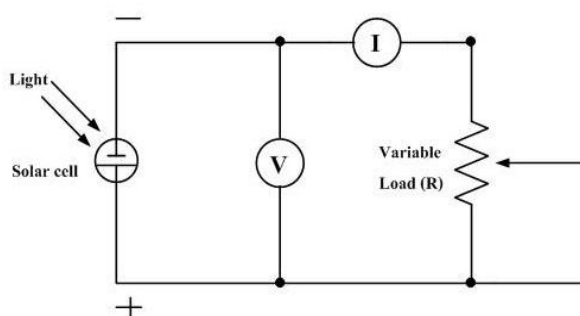
ขั้นตอนนี้น้ำและ propanal จะระเหยออกไปจะได้สารละลายคอลลอยด์ของ TiO_2 แล้วนำสารละลาย TiO_2 ไปทำให้เข้มข้นโดยการระเหยของน้ำในระบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องจนได้ของเหลวหนืดของ TiO_2 แล้วเติม Carbowax M-20000 ประมาณ 40 % โดยน้ำหนักของ TiO_2 จะได้ sol-gel ของ TiO_2 [19]

2.6.2 การสังเคราะห์ฟิล์มบางของ TiO_2 ด้วยวิธี screen printing

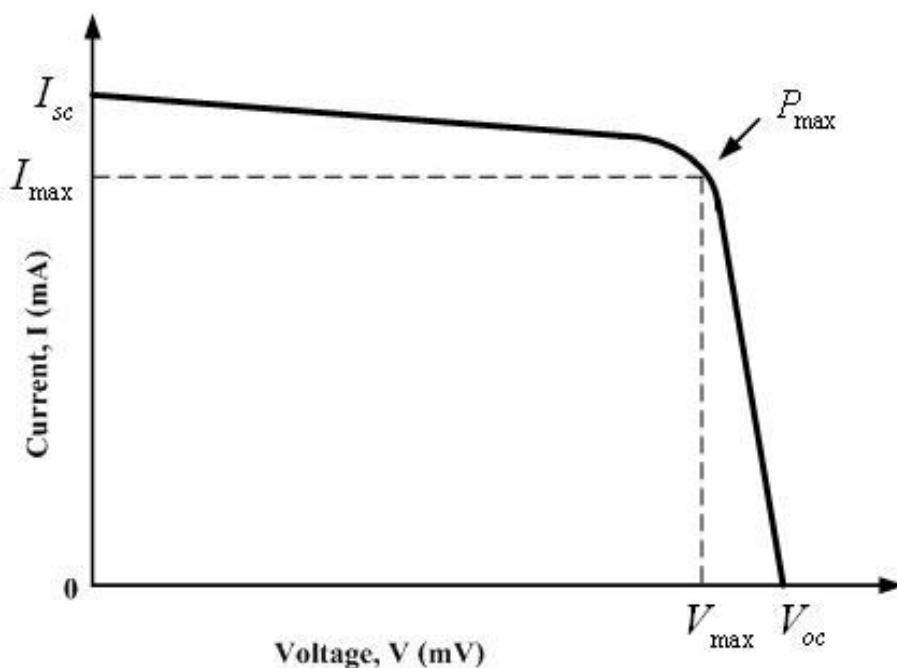
เติมสารละลายกรดไนตริก (pH 3-4 ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน) ปริมาณ 9 ml ลงใน TiO_2 ปริมาณ 6 g บดให้ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลา 30 นาที แล้วเติมสาร surfactant (such as clear dish detergent or Triton X 100) บดให้ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันต่อไปอีกใช้เวลา 30 นาที จะได้สารแขวนลอยของ TiO_2 หลังจากนั้นนำสารแขวนลอยของ TiO_2 เก็บไว้ในขวดเก็บสารที่ปิดฝาให้แน่นใช้เวลา 15 นาที จึงนำสารแขวนลอยของ TiO_2 วางบนแก้ว TCO ที่เตรียมไว้แล้วล้าง rod coater ไปมาเพื่อกระจาย TiO_2 ให้สม่ำเสมอปล่อยให้ฟิล์มแห้งใช้เวลา 45 นาที นำฟิล์มไปบำบัดความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450°C ใช้เวลา 30 นาที เมื่อฟิล์มเย็นตัวลงจะได้ฟิล์มบางของ TiO_2 [19]

2.7 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง

การทดสอบและหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปนิยมวัด I-V characteristic หรือ I-V curve เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหา ฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor; FF) และประสิทธิภาพการผันพลังงาน (energy conversion efficiency, η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve มี 2 แบบ ดังนี้ การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve แบบที่ 1 ดังภาพที่ 2.4 อุปกรณ์ประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการวัด แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ (Agilent 34401A Digital Multimeter) และตัวต้านทานปรับค่าได้ เมื่อต่อวงจรให้สมบูรณ์สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้า (current, I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage, V) ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าไปเขียนกราฟจะได้กราฟ I-V curve ดังภาพที่ 2.5

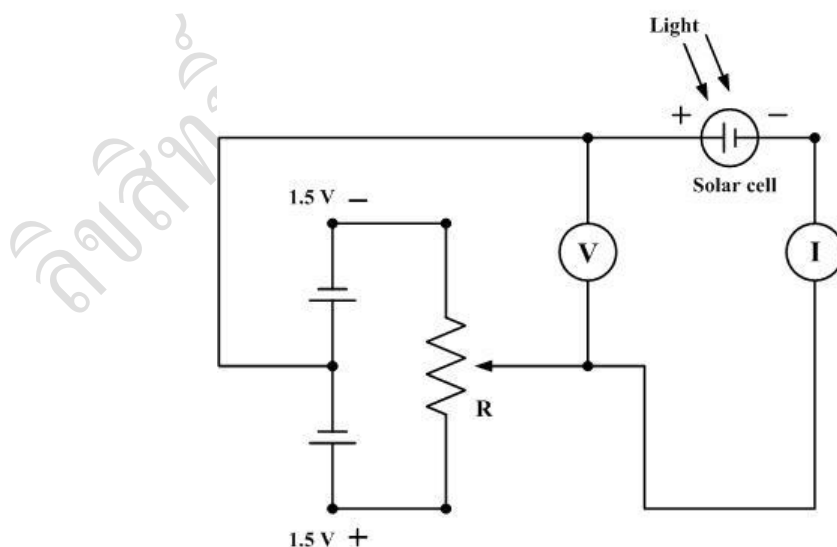


ภาพที่ 2.4 การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบที่ 1 [19]



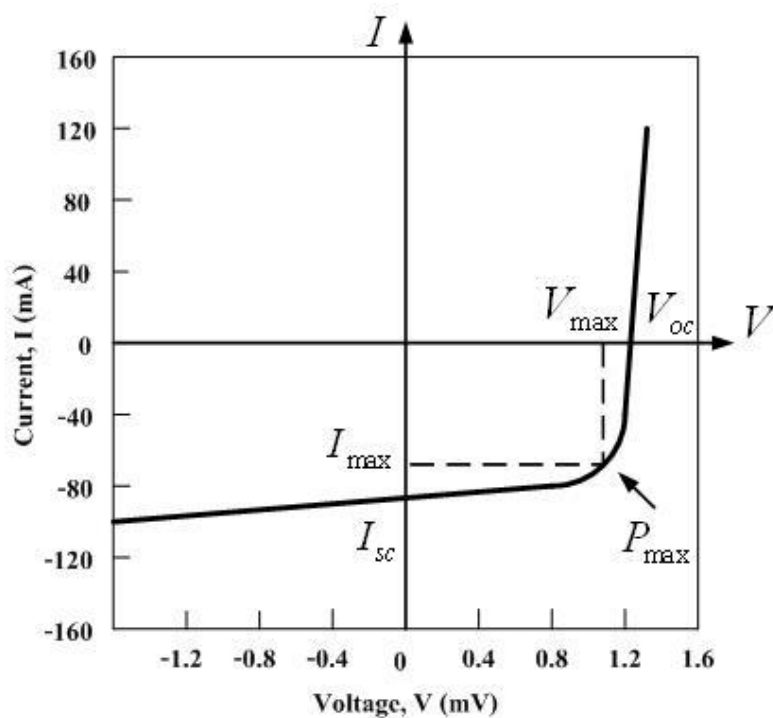
ภาพที่ 2.5 กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการต่อวงจรแบบที่ 1 [19]

การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve แบบที่ 2 ดังภาพที่ 2.6 เป็นวงจรที่ใช้ bias เซลล์เกินกว่ากำลังที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ เป็นวงจรที่มีอยู่ในเครื่องมือที่ใช้ทดสอบและหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มาตรฐาน เช่น เครื่อง IV- test sunsimulator ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เป็นต้น เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ไปเขียนกราฟจะได้กราฟ I-V curve ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบที่ 2 [19]

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงด้วยค่าต่าง ๆ [19] ดังนี้ จากภาพที่ 2.5 และภาพที่ 2.7 จุดที่กราฟตัดแกนแรงดันไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (open circuit voltage, V_{oc}) เป็นแรงดันไฟฟ้าเมื่อความต้านทานของวงจรสูงสุดและกระแสไฟฟ้ามักมีค่าเท่ากับศูนย์ จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้า คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (short circuit current, I_{sc}) เป็นกระแสไฟฟ้า เมื่อความต้านทานของวงจรต่ำสุดหรือเท่ากับศูนย์และแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์กำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power, P_{max}) ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุดในกราฟนี้ แสดงด้วยเส้นไขปลา ดังภาพที่ 2.5 และ 2.7



ภาพที่ 2.7 กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการต่อวงจรแบบที่ 2 [19]

ถ้าให้ V_{max} (maximum voltage) และ I_{max} (maximum current) คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุด ตามลำดับ ที่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{max} = (V \times I)_{max} \quad (2.6)$$

2.7.1 ฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor, FF)

เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ของ $V_{\max} \times I_{\max}$ ต่อพื้นที่ของ $V_{oc} \times I_{sc}$ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{(V \times I)_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.7)$$

2.7.2 ประสิทธิภาพการผันพลังงาน (energy conversion efficiency, η)

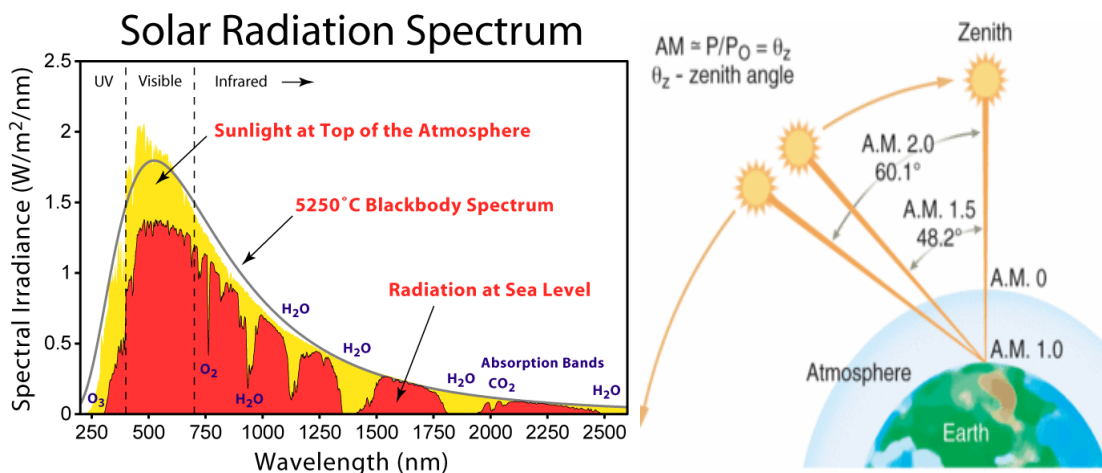
ประสิทธิภาพการผันพลังงานแสง ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{light}} \times 100\% = \frac{(V \times I)_{\max}}{P_{light}} \times 100\% = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{light}} \times 100\% \quad (2.8)$$

เมื่อ P_{light} คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วย วัตต์ (W)

2.8 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สี่อ้อมไวแสง

เราสามารถอธิบายความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบถึงผิวโลก ได้ในรูปของมวลอากาศ (Air Mass, AM) โดยค่า $AM = \frac{1}{\cos \theta_z}$ เมื่อ θ_z คือ มุม zenith เช่น เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดี มีค่า $\theta_z = 0^\circ$ ดังนั้นมี AM เท่ากับ 1.0 สำหรับความเข้มแสงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศกำหนดเป็น AM 0.0 สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์จะนิยมศึกษาภายใต้ความเข้มแสงตกกระทบ ที่ AM 1.5 ความเข้มแสงเท่ากับ 100 mW/cm^2 หรือ $1,000 \text{ W/cm}^2$ สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ที่ AM 1.0 และ 1.5 แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ณ AM 1.0 และ 1.5 [37]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิเล็กโทรไลต์โพลีเมอร์เยื่อบางที่ทำด้วยวิธี ultra-thin poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoro propylene) P(VDF-HFP) ได้ถูกเตรียมโดยกระบวนการ phase inversion เคลือบอิเล็กโทรดด้วย TiO_2 หลังจากนั้นนำไปแช่ด้วยสีย้อมไวแสง Ru N-719 เยื่อบางนี้ถูกแช่ในของเหลวอิเล็กโทรไลต์อินทรีย์ ซึ่งนักวิจัย [38] ได้รายงานผลการวิจัย พบว่าอิเล็กโทรไลต์โพลีเมอร์เยื่อบาง ultra-thin P(VDF-HFP) เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง (DSSCs) ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เยื่อบางได้ค่า $V_{oc} = 0.751V$, $J_{sc} = 16.260 \text{ mA/cm}^2$ และ $FF = 0.684$ ภายใต้แสงตกกระทบ 1000 W/m^2 ประสิทธิภาพการผันพลังงาน (η) = 8.35 %, V_{oc} , FF และ η ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์โพลีเมอร์เยื่อบางเพิ่มขึ้นราว ๆ ประมาณ 5.8 %, 2.2 % และ 5.7 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสัดส่วนที่ใช้กับอิเล็กโทรไลต์ของเหลว อย่างไรก็ตาม J_{sc} จะลดลงประมาณ 2.1 % จากรายงานผลการศึกษาวิจัยของ P. J. Li and et al. (2007) [39] โดยใช้ poly(methyl methacrylate-co-methacrylate acid)/poly(ethylene glycol) [P(MMA-co-MAA)/PEG] ที่ได้ถูกนำมาผสมกันเป็นของเหลวหนืดประกอบด้วยปฏิกิริยาร่วมระหว่างโพลีเมอร์ methyl methacrylate (MMA) และ methacrylate acid (MAA) โดยใช้ azobisisobutyronitrile (AIBN) เป็นสารตั้งต้น ละลาย poly(ethylene glycol) (PEG) ในเมทานอล ของผสมเจลอิเล็กโทรไลต์ได้ถูกเตรียมโดยเติม KI และ I_2 กับ P(MMA-co-MAA)/PEG พบว่าผลของการทำเจลอิเล็กโทรไลต์นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าของไอออนที่อุณหภูมิต่าง ๆ และอภิปรายผลของการทำเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ซึ่งพิสัยการนำไฟฟ้าได้สูง 2.70 mS/cm^2 ที่ 30°C สำหรับของผสมเจลอิเล็กโทรไลต์กึ่งของแข็ง เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง (QS-DSSCs) มี

ประสิทธิภาพการผันพลังงาน 4.85 % ภายใต้แสงตกกระทบ AM 1.5 ที่ 60 °C จากการรายงานผลการวิจัย [40] โดยใช้อิเล็กโทรไลต์ของแข็ง ได้แก่ พอลิอะนิลีน, พอลิไพโรล, คอปเปอร์ไทโอไซยาเนต, คอปเปอร์ไอโอไดด์ และสารผสม PEO โดยทำการศึกษาสี่ 2 ชนิด คือสี่สังเคราะห์จากสารเชิงซ้อนรูเทเนียม และสี่การสกัดดอกกระเจี๊ยบ ซึ่งพบว่าเซลล์ที่ใช้สารผสม PEO เป็นอิเล็กโทรไลต์จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับเซลล์ที่ประกอบด้วยอิเล็กโทรไลต์ของแข็งชนิดอื่น ๆ และเมื่อนำเซลล์ผสม PEO มาศึกษาต่อโดยทำการเปรียบเทียบชนิดของโลหะที่เคลือบบนแคโทดอิเล็กโทรด ได้แก่ Ag, Cu, C และ Pt ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ด้วย พบว่าเซลล์ Pt เคลือบบนแคโทดอิเล็กโทรดจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเทียบกับเซลล์ที่ใช้โลหะอื่น ๆ โดยเซลล์ที่ใช้สี่สังเคราะห์จากสารเชิงซ้อน รู เทเนียม และสี่สกัดดอกกระเจี๊ยบมีค่ากระแสสูงสุด 3.65 และ 0.46 mA/cm² ค่าความต่างศักย์สูงสุด 700 และ 530 mV และค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า 0.77 และ 0.19 % ตามลำดับ ที่ 100 mW/cm² (AM 1.5)

นอกจากนี้ X. Shen and et al. (2008) [41] ได้เตรียม อิเล็กโทรไลต์ โดยการเติมเกลือโลหะอัลคาไลด์ RI (R⁺ =Li⁺, Na⁺, K⁺, Rb⁺ หรือ Cs⁺) และละลาย I₂ ด้วย acetonitrile ลงใน poly (ethylene-oxide) (PEO). KI, RbI และ CsI ละลายไม่ดีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แต่มันสามารถละลายได้หมดจดอย่างสมบูรณ์ใน PEO เจลอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากอัตรากิริยาที่แข็งแรงของแคโทไอออนกับสายโซ่ PEO เจลอิเล็กโทรไลต์ทุกชนิดแสดงสภาพการนำไฟฟ้าได้สูงในพิสัย 10⁻³ S/cm และมี ส่วน ประกอบ I⁻ ที่ความเข้มข้น 0.3 M ผลของ R⁺ ใน PEO เจลอิเล็กโทรไลต์ นำมาศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง (DSSCs) อิเล็กโทรไลต์กึ่งของแข็ง ผลแสดงให้เห็นว่า V_{oc} เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มรัศมีแคโทไอออนของโลหะอัลคาไลด์ กรณีของ TiO₂ นี้อธิบายด้วย electron fermi level (E_F) โดยลดการแพร่ของ I₃⁻ และเพิ่มรัศมีของ R⁺ และนอกจากนี้อิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ [42] ได้ศึกษาถูกเตรียมโดย poly (acrylo nitrile -co-styrene)/NaI+I₂ และส่วนผสมตัวทำละลายทั้งสองเมื่อระบบประกอบด้วยโซเดียมไอโอไดน์ 0.5 M ไอโอดีน 0.05 M และ 4-tert-butylpyridine 0.5 M สภาพนำไฟฟ้ามีค่าสูงสุด (ที่ 30 °C) 2.37 mS/cm เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อม ไวแสงอิเล็กโทรไลต์กึ่งของแข็งถูกสร้างขึ้นและมีประสิทธิภาพในการผันพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 2.75 % ภายใต้แสงตกกระทบ 60 mW/cm² อิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ ที่ถูกได้เตรียมโดยการใช้ poly (acrylonitrile-co-styrene) เป็นโพลิเมอร์ [41] มี 1,2-propanediol carbonate, dimethyl carbonate และ ethylene carbonate เป็นตัวทำละลาย และ N-methyl-quinoline iodide และ iodine เป็นแหล่งที่ให้ I⁻/I₃⁻ มีสภาพนำไฟฟ้า 5.12×10⁻³ S/m (ที่ 25 °C) เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงบนพื้นฐาน อิเล็กโทรไลต์ถูกสร้างขึ้นมีเสถียรภาพ และมีประสิทธิภาพในการผัน พลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า 4.04 % ภายใต้แสงตกกระทบ 100 mW/cm²

M. Grätzel and et al. (2003) [42] ได้พัฒนา quasi solid – state electrolyte โดยใช้ polymer gel เป็น electrolyte ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง กลุ่มนี้ใช้ fluorine polymer, poly (vinylidene fluoride – co – hexafluoropropylene, (PVDF – HFP) เพื่อให้ liquid electrolytes 3 – methoxypropionitrile (MPN) กลายเป็น quasi solid – state gel electrolyte พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพมากกว่า 6 % นอกจากนี้เซลล์ยังมีเสถียรภาพภายใต้ความร้อนสูง กล่าวคือ เมื่อเซลล์ถูกทำให้ร้อนที่ 80 °C เป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง เซลล์รักษาประสิทธิภาพได้ 94 % ของประสิทธิภาพเริ่มต้น และเสถียรภาพต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง ที่ solar simulator 100 mW/cm² นอกจากนี้ gelator ซึ่งเป็นส่วนผสมของ 1 – methyl – 3 – propylimidazolium, I₂, and 1,2,4,5 – tetrakisbromomethylbenzene. [43] เพื่อให้ electrolyte มีสภาพเป็น polymerization พบว่า ได้ประสิทธิภาพ 73 % เมื่อเทียบกับ liquid electrolyte ที่มีประสิทธิภาพ 7.8 % สรุปว่าการทำให้ liquid electrolyte กลายเป็น quasi solid – state electrolyte ด้วยวิธีนี้ (วิธี gelation) ไม่ทำให้เกิดการ suppress ต่อการ diffusion ของ I⁻ และ I₃⁻ ไอออนใน electrolyte

F.S. Chang and et al. (2007) [44] รายงานผลการเตรียมเจลที่เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเตรียมจาก Ti[OCH(CH₃)₂]₄ สารละลายกรดไนตริก 0.1 M. คนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นเติมโพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG, มวลโมเลกุล 20,000) จากนั้นนำไปเคลือบโดยวิธี dip-coating หรือ spin-coating บนแผ่นแก้วตัวนำจาก F : SnO₂ ฟลูออรีน หรือ ดีบุก ออกไซด์ นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 30 นาที นำไปย้อมสีในสารละลาย เอทานอล รูเทเนียม (cis – bis (isothiocyanato)) bis (2,2-bipyridyl – 4,4 – dicarboxylato) – Ru สำหรับการเตรียมโพลิเมอร์จะใช้เอทิลีนคาร์บอนเนต (EC) โพรพิลีนคาร์บอนเนต (PC) บิวทิลโรแลกโตน (BL) และเติมไอโอดีน (I₂) ที่อุณหภูมิห้องเพื่อป้องกันสารละลายระเหย พบว่าความแตกต่างของการนำไฟฟ้าที่มีพลาสติกเป็นส่วนประกอบ คือ (EC+PC) (BL+EC) และ (BL+PC) จะได้ 4.79 % 4.96 % และ 4.41 % ตามลำดับ

ดังนั้นการพัฒนา solid – state electrolyte ในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง จึงมีความสำคัญต่อเสถียรภาพและประสิทธิภาพระยะยาวของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง อย่างไรก็ตาม อาจมีความลำบากที่จะต้องทำให้เกิด solid – state interface ที่ดีที่จะได้ high solar cell performance

จรัชญา บุญเสริม, สุธัญญา วงศ์กาศ (2556) [45] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียม ไดออกไซด์โดยใช้กระบวนการเคลือบแอโนด เพื่อหาสภาวะที่มีผลกระทบบต่อโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยเปรียบเทียบรูปแบบการจัดเรียงเซลล์แบบแคโทดขนาดนาโนกับแอโนดและแบบแคโทดโค้งงอรอบแอโนด ซึ่งใช้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทีเอทีลีนไกลคอล ที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 0.38 % โดยน้ำหนัก และน้ำ 1.79 % โดยน้ำหนัก สังเคราะห์ภายใต้ศักย์ไฟฟ้า 40, 50 และ 60 โวลต์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งงานที่ได้จะถูกนำไปเผาที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่ออนาที เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ การสังเคราะห์ ไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยการจัดเรียงเซลล์แบบแคโทดขนาดนาโนกับแอโนดจะให้ฟิล์มที่ลอกหลุดออก แต่การสังเคราะห์โดยจัดเรียงเซลล์แบบแคโทดโค้งงอรอบแอโนดที่ ศักย์ไฟฟ้า 40 โวลต์ จะให้ฟิล์มที่ยึดติดกับแผ่นไททาเนียม จากการวัดประสิทธิภาพเซลล์ย้อมสีไวแสงที่มีพื้นที่ 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร ภายใต้แสง (AM 1.5, P_{in} 100 mW/cm^2) เมื่อนำไปวัดประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็น พลังงานไฟฟ้า พบว่าชิ้นงานที่สังเคราะห์ได้และผ่านการเผามีประสิทธิภาพสูงถึง 1.1198 % ซึ่งมีความหนาแน่นของ กระแส 2.871 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ค่าแรงดันวงจรเปิด 0.794 โวลต์ และค่าฟิลแฟคเตอร์ 0.526 โดย ประสิทธิภาพที่ได้นี้มีค่าสูงเป็นเจ็ดเท่าของ P25 (ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีตามท้องตลาด)

จำนงค์ บุญลอย, สุทธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ (2554) [46] ฟิล์มอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ถูกปลูกบน กระจกนำไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการสกรีนเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทำงานในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSC) ความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อผ่านการทดสอบภายใต้แสงอาทิตย์ AM 1.5 พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจร (J_{sc}) ความหนาของฟิล์มที่ดีที่สุดคือ (15.72 μm) ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ได้คือ 3.28 % ($J_{sc}=7.31$ mA/cm^2 , $V_{oc}= 0.73$ V, FF = 0.61)

ชวิศร์ กรณ์ย์เมธากุล. (2554) [47] ไททาเนียมไดออกไซด์โพโตคะตะลิสต์ในรูป อนุภาคนาโนสามารถละลายสารมลพิษในน้ำ และอากาศโดยใช้แสงได้แต่มี ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในช่วงของแสงยูวีจึงสามารถนำมาปรับช่วงของการดูดกลืนแสงให้อยู่ในช่วงวิสิเบิล ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแสงอาทิตย์ได้โดย การปรับแต่งพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี doping ด้วยอะตอมของธาตุซัลเฟอร์จากไทโอยูเรีย โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไททาเนียมไอโซโพรพอกไซด์กับไทโอยูเรียเป็น 1 : 4 และเผาภายใต้บรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จากนั้นนำ มาพัฒนาประสิทธิภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์คะตะลิสต์โดยใช้การดูดซับด้วยไอออนของโลหะทรานซิชัน ได้แก่ Fe^{3+} , Cr^{3+} และ V^{3+} หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มา

วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Brunauer - Emmett-Teller (BET), X-ray Powder Diffraction (XRD) และ UV-Visible Spectroscopy (UV-Vis) พบว่า อะตอมของธาตุซัลเฟอร์สามารถเลื่อนแถบการดูดกลืนแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ให้เข้ามาอยู่ในช่วงวิสิเบิลได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่สูงขึ้นทำให้การดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ชลดา ธีรการุณวงศ์ (2555) [48] วัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำไปใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงและเซลล์เชื้อเพลิง ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถขึ้นรูปเกิดเป็นวัสดุนาโนที่มีโครงสร้างแบบต่างๆ เช่น อนุภาคนาโน ท่อนาโน เส้นใยนาโน แผ่นนาโน นาโนริบบอน และลวดนาโน ซึ่งขนาดอนุภาคและโครงสร้างของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ นอกจากนี้ การเจือวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยไอออนของโลหะ ออกไซด์ของโลหะ และธาตุกลุ่มอัลคาไลน์เป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทบทวนเอกสารเรื่องวิธีการสังเคราะห์ ไททาเนียมไดออกไซด์และโครงสร้างที่ได้จากวิธีการสังเคราะห์นั้น พร้อมทั้งการประยุกต์ใช้งานไททาเนียมไดออกไซด์ ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเพื่อย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์

ธีรวัฒน์ พลายนแสง ,พนวิวัฒน์ ผาจิระวัฒน์ชาติ (2555) [49] เทคนิคการเคลือบแอโนด 3 ชั้นตอน โดยมีสารเอทิลีนไกลคอล กรดแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (0.38 wt%) และน้ำ (1.79 wt%) ภาวะที่เกิดรูพรุนในระดับนาโน อย่างเป็นระเบียบคือ ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ ซึ่งพบว่าเวลาและศักย์ไฟฟ้าส่งผลต่อขนาดของรูพรุน

พิงบุญ ปานศิลา, ทองใส จันทนาการ, ปรียาวัลย์ คูหา, รุ่งอรุณโรจน์ สุจิตจูล (2555) [50] พิล์มบาง ไททาเนียมไดออกไซด์เตรียมด้วยระบบ ดี ซี รีแอคทีฟ สปี เตอริงบนกระจกสไลด์และซิลิกอนในชั้นตอนเดียว โดยไม่ให้ความร้อนกับวัสดุรองรับขณะเตรียม ภายใต้บรรยากาศของแก๊สผสมอาร์กอนกับออกซิเจน เพื่อศึกษาผลของตำแหน่งวางวัสดุรองรับที่ต่างกันต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์ม โดยควบคุมปริมาณแก๊สออกซิเจนในระบบสปัตเตอร์ให้คงที่เท่ากับ 40% ของปริมาณแก๊สทั้งหมด วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ส่วนลักษณะสัณฐานและความหนาศึกษาด้วยเทคนิค AFM สำหรับสมบัติทางแสงของฟิล์มศึกษาจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งวางวัสดุรองรับมีผลอย่างยิ่งต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ ฟิล์มที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส (101) / รูไทล์ (110) และอนาเทส (101) ระบุผลึกเดี่ยว นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดเกรนความหนาและความหนาผิวของฟิล์มลดลง เมื่อวางวัสดุรองรับที่ตำแหน่งในแนวรัศมี (d_x) เพิ่มขึ้นสำหรับสมบัติทางแสงพบว่า ฟิล์มที่เคลือบได้มีความใสสามารถส่งผ่านแสงในย่านความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ดี

วัชรินทร์ เมฆา. (2550) [51] ได้สังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกในระดับนาโนด้วยวิธีโซล-เจล พร้อมกับทำฟิล์มบางนาโนไททาเนียมไดออกไซด์โดยเคลือบลงบนฐานรองแก้วด้วยเทคนิค dip-coating พบว่านาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้เป็นเฟสอานาเทสเป็นส่วนใหญ่

สุรศักดิ์ แสนทวีสุข ข. (2553) [52] เตรียมอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ โดยเติมเกลือไดโอดัด XI (X = potassium, lithium หรือ tetrapropylammonium (TPA)) และ I_2 ลงใน γ -butyrolactone แล้วนำมาผสม 1-methyl-3-propylimidazoliumiodide และ 1, 2, 4, 5-tetrakisbromomethylbenzene จนเป็นเจล อัตราส่วนของ XI : I_2 เป็น 10 : 1 K⁺ และ TPA ละลายได้ไม่ดีในของเหลวอิเล็กโทรไลต์ แต่สามารถละลายได้ดีใน ของเหลวอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ คำนวณสภาพไฟฟ้าสูงสุดของ KI อิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 30 °C เท่ากับ 2.37 mS/cm ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์สีไวยอมแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์พบว่าประสิทธิภาพการผัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ที่เติม LiI KI และ TPA ภายใต้แสงตกกระทบ 100 mW/cm² คือ 1.90 % 2.16 % และ 2.05 % ตามลำดับ การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สียอมไวแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์มีเสถียรภาพดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์สียอมไวแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์ของเหลว

รัฐพงษ์ นาคาไชย และคณะ (2554) [53] ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ มีองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ต่างกันเป็นชั้นๆ จึงสามารถเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าได้ ซึ่งประกอบด้วยกระจกใสสองแผ่นที่นำ ไฟฟ้าได้ โดยกระจกแผ่นแรกจะนำ มาเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ และแผ่นที่สองจะเคลือบด้วยแพลททินัม ซึ่งทั้งสองแผ่นจะถูกเคลือบลงบนกระจกด้านที่นำ ไฟฟ้า จากนั้น นำด้าน ที่ถูกเคลือบมาประกบกัน โดยให้ด้านที่เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์เป็นด้านที่สัมผัสแสง ในการทดลองครั้งนี้ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ ไอโอดีน และได้ศึกษาการนำสารเคมีตระกูลไอโอดีนมาเป็นสียอมไวแสง

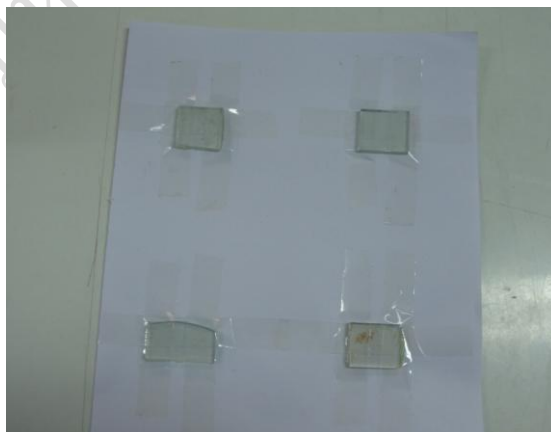
บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายขั้นตอนการศึกษาวิจัยทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย โดยเริ่มจากการสังเคราะห์ฟิล์มบางของ TiO_2 การทำด้วยเทคนิค doctor blade การเตรียมอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง การประกอบเซลล์ การทดสอบสารตัวอย่างด้วย XRD ทดสอบกรนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ทดสอบการดูดกลืนแสงของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งด้วย UV – visible spectrometer และทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วย $-V$ test sunsimulater

3.1 การสังเคราะห์ฟิล์มบางของ TiO_2

แก้ว TCO ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแก้ว TCO ที่ใช้ทางการค้า (commercial grade) สังเคราะห์ด้วย fluorine doped tin oxide ($\text{SnO}_2:\text{F}$) ลงบน sodalime glass ที่โปร่งแสง มีความต้านทาน 8 ohm/sq ที่ซื้อจากบริษัท Solaronix ประเทศสวีเดน มีขั้นตอนการทดลองดังนี้ อันดับแรกนำแก้ว TCO มาตัดเป็นแผ่นขนาด $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ จากนั้นนำแก้ว TCO ทำความสะอาดด้วยน้ำสบู่ อะซิโตน แอลกอฮอล์และน้ำกลั่นปราศจากไอออน ตามลำดับ แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.99 % จากนั้นใช้เทปใส (3M) ปิดทับขอบทั้งสี่ด้านของแผ่นแก้วตัวนำ โดยเหลือพื้นที่ตรงกลางขนาด 0.25 cm^2 สำหรับสังเคราะห์ฟิล์มบางของ TiO_2 โครงผลึกนาโน ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การสังเคราะห์ฟิล์มบาง

3.2 การทำ TiO₂ โครงผลึกนาโน

เตรียม TiO₂ โดยวิธี doctor blade technique โดยการชั่ง TiO₂ powder 8 กรัม บดให้ละเอียด เป็นเวลา 30 นาที หยดกรดไนตริก (HNO₃) 65 % ที่เจือจางให้ได้ pH 3 – 4 จำนวน 10 มิลลิลิตร และคนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที ถ้ายังไม่เหนียวข้นพอให้เติมน้ำ DI – water หรือน้ำกลั่นพอประมาณ หลังจากนั้นหยด triton X – 100 เพื่อเป็น surfactant ประมาณ 1 – 2 หยด จากนั้นนำไปเคลือบบนแผ่นแก้ว TCO ที่เตรียมไว้ นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 กระบวนการทำ TiO₂ โครงผลึกนาโน

3.3 การเตรียมอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง

สำหรับการเตรียมอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง มีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

3.3.1 สารตั้งต้น

สารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ประกอบด้วย 1,2,4,5-tetrakisbromomethyl benzene (TB), γ -butyrolactone (GBL), I_2 , KI, propylene carbonate (PC), 1-methyl-3-propylimidazodium iodide (MPI), poly(styrene - co - acrylonitrile) (P(S-A)) และ ethylene carbonate (EC)

3.3.2 การเตรียมโพลิเมอร์



ภาพที่ 3.3 การเตรียมอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง

3.3.2.1 sample 1 เริ่มต้นโดยการนำ propylene carbonate (PC) จำนวน 1.0 ml มาผสมกับ 1,2,4,5-tetrakisbromo methylbenzene (TB) จำนวน 0.1 g ethylene carbonate (EC) จำนวน 1.5 g. 1-methyl-3-propylimidazodium iodide (MPI) จำนวน 1.0 ml poly(styrene - co - acrylonitrile) (P(S-A)) จำนวน 1.5 g. และ KI 0.5 g มาผสมกันแล้วคนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 – 80 °C จนกลายเป็นเจล (jellification) สุดท้ายเติม I_2 จำนวน 0.05 g เมื่อเป็นเจลเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ใช้งานขั้นตอนต่อไป

3.3.2.2 sample 2 นำ propylene carbonate (PC) ปริมาตร 1.0 ml มาผสมกับ 1,2,4,5-tetrakisbromo methylbenzene (TB) จำนวน 0.1 g, γ -butyrolactone (GBL) จำนวน 2.0 ml 1-methyl-3-propylimidazodium iodide (MPI) จำนวน 1.0 ml poly(styrene – co – acrylonitrile) (P(S-A)) จำนวน 1.5 g. และ KI 0.5 g มาผสมกันแล้วคนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 – 80 °C จนกลายเป็นเจล (jellification) สุดท้ายเติม I₂ จำนวน 0.05 g เมื่อเป็นเจลเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ใช้งานขั้นตอนต่อไป

3.3.2.3 sample 3 นำ ethylene carbonate (EC) จำนวน 1.5 g มาผสมกับ 1,2,4,5-tetrakisbromo methylbenzene (TB) จำนวน 0.1 g γ -butyrolactone (GBL) จำนวน 2.0 ml 1-methyl-3-propylimidazodium iodide (MPI) จำนวน 1.0 ml poly(styrene – co – acrylonitrile) (P(S-A)) จำนวน 1.5 g. และ KI 0.5 g มาผสมกันแล้วคนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 – 80 °C จนกลายเป็นเจล (jellification) สุดท้ายเติม I₂ จำนวน 0.05 g เมื่อเป็นเจลเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ใช้งานขั้นตอนต่อไป

3.3.2.4 sample 4 เริ่มต้นโดยการนำ propylene carbonate (PC) ปริมาตร 1.0 ml มาผสมกับ 1,2,4,5-tetrakisbromo methylbenzene (TB) จำนวน 0.1 g ethylene carbonate (EC) จำนวน 1.5 g γ -butyrolactone (GBL) จำนวน 2.0 ml 1-methyl-3-propylimidazodium iodide (MPI) จำนวน 1.0 ml poly(styrene – co – acrylonitrile) (P(S-A)) จำนวน 1.5 g. และ KI 0.5 g มาผสมกันแล้วคนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 – 80 °C จนกลายเป็นเจล (jellification) สุดท้ายเติม I₂ จำนวน 0.05 g เมื่อเป็นเจลเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ใช้งานขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3.4 อิเล็กโทรดสถานะของแข็ง

3.4 การประกอบเซลล์

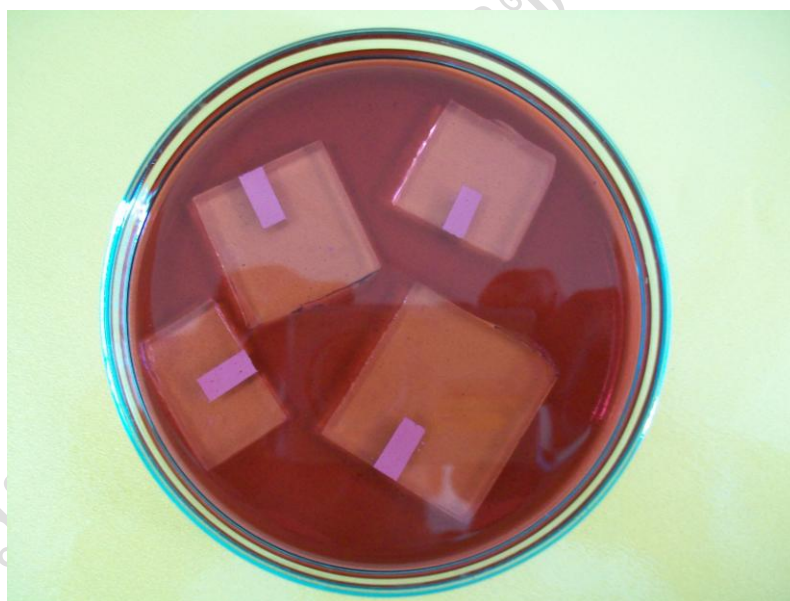
การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

3.4.1 Working electrode

working electrode ประกอบด้วยแก้ว TCO ขนาด $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ 1 แผ่น (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์) และใช้ TiO_2 โครงผลึกนาโน ทำหน้าที่เป็น sensitizer ภายในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางของ TiO_2 โครงผลึกนาโน ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.1 จากนั้นนำแก้ว TCO ไป deposit โดยวิธี doctor blade technique นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสีย้อมไวแสง bis(tetra butylammonium)-*cis*-di(thiocyanato)-*N,N*-bis(4-carboxylato-4-carboxylic acid-2,2-bipyridine) ruthenium (II) หรือ N719 dye ดังภาพที่ 3.5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อสังเกตเห็นสีย้อมไวแสงถูกดูดกลืน TiO_2 โดยจะไม่มีสีขาวของ TiO_2 ให้เห็น แสดงว่าการย้อมด้วยสีย้อมไวแสงเสร็จแล้ว หลังจากนั้นนำเอา working electrode ออกมาทำความสะอาดที่ผิวหน้าของ electrode ด้วย acetonitrile



(ก)

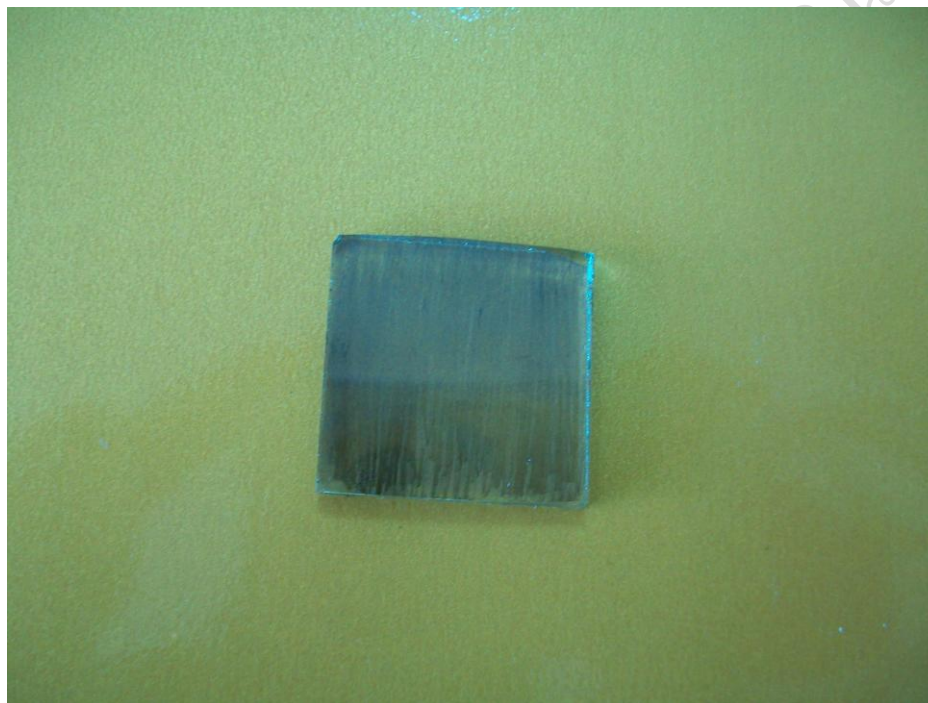


(ข)

ภาพที่ 3.5 फिल्मบางของ TiO_2 โครงผลึกนาโน บน working electrode (ก) โลหะออกไซด์เคลือบบนแก้ว TCO และนำไปเผา (ข) โลหะออกไซด์เคลือบบนแก้ว TCO นำไปแช่ในสีย้อมไวแสง

3.4.2 Counter electrode

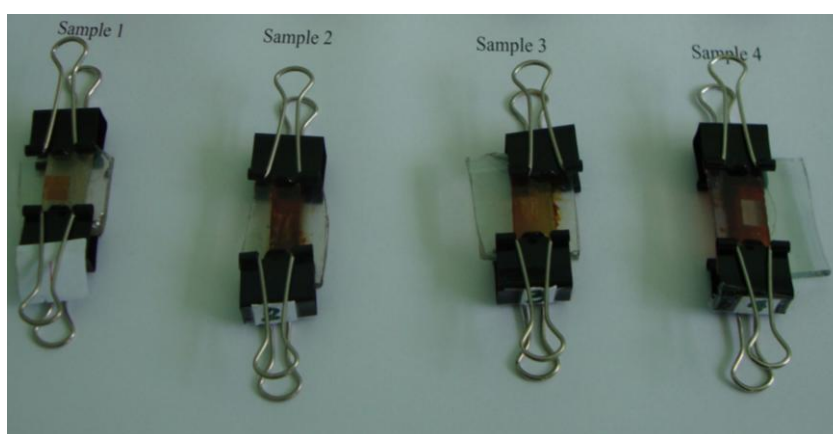
counter electrode ประกอบด้วยแก้ว TCO ขนาด $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ 1 แผ่น (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์) นำแผ่นแก้ว TCO อีก 1 แผ่น มาเคลือบด้วย Pt และคาร์บอน (C) จากดินสอสีดำ HB (ตราม้า) ให้ทั่วแผ่น ดังภาพที่ 3.6 โดยวิธีหยด hexachloro platonic acid ที่ เป็น source สำหรับ Pt (10 mM ใน 2 – propanol) ลงบนด้าน conductive ของ TCO จากนั้นนำ counter electrode ไป anneal ที่อุณหภูมิ $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที ในอากาศ Pt จะทำหน้าที่ เป็น redox catalyst



ภาพที่ 3.6 counter electrode ของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง

การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง สามารถทำได้โดยการเติมสารอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง (solid state electrolytes) ในการทดลองนี้ใช้อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง 6 ชนิด ได้แก่ propylene carbonate (PC) 1,2,4,5-tetrakisbromo methylbenzene (TB) ethylene carbonate (EC) γ -butyrolactone (GBL) 1-methyl-3-propylimidazodinium iodide (MPI),

poly(styrene – co – acrylonitrile) (P(S-A)) และเกลืออีก 1 ชนิดคือ KI, และ I_2 ในอัตราส่วนระหว่างเกลือต่อไอโอดีน 10 : 1 ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป เติมลง working electrode จำนวน 1-2 หยด จากนั้นนำไปประกบรวมกับ counter electrode สุดท้ายจะได้เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง จำนวน 1 เซลล์ ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นแต่ละ sample

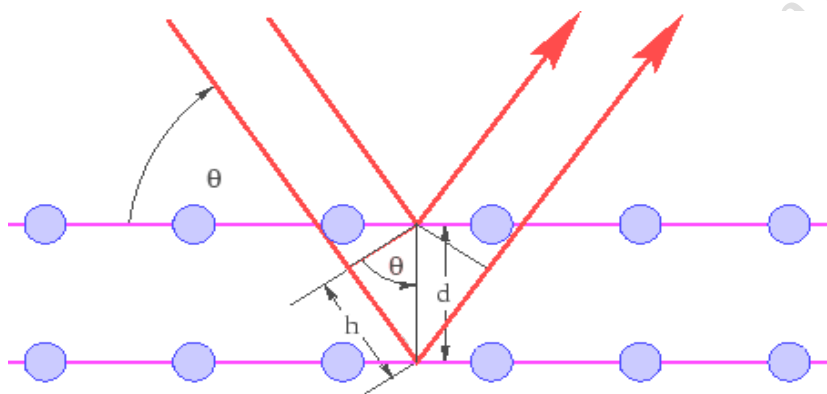
3.5 การทดสอบสารตัวอย่างด้วย XRD

วิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง โดยรังสีเอ็กซ์จะเลี้ยวเบนไปตามช่องว่างระหว่างอะตอมภายในผลึก และจะถูกบันทึกค่า แล้วทำการวิเคราะห์ธรรมชาติของโครงสร้างผลึกนั้น ๆ โดยระยะห่างระหว่างอะตอมนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของแบรกก์ (Bragg's law)

$$2d \sin \theta = n\lambda, n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.1)$$

- เมื่อ λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
 d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก
 θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบผลึก



ภาพที่ 3.8 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากระนาบของอะตอม [19]



ภาพที่ 3.9 การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ sample ทั้ง 4 ชนิด

3.6 ทดสอบการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง

สำหรับการทดสอบ การนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ สถานะของแข็งของอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 4 ชนิดนี้ ในการทดลอง จะทำการวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง Cyberscan PC 300 เพื่อศึกษาค่าสภาพนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ สถานะของแข็งของอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 4 ชนิด ที่อุณหภูมิสูงขึ้น หรือไม่ ซึ่งถ้าเป็นจริง เหตุผลดังกล่าวใช้อธิบายได้ว่า ถ้าอุณหภูมิ สูงขึ้นค่าสภาพ นำไฟฟ้า ก็จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากรูปแบบของโพลิเมอร์อยู่ในสถานะ amorphous และมี free-volume cages ปริมาณมาก free - volume cages จะมีปริมาณมากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ [54] เหตุผลนี้ทำให้ไอออนมีการเคลื่อนที่มากขึ้น ทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าใน solid state electrolytes มีค่าเพิ่มขึ้น และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของสภาพนำไฟฟ้าและอุณหภูมิตามสมการของ Arrhenius equation ดังนี้

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left[\frac{-E_a}{RT}\right] \quad (3.2)$$

เมื่อ σ คือ สภาพนำไฟฟ้า (S/cm)

σ_0 คือ ค่าคงตัว (1212)

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (13.58 kJ/mol⁻¹)

R คือ ค่าคงที่แก๊ส (8.314 J/mol K)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

หรืออาจใช้สมการ Vogel-Tamman-Fulcher, VTF, Equation [55-56]

$$\sigma(T) = \sigma_0 T^{-1/2} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.3)$$

$$\ln(\sigma T^{1/2}) = -\frac{E_a}{RT} + \ln(\sigma_0) \quad (3.4)$$

3.7 ทดสอบการดูดกลืนแสงของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งด้วย UV – visible spectrometer

สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง ทดสอบโดยใช้เครื่อง UV – visible spectrometer รุ่น Perkin ผลที่ได้คือ เปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านของแสงเทียบกับความยาวคลื่นในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ และค่าการดูดกลืนของแสงเทียบกับความยาวคลื่น และสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง (α) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\alpha(h\nu) \approx A(h\nu) = \log\left(\frac{1}{T}\right) \quad (3.5)$$

แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น เราได้ข้อมูลที่สามารถนำมาเขียนกราฟได้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้สมการในการคำนวณอีก

3.8 ทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงาน

การทดสอบและหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปนิยมวัด V characteristic หรือ I-V curve ในการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบและหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการต่อวงจรอย่างง่ายสำหรับการทดสอบขึ้นเอง เพื่อวัดค่า open circuit voltage (V_{oc}), short circuit current (I_{sc}) หรือสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ประดิษฐ์ได้ เราสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [57]

$$FF = \frac{(V \times I)_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.6)$$

$$\eta(\%) = \frac{(V \times I)_{\max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.7)$$

หรืออาจใช้สมการ

$$= \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.8)$$

เมื่อ FF คือ ฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor)

V_{oc} คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (open-circuit voltage) (V)

η คือ ประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์
(energy conversion efficiency)

I_{sc} คือ กระแสในขณะลัดวงจร (A)

P_{in} คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบ (incident light power) (mW/cm^2)

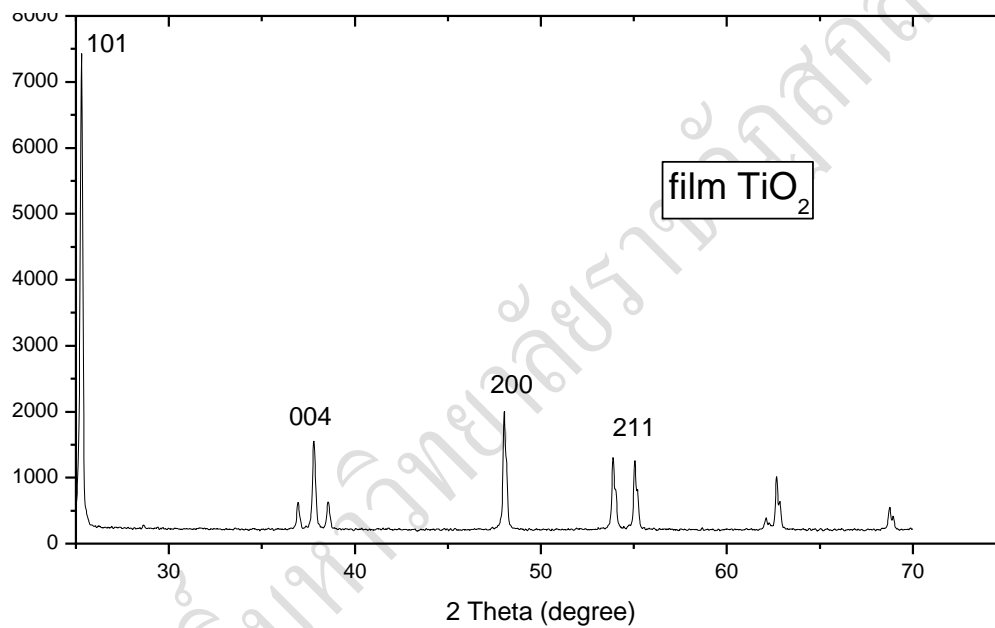
V_{\max} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V)

I_{\max} คือ กระแสสูงสุด (A)

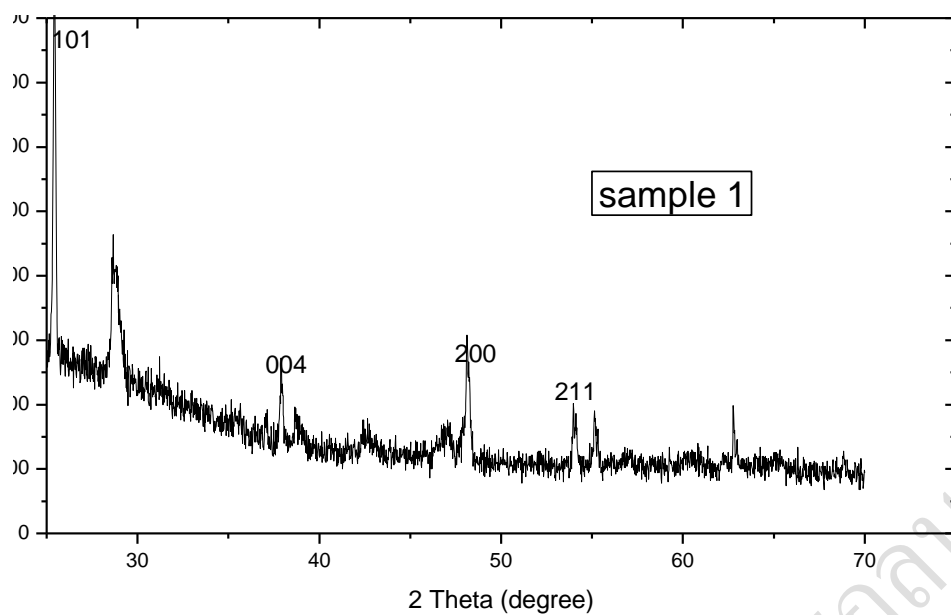
บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วย XRD TEM และ SEM ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโตรโไลท์สถานะของแข็งด้วยเครื่อง UV - visible ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า และผลการทดสอบเสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโตรโไลท์สถานะของแข็ง

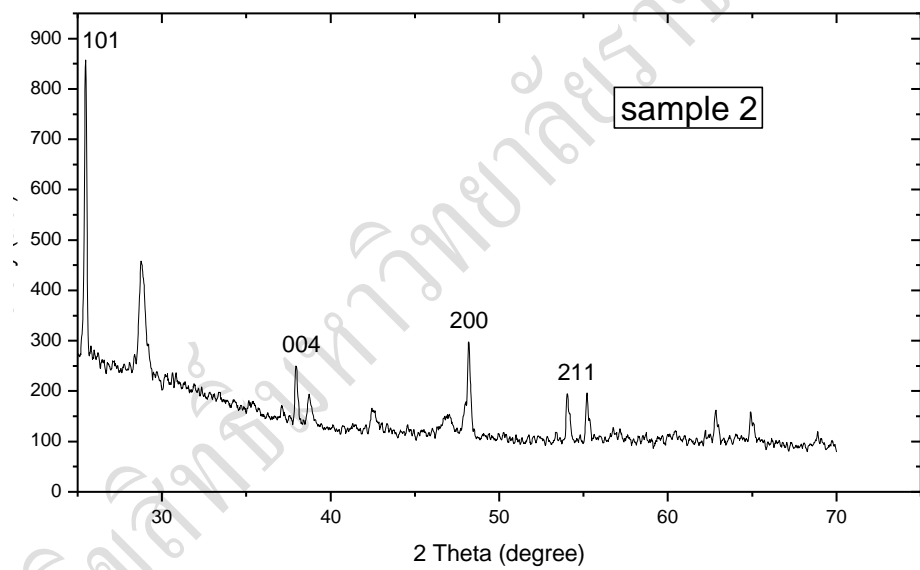
4.1 ผลจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วย XRD



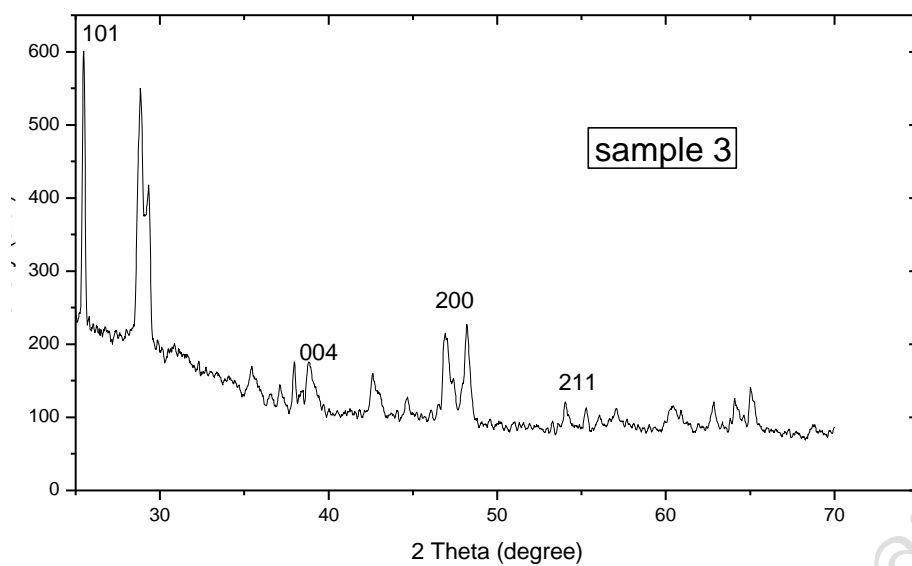
ภาพที่ 4.1 XRD สเปกตรัมของฟิล์ม TiO₂



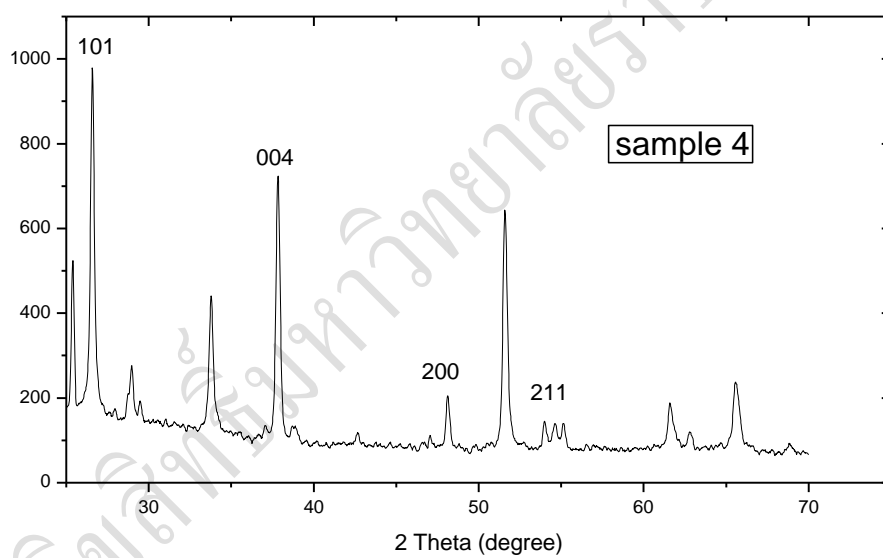
ภาพที่ 4.2 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 1 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.3 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 2 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที



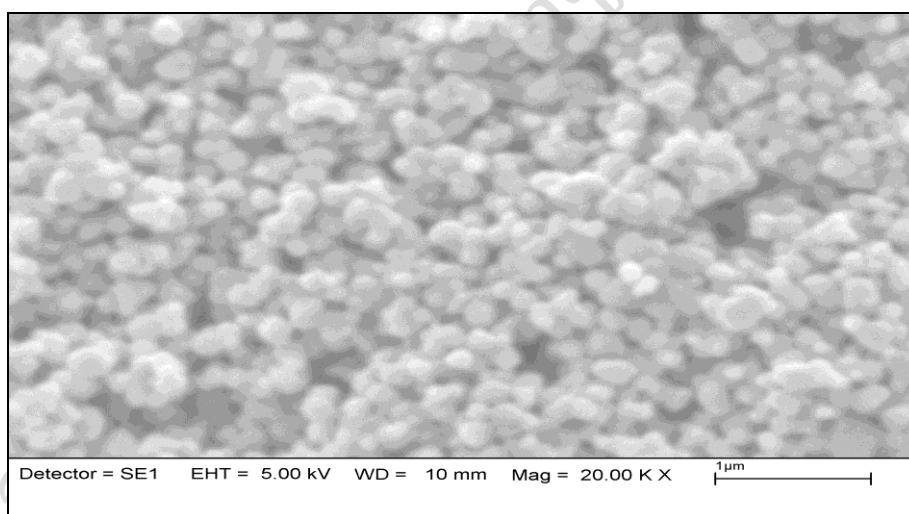
ภาพที่ 4.4 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 3 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที



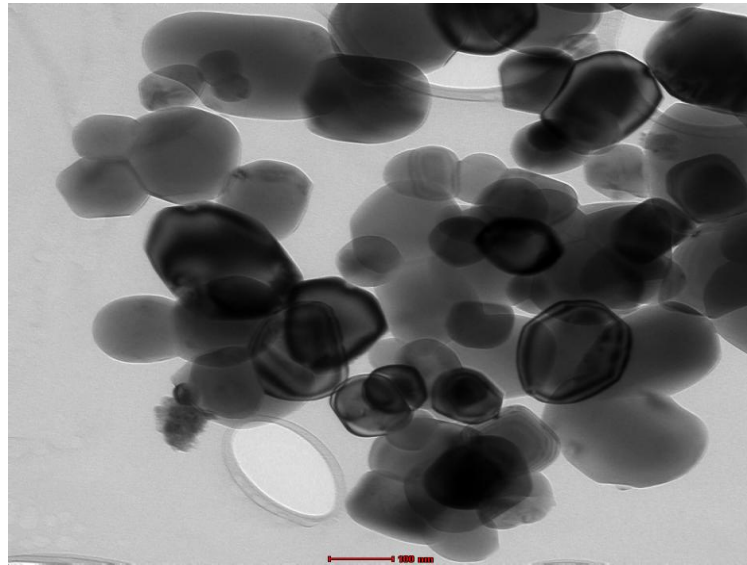
ภาพที่ 4.5 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 4 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที

จากภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.5 เมื่อนำไปวิเคราะห์สเปกตรัม ด้วยเทคนิค XRD แสดงให้เห็นว่า TiO_2 ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นแล้วนำไป deposit บนแก้วตัวนำโปร่งแสง TCO โดยวิธี doctor blade technique สเปกตรัมของสารตัวอย่าง sample 1 sample 2 sample 3 และ sample 4 จะมีเฟสไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ที่ 2 Theta 19° 28.6° 36.3° 48.5° และ 55.5° เนื่องจากผง TiO_2 บริสุทธิ์ 99.9 % มีเฟสเป็นอะนาเทส (anatase) และบางครั้งใน sample 4 อาจจะมีเฟสรูไทล์ (rutile) ผสมอยู่บ้างเล็กน้อย ดังนั้นจะเห็นได้ว่า sample ทั้ง 4 แบบ มีลักษณะเฟสเป็นอะนาเทส จึงเหมาะสำหรับนำมาทำฟิล์มบางระดับนาโน TiO_2 ในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง

โดยทั่วไปการสังเคราะห์ฟิล์มของ TiO_2 โครงสร้างนาโน ด้วยวิธี doctor blade technique และบำบัดความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที โดย ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติของฟิล์มของ TiO_2 โครงสร้างนาโน ด้วยเครื่อง scanning electron microscopy (SEM) และเครื่อง Transmission electron microscopy (TEM) สามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังภาพที่ 4.6



(ก)

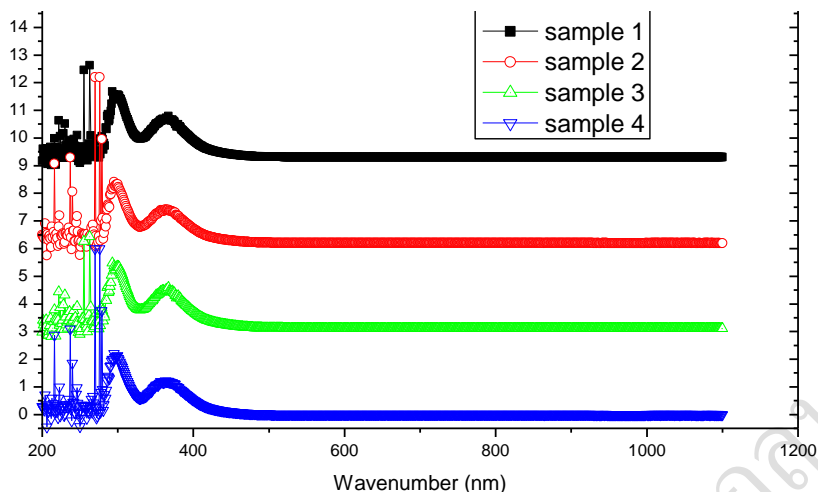


(ข)

ภาพที่ 4.6 (ก) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า และ (ข) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง TEM

จากภาพที่ 4.6 (ก) และ (ข) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า และเครื่อง TEM ซึ่งให้เห็นว่าอนุภาคของ TiO_2 ที่ถูกสังเคราะห์ บนฟิล์มมีเฟสเป็นอะนาเทส อยู่เป็นกลุ่มเรียงชิดติดกันเป็นกลุ่มก้อนในปริมาณที่มากพอ มีการกระจายความเป็นรูพรุนสูง สม่ำเสมอ จึงเหมาะสมที่จะทำให้การแพร่ผ่านของไอออนอิเล็กโตรไลต์ไหลผ่านได้ดี มีขนาดของอนุภาคเชื่อมชิดติดกันอย่างต่อเนื่องและแต่ละอนุภาคมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร (nm) คือ 50 - 100 nm. และและหนาของชั้นฟิล์มที่วัดได้ จะอยู่ระหว่าง 10.87 μm

4.2 ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งด้วยเครื่อง UV – visible

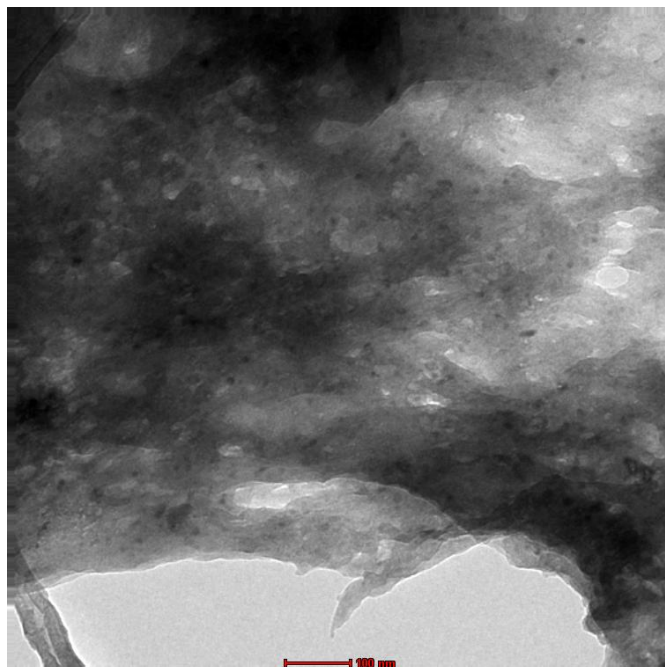


ภาพที่ 4.7 UV – visible KI ในอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง

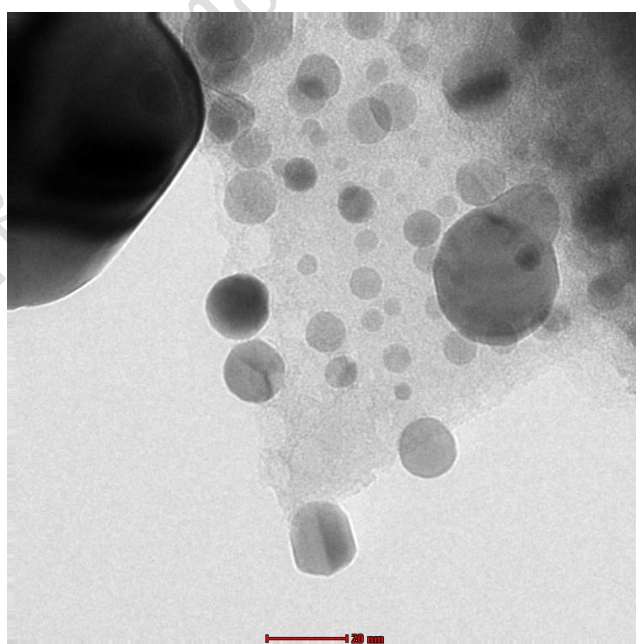
อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) และ เกลือไอโอดีน(I_2) ดังแสดงในภาพที่ 4.7 โดยการส่องผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 nm ถึง 1,000 nm ผลการศึกษาพบว่า อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ดูดกลืนแสงในช่วง 200 - 400 nm ซึ่งถือว่าเป็นต่ำกว่าความยาวคลื่นแสงในช่วงตามองเห็น ทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน – ออกซิเดชันได้ง่าย ดังนั้นมันจึงขจัดเซออิเล็กตรอนให้แก่เม็ดสีย้อมไวแสง ที่อยู่ในรูปตัวออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่เตรียมขึ้นจากการวิจัยจะมีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ก่อให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ที่ไม่ต้องการ เกิดขึ้นภายในเซลล์และมีประสิทธิภาพในการให้อิเล็กตรอนกับเม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปของตัวออกซิไดซ์ที่สถานะพื้นได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจากการวิเคราะห์ของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีน ที่วัดได้มีข้อมูลที่สามารถนำมาเขียนกราฟได้ จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้สมการมาคำนวณอีก โดยเราสามารถวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นได้

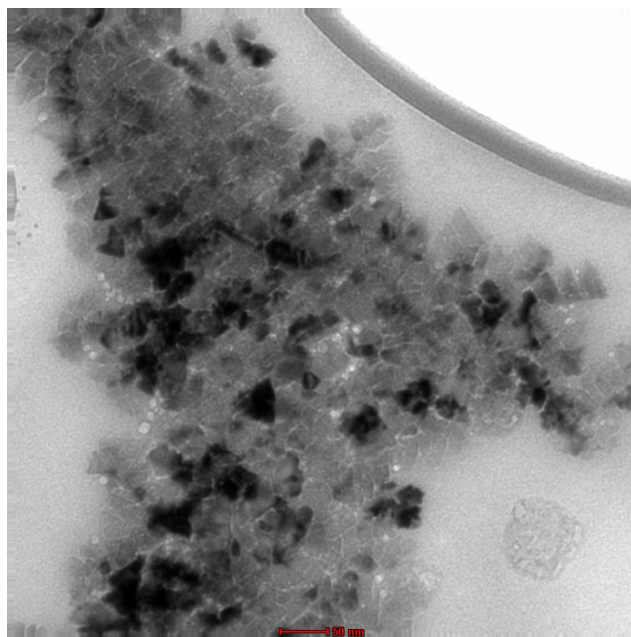
4.3 ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งด้วยเครื่อง TEM



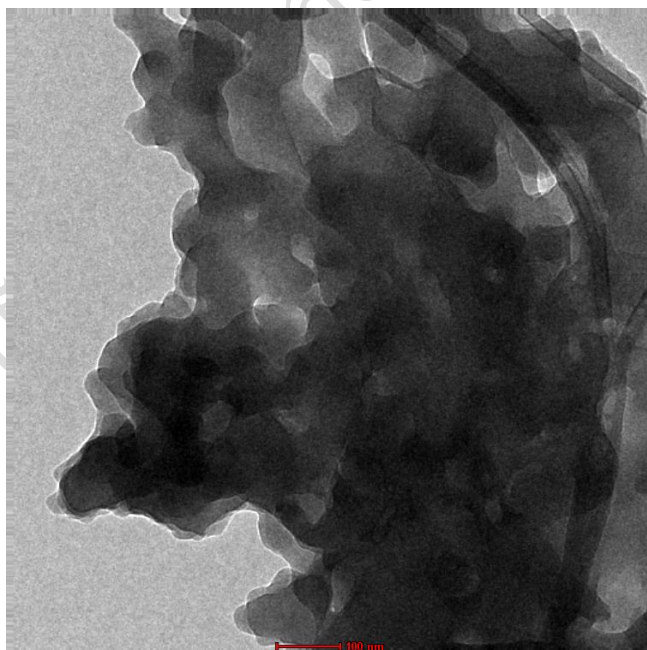
ภาพที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งของ sample 1 ด้วยเครื่อง TEM



ภาพที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งของ sample 2 ด้วยเครื่อง TEM



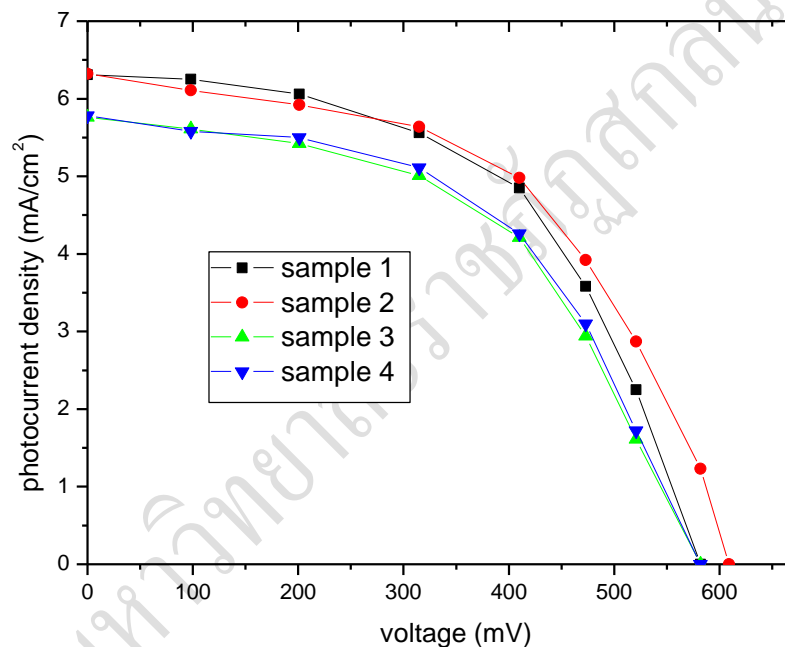
ภาพที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็งของ sample 3 ด้วยเครื่อง TEM



ภาพที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็งของ sample 4 ด้วยเครื่อง TEM

จากภาพที่ 4.8 ถึง 4.11 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง ตัวอย่างอิเล็กทรอนิกส์ที่ทั้ง 4 ชนิด ด้วยเครื่อง TEM ซึ่งให้เห็นว่าอนุภาคของ อนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง ที่ถูกสังเคราะห์ ขึ้นมีขนาดของอนุภาคอยู่ในระดับ 20 – 100 นาโนเมตร (nm) และจะเห็นได้ว่าเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีน ที่ถูกเติมลงไปอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็งทั้ง 4 ชนิด สามารถละลายได้ดีในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงาน



ภาพที่ 4.12 I - V curves ของ sample ทั้ง 4 ชนิด

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการหา I - V curves ของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น sample ทั้ง 4 ชนิด เป็นดังนี้

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และจากการทำอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 1 พบว่า $V_{oc} = 0.582$ V, $J_{sc} = 6.31$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.85$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{\max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.85}{0.582 \times 6.31} = 0.542 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.582 \times 6.31 \times 0.542}{80} \times 100\% \\ &= 2.49\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไปในอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.542 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.49 %

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และ การทำอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 2 พบว่า $V_{oc} = 0.609$ V, $J_{sc} = 6.32$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.98$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และ ประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{\max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.98}{0.609 \times 6.32} = 0.531 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.609 \times 6.32 \times 0.531}{80} \times 100\% \\ &= 2.56\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไปในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.531 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.56 %

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และ การทำอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 3 พบว่า $V_{oc} = 0.581$ V, $J_{sc} = 5.76$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.21$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และ ประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{\max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.21}{0.581 \times 5.76} = 0.516 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.581 \times 5.76 \times 0.516}{80} \times 100\% \\ &= 2.16\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไปอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.516 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.16 %

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และ การทำอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 4 พบว่า $V_{oc} = 0.582$ V, $J_{sc} = 5.76$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.26$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และ ประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{\max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.26}{0.582 \times 5.76} = 0.521 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.582 \times 5.76 \times 0.521}{80} \times 100\% \\ &= 2.18\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไป ในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.521 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.18 %

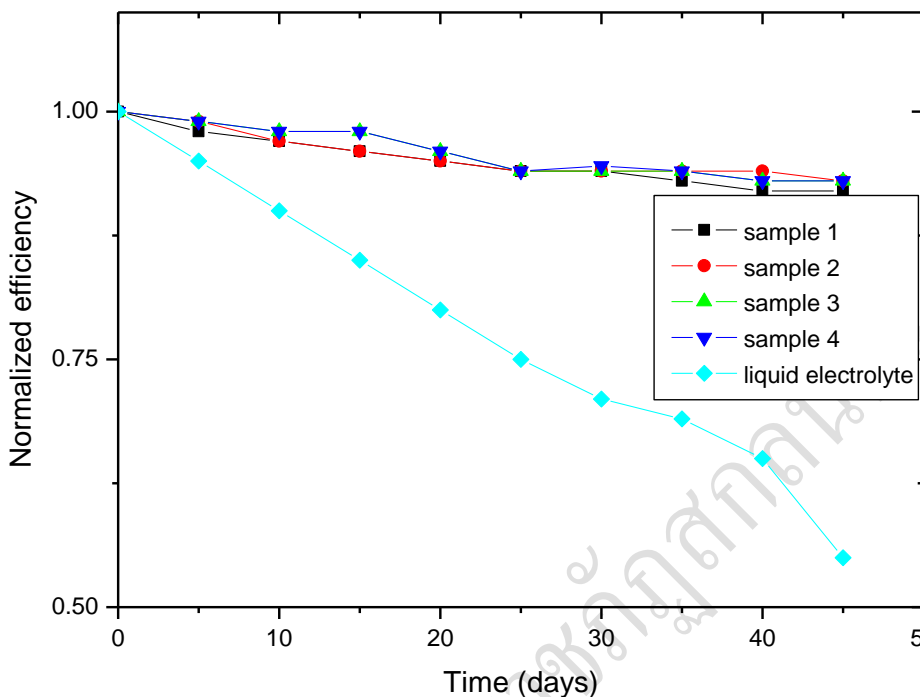
และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือ ไอโอดีนที่ได้ ประดิษฐ์ขึ้น สามารถสรุปแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีน

Electrolytes	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
sample 1	6.31	0.582	0.542	2.49
sample 2	6.32	0.609	0.531	2.56
sample 3	5.76	0.581	0.516	2.16
sample 4	5.76	0.582	0.521	2.18

ผลจากการทดสอบอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือ ไอโอดีน จะมีประสิทธิภาพการผันพลังงานมากที่สุด คือ sample 2 มีประสิทธิภาพ 2.56 รองลงมา sample 1 มีประสิทธิภาพ 2.49 sample 4 มีประสิทธิภาพ 2.18 และ sample 3 มีประสิทธิภาพ 2.16 ตามลำดับ

4.5 ผลการทดสอบเสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง



ภาพที่ 4.13 เสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง

จากการทดสอบความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่าเมื่อทำการทดสอบ ในระยะเริ่มต้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างอิเล็กโตรไลต์ของเหลวและอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะมีค่าเท่ากันไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป 5 วัน เสถียรภาพของอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะลดลงประมาณ 3 % แต่อิเล็กโตรไลต์ของเหลวมีเสถียรภาพลดลงถึง 5 % และเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน เสถียรภาพของอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะลดลงประมาณ 5 % แต่อิเล็กโตรไลต์ของเหลวมีเสถียรภาพลดลงถึง 50 % ดังนั้นจะสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปนับ หลาย ๆ วัน อิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะมีความคงทน และมีเสถียรภาพมากที่สุด เพราะเซลล์แสงอาทิตย์อิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะไม่มีการระเหยได้ง่าย และไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำและอากาศได้ง่าย

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งโดยไม่ต้องใช้ clean room เราได้ประสบผลสำเร็จในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงผลึกนาโน ด้วยวิธี doctor blade technique ที่มีพื้นที่รับแสง 0.25 cm^2 ภายใต้แสงตกกระทบ 80 mW/cm^2 โดยการเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีนลงในอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งทั้ง 4 ชนิด และได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่อง IV- test sunsimulator ทำการวัดอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง เพื่อหาการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV – visible spectrometer (Perkin) พบว่าอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน สามารถละลายได้ดีในอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง มีประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามีค่า FF , V_{oc} , J_{sc} , และ η (%) ของอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 1 ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีนลงในอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง มีค่าเป็น 0.542, 0.582 V, 6.31 mA/cm^2 และ 2.49 % ผลของอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 2 ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ลงในอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง มีค่า FF , V_{oc} , J_{sc} , และ η (%) เป็น 0.531, 0.609 V, 6.32 mA/cm^2 และ 2.56 % ผลของอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 3 ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ลงในอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง มีค่า FF , V_{oc} , J_{sc} , และ η (%) เป็น 0.516, 0.581 V, 5.76 mA/cm^2 และ 2.16 % และพบว่าผลของอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง sample 4 ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ลงในอเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง มีค่า FF , V_{oc} , J_{sc} , และ η (%) เป็น 0.521, 0.582 V, 5.76 mA/cm^2 และ 2.18 % ตามลำดับภายใต้แสงตกกระทบ 80 mW/cm^2

จากผลการศึกษาการพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง อิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง โดยไม่ต้องใช้ clean room พอสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของ sample อิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง ทั้ง 4 ชนิด พบว่า sample 2 จะมีประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 2.56 % รองลงมา ได้แก่ sample 1 2.49 % sample 4 2.18 % และ sample 3 2.16 % ตามลำดับ

และนอกจากนี้เรายังประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์และศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ได้จากการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่มีโครงสร้างผลึก 100 นาโนเมตร จากวิธี doctor blade technique เมื่อทำการส่องกราดด้วยเครื่อง SEM (scanning electron microscopy) และเมื่อนำผลที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติโครงสร้างทางผลึกด้วยเครื่อง X - ray diffraction ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ไททาเนียมไดออกไซด์ TiO_2 ที่ได้มีทั้งผลึกโครงสร้างนาโนคริสตัลเฟส anatase อย่างเดียว และมีเฟส anatase ผสมกับเฟส rutile เพียงเล็กน้อย และยังมีโครงสร้างแบบ tetragonal โดยขนาดโครงสร้างของผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ TiO_2 นั้นหาได้จากการคำนวณ โดยใช้ full width at half maximum (FWHM)

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถที่จะพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง อิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง โดยไม่ต้องใช้ clean room ในราคาต้นทุนในการผลิตต่ำและเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน แต่ประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงยังต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม การเพิ่มประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง อาจทำได้หลายวิธี เช่น เพิ่มคุณภาพของแก้ว TCO (เพิ่มสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงและลดความต้านทาน) เพิ่มประสิทธิภาพของสีย้อมไวแสง (การดูดกลืนแสง) เพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ด้วยอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง ปัญหาและอุปสรรคที่ได้กล่าวมา จึงเป็นแนวทางการวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงผลึกนาโน ด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง มีอายุการใช้งานยาวนานและยั่งยืนมีประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์คงตัว ควรจะมีการพัฒนาแนวทางการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งอาจจะสรุปได้ 3 แนวทางดังนี้

5.2.1 พัฒนาโมเลกุลสีย้อมไวแสง ที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสง ตลอดช่วงความยาวคลื่นแสงตาเห็นจนถึงช่วงใกล้อินฟราเรด (near IR)

5.2.2 พัฒนาระบบอิเล็กโทรไลต์ด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและเพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี

5.2.3 พัฒนาโครงสร้างจุลภาคของสารกึ่งตัวนำประเภทโลหะออกไซด์เพื่อให้มีระยะทางการแพร่ของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น สามารถทำได้โดย เปลี่ยนลักษณะรูปร่างของโลหะออกไซด์ที่ใช้ จากที่เป็นอนุภาคนาโน (nanoparticle) ให้อยู่ในรูปของลวดนาโน (nanowire) แทน

5.2.4 ควรเปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์โลหะอัลคาไลน์เป็นชนิดอื่น ๆ เช่น LiI , CsI หรืออื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับ KI แต่ควรระวังเรื่องโลหะที่เป็นกัมมันตรังสี

เอกสารอ้างอิง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Li, B. and et al. “Review of recent progress in solid – state dye – sensitized solar cells”, Solar Energy Materials & Solar Cells. 90: 549–573, 2006.
- [2] Fang – Shuo Chang, Ying Chan Hsu and Kuo – Chuan Ho. “Dye – Sensitized TiO₂ Photo electrochemical Cells Incorporating PMMA – Based Gel Polymer Electrolytes”, Solar Energy Materials & Solar Cells. 1–4, 2006.
- [3] Li, B. Wang, L. Kang, B. Wang, P. and Qiu,Y. “Review of recent progress in solid – state dye – sensitized solar cells”, Solar Energy Materials & Solar Cells. 90: 549–573, 2006.
- [4] Mc Connell, R.D. “Assessment of the dye – sensitized solar cells”, Renewable & Sustainable Energy Reviews. 6: 273–295, 2002.
- [5] O'Regan, B. and Grätzel, M. “A Low-cost, hight-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films”, Nature. 353: 737, 1991.
- [6] Grätzel, M. “Journal Physics”, Nature. 414: 338, 2001.
- [7] Grätzel, M. J. “Photochem Photobiol”, C. Chem. 164: 3–14, 2004.
- [8] Kim, Y.J. and et al. “Solid State Ionics”, Advanced Materials. 16: 1753, 2004.
- [9] Nogueira, A.F and et al. “Journal Chem”, Rev. 248: 1455, 2004.
- [10] Lan, Z. and et al. “Journal Solar Energy”, Material & Solar Cells. 80: 1483, 2006.
- [11] Lan, Z. and et al. “Journal Solar Energy”, Material & Solar Cells. 81: 117, 2007.
- [12] Li, F.J. and et al. “Journal Power Sources”, Material & Solar Cells. 165: 911, 2007.
- [13] Xia, B. and et al. “Solar Energy”, Material & Solar Cells. 90: 944, 2006.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] Ito, S and et al. “Solid State Ionics”, Adv. Mater. 18: 1202, 2006.
- [15] Horiuchi, T. and et al. “Journal Am. Chem”, Soc. 126: 12218, 2004.
- [16] Nazeeruddin, M.K. and et al. “Combined experimental and DFT-TDDFT computational study of photoelectron chemical cell ruthenium sensitizers”, Journal Am.Chem. Soc. 127: 16835– 6847, 2005.
- [17] O’regan, B. and Grätzel. M. “A low – cost, high – efficiency solar cell based on dye – sensitized colloidal TiO₂ films”, Nature. 353: 737–740, 1991.
- [18] Wang,P. and et al. “A stable quasi solid – stat dye sensitized solar cell with an amphiphilic rutheniumsensitizer and polymer gel electrolyte”, Nature Materials. 2: 402–407, 2003.
The university of Queensland, 2004.
- [19] อธิวิวัฒน์ ไทยแท้. ผลของสีย้อมธรรมชาติต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.
- [20] Brammer, T. Nanostructuredtitania dye sensitized solar cells : Study of the Effects of variations in the TiO₂ film and dyeing times. Master’s Thesis : The university of Queensland, 2004.
- [21] วินิช พรหมอารักษ์. “เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง”, วารสารวิชาการ ม.อบ. 9: 2, 2550.
- [22] MTEC. “Dye sensitized solar cells”, เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง.
<http://www.postech.ac.kr/chem/mras/eunju.htm>. April 23, 2010.
- [23] วินิช พรหมอารักษ์. “เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง”, วารสารวิชาการ ม.อบ. 9: 2, 2550.
- [24] Kay, A. and Gratzel, M. “Photosensitization of titania solar cells with chlorophyll derivatives and related natural porphyrins”, J. Phys .Chem. 97: 6272-6277, 1993.
- [25] O’regan, B. and Grätzel. M. “A low – cost, high – efficiency solar cell based on dye – sensitized colloidal TiO₂ films”, Nature. 353: 737–740, 1991.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [26] Cherian, S. and Wamser, C.C. “Adsorption and Photoactivity of Tetra (4-carboxy phenyl) porphyrin (TCPP) on Nanoparticulate TiO_2 ”, J. Phys .Chem.B. 104: 3624-3629, 2000.
- [27] Campbell, W.M. and et al. “Porphyrins as light harvesters in the dye-sensitized TiO_2 solar cell”, Coordination Chemistry Reviews. 248 (13-14): 1363-1379, 2004.
- [28] Wantawee, S. Santhaveesuk, S. Pukird, S. Saipin, T. and Tipparach* U. “Performance and Stability of Dye-sensitized Solar Cells with Quasi-solid State Electrolytes based on N-methyl-quinoline Iodide”, Advanced Materials Research. 93 - 94: 194-197, 2010.
- [29] Li, P. and et al. “The application of P(MMA-co-MAA)/PEG polyblend gel electrolyte in quasi-solid state dye-sensitized solar cell at higher temperature”, Science Direct. 53: 903-908, 2007.
- [30] Somsongkul, V. and et al. Preparation of solid electrolytes for dye – sensitized solar cells. Department of Chemistry Faculty of Science Kasetsart: University, 2009.
- [31] Mikoshiba, S. Sumino, H. Yonetsu, and Hayase, S. “Journal Chem”, Japan Patent. 2001– 60427, 2001.
- [32] Chang, F.S Hsu, Y.C. and Chuan, K. “Dye – Sensitized TiO_2 Photoelectrochemical cells Incorporating PMMA-Based Gel Polymer Electrolytes. Nature Materials. 1-4, 2007.
- [33] Law, M. and et al. “Nanowire dyesensitized solar cells”, Nature Materials. 4: 455–459, 2005.
- [34] Kay, A. and Grätzel, M. “Photosensitization of titania solar cells with chlorophyll derivatives and related natural porphyrins”, J. Phys .Chem. 97: 6272-6277, 1993.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [35] Nazeeruddin, M.K. and et al. “Combined experimental and DFT-TDDFT computational study of photoelectron chemical cell ruthenium sensitizers”, Journal Am.Chem. Soc. 127: 16835– 6847, 2005.
- [36] MTEC. “Spectrum of solar radiation”, spectrum.
<http://www.science.unitn.it/~gcsmf/facilities/dipco>. April 23, 2010.
- [37] MTEC. “Spectrum of solar radiation”, spectrum.
<http://www.science.unitn.it/~gcsmf/facilities/dipco>. April 23, 2010.
- [38] Yang, H. Ileperuma, O. A. Shimomura, M. and Murakami, K. “Effect of ultra-thin polymer membrane electrolytes on dye-sensitized solar cells”,
Solar Energy Material & Solar cells. 93: 1083-1086, 2009.
- [39] Li, P. and et al. “The application of P(MMA-co-MAA)/PEG polyblend gel electrolyte in quasi-solid state dye-sensitized solar cell at higher temperature”, Science Direct. 53: 903-908, 2007.
- [40] Somsongkul, V. and et al. Preparation of solid electrolytes for dye – sensitized solar cells. Department of Chemistry Faculty of Science Kasetsart: University, 2009.
- [41] Wu, J. and et al. “Gel polymer electrolyte based on poly (acrylonitrile-co-styrene) and a novel organic iodide salt for quasi-solid state dye-sensitized solar cell”, Solar Energy. 51: 4243–4249, 2006.
- [42] Lan, Z. and et al. “Quasi-solid state dye-sensitized solar cells based on gel polymer electrolyte with poly(acrylonitrile-co-styrene)/ NaI+I₂”,
Solar Energy. 80: 1483-1488, 2006.
- [43] Mikoshiba, S. Sumino, H. Yonetsu, and Hayase, S. “Journal Chem”, Japan Patent. 2001– 60427, 2001.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [44] Chang, F.S Hsu, Y.C. and Chuan, K. “Dye – Sensitized TiO_2 Photoelectrochemical cells Incorporating PMMA–Based Gel Polymer Electrolytes. Nature Materials. 1-4, 2007.
- [45] จิรัชญา บุญเสริม และสุธัญญา วงศ์กาศ. การสังเคราะห์นาโนไททาเนียมด้วยกระบวนการเคลือบแอโนดเพื่อประยุกต์ใช้กับเซลล์ย้อมสีไวแสง : มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2556.
- [46] จำนงค์ บุญลอย และสุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์. การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยเทคนิคการสกรีน :สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.
- [47] ชวิศร์ กรณ์ย์เมธากุล. การปรับแต่งผิวหน้าของไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วย: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2549.
- [48] ชลดา อีกรารุณวงศ์. (2555). วัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ การสังเคราะห์ โครงสร้าง และการประยุกต์ใช้ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2555.
- [49] อีร์วัฒน์ พลายแสง และ ทนวิวัฒน์ ผาจิระวัฒน์ชาติ. เทคนิคการเคลือบแอโนด. 2555.
- [50] พึ่งบุญ ปานศิลาและคณะ. ผลของตำแหน่งวัสดุรองรับในแนวรัศมีต่อโครงสร้าง :มหาวิทยาลัยบูรพา. 2555.
- [51] วิชรินทร์ เมฆลา และอชิวัฒน์ พรหมจันทร์. สมบัติของวัสดุโครงสร้างนาโนที่มีส่วนประกอบของไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล : มหาวิทยาลัย ราชภัฏอุบลราชธานี. 2557.
- [52] สุรศักดิ์ แสนทวีสุข. การประดิษฐ์และการศึกษาคุณสมบัติบ่งชี้ของเซลล์แสงอาทิตย์ TiO_2 โครงผลึกนาโนด้วยอิเล็กโตรไลต์โพลีเมอร์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2553.
- [53] รัฐพงษ์ นาคาไชย. การศึกษาการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2554.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [54] Fiona, M. Gray. Solid polymer electrolytes: fundamentals and technological application. New York: VCH publishers, 1991.
- [55] Wantawee, S. Santhaveesuk, S. Pukird, S. Saipin, T. and Tipparach* U. “Performance and Stability of Dye-sensitized Solar Cells with Quasi-solid State Electrolytes base on N-methyl-quinoline Iodide”, Advanced Materials Research. 93 - 94: 194-197, 2010.
- [56] Fiona, M. Gray. Solid polymer electrolytes: fundamentals and technological application. New York: VCH publishers, 1991.
- [57] Nazeeruddin, M.K. and et al. “Conversion of light to electricity by cis-X₂ bis (2,20-bipyridyl-4,40-dicarboxylate) ruthenium (II) charge transfer sensitized on nanocrystalline titanium dioxide electrodes”, Journal of American Chem. Society. 115: 6382, 1993.

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ภาคผนวก ก. ประวัติผู้วิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ภาคผนวก ข. ผลงานตีพิมพ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ผลงานตีพิมพ์ในระดับชาติ/นานาชาติ

1. Surasak Santhaveesuk. (2012). Thin film TiO_2 by doctor blade technique for dye sensitized solar cell. The Fifth SNRU international Conference on Cooperation for Development on the EAST – WEST Economic Corridor : Cooperation Networks for Sustainable development toward ASEAN Community.
2. S. Lunphat and S. Santhaveesuk. (2012). Preparation of TiO_2 Nanoparticle by Doctor blade technique. The 2nd Southeast Asia conference on Thermoelectrics.
3. สุรศักดิ์ แสนทวีสุข และคณะ. (2012). การทำเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอิเล็กโตรไลต์กึ่งของแข็ง. ครั้งที่ 5 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
4. Surasak Santhaveesuk. (2014). Preparation nanocrystalline TiO_2 with doctor blade method for dye sensitized solar cell. The 6 International Science Social Sciences Engineering and Energy Conference. I-SEEC 2014.
5. Surasak Santhaveesuk. (2014). Synthesis TiO_2 with doctor blade method for dye sensitized solar cell. The 6 International Science Social Sciences Engineering and Energy Conference. I-SEEC 2014.
6. Surasak Santhaveesuk. (2015). Solid state dye sensitized solar cell based on electrolyte with poly (styrene-co-acrylonitril) Sakon Nakhon Rajabhat University International Conference. SNRU-IC 2015.

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ(ภาษาไทย) ดร.สุรศักดิ์ แสนทวีสุข
(ภาษาอังกฤษ) Dr. Surasak Santhaveesuk

ตำแหน่ง : หัวหน้าศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม
สถานที่ติดต่อ : ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
680 หมู่ 11 ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

หมายเลขโทรศัพท์ : สำนักงานศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม โทร0-4274-3886, 0-4297-0030

: มือถือ 08-7254-3237 โทรสาร : 0-4297-0029

e-mail : surasak31@windowslive.com

ประวัติการศึกษา : จบการศึกษาระดับปริญญาเอก ปรัชญาดุष्ฎิบัณฑิต สาขาฟิสิกส์(ปร.ด. ฟิสิกส์)
จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อปี พศ. 2553

ประวัติการทำงาน : ประธานสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ปี พศ. 2557-ปัจจุบัน
: หัวหน้าศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
: ประธานดำเนินงานโครงการคลินิกเทคโนโลยี สหพันธวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
: หัวหน้าสำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
: คณะกรรมการบริหารงานคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ความเชี่ยวชาญ:

- Solar cell
- Semiconductor
- Solid – state electrolytes polymer
- Quasi - solid – state electrolytes polymer
- Alternative energy
- Electrolytes polymer
- ผลิตและอบรมการใช้สื่อทางด้านวิทยาศาสตร์
- ผลิตและอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน
- Renewable energy

ผลงาน/ประสบการณ์

งานวิจัย

1. การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในบ่อซีเมนต์ด้วยไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ทุนมหาวิทยาลัยฯ
2. ระบบบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาด้วยไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ทุน สวทช.
3. การผลิตอาหารสัตว์จากเศษวัสดุอาหาร ทุนมหาวิทยาลัยฯ
4. S. Santhaveesuk, S. Wantawee, S. Pukird and U. Tipparach. *Fabrication and Characterization of nanocrystalline TiO₂ based solar cells with polymer gel electrolytes.* Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2010), pp 562-565.
5. S. Wantawee, S. Santhaveesuk, S. Pukird, T. Saipin and U. Tipparach. *Performance and Stability of Dye-sensitized Solar Cells with Quasi-solid State Electrolytes base on N-methyl-quinoline Iodide.* Advanced Materials Research Vols. 93-94 (2010). Pp 194-197.
6. Vertical Axis Wind Turbine of Low Speed with Electric Current by Product in Sakon Nakhon Rajabhat University. ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2554.
7. A structure and efficiency form automatic of solar cell. ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2554.

8. โครงการวิจัยก๊าซชีววมวลแบบบอลลูนเพื่อใช้ในครัวเรือน. 2554. ทุนมหาวิทยาลัยฯ
9. Performance of dye sensitized TiO₂ solar cells based on quasi solid state electrolyte. ทุนสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ. 2554.
10. Efficiency development of the using wind energy and solar energy for agriculture. งบแผ่นดิน. 2554.
11. The using AT. Aerator by solar cell for fish farm. งบแผ่นดิน. 2554.

ประสบการณ์ด้านวิชาการ/ประชุม/อบรม

1. การสร้างความร่วมมือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับชาติ ปี 2549
2. วิทยากรการฝึกอบรมเรื่องการออกแบบและการสร้างสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ 2550
3. วิทยากรการฝึกอบรมเรื่องการออกแบบและการสร้างสื่อการสอนฟิสิกส์ 2550
4. ร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ “นักวางแผนพลังงานระดับชุมชน” สำหรับนักวางแผนพลังงานชุมชนประจำท้องถิ่น และทีมงานพลังงานจังหวัด สพท. ที่ 5-7 ปี 2550
5. ประชุมวิชาการนาโนเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1 เรื่อง วัสดุนาโน เกสซ์ภัณฑ์ อุปกรณ์ และการประยุกต์ใช้ จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2550
6. วิทยากรอบรม โครงการหมู่บ้านเครือข่ายมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อ. โพนนาแก้ว จังหวัดสกลนคร 2550
7. ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ‘The 2nd Progress in Advanced Materials : Micro / Nano Materials and Applications’ on January 16 – 18, 2008 at Kosa Hotel, Khon Kaen, Thailand.
8. เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการการจัดทำแผนพลังงานและพลังงานทดแทน จังหวัดของกลุ่มอีสานเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำนักงานวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2553
9. ประธานคณะกรรมการดำเนินงานโครงการคลินิกเทคโนโลยี โดยความร่วมมือระหว่าง มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครกับกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2553
10. เข้าร่วมงานประจําโครงการคลินิกเทคโนโลยี โดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครกับกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรุงเทพฯ ระหว่าง 28 – 31 สิงหาคม 2553

งานบริการวิชาการ / สัมมนา

1. เป็นที่ปรึกษานักวางแผนพลังงานชุมชน สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น 2551 - ปัจจุบัน
2. ร่วมประชุมสัมมนา เรื่อง แนวทางการขับเคลื่อนปรัชญาและความเป็นอุดมศึกษาเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นสู่การปฏิบัติ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี 2551
3. ร่วมประชุมรับฟังความคิดเห็นสาธารณะร่างแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2551 – 2553) ส่วนภูมิภาค จังหวัดอุบลราชธานี 2551
4. เป็นคณะกรรมการจัดกิจกรรม สัปดาห์ส่งเสริมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างวันที่ 14 – 18 กรกฎาคม 2551 มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
5. วิทยากรอบรมอุปกรณ์และสาธิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทนและประหยัดพลังงาน ในวันที่ 27 มิถุนายน 2551 ณ ที่ทำการ อบต. นาม่อง อ. กุดบาก จ. สกลนคร
6. ประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง การพัฒนาสาขาวิชาและมหาวิทยาลัยสู่ระดับสากล ในวันที่ 14 สิงหาคม 2551 มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
7. เป็นวิทยากรอบรมครูในโครงการยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา กลุ่มสนุก 2553
8. วิทยากรอบรมเกษตรกรอินทรีย์ในโครงการเศรษฐกิจพอเพียง โครงการพระราชดำริ บ้านนางอย ตำบลต่างอย อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 2553
9. วิทยากรอบรมเกษตรกรอินทรีย์เตาเผาถ่าน ถัง 200 ลิตร บ้านน้อยจอมศรี ตำบลฮางโฮง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 2553
10. วิทยากรการฝึกอบรมเรื่องการออกแบบและการสร้างสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ 2553 ให้แก่สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา กลุ่มสนุก
11. วิทยากรการฝึกอบรมครูในโครงการยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา กลุ่มสนุก 2553
12. วิทยากรการฝึกอบรมครูในโครงการยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับประถมศึกษาตอนปลายของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา กลุ่มสนุก 2553

13. วิทยากรการฝึกอบรมครูในโครงการพัฒนาครูประจำการที่สอนไม่ตรงวุฒิ/วิชาเอก โดยความร่วมมือระหว่าง มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครกับสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ เรื่องพลังงาน ในระหว่าง 7 – 19 ธันวาคม 2553

เอกสารประกอบการสอน

เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พฤติกรรมการสอนวิชาฟิสิกส์

เอกสารประกอบการสอน เรื่อง อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

เอกสารประกอบการสอน เรื่อง ฟิสิกส์เซลล์สุริยะ 1

เอกสารประกอบการสอน เรื่อง ฟิสิกส์ฟิล์มบาง