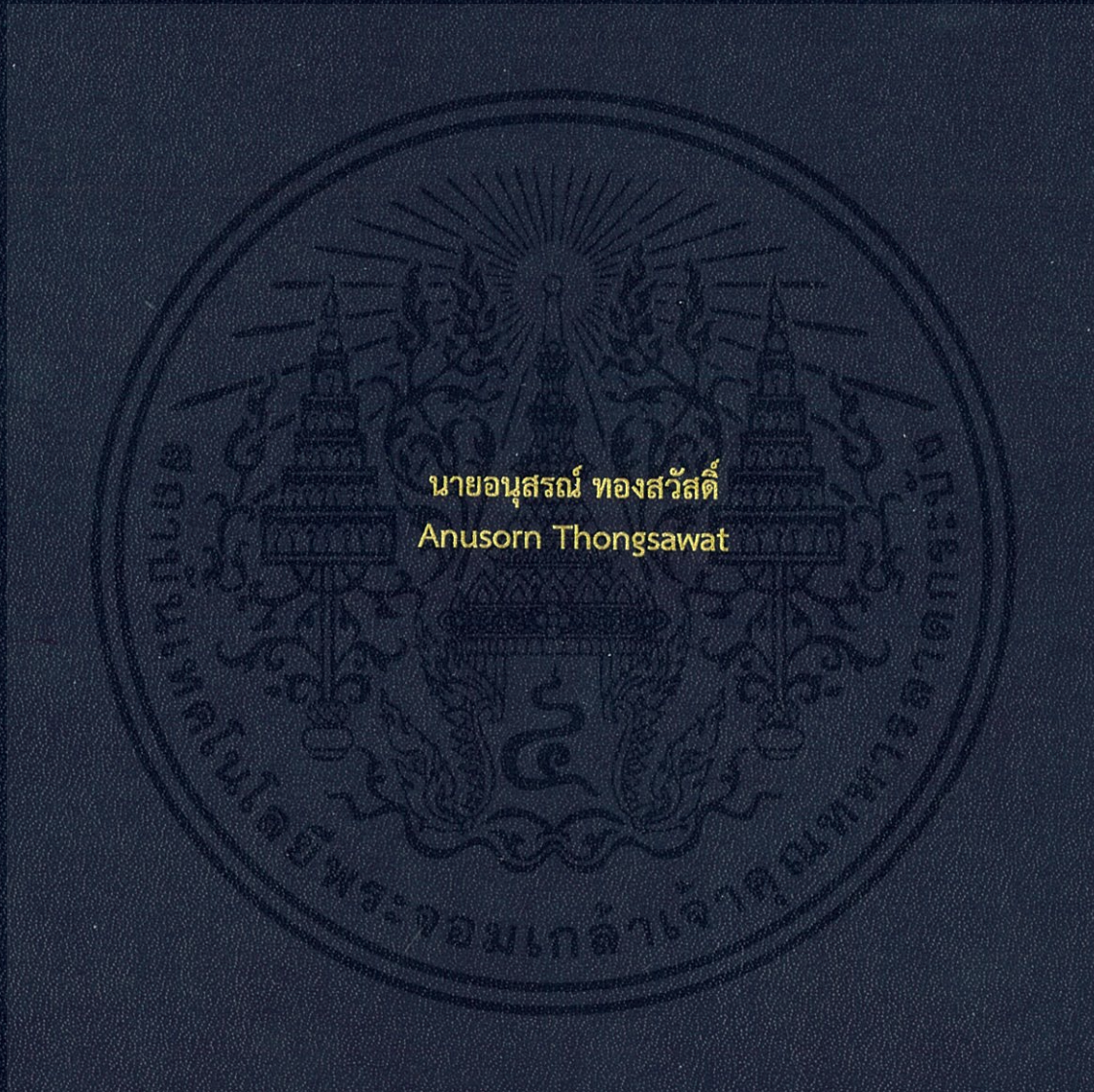


การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธ์ PbS/CdS

Fabrication of PbS/CdS Heterojunction Solar Cells



นายอนุสรณ์ ทองสวัสดิ์
Anusorn Thongsawat

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธ์ PbS/CdS

Fabrication of PbS/CdS Heterojunction Solar Cells



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่ออวิวิรพันธ์ PbS/CdS

Fabrication of PbS/CdS Heterojunction Solar Cells



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ

วิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธ์ PbS/CdS
Fabrication of PbS/CdS Heterojunction Solar Cells

ผู้จัดทำ

นายอนุสรณ์ ทองสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 58011400

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเรียบร้อยแล้ว



(รศ.ดร.สุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธ์ PbS/CdS
นักศึกษา	นายอนุสรณ์ ทองสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 58011400
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	รศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสร้างและการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบางเลดซัลไฟด์ (PbS) ที่มีโครงสร้างแบบ Heterojunction โซลาร์เซลล์ (FTO / TiO₂ / CdS / PbS / Ag) ชั้นของ PbS ถูกเตรียมด้วย Pb(NO₃)₂ และ Na₂S ด้วยวิธี SILAR (successive ionic layer adsorption and reaction) ชั้น TiO₂ ถูกเตรียมจากผงไทเทเนียมโดยวิธีการพิมพ์สกรีน ชั้น CdS ถูกปลูกโดยใช้ CdSO₄ และ NH₂CSNH₂ โดยวิธี CBD (chemical bath deposition) กราฟ IV characteristic ของโซลาร์เซลล์ที่ประดิษฐ์ถูกวัดในที่มืดและภายใต้ความส่องสว่างโดยใช้ 2,400 SourceMeter ผลกระทบของสภาพการเพิ่มขึ้นของแต่ละชั้นเช่นความหนาของ TiO₂ (1, 2 ชั้น), เวลาการปลูกของ CdS และความเข้มข้นของPb(NO₃)₂ and Na₂S (0.05M, 0.10M, 0.15M, 0.20M) บนการศึกษาประสิทธิภาพของ PbS โซลาร์เซลล์ และจากผลการทดลองพบว่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น TiO₂ คือ 2 ชั้น (14.17 um) ความเข้มข้น PbS ที่เหมาะสมสำหรับชั้น PbS คือ 0.20M และเวลาการปลูกฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับชั้น CdS คือ 20 นาที ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้สามารถแปลงประสิทธิภาพของ PbS/CdS โซลาร์เซลล์ได้ 3.54 x 10⁻³%

Thesis Title	Fabrication of PbS/CdS Heterojunction Solar Cells
Student	Mr. Anusorn Thongsawat Student ID 58011400
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Associate.professor Dr. Suttichai Chaisitsak

ABSTRACT

This thesis presents the fabrication and characterization of lead sulfide (PbS) thin film based heterostructure (FTO/TiO₂/CdS/PbS/Ag) solar cells. The PbS absorber layers were deposited using Pb(NO₃)₂ and Na₂S by SILAR (successive ionic layer adsorption and reaction) method. The TiO₂ layers were prepared from titanium powders by a screen-printing method. The CdS layers were deposited using CdSO₄ and NH₂CSNH₂ by a CBD (chemical bath deposition) method. The IV characteristic curves of the fabricated devices were collected in dark and under illumination using 2400 SourceMeter. The effects of growth conditions of each layer such as the thickness of TiO₂ (1, 2 layers), deposition time of CdS and concentration of Pb(NO₃)₂ and Na₂S (0.05M, 0.10M, 0.15M, 0.20M) on the conversion efficiency of PbS solar cells were studied. From experimental results, it was found that the optimum thickness of the TiO₂ layer was 2 layers (14.17 μm), the optimum PbS concentration for PbS layer was 0.20M and the optimal deposition time for CdS layer was 20 minutes. Under the optimal conditions, a 3.54 × 10⁻³ % conversion efficiency of PbS/CdS solar cell was achieved.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทชั้นนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รศ.ดร.สุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้านจนการศึกษาในครั้งนี้บรรลุเป้าหมายได้

ขอกราบขอบพระคุณแก่เหล่าคณาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอมอบความกตัญญูตเวทิตาคุณ แต่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้จัดทำยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

อนุสรณ์ ทองสวัสดิ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 แผนการดำเนินงาน.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	3
2.1.1 ความหมายของเซลล์แสงอาทิตย์.....	3
2.1.2 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.3 การแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า.....	5
2.2 รอยต่อพีเอ็น.....	5
2.3 คุณสมบัติของชั้นพีเออร์ในเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.4 Chemical Bath Deposition (CBD).....	8
2.4.1 ตัวแปรที่มีบทบาทต่อการเตรียมฟิล์มบาง CdS.....	8
2.5 UV/VIS Spectroscopy.....	9
2.6 Scanning Electron Microscope.....	10
2.7 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อผิดพลาดของระบบการวัดตัวต้านทานต่ำ กระแสดตรงด้วยโอห์มมิเตอร์.....	11
2.8 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect).....	15
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	18
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	19
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระจกชิ้นงาน.....	19
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี.....	19
3.2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการสกรีน....	19

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2.2.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ด้วยวิธีอบสารละลายเคมี(CBD)	21
3.2.2.3 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางเลดซัลไฟด์ ด้วย Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR).....	24
3.2.3 ขั้นตอนการสร้างขั้วไฟฟ้าบนชิ้นงาน.....	25
3.3 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	28
4.1 ผลการวัด I-V ของรอยต่อต่างๆ.....	28
4.1.1 ผลการวัด I-V ระหว่าง PbS และขั้วกาวเงิน.....	28
4.1.2 ผลการวัด I-V ระหว่าง CdS และ FTO (Ag/CdS/FTO/Ag).....	29
4.1.3 ผลการวัด I-V ระหว่าง FTO และขั้วกาวเงิน (Ag/FTO/Ag).....	29
4.1.4 ผลการวัด I-V ระหว่าง CdS และ TiO ₂ (FTO) (Ag/CdS/TiO ₂ /FTO/Ag).....	30
4.1.5 ผลการวัด I-V ระหว่าง TiO ₂ และ FTO (Ag/TiO ₂ /FTO/Ag).....	30
4.1.6 ผลการวัด I-V ระหว่าง PbS และ CdS (FTO) (Ag/PbS/CdS/FTO/Ag).....	31
4.2 ผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	31
4.2.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์.....	31
4.2.2 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์.....	33
4.2.3 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	34
4.3 ผลกระทบเวลาในการปลูกฟิล์มของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	37
4.3.1 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์.....	37
4.3.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	38
4.4 ผลกระทบความเข้มข้นของ PbS ที่ความเข้มข้น 0.05M , 0.10M , 0.15M และ 0.20M ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	40
4.4.1 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มเลดซัลไฟด์.....	41
4.4.2 สมบัติทางแสง.....	42
4.4.3 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	43
4.4.4 เซลล์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่า J_{sc} , V_{oc} , FF และ $Efficiency$ ของแต่ละเซลล์ที่ความหนาของไททาเนียมไดออกไซด์ต่างๆ.....	35
4.2 แสดงค่า J_{sc} , V_{oc} , FF และ $Efficiency$ ของแต่ละเซลล์ที่เวลาในการปลูกฟิล์มต่างๆ.....	38
4.3 แสดงค่า J_{sc} , V_{oc} , FF และ $Efficiency$ ของแต่ละเซลล์ที่ค่าความเข้มข้น PbS ต่างๆ.....	44



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แผนภาพกระบวนการ Photovoltaic effect5
2.2	แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบระดับแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำสองชนิดซึ่งมีช่องว่างแถบพลังงานต่างกันก่อนการสร้างรอยต่อ (ก) ระดับพลังงานक्रमกัน (ข) ระดับพลังงานคาบเกี่ยว (ค) ระดับพลังงานแตกต่างกันหมดไม่คาบเกี่ยวกัน.....6
2.3	แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ต่างชนิดกันแบบเอ็นและพี (ก) ก่อนสร้างรอยต่อ (ข) หลังสร้างรอยต่อ.....7
2.4	การทำ Chemical Bath Deposition.....9
2.5	การทำงานของเครื่อง UV/VIS Spectroscopy.....10
2.6	โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (QA International, 2008).....11
2.7	การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์12
2.8	การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์แบบ 4 สาย (4 wires)13
2.9	Current Reversal Method.....14
2.10	แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์15
3.1	โครงสร้างชั้นต่างๆของชิ้นงาน.....18
3.2	สารตั้งต้นของ TiO ₂ sol-gel (ก) Titanium dioxide (ข) Ethyl cellulose (ค) Terpeneol.....19
3.3	ไทเทเนียมไดออกไซด์โซลเจล.....20
3.4	การจัดวางเพื่อทำ CBD.....22
3.5	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....22
3.6	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ).....23
3.7	ลำดับขั้นตอนการทำ SILAR25
3.8	(ก) รูปขวดกาวเงินที่ใช้ในการสร้างขั้วไฟฟ้า (ข) ส่องดูลักษณะกาวเงิน.....25
3.9	ชิ้นงานที่ทำการแบ่งเซลล์เป็น 8 ช่องและสร้างเส้นลวดตัวนำบนชิ้นงาน.....26
3.10	(ก) เครื่องจ่ายกระแสของแสง Solar cell (ข) บริเวณที่ส่องแสงจำแสง Solar cell (ค) เครื่องวัดกระแสและความต่างศักย์ของ Solar cell (ง) หน้าโปรแกรมที่ใช้วัดกราฟ I-V ของ Solar cell.....27
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง PbS และขั้วกาวเงิน.....28
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง CdS และ FTO.....29
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง FTO และขั้วกาวเงิน.....29
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง FTO และ TiO ₂ (FTO).....30
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง TiO ₂ และ FTO.....30
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง PbS และ CdS (FTO).....31
4.7	ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 ชั้น.....32
4.8	ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น.....32
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนา กับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂ , sol-gel).....32
4.10	ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 1 Layer (ก) ที่อัตราขยาย 500 เท่า (ข) ที่อัตราขยาย 1000 เท่า.....33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 2 Layers (ก) ที่อัตราการขยาย 500 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 1000 เท่า.....	34
4.12 (ก)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า J_{sc} (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่าง (ข)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่างๆ (ค)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า FF (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่างๆ (ง)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Efficiency (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่างๆ.....	35-36
4.13 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ที่เวลาในการปลูกฟิล์มที่ 20 นาที (ก) ที่อัตราการขยาย 1000 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 8000 เท่า.....	37
4.14 (ก)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า J_{sc} (เฉลี่ย) และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ (ข)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} (เฉลี่ย) และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ (ค)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า FF (เฉลี่ย) และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ (ง)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Efficiency (เฉลี่ย)และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ.....	39-40
4.15 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางเลดซัลไฟด์อัตราการขยาย 4000 เท่า (ก) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.05M (ข) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.10M (ค) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.15M (ง) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.20M.....	41-42
4.16 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโมเลกุลเลดซัลไฟด์แต่ละความเข้มข้นของโมลเลดซัลไฟด์.....	44
4.17 (ก)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า J_{sc} (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ (ข)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ (ค)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า FF (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ (ง)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Efficiency (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ...45-46	
4.18 กราฟ I-V ของเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรก ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจากการใช้งานในยานอวกาศใน ค.ศ. 1958 และเมื่อเกิดเหตุวิกฤตน้ำมันในต้นทศวรรษที่ 1970 เซลล์แสงอาทิตย์จึงเริ่มได้รับความสนใจในการใช้งานเป็นแหล่งพลังงานทดแทนบนพื้นโลกและเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงแต่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงอาทิตย์ก็สามารถใช้งานได้ทันที เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้นจึงเป็นการประหยัดน้ำมัน และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่มนุษย์ได้มาฟรีและไม่มีสิ้นสุด อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ยาวนานกว่า 20 ปี ดังนั้นเมื่อลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งแรกก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกต่อไป

เมื่อเร็วๆ นี้ควอนตัมดอท (QDs) ได้ดึงดูดความสนใจอย่างมากเพราะเป็นหนึ่งในวัสดุที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการสร้างโซลาร์เซลล์เนื่องจากผลกระทบจากขนาดควอนตัมซึ่งส่งผลให้ระดับพลังงานไม่ต่อเนื่อง สิ่งนี้นำไปสู่การแยกตัวของประจุพาหะที่ดีกว่านาโนคริสตัล ทั้งยังลดความหนาของวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ที่จำเป็นในการดูดซับแสง และในบรรดาวัสดุนาโนเหล่านี้ตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) ซึ่งเป็นเซมิคอนดักเตอร์ชนิด p-type มี bandgap แคบ มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับสูงดูดกลืนแสง NIR อีกทางหนึ่งคือแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มที่มีความสำคัญมากที่สุดในกลุ่มเซมิคอนดักเตอร์ชนิด n-type มี bandgap โดยตรงที่ 2.42 eV. มีการส่งผ่านแสงที่ดี สัมประสิทธิ์การดูดซับสูง ดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ดี นอกจากนี้ CdS ใช้เป็น window Layer สำหรับ heterojunction solar cell เนื่องจากมีความเสถียรทางเคมีที่ดีและต้นทุนต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.2.2 ศึกษาวิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่ออวิวิธพันธ์ PbS/CdS
- 1.2.3 หาเงื่อนไขที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ปริมาณของสารตั้งต้น ความหนาของชั้นบัฟเฟอร์

1.3 แผนการดำเนินงาน

- 1.3.1 ค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเช่น PbS ,TiO₂ ,CdS,etc.
- 1.3.2 ทดสอบเครื่อง SILAR ค้นหาจุดที่ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของฟิล์มและปรับปรุงระบบเครื่อง SILAR
- 1.3.3 สร้างเซลล์ไฟฟ้าเบื้องต้น และนำไปวิเคราะห์

1.3.4 เปลี่ยนเงื่อนไขในการสร้างเซลล์ไฟฟ้าแล้วนำไปวิเคราะห์เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะรับ

- 1.4.1 เรียนรู้เทคนิคการสร้างฟิล์ม PbS/CdS ด้วยวิธีการทั้งสามวิธีคือ วิธีการ SILAR , วิธีการ CBD และเทคนิคการสกรีน
- 1.4.2 ทราบหลักการการออกแบบและการควบคุมการสร้างฟิล์ม เพื่อให้ได้คุณสมบัติและเงื่อนไขที่ดี เรียนรู้วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์ม ด้วยวิธีการต่อไปนี้
-การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยการส่อง SEM (Scanning Electron Microscope)
เรียนรู้วิธีการวัดและวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 ความหมายของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นเมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวันซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าช่วงเวลากลางวัน

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีจุดเด่นที่สำคัญ แตกต่างจากวิธีอื่นหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะใช้งาน จึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง
2. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า
3. มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
4. ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด
5. สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตได้ปริมาณมาก
6. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
7. เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด
8. ผลิตไฟฟ้าได้ทุกมุมโลกแม้บนเกาะเล็กๆ กลางทะเล บนยอดเขาสูง และในอวกาศ
9. ได้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นพลังงานที่นำมาใช้ได้สะดวกที่สุด

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศ ก็ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานบนพื้นโลกเช่นในปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม

ประเภทของ " เซลล์แสงอาทิตย์" เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะคุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่

2.1.2 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

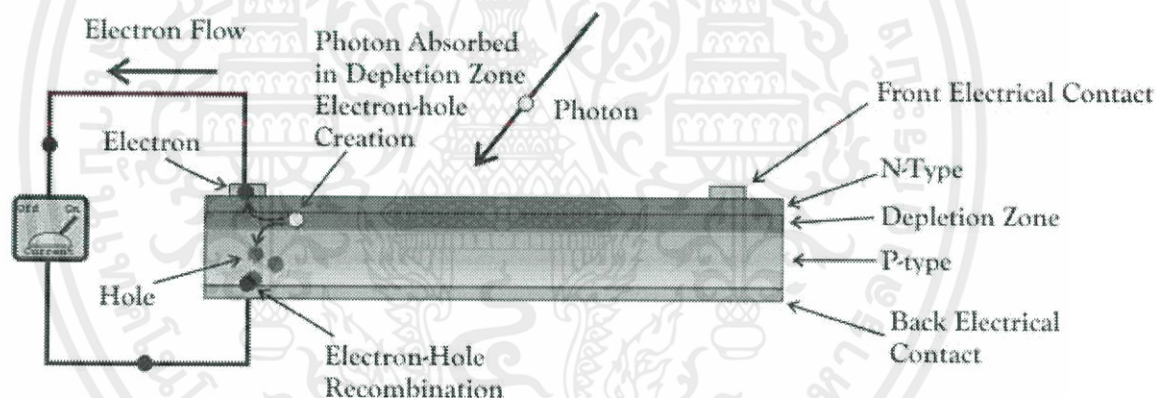
1. ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
2. เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้
3. สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง
4. ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดจึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ
5. ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม
6. ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง
7. เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่และไม่มีชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงานจึงไม่เกิดการสึกหรอ
8. ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่
 10. มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว
 11. เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ
- ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

2.1.3 การแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

รังสีของดวงอาทิตย์ประกอบด้วยอนุภาคของพลังงานที่เรียกว่า “โฟตอน (Photon) โฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์จนอยู่ในสถานะ Excited State เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนแล้วจะกระโดดออกมาจากอะตอมและสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่อิเล็กตรอนมารวมกันและเคลื่อนที่ผ่านเรียกว่า “ขั้วลบ” และขั้วที่อยู่ตรงข้ามจะเรียกว่า “ขั้วบวก” เมื่อขั้วทั้งสองต่อกันก็จะทำให้เกิดกระแสไหลได้

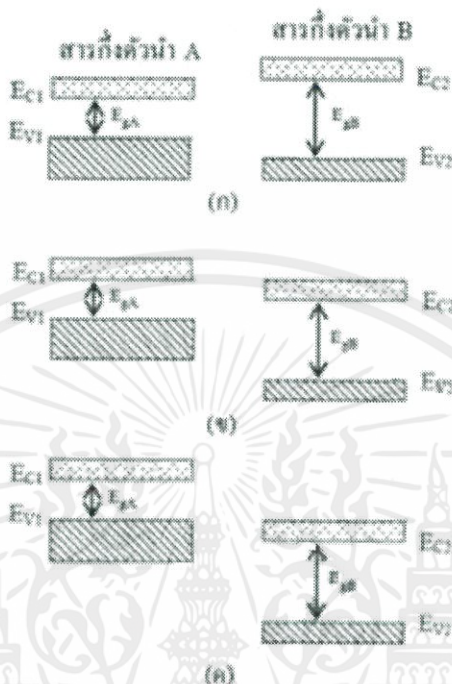


รูปที่ 2.1 แผนภาพกระบวนการ Photovoltaic effect

2.2 รอยต่อวิวิธพันธุ์

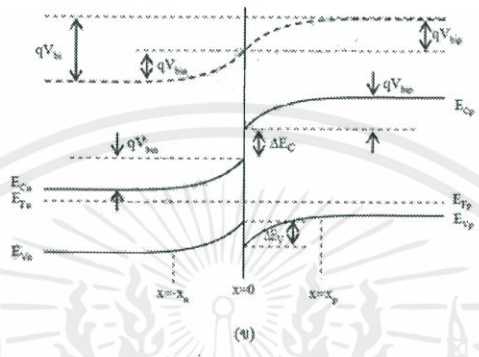
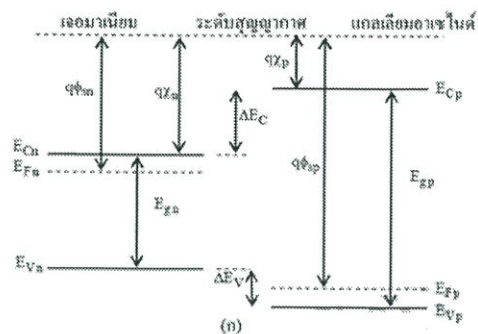
รอยต่อวิวิธพันธุ์ (Heterojunction) คือรอยต่อที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดที่มีขนาดของแถบพลังงานต่างกัน ซึ่งสารกึ่งตัวนำหนึ่งอาจจะเป็นชนิดเอ็นกับสารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่งก็เป็นชนิดเอ็น หรืออาจจะเป็นรอยต่อสารกึ่งตัวนำชนิดพีกับสารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่งก็เป็นชนิดพี เรียกว่า รอยต่อวิวิธพันธุ์แบบเหมือน (isotype heterojunction) ส่วนกรณีที่เป็นรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นกับสารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่งเป็นชนิดพี เรียกว่า รอยต่อวิวิธพันธุ์แบบต่าง (anisotype heterojunction) อย่างไรก็ตามในสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันจะมีแถบพลังงานและช่องว่าง

แถบพลังงานที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาสร้างเป็นรอยต่อวิธีพันธะความไม่ต่อเนื่องของแถบพลังงาน บริเวณรอยต่อจึงเกิดขึ้นได้นอกจากนี้ยังอาจมีความแตกต่างกันในโครงสร้างผลึก รวมทั้งค่าคงตัวแลตทิซ ทำให้เกิดความไม่เข้ากันของแลตทิซ



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบระดับแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำสองชนิดซึ่งมีช่องว่างแถบพลังงานต่างกันก่อนการสร้างรอยต่อ (ก) ระดับพลังงานคร่อมกัน (ข) ระดับพลังงานคาบเกี่ยว (ค) ระดับพลังงานแตกต่างกันหมดไม่คาบเกี่ยวกัน

สำหรับการพิจารณาแถบพลังงานก่อนสร้างเป็นรอยต่อวิธีพันธะแบบต่างๆ ของสารกึ่งตัวนำสองชนิด คือเจอร์มาเนียมชนิดเอ็นและแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดพีซึ่งมีช่องว่างแถบพลังงานแคบและกว้างแบบคร่อมกันแสดงโดยละเอียด ในรูปที่ 2.2(ก) และหลังเป็นรอยต่อวิธีพันธะในรูปที่ 2.2 (ข)



รูปที่ 2.3 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันแบบเอ็นและพี (ก) ก่อนสร้างรอยต่อ (ข) หลังสร้างรอยต่อ

โดยการใช้กฎสัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (electron affinity rule) ซึ่งเป็น สถานภาพในอุดมคติ คือ การคิดว่า ระดับสัญญาณความต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ความแตกต่างของระดับพลังงานแถบการนำและแถบเวเลนซ์ (E_C , E_V) เกิดขึ้น จริที่รอยต่อพิจารณารูปที่ 2.2(ก) จะได้ว่า

$$\Delta E_C = q(X_n - X_p) \dots \dots \dots 2.1$$

และ

$$\Delta E_C + \Delta E_V = E_{gp} - E_{gn} = E_g \dots \dots 2.2$$

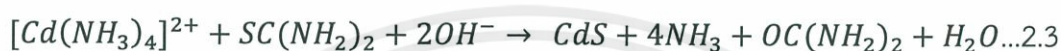
เมื่อพิจารณาสารกึ่งตัวนำทั้งสองสัมผัสกันเกิดเป็นรอยต่อวิวิธพันธ์ แบบต่างชนิดเอ็นพี (n-p anisotype heterojunction) ดังแสดงในรูป 2.2(ข) ซึ่งเป็น สภาวะสมดุลทางความร้อน และระดับเฟอร์มีบริเวณรอยต่อปรับไป เป็นระดับ เดียวกันโดยอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำเอ็นและโฮลจากสารกึ่งตัวนำพีเคลื่อนที่ทับซ้อนรอยต่อการเบี่ยงเบนของแถบพลังงานจะสังเกตเห็นความไม่ต่อเนื่องของแถบการนำและแถบเวเลนซ์อย่างชัดเจนโดยมีความแตกต่างเป็น E_C และ E_V การเคลื่อนที่ทับซ้อนรอยต่อของอิเล็กตรอนและโฮล จนอยู่ในสภาวะสมดุลทำให้เกิด ประจุปริภูมิและชั้นการพร่องคล้ายในรอยต่อพีเอ็นและรอยต่อขอตัก

2.3 คุณสมบัติของชั้นบัฟเฟอร์ในเซลล์แสงอาทิตย์

ชั้นบัฟเฟอร์มักนิยมใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบาง โดยชั้นบัฟเฟอร์อยู่ระหว่างชั้นของ Window layer และฟิล์ม ซึ่งชั้นบัฟเฟอร์จะมีสภาพความต้านทานที่สูงจนเสมือนเป็นฉนวนโดยมีหน้าที่เป็นตัวช่วยป้องกันการแพร่กระจายของอะตอมระหว่างชั้น Window layer และ ชั้น P-type ซึ่งอาจทำให้พื้นผิวของชั้นดูดซับแสงเสียหาย สามารถส่งแสงไปที่รอยต่อได้มากขึ้น จากที่ชั้นบัฟเฟอร์มี bandgap กว้าง โดยปกติมักมีความหนาประมาณ 25-250 นาโนเมตร

2.4 Chemical Bath Deposition (CBD)

Chemical Bath Deposition คือวิธีการที่จุ่มแผ่นรองรับลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายที่ประกอบด้วยเกลือของแคดเมียม ร่วมกับ ไฮโอยูเรีย ซึ่งจะแตกตัวให้อิออนของซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายที่มีความเป็นเบส $\text{pH} > 9$ กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CdS เกิดจากการรวมตัวกันของ Cd^{2+} ที่แตกตัวจากเกลือของแคดเมียมซึ่งอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนและ S^{2-} ที่แตกตัวมาจากไฮโอยูเรียในสารละลายอย่างช้าๆ การเคลือบเป็นฟิล์มบางของ CdS จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณของ Cd^{2+} และ S^{2-} มากเกินกว่าค่าผลิตภัณฑ์ของการละลายของ CdS โดยมีสมการในรูปสารเชิงซ้อน Tetraammine



2.4.1 ตัวแปรที่มีบทบาทต่อการเตรียมฟิล์มบาง CdS

1. สารที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS

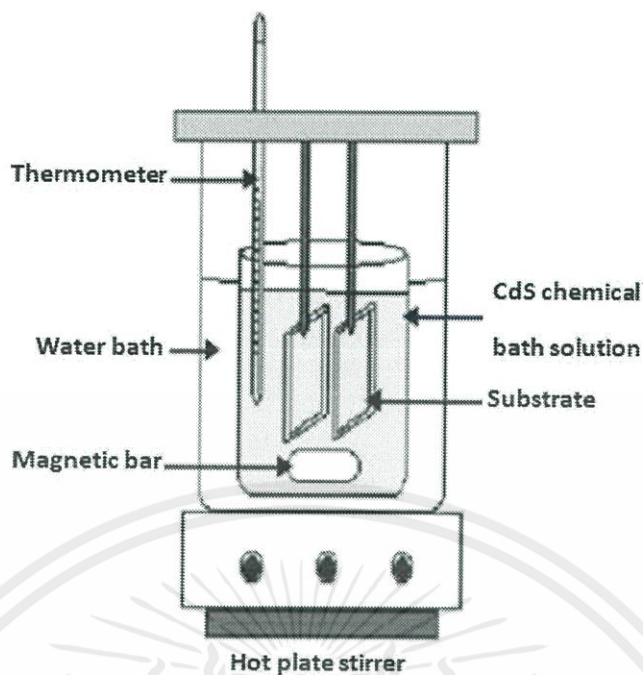
สารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS ประกอบด้วยสารละลายแคดเมียมซัลเฟต สารละลายแอมโมเนีย และสารละลายไฮโอยูเรีย ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายทั้งสามจะมีบทบาทมากต่อกระบวนการเตรียมฟิล์มโดยสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ จะเกิดเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียที่เพียงพอกับ Cd^{2+}

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำควบคุมอุณหภูมิจะส่งผลต่ออุณหภูมิของสารละลายผสมจะมีผลต่อความหนาและความเป็นผลึกของฟิล์มบาง โดยเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น ความหนาของฟิล์มจะมากขึ้น เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของสารละลายผสม

3. pH ของสารละลายผสม

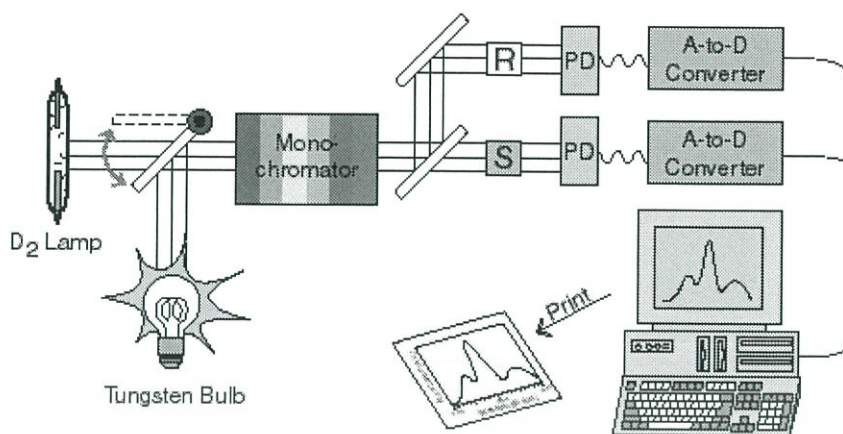
pH ของสารละลายผสมจะส่งผลต่อความหนา การส่งผ่านแสง และความเป็นผลึกฟิล์มบาง CdS โดยความหนาของฟิล์มบางจะแปรผันตรงกับ pH ของสารละลายผสม แต่จะไม่แตกต่างกันมากเมื่ออยู่ช่วง 8-9 ซึ่งค่า pH ของสารละลายผสมจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายแอมโมเนียเป็นหลัก



รูปที่ 2.4 การทำChemical Bath Deposition

2.5 UV/VIS Spectroscopy

UV/VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอม เกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง



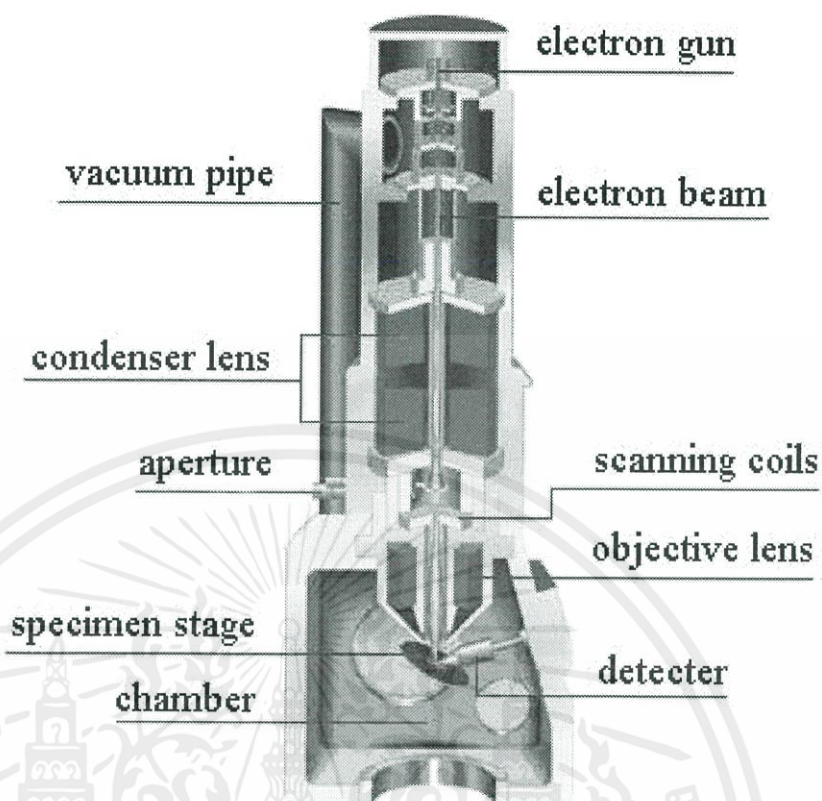
Absorbance Spectrophotometer

รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่อง UV/VIS Spectroscopy

2.6 Scanning Electron Microscope

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่า ลักษณะพื้นฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (QA International, 2008)

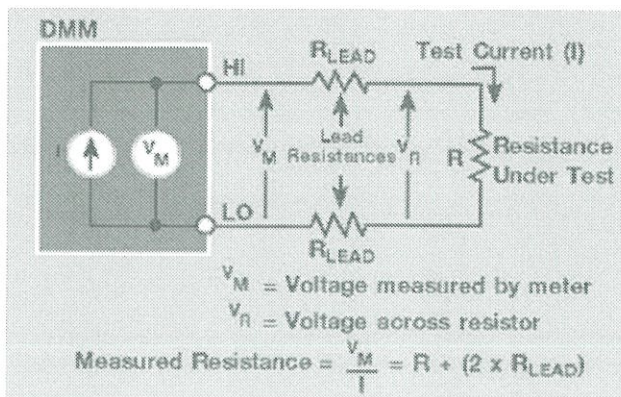
2.7 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อผิดพลาดของระบบการวัดตัวต้านทานต่ำกระแสตรงด้วยโอห์มมิเตอร์

โดยทั่วไปการวัดค่าตัวต้านทานต่ำสามารถกระทำได้หลากหลายวิธี วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก คือ การวัดค่าตัวต้านทานต่ำ โดยใช้โอห์มมิเตอร์ ซึ่งวิธีการนี้สามารถวัดค่าได้สะดวกและใช้อุปกรณ์ค่อนข้างน้อย ในส่วนของความถูกต้องของระบบการวัดขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่นำมาใช้เป็นโอห์มมิเตอร์และทักษะในการวัด บทความฉบับนี้จะนำเสนอปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบให้เกิดความผิดพลาดต่อผลการวัด รวมทั้งวิธีแก้ไขเบื้องต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

โดยทั่วไปวงจรสมมูลของการวัดตัวต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์จะสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2.7 จากรูปสามารถแบ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบการวัดได้ 2 ส่วนคือ ส่วนของโอห์มมิเตอร์และส่วนของการเชื่อมต่อ เมื่อพิจารณาระบบของการวัดในส่วนของโอห์มมิเตอร์จะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสและโวลท์มิเตอร์ โดยมีคุณลักษณะ (Specification) ขึ้นอยู่กับมิเตอร์ที่นำมาใช้ในส่วนนี้ข้อผิดพลาด หรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจะไม่ หลีกเลียงได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกมิเตอร์ให้มีคุณลักษณะเหมาะสมกับระบบที่จะทำการวัด ในส่วนของการเชื่อมต่อนั้นจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดต่อการวัดที่สามารถหลีกเลี่ยงและลดผลกระทบได้ การ เชื่อมต่อของระบบการวัดในที่นี้คือสายตัวนำและขั้วต่อสาย ซึ่งสามารถ พิจารณาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การวัดความต้านทานด้วยโห้มมิเตอร์

เมื่อพิจารณาในส่วนสายตัวนำ จากรูปที่ 2.7 กระแส I จะไหลจาก ขั้ว HI ผ่าน R_{LEAD}, R และ R_{LEAD} ครบวงจรที่ขั้ว LO ทำให้เกิดแรง เคลื่อนตกรวมที่สาย ขณะเดียวกันแรงเคลื่อนที่ มิเตอร์อ่านได้จะเท่ากับแรงเคลื่อนตกรวมของสายและแรงเคลื่อนตกรวมความต้านทานที่ทำการวัด

Measured Resistance $\frac{V_M}{I} = R + 2R_{LEAD} \dots 2.4$

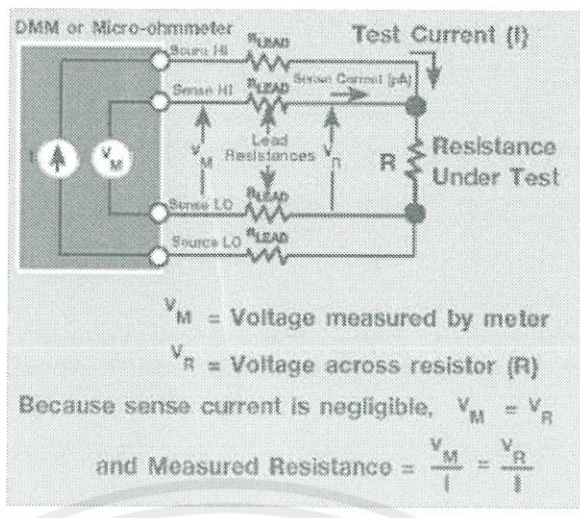
Actual Resistance $\frac{V_R}{I} = R \dots 2.5$

เมื่อ V_M = แรงเคลื่อนตกรวมของมิเตอร์
 V_R = แรงเคลื่อนตกรวมตัวต้านทานที่วัด

ค่าตัวต้านทานที่ต้องการวัดคือ R แต่ความต้านทานที่มิเตอร์วัด หรือแสดงค่าจะเป็นค่าของความต้านทานที่ต้องการวัดรวมกับความต้านทานที่เกิดขึ้นของสายคือ $R + 2 R_{LEAD}$ เนื่องจากแรงเคลื่อนของ มิเตอร์ (V_M) ที่วัดได้ มีค่าไม่เท่ากับแรงเคลื่อนตกรวมความต้านทาน (V_R) ดังนั้นการที่จะทำให้มิเตอร์สามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้องคือการทำให้ แรงเคลื่อนตกรวมของมิเตอร์เท่ากับแรงเคลื่อนตกรวมความต้านทานที่ วัด $V_M = V_R$ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการลดขนาดแรงเคลื่อนตกรวม สายให้มีค่าน้อยลง

ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการลดค่าความต้านทานของสายและวิธีการวัดความต้านทานเป็นแบบ 4 สาย (4 wires)

เนื่องจากความต้านทานจะมีค่าเท่ากับความต้านทานจำเพาะคุณ ความยาวหารด้วยพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นการลดค่าความต้านทานของสาย สามารถกระทำได้ 3 อย่าง คือ ใช้สายที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำ ใช้สายที่มีความยาวสั้นและใช้สายที่มีพื้นที่หน้าตัดมากสำหรับวิธีการวัดความต้านทานแบบ 4 สาย แสดงดังรูปที่ 2.8



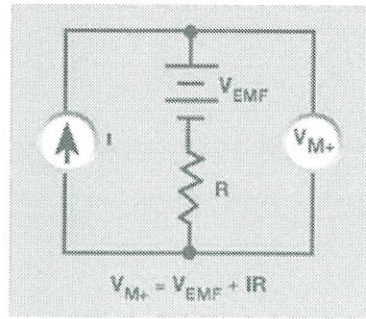
รูปที่ 2.8 การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์แบบ 4 สาย (4 wires)

จากรูป เมื่อกระแส I ไหลออกจากขั้ว Source HI ผ่าน RLEAD, R และ RLEAD ครบวงจรที่ขั้ว Source LO ขณะเดียวกัน โวลท์มิเตอร์จะ ทำการวัดค่าแรงเคลื่อน ซึ่งแรงเคลื่อนที่โวลท์มิเตอร์อ่านได้จะมีค่าเท่ากับ แรงเคลื่อนตกคร่อมความต้านทานที่ทำการวัด เนื่องจากความต้านทานของโวลท์มิเตอร์มีค่าสูงมาก จึงทำให้มีกระแสน้อยมาก หรือแทบไม่มีไหลผ่าน RLEAD จึงทำให้ไม่มีแรงเคลื่อนตกคร่อมสาย RLEAD ดังนั้น

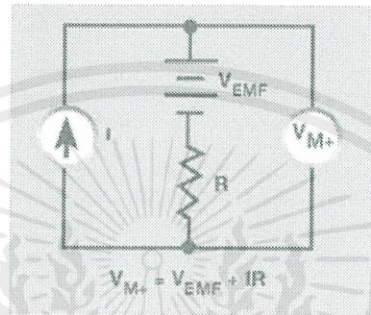
$$\text{Measured Resistance} = \frac{V_M}{I} = \frac{V_R}{I} \dots\dots\dots 2.6$$

แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมมิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับแรงเคลื่อนตกคร่อม ความต้านทานที่วัด จึงทำให้โอห์มมิเตอร์สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง

สำหรับในส่วนขั้วต่อ หากขั้วต่อไม่มีสิ่งสกปรกและกระแสไฟฟ้า สามารถไหลผ่านได้ปกติ สิ่งที่มีผลกระทบกับการวัดคือ Thermal EMF ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นตรงจุด ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนขนาดเล็กที่ เกิดขึ้นตรงจุดต่อของโลหะต่างชนิดกัน ขนาดของแรงเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับ โลหะทั้งคู่ที่นำมาใช้และอุณหภูมิที่จัดต่อ โดยแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้จะมี นัยสำคัญเมื่อทำการวัดความต้านทานต่ำ แรงเคลื่อนที่ใช้มักจะมีขนาดต่ำ โดยแต่ละจุดต่อและขั้วต่อสามารถก่อให้เกิดแรงเคลื่อน Thermal EMF ได้ วิธีการหลีกเลี่ยงปัญหานี้เบื้องต้น สามารถกระทำได้โดยการใช้วัสดุตัวนำ ซึ่งใช้ในการเชื่อมต่อเป็นวัสดุเดียวกัน หรืออาจใช้สายตัวนำที่มีคุณลักษณะ เฉพาะเป็น low Thermal EMF แต่บางครั้งวัสดุที่ใช้เชื่อมต่อมักเป็น คนละชนิดและสายตัวนำที่เป็น Low Thermal EMF มักหายากและมี ราคาสูง ดังนั้นจึงมีวิธีการกำจัด Thermal EMF ให้ลดลงได้โดยอาศัย ทิศทางของแรงเคลื่อน ซึ่งโดยทั่วไปสามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ Current Reversal Method และ Offset Compensated Ohms Method Current Reversal Method วิธีการนี้ Thermal EMF สามารถกำจัดได้โดยทำการวัด 2 ครั้ง ด้วยการป้อนกระแสที่มีทิศทางตรง กันข้าม ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9ก: Positive Polarity



รูปที่ 2.9ข: Negative Polarity

รูปที่ 2.9: Current Reversal Method

จากรูปที่ 2.9ก แหล่งจ่ายกระแสย้อนกระแสต้านบวกให้วงจรรวม เคลื่อนมิเตอร์มีค่าเป็น

$$V_{M+} = V_{EMF} + IR \dots\dots\dots 2.7$$

และเมื่อป้อนกระแสทางด้านลบดังรูปที่ 2.9ข แรงเคลื่อนมิเตอร์เป็น

$$V_{M-} = V_{EMF} - IR \dots\dots\dots 2.8$$

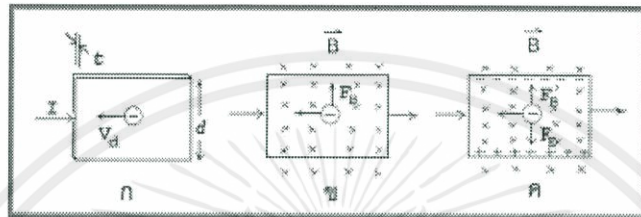
เมื่อนำแรงเคลื่อนทั้ง 2 มาหักล้างกันจะสามารถกำจัด Thermal EMF ได้ดังนี้

$$V_M = \frac{V_{M+} - V_{M-}}{2} \dots\dots\dots 2.9$$

$$V_M = IR \dots\dots\dots 2.10$$

2.8 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปคินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (charge carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่าปรากฏการณ์ฮอลล์



รูป 2.10 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อาจอธิบายได้โดยใช้รูป 2.10 ก-ค ดังนี้

รูป 2.10 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน v_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

รูป 2.10 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบางรูป 2.10 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสองทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายโดยไม่เบนสนามไฟฟ้าที่ในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

$$E_H = \frac{V}{d} \dots\dots\dots 2.11$$

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก (เหตุผลพิจารณาได้จากสมการ (2.19) หรือสมการ (2.20) ในตอนท้าย)

จากสมการ (2.11) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \dots \dots \dots 2.12$$

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูป 2.11 ก สภาพชั่วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์

จากรูป 2.11 ก พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูป 2.11 ก แต่ทิศของ F_B และ E_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูป 2.11 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพชั่วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ

$$(-e)E_H = (-e)V_d B \dots \dots \dots 2.13$$

$$E_H = V_d B \dots \dots \dots 2.14$$

จากสมการ (2.12) จะได้

$$V_H = E_d d \dots \dots \dots 2.15$$

$$V_H = V_d B d \dots \dots \dots 2.16$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \dots \dots \dots 2.17$$

เมื่อ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง แทนสมการ (2.16) ลงในสมการ (2.17) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \dots \dots \dots 2.18$$

เนื่องจาก t คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \dots \dots \dots 2.19$$

สมการ (2.19) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = neti^{-1} V_H \dots \dots \dots 2.20$$

ปริมาณ V_H และ t ในสมการ (2.20) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ ทำห้ววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n = 1022 \times 10^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n = 1028 \times 10^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ

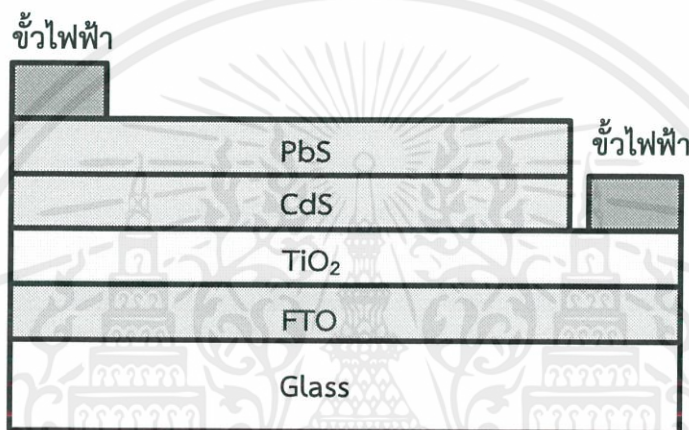
(2.20) ได้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1T = 104 G$



บทที่ 3

การปลูกฟิล์ม $\text{TiO}_2/\text{CdS}/\text{PbS}$ ด้วยวิธีการสกรีน CBD และ SILAR

ในการสร้างชิ้นงานจากการทดลองนี้ ชิ้นงานจะมีโครงสร้างเป็นชั้นต่างๆ ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วย ชั้นกระจก (Glass) / ชั้นฟลูออรีนทินดรอพออกไซด์ (FTO) / ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) / ชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) / ชั้นเลดซัลไฟด์ (PbS) ดังรูป หลังจากได้สร้างโครงสร้างดังกล่าวแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือนำไปวัดความเป็น Solar cell



รูปที่ 3.1 โครงสร้างชั้นต่างๆของชิ้นงาน

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเพิ่มหรือลดลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะเป็นความหนาของฟิล์มที่เหมาะสม ความเข้มข้นของสารตั้งต้น และอุณหภูมิในการอบฟิล์ม นอกจากนี้แล้วรวมถึง ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการสกรีน การเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ด้วยวิธีอบสารละลายเคมี (CBD) และการเตรียมฟิล์มบางเลดซัลไฟด์ ด้วย Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) เพื่อใช้ใน กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดชนิดรอยต่อวิวิธพันธ์ PbS/CdS โดย ซึ่งประกอบไปด้วยการทดลองดังต่อไปนี้

1) การทดลองที่ 1 การศึกษาผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

2) การทดลองที่ 2 การศึกษาผลกระทบเวลาในการปลูกฟิล์ม ของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3) การทดลองที่ 3 การศึกษาผลกระทบความเข้มข้นของ PbS ที่ความเข้มข้น 0.05M , 0.10M , 0.15M และ 0.20M ของ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ และ Na_2S ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

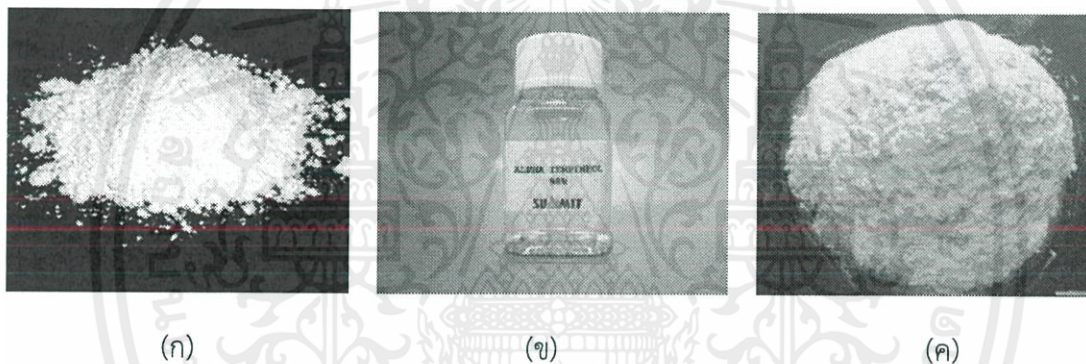
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระจกชิ้นงาน

ขนาดกระจกใช้ปากกาเพชรตัดแผ่นกระจกขนาด 1*2 นิ้ว เมื่อได้ขนาดที่ต้องการแล้วนำไปทำความสะอาดด้วยวิธีการด้วยวิธีการอัลตราโซนิกด้วย acetone 15 นาที methanol 15 นาที แล้วนำแต่ละแผ่นไปล้างด้วย de-ionized water แล้วใช้ nitrogen gas (N₂) เป่าให้แห้ง

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี

3.2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการสกรีน

การเตรียมการสร้างชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ จำเป็นจะต้องเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์ ให้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับหมึกพิมพ์สกรีน คือมีความหนืดที่เหมาะสมเพื่อจะใช้ร่วมกับเทคนิคการพิมพ์สกรีนได้เป็นอย่างดี โดยไททาเนียมไดออกไซด์โซล-เจลนั้นจะประกอบไปด้วย Titanium dioxide (nanopowder), Ethyl cellulose และ Terpeneol แสดงดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 สารตั้งต้นของTiO₂ sol-gel (ก) Titanium dioxide (ข) Ethyl cellulose (ค) Terpeneol

คุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้นั้นเป็นระดับอนุภาคนาโนเมตรมีขนาดเฉลี่ย 21 nm ส่วน Ethyl cellulose นั้นมีคุณสมบัติเป็นกาวลักษณะเป็นของแข็ง ดังนั้น Terpeneol ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย Ethyl cellulose โดยอัตราส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ

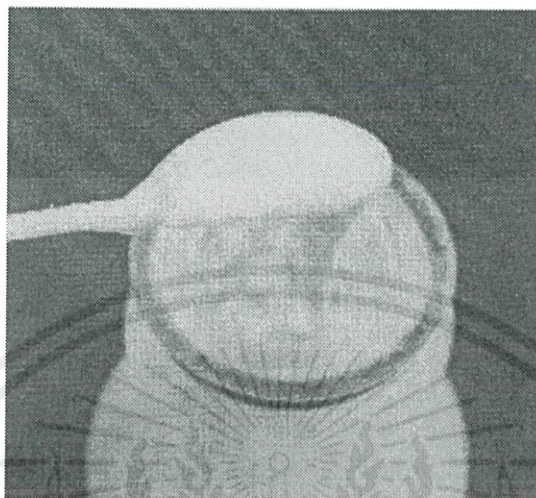
Titanium dioxide = 14 wt.% (0.14 g), Ethyl cellulose = 9wt.% (0.09 g), Terpeneol = 77 wt.% (0.77 g) โดยน้ำหนัก [31,37-38] นอกจากนี้แล้วขั้นตอนการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ ให้เป็น โซล-เจล มีดังต่อไปนี้

1. ชั่งน้ำหนัก Ethyl cellulose ให้ได้ตามที่ต้องการแล้วนำไปใส่ในบีกเกอร์
2. เติม Terpeneol เข้าไปในบีกเกอร์เพื่อไปทำละลาย Ethyl cellulose
3. เนื่องจาก Terpeneol มีความหนืดค่อนข้างสูงมากไม่สามารถที่จะผสมสารให้เข้ากันได้

ดังนั้นจึงเติม เอทานอล 15 ml เข้าไปเจือจางเพื่อลดความหนืดของสาร จากนั้นนำไปอัลตราโซนิกโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกชนิดทิป (Tip-ultrasonic) ให้ Ethyl cellulose ละลาย กลายเป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มเข้าไปผสมรวมกัน จากนั้นนำไปอัลตราโซนิกเพื่อผสมสารทั้ง 3 ชนิด ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันจนกระทั่งมีลักษณะเป็นโซล-เจล แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้เป็นหมึกพิมพ์สกรีน เพื่อที่จะนำไปสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อไป



รูปที่ 3.3 ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล

- วิธีการ Screen TiO_2

- 1.เตรียมอุปกรณ์ที่จะสกรีนมาโดยอุปกรณ์จะประกอบไปด้วย แท่นยึดที่จะสกรีน ตัวลวดลายที่จะสกรีนบนชิ้นงานและที่ปาด TiO_2 เพื่อสกรีนลงบนชิ้นงาน
- 2.เช็ดล้างอุปกรณ์ทั้ง3อย่างจากข้อ 1. โดยใช้Ethanol
- 3.นำตัวลวดลายที่จะสกรีนบนชิ้นงานไปยึดติดกับแท่นยึดที่จะสกรีนแล้วขันล๊อคให้แน่น
- 4.นำชิ้นงานไปวางใต้ตัวลวดลายที่จะสกรีนโดยให้บริเวณลวดลายที่จะสกรีนทับลงบนกระจก
- 5.นำ TiO_2 ออกมาจากนั้นใช้ ซ้อนพลาสติกเล็กปาด TiO_2 (ลักษณะเป็นของเหลวหนืด) แล้วนำไปทาลงบนตัวลวดลายที่จะสกรีนโดยทาให้ทั่วและให้ตรงกับลวดลายที่ต้องการบนกระจก
- 6.หลังจากทาทั่วบนตัวลวดลายซึ่งอยู่บนกระจก แล้วให้นำที่ปาด TiO_2 มาทำการปาดจากด้านบนลงล่าง1ที และ 2 ที
- 7.เอาออกจากที่ทำสกรีน
- 8.ขั้นตอนต่อไปนำไปอบเพื่อให้ TiO_2 ที่เพิ่งสกรีนไปแห้งติดกับชิ้นงานกระจก พร้อมทั้งนำไปทำกระบวนการต่อไปได้
- 9.วิธีอบให้นำชิ้นงานกระจก ที่เพิ่งทา TiO_2 ไปใส่ในเตาอบใส่ให้ชิ้นงานเข้าไปอยู่บริเวณตรงกลาง
- 10.ทำการเลือกอุณหภูมิที่ต้องการอบโดยเริ่มต้นหลังจากใส่ชิ้นงานไปแล้วให้เลือกอุณหภูมิที่120องศาเซลเซียสเมื่อครบ120องศาเซลเซียสให้อบรอตต่อไปประมาณ30นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

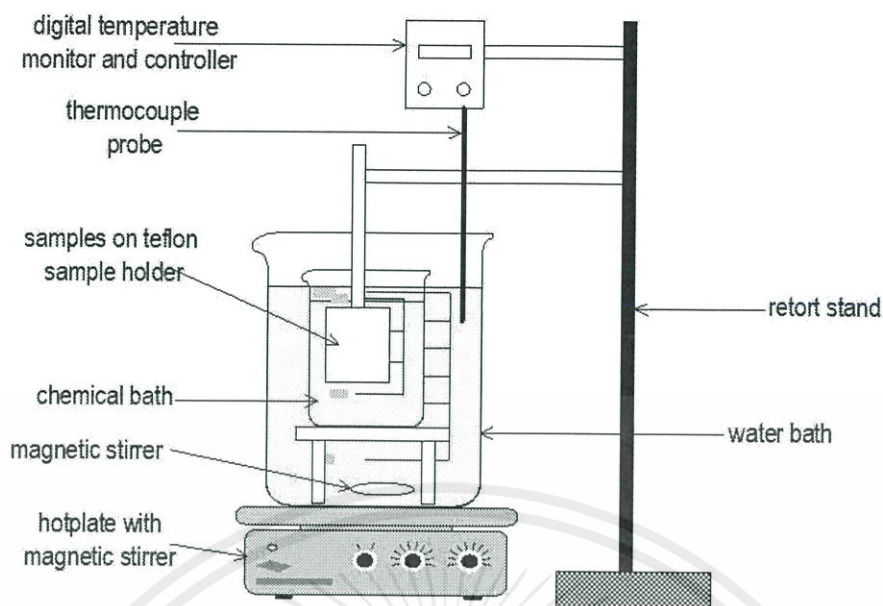
11. หลังจากครบ30นาทีแล้วให้ไปปรับอุณหภูมิเป็น450องศาเซลเซียสเมื่อถึง450องศา เซลเซียสแล้วให้อบต่อไปอีก30นาที เมื่อครบ30นาทีแล้วรออุณหภูมิลงต่ำกว่า100-90ถึงจะเอาชิ้นงานออกมาได้
12. เมื่อนำชิ้นงานออกมาก็ถือว่าอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว

3.2.2.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ด้วยวิธีอบสารละลายเคมี(CBD)

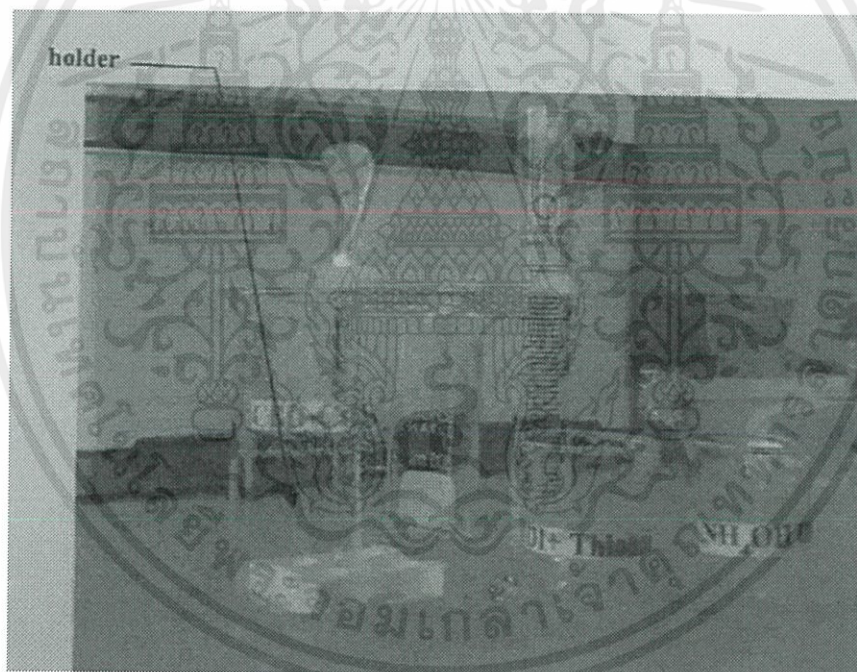
ในการทดลองนี้ได้ศึกษาเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์(CdS)ลงบนแก้วด้วยวิธีอบสารละลายเคมีโดยจะทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเตรียมที่แตกต่างกันศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ เพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มและเตรียมฟิล์มบางบน FTO

อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ยึดจับแก้ว(holder)
2. ปีกเกอร์
 - 2.1 ปีกเกอร์ สำหรับอบสารละลายเคมี
 - 2.2 ปีกเกอร์สำหรับละลายแคดเมียม
 - 2.3 ปีกเกอร์สำหรับละลายไทโอยูเรีย
 - 2.4 ปีกเกอร์สำหรับตวงแอมโมเนีย
3. เครื่องFisher stirring hotplate
4. เครื่อง Thermostatic water bath heat & stir
5. อ่างใส่น้ำ

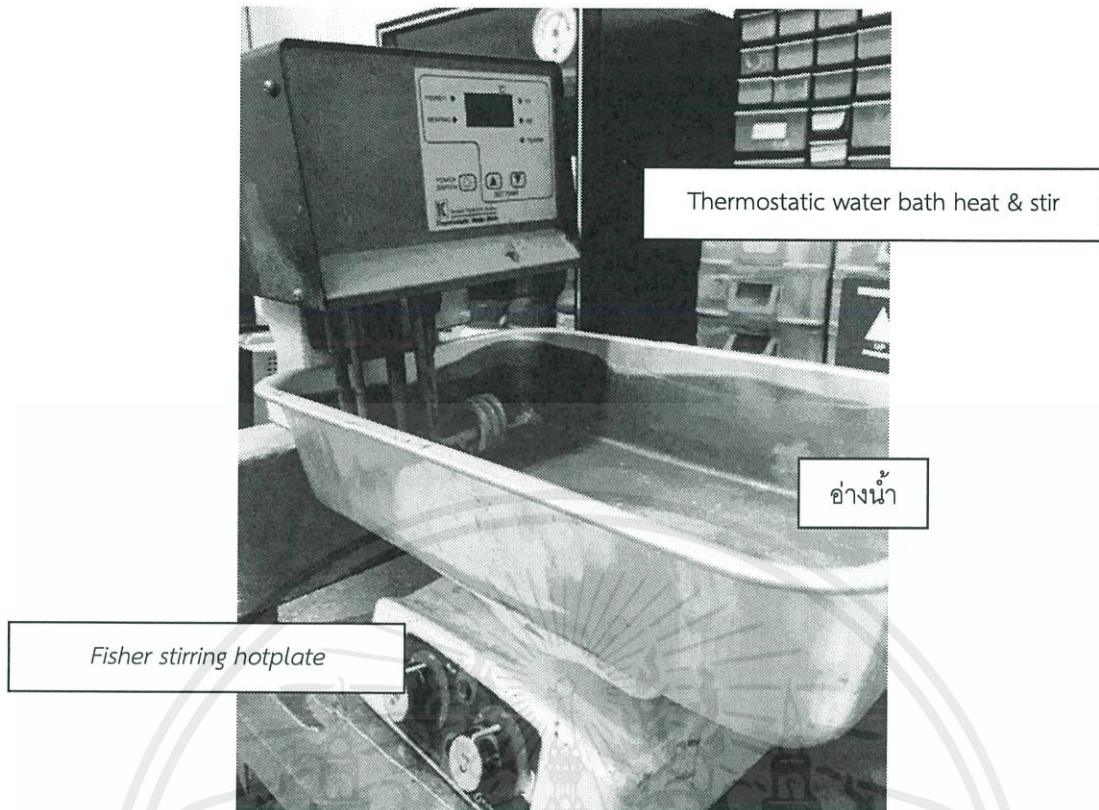


รูปที่ 3.4 การจัดวางเพื่อทำ CBD



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ)

ลำดับขั้นตอนการเตรียมฟิล์ม

1. ใส่น้ำในอ่าง
2. เปิดสวิทช์เครื่อง Fisher stirring hotplate ปรับที่เลข 6
3. เปิดสวิทช์ เครื่อง Thermostatic water bath & stir ตั้งอุณหภูมิร้อนไขที่ทดลอง
4. เตรียมบีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองโดยทั้งหมดไปล้างด้วยน้ำปลอดประจุ ซึ่งประกอบด้วย
 - 4.1 บีกเกอร์สำหรับอาบสารเคมี
 - 4.2 บีกเกอร์สำหรับสารละลายแคดเมียม
 - 4.3 บีกเกอร์สำหรับสารละลายไทโอยูเรีย
 - 4.4 บีกเกอร์สำหรับดวงแอมโมเนีย
5. เตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

5.1 น้ำปลอดประจุ	362 ml.
5.2 CdSO_4	0.125 g. (0.0015 mol/l)
5.3 แอมโมเนีย(NH_4OH)	35.112ml.(1.5 mol/l) (ความเข้มข้น 30%)
5.4 Thiourea ($\text{SC}(\text{NH}_2)_2$)	1.522 g. (0.05mol/l)
6. นำน้ำปลอดประจุที่ตวงไว้แบ่งใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml. เพื่อละลาย Thiourea
7. นำแอมโมเนียที่ตวงไว้แบ่งใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml. เพื่อละลาย CdSO_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ติดตั้งกระจกสไลด์และที่ยึดเข้าด้วยกัน

9. เริ่มการปลูกผลึกโดยนำน้ำแอมโมเนีย ใส่ CBD ปีกเกอร์และนำ CBD ปีกเกอร์ ใส่ลงใน water bath ขณะเดียวกันก็ใส่ กระจกสไลด์ และที่ยึดลงไปพร้อมกับเริ่มจับเวลา หลังจากนั้น 10 วินาทีให้ใส่ Thiourea กับ $CdSO_4$ ที่ละลายแล้วใส่ลงใน CBD ปีกเกอร์

10. หลังจากปลูกผลึกตามเงื่อนไขทางเวลาแล้ว ให้เอากระจกสไลด์ออกแล้วล้างด้วยน้ำปอลดประจุโดยทันทีและทำการเป่ากระจกให้แห้งโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน

11. นำสารเคมีที่เหลือจากการทำทดลองให้เทใส่ถังน้ำทิ้งของสารเคมีที่เตรียมไว้ และให้นำอุปกรณ์ที่มีแอมเมียมซัลไฟด์ติดอยู่ คือ ปีกเกอร์, แท่งแม่เหล็ก(Stir rod), ที่ยึดกระจกสไลด์ มาล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก(HCl) แล้วทิ้งไว้จนจนไม่เหลือคราบสารเคมีจากนั้นเทกรดทิ้งใส่ถังน้ำเสียของ HCl แล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำปอลดประจุหลายๆครั้งจนสะอาดตามลำดับ

3.2.2.3 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางเลดซัลไฟด์ ด้วย Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR)

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาเตรียมฟิล์มบางชั้นเลดซัลไฟด์ (PbS) ลงบนแก้วด้วยวิธี SILAR โดยจะทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเตรียมที่แตกต่างกันศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ เพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มและเตรียมฟิล์มบางบน FTO

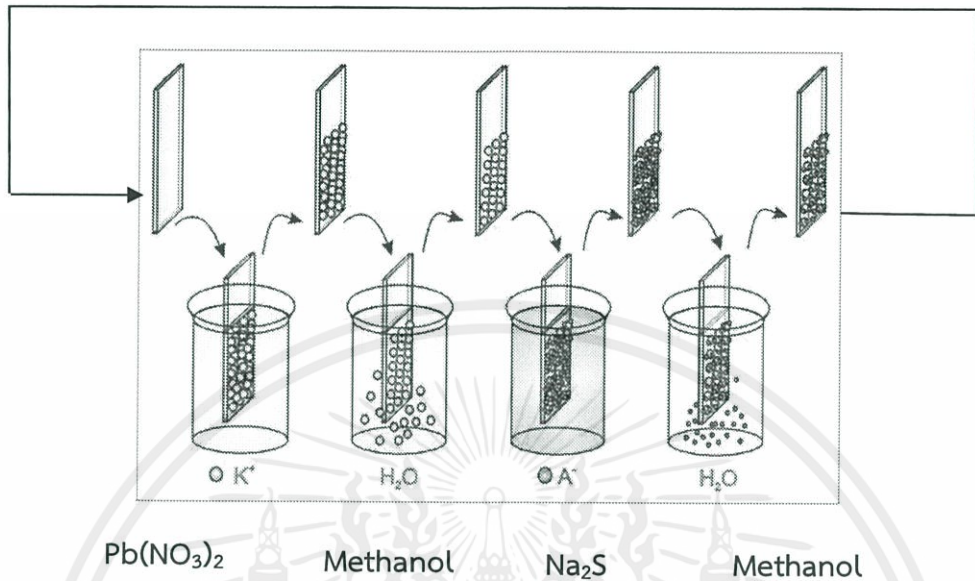
อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมฟิล์มบางเลดซัลไฟด์

1. เตรียมปีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองโดยทั้งหมดไปล้างด้วยน้ำปอลดประจุ ซึ่งประกอบด้วย
 - 1.1 ปีกเกอร์สำหรับสารละลาย $Pb(NO_3)_2$
 - 1.2 ปีกเกอร์สำหรับสารละลาย Na_2S
 - 1.3 ปีกเกอร์สำหรับ Methanol
2. เครื่อง SILAR

ลำดับขั้นตอนการเตรียมฟิล์ม

1. เตรียมสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ และ Na_2S ความเข้มข้น 0.05M, 0.10M, 0.15M และ 0.20M Methanol 200 ml ใส่ปีกเกอร์ขนาด 250 ml แยกสารละลายปีกเกอร์
2. นำกระจก FTO ที่สะอาดมาจุ่มลงใน $Pb(NO_3)_2$ เป็นเวลา 1 นาที
3. นำไปจุ่มใน Methanol 3 ครั้ง ครั้งละ 10 วินาที
4. ทำให้แห้ง
5. นำไปจุ่มใน Na_2S เป็นเวลา 1 นาที
6. นำไปจุ่มใน Methanol 3 ครั้ง ครั้งละ 10 วินาที
7. ทำให้แห้ง

8. นับเป็น 1 รอบ แล้วทำซ้ำเรื่อย ๆ ตามจำนวนรอบที่ต้องการทดลอง
9. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 8 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นที่ต้องการ



รูปที่ 3.7 ลำดับขั้นตอนการทำ SILAR

3.2.3 ขั้นตอนการสร้างขั้วไฟฟ้าบนชิ้นงาน



(ก)

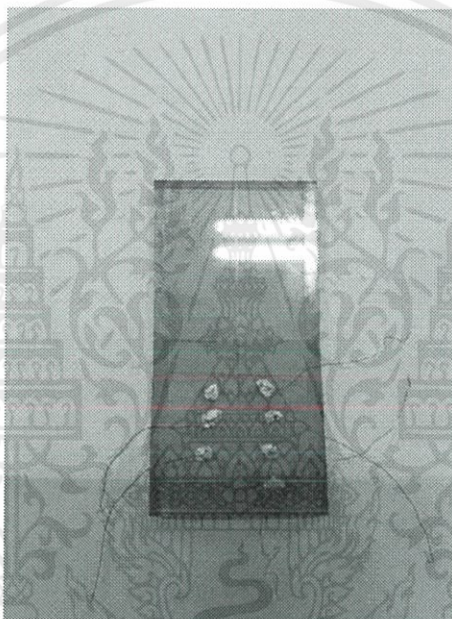
(ข)

รูปที่ 3.8 (ก)รูปขวดกาวเงินที่ใช้ในการสร้างขั้วไฟฟ้า (ข) ส่องดูลักษณะกาวเงิน

1. นำชิ้นงานที่สร้างเสร็จ หลังจากการสร้างชั้นฟิล์มแล้ว มาทำการแบ่งเซลล์แต่ละช่อง โดยใช้มีดคัตเตอร์ กรีด ซึ่งชิ้นหนึ่งจะแบ่งเป็น 8 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

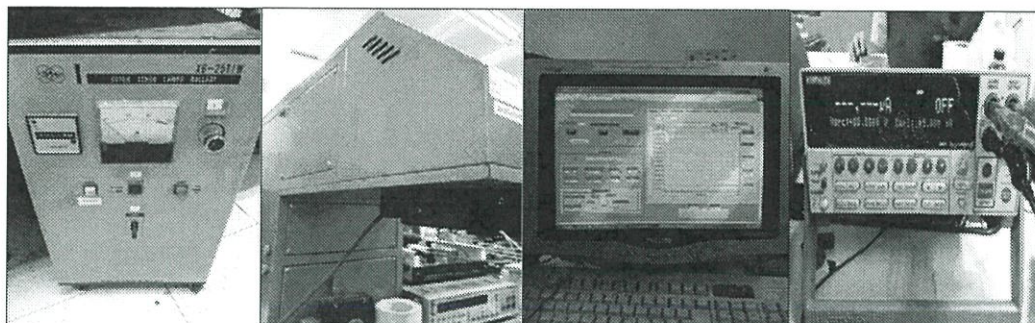
- 2.เมื่อแบ่งได้ 8 ช่องแล้ว ทำการเลือกช่องที่จะทำหน้าที่เป็น ขั้วไฟฟ้า โดยใช้มีดคัดเตอร์กรีดชั้นฟิล์มออกหลุดให้หมด จนกระทั่งเหลือแต่ชั้นของ FTO
- 3.นำกาวเงินมาเพื่อสร้างขั้วไฟฟ้าลงบนชิ้นงาน โดยหยดกาวเงินลงบนแต่ละเซลล์ของชิ้นงาน เป็นหยดเล็ก ห้ามใหญ่เพราะทำให้กินพื้นที่ ที่รับแสงของฟิล์มได้
- 4.นำสายไฟลวดฝอยเล็กๆมา เพื่อ ไปต่อกับกาวเงินที่อยู่บนแต่ละเซลล์ของชิ้นงานเส้นลวดตัวนำที่ต่อออกมาจากขั้วกาวเงิน ทำหน้าที่ให้คืบหนีบวัดผลการทดลองได้
- 5.รอให้กาวแห้งก่อน เพื่อให้ลวดตัวนำไม่หลุดเมื่อโดนคืบหนีบ



รูปที่ 3.9 ชิ้นงานที่ทำการแบ่งเซลล์เป็น 8 ช่องและสร้างเส้นลวดตัวนำบนชิ้นงาน

3.3 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดคุณสมบัติ 1-V โดยการไปอัสเซลล์แสงอาทิตย์และวัดกระแสแสงของ เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เครื่อง Keithley digital source meter model 2400 ต่อระบบอินเตอร์เฟซกับเครื่องคอมพิวเตอร์และควบคุมการทำงานผ่านทางโปรแกรมแบบจำลอง Labview แสดงดังรูปที่ 3.10



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 3.10 (ก)เครื่องจ่ายกระแสของแสง Solar cell (ข) Solar Simulator

(ค) เครื่องวัดกระแสและความต่างศักย์ของ Solar cell (ง) หน้าโปรแกรมที่ใช้วัดกราฟ I-V



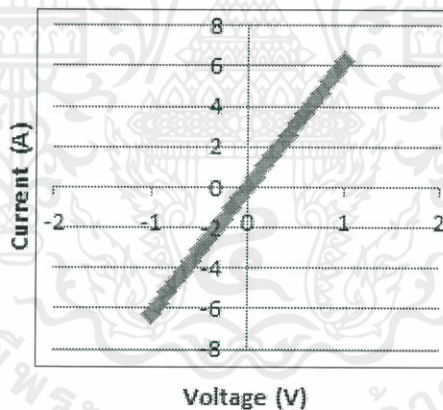
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ชั้นฟิล์ม ผลการเปรียบเทียบกราฟ I-V ของเซลล์ที่เงื่อนไขต่างๆ โดยมีโครงสร้างของชั้นต่างๆดังนี้ ชั้นกระจก (Glass) / ชั้นฟลูออรีนทินทรอปออกไซด์ (FTO) / ชั้นไททาเนียมไดออกไซด์(TiO₂) / ชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) / ชั้นเลดซัลไฟด์ (PbS) / ชั้นเงิน (Ag) และเป็นผลการทดลองของกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์รอยต่ออวิวิพันธ์ PbS/CdS ได้แบ่งออกเป็น 3 ผลการทดลอง แต่ละผลการทดลองได้ศึกษาตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นขั้นเป็นตอน เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการทดลองที่ 1 ได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน นอกจากนี้แล้วในการทดลองที่ 2 ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิในการอบฟิล์มของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และการทดลองที่ 3 ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PbS ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

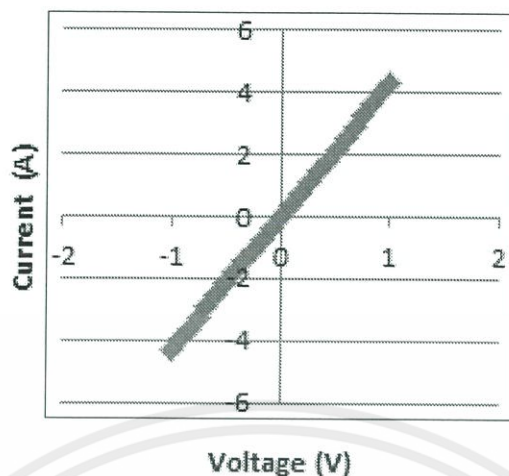
4.1 ผลการวัด I-V ของรอยต่อต่างๆ

4.1.1.ผลการวัด I-V ระหว่าง PbS และชั้นกาวเงิน (Ag/PbS/Ag)



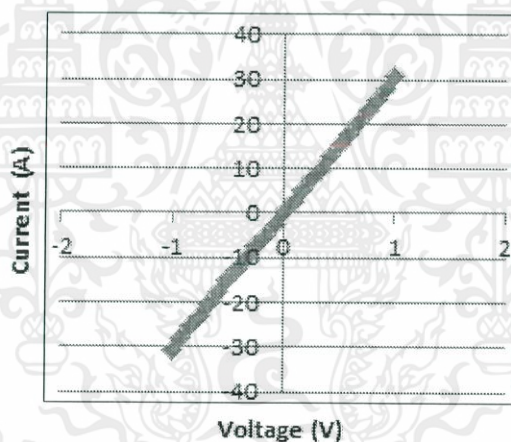
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง PbS และชั้นกาวเงิน

4.1.2 ผลการวัด I-V ระหว่าง CdS และ FTO (Ag/CdS/FTO/Ag)



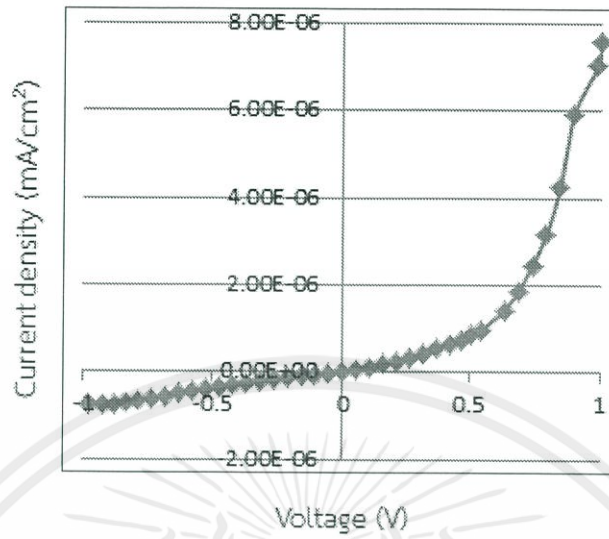
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง CdS และ FTO

4.1.3 ผลการวัด I-V ระหว่าง FTO และข้าวสารเงิน (Ag/FTO/Ag)



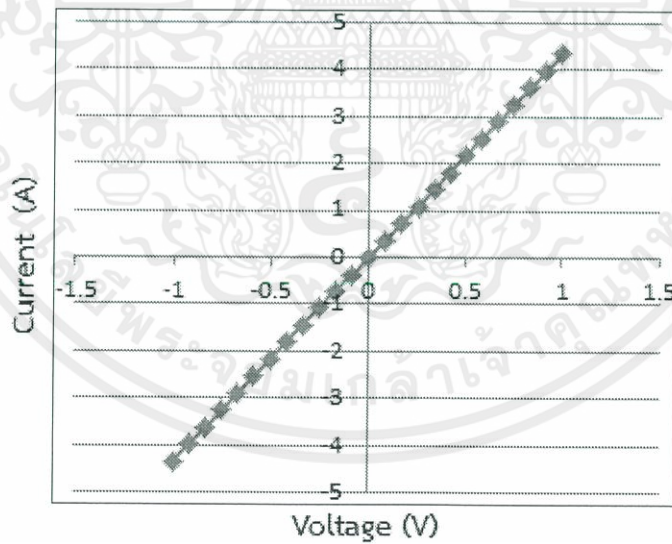
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง FTO และข้าวสารเงิน

4.1.4 ผลการวัด I-V ระหว่าง CdS และ TiO₂(FTO) (Ag/CdS/TiO₂/FTO/Ag)



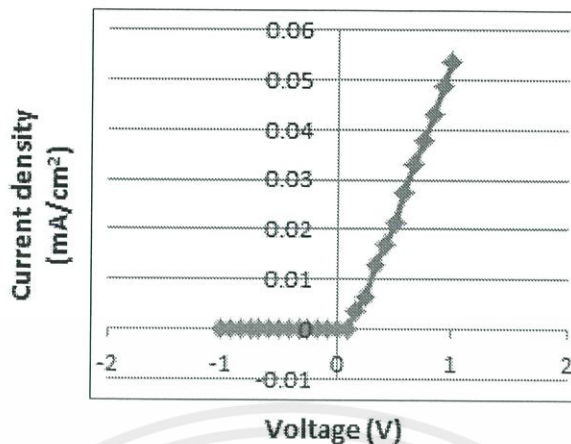
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง FTO และ TiO₂(FTO)

4.1.5 ผลการวัด I-V ระหว่าง TiO₂ และ FTO (Ag/TiO₂/FTO/Ag)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง TiO₂ และ FTO

4.1.6 ผลการวัด I-V ระหว่าง PbS และ CdS(FTO) (Ag/PbS/CdS/FTO/Ag)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ I-V ระหว่าง PbS และ CdS(FTO)

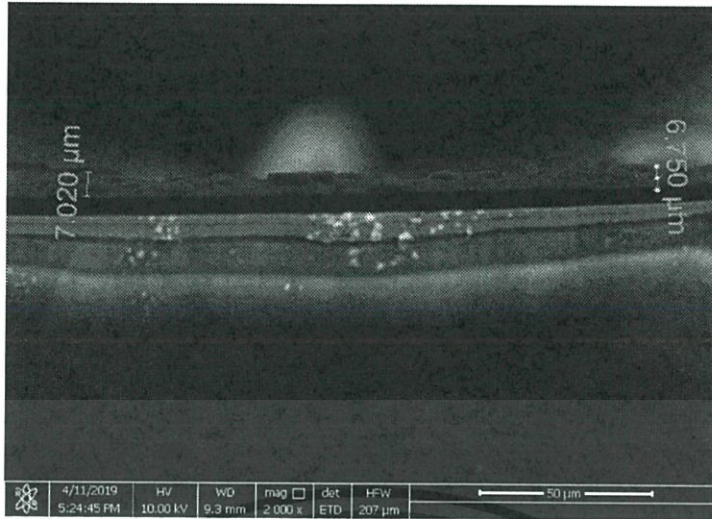
จากผลการวัด I-V ทั้ง 4 รูป สามารถบอกได้ว่า PbS และซัลฟิวไรต์, CdS และ FTO ,FTO และซัลฟิวไรต์ ทั้งสามเป็นรอยต่อแบบโอห์มมิก และผลการวัด I-V ระหว่าง PbS และ CdS(FTO) มีลักษณะเป็นไดโอด

4.2 ผลกระทบความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการพิมพ์สกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 และ 2 ชั้น นำผลที่ได้ไปวัดและวิเคราะห์ความหนาของฟิล์มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และพื้นผิวของฟิล์มบาง

4.2.1 ความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

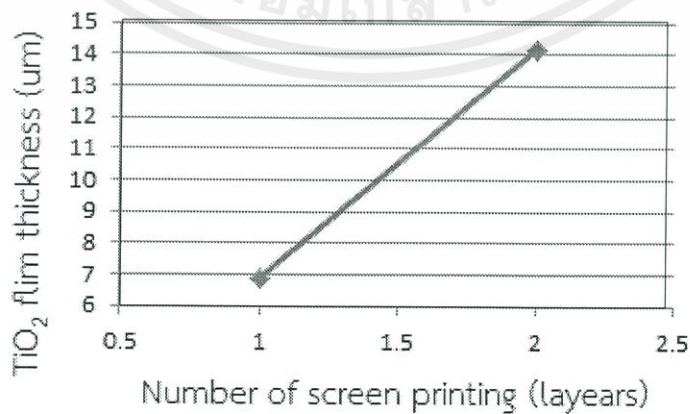
จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนโดยใช้ภาพถ่าย Cross Section ในการวัดความหนาของฟิล์ม โดยนำตัวอย่างชิ้นงานที่สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 1 ชั้น และ 2 ชั้น ไปวัดความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลที่ได้คือ 6.89 μm และ 14.17 μm ตามลำดับ เห็นได้ว่าความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนการพิมพ์สกรีนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อจำนวนครั้งการพิมพ์สกรีนเพิ่มมากขึ้น ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.7 फिल्मไทเทเนียมไดออกไซด์ 1ชั้น



รูปที่ 4.8 फिल्मไทเทเนียมไดออกไซด์ 2ชั้น

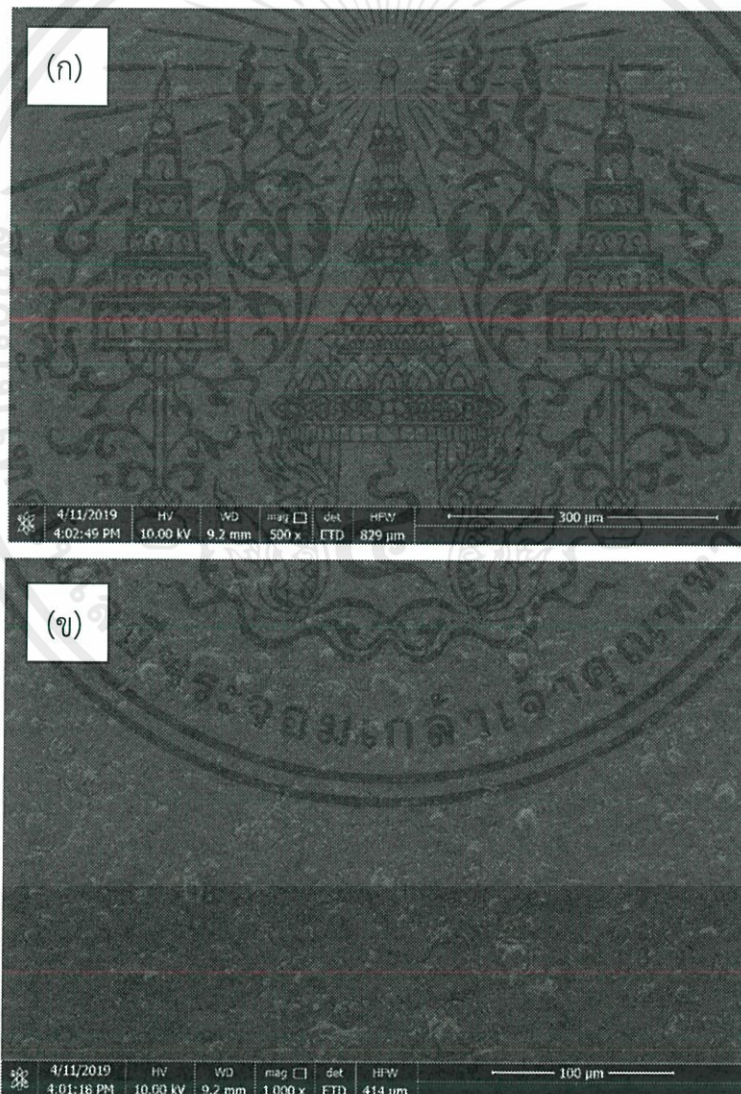


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนา กับจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂, sol-gel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

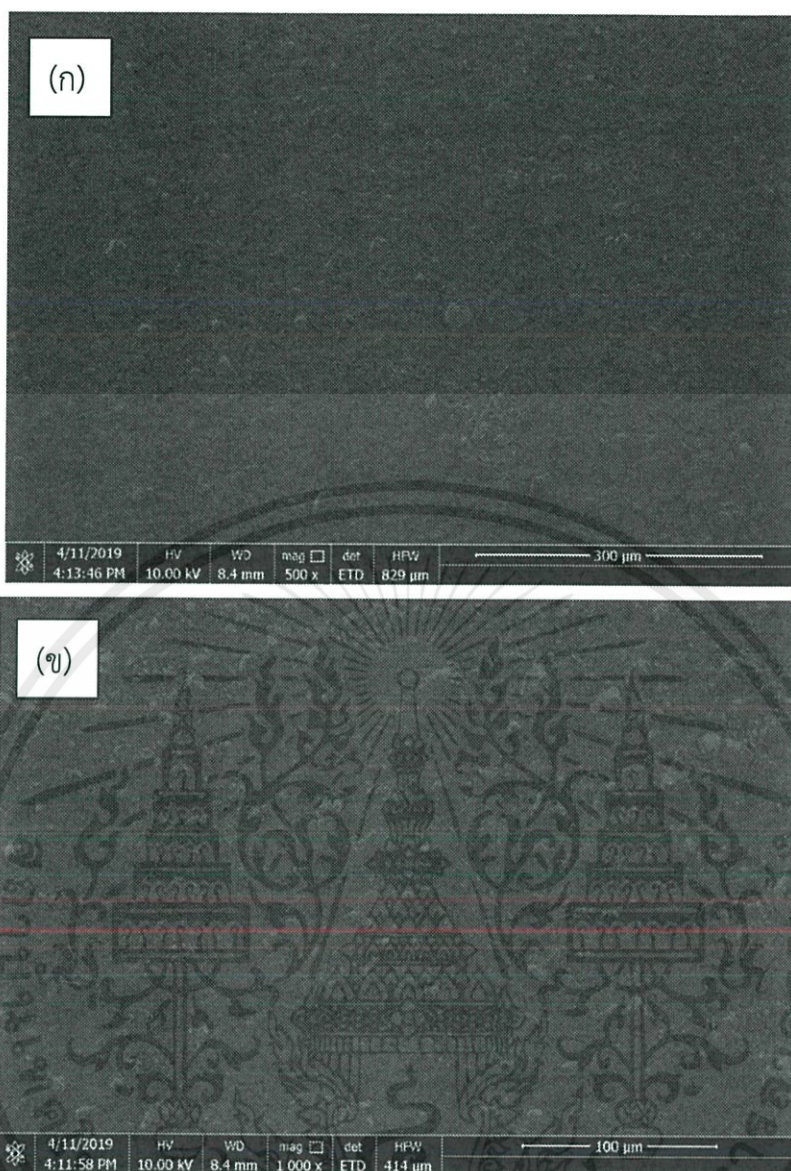
เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีน อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที บนฐานรองกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงมาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 4.10 ทั้ง (ก) และ (ข) พบว่าพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่ามีรอยแตกร้าวของฟิล์มเกิดขึ้น ซึ่งเกิด จากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงกับฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่เท่ากันเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูง ปัญหาดังกล่าวทำให้การเกาะเกี่ยวกันของอนุภาคนาโน ไทเทเนียมไดออกไซด์ขาดความต่อเนื่อง ดังนั้นจึงส่งผลต่อการเดินทางของอิเล็กตรอนจาก ไทเทเนียมไดออกไซด์ไปยังขั้วไฟฟ้าได้ยากขึ้นทำให้ปริมาณกระแสลดลง นอกจากนี้แล้วยังเกิด การกระจุกตัวของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นก้อนๆ การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ปัญหาดังกล่าวนี้อาจทำให้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงได้ น้อยลง ดังนั้นประสิทธิภาพ เซลล์แสงอาทิตย์จึงค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 1 Layer

(ก) ที่อัตราขยาย 500 เท่า (ข) ที่อัตราขยาย 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 2 Layer
(ก) ที่อัตราการขยาย 500 เท่า (ข) ที่อัตราการขยาย 1000 เท่า

4.2.3 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากตารางที่ 4.1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพก็จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้แล้ว จากตารางพบว่าประสิทธิภาพ (Eff) สูงสุดที่ได้คือ 8.9×10^{-4} ที่ความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 2 ชั้น จากตารางกระแสลัดวงจรเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียม ไดออกไซด์ กระแสลัดวงจร (J_{sc}) ที่ทำได้สูงที่สุดคือ 0.015 mA/cm^2 ที่ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น แรงดันวงจรเปิดมีการเปลี่ยนของระดับแรงดันค่อนข้างลดลงเมื่อจำนวนชั้นฟิล์มไทเทเนียม ไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

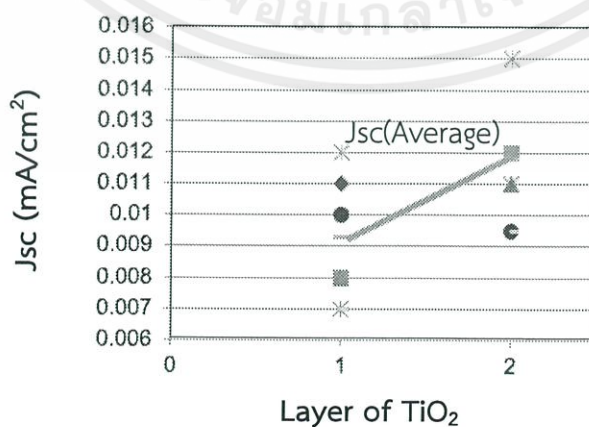
ตารางที่ 4.1 แสดงค่า J_{sc} , V_{oc} , FF และ Efficiency ของแต่ละเซลล์ที่ความหนาของไททาเนียมไดออกไซด์ต่างๆ

Jsc (mA/cm ²)									
Cell	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
1 Layer	0.011	0.008	0.008	0.012	0.007	0.010	0.012	0.007	0.009
2 Layers	0.012	0.012	0.011	0.015	0.011	0.010	0.015	0.010	0.012

Voc (V)									
Cell	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
1 Layer	0.35	0.30	0.38	0.42	0.37	0.35	0.42	0.30	0.36
2 Layers	0.25	0.27	0.38	0.44	0.32	0.29	0.44	0.25	0.33

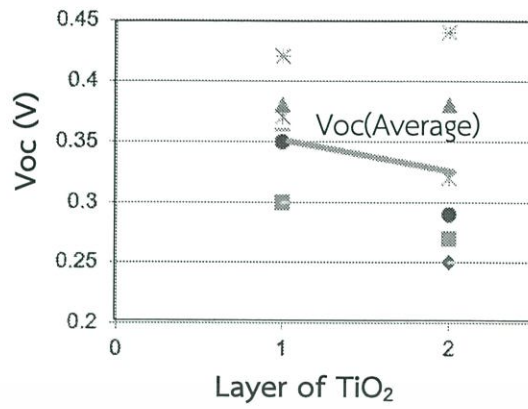
FF									
Cell	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
1 Layer	6.63	7.95	9.60	4.13	6.27	7.04	9.60	4.13	6.94
2 Layers	7.58	5.34	8.92	3.13	7.22	9.50	9.50	3.13	6.95

Efficiency (m%)									
Cell	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
1 Layer	0.72	0.54	0.82	0.59	0.46	0.69	0.82	0.46	0.63
2 Layers	0.64	0.49	1.06	0.59	0.72	0.74	1.06	0.74	0.70

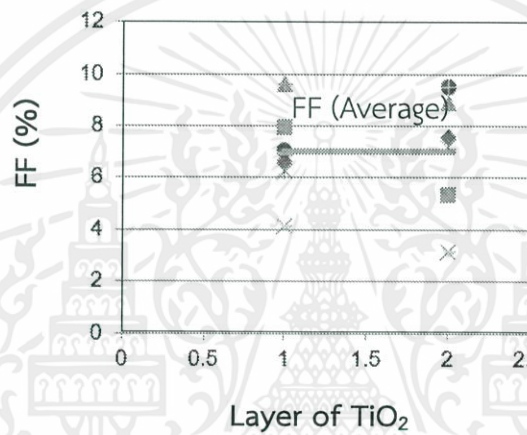


(ก)

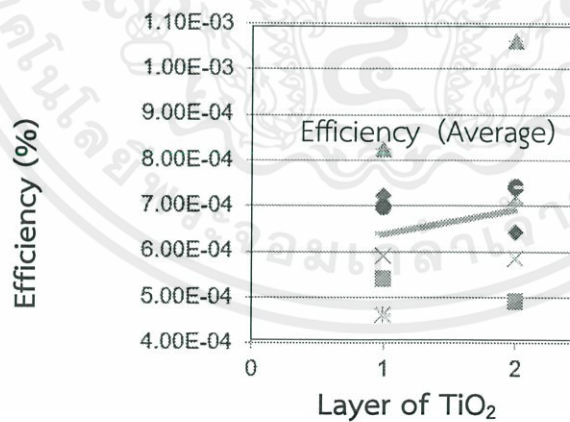
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)



(ง)

- รูปที่ 4.12 (ก)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า J_{sc} (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่างๆ
 (ข)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่างๆ
 (ค)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า FF (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่างๆ
 (ง)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $Efficiency$ (เฉลี่ย) และจำนวนชั้น TiO_2 ต่างๆ

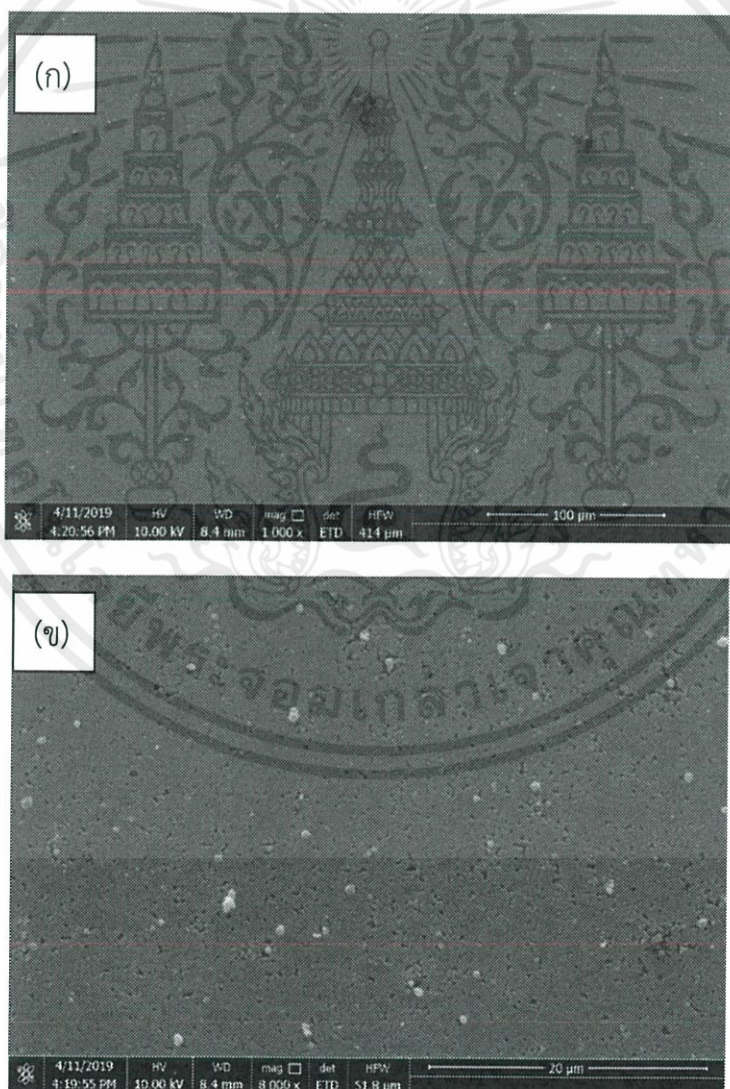
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลกระทบเวลาในการปลูกฟิล์มของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการทดลองที่ 1 ได้นำผลจากการทดลองก่อนหน้านี้มาใช้คือความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น โดยการทดลองนี้ได้ศึกษาเวลาในการปลูกฟิล์มของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ ที่ 10 , 20 และ 30 นาที เพื่อต้องการทราบเวลาที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์

4.3.1 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์

เมื่อนำฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้จากการวิธีอบสารละลายเคมี (CBD) ที่ทำการปลูกฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ 20 นาที มาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 4.12 ทั้ง (ก) และ (ข) พบว่า พื้นผิวของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ มีลักษณะเรียบเนียน แต่มีจุดสีขาวที่คาดว่าน่าจะเป็นฝุ่นเนื่องจากการจัดเก็บ



รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เวลาในการปลูกฟิล์มที่ 20 นาที

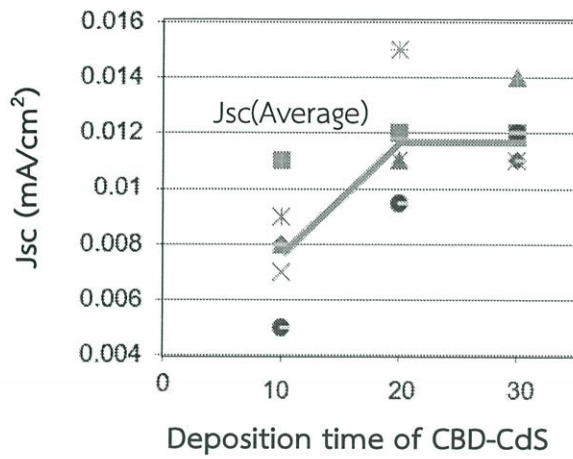
(ก) ที่อัตราขยาย 1000 เท่า (ข) ที่อัตราขยาย 8000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการแข่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

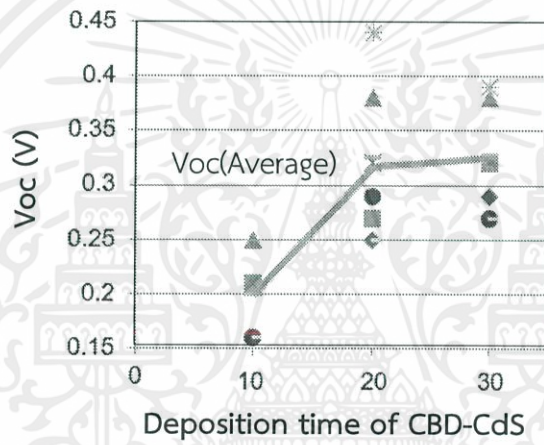
4.3.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

Jsc (mA/cm ²)									
Cell Deposition time	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
10 Minute	0.008	0.011	0.008	0.007	0.009	0.005	0.011	0.005	0.008
20 Minute	0.012	0.012	0.011	0.015	0.011	0.010	0.015	0.010	0.012
30 Minute	0.011	0.012	0.014	0.012	0.011	0.012	0.014	0.011	0.012
Voc (V)									
Cell Deposition time	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
10 Minute	0.16	0.21	0.25	0.21	0.21	0.16	0.25	0.16	0.20
20 Minute	0.25	0.27	0.38	0.44	0.32	0.29	0.44	0.25	0.32
30 Minute	0.29	0.32	0.38	0.39	0.32	0.27	0.39	0.27	0.33
FF									
Cell Deposition time	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
10 Minute	2.78	3.14	2.11	3.26	1.72	2.31	3.26	1.72	2.55
20 Minute	7.58	5.34	8.92	3.13	7.22	9.50	9.50	3.13	6.95
30 Minute	7.08	4.46	7.23	8.65	5.37	9.20	9.20	4.46	7.00
Efficiency (m%)									
Cell Deposition time	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
10 Minute	0.10	0.21	0.12	0.14	0.09	0.05	0.14	0.05	0.11
20 Minute	0.64	0.49	1.15	0.58	0.72	0.74	1.06	0.49	0.71
30 Minute	0.64	0.48	1.09	1.15	0.54	0.84	1.15	0.49	0.79

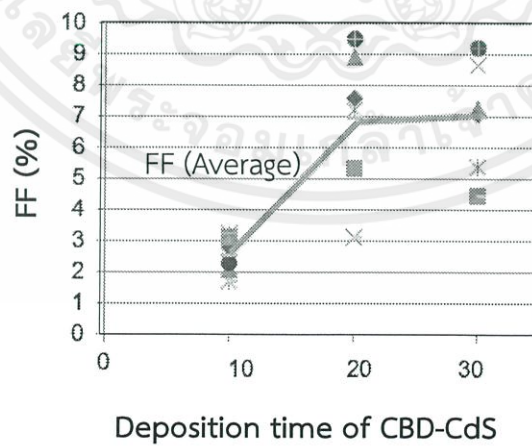
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Jsc, Voc, FF และ Efficiency ของแต่ละเซลล์ที่เวลาในการปลูกฟิล์มต่างๆ



(ก)

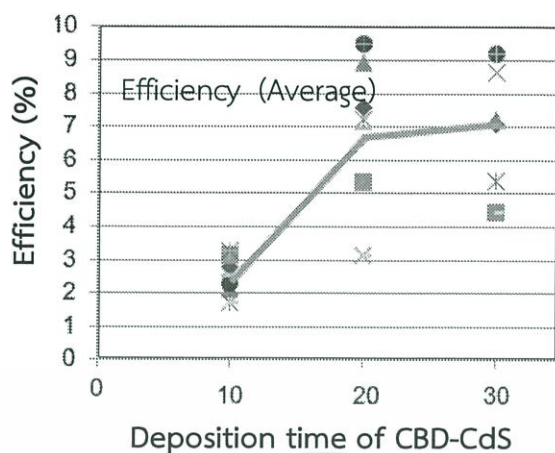


(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

- รูปที่ 4.14 (ก)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า J_{sc} (เฉลี่ย) และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ
 (ข)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} (เฉลี่ย) และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ
 (ค)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า FF (เฉลี่ย) และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ
 (ง)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Efficiency (เฉลี่ย) และเวลาในการปลูกฟิล์ม CdS ต่างๆ

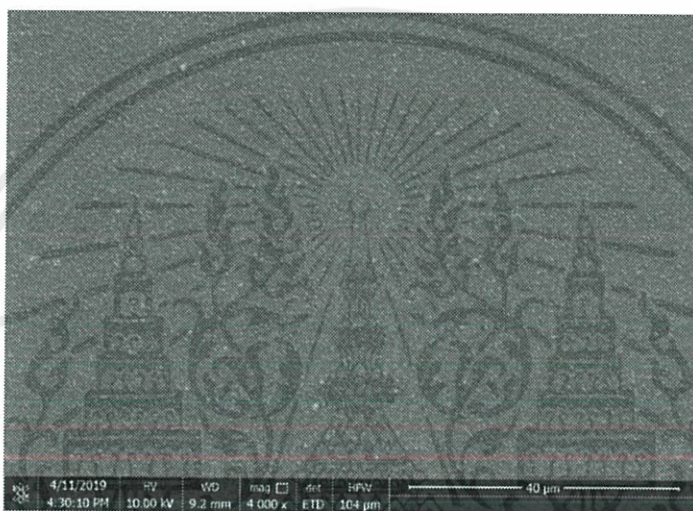
จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 เป็นผลการวัดประสิทธิภาพโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการปลูกฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ ที่ 10, 20 และ 30 นาที จะเห็นได้ว่าที่เวลา 10 นาที ประสิทธิภาพโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์จะน้อยกว่า ทั้ง 20 และ 30 นาที คือ 1.18×10^{-4} อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาปลูกฟิล์มเป็น 20 และ 30 นาที ประสิทธิภาพโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ก็จะมีค่ามากขึ้น คือ 7.06×10^{-4} และ 7.9×10^{-4} ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ไม่ต่างกันมากนัก และทั้งกระแสตรงจร (J_{sc}) และแรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) ก็มีค่าไม่ต่างกันว่าที่ 20 และ 30 นาที

4.4 ผลกระทบความเข้มข้นของ PbS ที่ความเข้มข้น 0.05M , 0.10M , 0.15M และ 0.20M ของแคดเมียมซัลไฟด์ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

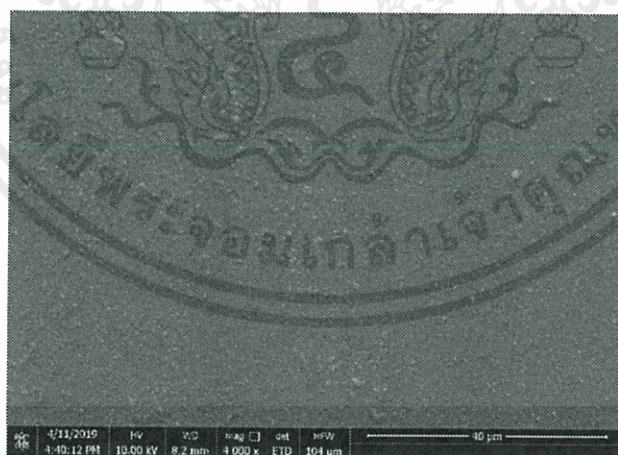
การทดลองที่ 3 ได้นำผลจากการทดลองก่อนหน้านี้มาใช้คือความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ 2 ชั้น และใช้เวลาในการปลูกฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ 20 นาที เนื่องจากผลจากการทดลองได้ค่าต่างๆใกล้เคียงกับการใช้เวลาในการฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ 30 นาที ทำให้ประหยัดเวลา โดยการทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PbS ที่ความเข้มข้น 0.05M , 0.10M , 0.15M และ 0.20M ของ $Pb(NO_3)_2$ และ Na_2S เพื่อต้องการทราบความเข้มข้นของ PbS ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์

4.4.1 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มเลดซัลไฟด์

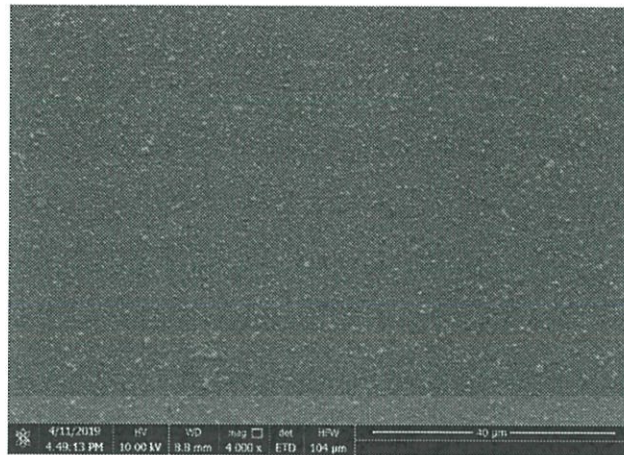
เมื่อนำฟิล์มบางเลดซัลไฟด์ ที่ได้จากการวิธี SILAR ที่ทำการปลูกฟิล์มบางเลดซัลไฟด์ 20 รอบ มาศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยภาพถ่ายจาก SEM จากรูปที่ 4.15 ทั้ง (ก), (ข) และ(ค) พบว่าพื้นผิวของฟิล์มบางเลดซัลไฟด์มีลักษณะเรียบเนียน แต่รูปที่ 4.15 (ง) พบว่าพื้นผิวของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ มีลักษณะเป็นเกล็ด



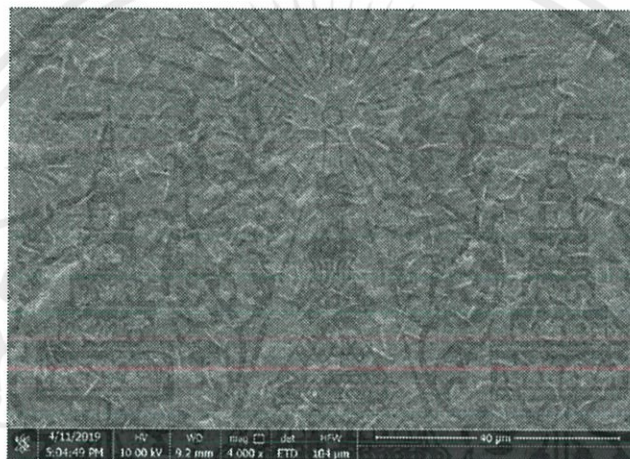
(ก)



(ข)



(ก)

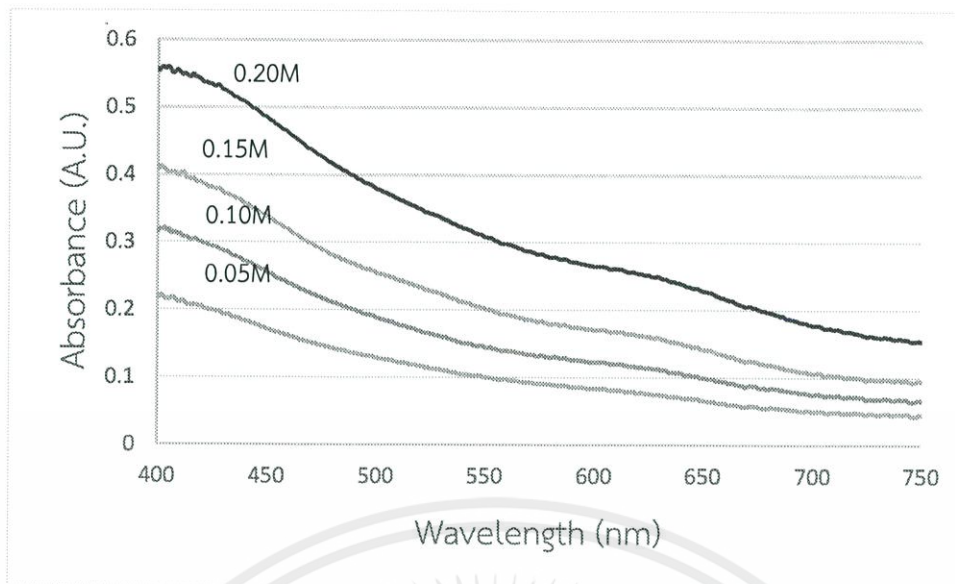


(ง)

รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบางเลดซัลไฟด์อัตราขยาย 4000 เท่า
 (ก) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.05M (ข) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.10M
 (ค) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.15M (ง) ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.20M

4.4.2 สมบัติทางแสง

ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-VIS Spectrophotometer ของฟิล์มบางเลดซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยทั้งหมดถูกเตรียมด้วยวิธี SILAR ที่ 20 รอบ จากรูปที่ 4.21 เป็นการพิสูจน์ถึงการเพิ่มขึ้นของการดูดกลืนแสงของโมเลกุลของเลดซัลไฟด์ในช่วง (400-750) nm. ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการดูดกลืนแสงของโมเลกุลเลดซัลไฟด์มากขึ้นก็สามารถเกิดอิเล็กทรอนิกส์ได้เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.16 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโมเลกุลเลดซัลไฟด์แต่ละความเข้มข้นของโมเลกุลเลดซัลไฟด์

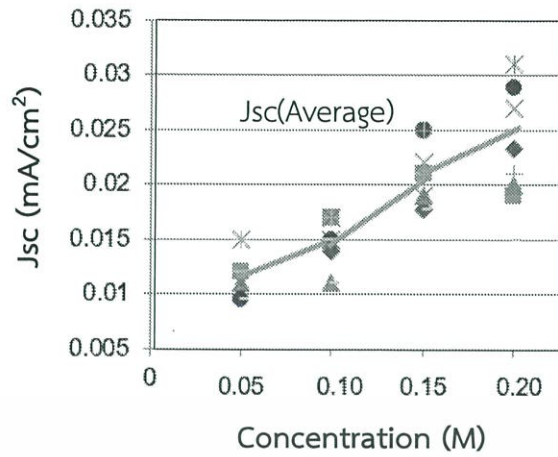
4.4.3 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อนำเซลล์มาวัด I-V โดยมีโครงสร้างของชั้นต่างๆดังนี้ ชั้นกระจก (Glass) / ชั้นฟลูออรีนทินดรอออกไซด์ (FTO) / ชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) / ชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) / ชั้นเลดซัลไฟด์ (PbS) / ชั้นเงิน (Ag) ได้ผลดังนี้

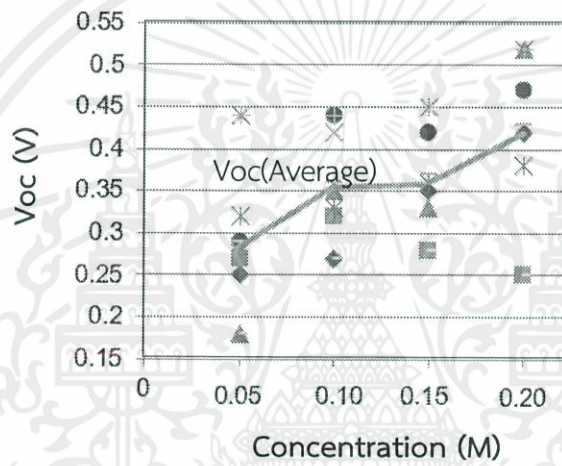
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า I_{sc} , V_{oc} , FF และ Efficiency ของแต่ละเซลล์ที่ค่าความเข้มข้น PbS ต่างๆ เมื่อเรานำค่าต่างๆมาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูค่าแนวโน้มและเปรียบเทียบ

Jsc (mA/cm ²)									
Cell Concentration	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
0.05M	0.012	0.012	0.011	0.015	0.011	0.010	0.015	0.010	0.012
0.10M	0.014	0.017	0.011	0.017	0.015	0.015	0.017	0.011	0.015
0.15M	0.018	0.021	0.019	0.022	0.019	0.025	0.025	0.018	0.021
0.20M	0.023	0.019	0.020	0.027	0.031	0.029	0.021	0.015	0.025
Voc (V)									
Cell Concentration	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
0.05M	0.25	0.27	0.18	0.44	0.32	0.29	0.44	0.18	0.29
0.10M	0.27	0.32	0.35	0.42	0.33	0.44	0.44	0.27	0.36
0.15M	0.35	0.28	0.33	0.45	0.36	0.42	0.45	0.28	0.37
0.20M	0.42	0.25	0.52	0.52	0.38	0.47	0.52	0.25	0.43
FF									
Cell Concentration	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
0.05M	7.58	5.34	8.92	3.13	7.22	9.50	9.50	3.13	6.95
0.10M	7.93	7.03	5.31	8.37	4.77	8.70	8.70	4.77	7.01
0.15M	8.71	8.25	7.01	7.19	9.17	8.75	9.17	8.71	8.18
0.20M	7.89	7.63	8.26	8.81	7.56	9.19	9.19	7.56	8.22
Efficiency (m%)									
Cell Concentration	1	2	3	4	5	6	Max	Min	Average
0.05M	0.64	0.49	0.50	0.58	0.72	0.74	0.74	0.49	0.71
0.10M	0.85	1.08	0.58	1.69	0.67	1.63	1.69	0.58	1.08
0.15M	1.53	1.37	1.25	2.02	1.78	2.60	2.60	1.25	1.76
0.20M	2.19	1.03	2.43	3.50	2.52	3.54	3.54	1.03	2.54

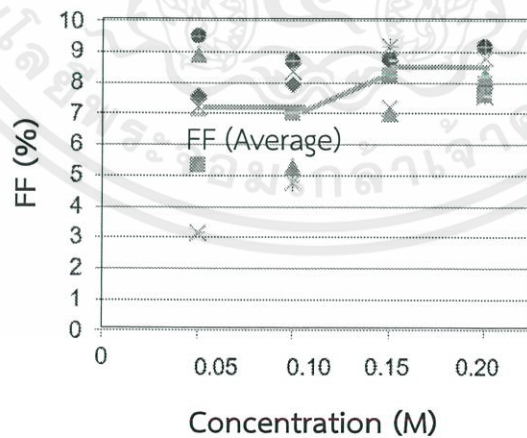
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

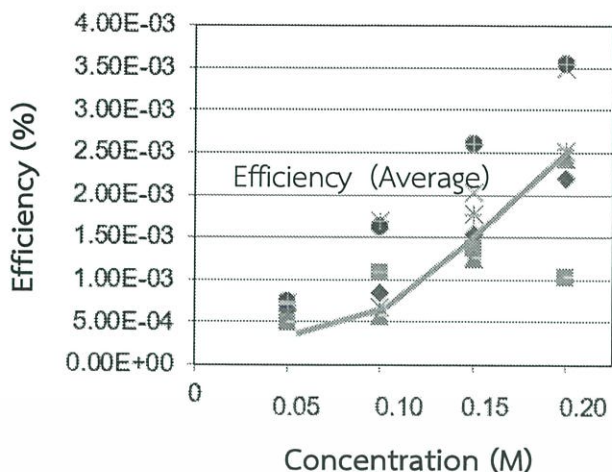


(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



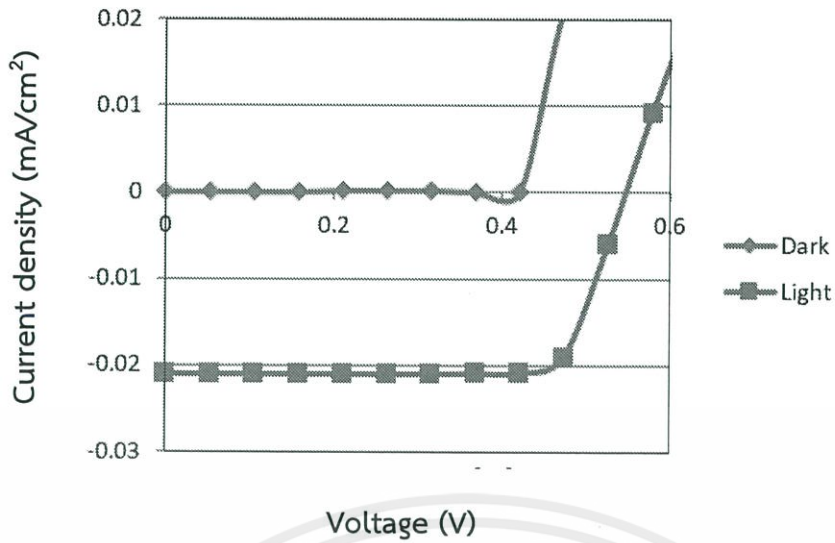
(ง)

- รูปที่ 4.17 (ก)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า J_{sc} (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ
 (ข)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ
 (ค)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า FF (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ
 (ง)กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Efficiency (เฉลี่ย) และความเข้มข้น PbS ค่าต่างๆ

รูปที่ 4.17 (ง) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และความเข้มข้นของ PbS จากตารางที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้คือ 3.54×10^{-3} ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.20M. กระแสลัดวงจรเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ ที่กระแสลัดวงจร (J_{sc}) ที่ทำได้สูงที่สุดคือ 0.025 mA/cm^2 ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.15M. แต่กระแสลัดวงจรเฉลี่ยที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ที่ 0.20M มีค่าสูงกว่า แรงดันวงจรเปิดมีการเปลี่ยนของระดับแรงดันมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าสูงสุดคือ 0.52 V. ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.20M. แสดงค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (FF) สูงสุดคือ 9.19 บนพื้นที่ 28.33 cm^2 ที่ความเข้มข้นของเลดซัลไฟด์ 0.20M.

4.4.4 เซลล์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด

เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเกิดจากการสร้างโดยสร้างชั้น TiO_2 ใช้ความหนาของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 Layers ด้วยเทคนิคการพิมพ์สกรีน และสร้างชั้น CdS โดยใช้เวลาในการปลูกฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี (CBD) เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 70°C และสร้างชั้น PbS ด้วยวิธีการ Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) เป็นจำนวน 20 รอบ ที่ความเข้มข้น PbS 0.20M. พบว่าเซลล์ที่ดีที่สุดที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างดังกล่าว มี ค่ากระแสลัดวงจร (J_{sc}) 0.54 V. ค่าแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) 0.021 mA/cm^2 ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ 0.91 และค่าประสิทธิภาพได้สูงสุดที่ $3.54 \times 10^{-3} \%$



รูปที่ 4.18 กราฟ I-V ของเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด



สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธุ์ PbS/CdS หรือ Heterojunction Solar Cells โดยการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรก เป็นการศึกษาผลกระทบต่อความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลกระทบต่อเวลาในการปลูกฟิล์ม ของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และส่วนสุดท้ายคือ การศึกษาผลกระทบต่อความเข้มข้นของ PbS ที่ความเข้มข้น 0.05M , 0.10M , 0.15M และ 0.20M ของ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ และ Na_2S ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการสกรีน วิธีการอบสารละลายเคมี (CBD) และวิธีการ Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) ฟิล์ม TiO_2 ถูกเตรียมด้วย Titanium dioxide (nanopowder), Ethyl cellulose และ Terpineol และฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ถูกเตรียมด้วย แคดเมียมซัลไฟด์ (CdSO_4) ไธโอยูเรีย (NH_2CSNH_2) แอมโมเนีย (NH_4OH) ที่อุณหภูมิ 70°C และเตรียมฟิล์ม PbS ด้วยเลดไนเตรท ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ได้สร้างโดยกระบวนการ SILAR จำนวน 20 รอบ โดยมีโครงสร้างของชั้นงานดังต่อไปนี้คือ ชั้นกระจก (Glass) / ชั้นฟลูออรีนทินทรอปออกไซด์ (FTO) / ชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) / ชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) / ชั้นเลดซัลไฟด์ (PbS) / ชั้นเงิน (Ag) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

จากกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธุ์ PbS/CdS ของการทดลองที่ผ่านมาพบว่า ความหนาของชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ความหนาของชั้นที่มี 2 Layers จะมีประสิทธิภาพมากกว่า 1 Layers และเวลาที่ใช้ในการปลูกชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ก็มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเวลาที่ใช้ในการปลูกที่ 20 นาที มีความเหมาะสมมากกว่าที่ 30 นาที เนื่องจากผลของการทดลองประสิทธิภาพที่ได้มีค่าไม่ต่างกันมาก นอกจากนี้แล้วความเข้มข้นของโมเลกุลซัลไฟด์ (PbS) ก็มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าที่ความเข้มข้นมากประสิทธิภาพก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน และเมื่อนำไปสร้างโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธุ์ PbS/CdS ก็จะได้โซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพได้สูงที่สุดที่ $3.54 \times 10^{-3} \%$

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.R. Petit, J.Jouzel†, D.Raynaud, N. I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davisk, G. Delaygue†, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. Lipenkov, C. Lorius, L.P pin, C. Ritz, 1999, 399, 429. E. Saltzmark & M. Stievenard
- [2] Z. Abdin, M. A. Alirn, R. Saidur, M.R. Islarn, W. Rashrni, S. Mekhilef, and A. Wadi, "Solar energy harvesting with the application of nanotechnology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (2013) 837-852.
- [3] D. Krapf, S.-H. Kan, U. Banin, O. Millo, and A. Sa'ar, *Phys. Rev. B* 69, 073301 (2004).
- [4] Beard, MC; Knutsen, KP; Yu, P; Luther, JM; Song, Q; Metzger, WK; Ellingson, RJ; Nozik, AJ (2007). "MEG in colloidal silicon nanocrystals". *Nano Letters*. 7 (8): 2506–12.
- [5] S. Lee, J. Kim, L. Jonsson, and J. W. Wilkins, *Phys. Rev. B* 66, 235307 (2002).
- [6] U. Banin, J. Lee, A. Guzelian, A. Kadavanich, and A. Alivisatos, *Superlattices Microstruct.* 22, 559 (1997).
- [7] D. Steiner, D. Katz, O. Millo, A. Aharoni, S. H. Kan, T. Mokari, and U. Banin, *Nano Lett.* 4, 1073 (2004).
- [8] S. H. Kan, T. Mokari, E. Rothenberg, and U. Banin, *Nat. Mater.* 2, 155 (2003).
- [9] A. A. Guzelian, U. Banin, A. V. Kadavanich, X. Peng, and A. P. Alivisatos, *Appl. Phys. Lett.* 69, 1432 (1996).
- [9] Tian J. J. et al. . Enhanced Performance of CdS/CdSe Quantum Dot Cosensitized Solar Cells via Homogeneous Distribution of Quantum Dots in TiO₂ Film. *J. Phys. Chem. C* 116, 18655–18662 (2012).
- [10] Hines D. A. & Kamat P. V. Recent Advances in Quantum Dot Surface Chemistry. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 6, 3041–3057 (2014). [PubMed]
- [11] Kamat P. V., Christians J. A. & Radich J. G. Quantum Dot Solar Cells: Hole Transfer as a Limiting Factor in Boosting the Photoconversion Efficiency. *Langmuir* 30, 5716–5725 (2014). [PubMed]