

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปลูกฟิล์มบาง CuInS_2 ด้วยวิธีสเปรย์เพื่อประยุกต์ใช้เป็น
เซลล์แสงอาทิตย์

Spray Deposition of CuInS_2 Thin Films for Photovoltaic Application



T119466



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **119466**
วัน,เดือน,ปี...-8 S.ค. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

Spray Deposition of CuInS₂ Thin Films for Photovoltaic Application

Wankavee Thamtechapant

Sethaporn Buangam

Apirak Poompong

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CuInS_2

ผู้จัดทำ

1. นายวันกวี ธรรมเตชะพันธ์
2. นางสาวเสริญฐพร บัวงาม
3. นายอภิรักษ์ พุ่มพวง



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์)



เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CuInS_2

นายวันกวี ธรรมเดชะพันธ์ รหัส 50011440
นางสาวศรยุทธพร บัวงาม รหัส 50011604
นายอภิรักษ์ พุ่มพวง รหัส 50011862
รศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการปลูกฟิล์มบาง CuInS_2 ด้วยวิธีสเปร์ย์เพื่อประยุกต์ใช้เป็นโซลาร์เซลล์ โดยใช้สารตั้งต้น Copper Chloride (CuCl_2) กับ Indium Chloride (InCl_3) และสารประกอบ Sulfur ที่ได้จากสาร Thiourea (NH_2CSNH_2) ซึ่งฟิล์มบาง CuInS_2 ถูกปลูกลงบนกระจก โดยได้ทำการทดลองตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ เช่น ระยะเวลาของการพ่นสเปร์ย์, อุณหภูมิขณะพ่นสเปร์ย์ และอัตราส่วนต่างๆ ของสารตั้งต้นว่ามีผลกระทบต่อการทำงานของฟิล์มบาง CuInS_2 อย่างไร โดยฟิล์มบางและโซลาร์เซลล์ ($\text{Ag} / \text{CuInS}_2 / \text{TiO}_2 / \text{TCO} / \text{glass}$) ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ XRD, EDX, SEM และวัดความเป็นโซลาร์เซลล์

CuInS₂ Thin Film Solar cells

Mr.Wankavee Thamtechapant ID 50011440

Ms.Setthaporn Buangam ID 50011604

Mr.Apirak Poompong ID 50011862

Assoc.Prof.Dr.Sutichai Chaisitsak Advisor

Educational Year 2010

Abstract

This project presented the deposition of CuInS₂ thin films by spray coating technique for Copper (II) Chloride (CuCl₂), Indium (III) Chloride (InCl₃) and Thiourea (NH₂CSNH₂) as precursor sources .CuInS₂ Thin films were deposited on glass substrates using thin films were screened by Titanium (II) Oxide (TiO₂) for better efficiency. The effect of deposition parameters, such as spray-looptime, deposition temperature and the concentration of starting solution on the formation of CuInS₂ films was investigated. The obtained films were analyzed by X-ray diffraction, energy dispersive X-ray analysis and scanning electron microscopy. A solar cell (Ag / CuInS₂ / TiO₂ / TCO /glass) was also tested.

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการ เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CuInS_2 ต้องขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้ ทำให้การทำโครงการนี้มีความต่อเนื่องตลอดทั้งเทอม ขอขอบพระคุณ นักศึกษาปริญญาโททุกท่าน โดยเฉพาะ นายจันท บัญลอย ที่ช่วยให้คำปรึกษา และแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆเป็นยอดดี รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกในเรื่องของการนำชิ้นงานไปส่งผ่าน

ขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วยที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้มีความก้าวหน้ามากขึ้น คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายวันกวี ธรรมเตชะพันธ์

นางสาวเศรษฐพร บัวงาม

นายอภิรักษ์ พุ่มพวง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 แนวโน้มการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต	2
1.3 फिल्मบางชนิด CuInS_2 (Copper Indium Disulfide)	4
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เซลล์แสงอาทิตย์	6
2.1 ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.1.1 ความหมายของ Solar Cell หรือ PV	6
2.1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.3 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.4 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.5 การแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากฟิล์มบาง CuInS_2	16
2.6.1 ลักษณะ และคุณสมบัติของฟิล์มบาง CuInS_2	16
2.7 เทคโนโลยีที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง CuInS_2	17
2.8 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มบาง CuInS_2	17
บทที่ 3 วิธีการทดลองและวิธีการวิเคราะห์	18
3.1 หลักการปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีสเปร์ย์	18
3.2 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการปลูกฟิล์มบาง	18

3.3 ลำดับขั้นตอนในการสร้างชิ้นงาน	19
3.4 ขั้นตอนการทำสกรีน	19
3.5 ระบบพ่นสเปรย์	20
3.6 การคำนวณอัตราส่วนผสมของสารเคมี	21
3.7 โปรแกรมควบคุมการสเปรย์ โดยใช้โปรแกรม Lab View เป็นโปรแกรมควบคุม	22
3.8 ขั้นตอนการทดลอง	24
3.9 ส่วนประกอบของหัวสเปรย์	26
3.10 ขั้นตอนการพ่นสเปรย์	27
3.11 การสร้างขั้วไฟฟ้าโดยการ Evaporation	29
3.12 การอบซัลเฟอร์	29
3.13 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD	30
3.13.1 หลักการพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD	30
3.13.2 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	31
3.14 การส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	32
3.15 EDX-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.1 การเปรียบเทียบการหน่วงเวลาที่ 8 วินาที กับ 16 วินาที	37
4.1.1 ผลการวัด XRD การเปรียบเทียบการหน่วงเวลาที่ 8 วินาที กับ 16 วินาที	38
4.2 การเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วนต่างๆ	38
4.2.1 ผลการส่อง SEM ของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนต่างๆ	39
4.2.2 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วนต่างๆ	41
4.3 การเปรียบเทียบชิ้นงานที่ anneal และ ไม่ anneal ในอากาศ	42
4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิต่างๆ ขณะพ่นสเปรย์	43
4.4.1 ผลการส่อง SEM ของชิ้นงานที่มีอุณหภูมิต่างๆ	43
4.4.2 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอุณหภูมิต่างๆ	45

4.5 การเปรียบเทียบการอบและไม้อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ	45
4.5.1 ผลการส่อง SEM ของการอบและไม้อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ	46
4.5.2 ผลการ EDX ของการอบและไม้อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ	48
4.5.3 ผลการส่อง XRD ของการอบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ	50
4.6 การวัดความเป็นโซลาเซลล์	51
4.6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I และ V	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	53
เอกสารอ้างอิง	54



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์EDX ของ SN002b	41
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์EDX ของ SN0010b	44
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์EDX ของ SP008cSb	48
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์EDX ของ SP008cSc	49



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โซลล่าเซลล์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานในปัจจุบัน	8
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้าง และการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	9
รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรูปเดี่ยว	10
รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป	11
รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน	13
รูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS	14
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการสร้างชิ้นงาน	19
รูปที่ 3.2 (ก) บล็อกสกรีนและแท่นรอง	20
(ข) โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการสกรีน	20
รูปที่ 3.3 ตู้พ่นสารที่ได้ทำการออกแบบ	21
รูปที่ 3.4 หน้าโปรแกรมควบคุม โดยเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Lab View	22
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมควบคุม	23
รูปที่ 3.6 (ก) เครื่อง Ultra sonic	24
(ข) เมื่อนำสารละลายมาผสมด้วยเครื่อง Ultra sonic	24
รูปที่ 3.7 สารทั้งหมดถูกผสมด้วยเครื่อง Ultra sonic	25
รูปที่ 3.8 กระจกที่ได้ทำการตัดแล้ว	25
รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบของหัวสเปรย์	26
รูปที่ 3.10 การติดตั้งหัวสเปรย์	27
รูปที่ 3.11 Heater ที่ทำการคลุมด้วยอลูมิเนียมฟอย	27
รูปที่ 3.12 (ก) แสดงการติดตั้งที่เสร็จสมบูรณ์	28
(ข) แสดงหลักการทำงานของระบบการพ่นสเปรย์	28
รูปที่ 3.14 การสร้างขั้วไฟฟ้าโดยการ Evaporation	29
รูปที่ 3.15 การอบซัลเฟอร์	29
รูปที่ 3.16 การทำงาน ของ XRD	31
รูปที่ 3.17 ลักษณะของเครื่อง SEM	32
รูปที่ 3.18 หลักการทำงานของเครื่อง SEM	33
รูปที่ 3.16 ลักษณะของเครื่อง EDX	34

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.1 (ก) : Sample SP005a	37
(ข) : Sample SP006a	37
รูปที่ 4.2 กราฟ XRD Sample SP005a [1:1:2]	38
รูปที่ 4.3 (ก) : Sample SN001b	39
(ข) : Sample SN002b	39
(ค) : Sample SN003b	39
(ง) : Sample SN004b	39
รูปที่ 4.4 (ก) : Sample SN001b กำลังขยาย 10K เท่า	39
(ข) : Sample SN001b กำลังขยาย 30K เท่า	39
รูปที่ 4.5 (ก) : Sample SN002b กำลังขยาย 10K เท่า	40
(ข) : Sample SN002b กำลังขยาย 30K เท่า	40
รูปที่ 4.6 (ก) : Sample SN003b กำลังขยาย 10K เท่า	40
(ข) : Sample SN003b กำลังขยาย 30K เท่า	40
รูปที่ 4.7 (ก) : Sample SN004b กำลังขยาย 10K เท่า	40
(ข) : Sample SN004b กำลังขยาย 30K เท่า	40
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วนต่างๆ	41
รูปที่ 4.9 กราฟXRD เปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วนต่างๆ	42
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ Anneal และ ไม่ Anneal ในอากาศ	42
รูปที่ 4.11 (ก) : Sample SN0010b	43
(ข) : Sample SN0011b	43
(ค) : Sample SN003b	43
รูปที่ 4.12 (ก) : Sample SN0010b กำลังขยาย 10K เท่า	43
(ข) : Sample SN0010b กำลังขยาย 30K เท่า	43

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.13 (ก) : Sample SN0011b กำลังขยาย 10K เท่า	44
(ข) : Sample SN0011b กำลังขยาย 30K เท่า	44
รูปที่ 4.14 (ก) : Sample SN003b กำลังขยาย 10K เท่า	44
(ข) : Sample SN003b กำลังขยาย 30K เท่า	44
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการพ่นสเปรย์ที่อุณหภูมิต่างๆ	45
รูปที่ 4.16 (ก) : Sample SP008cSa	46
(ข) : Sample SP008cSb	46
(ค) : Sample SP008cSc	46
(ง) : Sample SP008cSd	46
รูปที่ 4.17 (ก) : Sample SP008cSa กำลังขยาย 1K เท่า	46
(ข) : Sample SP008cSa กำลังขยาย 5K เท่า	46
(ค) : Sample SP008cSa กำลังขยาย 30K เท่า	46
รูปที่ 4.18 Sample SP008cSb กำลังขยาย 5K เท่า	46
รูปที่ 4.19 (ก) : Sample SP008cSc กำลังขยาย 1K เท่า	47
(ข) : Sample SP008cSc กำลังขยาย 5K เท่า	47
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผล EDX ของ Sample SP008cSb	48
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผล EDX ของ Sample SP008cSc	49
รูปที่ 4.23 กราฟ XRD การอบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ (300,350,400 องศาเซลเซียส)	50
รูปที่ 4.24 Sample SN0019b	51
รูปที่ 4.25 (ก) : กราฟผลการทดสอบวัดความเป็นโพลาไรซ์เซลล์ที่ไม่มีแสง	52
(ข) : กราฟผลการทดสอบวัดความเป็นโพลาไรซ์เซลล์ที่มีแสง	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการพยายามหาแหล่งพลังงานทดแทนเป็นสิ่งที่ทั่วโลกกำลังเร่งศึกษา วิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นขั้นพื้นฐานทั้งทางตรงและทางอ้อมของการเกิด และดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตชนิดทั้งหลาย รูปแบบของพลังงานที่ใช้กันมากส่วนใหญ่อยู่ในรูปพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแหล่งกำเนิดพลังงานหลักๆในปัจจุบัน คือ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ พลังงานจากเชื้อเพลิงต่างๆเหล่านี้ นอกจากจะมีปริมาณจำกัดแล้ว ยังสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงทำลายชั้นบรรยากาศของโลกด้วย ส่วนพลังงานไฟฟ้าจากเขื่อนกั้นน้ำนั้น ได้พัฒนาไปถึงจุดอิ่มตัวแล้วสำหรับเกือบทุกประเทศ โดยปัจจุบันโลกใช้พลังงานจากฟอสซิล 95% (น้ำมัน 42% ถ่านหิน 28% ก๊าซธรรมชาติ 25%) พลังงานทดแทนประเภทพลังน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ลม คลื่น ชีวมวล 3% และพลังงานนิวเคลียร์ 2% ในขณะที่พลังงานสำรองของโลกประเภทน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินยังคงเหลือให้ใช้ได้ก็อีกเพียง 40, 62 และ 218 ปี ตามลำดับ

ในประเทศไทยพลังงานไฟฟ้าได้มาจากการผลิตจากกระบวนการต่างๆ คือ ไฟฟ้าพลังความร้อน (จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง) 80% ไฟฟ้าพลังน้ำ 10% ส่วนพลังงานสำรองในประเทศ คือ ก๊าซธรรมชาติเราจะมีต่อไปอีกเพียง 20 ปี ถ่านหิน 60 ปี จะเห็นว่า เราต้องอาศัยการผลิตไฟฟ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งต้องอาศัยน้ำมันดิบจากต่างประเทศประมาณ 95% ของปริมาณการใช้ทั้งหมด และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นในระยะกลาง และระยะยาว แนวทางแก้ปัญหา คือ การพยายามหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน การพยายามใช้แหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศตนเอง เช่น ความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสร้างไฟฟ้ารวมทั้งความร้อน ในกลุ่มพลังงานใหม่เหล่านี้ พลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างเด่นกว่าชนิดอื่น เพราะมีอยู่ทั่วไป ไม่จำกัด สะอาด ติต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการสร้างพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจึงเป็นสิ่งที่หลายประเทศกำลังพยายามพัฒนาให้สำเร็จทั้งในด้านเทคโนโลยี และเศรษฐกิจ เพราะนอกจากจะแก้ปัญหาข้อจำกัดของเชื้อเพลิงธรรมชาติแล้ว ยังจะแก้ปัญหาในด้านมลพิษด้วย ซึ่งการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงนั้น สามารถทำได้โดยอาศัยตัวเปลี่ยนพลังงานที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์ (solar cells)

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ และคาดว่าจะมีบทบาทสำคัญในอนาคตอันใกล้นี้ เนื่องจากมีสมบัติเด่นหลายประการ คือ

1. พลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีอยู่ทุกที่ทั่วไป มีไม่จำกัด เป็นพลังงานที่สะอาด และดีต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากจะช่วยแก้ปัญหาข้อจำกัดของเชื้อเพลิงธรรมชาติแล้ว ยังจะแก้ปัญหาในด้านมลพิษอีกด้วย อีกทั้งประเทศไทยยังเป็นประเทศที่มีพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2. เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้สามารถนำไปใช้ได้ทันทีหรือจะมีอุปกรณ์ร่วมเพื่อกักเก็บหรือแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น มากกว่า 95 % ทำจากซิลิคอนซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลกรองจากออกซิเจน นั่นคือ เป็นวัสดุดิบที่มีมากมายเหลือใช้ ทำให้ในแง่ของเทคโนโลยีและกระบวนการสร้างมีภาคอุตสาหกรรมรองรับ

4. มีกระบวนการสร้างที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ

1.2 แนวโน้มการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต

ด้านเทคโนโลยี มุ่งเน้น ไปทางฟิล์มบางมากขึ้น เนื่องจากต้นทุนวัสดุถูกกว่า และไม่ต้องแย่งตลาดกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องใช้ Crystalline Silicon เป็นหลัก

ด้านการผลิต คาดว่าจากปี ค.ศ. 1998-2000 กำลังผลิตทั่วทั้งโลกจะเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวต่อปี ซึ่งแยกตามเทคโนโลยีต่าง ได้ ดังนี้

- Crystalline Silicon 150% จาก 215 เมกะวัตต์ เป็น 340 เมกะวัตต์
- Amorphous Silicon จะเพิ่มปริมาณขึ้นประมาณ 180% จาก 50 เมกะวัตต์ เป็น 90 เมกะวัตต์
- สารประกอบอื่นๆ เช่น Copper Indium Diselenide และ Cadmium Telluride จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นประมาณ 320% จาก 20 เมกะวัตต์ เป็น 65 เมกะวัตต์

ด้านการตลาด ตลาดใหม่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปน่าจะเป็นในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา เพราะยังมีระบบไฟฟ้าชนบทที่ต้องพัฒนาอีกจำนวนมาก แต่มีข้อจำกัดที่ต้องอาศัยการลงทุนจากต่างประเทศเป็นหลัก ดังนั้นภาครัฐยังคงเป็นเจ้าของกิจการไฟฟ้า และยังคงต้องรับผิดชอบ

ระบบไฟฟ้าในชนบทในหลายกรณี การเลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อขยายระบบจำหน่ายไปสู่ชนบท จะเป็นทางเลือกที่ดีกว่าระบบสายส่ง แต่หากมีการเปลี่ยนโครงสร้างอุตสาหกรรมไฟฟ้า ซึ่งถ้ากิจการไฟฟ้าถูกแปรรูปให้เอกชนไปแล้ว โอกาสของการขยายตลาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะลดน้อยลง เนื่องจากเอกชนส่วนใหญ่ มักจะมุ่งค้าทำกำไรในระยะสั้นๆ เป็นหลัก

สำหรับตลาดของการจ่ายระบบ (Grid Connected) เป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก เพราะการลงทุนต่อกิโลวัตต์ จะต่ำกว่าระบบอิสระ (Stand Alone) ซึ่งต้องใช้แบตเตอรี่และต้องเปลี่ยนใหม่ทุกๆ 7-10 ปี และหากมีการ “ร่วมลงทุน” ระหว่างภาครัฐกับผู้ใช้งาน ก็จะเป็นส่วนเสริมให้ตลาดของระบบฯ ขยายตัวรวดเร็วขึ้น สิ่งเหล่านี้ย่อมเป็นเครื่องบ่งชี้ว่า ตลาดของ “การต่อเข้าระบบ-Grid Connected” จะมีอนาคตที่ดี มีทางที่จะขยายผลเป็นรูปธรรม และทำให้เกิดการผลิตขนาดใหญ่ (Mass Production) ส่งผลทำให้ราคาการลงทุน ลดลงสู่ระดับที่น่าพอใจในอนาคตอันใกล้

สำหรับตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยในอนาคต มีความได้เปรียบที่จะเติบโตมากขึ้น ทั้งในด้านผู้ใช้และผู้ประกอบการ เพราะนโยบายจากภาครัฐได้ให้การสนับสนุนอย่างชัดเจน ซึ่งจากผลสำเร็จของโครงการต่างๆ ที่ผ่านมา นักวิชาการไทยได้มีโอกาสเพิ่มประสบการณ์มากขึ้น ทั้งในเรื่องการติดตั้งใช้งานและการพัฒนาระบบฯ ด้วยตนเอง ตลอดจนความร่วมมือที่เข้มแข็งของกลุ่มนักวิชาการพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ จึงทำให้เชื่อมั่นได้ว่าหากนโยบายจากภาครัฐยังคงมีความชัดเจน และให้การสนับสนุนอย่างจริงจังดังเช่นที่ผ่านมา และตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะกรณีไฟฟ้าชนบท (Off Grid) ซึ่งเป็นพื้นที่ทุรกันดาร และไม่มีสายไฟฟ้าเข้าถึง ยังมีอยู่เป็นจำนวนมากในทุกภูมิภาคของประเทศไทย จึงเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ไม่ยาก ในการก้าวไปสู่การดำเนินธุรกิจเซลล์แสงอาทิตย์ ในระดับอุตสาหกรรม ทำให้ประเทศไทยเป็นที่สนใจ ของนักลงทุนต่างประเทศ ที่จะเข้ามาทำตลาดของไทยให้เติบโตขึ้น เมื่อประกอบกับประสบการณ์ด้านเทคโนโลยี ด้วยพื้นฐานที่มั่นคงและกลไกความสัมพันธ์ด้านการตลาดที่ดีอยู่แล้ว ในภูมิภาคนี้ โอกาสที่นักลงทุน จะขยายผลไปยังตลาดของประเทศเพื่อนบ้าน จึงไม่น่าจะเป็นเรื่องยากเช่นกัน

พลังงานแสงอาทิตย์มีความโดดเด่นที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานทดแทน อื่นๆ เพราะประเทศไทยมีปริมาณแสงแดดเกือบตลอดทั้งปี เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้สิ่งประดิษฐ์ทาง วิศวกรรมที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเปลี่ยน พลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับติดตั้งใช้งานในบริเวณพื้นที่ เปิดโล่งที่มีแสงแดดส่องตลอดวัน ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่ เหมาะกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้นอย่างบ้านเรา สามารถผลิตได้แล้ว

ภายในประเทศ ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง เนื่องจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีความเข้มของรังสีอินฟราเรดสูง ทำให้เกิดความร้อนมาก รวมทั้งประเทศไทยยังตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ภูมิอากาศร้อน ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนซึ่งมีความหนาสะสมความร้อน และประสิทธิภาพยิ่งลดลงเมื่อเกิดความร้อนสูง ปัจจุบันทาง สวทช. ร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการผลักดันให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์ภายในประเทศ ซึ่งจะช่วยให้ประชาชนสามารถใช้งานในราคาที่ถูกลงกว่าท้องตลาด ที่ผ่านมาได้ส่งเสริมให้มีการติดตั้งใช้งานพลังงานด้านนี้มากขึ้นและ คาดว่าในอนาคตอันใกล้เซลล์แสงอาทิตย์จะเข้ามามีบทบาทต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในประเทศมากขึ้น

1.3 ฟิล์มบางชนิด CuInS_2 (Copper Indium Disulfide)

จากผลการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะไม่นานนี้ พบว่าสารประกอบ CuInS_2 (Copper Indium Disulfide) เป็นสารที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งในการนำไปประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง โดยสามารถประดิษฐ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขนาด 14% และมีเสถียรภาพสูง อนาคตสำหรับการใช้งาน CuInS_2 และสารประกอบที่เกี่ยวข้องจึงน่าเชื่อถือได้ ในการวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง โดยทั่วไปไม่สามารถจัดหาวัสดุฟิล์มบางจากแหล่งใด ๆ ได้ นอกจากนี้สมบัติของฟิล์มบางเป็นสมบัติที่ได้จากการทดลองและมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับวิธีการเตรียมฟิล์มบางนั้น ๆ โครงการวิจัยจึงต้องเริ่มต้นจากการสังเคราะห์ฟิล์มของสารประกอบ CuInS_2 แล้วศึกษาสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้แก่ สมบัติโครงสร้างและส่วนประกอบ และคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า เหล่านี้เป็นเทคโนโลยีในยุคใหม่ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะใช้งานในอนาคต ซึ่งตลาดต้องการราคาถูก ประสิทธิภาพสูง และมีความทนทาน

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.4.1 ออกแบบระบบการสร้างฟิล์มบาง CuInS_2 โดยใช้วิธีสเปรย์ด้วยความร้อน (Spray pyrolysis technique)

1.4.2 ทำการทดลองเงื่อนไขต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการสร้างฟิล์ม เพื่อให้ฟิล์มบางที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด

1.4.3 ทำการศึกษาวิเคราะห์การวัดคุณสมบัติของฟิล์มบาง คือ โครงสร้างของผลึก, ส่วนประกอบของธาตุและประสิทธิภาพความเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

- ซึ่งจากวัตถุประสงค์ทั้งหมดเพื่อต้องการศึกษาการสร้างฟิล์ม CuInS_2 โดยใช้วิธีสเปรย์เพื่อนำไปประยุกต์เป็นตัวดูดซับแสงในโซลาร์เซลล์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงวิธีการเตรียมสารเคมี และวิธีการผสมสารประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน ในสารละลายซึ่งสารเคมีที่ได้จากการผสมดังกล่าวสามารถนำไปสร้างฟิล์มบาง CuInS_2 ด้วยวิธี สเปรย์ หรือวิธีอื่น ๆ ได้อีก อาทิเช่น การสร้างฟิล์มด้วยไอเคมี (Chemical Vapor Deposition: CVD) เป็นต้น

1.5.2 ทำให้ทราบถึงวิธีการสร้างฟิล์มบาง CuInS_2 ทราบหลักการการออกแบบและการ ควบคุมการสร้างฟิล์มบางเพื่อให้ได้คุณสมบัติและเงื่อนไขที่ดีที่สุด ที่สามารถผลิตเป็นเซลล์ แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำได้

1.5.3 ทำให้ทราบถึงวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบาง ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์คุณสมบัติความเป็นผลึกด้วยการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ (*X-ray Diffraction: XRD*)
- การตรวจสอบองค์ประกอบสารที่ประกอบเป็นฟิล์มบาง CuInS_2 ด้วยวิธีการส่อง SEM
- การตรวจสอบ Surface ด้วยวิธีการส่อง SEM
- การตรวจสอบ คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2

เซลล์แสงอาทิตย์

2.1 ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 ความหมายของ Solar Cell หรือ PV

Solar Cell หรือ Photovoltaic (PV) มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือ โซลาร์เซลล์ ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า **Photovoltaic** โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง

แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมาจนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อปี ค.ศ. 1959

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี 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 40% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศก็ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังไฟฟ้า ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลกเช่นในปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เพื่อความสวยงาม

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการ ป้องกันความชื้นที่ดี

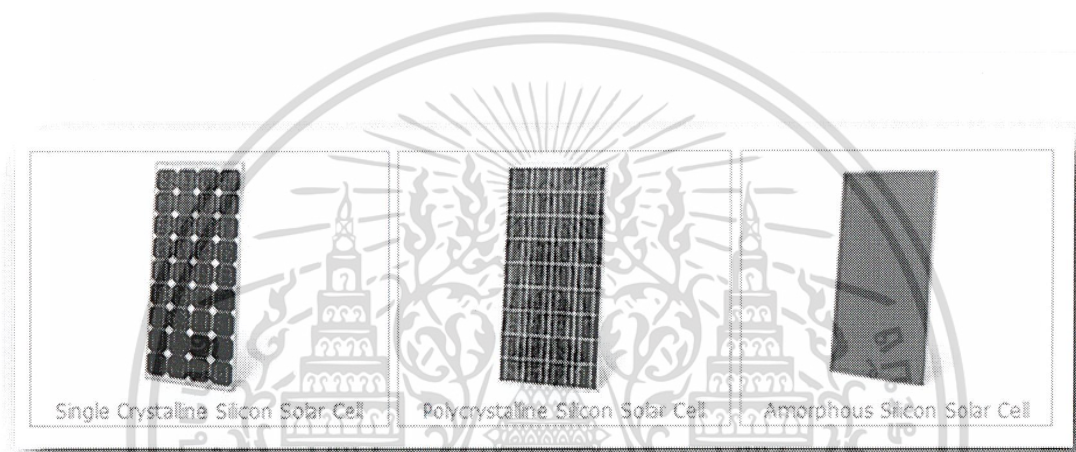
เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทน และป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่ บางครั้งก็ไม่มีผลจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminare) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้น โลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณา ลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า สูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีจุดเด่นที่สำคัญ แตกต่างจากวิธีอื่นหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะที่ใช้งาน จึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง
 2. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า
 3. มีการบำรุงรักษา น้อยมากและ ใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
 4. ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด
 5. สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตได้ปริมาณมาก
 6. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
 7. เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด
 8. ผลิตไฟฟ้าได้ทุกมุม โลกแม้บนเกาะเล็กๆ กลางทะเล บนยอดเขาสูง และในอวกาศ
 9. ได้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นพลังงานที่นำมาใช้ได้สะดวกที่สุด
- ดังนั้น ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นความหวังของคนทั่วโลก

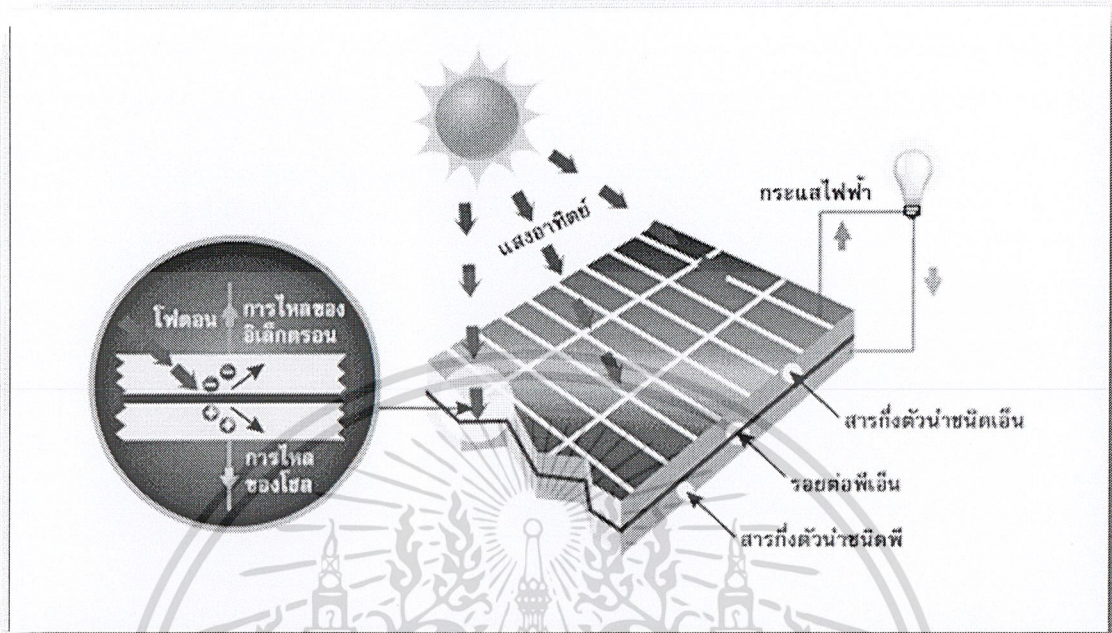
สรุปได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้



รูปที่ 2.1 โซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ ที่ใช้งานในปัจจุบัน

2.1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถูกลงและผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว



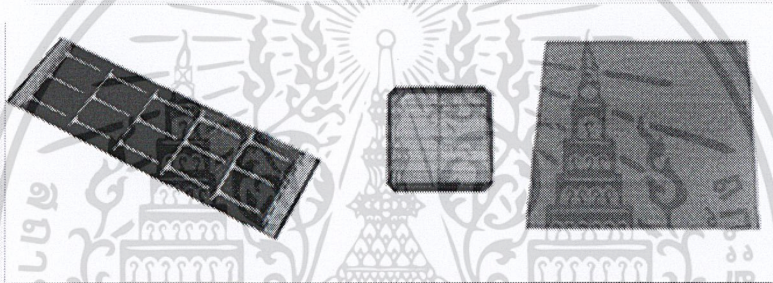
รูปที่ 2.2 โครงสร้าง และการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติพื้นฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น

2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

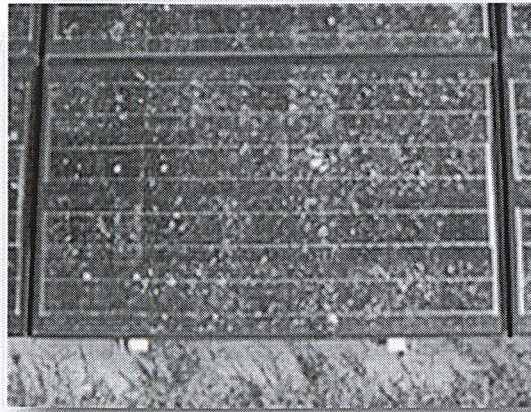
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันมากกว่า 95% ทำมาจากซิลิคอน อันประกอบไปด้วย ผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน (single crystalline Si) ผลึกหลายรูปของซิลิคอน (multi crystalline Si) และอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous Si) ในที่นี้มากกว่า 90% อยู่ในรูปของผลึกซิลิคอนเพียงอย่างเดียว ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากผลึกของซิลิคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. **แบบผลึกเดี่ยว** (single crystal or monocrystalline wafers) เป็นการนำเอาแผ่นผลึกเดี่ยวของซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.999%) ซึ่งได้จากกระบวนการ โครทาลสกี (Czochralski process) มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์ประเภทนี้มีราคาค่อนข้างแพง แต่ก็มีประสิทธิภาพของเซลล์ที่สูงสุด แต่ข้อเสีย คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีราคาสูง อีกทั้งเมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์ หรือ โมดูล (modules) จะทำให้สูญเสียพื้นที่บริเวณมุมทั้ง 4 ด้านของเซลล์ และในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นผลึกที่มีคุณภาพสูงเช่นนี้ จึงได้มีการนำเอาผลึกแบบหลายรูป (polycrystal) มาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แทน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

2. **แบบผลึกหลายรูป** (poly or multi crystalline) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวของซิลิคอน ผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอนคือ แผงซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของผลึกเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตรถึงระดับมิลลิเมตร) ของซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมเหลวลงในเบ้าหลอม (crucible) แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆ ซึ่งก็จะได้แผงของโพลีซิลิคอนที่มีรูปร่างตามเบ้าหลอมที่ใช้ หลังจากนั้น การนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกเดี่ยว คือ นำไปตัดเป็นเวเฟอร์ (wafer) หนาขนาด 300 - 400 ไมโครเมตร แล้วนำไปสร้างรอยต่อพี-เอ็นต่อไป เซลล์ชนิดนี้มีต้นทุนที่ถูกกว่าแบบผลึกเดี่ยว แต่ก็มีประสิทธิภาพน้อยกว่าด้วย (ประมาณ 15 - 16%) อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของเซลล์แบบผลึกโพลี คือ รูปร่างของแผ่นเซลล์ซึ่งสามารถทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้ ทำให้มีช่องว่างบนแผงเซลล์น้อยกว่าแบบแผ่นกลม ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่าแบบแผ่นกลมถึง 25% เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูปแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกหลายรูป

3. แบบริบบอน (ribbon silicon) เทคโนโลยีของการสร้างแผ่นผลึกทั้งแบบผลึกรูปเดี่ยวที่เป็นแผ่นกลม และแบบผลึกหลายรูปที่เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมนั้น ยังคงเป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองวัสดุอยู่ เนื่องจากต้องมีการตัดแผ่นผลึกทำให้ต้องเสียเนื้อของซิลิคอนไปส่วนหนึ่ง จึงได้มีการปรับปรุงเทคนิคต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผ่นซิลิคอนให้เป็นแผ่นบาง และยาว ที่เรียกว่าริบบอน (ribbon) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบผลึกหลายรูป ทำให้ไม่ต้องเสียเนื้อซิลิคอนในการตัดให้เป็นแผ่นบางๆ เทคนิคในการสร้างแผ่นผลึกแบบริบบอนมีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีอีเอฟจี และเดนดริติก (dendritic)

อีเอฟจี (EFG) ย่อมาจาก Edge-defined film-fed growth เป็นวิธีการสร้างแผ่นผลึกที่คล้ายกับวิธีของโซคราลสกี ที่ต้องใช้แม่เหล็กไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องเล็กๆ บางๆ ที่ทำด้วยแกรไฟต์ เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมยาวตามที่ต้องการ แผ่นผลึกที่ผลิตด้วยวิธีนี้ จะมีความหนาราว 150-300 ไมครอน มีความกว้างตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร ข้อเสียของริบบอนแบบอีเอฟจีนี้ คือ มีโครงสร้างของผลึกที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับวิธีของโซคราลสกีและการที่ซิลิคอนต้องถูกหลอมเหลวอยู่ภายในเบ้าหลอมแล้ว ยังต้องมีการดึงผ่านช่องแคบๆ ของแกรไฟต์อีก วิธีการเช่นนี้ ทำให้แผ่นผลึกที่ได้มีความไม่สมบูรณ์สูง เนื่องจากสิ่งแปลกปลอม และสารเจือปนต่างๆ จากเบ้าหลอมและแผ่นแกรไฟต์สามารถเข้าไปในเนื้อซิลิคอนได้ง่าย วิธีการที่สามารถจะลดความไม่บริสุทธิ์ของแผ่นผลึกแบบริบบอนได้ก็คือ วิธีการแบบเดนดริติก

การดึงแผ่นผลึกริบบอนแบบเดนดริติก จะใช้แม่เหล็กไปหล่อ และดึงซิลิคอนให้ผ่านขึ้นมาทางช่องที่มีอยู่เฉพาะตรงขอบทั้ง 2 ด้าน เพื่อให้ซิลิคอนฟอร์มตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมในแบบริบบอน แผ่นผลึกที่สร้างด้วยวิธีนี้ จะมีความบริสุทธิ์สูงใกล้เคียงกับวิธีของโซคราลสกี เมื่อนำไปสร้างเซลล์จะได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอีเอฟจี

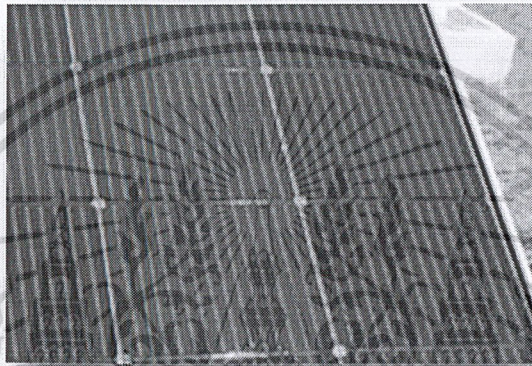
ต้นทุนของเซลล์แบบบริบอบอนนั้นถือว่าถูกกว่าแบบชนิดอื่นเพราะมีการสูญเสียซิลิคอนน้อยกว่าทุกวิธี แต่เซลล์ที่ได้ก็มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าแบบอื่นคือประมาณ 13.5 - 15% และมีราคาจำหน่ายที่สูงเนื่องจากการผลิตที่ต่ำ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกของซิลิคอนทั้ง 3 แบบดังกล่าว ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากแผ่นเวเฟอร์ (wafer-based manufacturing) เนื่องจากการนำแผ่นซิลิคอน หรือเวเฟอร์ (wafer) ที่มีความหนาแน่นระหว่าง 180-240 ไมโครเมตร มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ และนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่อเชื่อมกันให้เป็นโมดูล (module) ก่อนนำไปใช้ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์จากฟิล์มบาง (thin film) ถือเป็นอุตสาหกรรมที่รองรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์จากโมดูล หรือ แผงเซลล์ (module-based manufacturing) เพราะแผงเซลล์ที่เป็นฐานรองนั้นจะถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการ และทำการตัดออกเป็นแต่ละเซลล์ด้วยแสงเลเซอร์ (laser scribe) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากฟิล์มบางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง ซึ่งเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช่เวเฟอร์ โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองด้วยเทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิคอนติดอยู่ เช่น ก๊าซไซเรน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ และตรงบริเวณที่วางแผ่นฐานรองก็จะมีการกระตุ้น เช่น โดยใช้พลาสมาเพื่อส่งพลังงานให้ซิลิคอนแยกตัวออกจากก๊าซ เข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง โดยส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว สแตนเลส หรือพลาสติก ซึ่งได้ทำให้การเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่นฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่น เกิดเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้ หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน (boron) เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วย เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดพี (p-type Si) และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสฟอรัส (phosphorus) เช่น PH_3 เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type Si) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้ เราสามารถควบคุมการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างให้เกิดชั้นฟิล์มบางต่างๆ ตามที่ต้องการได้

จุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส ก็คือ มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำและอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีช่องว่างพลังงาน (energy band gap) 1.7 eV มากกว่าแบบผลึกซิลิคอน (1.1 eV) ทำให้อัตราการดูดแสงของอะมอร์ฟัสซิลิคอนสูงกว่าแบบผลึกมาก จึงสามารถลดความหนาของฟิล์มเป็นระดับ 1 ไมโครเมตรได้ ในขณะที่แบบผลึกต้องทำอย่างน้อยหนาประมาณ 300 ไมโครเมตร ซึ่งทั้งนี้ก็เพื่อ ความแข็งแรงทางกลของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย นั่นก็คือ อะมอร์ฟัสซิลิคอน

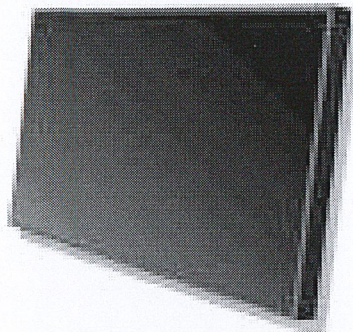
สามารถประหยัดปริมาณของซิลิคอนได้มากกว่า และยังนิยมนำมาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างเป็นไดโอด (diode) 2 ตัวเรียงต่อกันเป็นชั้น (tandem cell) ให้เซลล์ด้านบนเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนเพื่อดูดกลืนแสงย่านที่ตามองเห็น (visible light) และปล่อยให้แสงย่านอินฟราเรด (infrared) ถูกดูดกลืนโดยเซลล์ด้านล่างซึ่งเป็นผลึกระดับนาโนเมตรของซิลิคอน (nanocrystalline Si) ที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากับผลึกรูปเดี่ยวของซิลิคอน เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน

จุดด้อยของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส คือ ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ต่ำประมาณ 8% และเซลล์แบบนี้ยังมิอาจใช้งานได้เต็มที่ เมื่อนำไปใช้กับแสงแดด ปัญหาการเสื่อมลงของเซลล์แบบอะมอร์ฟัสนี้ยังเป็นปัญหาหลักที่ยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขกันต่อไปอีก

2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์แบบซีไอเอส(CIS) ถูกสร้างขึ้นด้วยฟิล์มบางของธาตุที่ประกอบไปด้วย ทองแดง (copper) อินเดียม (indium) และ ซีลีเนียม (selenium) มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ $CuInSe_2$ หรือ $Cu(In_xGa_{1-x})(Se_xS_{1-x})_2$ ฟิล์มบางของเซลล์แบบซีไอเอสจะมีความหนาน้อยกว่าเซลล์แบบโพลีอยู่ประมาณ 10 เท่า ประสิทธิภาพของเซลล์แบบซีไอเอสนี้สูงถึง 11% แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนก็ยังมีราคาที่สูงอยู่มาก



รูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

2.3 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystal) หรือ Monocrystalline มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้
 1. นำซิลิคอนที่ถูกลงได้มาหลอมเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1400 °C แล้วดึงผลึกออกจากของเหลว โดยลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จนได้แท่งผลึกซิลิคอนเป็นของแข็ง แล้วนำมาตัดเป็นแว่นๆ
 2. นำผลึกซิลิคอนที่เป็นแว่น มาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆ เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นภายในเตาแพร่ซึมที่มีอุณหภูมิประมาณ 900-1000 °C แล้วนำไปทำขั้นตอนการสะท้อนแสงด้วยเตาออกซิเดชันที่มีอุณหภูมิสูง
 3. ทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยการฉาบโพลีโอสซิลิไซด์ภายใต้สุญญากาศ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องนำไปทดสอบประสิทธิภาพด้วยแสงอาทิตย์เทียม และวัดหาคุณสมบัติทางไฟฟ้า
- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกกรวม (Polycrystalline) มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้
 1. นำซิลิคอนที่ถูกลงและหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อซิลิคอนแข็งตัว จะได้เป็นแท่งซิลิคอนเป็นแบบผลึกกรวม แล้วนำมาตัดเป็นแว่นๆ
 2. จากนั้นนำมาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆ และทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้
 1. ทำการแยกสลายก๊าซซิลิโคน (Silane Gas) ให้เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่อง Plasma CVD (Chemical Vapor Deposition) เป็นการผ่าน ก๊าซซิลิโคนเข้าไปในกรอบแก้วที่มีขั้วไฟฟ้าความถี่สูง จะทำให้ก๊าซแยกสลายเกิด เป็นพลาสมา และอะตอมของซิลิคอนจะตกลงบนฐานหรือสแตนเลสสตีลที่วางอยู่ ในกรอบแก้ว เกิดเป็นฟิล์มบางขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (0.001 มม.)
 2. ขณะที่แยกสลายก๊าซซิลิโคนจะผสมก๊าซฟอสฟีนและไดโบเรนเข้าไปเป็นสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นสำหรับใช้เป็น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์
 3. การทำขั้วไฟฟ้า มักใช้ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ทำจาก ITO (Indium Tin Oxide)
- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแคลเลียม อาร์เซไนด์ มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้
 1. ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึก ใช้เครื่องมือ คือ เตาปลูกชั้นผลึกจากสถานะของเหลว (LPE; Liquid Phase Epitaxy)
 2. ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึกที่เป็นรอยต่อเอ็นพี ใช้เครื่องมือ คือ เครื่องปลูกชั้นผลึก ด้วยลำโมเลกุล (MBE; Molecular Beam Epitaxy)
- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากที่ทำจากคอปเปอร์ อินเดียม ไดซัลไฟด์ (CIS : CuInS₂)
 1. ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบางโดยการปล่อยละอองสารประกอบให้เคลือบบนฐานรอง ที่อุณหภูมิ 300 – 350 °C.
 2. สร้างรอยต่อพี-เอ็น ด้วยการเทคโน โลยีสเปรย์ซึ่งใช้ต้นทุนต่ำ แต่ประสิทธิภาพสูง
 3. การทำขั้วไฟฟ้า มักใช้ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ทำจาก ITO (Indium Tin Oxide)

2.4 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

- ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้ สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
- เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่วันหมดไปจากโลกนี้
- สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง
- ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิด มลภาวะด้านอากาศและน้ำ
- ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม
- ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง

- เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงาน จึงไม่เกิดการสึกหรอ
- ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก
- อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่
- มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว
- เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ
- ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ

2.5 การเปลี่ยนแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์

รังสีของดวงอาทิตย์ประกอบอนุภาคของพลังงานที่เรียกว่า "โฟตอน (Photon)" โฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์จนอยู่ในสถานะ Excited State เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนแล้ว (Excited Electron) จะกระโดดออกมาจากอะตอม และสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่อิเล็กตรอนมารวมกันและเคลื่อนที่ผ่านเรียกว่า "ขั้วลบ" และขั้วที่อยู่ตรงข้ามจะเรียกว่า "ขั้วบวก" เมื่อขั้วทั้ง 2 ถูกต่อกับหลอดไฟฟ้าก็จะทำให้มีแสงสว่างเกิดขึ้น

2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากฟิล์มบาง CuInS_2

2.6.1 ลักษณะ และคุณสมบัติของฟิล์มบาง CuInS_2

ฟิล์มบาง Copper Indium Disulfide (CuInS_2) มีคุณสมบัติเหมาะที่จะนำไปสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) ในอนาคตมาก เนื่องจากมีลักษณะสมบัติที่เหมาะสมทั้งความต้านทาน (Resistance) สัมประสิทธิ์การดูดซับพลังงานแสง (Band gap energy) ประมาณ 1.5 eV อีกทั้งการปลูกฟิล์มบาง ไม่ต้องทำที่อุณหภูมิสูงมากนักจึงเป็นเหตุผลสำคัญที่จะพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำให้สามารถเป็นความหวังในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานให้มากขึ้นในอนาคต

ฟิล์มบางที่ได้จากสารประกอบ Copper [CuCl₂], Indium [InCl₃], และ Sulfur จาก Thiourea [NH₂CSNH₂] นั้นมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่เราสามารถควบคุมคุณสมบัติการนำไฟฟ้า, ประจุพาหะ, และคุณสมบัติของความเป็นผลึกได้ด้วยวิธีการให้อัตราส่วนของสารประกอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นการทดลองนี้จะสามารถให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการลงทุนศึกษา และการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.7 เทคโนโลยีที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง CuInS₂

เทคโนโลยีที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง CuInS₂ นั้นมีด้วยกันหลายวิธี อาทิเช่น Dip coating (Dip), Spray CVD, Ion Layer Gas Reaction (ILGAR), Spray coating technique, และ Electrostatic Spray Assisted Vapor Deposition (ESAVD) โดยแต่ละวิธีก็จะให้คุณสมบัติของฟิล์มบางที่ได้แตกต่างกัน รวมทั้งค่าใช้จ่ายของแต่ละเทคโนโลยีที่ใช้ก็มีราคาแตกต่างกันตามไปด้วย

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้วิธี Spray Coating Technique ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ใช้สุญญากาศ ทำให้ได้คุณสมบัติของฟิล์มบางที่ดี และใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าแบบอื่น

2.8 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มบาง CuInS₂

ตัวแปรที่มีผลต่อการปลูกฟิล์มนั้นมีด้วยกันหลายตัว ในการทดลองเราจะทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เหล่านั้น จากนั้นจึงนำฟิล์มบางที่ได้ไปทดสอบหาคุณสมบัติที่ดีที่สุดเพื่อนำไปผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตัวแปรที่มีความสำคัญในการทดลองได้แก่

- 2.8.1) อัตราส่วนสารเคมี
- 2.8.2) ชนิดของกระจก
- 2.8.3) ชนิดของสารละลาย และปริมาณของสารละลาย
- 2.8.4) อุณหภูมิ
- 2.8.5) ระยะเวลาในการพ่นสเปรย์
- 2.8.6) จำนวนรอบในการพ่นสเปรย์

การทดลองจะเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ ทุกตัวที่สามารถทำได้โดยจะนำฟิล์มบางที่ได้จากตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง

บทที่ 3

วิธีการทดลองและวิธีการวิเคราะห์

3.1 หลักการปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีสเปรย์

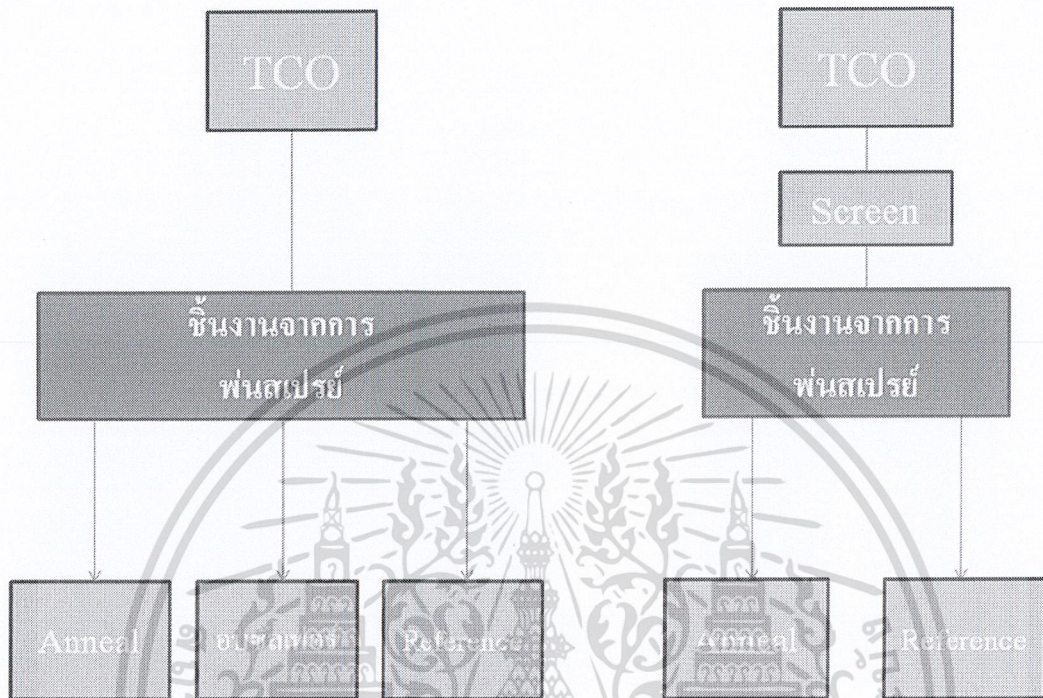
การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการตกตะกอนไอระเหยของสารเคมี (Chemical Vapor Deposition : CVD), โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี (Chemical Bath Deposition : CBD) และการพ่นสารเคมี (Spray Coating Technique) ในที่นี้จะกล่าวถึงการปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีการพ่นสารเคมี ซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัด และได้ประสิทธิภาพที่ดี โดยเราจะใช้การพ่นละอองของสารละลายซึ่งมีส่วนผสมของสารตั้งต้นที่มีคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ให้ทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็นฟิล์มบางขึ้น จากสารตั้งต้น CuCl_2 กับ InCl_3 และ $2\text{NH}_2\text{CSNH}_2$ ซึ่งสเปรย์ที่อุณหภูมิประมาณ $300\text{-}350^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ด้วยอัตราการสเปรย์ 5 – 10 ml / นาที จนเกิดเป็นฟิล์มบางซึ่งมีคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิดพี

3.2 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการปลูกฟิล์มบาง

การปลูกฟิล์มบางจำเป็นต้องคำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ ทั้งจากปัจจัยแวดล้อมภายนอกที่จำเป็นต้องทำการศึกษา ทดลอง ให้เข้าใจเพื่อการพัฒนาคุณภาพของฟิล์มบางที่ได้ เช่น ก๊าซแวดล้อมขณะทำการสเปรย์ อุณหภูมิ รวมทั้งปัจจัยทางด้านระบบ เช่น ความละเอียดของละอองสเปรย์ อัตราการสเปรย์ ความสม่ำเสมอ และระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง ทั้งหมดนี้ทำให้เราต้องออกแบบระบบในการพ่นสเปรย์ คือ สามารถเลือกก๊าซที่ต้องการเข้าไปในระบบได้ และสามารถควบคุมการพ่นสเปรย์ได้อย่างอิสระ

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ออกแบบระบบพ่นสเปรย์ให้มีท่อดูดอากาศออกที่สามารถปล่อยเฉพาะก๊าซที่ต้องการเข้าไปในระบบ และทำให้ละอองสเปรย์ไม่ฟุ้งกระจายซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายผู้ปฏิบัติงาน เรายังสามารถควบคุมอุณหภูมิให้มีสถานะคงที่ อีกทั้งควบคุมทิศทางของละอองสเปรย์ให้หลังตรงเป้าหมายที่กำหนดได้อีกด้วย

3.3 ลำดับขั้นตอนในการสร้างชิ้นงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการสร้างชิ้นงาน

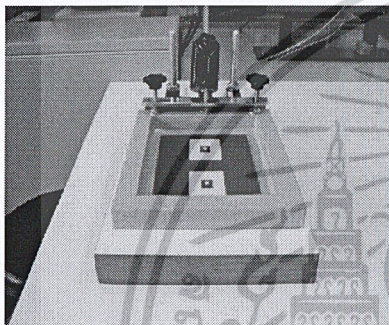
โดยจะแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การนำกระจกชิ้นงานไปพ่นสเปร์ย์เลยกับการนำกระจกชิ้นงานไปทำการสกรีนด้วย TiO_2 เพื่อเปรียบเทียบหาคุณสมบัติที่ดีกว่า

3.4 ขั้นตอนการทำการสกรีน

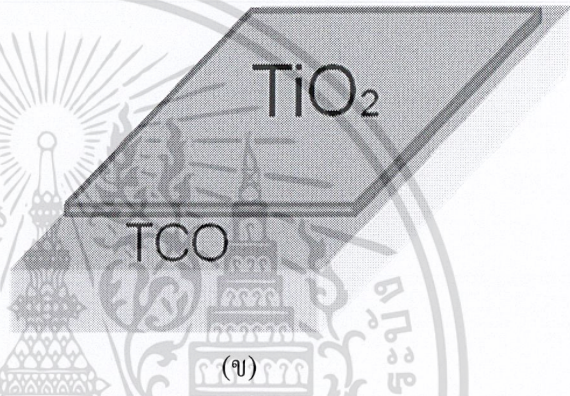
1. ทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการสกรีนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์
2. นำบล็อกสกรีนวางบนแท่นรอง แล้วบล็อกให้เรียบร้อย โดยใช้บล็อกสกรีนของ TiO_2
3. นำกระจก TCO ที่ทำการพ่นสเปร์ย์ (ชิ้นงาน) แล้ววางบนแท่นรอง ด้านล่างบล็อก ตามตำแหน่งที่มีการทำเครื่องหมายไว้แล้ว
4. ใช้ช้อนตักสาร ตัก TiO_2 ให้มีปริมาณพอเหมาะกับขนาดของกระจก แล้วป้ายลงบนบล็อก จากนั้นก็ทำการสกรีนให้ TiO_2 อยู่ทั่วทั้งกระจกอย่างสม่ำเสมอ และเรียบติดกับกระจก
5. นำกระจกที่ทำการสกรีนแล้ว ไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศา เป็นเวลา 3 นาที แล้วหยิบชิ้นงานออก

6. สกรีนรอบ 2 โดยทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 4
7. นำ ไปอุ่นรอบที่ 2 ให้ร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศา เป็นเวลา 30 นาที แล้วหยุดชิ้นงานออก
8. นำไปอุ่นรอบที่ 3 ให้ร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศา เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการปิดสวิตช์ของ Heater รอจนกว่าอุณหภูมิจะหยุดที่ 100 องศา จึงหยุดชิ้นงานออก

หมายเหตุ การที่ต้องรอให้อุณหภูมิเป็น 100 องศา ก่อน เพราะ การหยุดชิ้นงานออกตั้งแต่ชิ้นงานร้อน 450 องศา ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงมาก อาจทำให้ชิ้นงานเสียหาย เพราะกระจกแตกได้



(ก)



(ข)

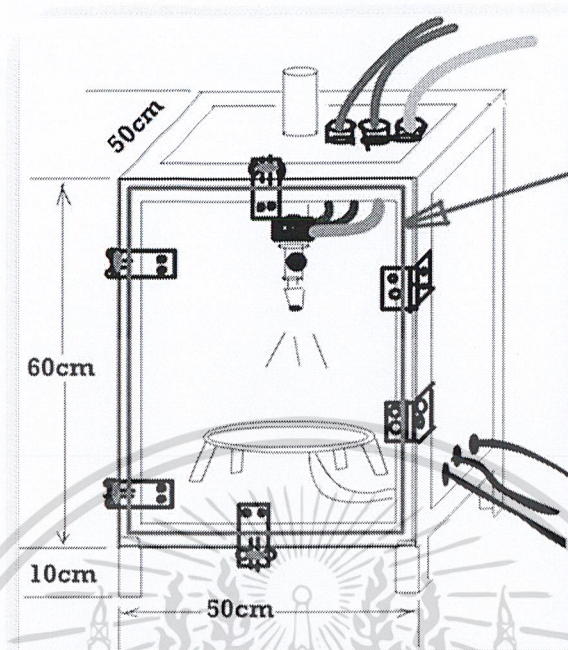
รูปที่ 3.2 (ก) บล็อกสกรีนและแผ่นรอง

(ข) โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการสกรีน

3.5 ระบบพ่นสเปรย์

ได้ทำการออกแบบตู้พ่นสารที่จะใช้ในการสร้าง Thin film solar โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ตู้ต้องปิดสนิทเพื่อไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีในขณะที่ทำการสร้างชั้นสารฟิล์มบาง
- วัสดุที่ใช้ต้องทนความร้อนได้ 100°C - 350°C
- ขนาดกว้าง 50cm. x 50cm. สูง 60cm.
- มีช่องให้สายน้ำยา สายก๊าซ และ สายไฟเข้าเรียบร้อย
- ประหยัด



รูปที่ 3.3. ตู้ฟ่นสารที่ได้ทำการออกแบบ

3.6 การคำนวณอัตราส่วนผสมของสารเคมี

คำนวณจากความเข้มข้นของส่วนผสมที่ 0.01 M (M=mol/l)

ถ้าต้องการสารประกอบ A มีความเข้มข้นในสารละลาย 0.01 M ต้องใช้สาร A

$$A \times 0.01 \left(\frac{g}{l} \right) \quad (1)$$

สารละลายปริมาตร 100 cc. ใช้สารประกอบ A

$$A \times 0.01 \times 0.1 \left(g \cdot mol \right) \quad (2)$$

สาร $CuCl_2$ มีความเข้มข้น 134.5 g/mol แทนค่าลงในสมการที่ (2)

$$134.5 \times 0.01 \times 0.1 \left(g \right)$$

จะต้องใช้สารปริมาตรสุทธิ 0.1345 (g) ต่อสารละลาย 100 cc. จึงจะได้ความเข้มข้น 0.01 M
 สาร InCl_3 มีความเข้มข้น 221.15 g/mol จะได้ปริมาตรสุทธิ 0.22115 (g) ต่อสารละลาย 100 cc.
 สาร NH_2CSNH_2 มีความเข้มข้น 76.12 g/mol จะได้ 0.07612 (g) ต่อสารละลาย 100 cc.
 ดังนั้นถ้าใช้สารประกอบทั้งหมดรวมกันในสารละลาย 100 cc. จะเป็น

$$\frac{0.1345 + 0.18573 + 0.07612}{3} \text{ (g) / สารละลาย 100 cc.}$$

ต้องใช้สารประกอบ A, B, and C ต่อสารละลาย 100 cc.

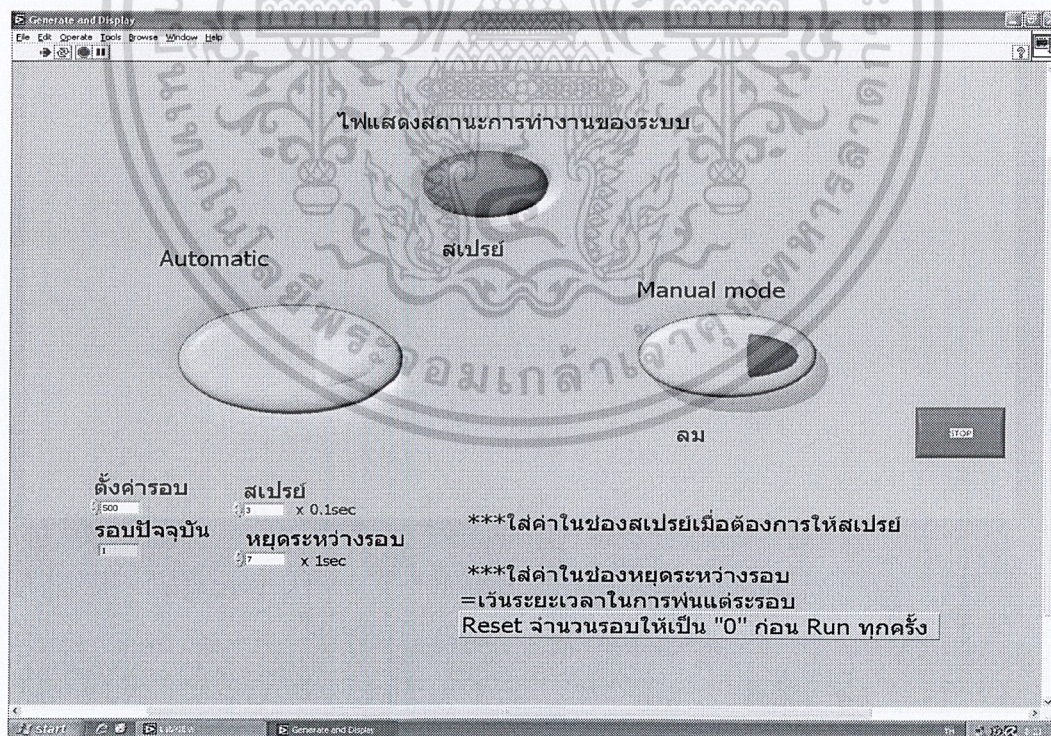
$$\text{CuCl}_2 = 0.044833 \text{ (g)}$$

$$\text{InCl}_3 = 0.0737 \text{ (g)}$$

$$\text{NH}_2\text{CSNH}_2 = 0.02538 \text{ (g)}$$

เนื่องจาก S_2 เพราะฉะนั้น $2\text{NH}_2\text{CSNH}_2 = 0.02538 \times 2 = 0.05076 \text{ (g)}$

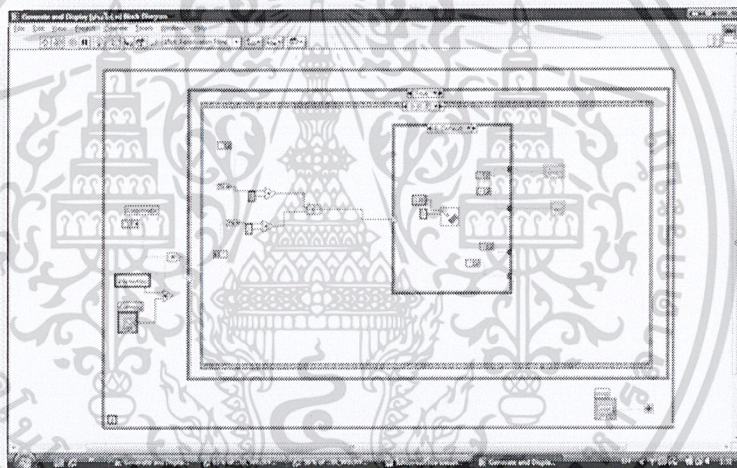
3.7 โปรแกรมควบคุมการสเปร์ย โดยใช้โปรแกรม Lab View เป็นโปรแกรมควบคุม



รูปที่ 3.4 หน้าโปรแกรมควบคุมโดยเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Lab View

มีปุ่ม Manual ที่สามารถควบคุมได้อย่างอิสระ และ ระบบอัตโนมัติที่ควบคุมได้ด้วยการตั้งเวลา และจำนวนรอบ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ตั้งรอบการทำงานของระบบได้โดยการใส่จำนวนรอบการทำงานลงในช่อง “ตั้งค่ารอบ”
2. ตั้งระยะเวลาการพ่นสเปรย์ในแต่ละรอบ
3. ตั้งระยะเวลาการในการหยุดระหว่างรอบ
4. เมื่อกดปุ่ม “Automatic” โปรแกรมจะเริ่มทำการควบคุมวาล์วลมในการพ่นสเปรย์



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมควบคุม

**หมายเหตุ ก่อนทำการรันโปรแกรมใหม่ต้อง Reset ค่าในช่องจำนวนรอบให้เป็น “0” ก่อนทุกครั้ง

3.8 ขั้นตอนการทดลอง

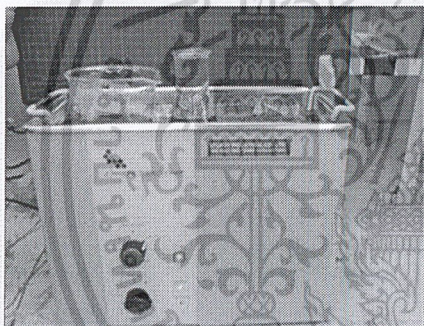
ขั้นตอนการเตรียมสาร

สารเคมีที่ใช้ในการสร้าง CIS คือ

1. CuCl_2
2. NH_2CsNH_2
3. InCl_3

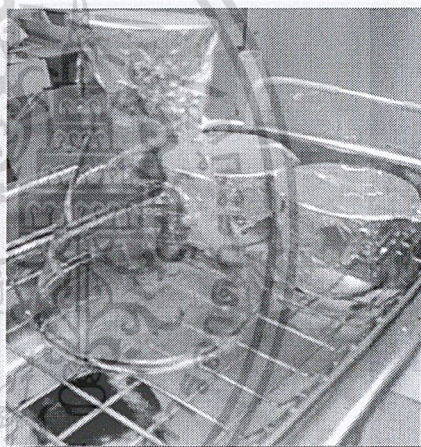
จากนั้นนำสารมาผสมกับ H_2O ตามที่ได้คำนวณอัตราส่วนไว้ โดย CuCl_2 มีสีฟ้าอ่อน ๆ เมื่อถูกอากาศ หรือความชื้น และมีสีเขียวเมื่อผสม H_2O ส่วนสารอื่นเมื่อผสมกับ H_2O แล้วไม่เกิดการละลาย หรือเปลี่ยนสี

เมื่อได้สารละลายทั้ง 3 แล้ว จึงนำสารละลายทั้ง 3 มาการอัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นเวลา 30 นาที



(ก)

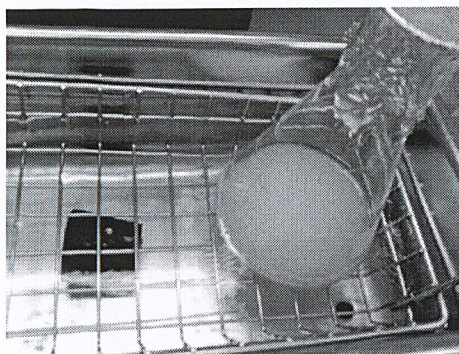
รูป 3.6 (ก) เครื่อง Ultra sonic



(ข)

(ข) เมื่อนำสารละลายมาผสมด้วยเครื่อง Ultra sonic

หลังจากทำการ Ultra sonic แล้วจะพบว่าสารละลายที่ได้มีสีขาวขุ่น



รูป 3.7 สารทั้งหมดถูกผสมด้วยเครื่อง Ultra sonic

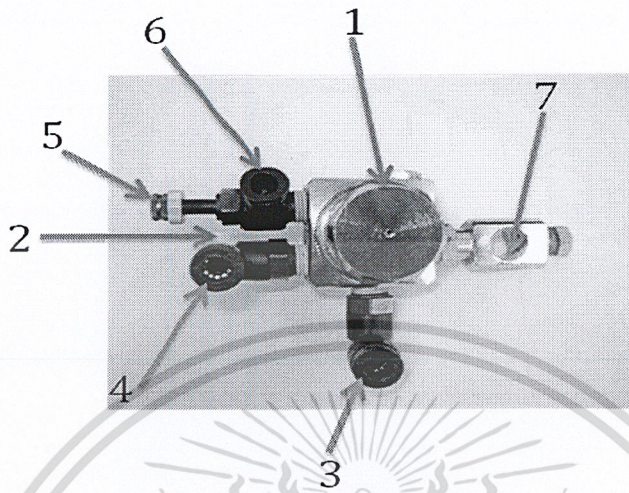
ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระจกขึ้นงาน

- ขนาดกระจกใช้ปากกาเพชรตัดแผ่นกระจกขนาด 2.5 cm^2
- เมื่อได้กระจกขนาดที่ต้องการแล้วนำไปทำความสะอาดด้วยวิธีการอัลตราโซนิคด้วยอะซิโตน (Acetone) 20 นาที แล้วและตามด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 30 นาที



รูป 3.8 กระจกที่ได้ทำการตัดแล้ว

3.9 ส่วนประกอบของหัวสเปร์ย์



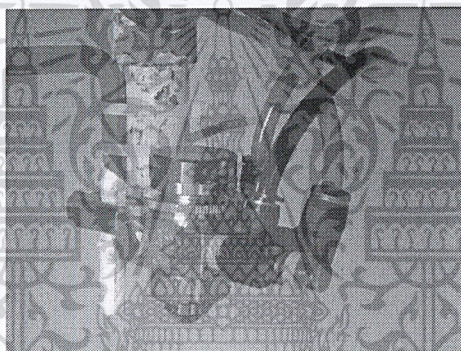
รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบของหัวสเปร์ย์

หัวสเปร์ย์ที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วย

- 1 ส่วนที่ใช้ในการหมุนระดับหัวเข็มจะอยู่หมายเลข 1 ซึ่งจะด้านบนสุดของหัวสเปร์ย์ และสามารถดูจำนวนรอบโดยมองตรงไปทางหมายเลข 2
- 2 หมายเลข 3 จะเป็นช่องสำหรับต่อสายลม ซึ่งจะทำหน้าที่ในการยกหัวเข็ม
- 3 หมายเลข 4 จะเป็นช่องสำหรับต่อสายสารละลาย
- 4 หมายเลข 5 ทำหน้าที่เป็น Regulator เพื่อทำหน้าที่ควบคุมแรงดันลมที่จะออกจากหัวสเปร์ย์
- 5 หมายเลข 6 เป็นช่องสำหรับต่อสายลมที่เชื่อมอยู่กับ Regulator ซึ่งสายลมที่ต่อกับช่องนี้จะทำการเชื่อมต่อกับโซลินอยด์วาล์วที่ทำการควบคุมโดยโปรแกรม Lab View เพื่อทำการควบคุมจังหวะการพ่นสเปร์ย์ที่ใช้ในการพ่นสเปร์ย์
- 6 หมายเลข 7 จะเป็นที่ยึดสำหรับยึดตำแหน่งหัวสเปร์ย์

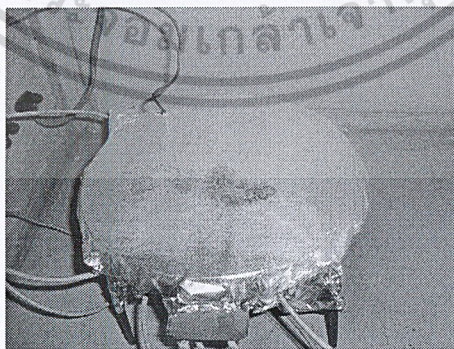
3.10 ขั้นตอนการพ่นสเปรย์

1. ทำการปรับระดับหัวเข็มของหัวสเปรย์เพื่อปรับปริมาณสารเคมีที่ต้องการจะพ่น และปรับ Regulator ให้สุด
2. นำหัวสเปรย์ไปติดตั้งในตู้ แล้วนำสายลมและสายสารละลายมาติดเข้ากับหัวสเปรย์ โดยสายลมที่ต่อเข้ากับ Regulator จะต่อโซลินอยด์วาล์วที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ควบคุมจังหวะพ่นสเปรย์โดยทำการตั้งค่าจังหวะการพ่นสเปรย์ที่โปรแกรม Lab View



รูปที่ 3.10 การติดตั้งหัวสเปรย์

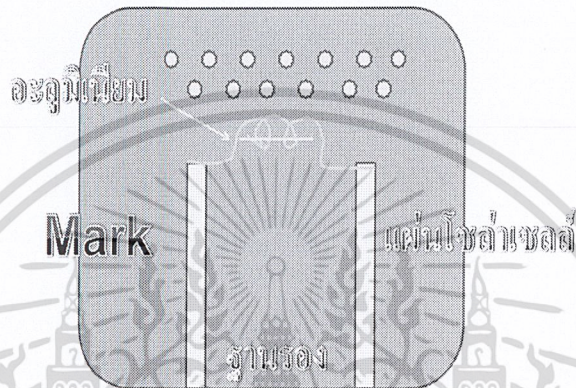
3. ตั้งอุณหภูมิ Heater โดยเราจะทำการคลุม Heater ด้วยอลูมิเนียมฟอย เพื่อความสะอาดของชิ้นงาน



รูป 3.11 Heater ที่ทำการคลุมด้วยอลูมิเนียมฟอย

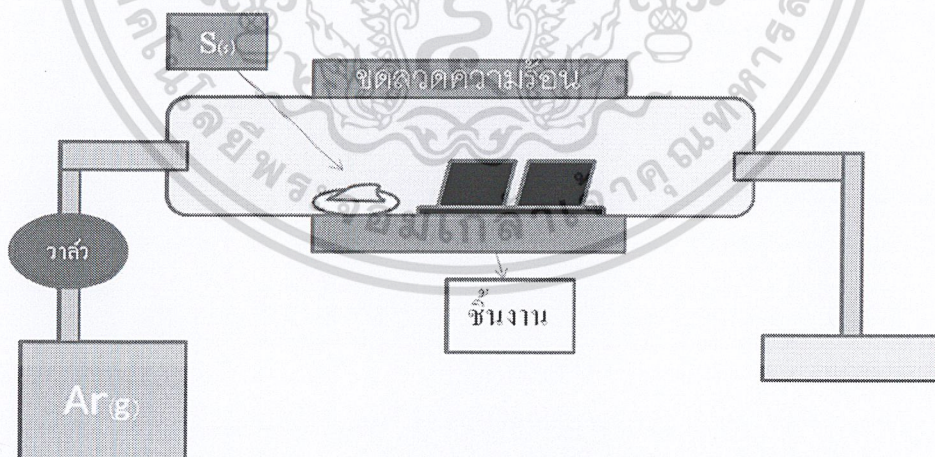
3.11 การสร้างขั้วไฟฟ้าโดยการ Evaporation

การ Evaporation เป็นกระบวนการสร้างขั้วไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียม โดยใช้วิธีการระเหยในสุญญากาศ ซึ่งประกอบด้วย chamber เป็นกรอบแก้วรูปทรงระฆังคว่ำ (bell jar) เมื่อเริ่มต้นการทำงานจะมีการดูดอากาศออกโดยใช้ Mechanical pump และระบบ Diffusion pump จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการปลูกขั้วอะลูมิเนียม



รูป 3.14 การสร้างขั้วไฟฟ้าโดยการ Evaporation

3.12 การอบซัลเฟอร์



รูป 3.15 การอบซัลเฟอร์

วิธีการอบซัลเฟอร์

1. ใส่ผงซัลเฟอร์ 0.7 กรัม ไปในท่อแก้วปิดจุกทั้ง 2 ด้าน โดยทางออกจุ่มปลายท่อลงในน้ำ เพื่อป้องกันอากาศภายนอกไหลเข้าไปในหลอดแก้ว ส่วนทางเข้าเป็นการ Flow อาร์กอนเข้าไป เปิดแก๊สที่แรงดัน 1 พาสกาล 20 นาที เพื่อให้ให้อากาศเก่าออกมา หลังจากครบ 20 นาทีแล้ว ลดแรงดันเหลือ 0.5 พาสกาล
2. เปิดฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิ 300 องศา สังเกตการระเหยของซัลเฟอร์ รอจนอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศา จึงนำชิ้นงานออกจากท่อแก้ว

3.13 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง โดยรังสีเอ็กซ์จะเลี้ยวเบนไปตามช่องว่างระหว่างอะตอมภายในผลึกและจะถูกบันทึกค่า แล้วทำการวิเคราะห์ธรรมชาติของโครงสร้างผลึกนั้นๆ โดยระยะห่างระหว่างอะตอมนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของ Bragg เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านเคมีและเคมีชีวภาพ โดยใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ ดีเอ็นเอ โปรตีนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ รวมถึงวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น

3.13.1 หลักการพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD นั้นจะใช้คุณสมบัติการเลี้ยวเบนรังสีของโครงสร้างผลึก ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Bragg

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

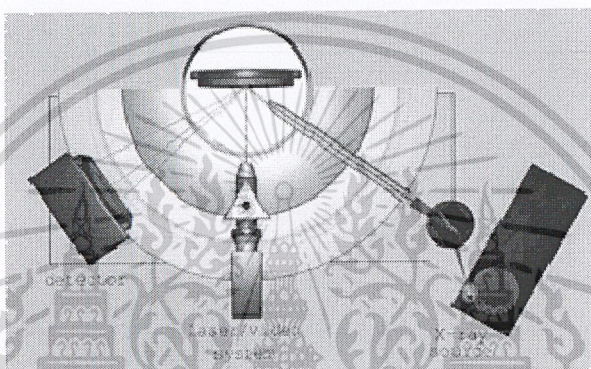
โดยที่ $n = 1, 2, 3 \dots \lambda$ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์,

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก และ θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบผลึก

ในขั้นตอนแรกนั้นต้องทำการปลูกผลึกที่สนใจแล้วนำผลึกที่ได้ไปแช่ในโตรเจนเหลว ผลึกที่แช่แข็งนี้จะไปลด radiation damage ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูลและลดการเคลื่อนไหวของอนุภาคนิวตรอนในผลึก ผลึกจะถูกวางในเครื่อง diffractometer แล้วฉายด้วยรังสีเอ็กซ์ รังสีที่เกิดการเลี้ยวเบนจะถูกบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มหรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้จะถูกรวบรวมแล้ว

นำมาสร้างเป็นแผนผังของความหนาแน่นอิเล็กตรอนของโมเลกุล หลังจากนั้นอะตอมจะถูกปรับค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ตำแหน่ง เทียบกับผังความหนาแน่นเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่าความเข้มที่มุมต่างๆ จะถูกนำมาพล็อตจนได้กราฟที่เรียกว่า diffractogram ซึ่งแต่ละพีกที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด

ด้วยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ทำให้เราได้ทราบถึงข้อมูลของวัสดุที่ต้องการศึกษา ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงกลอย่างมากมาย



รูปที่ 3.16 การทำงาน ของ XRD

3.13.2 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เทคนิคที่ใช้หลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิค ได้แก่

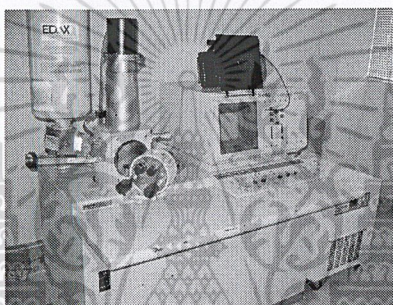
1. Single-Crystal Methods

โดยหลักแล้วเทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างอะตอม (ความสมมาตร ตำแหน่ง ช่องว่าง เป็นต้น) ซึ่งวิธีการดั้งเดิมนั้น (Laue method) จะใช้ผลึกติดอยู่กับที่และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เมื่อฉายลำรังสีให้ตกลงบนผลึกเดี่ยว จะทำการบันทึกผลการเลี้ยวเบนลงบนแผ่น Photographic plate ซึ่งใช้ในการบันทึกค่าความเข้มและตำแหน่งของรังสีที่เกิดการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันนั้นจะทำให้ผลึกเกิดการหมุนและอาศัยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของกล้องก้าวข้ามขีดจำกัดของการตรวจวัดปริมาณของรังสีที่เลี้ยวเบนจากวิธีการดั้งเดิม วิธีการนี้จะใช้รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวแต่อาศัยการเปลี่ยนมุม q โดยการเคลื่อนที่ของผลึกซึ่งอยู่บนแท่นหมุน แล้วใช้ diffractometer และคอมพิวเตอร์ในการเก็บรวบรวมและจัดการข้อมูล ซึ่งจะให้ผลที่มีความแม่นยำมากกว่า

2. Powder Methods

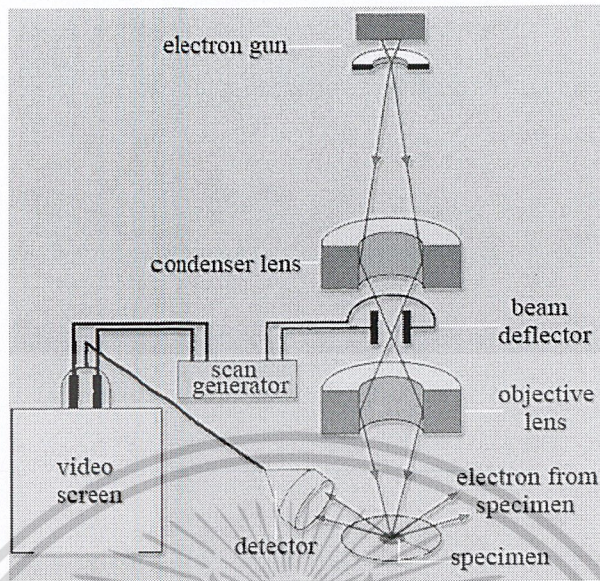
เบื้องต้นแล้ววิธีการนี้จะใช้ในการระบุแร่ธาตุ โดยจะใช้บอกร่องประกอบและตรวจวัดความสัมพันธ์ของธาตุที่มีอยู่ในสารผสม เช่นเดียวกับ Single-Crystal Methods คือ แต่เดิมนั้นจะใช้เทคนิคของการถ่ายภาพในการบันทึกข้อมูลการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า X-ray Powder Diffractometer และยังสามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเตรียมตัวอย่างผลึกแล้วไม่สามารถใช้วิธีการแรกในการตรวจวัดได้

3.14 การส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 3.17 ลักษณะของเครื่อง SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 3.18 หลักการทำงานของเครื่อง SEM

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

3.15 EDX-Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer



รูปที่ 3.19 ลักษณะของเครื่อง EDX

คุณสมบัติทั่วไป

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ สามารถทดสอบชิ้นงานที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือเป็นผงได้ ในระดับหน่วยการวัดเป็น % หรือ ppm โดยใช้หลักการยิงรังสี X-Ray ไปยังชิ้นงานตัวอย่าง และวัดระดับการกระจายพลังงาน (Energy Dispersive) ที่สะท้อนออกมาในรูป X-Ray Fluorescence จะทำให้ทราบว่ามีธาตุอะไรอยู่บ้าง ในปริมาณเท่าไร สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งบรรยากาศแบบปกติ แบบสุญญากาศ หรือกึ่งสุญญากาศ เพื่อความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งาน

คุณสมบัติพิเศษ

- สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว สะดวก และมีความเที่ยงตรงสูง
- ชิ้นงานทดสอบได้ทั้งเป็นของแข็ง ของเหลว และเป็นผง
- สามารถวิเคราะห์ธาตุตั้งแต่ ธาตุคาร์บอน(C) ถึงยูเรเนียม (U) ได้
- เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงานและไม่ต้องเตรียมชิ้นงาน
- ห้องวางชิ้นงานวิเคราะห์มีขนาดใหญ่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มม.
- สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานได้โดยไม่ต้องใช้ก้อนสแตนด์ดาร์ด(FP Method)
- สามารถเลือกตำแหน่งการทดสอบด้วยกล้อง CCD

ประยุกต์การใช้งาน

เหมาะสำหรับต้องการวิเคราะห์งานที่ต้องการความรวดเร็ว สามารถทดสอบชิ้นงาน โดยตรงได้ ไม่ต้องเตรียมชิ้นงานแบบการใช้เครื่อง Spark Emission หรือ ย่อยสลายตัวอย่างก่อน แบบการใช้งานเครื่อง AAS หรือ ICPS

- โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้วิเคราะห์หาธาตุหนัก เช่น Pb, Cd, Hg และ Cr ตามระเบียบว่าด้วย การจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในเครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS)
- ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น โรงงานหล่อทองแดง หล่ออลูมิเนียม
- ใช้ในสถาบันวิจัยและพัฒนาฯ สถาบันศึกษา โรงพยาบาล นิติวิทยาศาสตร์ หรือสถานที่รับวิเคราะห์งาน เป็นต้น



บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นกล่าวถึงรายละเอียดของผลการทดลองทุกครั้งที่ได้ทำการทดลองไปแล้ว การเปรียบเทียบผลการทดลองต่าง ๆ ซึ่งจะรวมผลการวัดค่าต่าง ๆ ที่ได้จากชิ้นงานว่ามีคุณสมบัติเป็นอย่างไรบ้างจากการตรวจสอบด้วยกระบวนการ และ วิธีการวัดที่กำหนด

หัวข้อผลการทดลอง

- การเปรียบเทียบการหน่วงเวลาที่ 8 วินาที กับ 16 วินาที
- การเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วน CIS 1:1:3, 1:1:4, 1:1:5 และ 1:1:8
- การเปรียบเทียบชิ้นงานที่ Anneal และ ไม่Anneal ในอากาศ
- การเปรียบเทียบอุณหภูมิขณะพ่นสเปรย์ 250, 275 และ 300 °C
- การเปรียบเทียบการอบและไม้อบซิลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 300 , 350 และ 400 °C
- การวัดความเป็นโซลาเซลล์

สิ่งที่เป็นมาตรฐานที่กำหนดค่าไว้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงคือ

- กระจกกรรมดาจะมีขนาด 2.5 X 2.5 cm
- กระจกTCO จะมีขนาด 1 X 1.5 cm
- ตำแหน่งของการวางกระจกจะวางไว้ที่กลางเตา

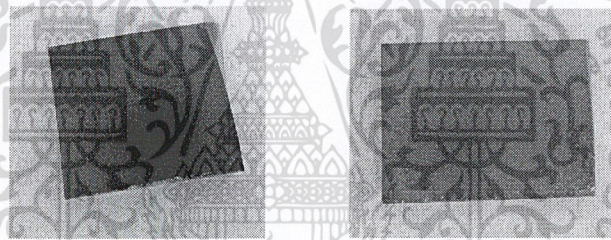
4.1 การเปรียบเทียบการหน่วงเวลาที่ 8 วินาที กับ 16 วินาที

Sample SP005a 8 วินาที

Sample SP006a 16 วินาที

เงื่อนไขที่ใช้เท่ากันในการทดลอง

- อัตราส่วนสารเคมี[CuInS₂]: 1:1:2
- สารละลาย: H₂O 100ml.
- อุณหภูมิในการปลูกฟิล์ม : 300°C
- จังหวะการสเปรย์: พ่น 0.2 วินาที
- จำนวนรอบการสเปรย์ : 500 รอบ



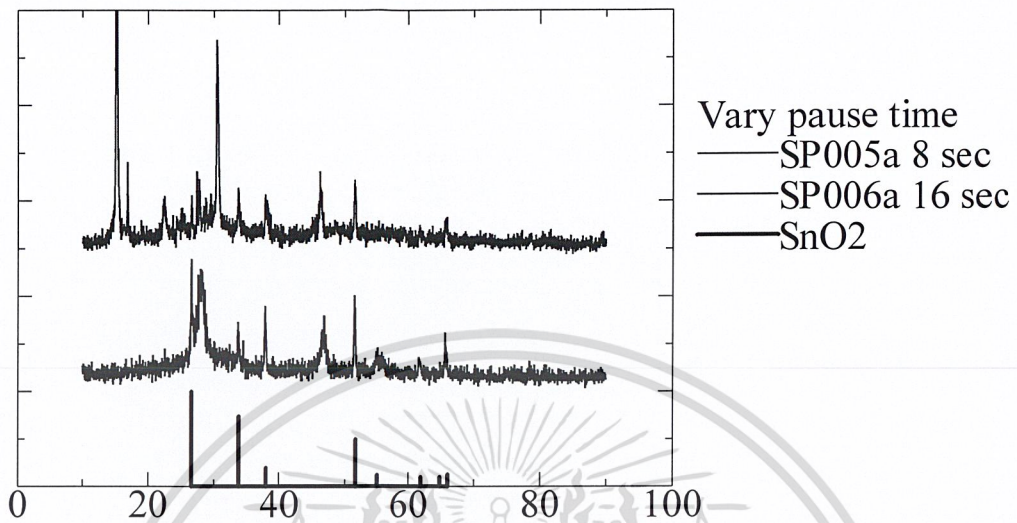
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.1 (ก) SampleSP005a (ข) SampleSP006a

ลักษณะผิวฟิล์มของชิ้นงานที่ทำการหน่วงเวลาพ่นสเปรย์ที่ 16 วินาที นั้นจะมีผิวฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอมากกว่า ชิ้นงานที่ทำการหน่วงเวลาพ่นสเปรย์ที่ 8 วินาที

4.1.1 ผล XRD การเปรียบเทียบการหน่วงเวลาที่ 8 วินาที กับ 16 วินาที



รูปที่ 4.2 กราฟ XRD เปรียบเทียบชิ้นงานหน่วงที่เวลา 8 และ 16 วินาที

จากกราฟ XRD จะสังเกตได้ว่าชิ้นงานที่ทำการหน่วงเวลาพักปรายที่ 16 วินาที นั้นจะมี peak ของ CuInS_2 ปรากฏขึ้นมาชัดเจน ตรงกันข้ามกับชิ้นงานที่ทำการหน่วงเวลาพักปรายที่ 8 วินาที ซึ่งแทบจะไม่มี peak ของ CuInS_2 ปรากฏขึ้นมาเลย

4.2 การเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วน CIS 1:1:3, 1:1:4, 1:1:5 และ 1:1:8

Sample ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

Sample SN001b อัตราส่วน CIS 1:1:3

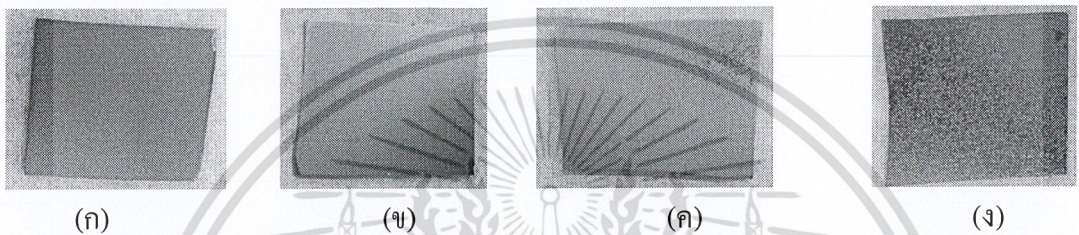
Sample SN002b อัตราส่วน CIS 1:1:4

Sample SN003b อัตราส่วน CIS 1:1:5

Sample SN004b อัตราส่วน CIS 1:1:8

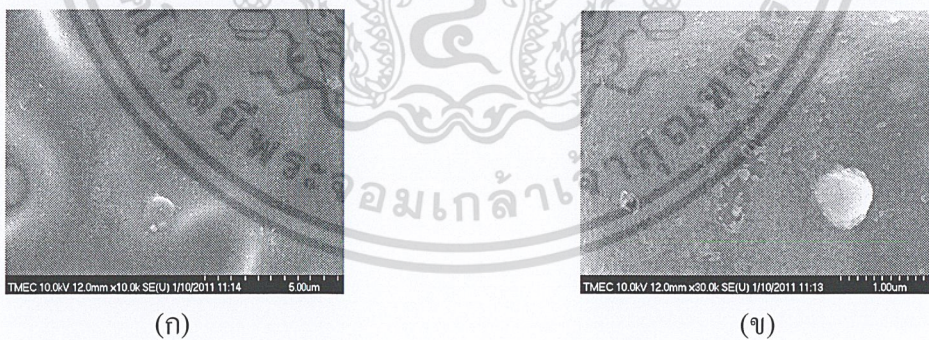
เงื่อนไขที่ใช้เท่ากันในการทดลอง

- สารละลาย: H_2O 100 ml.
- อุณหภูมิในการปลูกฟิล์ม : $300^{\circ}C$
- จังหวะการสเปรย์: ฟัน 0.2 วินาที หยุด 16 วินาที /รอบ
- จำนวนรอบการสเปรย์: 500 รอบ



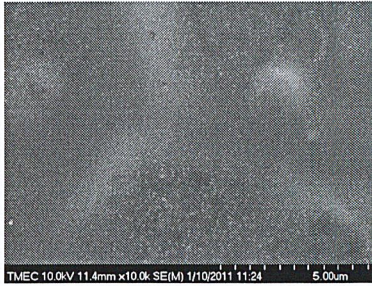
(ก) (ข) (ค) (ง)
รูปที่ 4.3 (ก) SampleSN001b (ข) SampleSN002b (ค) SampleSN003b (ง) SampleSN004b

4.2.1 ผลจากการส่อง SEM ของชิ้นงานที่มีอัตราส่วน CIS 1:1:3, 1:1:4, 1:1:5 และ 1:1:8 Sample SN001b

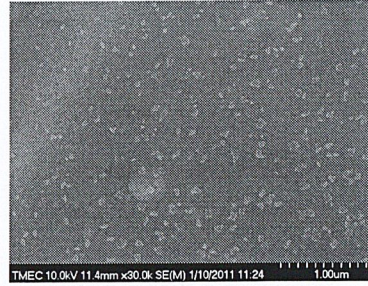


รูปที่ 4.4 (ก) : Sample SN001b กำลังขยาย 10K เท่า (ข) : Sample SN001b กำลังขยาย 30K เท่า

Sample SN002b



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 (ก) : Sample SN002b กำลังขยาย 10K เท่า (ข) : Sample SN002b กำลังขยาย 30K เท่า

Sample SN003b



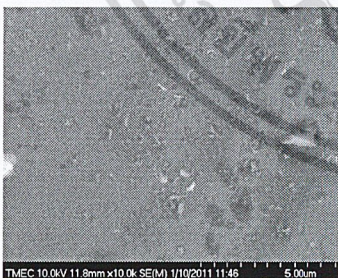
(ก)



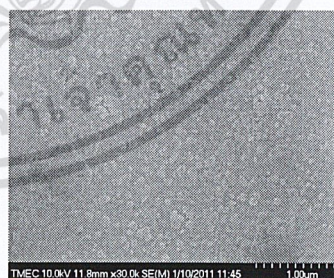
(ข)

รูปที่ 4.6 (ก) : Sample SN003b กำลังขยาย 10K เท่า (ข) : Sample SN003b กำลังขยาย 30K เท่า

Sample SN004b



(ก)



(ข)

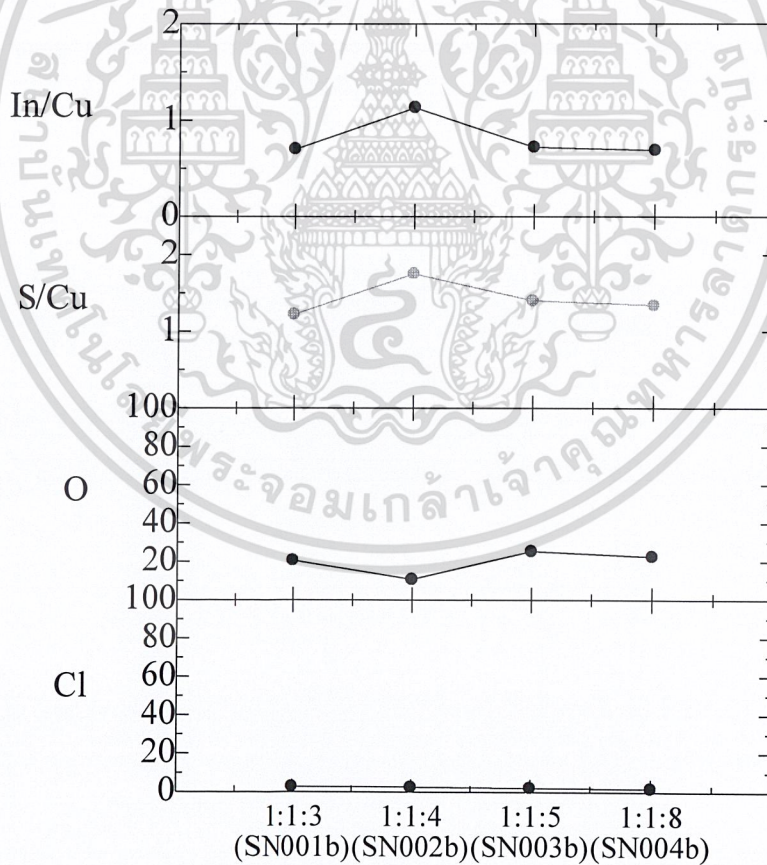
รูปที่ 4.7 (ก) : Sample SN004b กำลังขยาย 10K เท่า (ข) : Sample SN004b กำลังขยาย 30K เท่า

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SN002b

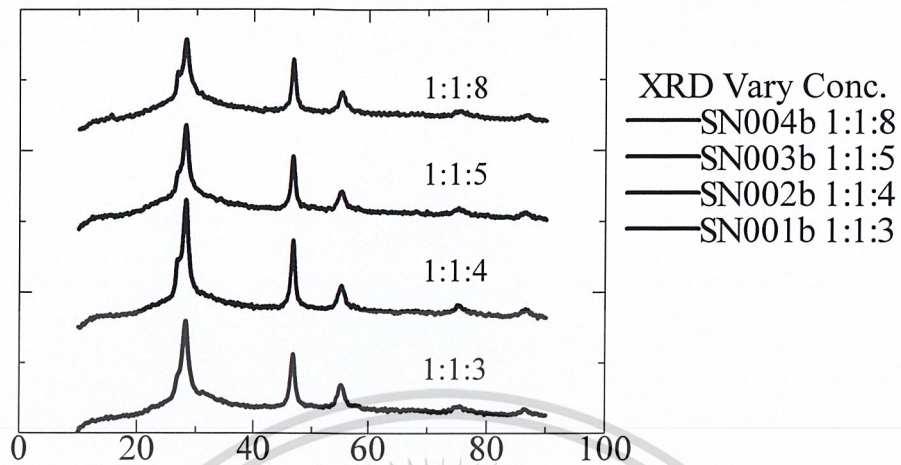
Elt.	Line	Conc	Units	Conc/มวล อะตอม	ปริมาณของธาตุ (%)
O	Ka	2.951	wt.%	0.18	10.59
S	Ka	21.396	wt.%	0.67	39.41
Cl	Ka	1.348	wt.%	0.04	2.35
Cu	La	24.164	wt.%	0.38	22.35
In	La	50.141	wt.%	0.43	25.29
		100.00	wt.%	Total	100.00

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SN002b

4.2.2 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วนของ Cu:In:S เท่ากับ 1:1:3, 1:1:4, 1:1:5 และ 1:1:8
พ่นที่อุณหภูมิ 300°C

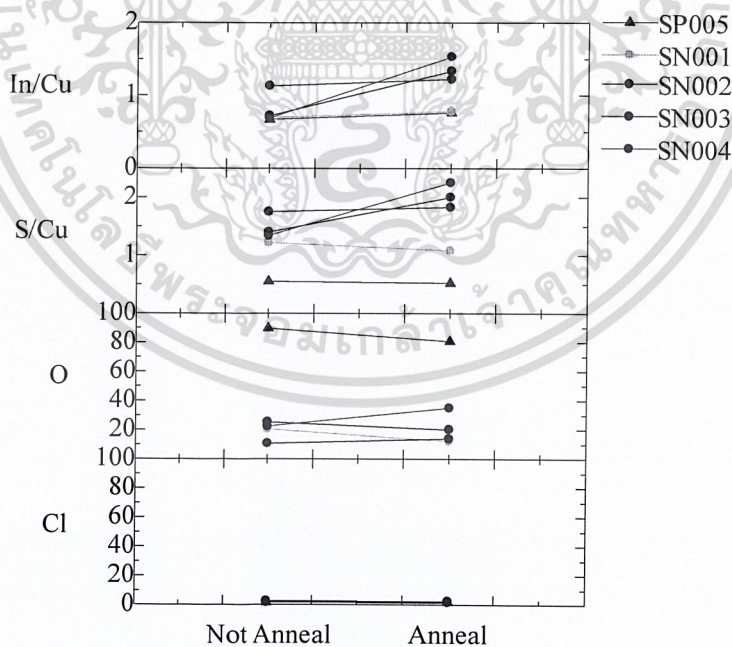


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วนต่างกัน



รูปที่ 4.9 กราฟ XRD เปรียบเทียบชิ้นงานที่มีอัตราส่วนต่างกัน

4.3 การเปรียบเทียบชิ้นงานที่ Anneal และ ไม่Anneal ในอากาศ



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบชิ้นงานที่ Anneal กับ ไม่Anneal ในอากาศ

จากผลการทดลองไม่สามารถสรุปได้ว่าการ Anneal นั้นมีส่วนช่วยให้ชิ้นงานมีคุณภาพดีขึ้น เนื่องจากแนวโน้มของผลการทดลองไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิขณะพ่นสเปรย์ 250, 275 และ 300°C

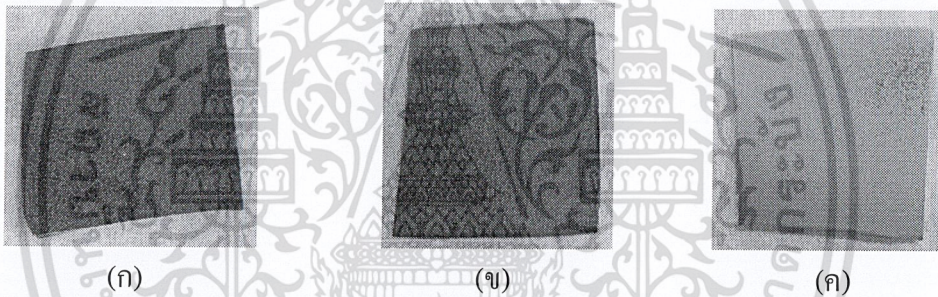
Sample SN0010b ที่อุณหภูมิ 250°C

Sample SN0011b ที่อุณหภูมิ 275°C

Sample SN003b ที่อุณหภูมิ 300°C

เงื่อนไขที่ใช้เท่ากันในการทดลอง

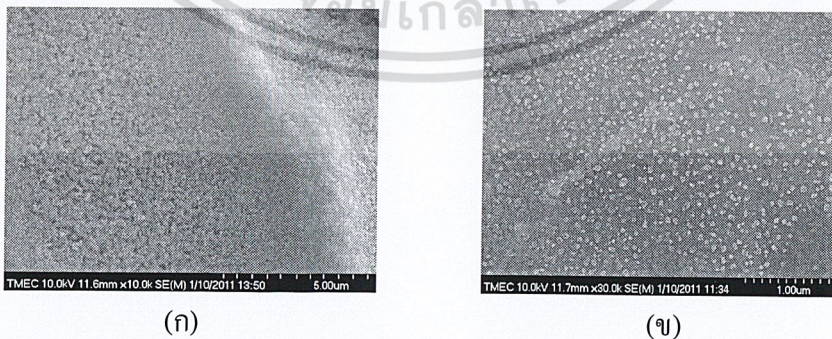
- อัตราส่วนสารเคมี[CuInS₂]: 1:1:5
- สารละลาย: H₂O 100ml.
- จังหวะการสเปรย์: พ่น 0.2 วินาที หยุด 16 วินาที /รอบ
- จำนวนรอบการสเปรย์: 500 รอบ



รูปที่ 4.11 (ก) SampleSN0010b (ข) SampleSN0011b (ค) SampleSN003b

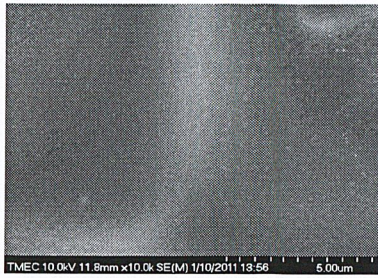
4.4.1 ผลจากการส่อง SEM ของอุณหภูมิขณะพ่นสเปรย์ 250, 275 และ 300°C

Sample SN0010b

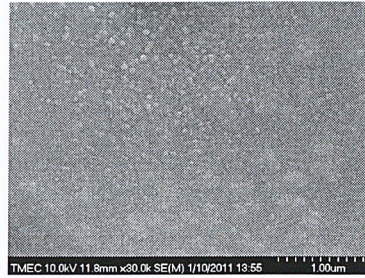


รูปที่ 4.12 (ก) : Sample SN0010b ที่กำลังขยาย 10 k (ข) : Sample SN0010b ที่กำลังขยาย 30 k

SampleSN0011b



(ก)



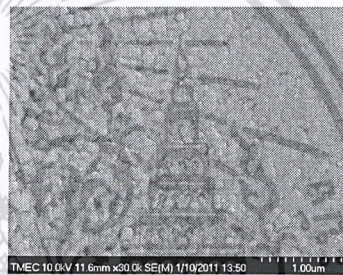
(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) : SampleSN0011b ที่กำลังขยาย 10 k (ข) : Sample SN0011b ที่กำลังขยาย 30 k

SampleSN003b



(ก)



(ข)

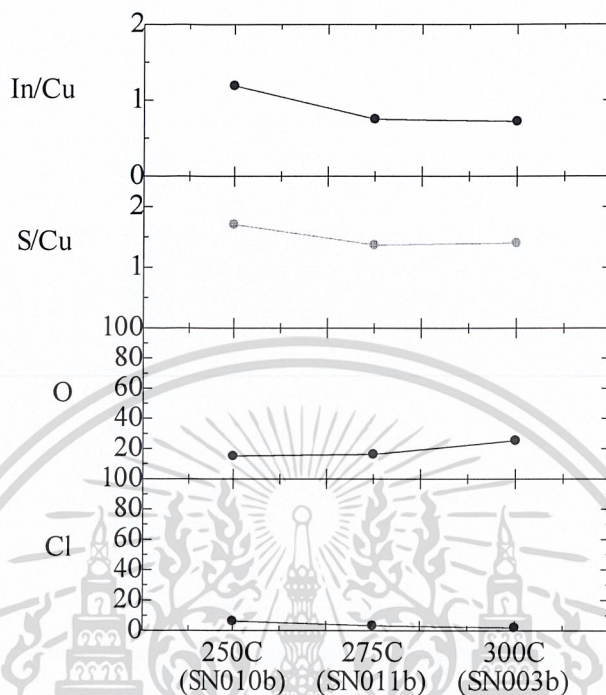
รูปที่ 4.14 (ก) : SampleSN003b ที่กำลังขยาย 10 k (ข) : Sample SN003b ที่กำลังขยาย 30 k

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SN0010b

Elt.	Line	Conc	Units	Conc/มวลอะตอม	ปริมาณของธาตุ (%)
O	Ka	4.300	wt. %	0.27	15.08
S	Ka	19.732	wt. %	0.62	34.64
Cl	Ka	3.793	wt. %	0.11	6.15
Cu	La	23.114	wt. %	0.36	20.25
In	La	49.061	wt. %	0.43	24.02
		100.000	wt. %	Total	100.00

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SN0010b

4.4.2 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการพ่นที่อุณหภูมิ 250, 275 และ 300 °C



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการพ่นที่อุณหภูมิต่างๆ

4.5 การเปรียบเทียบการอบและไม่อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 300 350 และ 400°C นาน 1 ชั่วโมง

Sample ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

Sample SP008cSa อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 300°C

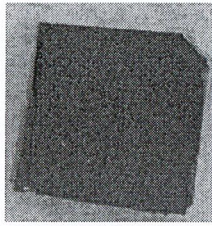
Sample SP008cSb อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 350°C

Sample SP008cSc อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 400°C

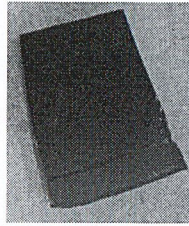
Sample SP008cSd ไม่อบซัลเฟอร์

เงื่อนไขที่ใช้เท่ากันในการทดลอง

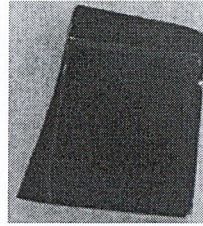
- อัตราส่วนสารเคมี[CuInS₂]: 1:1:3
- สารละลาย: H₂O 100ml.
- อุณหภูมิในการปลูกฟิล์ม : 350°C
- จังหวะการสเปรย์ : พ่น 0.2 วินาที หยุด 8 วินาที /รอบ
- จำนวนรอบการสเปรย์ : 500 รอบ



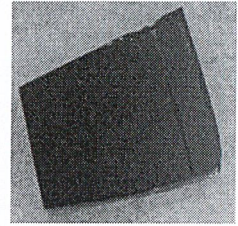
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.16 (ก) SampleSP008cSa (ข) SampleSP008cSb (ค) SampleSP008cSc (ง) SampleSP008cSd

4.5.1 ผลจากการส่อง SEM ของการอบและไม้อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 300 350 และ 400°C นาน 1 ชั่วโมง

Sample SP008cSa อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 300°C



(ก)

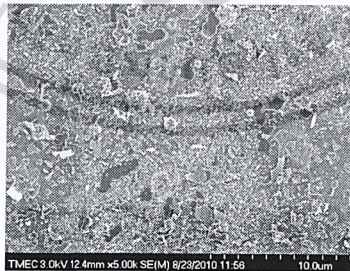
(ข)

(ค)

รูปที่ 4.17 (ก) : Sample SP008cSa กำลังขยาย 1K เท่า (ข) : Sample SP008cSa กำลังขยาย 5K เท่า

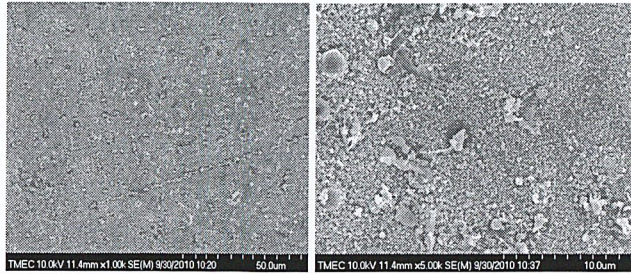
(ค) : Sample SP008cSa กำลังขยาย 30K เท่า

Sample SP008cSb อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 350°C



รูปที่ 4.18 Sample SP008cSb กำลังขยาย 5K เท่า

Sample SP008cSc ออบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 400°C

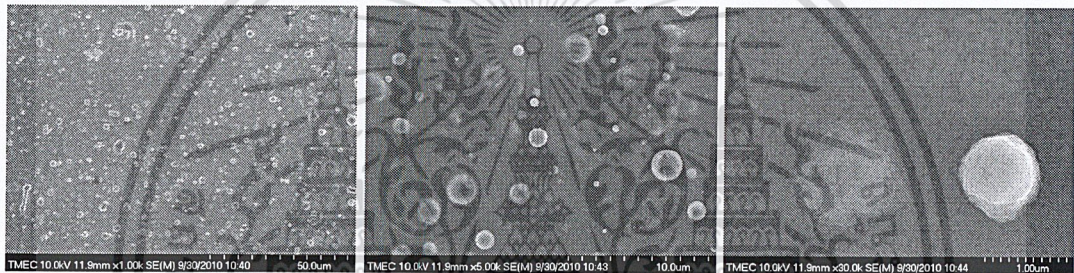


(ก)

(ข)

รูปที่ 4.19 (ก) : Sample SP008cSc กำลังขยาย 1K เท่า (ข) : Sample SP008cSc กำลังขยาย 5K เท่า

Sample SP008cSd ไม่อบซัลเฟอร์



(ก)

(ข)

(ค)

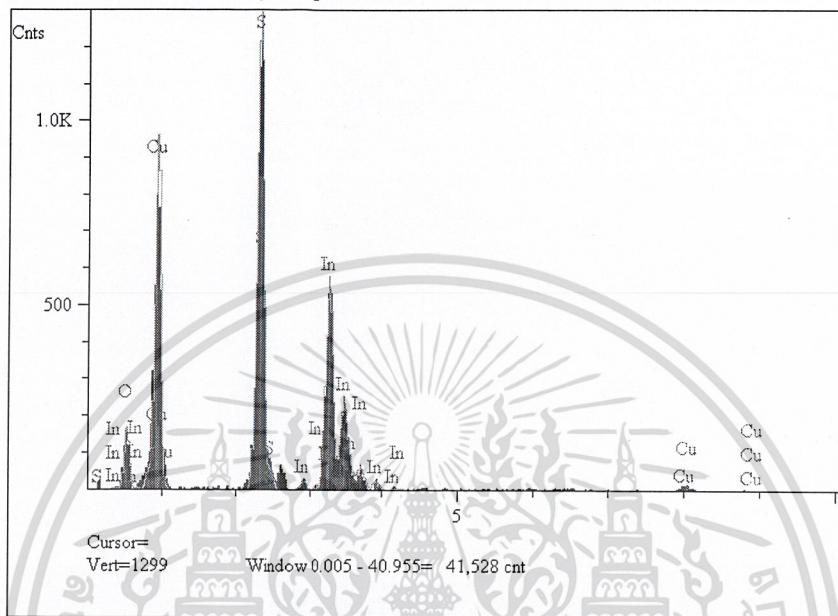
รูปที่ 4.20 (ก) : Sample SP008cSd กำลังขยาย 1K เท่า (ข) : Sample SP008cSd กำลังขยาย 5K เท่า

(ค) : Sample SP008cSd กำลังขยาย 30K เท่า

จากรูป SEM จะสังเกตได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบซัลเฟอร์นั้นมีลักษณะผิวฟิล์มที่เป็นผลึกมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบซัลเฟอร์

4.5.2 ผลการ EDXของการอบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 300 350 และ 400 องศาเซลเซียส

Sample SP008cSb อบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 350°C



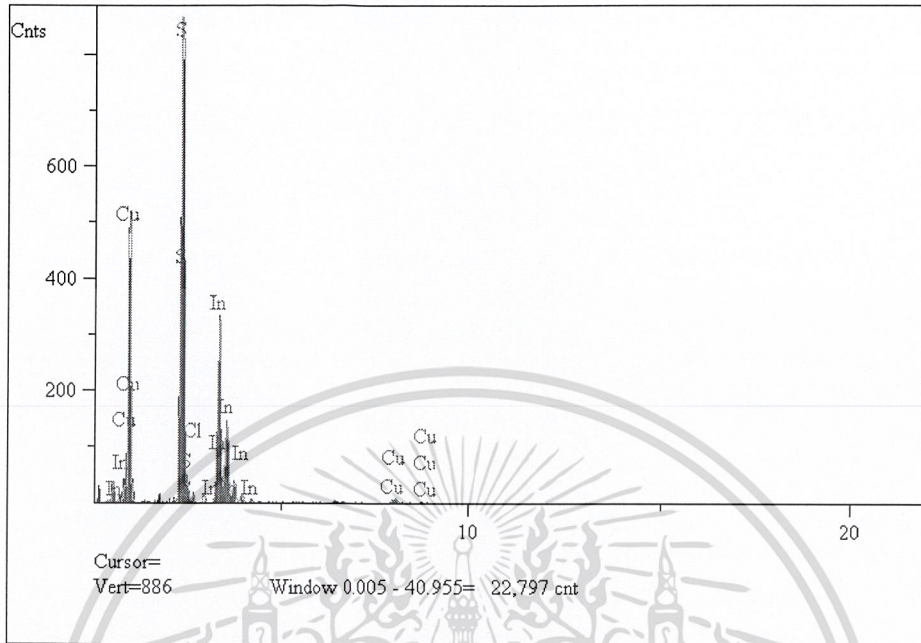
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการEDX ของ Sample SP008cSb

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SP008cSb

El.	Line	Conc	Units	Conc/ มวล อะตอม	ปริมาณ ของธาตุ (%)
O	Ka	19.148	wt.%	1.197	46.70
S	Ka	15.423	wt.%	0.472	18.42
Cu	La	46.126	wt.%	0.726	28.33
In	La	19.302	wt.%	0.168	6.55
		100.000	wt.%	Total	100.00

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SP008cSb

Sample SP008cSc ออบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 400°C



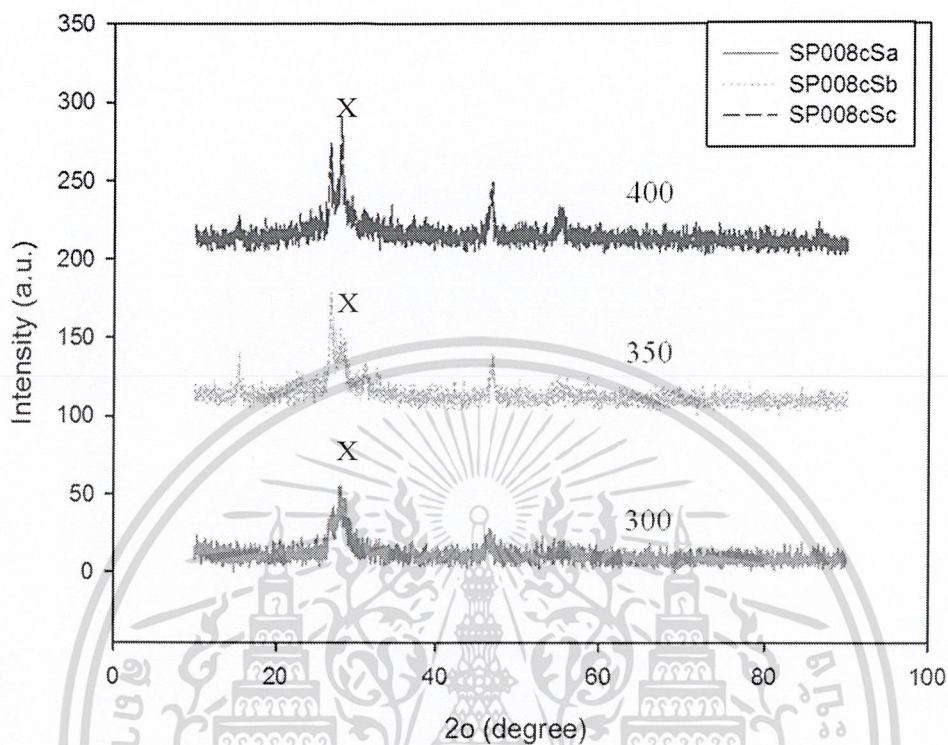
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลการEDXของ Sample SP008cSc

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SP008cSc

Elf.	Line	Conc	Units	Conc/ มวล อะตอม	ปริมาณ ของธาตุ (%)
O	Ka	22.683	wt.%	1.417	51.47
S	Ka	28.974	wt.%	0.905	32.87
Cl	Ka	0.648	wt.%	0.010	0.36
Cu	Ka	0.773	wt.%	0.012	0.44
In	La	46.923	wt.%	0.409	14.86
		100.000	wt.%	Total	100.00

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ EDX ของ Sample SP008cSc

4.5.3 ผลXRDการอบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิ 300 350 และ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.23 กราฟ XRD เปรียบเทียบ Sample SP008cSa, SP008cSb, SP008cSc [1:1:3]

จากกราฟ XRD และกราฟ EDX จะสังเกตเห็นว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบซัลเฟอร์ในอุณหภูมิที่สูงกว่านั้นจะมี peak ของ CuInS_2 ปรากฏขึ้นมาชัดเจน มีความเป็นผลึกที่สูงกว่า และมีความเข้มของ S ที่สูงกว่า ชิ้นงานที่อบซัลเฟอร์ในอุณหภูมิต่ำกว่า

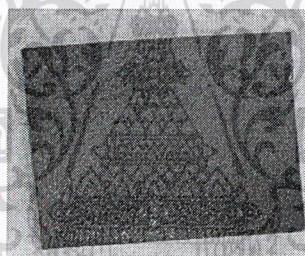
4.6 การวัดความเป็นโซลาเซลล์

Sample ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

Sample SN019

เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

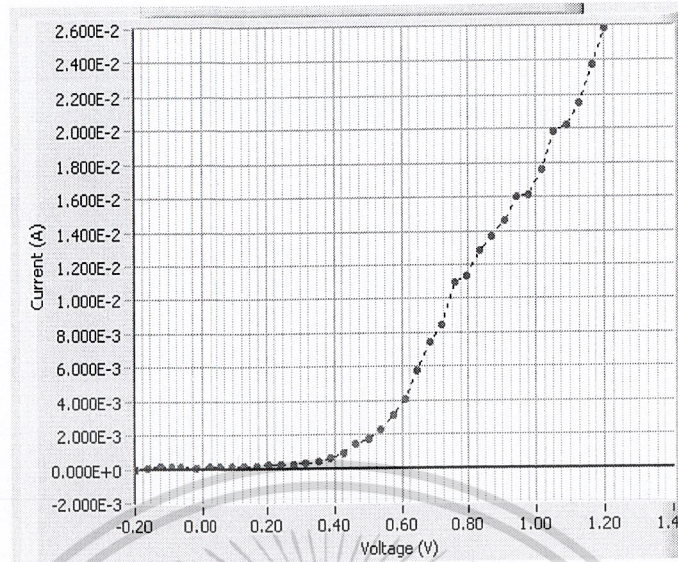
- สกรีน 3 รอบ
- อัตราส่วนสารเคมี[CuInS₂]: 1:1:5
- สารละลาย: H₂O 100ml.
- อุณหภูมิในการปลูกฟิล์ม : 300°C
- จังหวะการสเปรย์: ฟัน 30 วินาที หยุด 60 วินาที /รอบ
- จำนวนรอบการสเปรย์: 10 รอบ



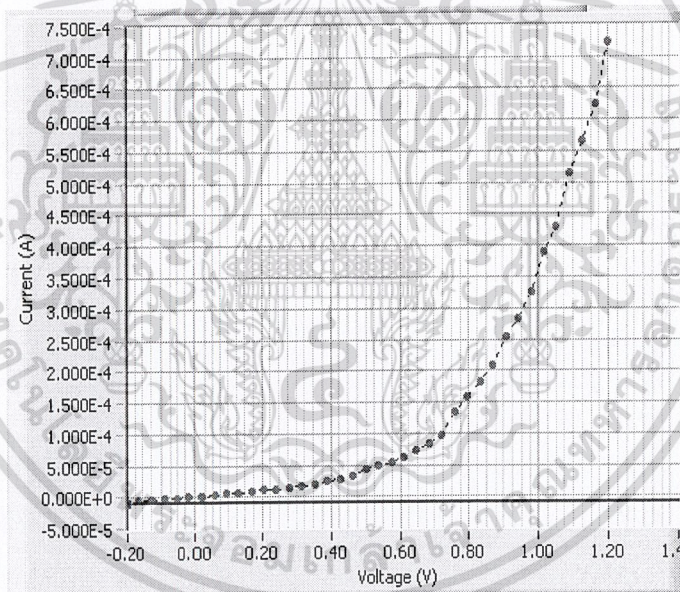
รูปที่ 4.24 Sample SN0019

การวัดความเป็นโซลาเซลล์โดยใช้ Solar Simulator โดยโซลาเซลล์ที่สร้างมีโครงสร้าง Ag/CIS/TiO₂/TCO/glass จึงได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของการเป็นไดโอดเพื่อตรวจสอบชิ้นงานที่ได้มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อ p-n หรือไม่ ผลที่พบคือชิ้นงานที่ได้แสดงกราฟออกมาเป็นไดโอด (รูป 4.30(ก)) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวัดภายใต้ Solar Simulator พบว่าไม่แสดงคุณสมบัติของ Solar cell

4.6.1 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ I และ V ของ Sample SN0019



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.25 (ก) กราฟผลการทดสอบวัดความเป็นโพลาริเซชันที่ไม่มีแสง (Dark)

(ข) กราฟผลการทดสอบวัดความเป็นโพลาริเซชันที่มีแสง (Light)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลที่ได้จากการปลูกฟิล์มบาง CuInS_2

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองการสร้างฟิล์มบาง CuInS_2 ด้วยเทคนิคสเปรย์ที่บรรยากาศห้อง โดยใช้ก๊าซในโตรเจนเป็นตัวพาสารตั้งต้น Copper Chloride(CuCl_2) กับ Indium Chloride(InCl_3) และสารประกอบ Sulfur ที่ได้จากสาร Thiourea(NH_2CSNH_2) ในการพ่นลงบน substrate โดยได้ทำการศึกษาทดลองในเงื่อนไขต่างๆเพื่อหาคุณสมบัติที่ดีที่สุดของฟิล์มบาง จากการทดลองพบว่า

1.) ระยะเวลาการหยุดระหว่างรอบหรือการหน่วงระหว่างพ่นสเปรย์มีผลต่อการสร้างฟิล์มบาง เพราะถ้ามีระยะเวลาการหยุดที่น้อยเกินไปจะทำให้สารระเหยไม่ทันกับการพ่นสเปรย์ในรอบต่อไปเนื้อฟิล์มก็จะไม่มีความสม่ำเสมอ แต่ถ้าหน่วงนานเกินไปก็จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและระยะเวลาในการพ่น

2.) เนื่องจากกราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ Anneal และ ไม่Anneal ในอากาศ มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าการ Anneal นั้นมีส่วนช่วยให้ชั้นฟิล์มมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นได้หรือไม่

3.) จากกราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการพ่นที่อุณหภูมิ 250, 275 และ 300 °C จะเห็นว่ายิ่งอุณหภูมิในการพ่นสูงขึ้น อัตราส่วนของสาร Cu:In:S จะผิดเพี้ยนไปจากค่า 1:1:2 มากยิ่งขึ้น ทั้งยังมีปริมาณออกซิเจนที่สูงขึ้นด้วยซึ่งเราสามารถลดปริมาณของออกซิเจนได้โดยการนำชิ้นงานไปอบซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิสูง

4.) จากผลการวิเคราะห์ EDX และ กราฟXRD ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนของปริมาณซัลเฟอร์ของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อฟิล์มเปลี่ยนแปลงไปด้วย

จากเงื่อนไขดังกล่าวทำให้เราทราบว่าวิธีการพ่นสเปรย์สามารถนำมาใช้สร้างฟิล์ม CuInS_2 ได้เพื่อใช้เป็นตัว Absorber ในเซลล์แสงอาทิตย์แต่จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงานพบว่า มีคุณสมบัติเป็นไดโอด

สิ่งที่ควรจะศึกษาต่อไปเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากวิธีการนี้คือ ศึกษาเงื่อนไขต่างๆของสารที่จะนำมาใช้เป็น Buffer ว่าเงื่อนไขใดมีจะก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด และศึกษาหาสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ชนิดอื่นแทนการใช้ $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ ของกระจก TCO ยกตัวอย่างเช่น ZnO เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.tmc.nstda.or.th/iset>
- [2] <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS49-09-Solar.html>
- [3] <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [4] http://www.leonics.com/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php
- [5] <http://www.nsthai.com/basic.htm>
- [6] <http://www.techtron.co.th/Solarcel.htm>
- [7] http://www.ec21.com/offers/cis_solar.html
- [8] นนทพันธ์ กาศานาย, นพดล สิริฐานวัฒน์ และสมโภชน์ โลบญญเลิศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, “การปลูกฟิล์มบาง CuInS₂ ด้วยเทคนิคสเปร์ย์”

