

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดตายเซนซิไทซ์ที่ใช้ขั้วไทเทเนียมไดออกไซด์
(Fabrication of dye sensitized solar cells using TiO_2 electrodes)



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2553 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2554 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้บางส่วนได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ



RCH

ศ 784๓

2554

12623106

b. 12623106

i.

เลขหมู่

เลขทะเบียน

วันเดือนปี

137817

22 ต.ค. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารส่วนนี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการคิดค่าที่ปรึกษาอื่น ๆ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อภาษาไทย

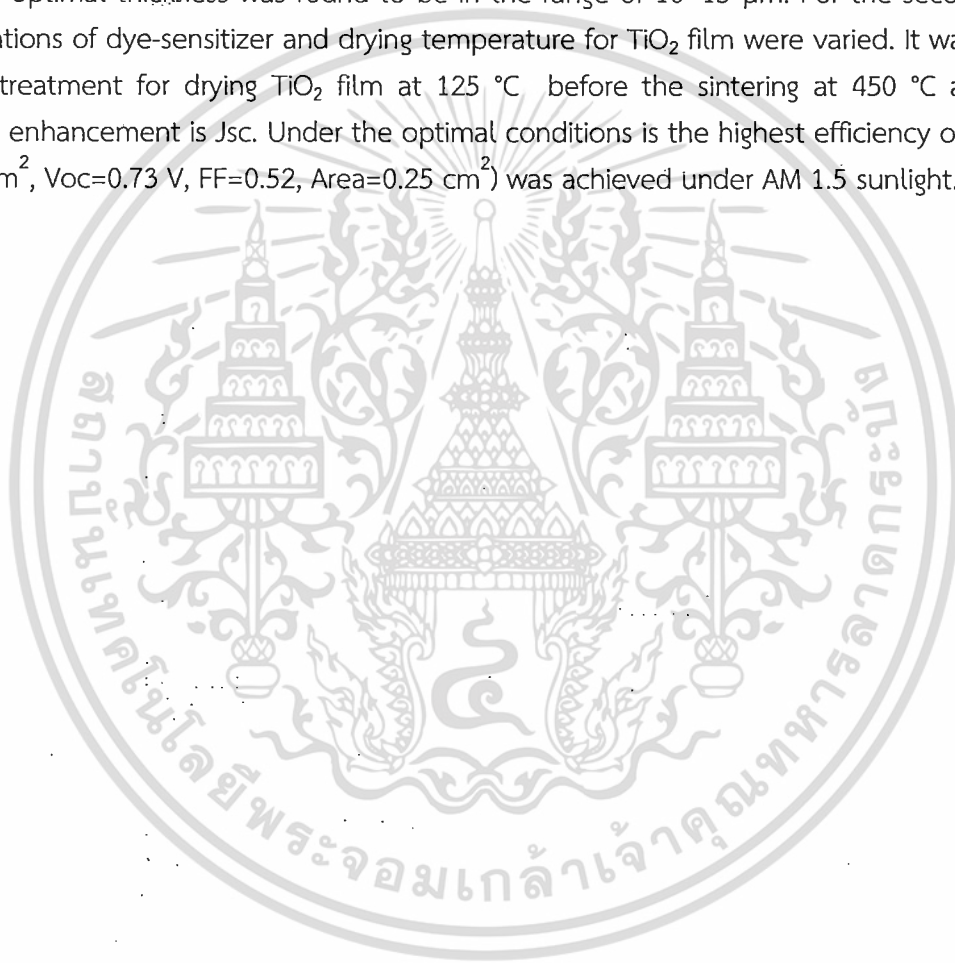
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSCs) ถือได้ว่าเป็นทางเลือกที่ดีของการผลิตต้นทุนต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน โดยวัตถุประสงค์ของการนำเสนอเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด DSSCs เพื่อศึกษาการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้วิธีการพิมพ์สกรีน ซึ่งวัตถุประสงค์ในการทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกได้ศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อฟิล์มมีความหนามากขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ความหนาที่เหมาะสมพบว่าจะอยู่ในช่วง 10~15 μm สำหรับในส่วนที่สองได้ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงและอุณหภูมิของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้พบว่าการ pre-heat-treatment สำหรับอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 125 $^{\circ}\text{C}$ ก่อนเผาต่อที่อุณหภูมิ 450 $^{\circ}\text{C}$ เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของ J_{sc} โดยภายใต้การทดสอบที่สภาวะแสงอาทิตย์ AM 1.5 ประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้คือ 8.09 % ($J_{sc}=21 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=0.73 \text{ V}$, $FF=0.52$, $\text{Area}=0.25 \text{ cm}^2$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้:ii

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Dye-sensitized solar cells (DSSCs) are considered the best low-cost alternative to crystalline silicon solar cells so far. The objective of the DSSCs present study is to fabricate highly efficient solar cells by use of the screen printing method. For this purpose the experiments divided into two parts. For the first part, the effect of TiO_2 film thickness on the solar cell performance was investigated. The conversion efficiency was found to increase with increasing the film thickness. In this work, the optimal thickness was found to be in the range of 10~15 μm . For the second part, the concentrations of dye-sensitizer and drying temperature for TiO_2 film were varied. It was found the pre-heat-treatment for drying TiO_2 film at 125 $^\circ\text{C}$ before the sintering at 450 $^\circ\text{C}$ a critical parameter for enhancement is J_{sc} . Under the optimal conditions is the highest efficiency of 8.09 % ($J_{sc}=21 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=0.73 \text{ V}$, $FF=0.52$, $\text{Area}=0.25 \text{ cm}^2$) was achieved under AM 1.5 sunlight.



สารบัญเรื่อง

กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อภาษาไทย	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
สารบัญเรื่อง	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	2
1.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป	4
เอกสารอ้างอิง	6
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย	8
2.1 การออกแบบมาส์กและอุปกรณ์สำหรับพิมพ์สกรีน	8
2.1.1 การออกแบบลวดลายมาส์กของ TiO ₂ และ Pt	8
2.1.2 การถ่ายแบบลวดลายมาส์กของ TiO ₂ และ Pt ลงบนแม่พิมพ์ต้นแบบ	8
2.1.3 อุปกรณ์สำหรับการพิมพ์สกรีน	10
2.2 กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.2.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต (Photo electrode)	11
2.2.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาท์เตอร์ (Counter electrode)	12
2.2.3 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	13
2.3 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.4 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม	19
2.4.1 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	19
2.4.2 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)	20
2.4.3 เครื่อง Step Profile	20
2.4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางแสง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์.....	21
3.1 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก NECTEC	21
3.1.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์.....	21
3.1.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	22
3.1.3 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์.....	25
3.2 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix.....	27
3.2.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์.....	27
3.2.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	28
3.2.3 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์.....	29
3.3 การศึกษาความเข้มข้นสียอมไวแสง (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลาย เอทานอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และ ความเข้มข้นมาก (1:1) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	31
3.3.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	31
3.4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล เพื่อไล่ความชื้นออกจากฟิล์ม ลดรอยแตกร้าว จากการเผาที่อุณหภูมิสูง.....	33
3.4.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	33
3.4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์.....	34
เอกสารอ้างอิง	36
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	37
4.1 สรุป	37
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	37

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO ₂ sol-gel; NECTEC).....	24
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO ₂ sol-gel; Solaronix).....	29
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (Dye 1:1, 1:5).....	32
ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (Preheat 100°C, 125°C)	33



สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1	ต้นแบบสวดลายมาส์กของ TiO ₂ และ Pt.....	9
รูปที่ 2.2	บล็อกพิมพ์สกรีนแม่พิมพ์ต้นแบบของ TiO ₂ และ Pt.....	9
รูปที่ 2.3	อุปกรณ์สำหรับพิมพ์สกรีน (ก) แทนพิมพ์สกรีน (ข) บล็อกพิมพ์สกรีน และ (ค) ยางปาด.....	10
รูปที่ 2.4	บล็อกพิมพ์สกรีนติดตั้งเข้ากับแทนพิมพ์สกรีน.....	11
รูปที่ 2.5	ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต (Photo electrode)	12
รูปที่ 2.6	ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาเตอร์ (Counter electrode)	13
รูปที่ 2.7	ขั้นตอนการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	14
รูปที่ 2.8	ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 1).....	15
รูปที่ 2.9	ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 2).....	16
รูปที่ 2.10	ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 3).....	17
รูปที่ 2.11	ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 4).....	18
รูปที่ 2.12	ระบบวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	19
รูปที่ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂ sol-gel จาก NECTEC).....	22
รูปที่ 3.2	ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO ₂ sol-gel จาก NECTEC) (ก) ประสิทธิภาพ (Efficiency) (ข) กระแสลัดวงจร (Jsc) (ค) แรงดันวงจรเปิด (Voc) และ (ง) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF).....	23
รูปที่ 3.3	คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO ₂ sol-gel จาก NECTEC).....	25
รูปที่ 3.4	ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา 15.72 μm จาก NECTEC (ก) ที่อัตราการขยาย 1,000 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 2,500 เท่า.....	26
รูปที่ 3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂ sol-gel จากบริษัท Solaronix)	27
รูปที่ 3.6	ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO ₂ sol-gel จากบริษัท Solaronix) (ก) ประสิทธิภาพ (Efficiency) (ข) กระแสลัดวงจร (Jsc) (ค) แรงดันวงจรเปิด (Voc) และ (ง) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)	28
รูปที่ 3.7	คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO ₂ sol-gel จาก Solaronix).....	30
รูปที่ 3.8	ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา 10.25 μm จาก Solaronix (ก) ที่อัตราการขยาย 1,000 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 2,500 เท่า	31
รูปที่ 3.9	คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความแตกต่างความเข้มข้นของโมเลกุลสีย้อมไวแสง.....	32
รูปที่ 3.10	คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความต่างของอุณหภูมิในการอบ.....	34
รูปที่ 3.11	ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา 10.25 μm จาก Solaronix ที่อัตราการขยาย 5,000 เท่า (ก) อบที่อุณหภูมิ 100°C (ข) อบที่อุณหภูมิ 125°C.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยของเราต้องสั่งนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศปีละมหาศาล ทั้งนี้เนื่องจากเราไม่มีแหล่งพลังงานเป็นของตนเองเพียงพอ และความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการพัฒนาประเทศก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ในสถานะที่ประเทศไทยต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ ดังนั้น ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security) จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อนโยบายเศรษฐกิจของประเทศ [1] การเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงและวิกฤตการณ์ราคาน้ำมัน เป็นบทเรียนที่สำคัญสำหรับประเทศไทย ที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงานของประเทศให้เป็นไปอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น แม้ว่ารัฐบาลจะได้ทำการสำรวจและพัฒนาแหล่งพลังงานในประเทศมาใช้ประโยชน์มากขึ้นกว่าในอดีต แต่เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งสำรองพลังงานไม่มากนัก จึงยังต้องพึ่งพาพลังงานจากภายนอกประเทศ ปัจจุบันประเทศส่วนใหญ่ซึ่งรวมถึงประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากวิกฤตการณ์น้ำมันและวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ราคาก๊าซธรรมชาติก็ยังคงต้องอิงกับราคาเชื้อเพลิง ทำให้ขาดเสถียรภาพทางด้านราคา ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณที่จำกัด ทำให้มีการคาดการณ์กันว่าอาจจะมีโอกาสหมดไปจากโลกในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ดังนั้นนโยบายด้านพลังงานทดแทน (Renewable energy) ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานได้ จึงเป็นอีกหนึ่งนโยบายที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงานของประเทศให้เป็นไปอย่างยั่งยืน

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสนใจในงานค้นคว้าวิจัยและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีมากมายมหาศาล กิ่งไม่หมด และยังเป็นพลังงานสะอาด พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในรูปของแสงแดดสามารถเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์ (Solar cells) หรือ โฟโตโวลตาอิกส์ (Photovoltaics) เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเรามีค่ามหาศาล บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราจะได้พลังงานประมาณ 1,000 วัตต์ ดังนั้นถ้าเราใช้พื้นที่ประมาณร้อยละ 0.3 ของประเทศไทย เราก็จะสามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอับความต้องการทั้งประเทศ [2] อย่างไรก็ตามแม้ว่าเราจะสามารถผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นได้เองภายในประเทศแล้วก็ตาม แต่ปริมาณที่ผลิตได้ก็ยังไม่ค่อยมากเมื่อเทียบกับความต้องการภายในประเทศ อีกทั้งยังมีราคาแพง เพราะเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นเทคโนโลยีที่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ และเป็นเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีข้อจำกัดทั้งในเรื่องของกำลังในการผลิตและราคาต้นทุน

ด้วยปัญหาดังกล่าวข้างต้น คณะวิจัยจึงขอเสนอแนวทางการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ดายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized solar cells; DSSCs) ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายนเซนซิไทซ์ เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ 1) มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูง (เซลล์ขนาดเล็ก ~11%), 2) มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ นอกจากนี้ 3) ยังสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

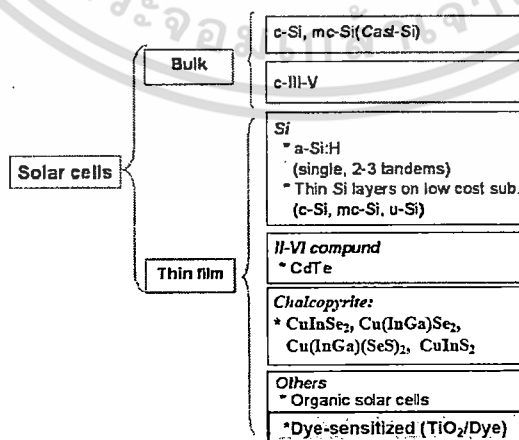
สร้างเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เบาและโค้งงอได้ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในอนาคต โดยงานวิจัยนี้จะพัฒนาขั้นตอนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคพิมพ์สกรีน ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ เพื่อให้สามารถสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ แต่มีประสิทธิภาพที่สูง เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

ศึกษาวิจัยและพัฒนาวิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดตายเซนซีไทซ์โดยเทคนิคการพิมพ์สกรีนซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ใช้ระบบสุญญากาศ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

1.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไป เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ 1) ชนิดบัลค์ (Bulk) และ 2) ชนิดฟิล์มบาง (Thin-film) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ส่วนใหญ่ทำมาจากซิลิคอน (Si) แผ่นซิลิคอนที่ใช้ดูดซับแสงอาทิตย์นั้นได้จากการสไลด์แท่งผลึกซิลิคอนบัลค์ให้เป็นแผ่นบางๆ โดยจะต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 300 μm เพื่อให้สามารถดูดซับแสงอาทิตย์ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากซิลิคอนมีสัมประสิทธิ์การดูดซับแสงที่ต่ำ ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (Conversion efficiency) ที่สูงก็ตาม แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เครื่องจักรและวัสดุที่มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์สูงตาม ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางไม่ว่าจะเป็น Amorphous Si (a-Si), CdTe, CuInX_2 (โดยที่ $X=\text{Se, Te, S}$) หรือ ตายเซนซีไทซ์ (Dye-sensitized) ใช้ความหนาของฟิล์มเพียงหลักสิบล้านไมครอน ยิ่งไปกว่านั้น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางยังสามารถสร้างบนแผ่นฐานรองที่มีราคาถูกเช่น แผ่นกระจก แผ่นพลาสติกหรือแผ่นโพลีเมอร์ได้อีกด้วย ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ และยังมี EPT (Energy payback time) ที่น้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์อีกด้วย

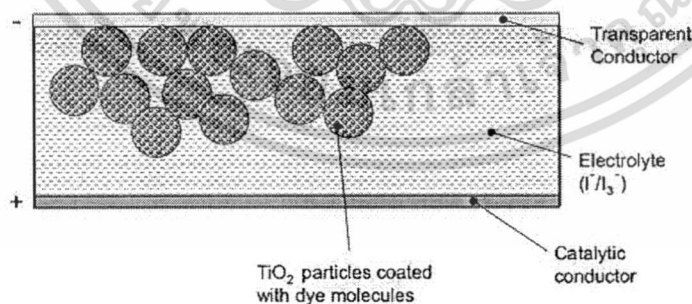


รูปที่ 1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดตายเซนซีไทซ์ (Dye-sensitized solar cells; DSSCs) หรือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เป็นหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทฟิล์มบางที่นักวิจัยทั่วโลกต่างศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดตายเซนซีไทซ์มีข้อดีหลายอย่าง เช่น 1) มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูง (ปัจจุบันเซลล์ขนาดเล็ก ~11%) [3], 2) มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ (จากการคาดการณ์: สามารถผลิตโมดูลในราคาประมาณ 1€/Wp ได้) [4] 3) สามารถคืนทุนพลังงาน (energy payback time) ในเวลาเพียง 1 ปี [5] เนื่องจากใช้พลังงานในการสร้างที่ต่ำ (อุณหภูมิในขั้นตอนการผลิตโดยทั่วไปไม่เกิน 600°C และไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ) นอกจากนี้ 4) ยังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีในอนาคตที่ต้องการผลิตพลังงานที่เบาและสามารถโค้งงอได้

DSC ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้หลักการของโฟโตอิเล็กโตรเคมีเซลล์ (photoelectrochemical) รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของ DSC ซึ่งประกอบด้วย (1) ตัวนำโปร่งแสงนำไฟฟ้า (เช่น fluorine-doped SnO₂) ที่ถูกเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำระดับนาโนเมตร (โดยส่วนมากมักใช้ TiO₂ ที่มีลักษณะพรุน) ทำหน้าที่เป็นพื้นผิวสำหรับการยึดเกาะของตายส์ และเป็นขั้วแอโนด (photoanode) เพื่อและส่งผ่านอิเล็กตรอนจากตายส์ไปยังภายนอก, (2) โมเลกุลตายส์ (เช่น ตายส์ที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ (bipyridine Ru)) จับยึดอยู่ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับพลังงานแสงเกิดเป็นพาหะอิเล็กตรอนซึ่งจะส่งต่อไปยังสารกึ่งตัวนำ, (3) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (redox mediators/electrolyte; เช่น iodide/triiodide (I⁻/I₃⁻)) ทำหน้าที่รีดักชันตายส์ที่ถูกออกซิไดซ์ และ (4) เคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (counter electrode, มักใช้ Pt) เป็นขั้วไฟฟ้าส่งผ่านอิเล็กตรอนทำให้เกิดวงจรครบและเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 1.2 โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดตายเซนซีไทซ์ (DSC)
(<http://telavivbarcrawler.blogspot.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากข้อจำกัดด้านหน้าที่ให้คายสียึดเกาะและส่งผ่านอิเล็กตรอนจากคายสียังภายนอก ดังนั้นประสิทธิภาพของเซลล์จึงขึ้นอยู่กับปริมาณคายสียึดเกาะบนข้อจำกัด โดยข้อจำกัดจะเกี่ยวข้องกับ ความหนาแน่นกระแสลัดวงจร (Short-circuit current density; J_{sc}) และแรงดันวงจรเปิด (Open circuit voltage; V_{oc})

ในบรรดาสารกึ่งตัวนำ TiO_2 ที่มีขนาดระดับนาโนเมตร (nc- TiO_2 , E_g : 3.2eV) เป็นวัสดุที่ถูกใช้เป็นตัวนำใน DSC มากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้คายสียึดเกาะในปริมาณที่สูง แม้ว่าการเพิ่มความหนาของฟิล์มจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้คายสียึดเกาะก็ตาม แต่ก็ทำให้การสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างขนส่งผ่านชั้นฟิล์ม (ซึ่งภายในประกอบไปด้วยอนุภาคระดับนาโนเมตรที่เชื่อมต่อถึงกันเป็นเครือข่ายแบบ Random) ก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากผลของแนวเขตเกรน (grain boundaries) และ recombination centers ที่เพิ่มขึ้นและเกินค่า diffusion length [6] โดยทั่วไปแล้วชั้น TiO_2 ใน DSC จะเป็นฟิล์มกึ่งโปร่งแสงที่หนาประมาณ 5-15 μm ที่ภายในประกอบไปด้วยอนุภาคระดับนาโนเมตร (15-50nm) ที่เชื่อมต่อถึงกันเป็นเครือข่าย โดยที่ความขรุขระของผิว (roughness factor) อยู่ในระดับ 100/ μm และความพรุน (porosity) ของฟิล์มอยู่ที่ประมาณ 50% ถึง 70% [7] นอกเหนือจากนี้แล้ว ยังมีความพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของ DSC โดยการ post-treatment ชั้นฟิล์ม TiO_2 ด้วย $TiCl_4$ [8], เคลือบชั้นฉนวนโลหะออกไซด์บางๆ เช่น Al_2O_3 [9] หรือ MgO [5,6,10] และ บนผิวของ TiO_2

การดัดแปลงชั้นฟิล์ม TiO_2 ให้มีอนุภาคระดับซัพไมครอนปนรวมอยู่ในอนุภาคระดับนาโน [7] หรือ การเพิ่มชั้นของอนุภาคระดับซัพไมครอนบนชั้นของอนุภาคระดับนาโน [11] ก็สามารถทำให้ความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากผลของการกระเจิงแสง (scattering) ของอนุภาคซึ่งทำให้โฟตอนเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกระเจิงของแสงขึ้นกับขนาด, ดรรชนีหักเห (refractive index) และตำแหน่งของอนุภาค และความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ [12]

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเพิ่มหรือลดลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคายสียึดเกาะบนข้อจำกัด ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการดูดซับโมเลกุลสีย้อมไวแสง ความหนาของฟิล์มที่เหมาะสม ความเข้มข้นของสีย้อมไวแสง และอุณหภูมิในการอบฟิล์ม ซึ่งประกอบไปด้วยการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) การทดลองที่ 1 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก NECTEC
- 2) การทดลองที่ 2 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix
- 3) การทดลองที่ 3 การศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลาย เอทานอล ที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) การทดลองที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล เพื่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นออกจากฟิล์ม ลดรอยแตกร้าวจากการเผาที่อุณหภูมิสูง

หลังจากเสร็จแต่ละการทดลองแล้วนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปวัดผลและวิเคราะห์ 1) ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่อง Step Profile, 2) คุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติ I-V ภายใต้แสง AM 1.5 มาตรฐานที่ความเข้มแสง $100\text{mW}/\text{cm}^2$ และ 3) พื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS52-01-import.html>
- [2] ดร.เอกรินทร์ วาสนาส่ง, “พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับคนยุคใหม่”, <http://www.energy.go.th/en/forumDetail.asp>
- [3] B. C. O'Regan and M. Gratzel, “A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films,” *Nature* 353 (1991) 737–740.
- [4] J. M. Kroon, N. J. Bakker, H. J. P. Smit, et al., “Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance,” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 15 (2007), 1–18.
- [5] T. Veltkamp, J. M. Kroon, P. Sommeling, and M. Wild-Scholten, “Dye sensitised solar cells for large-scale photovoltaics: determination of durability and environmental profile,” in *Proceedings of Renewable Energy, Chiba, Japan, October 2006*.
- [6] B. A. Gregg, *Coord. Chem. Rev.* 248 (2004), 1215.
- [7] C. J. Barbe, F. Arendse, P. Comte, et al., “Nanocrystalline titanium oxide electrodes for photovoltaic applications,” *Journal of the American Ceramic Society* 80 (1997), 3157–3171.
- [8] P. M. Sommeling, B. C. O'Regan, R. R. Haswell, et al., “Influence of a TiCl₄ post-treatment on nanocrystalline TiO₂ films in dye-sensitized solar cells,” *Journal of Physical Chemistry B* 110 (2006), 19191–19197.
- [9] E. Palomares, J. N. Clifford, S. A. Haque, T. Lutz, and J. R. Durrant, “Slow charge recombination in dye-sensitized solar cells (DSSC) using Al₂O₃ coated nanoporous TiO₂ films,” *Chemical Communications* 14 (2002), 1464–1465.
- [10] A. Kay and M. Gratzel, “Dye-sensitized core-shell nanocrystals: improved efficiency of mesoporous tin oxide electrodes coated with a thin layer of an insulating oxide,” *Chemistry of Materials* 14 (2002), 2930–2935.
- [11] (a) S. Ito, S.M. Zakeeruddin, R. Humphry-Baker, P. Liska, P. Charvet, P. Comte, M.K. Nazeeruddin, P. Pechy, M. Takata, H. Miura, S. Uchida, M. Gratzel, *Adv. Mater.* 18 (2006) 1202.
(b) S. Hore, C. Vetter, R. Kern, H. Smit, A. Hinsch, *Solar Energy Mater. Solar Cells* 90 (2006) 1176.

- [12] H.J. Koo, J. Park, B. Yoo, K. Yoo, K. Kim, N.G. Park, "Size-dependent scattering efficiency in dye-sensitized solar cell", *Inorganica Chimica Acta* 361 (2008), 677–683, and references cited therein.



บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบมาสก์และอุปกรณ์สำหรับพิมพ์สกรีน

กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีน (Screen Printing Technique) เพื่อสร้างฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์และแพลททินัม โดยการสกรีนลงบนฐานรองซึ่งเป็นกระจกชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent Conducting Oxide) $\text{SnO}_2:\text{F}$ เพื่อนำไปใช้งานเป็นโฟโตอิเล็กโทรดและแคโทดเออร์รี่อิเล็กโทรด ตามลำดับ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องออกแบบมาสก์เพื่อนำไปถ่ายแบบลงบนแม่พิมพ์สกรีนซึ่งเป็นต้นแบบในการสร้างลวดลายลงบนกระจกชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสง และนำไปสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

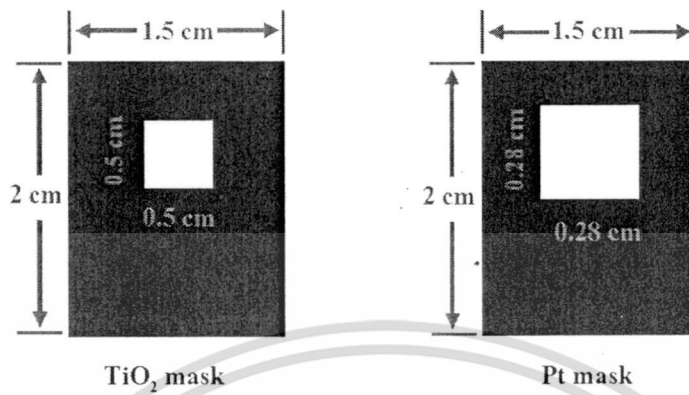
2.1.1 การออกแบบลวดลายมาสก์ของ TiO_2 และ Pt

การออกแบบลวดลาย ถือว่าเป็นขั้นตอนแรกในการสร้างแม่แบบมาสก์ เพื่อจัดวางตำแหน่งของลวดลายให้ถูกต้อง และลวดลายที่ได้ให้มีความเหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ของฐานรอง แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยฐานรองจะมีขนาด $1.5 \times 2 \text{ cm}^2$ มีพื้นที่มาสก์ของไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 0.25 cm^2 และแพลททินัม เท่ากับ 0.56 cm^2

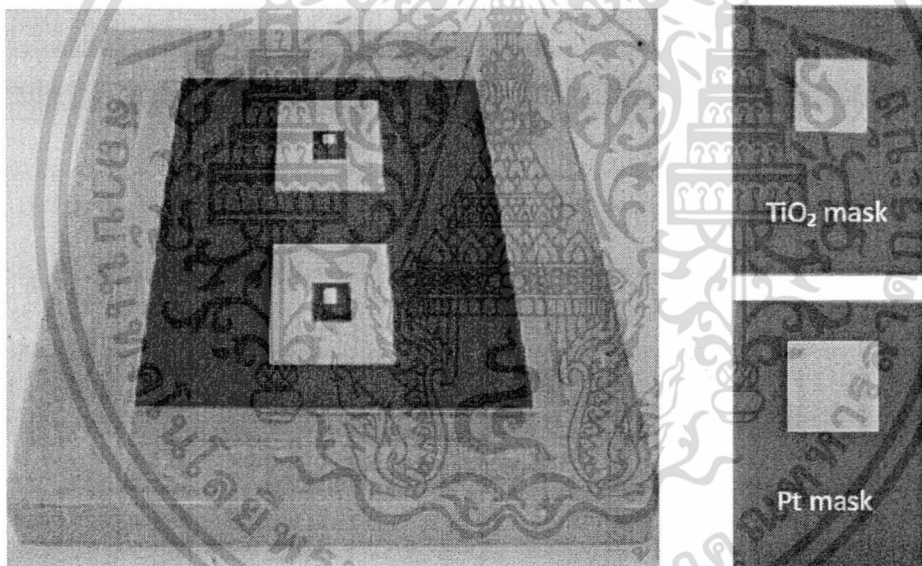
2.1.2 การถ่ายแบบลวดลายมาสก์ของ TiO_2 และ Pt ลงบนแม่พิมพ์ต้นแบบ

หลังจากที่ได้ออกแบบลวดลายมาสก์ของไทเทเนียมไดออกไซด์และแพลททินัมแล้วจึงนำไปถ่ายแบบลงบนแม่พิมพ์ต้นแบบ ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ว่าจ้างบริษัท วินโก้สกรีน จำกัด สร้างแม่พิมพ์ต้นแบบจนได้เป็นบล็อกพิมพ์สกรีนที่พร้อมใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.2

การสร้างชิ้นงานหากเป็นมาสก์ของไทเทเนียมไดออกไซด์จะใช้ผ้าสกรีนชนิดโพลีเอสเตอร์ เบอร์ผ้าสกรีน 61T mesh/cm เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นด้าย $60 \mu\text{m}$ รูเปิดของผ้าสกรีน $102 \mu\text{m}$ สัดส่วนของพื้นที่รูเปิดของผ้าสกรีน 38.7% ความหนาของผ้าสกรีน $100 \mu\text{m}$ ปริมาตรหมึกพิมพ์ที่ใช้ต่อพื้นที่ $38.7 \text{ cm}^3/\text{m}^2$



รูปที่ 2.1 ต้นแบบลวดลายมาสก์ของ TiO_2 และ Pt



รูปที่ 2.2 ปลอกพิมพ์สกรีนแม่พิมพ์ต้นแบบของ TiO_2 และ Pt

การสร้างชิ้นงานหากเป็นมาสก์ของแพลททินัมจะใช้ผ้าสกรีนชนิดโพลีเอสเตอร์ เบอร์ผ้าสกรีน 90T mesh/cm เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นด้าย $40\ \mu\text{m}$ รูเปิดของผ้าสกรีน $68\ \mu\text{m}$ สัดส่วนของพื้นที่รูเปิดของผ้าสกรีน 38% ความหนาของผ้าสกรีน $62\ \mu\text{m}$ ปริมาตรหมึกพิมพ์ที่ใช้ต่อพื้นที่ $24\ \text{cm}^3/\text{m}^2$ นอกจากนี้แล้วกาวอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปของแม่พิมพ์เป็นชนิด Ulano TZ ซึ่งมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและแรงเสียดสีได้เป็นอย่างดี

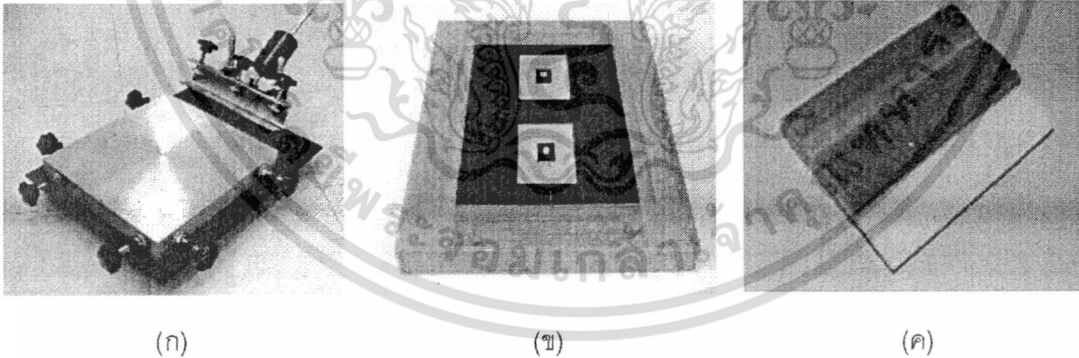
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 9 ไปใช้

2.1.3 อุปกรณ์สำหรับการพิมพ์สกรีน

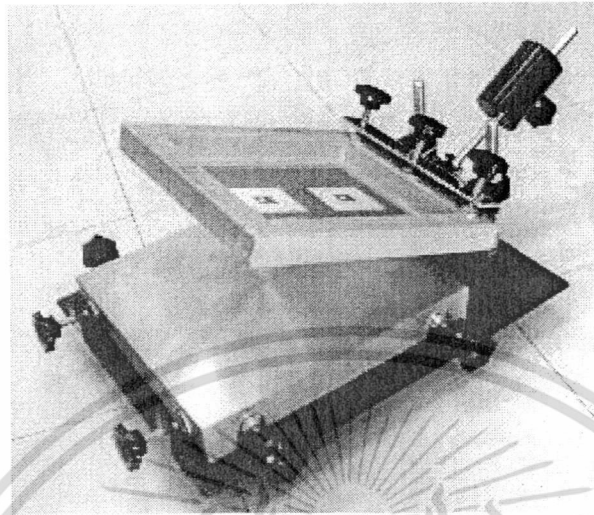
อุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์สกรีนจะประกอบไปด้วย

1. *แท่นพิมพ์สกรีน (Screen printing table)* มีหัวจับกรอบสกรีนเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกัน สามารถปรับความสูงต่ำได้ตามความหนาของชั้นงานที่พิมพ์ มีตุ้มน้ำหนักถ่วงกรอบสกรีนเพื่อความสะดวกในการพิมพ์ และที่ฐานของแท่นสกรีนสามารถปรับตำแหน่งทิศทางแกน X และแกน Y ได้ เพื่อให้ชั้นงานที่พิมพ์ตรงกับตำแหน่งของแม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ก)
2. *บล็อกพิมพ์สกรีน (Screen printing block)* เป็นส่วนประกอบของแม่พิมพ์สกรีนที่ได้ออกแบบลวดลายเอาไว้ มีหน้าที่ให้หมึกผ่านไปยังวัสดุที่ต้องการพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ข)
3. *ยางปาด (squeegee)* เป็นอุปกรณ์ผิวเรียบที่จะพาหมึกพิมพ์ในแม่พิมพ์สกรีนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยที่หมึกจะได้รับแรงกดจากยางปาดให้ผ่านผ้าสกรีนลงไปยังวัสดุที่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ค)

หลังจากนั้นนำบล็อกพิมพ์สกรีนมาติดตั้งกับแท่นพิมพ์สกรีน แสดงดังรูปที่ 2.4 นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่นร่วมด้วยคือหมึกพิมพ์สกรีน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์และแพลทินัมที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับหมึกพิมพ์สกรีน คือมีความหนืดที่เหมาะสมเพื่อใช้ร่วมกับเทคนิคการพิมพ์สกรีนได้เป็นอย่างดี ส่วนขั้นตอนการทดลองผสมสารตั้งต้นไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล นั้นจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์สำหรับพิมพ์สกรีน (ก) แท่นพิมพ์สกรีน (ข) บล็อกพิมพ์สกรีน และ (ค) ยางปาด



รูปที่ 2.4 บล็อกพิมพ์สกรีนติดตั้งเข้ากับแท่นพิมพ์สกรีน

2.2 กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีหลักการทำงาน โดยอาศัยกลไกทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี มีโครงสร้างประกอบด้วยกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (FTO glass), ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล (TiO₂ sol-gel), สีย้อมไวแสงชนิด N719 (Sensitizer ruthenium N719), แพลททินัมโซล-เจล (Pt sol-gel), แผ่นซีลด์ (Sealant sheet), สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution)

2.2.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต (Photo electrode)

นำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ขนาด 1.5x2 cm² หนา 4 mm ไปทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่อาจเป็นฝุ่นละออง เศษโลหะ หรือคราบไขมันต่างๆ ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า โดยจุ่มในสารละลายอะซีโตน (Acetone) ต่อด้วยสารละลายเอทานอล (Ethanol Absolute) นำไปอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ใช้เวลาขั้นตอนละ 10 นาที แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน (N₂) ต่อจากนั้นนำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วไปเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์โดยเทคนิคการพิมพ์สกรีน (Screen Printing Technique)

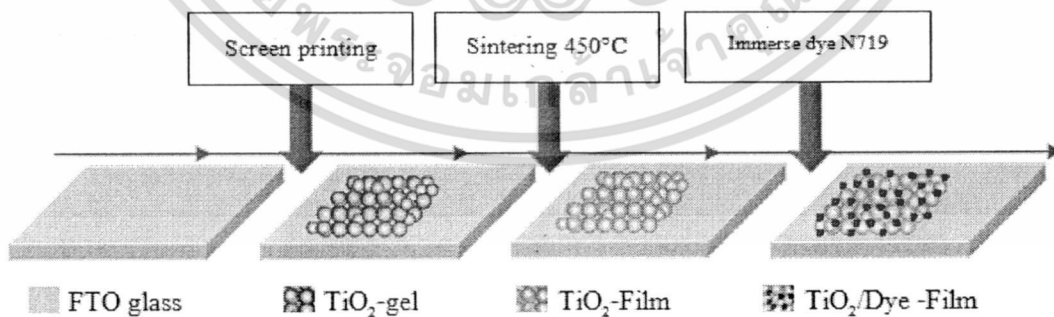
โดยพื้นที่เซลล์ในการพิมพ์สกรีนอยู่ที่ 0.25 cm² ถ้าหากต้องการเพิ่มความหนาของชั้นฟิล์มสามารถทำได้โดยการพิมพ์สกรีนเพิ่มที่ละชั้นตามลำดับจนได้ความหนาที่ต้องการ หลังการพิมพ์สกรีนแต่ละชั้นต้องนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 3 นาที หลังการพิมพ์สกรีนชั้นสุดท้ายจะอบที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดตัวทำละลายให้หมดไป และทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงจนอุณหภูมิอยู่ในช่วง (50~60)°C แล้วนำฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ไปจุ่มในสารละลายสีย้อมไวแสง N719 ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลายเอทานอลในอัตราส่วน (1:1)

โดยจุ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ดูดซับสีย้อมไวแสงมาอบความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อไล่ความชื้นออกจากฟิล์ม และเก็บในที่สะอาดเพื่อรอการประกอบเป็นเซลล์ต่อไป ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโตแสดงดังรูปที่ 2.5

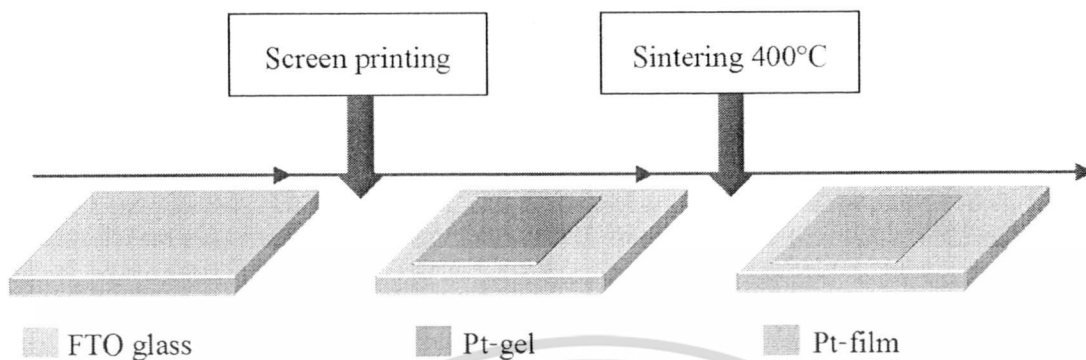
2.2.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาท์เตอร์ (Counter electrode)

การเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาท์เตอร์ ก็ใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีนเช่นเดียวกับกับการเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต โดยนำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ขนาด $1.5 \times 2 \text{ cm}^2$ หนา 4 mm ไปทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก ที่อาจเป็นฝุ่นละออง เศษโลหะ หรือคราบไขมันต่างๆ ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า โดยจุ่มในสารละลายอะซีโตนต่อด้วยสารละลายเอทานอล นำไปอัลตราโซนิกใช้เวลาขั้นตอนละ 10 นาที แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน ต่อจากนั้นนำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วไปเคลือบฟิล์มแพลททินัม

โดยพื้นที่เซลล์ในการพิมพ์สกรีนอยู่ที่ 0.56 cm^2 ซึ่งจะใหญ่กว่าหรือกว้างกว่าพื้นที่เซลล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ (เนื่องมาจากขั้นตอนการประกอบเซลล์ โดยพื้นที่เซลล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ และแพลททินัมจะต้องประกบกันพอดี การที่จะประกบได้นั้นจำเป็นต้องทำให้พื้นที่เซลล์ของแพลททินัมใหญ่กว่าพื้นที่เซลล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ เพราะหลังจากการเคลือบแพลททินัมแล้วจะมีลักษณะใสทำให้การมองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นไปได้ยาก) จากนั้นนำสารประกอบของแพลททินัม (Hexachloro platonic acid) มาเคลือบบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 20 นาทีตามลำดับ หลังจาก 20 นาทีแล้วก็ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง และนำไปประกอบเป็นเซลล์ต่อไป ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาท์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต (Photo electrode)

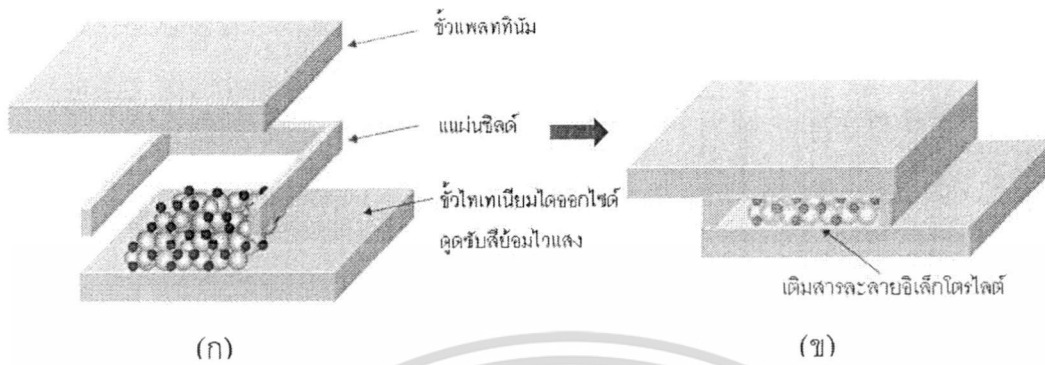


รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาเตอร์ (Counter electrode)

2.2.3 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เริ่มต้นจากนำกระจกนำไฟฟ้าขั้วไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบสีย้อมไวแสงมาประกบกับกระจกนำไฟฟ้าขั้วแพลทินัม แสดงดังรูปที่ 2.7 (ก) โดยให้พื้นที่เซลล์ของแผ่นกระจกนำไฟฟ้าทั้งสองตรงกัน ซึ่งจะคั่นกลางระหว่างกระจกทั้งสองด้วยแผ่นซิลด์ (SX 1170-60) ซึ่งมีความหนา 60 μm พื้นที่ช่องว่างของตัวแผ่นซิลด์จะใหญ่กว่าพื้นที่เซลล์ด้านละประมาณ 1 mm หลังจากประกอบเซลล์เสร็จแล้ว จะใช้หัวแร้งเป็นตัวให้ความร้อนเพื่อให้แผ่นซิลด์ละลายกลายเป็นกาวยึดติดกระจกนำไฟฟ้าทั้งสองเข้าไว้ด้วยกัน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ที่ 100–120 $^{\circ}\text{C}$ ต่อจากนั้นเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้าไปในช่องว่างระหว่างแผ่นกระจกนำไฟฟ้าระหว่างพื้นที่เซลล์ทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 2.7 (ข) และปิดทับช่องว่างด้วยซิลิโคนเพื่อลดการระเหยของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ก็จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เสร็จสมบูรณ์ จากนั้นจะนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

การทดลองของกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยเทคนิคการพิมพ์สกรีนได้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง แต่ละการทดลองได้ศึกษาตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มจากการทดลองที่ 1 และ 2 ได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนและคุณสมบัติการดูดซับโมเลกุลสีย้อมไวแสงของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์จากสองแหล่งที่มาคือ NECTEC และ Solaronix ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองถัดไป

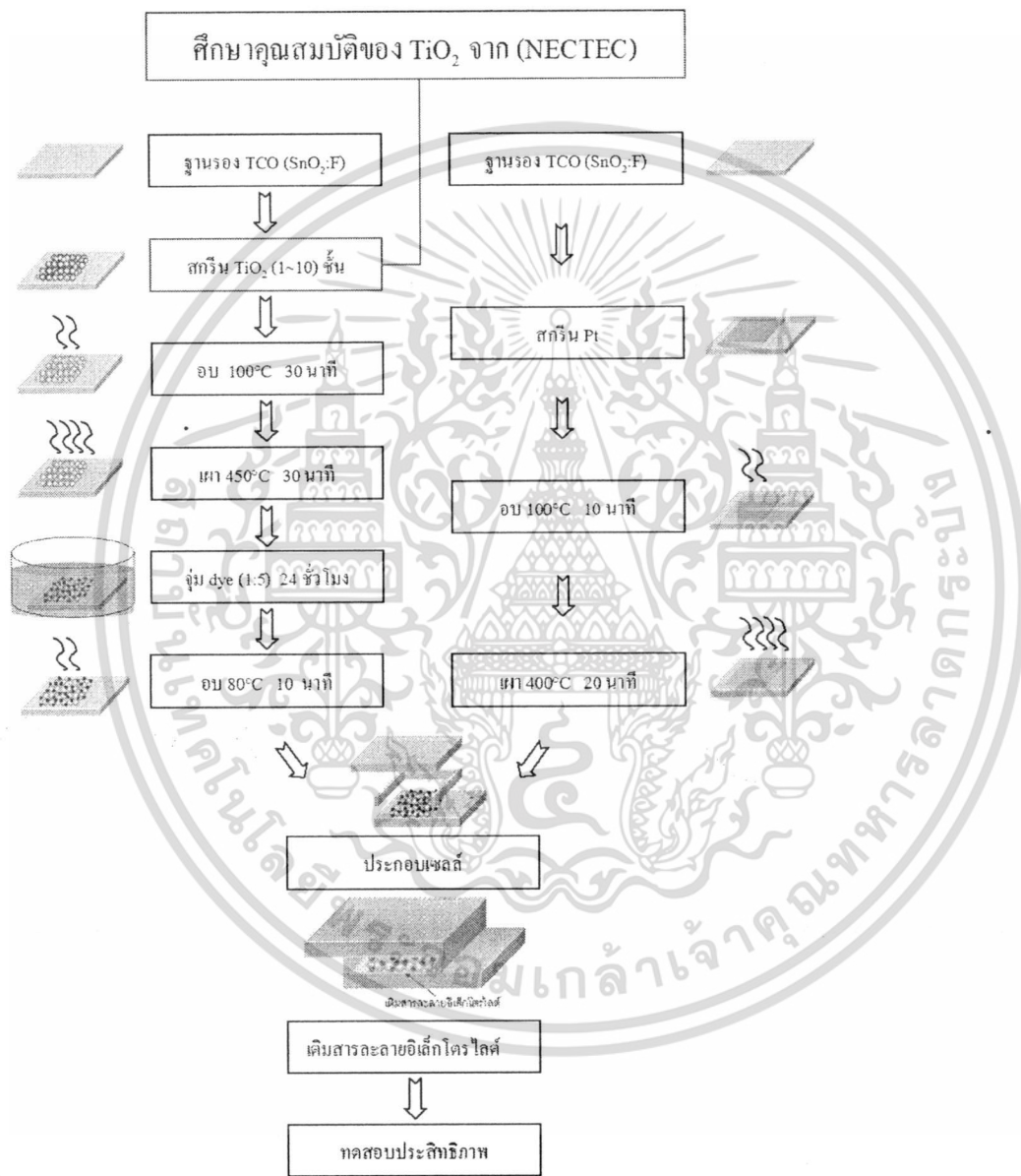


รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ส่วนการทดลองที่ 3 ได้ศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (Dye) ชนิด (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) เพื่อต้องการทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และการทดลองที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์หลังจากการพิมพ์สกรีน เพื่อไล่ความชื้นและลดปัญหารอยแตกร้าวของฟิล์มที่เกิดจากการนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง

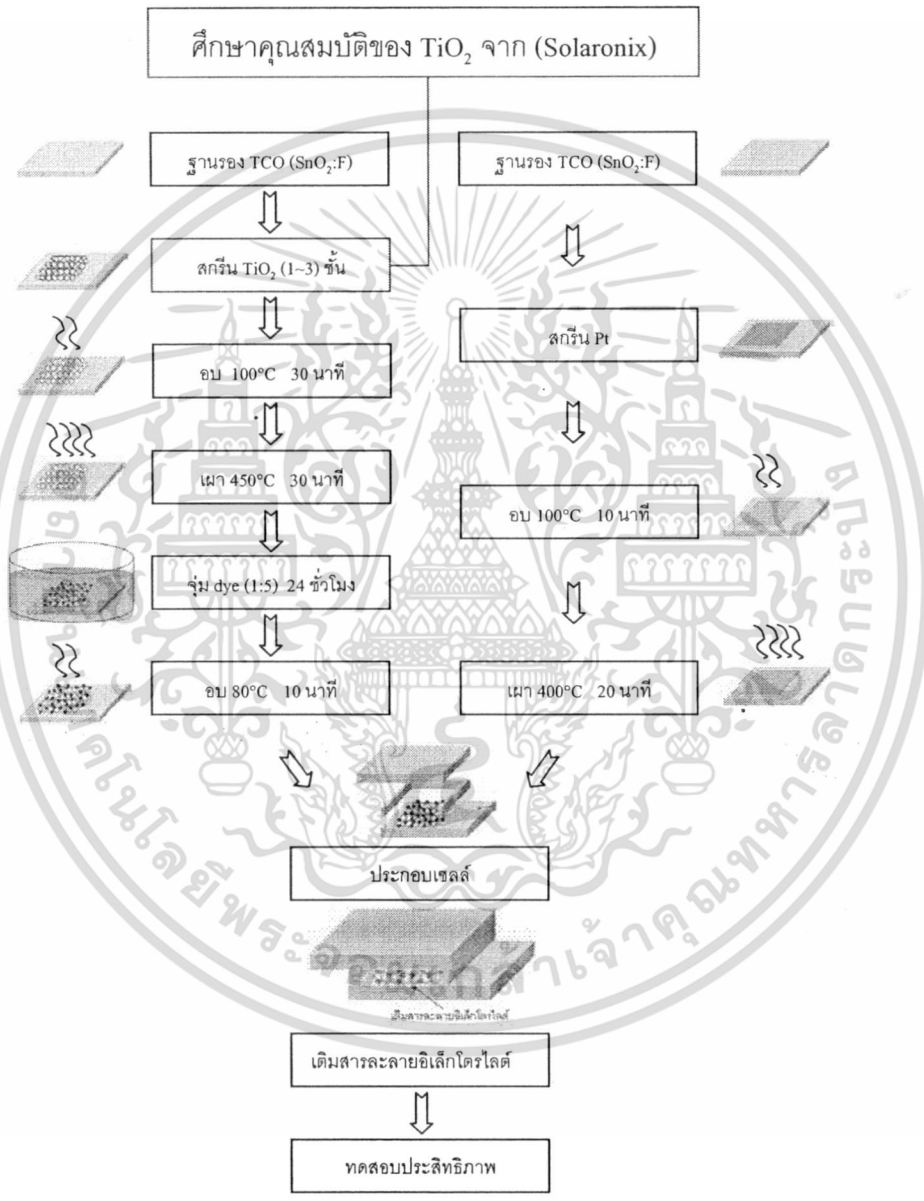
ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สารเคมีสำเร็จรูปพร้อมใช้งานจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NECTEC) ประกอบด้วย ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และแพลททินัม โซล-เจล นอกเหนือจากนั้น ก็จะมีไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล, สีย้อมไวแสง (N719), แผ่นซีลด์ (Sealant sheet), จากบริษัท Solaronix

การทดลองที่ 1 โดยสกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนฐานรอง TCO ความหนา (1~10) ชั้น เพื่อต้องการทราบคุณสมบัติของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และความหนาของฟิล์มต่อการดูดซับโมเลกุลสีย้อมไวแสง ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 1)

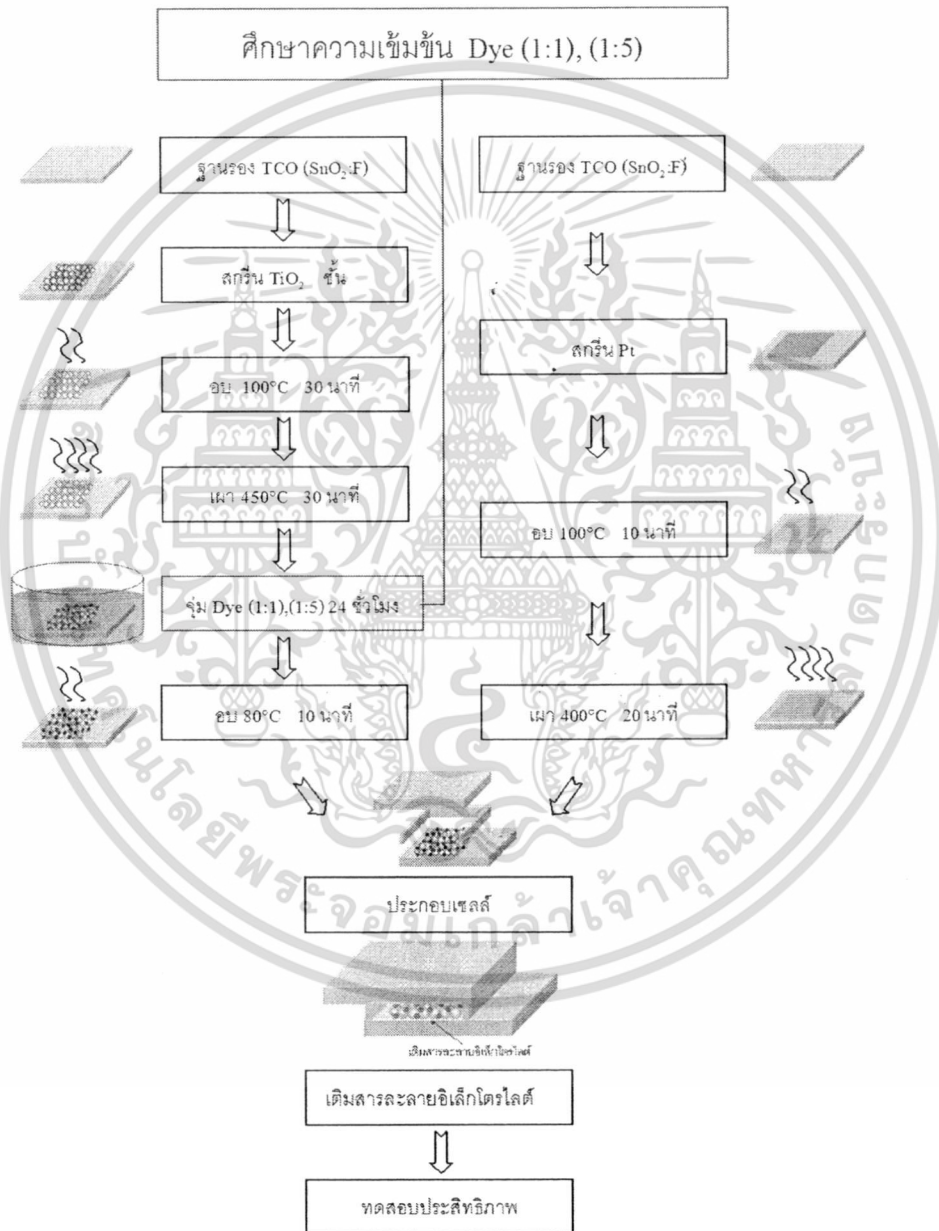
การทดลองที่ 2 ศึกษาคุณสมบัติของ TiO_2 จาก Solaronix โดยวัสดุอื่นยังคงเดิม สกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนฐานรอง TCO ความหนา (1~3) ชั้น เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ไซล-เจลทั้งสอง ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 2)

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง Dye ชนิด (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลาย เอนอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix เพื่อต้องการทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.10

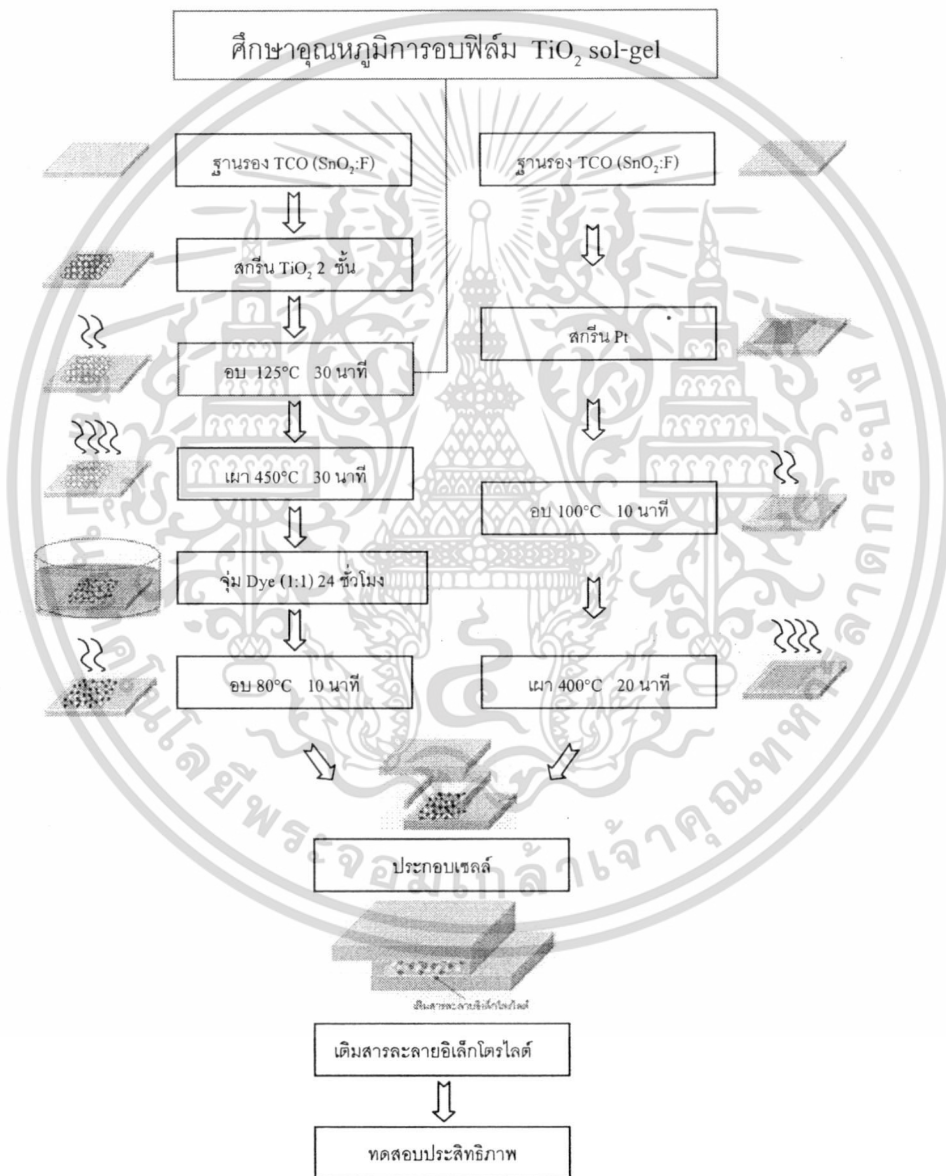


รูปที่ 2.10 ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิการอบฟิล์ม TiO_2 sol-gel โดยการทดลองนี้ได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ โซล-เจล จาก Solaronix เงื่อนไขการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขคือ

1. อบที่อุณหภูมิ 100°C หลังการสกรีนแต่ละครั้งและหลังจากสกรีนชั้นสุดท้ายแล้วอบที่ 100°C ต่อเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C
2. อบที่อุณหภูมิ 125°C หลังการสกรีนแต่ละครั้งและหลังจากสกรีนชั้นสุดท้ายแล้วอบที่ 125°C ต่อเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C



รูปที่ 2.11 ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

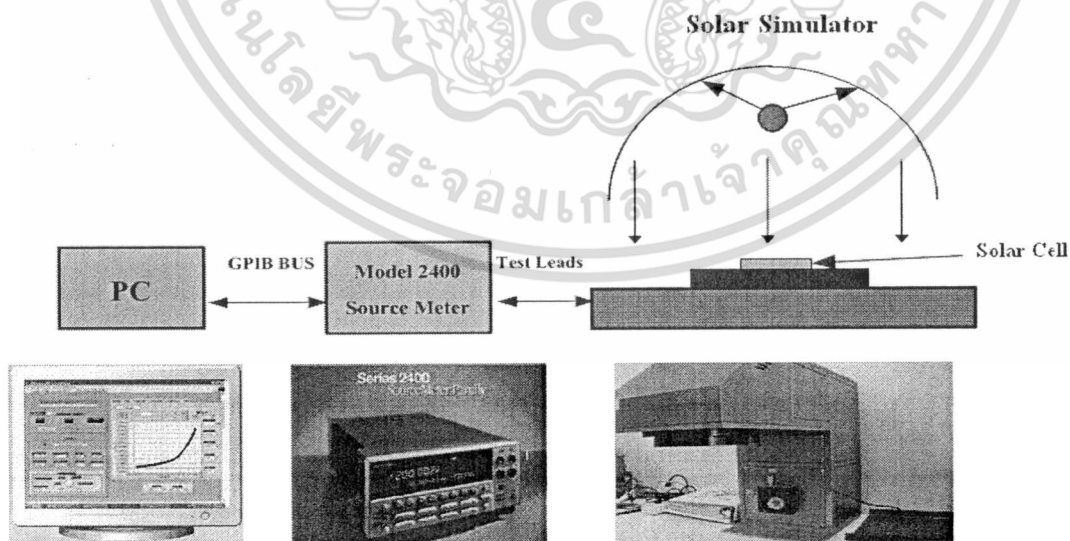
การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงอาทิตย์จำลองจากหลอด Xenon lamp สเปกตรัมของแสงที่ใช้คือ AM 1.5 ก่อนทำการวัดทุกครั้งจะทำการสอบเทียบ เพื่อให้ได้กำลังแสงที่ตกกระทบพื้นที่เซลล์ที่ 100 mW/cm^2 โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอนเป็นเซลล์อ้างอิง ซึ่งเซลล์อ้างอิงที่ใช้นี้ได้ผ่านการวัดประสิทธิภาพจากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) การวัดคุณสมบัติ I-V โดยการไบอัสเซลล์แสงอาทิตย์และวัดกระแสแสงของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เครื่อง Keithley digital source meter model 2400 ต่อระบบอินเตอร์เฟซกับเครื่องคอมพิวเตอร์ และควบคุมการทำงานผ่านทางโปรแกรมแบบจำลอง Labview® แสดงดังรูปที่ 2.12

2.4 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

ในการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ของงานวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพเป็นหลักเพราะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำหรับนำไปใช้เป็นดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงที่ดี นอกจากนี้แล้วจำเป็นต้องวิเคราะห์สมบัติทางแสงของโมเลกุลสีย้อมเพื่อที่จะนำไปใช้เป็นขั้วไฟฟ้าโฟโตในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.4.1 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

การศึกษาภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ของคุณยบริการเครื่องมือเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Thai Microelectronics Center : TMEC)



รูปที่ 2.12 ระบบวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)

การศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ศึกษาโดยใช้เครื่อง AFM ของวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล (DSTAR) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.4.3 เครื่อง Step Profile

การศึกษาความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์โดยใช้เครื่อง Step Profile ของสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC)

2.4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางแสง

การศึกษาสมบัติทางแสงในงานวิจัยนี้ศึกษาโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Helios Alpha UV-Vis spectrophotometer ของบริษัท Thermo Electron) ของศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อศึกษาค่าดูดกลืนแสงของโมเลกุลสีย้อมไวแสงโดยใช้ความยาวคลื่นในช่วง 400 – 750 นาโนเมตร

บทที่ 3 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

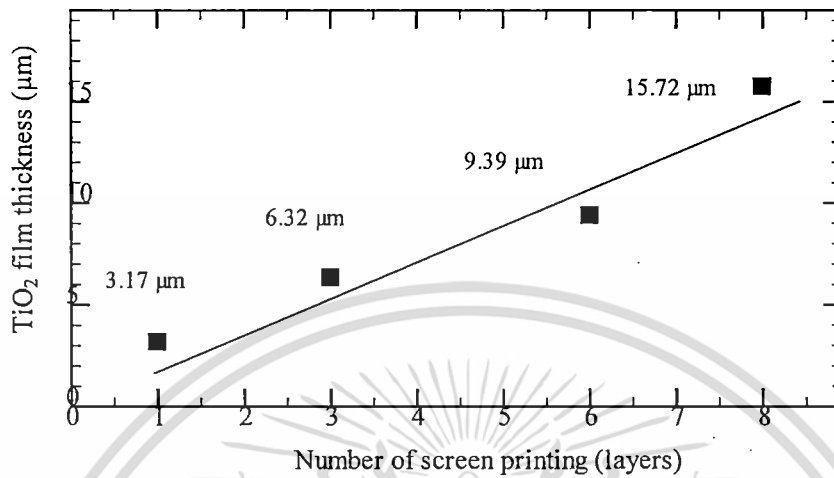
ผลการทดลองของกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยเทคนิคการพิมพ์สกรีน ถูกแบ่งออกเป็น 4 ผลการทดลอง แต่ละผลการทดลองได้ศึกษาตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการทดลองที่ 1 และ 2 ได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากแหล่งผลิตต่างกัน การทดลองที่ 3 และ 4 ได้ศึกษาความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงและอุณหภูมิของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.1 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก NECTEC

เนื่องจากความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการพิมพ์สกรีน ไทเทเนียมไดออกไซด์ (1-10) ชั้น และนำผลที่ได้ไปวัดวิเคราะห์ความหนาของฟิล์ม ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และ พื้นผิวของฟิล์มบาง อย่างไรก็ตามในการทดลองที่ 1 ได้ใช้สารเคมีสำเร็จรูปพร้อมใช้งานจาก NECTEC

3.1.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

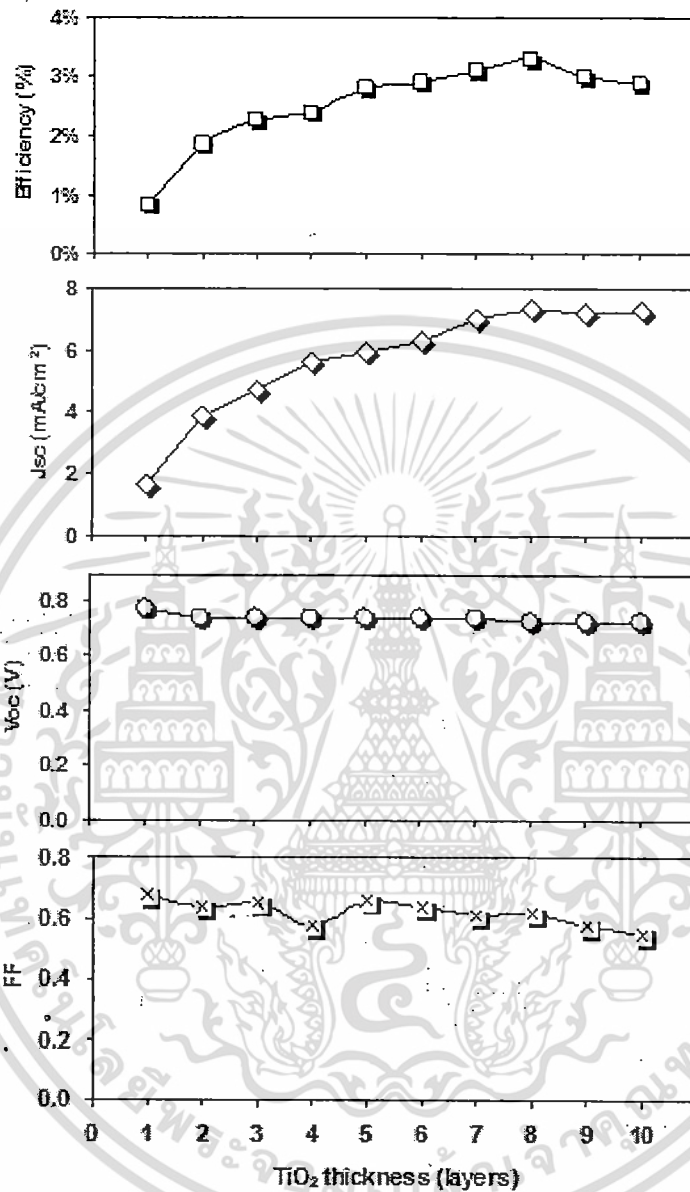
รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนโดยใช้เครื่อง Step profile ในการวัดความหนาของฟิล์ม โดยนำตัวอย่างชิ้นงานที่สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1 ชั้น 3 ชั้น 6 ชั้น และ 8 ชั้นไปวัดความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งผลที่ได้คือ 3.17 μm , 6.32 μm , 9.39 μm และ 15.72 μm ตามลำดับ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนการพิมพ์สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อจำนวนครั้งการพิมพ์สกรีนเพิ่มมากขึ้น ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้า [1]



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂ sol-gel จาก NECTEC)

3.1.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.2 (ก) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้แล้ว ยังพบว่าประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดที่ได้คือ 3.28% ที่ความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 8 ชั้น (ตารางที่ 3.1) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพจะเริ่มลดลงในชั้นที่ 9 และ 10 ตามลำดับจากรูปที่ 3.2 (ข) กระแสลัดวงจรเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมไวแสงไปยึดเกาะกับอนุภาคของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เพิ่มมากขึ้น [2] การดูดกลืนแสงของโมเลกุลสีย้อมไวแสงจึงมากขึ้นก็สามารถเกิดอิเล็กตรอนได้เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ จากตารางที่ 3.1 กระแสลัดวงจร (Jsc) ที่ทำได้สูงที่สุดคือ 7.31 mA/cm² ที่ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 8 ชั้น และลดลงในชั้นที่ 9 และ 10 เพราะทำให้เกิดการรวมตัว (recombination) อิเล็กตรอน (e⁻) กับโฮล (h⁺) ในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ [2] เมื่อความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นระยะเวลาในการเดินทางของอิเล็กตรอนจากอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์มายังกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงก็จะมากขึ้นด้วย ดังนั้นโอกาสที่อิเล็กตรอนจะรวมตัวกับโฮลก็จะมีปริมาณที่มากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้อิเล็กตรอนเดินทางมายังกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงมีปริมาณลดลง ทำให้กระแสลัดวงจรและประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 3.2 (ค) แรงดันวงจรเปิดมีการเปลี่ยนของระดับแรงดันค่อนข้างลดลงเมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้จะเกิดจากความต้านทานของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์หนาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.2 ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จาก NECTEC) (ก) ประสิทธิภาพ (Efficiency) (ข) กระแสลัดวงจร (J_{sc}) (ค) แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) และ (ง) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)

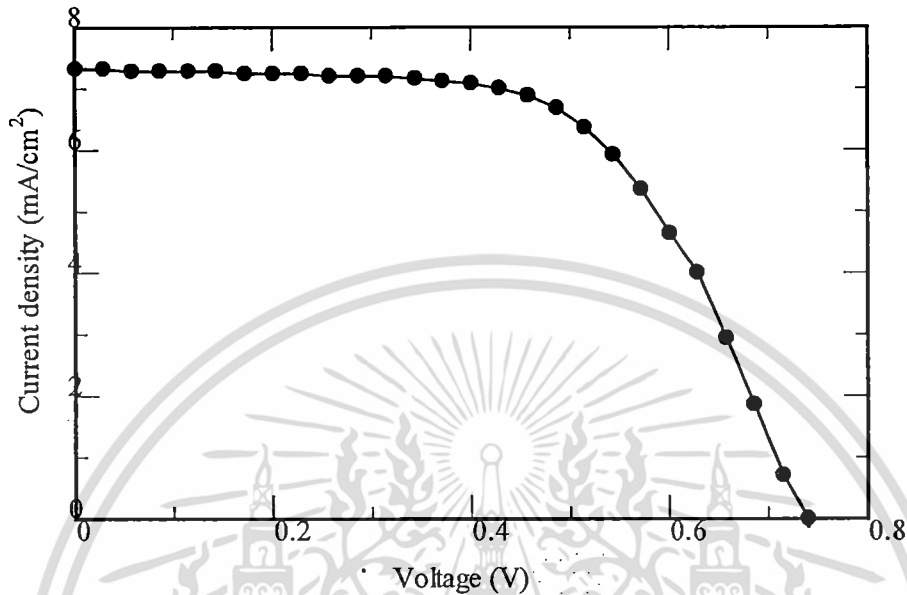
นอกจากนี้ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างลดลงเช่นกันเมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 3.2 (ง)) ทั้งนี้เกิดจากความต้านทานของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่หนามากขึ้น ซึ่งผลของพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลองที่ผ่านมามีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์ไปแล้วก่อนหน้านี้ [1-3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 3.28% กระแสลัดวงจร (Jsc) เท่ากับ 7.31 mA/cm² แรงดันวงจรเปิด (Voc) เท่ากับ 0.73V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.61 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm² ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 15.72 μm (รูปที่ 3.3)

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO₂ sol-gel; NECTEC)

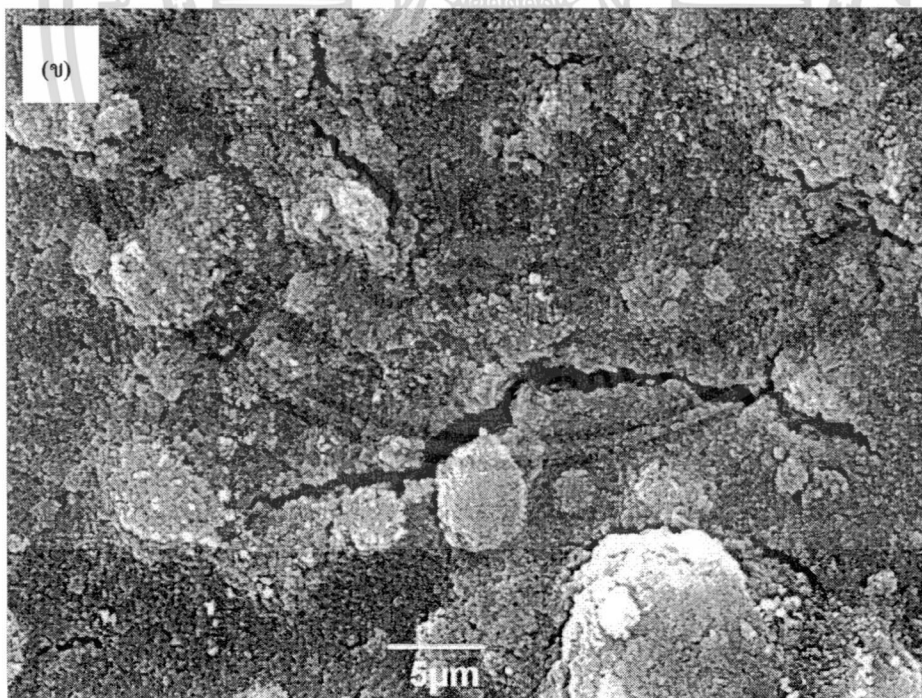
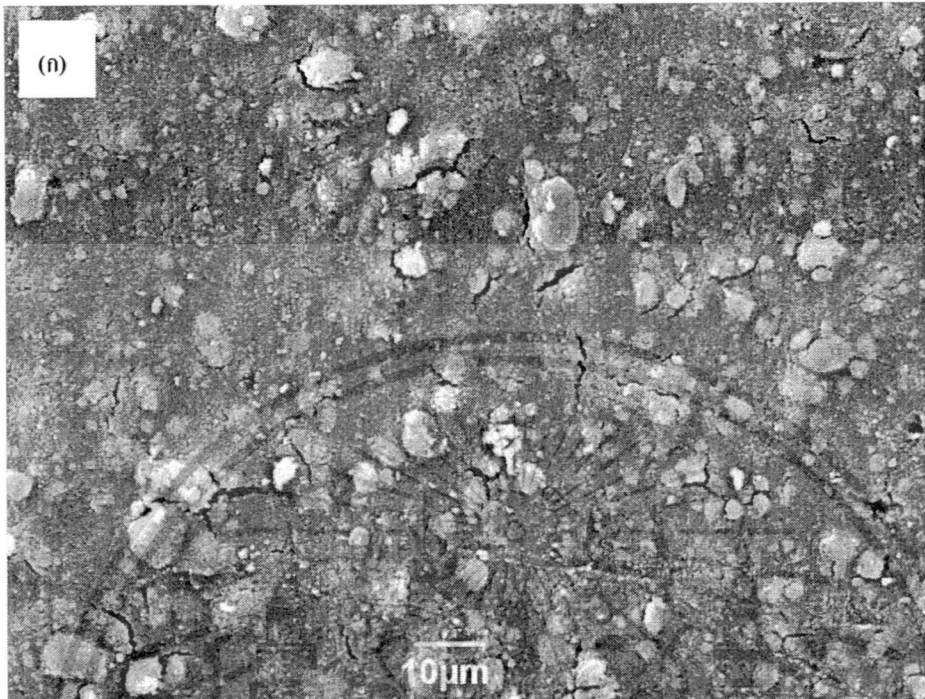
TiO ₂ thickness (layers)	Voc (V)	FF	Jsc (mA/cm ²)	Eff (%)
1	0.77	0.67	1.62	0.85
2	0.74	0.63	3.89	1.84
3	0.74	0.65	4.75	2.26
4	0.74	0.57	5.61	2.41
5	0.74	0.65	5.94	2.82
6	0.74	0.64	6.29	2.91
7	0.74	0.61	7.01	3.11
8	0.73	0.61	7.31	3.28
9	0.72	0.57	7.23	3.01
10	0.72	0.55	7.25	2.89



รูปที่ 3.3 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จาก NECTEC)

3.1.3 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที บนฐานรองกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงมาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 3.4 ทั้ง (ก) และ (ข) พบว่า พื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ของ NECTEC พบว่ามีรอยแตกร้าวของฟิล์มเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงกับฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่เท่ากันเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูง ปัญหาดังกล่าวทำให้การเกาะเกี่ยวกันของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ขาดความต่อเนื่อง ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อเส้นทางของอิเล็กตรอนจากไทเทเนียมไดออกไซด์ไปยังขั้วไฟฟ้าได้ยากขึ้น ทำให้ปริมาณกระแสลดลง นอกจากนี้แล้วยังเกิดการระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นก้อนๆ การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ปัญหาดังกล่าวนี้อาจทำให้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงได้น้อยลง ดังนั้นประสิทธิภาพ (Eff) เซลล์แสงอาทิตย์จึงค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา $15.72 \mu\text{m}$ จาก NECTEC
(ก) ที่อัตราขยาย 1,000 เท่า (ข) ที่อัตราขยาย 2,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

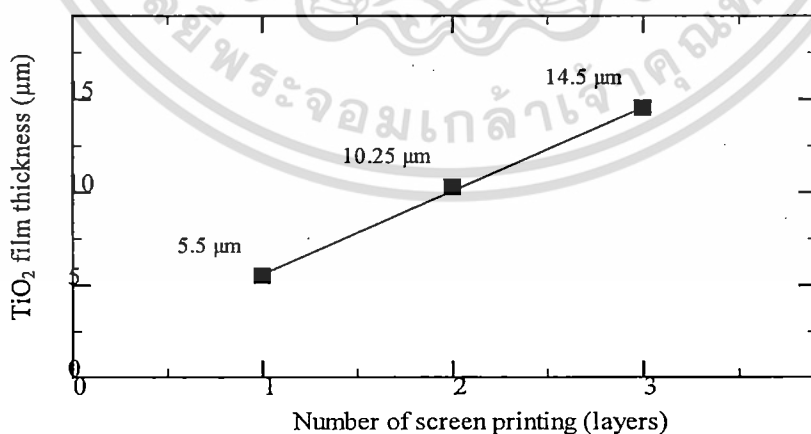
3.2 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix

ในการทดลองที่ 2 มีความเหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่ได้เปลี่ยนวัสดุในการทดลองจากไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก NECTEC เปลี่ยนมาใช้จากบริษัท Solaronix ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และพื้นที่ผิวของฟิล์มบาง โดยความหนาของฟิล์มที่เหมาะสมคือ (1-3) ชั้น นอกจากนี้แล้วผู้วิจัยต้องการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล ทั้งสองแหล่งที่มา

3.2.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน โดยนำตัวอย่างชิ้นงานที่สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้นไปทำการวัดความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลที่ได้คือ 5.5 μm , 10.25 μm และ 14.5 μm ตามลำดับ ดังจะเห็นได้ว่าความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จากบริษัท Solaronix มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนการพิมพ์สกรีนเช่นเดียวกับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จาก NECTEC ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ [1]

อย่างไรก็ตามผลจากการวัดความหนาทำให้ทราบว่า การสกรีนแต่ละครั้งของไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้ง 2 มีความหนาของฟิล์มที่ไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จาก NECTEC มีความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่ำจึงจำเป็นต้องสกรีนหลายครั้งถึงจะได้ความหนาที่ต้องการ ในขณะที่ไทเทเนียมไดออกไซด์จากบริษัท Solaronix มีความเข้มข้นสูงมากสกรีนไม่กี่ครั้งก็ได้ความหนาตามที่ต้องการ

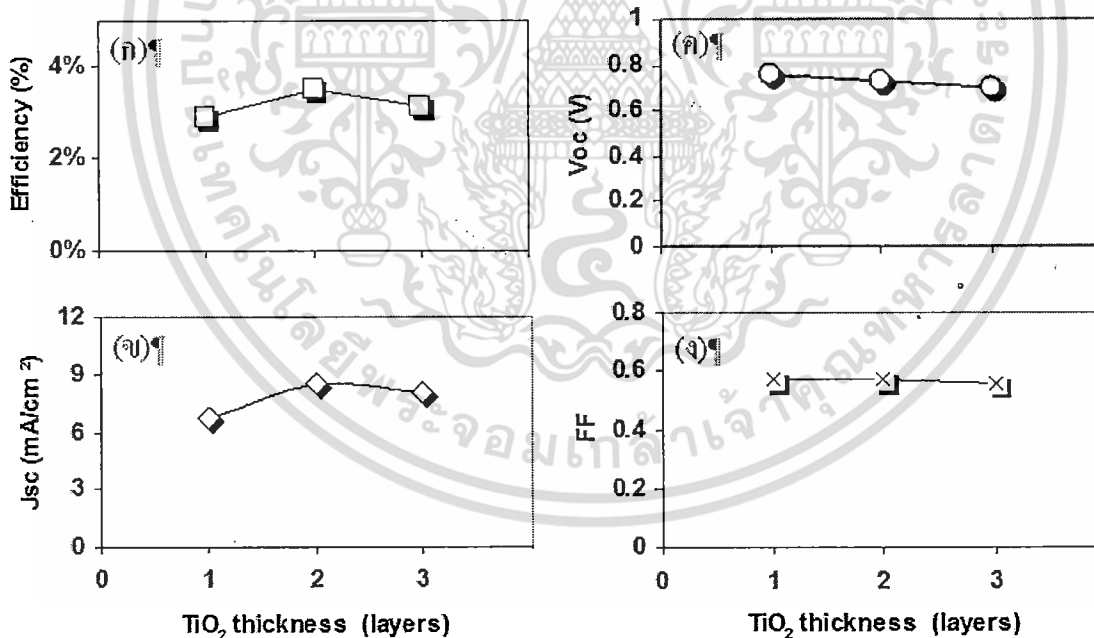


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂ sol-gel จากบริษัท Solaronix)

3.2.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปที่ 3.6 (ก) พบว่าประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดที่ได้คือ 3.52% ที่ความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 2 ชั้น (ตารางที่ 3.2) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพลดลงในชั้นที่ 3 จากรูปที่ 3.6 (ข) กระแสลัดวงจรเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมไวแสงไปยึดเกาะกับอนุภาคของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เพิ่มมากขึ้นก็สามารถเกิดอิเล็กตรอนได้เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 กระแสลัดวงจร (J_{sc}) ที่ทำได้สูงที่สุดคือ 8.53 mA/cm^2 ที่ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น และลดลงในชั้นที่ 3 เพราะว่าการรวมตัว (recombination) อิเล็กตรอน (e^-) กับโฮล (h^+) ในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ จากรูปที่ 3.6 (ค) แรงดันวงจรเปิดมีการเปลี่ยนของระดับแรงดันค่อนข้างลดลง เมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นทั้งนี้อาจเกิดจากความต้านทานของฟิล์มหนามากขึ้น จากรูปที่ 3.6 (ง) ค่าฟิลล์แฟกเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากความต้านทานของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่หนามากขึ้น [1-3]



รูปที่ 3.6 ผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จากบริษัท Solaronix)
 (ก) ประสิทธิภาพ (Efficiency) (ข) กระแสลัดวงจร (J_{sc}) (ค) แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) และ
 (ง) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)

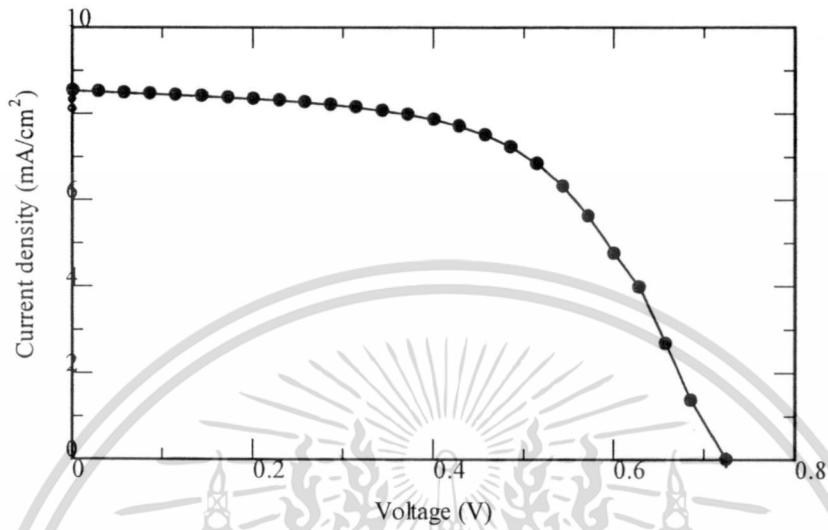
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO₂ sol-gel; Solaronix)

TiO ₂ thickness (layers)	Voc (V)	FF	Jsc (mA/cm ²)	Eff (%)
1	0.75	0.57	6.72	2.91
2	0.72	0.56	8.53	3.52
3	0.70	0.55	8.05	3.13

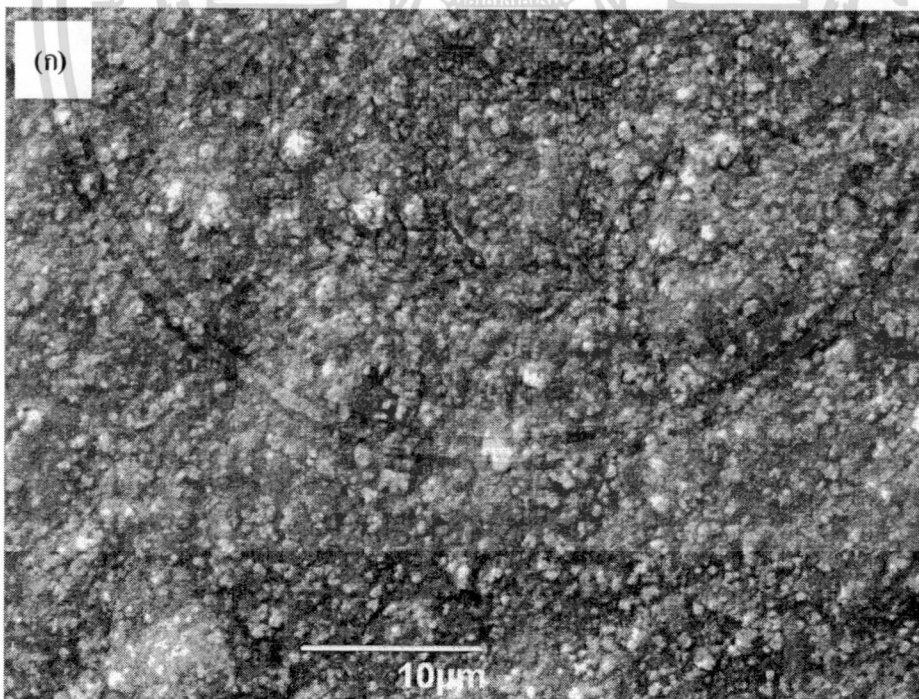
นอกจากนี้ จากรูปที่ 3.7 พบว่าประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 3.52% กระแสลัดวงจร (Jsc) เท่ากับ 8.53 mA/cm² แรงดันวงจรเปิด (Voc) เท่ากับ 0.72V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.61 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm² ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 10.25 μm

3.2.3 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที บนฐานรองกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงมาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 3.8 ทั้ง (ก) และ (ข) พบว่า พื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ของบริษัท Solaronix ยังมีทั้งรอยแตกร้าวของฟิล์ม และยังเกิดการกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นก้อนๆกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ พบว่าทั้งรอยแตกร้าวของฟิล์มและการกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด นั้นหมายความว่าอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เกาะเกี่ยวกันอย่างต่อเนื่องไม่เกิดช่องว่างและสามารถที่จะดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การเดินทางของอิเล็กตรอนในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีความต่อเนื่องขึ้น ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จึงเพิ่มสูงขึ้นเป็น 3.52%

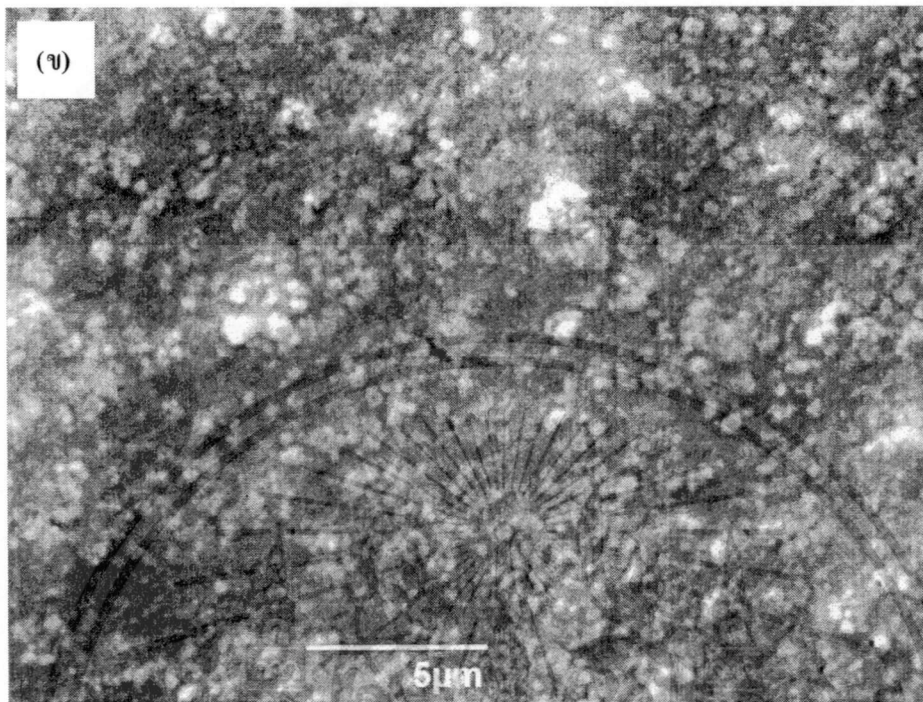


รูปที่ 3.7 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (TiO_2 sol-gel จาก Solaronix)



รูปที่ 3.8 (หน้าถัดไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา $10.25 \mu\text{m}$ จาก Solaronix (ก) ที่อัตราการขยาย 1,000 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 2,500 เท่า

3.3 การศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลาย เอทานอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดลองที่ 3 ได้นำผลจากการทดลองก่อนหน้านี้มาใช้คือใช้ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น จากบริษัท Solaronix โดยการทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้น Dye ชนิด (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) เพื่อต้องการทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

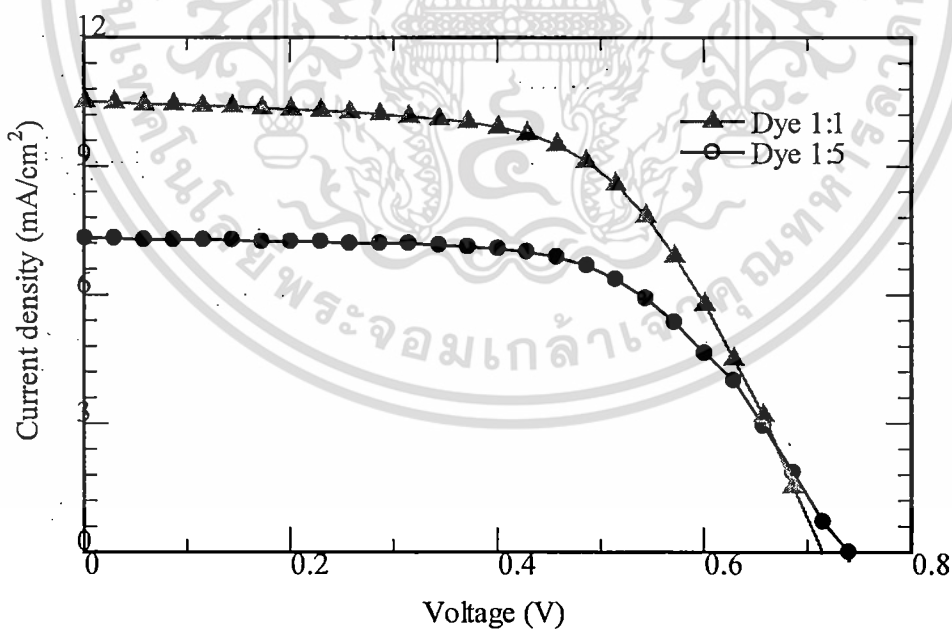
จากข้อมูลตารางที่ 3.3 เป็นความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงต่อตัวทำละลายเอทานอลที่อัตราส่วน (1:1) และ (1:5) โดยที่ความเข้มข้นต่ำ (1:5) จะมีความหนาแน่นของสีย้อมไวแสงน้อยทำให้โอกาสที่โมเลกุลของสีย้อมไวแสงจะไปเกาะกับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงน้อยลงไปด้วย ดังนั้นประสิทธิภาพที่ได้จึงไม่สูงมากนัก คือ 3.58% อย่างไรก็ตามเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนความเข้มข้นเป็น (1:1) นั้นคือจะมีความหนาแน่นของสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่โมเลกุลของสีย้อมไวแสงจะไปเกาะกับ

อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงมากขึ้น ประสิทธิภาพที่ได้จึงเพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.34%

จากรูปที่ 3.9 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มข้นสีย้อมไวแสงแตกต่างกัน พบว่าที่ความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (1:1) มีประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 4.34 % กระแสลัดวงจร (Jsc) เท่ากับ 10.2 mA/cm^2 แรงดันวงจรเปิด (Voc) เท่ากับ 0.71 V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.60 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm^2 ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ $10.25 \text{ }\mu\text{m}$

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (Dye 1:1, 1:5)

Dye concentration	TiO ₂ thickness (layers)	Voc (V)	FF	Jsc (mA/cm ²)	Eff (%)
1:1	2	0.71	0.60	10.2	4.34
1:5	2	0.72	0.56	8.53	3.52



รูปที่ 3.9 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความแตกต่างความเข้มข้นของโมเลกุลสีย้อมไวแสง

3.4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล เพื่อไล่ความชื้นออกจากฟิล์ม ลดรอยแตกร้าวจากการเผาที่อุณหภูมิสูง

เนื่องจากฟิล์มที่ได้หลังจากการพิมพ์สกรีนแต่ละครั้งนั้นจะมีความชื้นค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาอุณหภูมิของการอบแต่ละครั้งหลังการพิมพ์สกรีนก่อนที่จะนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 450°C เพื่อลดปัญหาการแตกร้าวของฟิล์มที่จะเกิดขึ้นหลังจากการเผาโดยแบ่งเงื่อนไขการทดลองเป็น 2 เงื่อนไข

- 1.อบที่อุณหภูมิ 100°C หลังการพิมพ์สกรีนแต่ละครั้ง และหลังจากการพิมพ์สกรีนครั้งสุดท้ายแล้วอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C เป็นเวลา 30 นาที
- 2.อบที่อุณหภูมิ 100°C หลังการพิมพ์สกรีนแต่ละครั้ง และหลังจากการพิมพ์สกรีนครั้งสุดท้ายแล้วอบที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C เป็นเวลา 30 นาที

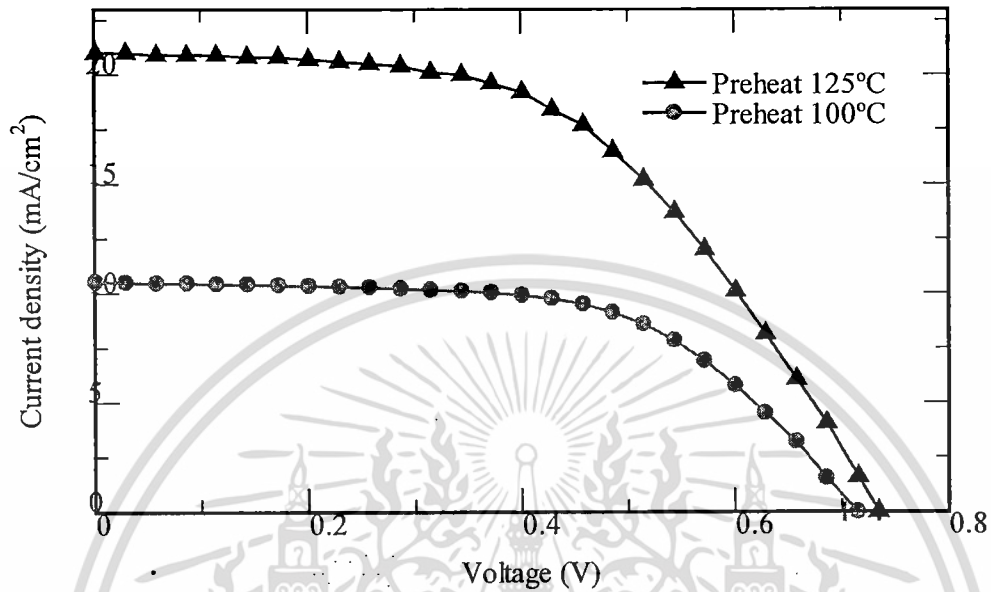
3.4.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาอุณหภูมิของการอบฟิล์ม ที่ 100°C และ 125°C (ตารางที่ 3.4) พบว่า ประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญจาก 4.34% เป็น 8.09% อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุใด ดังนั้นได้ตั้งสมมติฐานของการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพว่าน่าจะเกิดจากการที่อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 30 นาทีนั้นเปรียบได้กับการ annealed ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ นอกจากนี้แล้วผลจากการ annealed เข้าใจว่าเกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นระเบียบและมีความต่อเนื่องเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเดินทางของอิเล็กตรอนบนอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงมีค่าสภาพคล่อง (mobility) เพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก จึงส่งผลให้กระแสลัดวงจร (J_{sc}) เพิ่มขึ้นจาก 10.2 mA/cm^2 เป็น 21 mA/cm^2

จากรูปที่ 3.10 ที่สภาวะของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 125°C พบการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจรได้ชัดเจน โดยพบว่า ประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดของเซลล์ที่ได้เท่ากับ 8.09 % กระแสลัดวงจร (J_{sc}) เท่ากับ 21 mA/cm^2 แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) เท่ากับ 0.73 V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.52 บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm^2 ที่ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 10.25 μm

ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ (Preheat 100°C, 125°C)

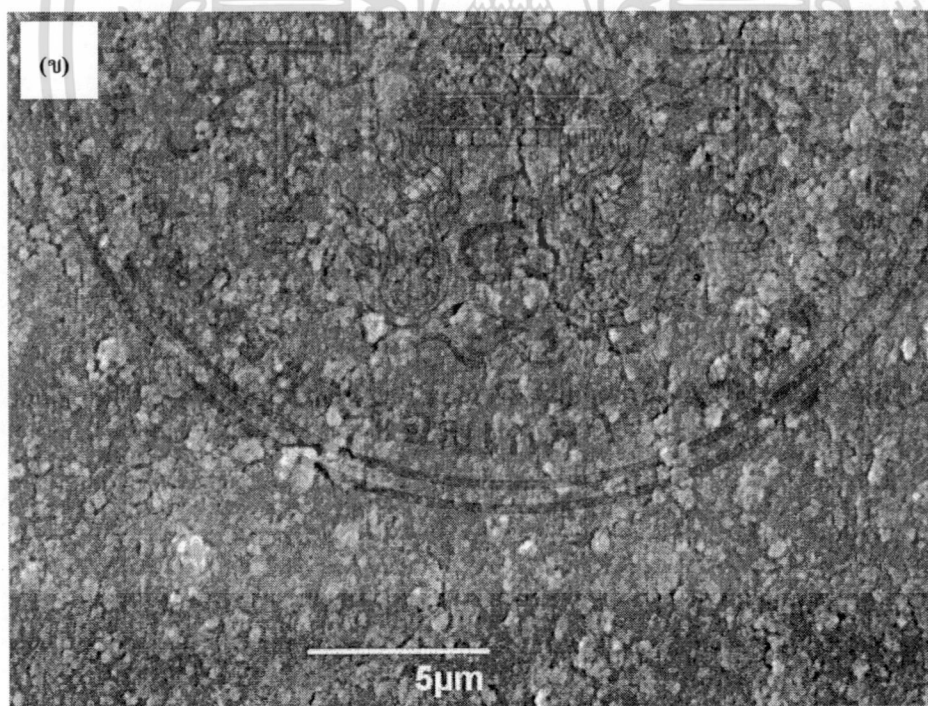
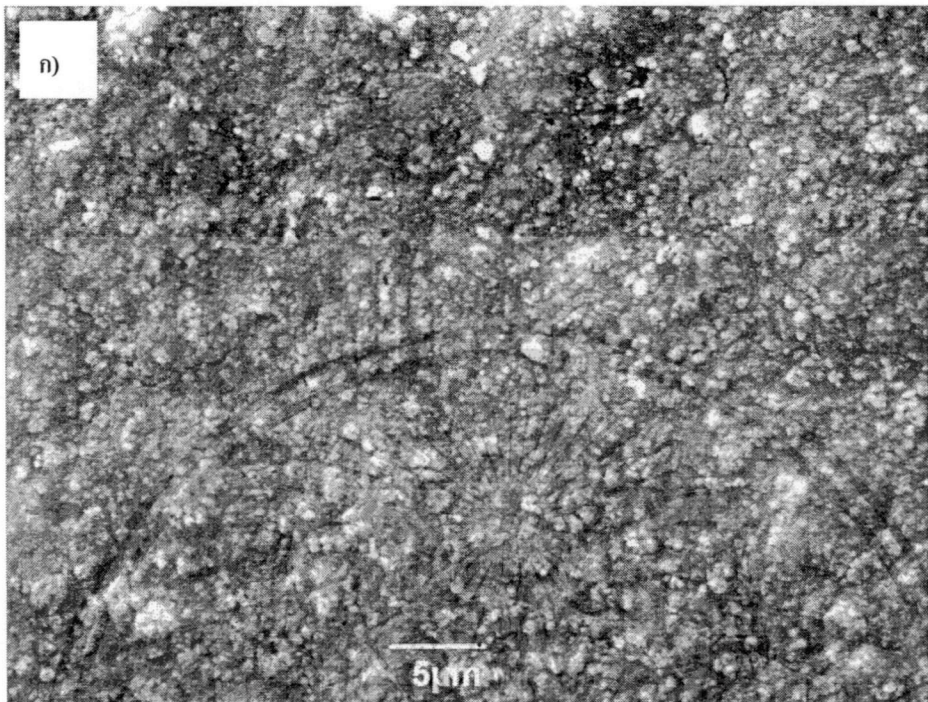
Preheat (°C)	TiO ₂ thickness (layers)	V _{oc} (V)	FF	J _{sc} (mA/cm ²)	Eff (%)
100	2	0.71	0.60	10.2	4.34
125	2	0.73	0.52	21.0	8.09



รูปที่ 3.10 คุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความต่างของอุณหภูมิในการอบ

3.4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน อบที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C เป็นเวลา 30 นาที เผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที มาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 3.11 เมื่อเปรียบเทียบทั้ง (ก) และ (ข) พบว่าพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด การกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นก้อนๆ การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอลดลงอย่างมากเมื่อ annealed ที่อุณหภูมิ 125°C และนี่อาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่สามารถยืนยันการเพิ่มขึ้นของกระแสตรงได้ดีเป็นอย่างดี ถึงอย่างไรก็ตามฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ก็ยังคงมีร่องรอยของรอยแตกร้าวปรากฏให้เห็นอยู่



รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ความหนา $10.25 \mu\text{m}$ จาก Solaronix ที่ อัตราการขยาย 5,000 เท่า (ก) อบที่อุณหภูมิ 100°C (ข) อบที่อุณหภูมิ 125°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Ito, P. Chen, P. Comte, M. K. Nazeeruddin, P. Liska, P. Pechy and M. Gratzel
“Fabrication of Screen-Printing Pastes From TiO_2 Powders for Dye-Sensitized Solar Cells.” *Prog. Photovolt: Res. Appl.* **15** (2007), 603-612.
- [2] I. Shin, H. Seo, M-K. Son, J-K. Kim, K. Prabakar, H-J. Kim, “Analysis of TiO_2 thickness effect on characteristic of a dye-sensitized solar cell by using electrochemical impedance spectroscopy”, *Current Applied Physics* **10** (2010), S422–S424.
- [3] M. Okuya, K. Nakade, D. Osa, T. Nakano, G.R. A. Kumara, S. Kaneko, “Fabrication of dye-sensitized solar cells by spray pyrolysis deposition (SPD) technique”, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **164** (2004), 167–172

บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุป

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง หรือ ดายเซนซีไทซ์ (Dye-sensitized solar cells; DSSCs) โดยสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน หลักๆ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (ของ Nectec และของ Solaronix) ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน ส่วนที่สองเป็นการศึกษาความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงและ อุณหภูมิของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองที่ผ่านมาสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของการทดลองที่ผ่านมา เห็นได้ชัดเจนว่า สามารถสร้างได้ค่อนข้างง่ายด้วยเทคนิคการพิมพ์สกรีนซึ่งแตกต่างจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพี-เอ็นโดยสิ้นเชิง โดยพบว่าความหนาของชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นนั้นหมายความว่ามีความหนาที่เพิ่มมากขึ้น โมเลกุลของสีย้อมไวแสงไปยึดเกาะกับอนุภาคของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ความหนาที่เหมาะสมสำหรับนำไปสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ในช่วง 10~15 μm นอกจากนี้แล้วความเข้มข้นของโมเลกุลสีย้อมไวแสงต่อตัวทำละลายเอทานอลก็มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกัน โดยที่ความหนาแน่นของสีย้อมไวแสงมาก (1:1) นั้นทำให้ปริมาณของโมเลกุลของสีย้อมไวแสงที่จะไปยึดเกาะกับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีจำนวนมากขึ้น ประสิทธิภาพที่ได้จึงเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนที่จะนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างยิ่ง โดยการอบที่อุณหภูมิ 125 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที เปรียบได้กับการ annealed ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าใจว่าเกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นระเบียบและมีความต่อเนื่องเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเดินทางของอิเล็กตรอนบนอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จึงมีค่าสภาพคล่อง (mobility) เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่ได้จึงเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากเช่นกัน

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดที่ได้ในงานวิจัยนี้ คือ 8.09% (กระแสลัดวงจร: 21 mA/cm^2 , แรงดันวงจรเปิด: 0.73 V และค่าฟิลล์แฟกเตอร์: 0.52) บนพื้นที่เซลล์ 0.25 cm^2

4.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยการศึกษากระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ยังมีอีกหลายตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ตัวแปรดังนี้ (1) การบำบัด (Treatment) โดยใช้ TiCl_4 เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างกระจกนำไฟฟ้าและอนุภาคนาโน

ไทเทเนียมไดออกไซด์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น (2) การลดระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองโดยเปลี่ยนขนาดความหนาของ Sealant sheet จาก 60 μm เป็น 20~25 μm เพื่อลดค่าความต้านของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (3) สิ่งที่เรา mong ชำไปไม่ได้เลยคือความสะอาด เมื่อใดก็แล้วแต่ที่มีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปปะปนอยู่ในเซลล์แสงอาทิตย์สิ่งเหล่านั้นย่อมเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นอย่างมาก ดังนั้นควรจะปฏิบัติงานในห้องที่ควบคุมความสะอาด

