



การสังเคราะห์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์โดยวิธีจุ่มเคลือบ

SYNTHESIS OF TIN OXIDE THIN FILM USING  
DIP COATING TECHNIQUE

นายภาณุมาศ ทรงวุฒิ รหัส 54361596

นายอธิวัฒน์ จิระวิชา รหัส 54365273

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การสังเคราะห์ฟิล์มบางตีบุกออกไซด์โดยวิธีจุ่มเคลือบ  
ผู้ดำเนินโครงการ นายภาณุมาศ ทรงวุฒิ รหัส 54361596  
นายอธิวัฒน์ จิระวิชญา รหัส 54365273  
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์  
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(อาจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์นฤมล สีพลไกร)

.....กรรมการ  
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การสังเคราะห์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์โดยวิธีจุ่มเคลือบ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายภานุมาศ	ทรงวุฒิ	รหัส 54361596
	นายอธิวัฒน์	จิระวิษฐา	รหัส 54365273
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์อุบลัมภ์	นาครักษ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2557		

---

### บทคัดย่อ

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบางที่เจือสารฟลูออรีนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยทำการสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยกระบวนการจุ่มเคลือบกับกระจกสไลด์ ซึ่งทำการจุ่มเคลือบด้วยสารละลายดีบุกออกไซด์โดยมีการเจือสารฟลูออรีนที่ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของดีบุก จำนวน 10 รอบ และได้ตรวจสอบผลโดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer เครื่อง X-Ray Diffraction เครื่อง Scanning Electron Microscope นอกจากนี้ยังมีการขยายผลจากเครื่อง Scanning Electron Microscope โดยใช้เครื่อง Energy-dispersive X-ray Spectroscopy

จากการตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างกระจกที่เคลือบด้วยสารละลายดีบุกออกไซด์ ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบางที่สังเคราะห์ขึ้นมา นั้นสารละลายดีบุกออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นเตตระโกนอล จากการตรวจสอบความสามารถในการส่องผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นและในช่วงความยาวคลื่นยูวี แสดงให้เห็นว่าค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มบางนั้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปริมาณสารเจือที่ใส่ลงไป โดยฟิล์มบางที่ไม่ได้ทำการเจือ นั้นจะมีค่าการส่องผ่านแสงที่สูงถึงร้อยละ 90 ส่วนฟิล์มบางที่ได้ทำการเจือที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของดีบุก นั้นจะมีค่าการส่องแสงอยู่ที่ร้อยละ 70 และจากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคนั้นแสดงให้เห็นว่าฟิล์มบางที่ทำการเจือสารในปริมาณที่แตกต่างกัน ที่ผิวฟิล์มบนกระจกมีรอยแตกที่ลดลง

<b>Project title</b>	Synthesis of Tin oxide Thin Film Using Dip Coating Technique.		
<b>Name</b>	Mr. Panumas	Songvut	ID. 54361596
	Mr. Atiwat	Jirawichada	ID. 54365273
<b>Project advisor</b>	Mr. Auppatham	Nakaruk	
<b>Major</b>	Materials Engineering		
<b>Department</b>	Industrial Engineering		
<b>Academic year</b>	2014		

---

### Abstract

In the study the changes of the various properties of a thin film doped with fluorine in various ratios by synthesized thin films on a glass slide with dipping coated process. And dip coated with a tin dioxide solution doped with fluorine on 5 , 10, 15 and 20 percent by weight of tin for the 10 laps. Examine the results of the instruments used in the analysis include UV-VIS Spectrophotometer, X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscope and extended the results from Scanning Electron Microscope by using Energy-dispersive X-ray spectroscopy.

From the determine X-Ray Diffraction of glass sample with tin dioxide doped with fluorine in different ratios showed that thin films synthesized there are the elemental tin dioxide with tetragonal crystal structure. The study found that the ability of light transmission in the visible and ultraviolet wavelengths showed that the light transmission of the film was changed depending on the amount of dopants into the film. The thin films that are not doped were the light transmission of up to 90 percent and thin film that has been doped to 20 percent by weight of tin was the shining at 70 percent. The microstructure was measured by scanning Electron Microscope showed that the doped in different amounts on the surface film on the glass cracks decrease.



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์อุปลักษณ์ นาครักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และยังให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นคว้าข้อมูลในการวิเคราะห์ ตลอดจนวิธีการในการแก้ปัญหา แก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความช่วยเหลือทางด้านต่าง ๆ และให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทศพล ตีร์จุริภาพงศ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ และอาจารย์นฤมล สีพลไกร ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในเรื่องกำลังใจ และค่าใช้จ่าย จนสามารถศึกษา และทำโครงการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องทุกคนที่ให้กำลังใจ และคอยช่วยเหลือ ในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นาย ภาณุมาศ ทรงวุฒิ

นาย อธิวัฒน์ จิระวิชญา

พฤษภาคม 2558

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย .....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ค
กิตติกรรมประกาศ .....	ง
สารบัญ .....	จ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ซ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน .....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ .....	2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงการ .....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ .....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ .....	2
1.8 แผนการดำเนินโครงการ .....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎี .....	4
2.1 ดีบุกไดคัลไรต์ .....	4
2.2 ดีบุกออกไซด์ .....	5
2.3 ฟลูออรีน .....	6
2.4 เอทานอล .....	7
2.5 กรดน้ำส้ม .....	8
2.6 เทคนิคการจุ่มเคลือบฟิล์มบนกระจกโดยวิธี โซล-เจล .....	8
2.7 รังสีอัลตราไวโอเลต .....	10
2.8 เทคนิคการตรวจวัดฟิล์มบาง .....	12

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการงาน .....	22
3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการงาน.....	22
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์.....	23
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	24
3.4 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้.....	25
3.5 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้ .....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ .....	26
4.1 การตรวจสอบลักษณะของตัวอย่างกระจกที่เคลือบด้วย ดีบุกออกไซด์เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนที่ต่างกััน.....	26
4.2 ผลจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้.....	28
4.3 ผลจากการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้ .....	36
บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ .....	38
5.1 บทสรุป.....	38
5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไขปัญหา.....	39
5.3 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา .....	39
5.4 การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต.....	39
เอกสารอ้างอิง .....	40
ภาคผนวก ก .....	43
ภาคผนวก ข .....	49
ประวัติผู้จัดทำโครงการงาน.....	53

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ .....	3
2.1	สมบัติกายภาพของดีบุกไดคลอไรด์ .....	5
2.2	สมบัติกายภาพของดีบุกออกไซด์.....	5
2.3	สมบัติกายภาพของฟลูออรีน .....	7
2.4	ชนิดของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของแสงเหนือม่วงมาตรฐาน ISO ที่กำหนดชนิดแสงเปล่งของดวงอาทิตย์ (ISO-DIS-21348) .....	10





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของดีบุกไดคลอไรด์ และสารประกอบที่เกี่ยวข้อง ..... 4
2.2	รูปแบบลูกบอล และแท่งของโครงสร้างผลึกของ $\text{SnCl}_2$ ..... 4
2.3	โครงสร้างของดีบุกไดคลอไรด์ ..... 7
2.4	ลำดับขั้นตอนกระบวนการจุ่มเคลือบ (Dip-coat)..... 9
2.5	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อตกกระทบระนาบของผลึก ..... 13
2.6	การทำงานของ SEM..... 14
2.7	สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว ..... 16
2.8	สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่..... 17
2.9	สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ..... 17
2.10	รูปหลอดไฟที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ..... 18
2.11	ตัวอย่างภาชนะใส่สารแบบต่าง ๆ..... 19
2.12	หลอดไฟโตมัลติฟลายเออร์ ..... 20
2.13	สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ..... 21
3.1	ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงงาน..... 22
4.1	ความแตกต่างของลักษณะ ..... 27
4.2	กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของ ดีบุกออกไซด์ที่ไม่เจือฟลูออรีนเทียบกับกราฟมาตรฐานขององค์กร JCPDs ..... 28
4.3	กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของ ดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดีบุกเทียบกับกราฟ มาตรฐานขององค์กร JCPDs ..... 29
4.4	กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของ ดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักดีบุกเทียบกับกราฟ มาตรฐานขององค์กร JCPDs ..... 29
4.5	กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของ ดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักดีบุกเทียบกับกราฟ มาตรฐานขององค์กร JCPDs ..... 30
4.6	กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของ ดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักดีบุกเทียบกับกราฟ มาตรฐานขององค์กร JCPDs ..... 30

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่ได้จากเครื่อง SEM และผล EDS .....	31
4.8 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดีบุก ที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS.....	32
4.9 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักดีบุกที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS.....	33
4.10 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักดีบุกที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS.....	34
4.11 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักดีบุกที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS.....	35
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น กับร้อยละการส่องผ่านของ ดีบุกออกไซด์ในสัดส่วนการเจือด้วยฟลูออรีนที่ต่างกัน.....	36

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันกระจกนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้าง และตกแต่งภายใน ภายนอกตัวอาคาร ให้อาคารดูสวยขึ้นรวมถึงยังช่วยในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร เนื่องจากคุณสมบัติของ กระจกคือมีความโปร่งแสงจึงช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในเวลากลางวัน แต่ในปัจจุบันโลกได้เกิด ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น เป็นที่ทราบกันว่า แสงจากดวงอาทิตย์ยังปล่อยรังสีอัลตราไวโอเล็ต เรียกว่ารังสียูวี (Ultraviolet) หรือรังสีเหนือ ม่วง มีความยาวคลื่นในช่วง 400-10 นาโนเมตร และมีพลังงานในช่วง 3 ถึง 124 อิเล็กตรอนโวลต์ รังสีอัลตราไวโอเล็ตทั้งสามชนิดคือ อัลตราไวโอเล็ตเอ อัลตราไวโอเล็ตบี และอัลตราไวโอเล็ตซีการรับ รังสีอัลตราไวโอเล็ตมากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายกับระบบต่าง ๆ ของร่างกาย รังสีอัลตราไวโอเล็ต ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตซีมีพลังงานสูงที่สุด และที่สำคัญคืออันตรายที่สุด แต่พบได้น้อยเพราะ บรรยากาศกรองไว้หมด รังสีอัลตราไวโอเล็ตทั้งสามสามารถทำให้คอลลาเจนในผิวหนังเสื่อมสภาพได้ ซึ่งเป็นเหตุหนึ่งให้เกิดริ้วรอยก่อนวัย แต่อัลตราไวโอเล็ตเอมีความรุนแรงน้อยที่สุดเพราะไม่สามารถ ก่อให้เกิดอาการแดดเผา (Sunburn) ที่สามารถแปลงสภาพกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิกได้จนอาจ ก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง แต่ร่างกายสามารถป้องกันได้โดยการสร้างเม็ดสีเมลานินขึ้นมาเพื่อป้องกันการ ทะลวงของยูวี เม็ดสีเมลานินจึงทำให้ผิวคล้ำมากขึ้น นอกจากนี้ผิวหนังแล้วรังสียูวียังเป็นอันตรายต่อ ดวงตาโดยเฉพาะอัลตราไวโอเล็ตบีทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า Arc Eye คือรู้สึกเหมือนมีทรายเข้าตา หรือถ้ารุนแรงกว่านั้นอาจทำให้เป็นโรคต้อกระจก (Cataract) ได้

เนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้มีการพัฒนากระจกที่สามารถป้องกันรังสียูวี แต่ยังคงสมบัติ ความโปร่งใสอยู่เหมือนเดิม โดยสามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้โดยใช้กระบวนการจุ่มเคลือบ (Dip-coating) กระจกด้วยสารดีบุกไดออกไซด์ เพื่อให้กระจกที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปใช้ ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้ ยังทำให้การใช้ชีวิตของมนุษย์มีความปลอดภัยมากขึ้นเมื่ออยู่ภายใน อาคาร และยังช่วยในเรื่องค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าได้อีกด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อสังเคราะห์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยวิธีการจุ่มเคลือบ
- 1.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้
- 1.2.3 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้



### 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน

- 1.3.1 สังเคราะห์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ ที่เจือด้วยฟลูออรีนโดยวิธีการจุ่มเคลือบ
- 1.3.2 ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้
- 1.3.3 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้

### 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ

- 1.4.1 สามารถตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน
- 1.4.2 สามารถวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

### 1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

- 1.5.1 สังเคราะห์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของดีบุก โดยวิธีการจุ่มเคลือบเทียบกับฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่ไม่เจือด้วยฟลูออรีน
- 1.5.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ในสัดส่วนของสารเจือที่แตกต่างกัน โดยสมบัติที่ทำการศึกษาประกอบด้วย
  - 1.5.2.1 องค์ประกอบธาตุในฟิล์มบาง
  - 1.5.2.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของฟิล์มบาง
- 1.5.3 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่เจือด้วยฟลูออรีน

### 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

- 1.6.1 ห้อง TC413 อาคารมหาธรรมราชาหน่วยวิจัยวัสดุขั้นสูงเพื่อการประยุกต์ทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.6.2 ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.6.3 ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- 1.6.4 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2558



## 1.8 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา										
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1.8.1	ศึกษาศึกษาสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของกระจกที่เคลือบด้วยดีบุกออกไซด์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←—————→										
1.8.2	เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการจุ่มเคลือบ				←—————→							
1.8.3	ทำการทดลอง						←—————→					
1.8.5	ทดสอบหาประสิทธิภาพของกระจกที่มีเคลือบด้วยดีบุกออกไซด์								←————→			
1.8.6	วิเคราะห์ผล และสรุปผลการทดลองพร้อมทำรูปเล่ม							←—————→				

## บทที่ 2

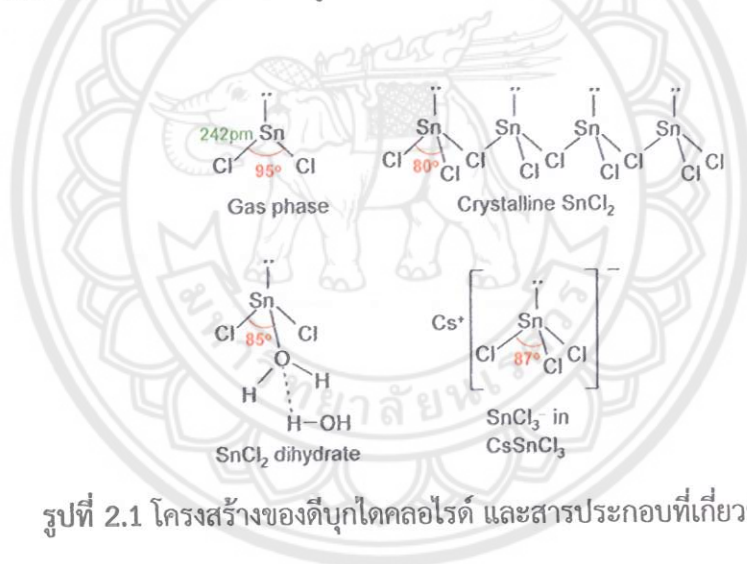
### หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 ดีบุกไดคลอไรด์

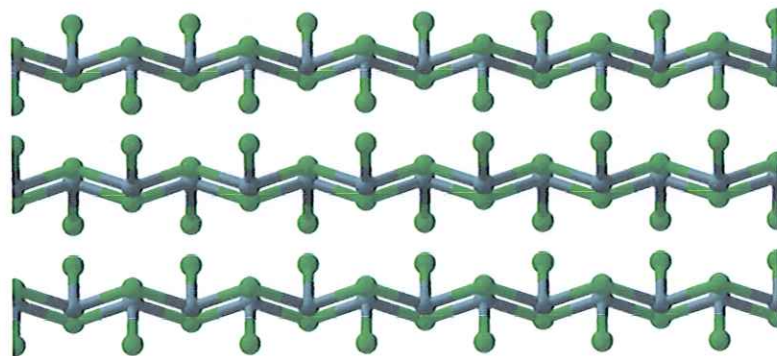
ดีบุกไดคลอไรด์ หรือที่เรียกว่า คลอไรด์แทนนซ์ เป็นผลึกของแข็งสีขาวที่มีสูตร ดีบุกไดคลอไรด์ เป็นรูปแบบไดไฮเดรต ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีเสถียรภาพ แต่สารละลายที่เป็นของเหลวมักจะระเหยที่ อุณหภูมิสูง ดีบุกไดคลอไรด์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อเป็นสารลดกรด (ในสารละลายกรด) สำหรับในเทคนิคการชุบด้วยดีบุกไดคลอไรด์ ไม่ควรจะใช้ร่วมกับเทคนิคการชุบคลอไรด์อื่น ๆ

##### 2.1.1 โครงสร้างทางเคมี

ดีบุกไดคลอไรด์มีอิเล็กตรอนคู่เดียว ผลึกดีบุกไดคลอไรด์จะมีรูปแบบเป็นห่วงโซ่ที่ เชื่อมโยงกับคลอไรด์ตามที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของดีบุกไดคลอไรด์ และสารประกอบที่เกี่ยวข้อง [1]



รูปที่ 2.2 รูปแบบลูกบอล และแท่งของโครงสร้างผลึกของดีบุกไดคลอไรด์ [2]

ตารางที่ 2.1 สมบัติกายภาพของดีบุกไดคลอไรด์ [3]

สูตรโมเลกุล	สารละลายดีบุกไดคลอไรด์ ( $\text{SnCl}_2$ )
มวลโมเลกุล	189.60 กรัมต่อโมล (แอนไฮดรัส) 225.63 กรัมต่อโมล (ไดไฮเดรต)
รูปร่าง	ผลึกของแข็งสีขาว
ความหนาแน่น	3.95 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (แอนไฮดรัส) 2.71 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ไดไฮเดรต)
จุดหลอมเหลว	247 องศาเซลเซียส (477 องศาฟาเรนไฮต์; 520 เคลวิน) (แอนไฮดรัส) 37.7 องศาเซลเซียส (ไดไฮเดรต)
จุดเดือด	623 องศาเซลเซียส (1,153 องศาฟาเรนไฮต์; 896 เคลวิน) (ดีคัมโพซ)

## 2.2 ดีบุกออกไซด์

ดีบุกออกไซด์เป็นที่รู้จักกันในระบบชื่อ ดีบุก (IV) ออกไซด์ และในบันทึกที่เก่ากว่านี้มีชื่อเรียกว่า Stannic Oxide ดีบุกออกไซด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์มีสูตร ดีบุกออกไซด์ รูปแบบแร่ธาตุของ ดีบุกออกไซด์ เรียกว่า Cassiterite และนี่เป็นหลักสำคัญของแร่ดีบุก [4] ออกไซด์ของดีบุกเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในทางเคมี ซึ่งไม่มีสี แม่เหล็กเป็นของแข็งที่เป็น Amphoteric

ตารางที่ 2.2 สมบัติกายภาพของดีบุกออกไซด์

สูตรโมเลกุล	สารละลายดีบุกออกไซด์ ( $\text{SnO}_2$ )
มวลโมเลกุล	150.71 กรัมต่อโมล
รูปร่าง	ผงสีขาว ไม่มีกลิ่น
ความหนาแน่น	6.95 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (20 องศาเซลเซียส) [5] 6.85 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (24 องศาเซลเซียส) [6]
จุดหลอมเหลว	1,630 องศาเซลเซียส (2,970 องศาฟาเรนไฮต์; 1900 เคลวิน) [5 และ 6]
จุดเดือด	1,800-1,900 องศาเซลเซียส (3,270-3,450 องศาฟาเรนไฮต์; 2,070-2,170 เคลวิน) [5]
การละลาย	ไม่สามารถละลายในน้ำได้, ละลายในความเข้มข้นของอัลคาไลน์ที่ร้อน [6] ความเข้มข้นของกรด ละลายในแอลกอฮอล์ [5]



### 2.2.1 โครงสร้าง

มีโครงสร้างแบบ Rutile ในอะตอมของดีบุกมี โคออดิเนต เท่ากับ หก และอะตอมออกซิเจนมีโคออดิเนต เท่ากับ สาม [4] ดีบุกออกไซด์ ถือได้ว่าเป็นออกซิเจนขาดสารกึ่งตัวนำชนิด N [7] รูปแบบไฮดรอกซิลของดีบุกออกไซด์ ได้รับการอธิบายที่ผ่าน ๆ มาว่าเป็นกรดสแตนนิสแม้ว่าวัสดุดังกล่าวดูเหมือนจะมีอนุภาคไฮดรอกซิลของดีบุกออกไซด์ ที่สะท้อนให้เห็นถึงองค์ประกอบขนาดอนุภาค [8]

### 2.2.2 การเคลือบแก้ว

สารเคลือบดีบุกออกไซด์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเทคนิคการสะสมไออน้ำที่ใช้ ดีบุกไดคลอไรด์ [4] หรือ ออร์กาโนดีบุก ทายฮาไลด์ เช่น บิวไทน์ดีบุก ไตรคลอไรด์ เป็นตัวแทนความผันผวน เทคนิคนี้จะใช้กับขวดแก้ว โดยจะเคลือบบาง ๆ (น้อยกว่า 0.1 ไมครอน) ชั้นของดีบุกออกไซด์ เป็นไปตามพอลิเมอร์ที่เคลือบป้องกัน เช่น พลาสติกแก้ว [4] ชั้นที่หนาจะเจือด้วยไอออนพลวง หรือ ฟลูออรีน จะนำไฟฟ้าและใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [4]

## 2.3 ฟลูออรีน

เป็นสารประกอบโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ลักษณะเป็นผลึกสีขาว ระเหิดได้ เช่นเดียวกับเนฟทาลีน เรืองแสงสีม่วงใต้แสงยูวี ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ในเบนซีน และอีเทอร์ แหล่งที่มาสำคัญของฟลูออรีนคือ น้ำมันถ่านหิน แต่สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยปฏิกิริยา ดีไฮโดรจีเนสของ ไดฟีนิลไดโอไซไซยานเนต [9] โมเลกุลของฟลูออรีน มีลักษณะเกือบเป็นแนวระนาบ [10] แม้ว่าแต่ละวงเบนซีน ที่อยู่ด้านข้างมีลักษณะเป็นระนาบร่วมกับคาร์บอนตัวที่ 9 ที่อยู่ตรงกลาง [11]

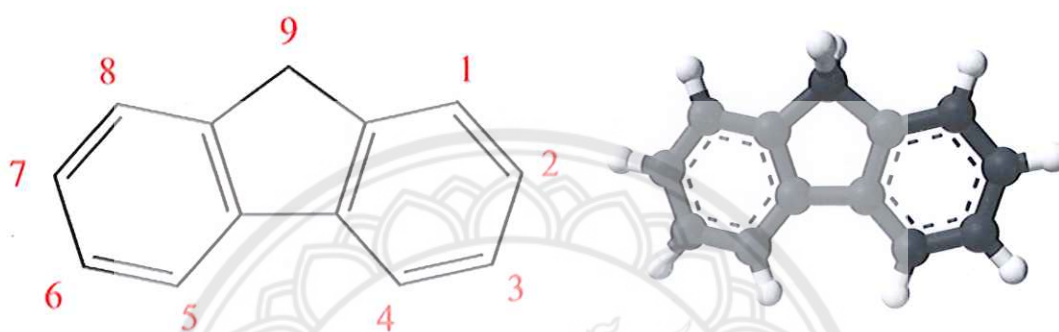
### 2.3.1 การใช้งาน

ฟลูออรีน เป็นสารที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาก่อนข้างสูง ส่วนใหญ่จะพบในรูปแบบของสารประกอบ ซึ่งในธรรมชาติจะพบได้มากในแร่ฟลูออไรต์ แร่ฟอสเฟต และโคคลอไรท์ในทางอุตสาหกรรมจะมีการสังเคราะห์ฟลูออรีนขึ้นมา จากสารตั้งต้น โพแทสเซียม ฟลูออไรด์ ในไฮโดรเจน-ฟลูออไรด์ ฟลูออรีนมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการผลิตกรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid) การผลิตยูเรเนียม เฮกซะฟลูออไรด์ ซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตพลังงานนิวเคลียร์ต่อไป หรือยังใช้ฟลูออรีนในรูปแบบของซิลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ เพื่อใช้เป็นตัวกลางในหม้อแปลงหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ฟลูออรีนยังใช้ในการผลิตฟลูออโรพอลิเมอร์ ซึ่งจะใช้ในเป็นฉนวนกันไฟฟ้าเคลือบผิวของโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น สายไฟ หรือกระเพาะ (Teflon) เป็นต้น นอกจากนี้ฟลูออรีนยังมีที่ใช้ในอุตสาหกรรม การแพทย์ต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติที่จับกับคาร์บอนได้ดี และไม่ถูกทำลายโดยงานในร่างกาย จึงนำมาใช้ในการผลิตยา ใช้เป็นสารในการตรวจทางรังสี (PET Scan) หรือแม้กระทั่งใช้ในอุตสาหกรรม การผลิตยาฆ่าแมลง [12]



ตารางที่ 2.3 สมบัติกายภาพของฟลูออรีน [13]

สูตรเคมี	ฟลูออรีน $C_{13}H_{10}$
รูปร่าง	ผลึกสีขาว
ความหนาแน่น	1.202 กรัมต่อลิตร
จุดหลอมเหลว	116-117 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	295 องศาเซลเซียส 568 เคลวิน 563 องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของดีบุกโคคโลไรด์ [13]

## 2.4 เอทานอล

เอทานอล ยังเรียกกันว่า เอธิลแอลกอฮอล์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ หรือแอลกอฮอล์ ชนิดที่สำคัญของแอลกอฮอล์ที่พบในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ที่ผลิตโดยการหมักน้ำตาลจากยีสต์ มันเป็นพิษต่อประสาท [14 และ 15] ยาเสพติดทางประสาท และเป็นหนึ่งในยาที่เก่าแก่ที่สุดที่ใช้โดยมนุษย์ มันสามารถทำให้เกิดอาการมึนเมา เมื่อบริโภคแอลกอฮอล์ในปริมาณที่เพียงพอ เอทานอลที่ใช้เป็นตัวทำละลาย ยาฆ่าเชื้อโรค น้ำมันเชื้อเพลิง และของเหลวที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน (หลังปรอท) เครื่องวัดอุณหภูมิ (เพราะมันมีจุดเยือกแข็งต่ำ) มันเป็นสารระเหย ของเหลวไวไฟ ไม่มีสีมีกลิ่น เป็นสารเคมีที่แข็งแกร่ง

### 2.4.1 สมบัติของเอทานอล

- 2.4.1.1 เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยได้ จุดไฟติด มีที่เอชเป็นกลาง
- 2.4.1.2 มีจุดเดือดที่ 78 องศาเซลเซียส แต่สามารถระเหยได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ
- 2.4.1.3 สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ เช่น อีเทอร์-คลอโรฟอร์ม
- 2.4.1.4 ให้พลังงานความร้อนประมาณ 12,800 บีทียูต่อปอนด์

## 2.4.2 ประโยชน์จากเอทานอล

2.4.2.1 ใช้เป็นตัวทำละลาย (Solvent) ในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์หอม และอื่น ๆ

2.4.2.2 ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค เช่น น้ำยาฆ่าเชื้อ

2.4.2.3 ใช้ผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ

2.4.2.4 ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยนำเอทานอลกับน้ำมันเบนซิลออกเทน 91 ในอัตราส่วนเอทานอล 1 ส่วน กับน้ำมันเบนซิล 9 ส่วน เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารถยนต์ให้สามารถใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 20 เรียกว่า E 20 สำหรับรถบางรุ่นสามารถใช้ น้ำมันเบนซิลที่มีส่วนผสมของเอทานอลถึงร้อยละ 85 เรียกว่า E 85

## 2.5 กรดน้ำส้ม

กรดน้ำส้ม ( $C_2H_4O_2$ ) เป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุน แสบจมูก ระเหยได้ น้ำหนักโมเลกุล 60.05 กรัมต่อโมล จุดเดือด 118 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็งที่ 17 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 1.05 ความดันไอ 11 มิลลิเมตรของปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ดี มีความเสถียร กรดน้ำส้มบริสุทธิ์เรียกว่า กรดน้ำส้มล้วน หรือกรดกลาเซียอะซิติก (Glacial Acetic Acid) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 17 องศาเซลเซียส การเจือจางกรดด้วยน้ำจะได้น้ำส้มสายชูสำหรับปรุงอาหารซึ่งอาจได้จากการหมัก มีกลิ่นหอม และไม่มีอันตรายจากสารปนเปื้อน ในสมัยโบราณมีการนำกรดนี้มาใช้โดยหมักจากไวน์ หรือเหล้าปัจจุบันใช้การสังเคราะห์ทางเคมีในการผลิตกรดน้ำส้ม โดยการออกซิไดซ์อะเซตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) หรือใช้คาร์บอนมอนอกไซด์ในการทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเพื่อได้เมทานอล แล้วทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์อีกครั้ง จนได้กรดน้ำส้ม กรดน้ำส้มใช้ในการผลิตพลาสติก อุตสาหกรรมสีย้อมผ้า ยาฆ่าแมลง ยาแอสไพริน เส้นใยสังเคราะห์ พอลิเมอร์ และกาว เป็นต้น เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม กรดน้ำส้มมีความรุนแรงน้อยกว่ากรดอินทรีย์

## 2.6 เทคนิคการจุ่มเคลือบฟิล์มบนกระจกโดยวิธี โชล-เจล

การเคลือบฟิล์มบางบนกระจกมีอยู่ 2 ประเภท คือ

### 2.6.1 การเคลือบแบบแห้ง (Dry Process)

เช่น การเคลือบแบบไอระเหย

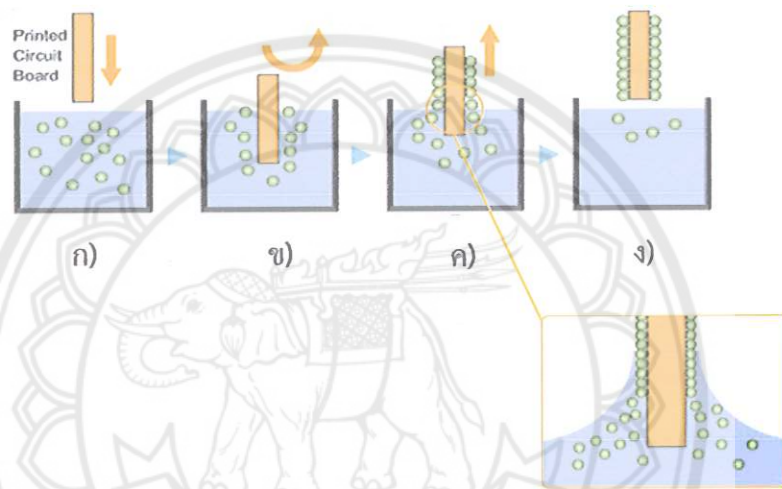
### 2.6.2 การเคลือบแบบเปียก (Wet Process)

เช่น เทคนิคแบบโชล-เจล โดยการเคลือบแบบจุ่มเคลือบ (Dip-coat) การเตรียมฟิล์ม

แต่ละวิธีจะได้คุณสมบัติที่มีความแตกต่างกัน การเคลือบแบบจุ่มเคลือบ (Dip-coat) เป็นเทคนิคที่มีราคาไม่สูง และกระบวนการเตรียมที่ง่ายเหมาะสำหรับการเตรียมฟิล์ม ดังนั้น การเลือกใช้วิธีการเตรียมฟิล์มบางนอกจากโครงสร้าง และสมบัติของฟิล์มบางที่ต้องการแล้ว ยังต้องคำนึงถึงประโยชน์ในการนำฟิล์มไปใช้งานอีกด้วย

ขั้นตอนนี้เริ่มจากการนำสารตั้งต้นมาละลายในสารละลายที่ต้องการ คนสารให้เป็นโซล และปล่อยให้สารทิ้งไว้ให้จับตัวเป็นเจล จะมีลักษณะเป็นของเหลวใส ๆ หนืด ๆ

กระบวนการจุ่มเคลือบ (Dip-coat) มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.4 ลำดับขั้นตอนกระบวนการจุ่มเคลือบ (Dip-coat) [16]

- ก) แสดงการเคลื่อนที่ลงของแผ่นกระจก
- ข) แสดงการเคลื่อนที่ขึ้นของกระจก
- ค) แสดงการจัดเรียงตัวของอนุภาคเมื่อเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่
- ง) แสดงการเคลื่อนที่ขึ้นพื้นสารละลาย

หลังจากเตรียมสารเป็นที่เรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานติดตั้งกับเครื่องจุ่มสารในแนวตั้งฉาก ทำการเดินเครื่องจุ่มลงตามหมายเลขที่ 1 จากนั้น จุ่มลงในสารที่ได้เตรียมไว้ดังหมายเลขที่ 2 รอให้ผิวของของเหลวที่จะกลายเป็นผิวเคลือบนิ่งหลังจากจุ่มชิ้นงานลง ดึงชิ้นงานขึ้นในอัตราเร็วที่คงที่ เพื่อที่จะได้ผิวของฟิล์มที่สม่ำเสมอตามหมายเลข 3 เมื่อนำชิ้นงานขึ้นงานพ้นสารแล้ว ผิวของกระจกจะมีเจลใส ๆ เคลือบอยู่ดังหมายเลขที่ 4 เป็นอันเสร็จกระบวนการจุ่มเคลือบ

### 2.6.3 ข้อดีของกระบวนการโซล-เจล

- 2.6.3.1 ทำให้เกิดพันธะบาง ๆ ระหว่างวัสดุฐานกับพันธะสารเคลือบ
- 2.6.3.2 สามารถเคลือบให้มีความหนา เพื่อป้องกันการกัดกร่อนได้



- 2.6.3.3 สามารถเคลือบได้ทั้งวัสดุที่มีรูปร่างง่าย ๆ และวัสดุที่มีรูปร่างซับซ้อน
- 2.6.3.4 ทำได้ง่าย ราคาถูก และเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง
- 2.6.3.5 เตรียมได้ด้วยอุณหภูมิต่ำ ความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความบริสุทธิ์สูง

## 2.7 รังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือ รังสียูวี (Ultraviolet) หรือ ในชื่อภาษาไทยเรียกว่ารังสีเหนือม่วง รังสียูวีมีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงที่จะมองเห็น รังสียูวีมีความยาวคลื่นในช่วง 400-10 นาโนเมตร และมีพลังงานในช่วง 3 ถึง 124 อิเล็กตรอนโวลต์ ที่ได้ชื่อว่ารังสีเหนือม่วง เพราะเนื่องจากสเปกตรัมของมันประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่า คลื่นที่มนุษย์มองเห็นเป็นสีม่วง

### 2.7.1 ชนิดย่อยของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีเหนือม่วง สามารถแบ่งย่อยได้หลายวิธีตามมาตรฐาน ISO ที่กำหนดชนิดแสงเปล่งของดวงอาทิตย์ (ISO-DIS-21348) [17] ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 ชนิดของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ของแสงเหนือม่วงมาตรฐาน ISO ที่กำหนดชนิดแสงเปล่งของดวงอาทิตย์ (ISO-DIS-21348) [18]

ชื่อ	ตัวย่อ	ช่วงความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	พลังงานต่อโฟตอน (อิเล็กตรอนโวลต์)
อัลตราไวโอเล็ตเอ คลื่นยาว หรือแบล็คไลต์	UVA	400-315	3.10-3.94
ใกล้	NUV	400-300	3.10-4.13
อัลตราไวโอเล็ตบี หรือ คลื่นกลาง	UVB	315-280	3.94-4.43
กลาง	MUV	300-200	4.13-6.20
อัลตราไวโอเล็ตซี คลื่นสั้น หรือ Germicidal	UVC	280-100	4.43-12.4
ไกล	FUV	200-122	6.20-10.2
สุญญากาศ	VUV	200-10	6.20-124
ไกลยิ่ง	EUV	121-10	10.2-124



## 2.7.2 ผลกระทบของการได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต

### 2.7.2.1 ผลกระทบต่อมนุษย์

รังสีอัลตราไวโอเล็ต มีทั้งคุณและโทษต่อสุขภาพมนุษย์ คุณประโยชน์ของรังสีอัลตราไวโอเล็ต คือ ช่วยสังเคราะห์วิตามิน D ที่ผิวหนังมนุษย์และสัตว์ที่มีส่วนสำคัญในการสร้างเสริมเนื้อเยื่อกระดูก ส่วนผลกระทบที่เป็นโทษของรังสีอัลตราไวโอเล็ต คือ ผิวหนังเกรียม กระจกตาอักเสบ (Snow Blindness) ต้อกระจก ผิวหนังเหี่ยวย่น และมะเร็งผิวหนัง เราสามารถแบ่งผลกระทบออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

#### ก. ผลกระทบต่อดวงตา

ตาของมนุษย์ไม่เพียงแต่ได้รับแสงที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์โดยตรงเท่านั้น แต่ยังได้รับแสงจากการตกกระทบภายใต้มุมที่เฉียงมาก ๆ อีกด้วย ดังนั้น หากตาได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันก็จะเป็นอันตรายต่อดวงตา โดยผลกระทบระยะสั้นที่เกิดขึ้นคือ กระจกตาอักเสบ และผลกระทบระยะยาว เช่น ต้อเนื้อ ต้อลมหรือ ต้อกระจก

#### ข. การยับยั้งภูมิคุ้มกันร่างกาย

ระบบภูมิคุ้มกัน ทำหน้าที่ป้องกันร่างกายไม่ให้เกิดโรคติดต่อ และมะเร็งบางชนิด โดยมีกลไกสำคัญ 2 ข้อ คือ

ข.1 Antibody สามารถแก๊พิษ ทำลายจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ และกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาสู่ร่างกาย

ข.2 Lymphocyte เป็นสื่อที่นำไปสู่การผลิต Cytokines ซึ่งกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ของระบบเม็ดเลือดขาวเพื่อทำลายเชื้อโรค ไวรัส และเซลล์มะเร็งบางชนิด

รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถเปลี่ยนแปลงระบบภูมิคุ้มกันบริเวณตำแหน่งที่ได้รับรังสี โดยยับยั้งภูมิคุ้มกัน และมีบทบาทในการก่อให้เกิดโรคมะเร็งทั้งชนิด Melanoma และ Non-melanoma โรคติดเชื้อ Autoimmunity และภูมิแพ้

#### ค. การติดเชื้อ

รังสีอัลตราไวโอเล็ต มีผลกระทบต่อเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย โดยการเปลี่ยนแปลงกลไกการป้องกันการติดเชื้อ หรือโดยการกระตุ้นการติดเชื้อโดยตรง เช่น การติดเชื้อจากปรสิต เนื่องจาก UV-B อันเนื่องมาจากการถูกยับยั้งภูมิคุ้มกันร่างกาย

### 2.7.2.2 ผลกระทบต่อพืช

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อพืช เช่น ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำลาย ดีเอ็นเอและเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในพืช ทำให้ลักษณะทางกายภาพ และชบวนการเจริญเติบโตของพืช เปลี่ยนแปลงไป นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพ และผลิตผลลดลง ถึงแม้ว่าจะมีกลไกที่ลดหรือซ่อมแซม และความสามารถในการปรับตัวต่อการเพิ่มระดับของ UV ที่จำกัด ทำให้การเจริญเติบโตของพืชได้รับผลกระทบโดยตรงจากรังสี UV-B

การเปลี่ยนแปลงทางอ้อมที่เกิดจาก UV-B (เช่น การเปลี่ยนรูปร่างของพืช) อาจสำคัญเท่า ๆ กัน หรือบางครั้งก็มากกว่าผลกระทบในการทำลายของ UV-B การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสำคัญต่อพืชที่มีการแข่งขันกันอย่างสมดุล สัตว์ที่กินพืช โรคพืช และวัฏจักร ไบโอจีโอเคมีคอล

### 2.7.2.3 ผลกระทบต่อวัสดุสิ่งก่อสร้าง

พอลิเมอร์ สังกะราษท์ ไบโอฟอลิเมอร์ และวัตถุบางอย่างที่มีประโยชน์ทางพาณิชย์ถูกกระทบโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มาจากแสงอาทิตย์

รังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้วัสดุต่าง ๆ มีสีซีดลง เนื่องจากปฏิกิริยาแสงทำให้วัสดุเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีไป ไม้ และกระดาษจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองซีด เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ปัจจุบันนี้วัสดุจะถูกออกแบบให้ป้องกันรังสี UV ได้โดยการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของระดับ UV จะทำให้เกิดการเปราะพังของวัสดุเร็วขึ้น [19]

## 2.8 เทคนิคการตรวจวัดฟิล์มบาง

### 2.8.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

XRD ย่อมาจากคำว่า X-ray Diffraction มีชื่อภาษาไทยว่า “เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน” เครื่องมือชนิดนี้อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อรังสีตกกระทบวัตถุเกิดการหักเหของรังสี และสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาค เท่ากับมุมของรังสีที่ตกกระทบ จากหลักการเบื้องต้นในปี ค.ศ. 1912 นายแบรกก์ (W. H. Bragg) ได้นำมาทำการศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึก ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันขึ้นในปี 1948 และพัฒนามาเรื่อยจนกระทั่งมีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงาน และวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อให้เกิดความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบ และแร่ ทำให้นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้สามารถแยกแยะประเภท และชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติ ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ และนำมาเปรียบเทียบข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัด โดยองค์กร JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิดมีรูปแบบโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับขนาด และประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ (XRD Pattern) เฉพาะตัวเปรียบเทียบ เช่นเดียวกับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน

กฎของแบรกก์อาศัยหลักการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า การแทรกสอดของคลื่นรังสีเอกซ์ (Roentgenstrahl Interferenzen) แต่นิยมเรียกว่า การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ X-ray Diffraction



ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญของนักฟิสิกส์ เพื่อใช้อธิบายโครงสร้างของผลึกภายในตารางธาตุ ซึ่งแต่ก่อนไม่มีนักวิทยาศาสตร์ที่เข้าใจโครงสร้างของผลึกได้ แต่คาดการณ์โดยใช้การทดลองง่าย ๆ และไม่สามารถที่จะเห็นโครงสร้างผลึกออกมาได้ด้วยตาของตนเอง หลังจากที่แบรกก์เปิดโลกของอะตอมออกมา ตารางธาตุจึงได้รับการปรับปรุง และใช้กันอย่างแพร่หลายมาจนทุกวันนี้ อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ท่านอื่น ๆ ได้พัฒนาวิธีที่ละเอียดและเหมาะสมกับขนาดของโครงสร้างผลึกนั้น ๆ ขึ้น โดยใช้คลื่นรูปแบบอื่น เช่น รังสี อีออน อิเล็กตรอน นิวตรอน และโปรตอน เป็นต้น

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2.1)$$

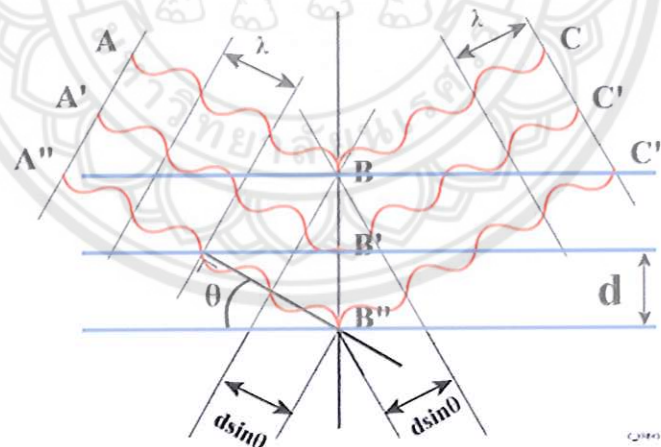
โดยที่  $d$  คือ ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก

$\theta$  คือ มุมตกกระทบที่รังสีเอกซ์ทำกับระนาบของผลึก

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

$n$  คือ เลขจำนวนเต็ม

แสดงให้เห็นว่าถ้ารังสีเอกซ์ตกกระทบมีความยาวคลื่นคงที่แล้วมุมของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะเกิดขึ้นกับระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก ดังรูปที่ 2.6 [20]



รูปที่ 2.5 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อตกกระทบระนาบของผลึก [21]

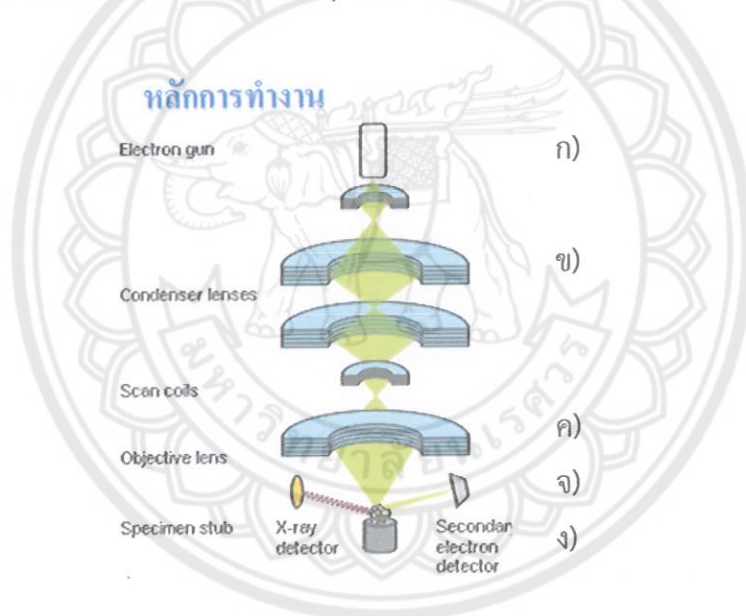
### 2.8.2 การวิเคราะห์ฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดคือ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสีฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ที่มีความยาวคลื่นที่ยาว ทำให้ลักษณะสีฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา มีกำลังความสามารถในการแยกชัดเจน กล้องจุลทรรศน์แบบแสง



ธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้ตัววัดขนาดเล็ที่สุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร ซึ่งให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า จึงไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง เนื่องจากมีความยาวคลื่นที่สั้นเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 10000 เท่า สามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพซึ่ง ขึ้นกับลักษณะของตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร

หลักการทํางาน และส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ส่วนประกอบแสดงในรูปที่ 3 ส่วนบนสุดเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ที่มีสภาพสุญญากาศ มีความต่างศักย์แรงอยู่ที่ 0-30 กิโลโวลต์ โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Lens) 2 ชุด และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยแอฟเพอร์เจอร์ (Aperture) หรือช่องเปิดซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน [22-23]



รูปที่ 2.6 การทํางานของ SEM

- ก) Electron Gun ทำหน้าที่ผลิตกลุ่มอิเล็กตรอน
- ข) กลุ่มอิเล็กตรอนผ่าน Condenser Lenses กลายเป็นลำอิเล็กตรอน
- ค) ลำอิเล็กตรอนจะผ่าน Objective Lens
- ง) ลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนพื้นผิวของชิ้นงาน Secondary Electron
- จ) สัญญาณจาก Secondary Electron ถูกแปลงไปเป็นสัญญาณปรากฏภาพบนจอร์รับภาพ (CRT) [24]

เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรกๆ เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser Lens) นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุด ต่อการควบคุมอิเล็กตรอน (Electron Optics) เพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอน ที่วิ่งมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำอิเล็กตรอนที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective Lens) ซึ่งเป็นเลนส์สุดท้ายจะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (Scan Coil) ทำหน้าที่ส่องผ่านลำอิเล็กตรอนไปบนผิวของตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่เล็ก ซึ่งบริเวณที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนจะเกิดสัญญาณ (Signal) ต่าง ๆ ขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (Detector) ชนิดต่าง ๆ แล้วส่งไปประมวลผลเป็นภาพแสดงบนจอสัญญาณที่เกิดขึ้นได้แก่

2.8.2.1 อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electrons; SE) สัญญาณนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เป็นสัญญาณที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างภาพมากที่สุด ภาพที่ได้เรียกว่า ภาพอิเล็กตรอนทุติยภูมิ

2.8.2.2 อิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Back Scattered Electron; BSE) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีบนผิวของตัวอย่าง และแสดงให้เห็นลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิว

### 2.8.3 การวิเคราะห์การส่องผ่านแสงของฟิล์มด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

#### 2.8.3.1 หลักการของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง [23]

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสง และค่าความหนาแน่นของพลังงานในช่วงรังสียูวี และช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่าน หรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสาร เมื่อโมเลกุลของตัวอย่าง ถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสม จะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสง แล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่าน หรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิด ที่มีความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของเบียร์ และแลมเบิร์ต ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิด และปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้



### 2.8.3.2 รูปแบบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง [25]

รูปแบบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงสามารถแบ่ง ได้ 3 แบบ คือ

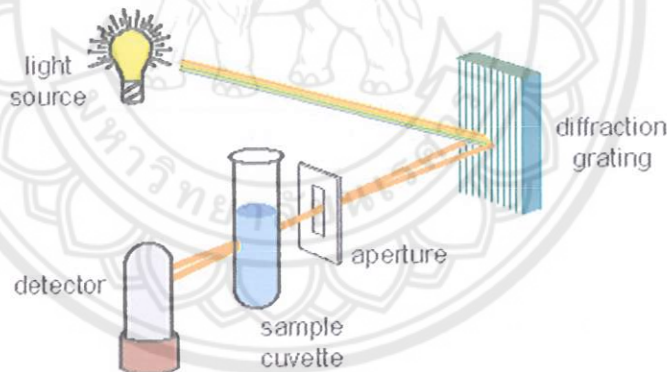
#### ก. สเปกโตรมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว (Single Beam Spectrophotometer)

หลักการของสเปกโตรมิเตอร์แบบลำแสงเดียวนั้น เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสงแล้ว จะผ่านโมโนโครเมเตอร์ที่เป็นเกรตติง และสารตัวอย่างตามลำดับ แล้วจึงเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณตลอดเส้นทางของลำแสงนี้ มีลำแสงเดียวจึง เรียก สเปกโตรมิเตอร์ประเภทนี้ว่าแบบลำแสงเดี่ยว เนื่องจากสเปกโตรมิเตอร์ประเภทนี้ ใช้ลำแสงเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัด และเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณเลย ดังนั้นการวัดจึงต้องวัด 2 ครั้งดังนี้

ก.1 ครั้งแรกเซลล์บรรจุเบลงค์ (Blank) ซึ่งเป็นตัวทำละลายของตัวอย่างที่เราต้องการวัด เมื่อลำแสงผ่านเซลล์ปรับเครื่องให้อยู่ในตำแหน่ง “ศูนย์” (Set Zero)

ก.2 ส่วนครั้งที่สองบรรจุสารละลายที่ต้องการวัด (Sample) แล้วจึงให้ลำแสงผ่านเซลล์ ความแตกต่างระหว่างการดูดกลืนแสงของทั้ง 2 ครั้ง จะปรากฏบนหน้าปัดมิเตอร์ จากนั้นก็สามารถวัด ตัวอย่างที่ความเข้มข้นอื่น ๆ ต่อไปได้เลยโดยไม่ต้องกลับไปวัดเบลงค์อีก

ก.3 การเปลี่ยนความยาวคลื่นจะต้องวัดเบลงค์ใหม่ทุกครั้ง

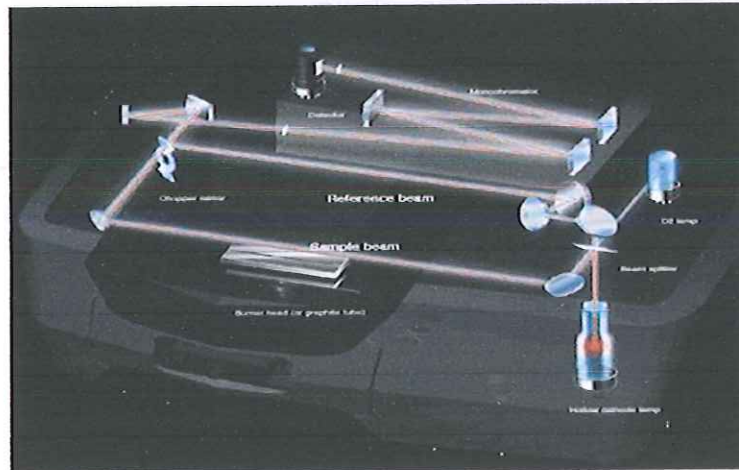


รูปที่ 2.7 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว [25]

#### ข. สเปกโตรมิเตอร์แบบลำแสงคู่ (Double Beam Spectrophotometer)

สำหรับสเปกโตรมิเตอร์แบบลำแสงคู่ เมื่อลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงออกจากช่องแสงออก (Exit Slit) แล้วลำแสงจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำแสง (Beam Chopper) ซึ่งจะทำหน้าที่สะท้อนลำแสงไปผ่านสารตัวอย่าง ต่อมาจะสะท้อนลำแสงผ่านสารอ้างอิง (Reference) ซึ่งก็คือเบลงค์นั่นเอง โดยลำแสงทั้งสองจะมีความเข้มแสงเท่ากัน ก่อนที่จะผ่านสารตัวอย่างไปตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ ความแตกต่างของความเข้มแสงหลังจากผ่านสารตัวอย่าง จะกลายเป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

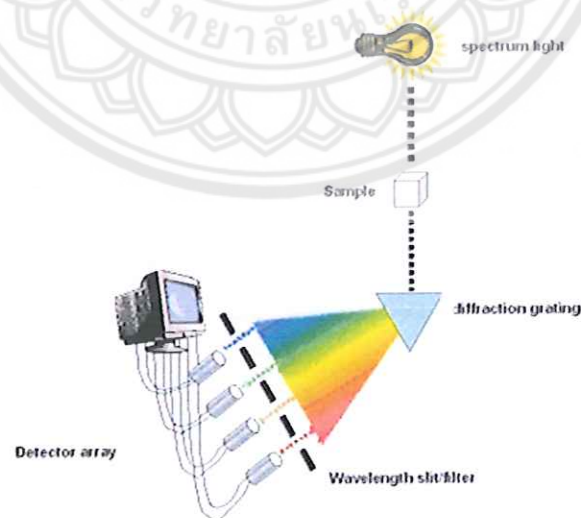




รูปที่ 2.8 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ [26]

ค. สเปกโตรมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ  
(Spectrophotometer แบบ Diode Array Detector)

ตัวตรวจจับไดโอดอาร์เรย์เป็นการตรวจจับสัญญาณ โดยวัดการดูดกลืนของแสง เช่นเดียวกับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทั่วไป เพียงแต่การเก็บข้อมูลมิใช่การเก็บเพียง 1 หรือ 2 ความยาวคลื่นเท่านั้น แต่สามารถเก็บข้อมูลได้เป็นช่วงของความยาวคลื่น ที่ผู้วิเคราะห์สามารถเลือกได้ โดยใช้เวลานิดเดียว เนื่องจากสามารถวัดทุกความยาวคลื่นได้ในเวลาเดียวกัน เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลที่เป็นสเปกตรัม หรือ ต้องการติดตามการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนของสารที่หลายความยาวคลื่น



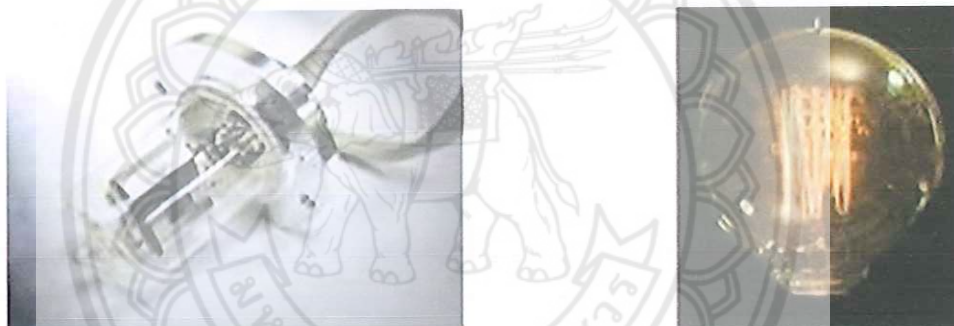
รูปที่ 2.9 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ [25]

### 2.8.3.3 ส่วนประกอบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง [27]

ส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงมีอยู่ 4 ส่วนด้วยกันดังนี้คือ

#### ก. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่อง และคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอสำหรับความยาวคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเล็ต จะใช้หลอดดิวเทอเรียม (Deuterium Lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งให้แสงในช่วง 185-375 นาโนเมตร หลักการคือ ทำให้อะตอมดิวเทอเรียมที่อยู่ในสภาวะเร้าคายพลังงานออกมา ส่วนหลอดทังสเตน (Tungsten Filament Lamp) จะให้ความยาวคลื่นครอบคลุมช่วงแสงที่มองเห็นได้คือตั้งแต่ 320-2500 นาโนเมตร หลักการจะคล้ายกับหลอดไฟทังสเตนธรรมดา คือ ให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปจนกระทั่งหลอดทังสเตนร้อน และเปล่งรังสีออกมา โดยปกติจะเปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อนใช้งานประมาณ 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าหลอดดิวเทอเรียมหรือหลอดทังสเตนให้แสงที่มีความเข้มสม่ำเสมอ



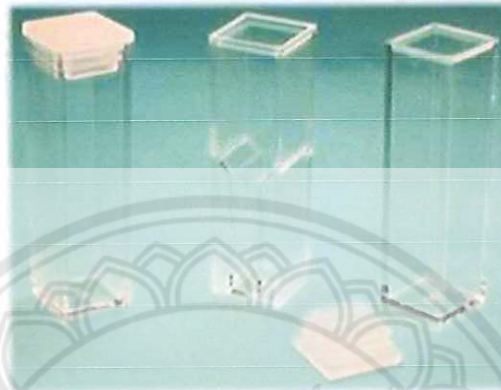
รูปที่ 2.10 รูปหลอดไฟที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง  
 ก) หลอดดิวเทอเรียม  
 ข) หลอดทังสเตน [27]

#### ข. ส่วนเลือกความยาวคลื่น (Wavelength Selector)

เป็นส่วนที่ใช้แยกความยาวคลื่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นแสงที่มีหลาย ๆ ความยาวคลื่นเป็นแถบแสงในช่วงแคบ ๆ หรือเป็นความยาวคลื่นเดี่ยว แสงจากแหล่งกำเนิดแสง จะตกกระทบลงบนผิวหน้าแล้วสะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ เฉพาะความยาวคลื่นที่เราเลือกเท่านั้น จึงจะผ่านช่องแสงออก (Exit Slit) ไปสู่สารตัวอย่าง

### ค. ภาชนะใส่สาร (Cell หรือ Cuvette)

ภาชนะใส่สารตัวอย่างสำหรับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะ เรียกว่า เซลล์ หรือ คิวเวทท์ (Cuvette) ซึ่งมีหลายแบบด้วยกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน หลักสำคัญในการเลือกใช้คือ การวัดในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต จะต้องใช้เซลล์ที่ทำจากควอตซ์ (Quartz) เท่านั้นเนื่องจากแก้วสามารถดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตได้ ส่วนเซลล์ที่ทำจากแก้วจะใช้วัดในช่วงแสงที่มองเห็นได้



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างภาชนะใส่สารแบบต่าง ๆ [27]

นอกจากนี้การวิเคราะห์ที่ใช้สเปกโตรโฟโตเมทริกดิเทคชัน ถ้างานวิเคราะห์นั้นมีความไวต่ำ (Sensitivity) เราสามารถเพิ่มความไวให้สูงขึ้นได้ง่าย ๆ โดยใช้เซลล์ที่มีความกว้างมากขึ้น เพราะจากกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ค่าการดูดกลืนแสงของสารยังขึ้นกับความหนาของตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านดังสมการ

$$A = \epsilon cl \quad (2.2)$$

เมื่อ  $A$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (Absorbance)

$\epsilon$  = เป็นสมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวค่าหนึ่ง เรียกว่า โมลาร์ แอบซอบติวิตี (ลิตร โมล<sup>-1</sup> เซนติเมตร<sup>-1</sup>)

$l$  = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง หรือ ความกว้างของเซลล์นั่นเอง (เซนติเมตร)

$c$  = ความเข้มข้นเป็น โมลต่อลิตร หรือโมลาร์ (M)



ซึ่งเซลล์ที่ใช้ในงานทั่วไปมีความกว้างตั้งแต่ 1 ถึง 10 เซนติเมตร หรือถ้าสารมีราคาแพง และปริมาณน้อยก็จะมีเซลล์ขนาดเล็ก ที่ปริมาตรต่ำกว่า 1 มิลลิลิตร ส่วนการทำ ความสะอาดเซลล์ เพียงกลั้วด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ตามด้วยน้ำกลั่นก็เพียงพอ ห้ามขัดถูเพราะ จะทำให้เซลล์มีรอยขีดข่วน

### ง. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector)

เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีความไวสูง คือปริมาณแสงจะ เปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ ปัจจุบันเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ส่วนใหญ่ นิยมใช้ตัวตรวจจับสัญญาณ 2 ชนิดคือ

#### ง.1 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube; PMT)

หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ ประกอบไปด้วยแคโทด (Cathode) ที่ ฉาบผิวด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ เมื่อถูกแสงจำนวน 9 ชุด เรียกว่า ไดโนด (Dynode) แต่ละ ไดโนดจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อแสงตกกระทบกับไดโนดตัวที่หนึ่ง สารที่ฉาบผิวจะเกิด อิเล็กตรอนขึ้น แล้ววิ่งไปกระทบไดโนดที่สอง สาม และสี่ จนครบทั้งเก้าตัว ดังนั้นปริมาณอิเล็กตรอน จะเพิ่มขึ้น 106 ถึง 107 เท่า แล้วจึงชนแอโนดให้กระแสไฟฟ้าออกมาเข้าเครื่องขยายสัญญาณต่อไป



ก)



ข)

รูปที่ 2.12 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ [27]

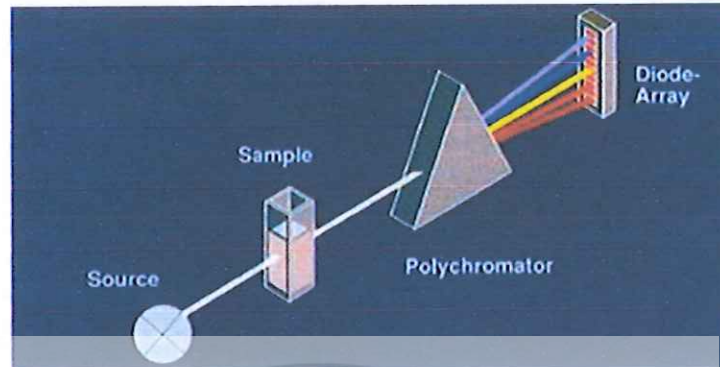
ก) ภาพตัดขวางของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

ข) ลักษณะหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ในสเปกโตรโฟโต- มิเตอร์

#### ง.2 โฟโตไดโอดอาร์เรย์ (Photo Diode Arrays: PDA)

ตัวตรวจจับสัญญาณชนิดนี้ สามารถจับสัญญาณได้ครอบคลุมทั้ง สเปกตรัม โดยใช้ไดโอดมาเรียงต่อกันเป็นแถว ซึ่งสามารถวัดครอบคลุมสเปกตรัมได้ตั้งแต่ 200 ถึง 1100 นาโนเมตร ตัวตรวจจับสัญญาณนี้ ประกอบไปด้วยโฟโตไดโอดและตัวเก็บประจุ (Capacitor) ประมาณ 200-4000 ตัว เรียงต่อกันเป็นแถว เริ่มต้นด้วยการให้ประจุผ่านผิวหน้าไดโอด ซึ่งไดโอดก็จะ เก็บประจุไว้ที่ตัวเก็บประจุ เมื่อแสงตกกระทบลงบนไดโอดจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้า ไปทำลายประจุที่ เก็บไว้ ทำให้ต้องใส่ประจุเพิ่มเข้าไปใหม่ ซึ่งเป็นช่วงของการสแกนแต่ละครั้งนั่นเอง ปริมาณของประจุ

ที่ต้องใส่เข้าไปใหม่จะเป็นปฏิภาคโดยตรง กับความเข้มแสงที่วัดได้ของแต่ละไดโอด ดังนั้นจากการวัดปริมาณแสงที่แตกต่างกันตลอดช่วงความยาวคลื่น จะได้เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนของสารนั้นออกมา



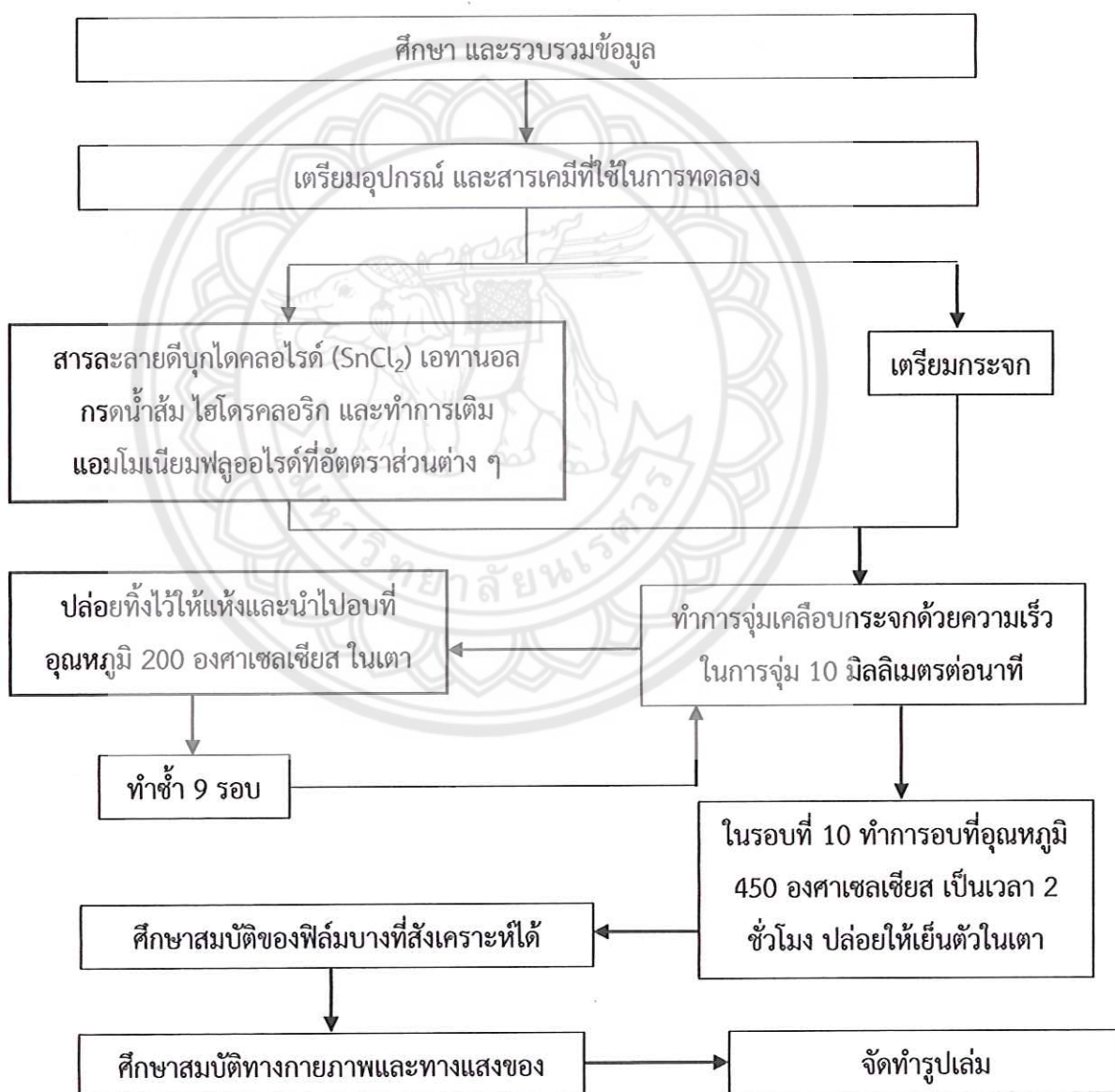
รูปที่ 2.13 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีไดโอดอาร์เรย์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ [27]



### บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ ขั้นตอนเตรียมสาร และขั้นตอนการทดลอง ของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนเทียบกับที่ไม่เจือด้วยฟลูออรีน

#### 3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



## 3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

### 3.2.1 สารเคมี

- 3.2.1.1 ผงดีบุกไดคลอไรด์ ( $\text{SnCl}_2$ )
- 3.2.1.2 เอทานอล ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )
- 3.2.1.3 กรดน้ำส้ม ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ )
- 3.2.1.4 แอมโมเนียมฟลูออไรด์ ( $\text{NH}_4\text{F}$ )
- 3.2.1.5 กรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ )

### 3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.2.1 เตาอบ (Furnace)
- 3.2.2.2 เครื่องชั่งสาร
- 3.2.2.3 เครื่องคนสารแบบใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Stirrers)
- 3.2.2.4 เครื่องสำหรับจุ่มเคลือบ
- 3.2.2.5 กระจกขนาด 1x3 ตารางนิ้ว
- 3.2.2.6 แม่เหล็กสำหรับคนสาร (Magnetic Bar Plain)
- 3.2.2.7 กระจกบอทวงสาร
- 3.2.2.8 ช้อนตักสาร
- 3.2.2.9 ปีกเกอร์
- 3.2.2.10 แท่งแก้วคนสาร
- 3.2.2.11 สติ๊กเกอร์
- 3.2.2.12 เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Ultrasonic Cleaner)

### 3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

- 3.2.3.1 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD)
- 3.2.3.2 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer; UV-VIS)
- 3.2.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

### 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ ( $\text{SnO}_2$ ) วิเคราะห์ และรวบรวมข้อมูลของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์

#### 3.3.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดกระจก

นำกระจกใสไปแช่กระจกไว้ในน้ำที่อยู่ในเครื่องล้างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที

#### 3.3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ดีบุกออกไซด์

3.3.3.1 ใช้ผงดีบุกไดคลอไรด์ ( $\text{SnCl}_2$ ) 4.513 กรัม เอทานอล 78.487 มิลลิลิตร กรดน้ำส้ม 15 มิลลิลิตร และไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตร มาผสมกันในบีกเกอร์

3.3.3.2 คนสารละลายที่เตรียมไว้ให้เข้ากันด้วยแม่เหล็กสำหรับคนสาร (Magnetic Bar Plain) สำหรับคนสาร โดยวางไว้บนเครื่องคนสารแบบใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) โดยใช้โหมคนคนสาร ใช้เวลาในการคนสารประมาณ 30 นาที

3.3.3.3 เมื่อเสร็จแล้วทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 3.3.2.1 ถึง ขั้นตอน 3.3.2.2 โดยในการผสมสารใหม่แต่ละครั้ง จะทำการเติมสารแอมโมเนียมฟลูออไรด์ลงไปด้วย โดยทำการเติมเข้าไปเป็นร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของดีบุกไดคลอไรด์ เทียบกับที่ไม่ได้เติมสารแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ตามลำดับจนครบ

#### 3.3.4 ขั้นตอนการจุ่มเคลือบสาร (Dip Coat)

3.3.4.1 นำกระจกที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วมาติดสติ๊กเกอร์ไว้ด้านใดด้านหนึ่ง

3.3.4.2 นำกระจกที่ติดสติ๊กเกอร์แล้วหนีบกับเครื่องสำหรับจุ่มเคลือบ (Dip Coat)

3.3.4.3 นำสารที่เตรียมไว้ไปวาง ณ ตำแหน่งที่อยู่ตรงกับแนวที่ทำการจุ่ม

3.3.4.4 ตั้งค่าความเร็วที่จะทำการดึงกระจกขึ้นหลังจากจุ่มในสารที่เตรียมไว้แล้ว โดยตั้งค่าความเร็วในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วเริ่มทำการจุ่ม

3.3.4.5 เมื่อทำการจุ่มเคลือบกระจกเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำกระจกออกจากเครื่องจุ่มเคลือบ (Dip Coat) แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วลอกสติ๊กเกอร์ที่ติดออก

3.3.4.6 จากนั้นนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยให้หันด้านที่ไม่ได้ติดสติ๊กเกอร์ขึ้น

3.3.4.7 เมื่ออบเสร็จแล้วให้นำออกจากเตาแล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 3.3.4.1 ถึง 3.3.4.6 ตามลำดับ เป็นจำนวน 10 รอบ

3.3.4.8 ในรอบที่ 10 ให้ทำตามขั้นตอนที่ 3.3.4.1 ถึง 3.3.4.5 ตามลำดับ หลังจากนั้น นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ เท่ากับ 4 องศาเซลเซียสต่อนาที และปล่อยให้เย็นตัวในเตา

### 3.4 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้

3.4.1 ศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วย เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD)

3.4.2 ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ ที่เจือด้วยฟลูออรีนที่ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของดีบุกไดคลอไรด์ เทียบกับฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่ไม่เจือด้วยฟลูออรีน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

### 3.5 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้

ศึกษาสมบัติการส่องผ่านแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotomete; UV-VIS)





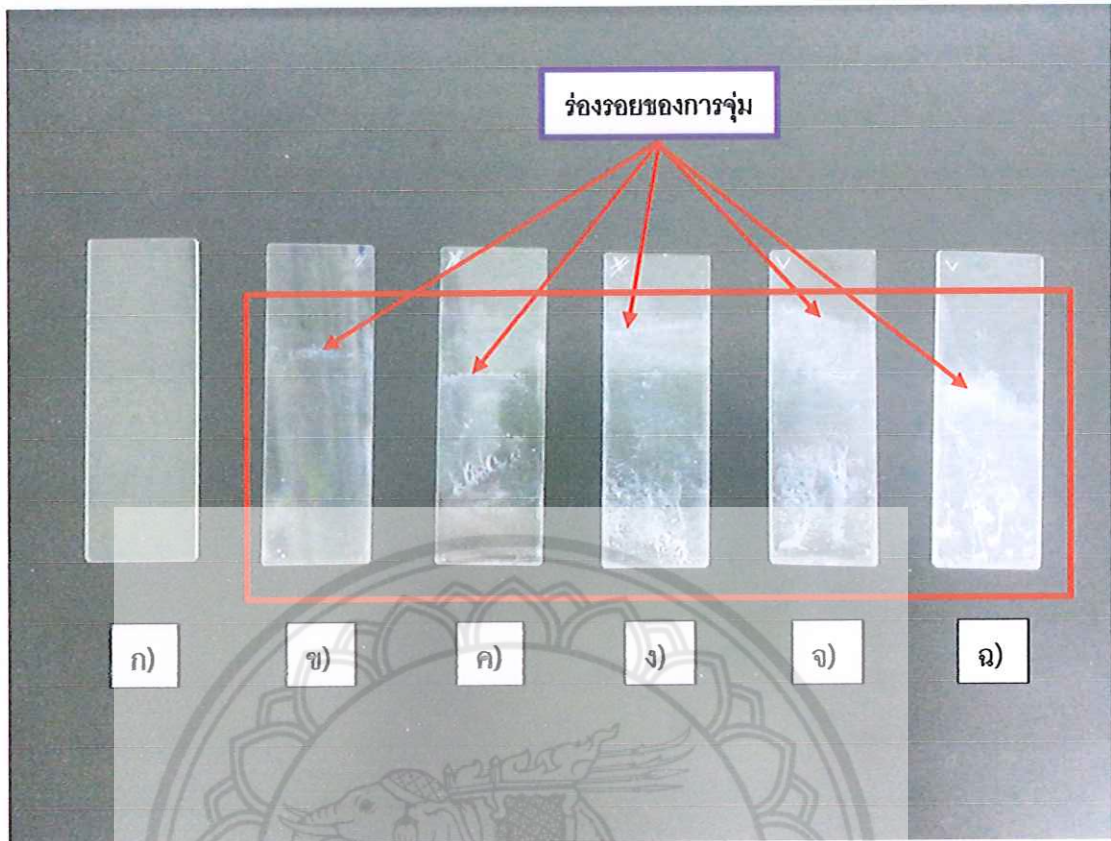
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ในบทนี้ จะนำเสนอถึงผลของการทดลองจากการตรวจสอบลักษณะของตัวอย่างกระจกดีบุก ออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีน ในสัดส่วนที่แตกต่างกันที่ได้ทำการสังเคราะห์โดยใช้อุณหภูมิที่ 450 องศาเซลเซียส โดยวิธีการจุ่มเคลือบ และศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางที่เจือด้วยฟลูออรีน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD) รวมถึงการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยการใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยใช้ อุปกรณ์เสริมของเครื่อง SEM เพื่อให้ได้ข้อมูลส่วนประกอบธาตุบนผิวหน้าของฟิล์มบาง ด้วยเครื่อง สเปกโตรสโคปแบบแยกกระจายพลังงาน (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy; EDS) และทำ การวิเคราะห์การส่องผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็น ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 300 ถึง 800 นาโนเมตรโดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) โดยใช้โหมดการ ส่องผ่านแสง

#### 4.1 การตรวจสอบลักษณะของตัวอย่างกระจกที่เคลือบด้วยดีบุกออกไซด์ เจือด้วย ฟลูออรีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

จากการใช้กระบวนการสังเคราะห์ โดยการจุ่มเคลือบ (Dip Coat) ด้วยสารละลายดีบุกไดคลอไรด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของดีบุก และไม่ได้เจือด้วย ฟลูออรีน มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 จากการวิเคราะห์กระจกสไลด์รูป ก) จะมีลักษณะที่แตกต่างจาก กระจกสไลด์ในรูป ข) ค) ง) จ) และฉ) ตามลำดับ โดยสังเกตได้จากการมีสารเคลือบติดอยู่ในรูปที่ ข) ถึง ฉ) ซึ่งมีผลต่อสมบัติกระจกที่ต่างกัน



รูปที่ 4.1 ความแตกต่างของลักษณะภายนอก

- ก) กระจกสไลด์ธรรมดา
- ข) กระจกที่จุ่มเคลือบด้วยดีบุกออกไซด์
- ค) กระจกที่จุ่มเคลือบด้วยดีบุกออกไซด์โดยเจือด้วยฟลูออรีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของดีบุก
- ง) กระจกที่จุ่มเคลือบด้วยดีบุกออกไซด์โดยเจือด้วยฟลูออรีน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของดีบุก
- จ) กระจกที่จุ่มเคลือบด้วยดีบุกออกไซด์โดยเจือด้วยฟลูออรีน ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของดีบุก
- ฉ) กระจกที่จุ่มเคลือบด้วยดีบุกออกไซด์โดยเจือด้วยฟลูออรีน ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของดีบุก

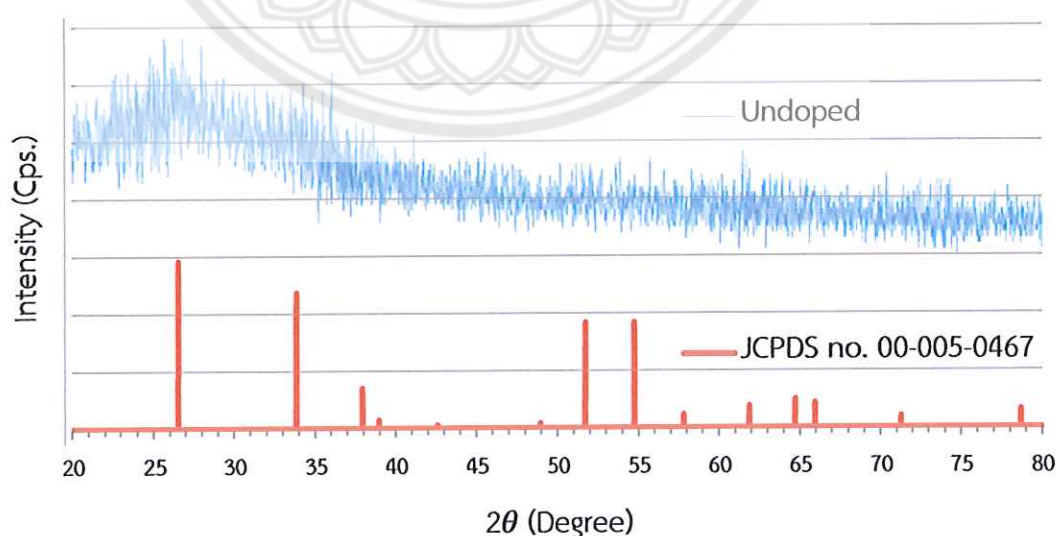


## 4.2 ผลจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้

จากตัวอย่างการสังเคราะห์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีน ในสัดส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของดีบุกที่เทียบกับฟิล์มบางที่ไม่เจือ โดยทำการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และศึกษาลักษณะของพื้นผิวฟิล์มบางที่ทำการสังเคราะห์ได้ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รวมถึงการได้ข้อมูลส่วนประกอบธาตุบนผิวของฟิล์มบาง ด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปแบบแยกกระจายพลังงาน และศึกษาผลกระทบของสมบัติทางแสงที่เปลี่ยนไป เมื่อเปลี่ยนปริมาณของสารเจือฟลูออรีนในฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ จากเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)

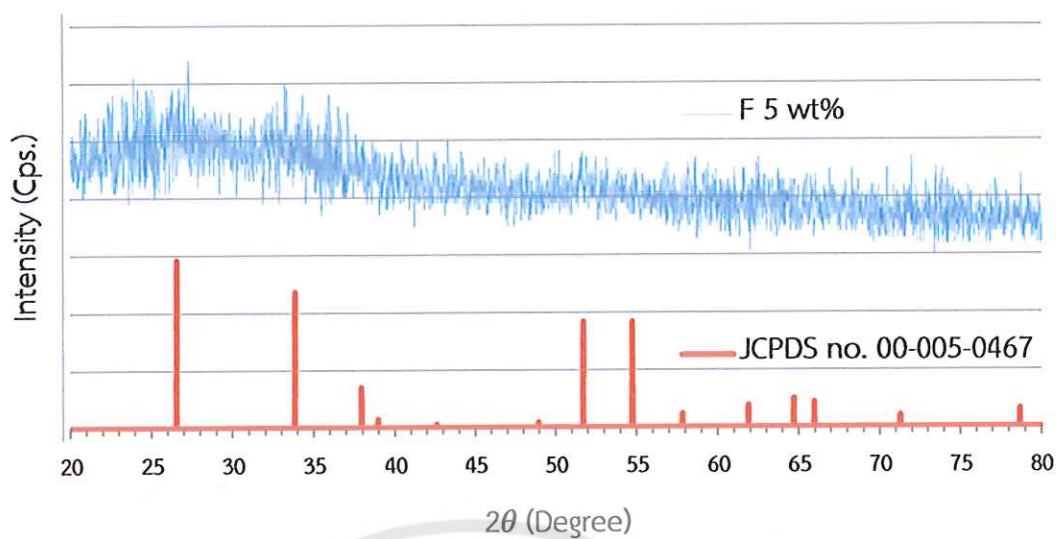
### 4.2.1 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้

จากผลการทดลองการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ผ่านฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ทั้งที่ไม่ได้ทำการเจือด้วยฟลูออรีน และที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนที่ต่างกัน ผลที่ได้นั้นแสดงดังในรูปที่ 4.2 ถึง 4.7 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ กับค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว เปรียบเทียบกับข้อมูลซึ่งสามารถยืนยันได้โดยการเทียบกับค่ามาตรฐานข้อมูลของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) โดยองค์กร JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) ซึ่งธาตุดีบุกออกไซด์จะมีรูปแบบเฉพาะ ตามกราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากองค์กร JCPDS เป็นสิ่งยืนยันว่าฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้เป็นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ แต่เนื่องจากฟิล์มบางที่ทำการสังเคราะห์ได้นั้นมีความไม่สม่ำเสมอจึงเมื่อนำมาเปรียบเทียบแล้วค่อนข้างที่จะไม่ชัดเจนนัก

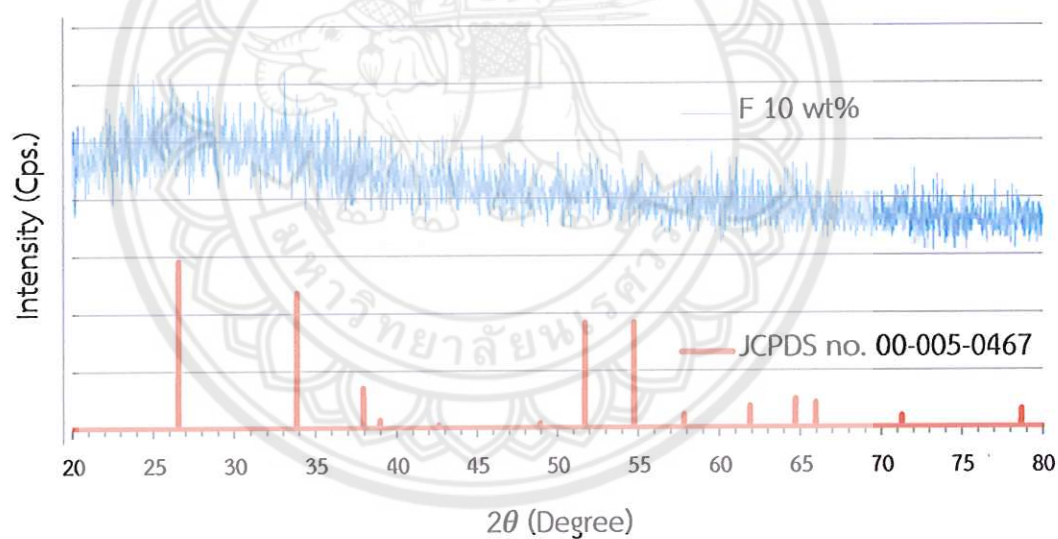


รูปที่ 4.2 กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของดีบุกออกไซด์ที่ไม่เจือฟลูออรีนเทียบกับกราฟมาตรฐานขององค์กร JCPDS

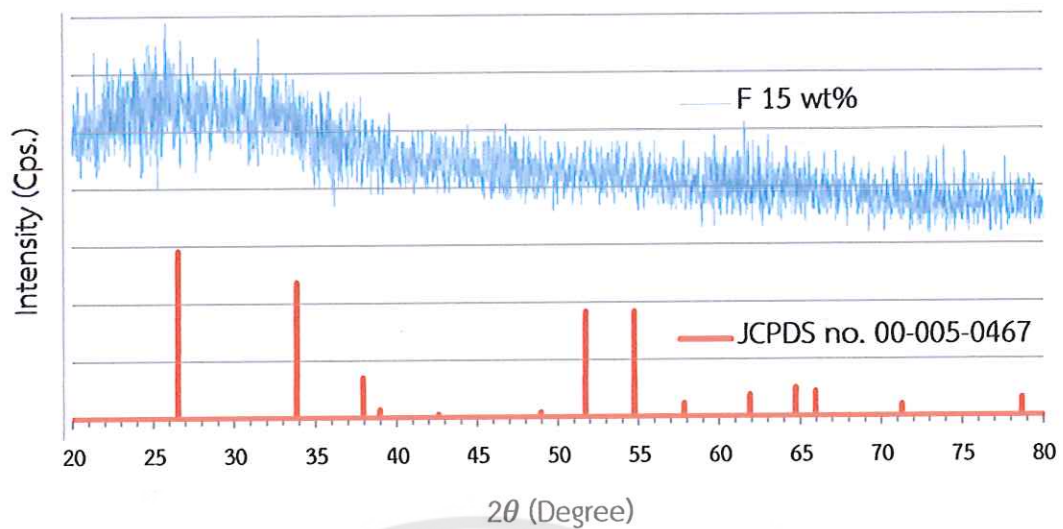




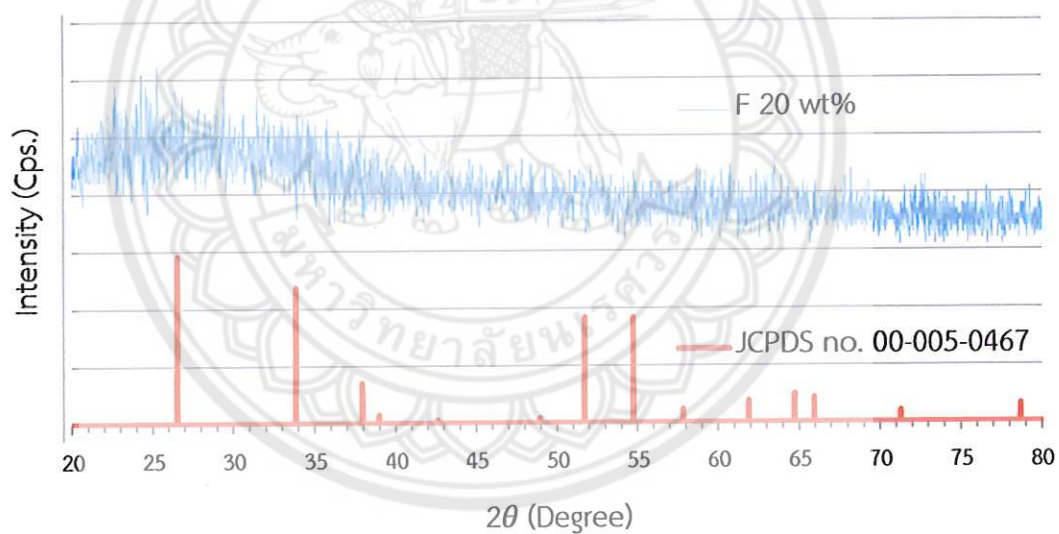
รูปที่ 4.3 กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดีบุกเทียบกับกราฟมาตรฐานขององค์กร JCPDS



รูปที่ 4.4 กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักดีบุกเทียบกับกราฟมาตรฐานขององค์กร JCPDS



รูปที่ 4.5 กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 15 โดยนำหน้าหักดิบเทียบกับกราฟมาตรฐานขององค์กร JCPDS



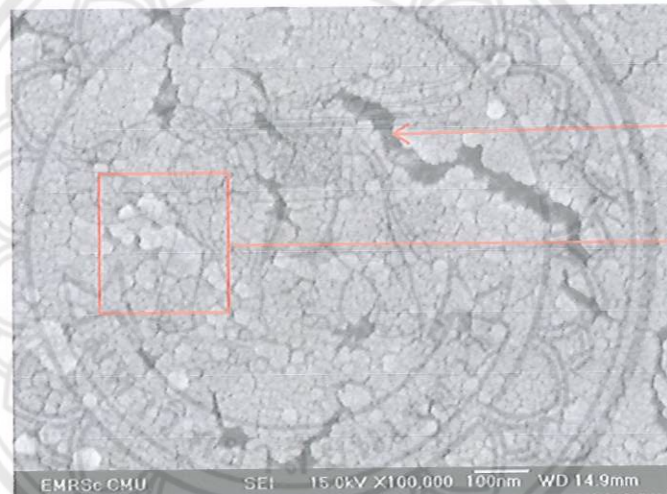
รูปที่ 4.6 กราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray Diffraction ของดีบุกออกไซด์ที่เจือฟลูออรีนร้อยละ 20 โดยนำหน้าหักดิบเทียบกับกราฟมาตรฐานขององค์กร JCPDS

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1 ถึง 4.6 ผลที่ได้นั้นสามารถบอกได้ว่าฟิล์มบางที่ได้น่าจะเป็น ดีบุกออกไซด์ ที่มีระบบผลึกแบบเตตระโกนอล (Tetragonal) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการเทียบกับค่าฐานข้อมูลของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) กับพีคที่ได้จากการตรวจสอบจากการตรวจสอบเห็นได้ว่าพีคที่ได้ตรงกันกับดีบุกออกไซด์ที่เป็นเฟสเตตระโกนอล ที่แสดงดังภาพผนวก ข

#### 4.2.2 ผลการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนเทียบกับฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่ไม่ได้เจือด้วยฟลูออรีน

ผลจากการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา และข้อมูลรายละเอียดจากภาพโดยเครื่องสเปกโตรสโคปแบบแยกกระจายพลังงาน (EDS) ของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) นั้นสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และการวัดความสามารถในการส่องผ่านแสงของ UV-VIS โดยขนาดของเกรนนั้นมีขนาดเล็กอยู่ในระดับนาโน ดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.11

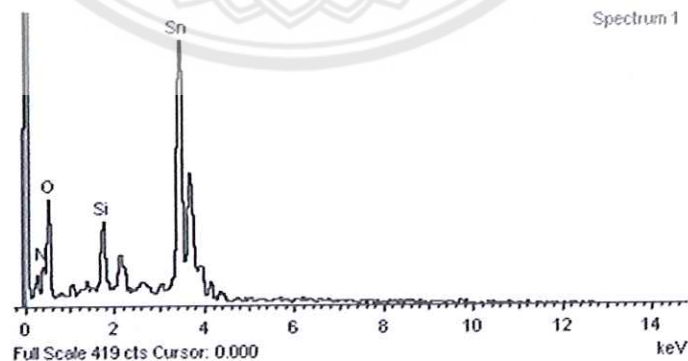
ในรูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่ไม่ได้ทำการเจือ สังเกตเห็นรอยแตกยาว 550 นาโนเมตรสามารถสังเกตได้จากรูป และพบบริเวณพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอประมาณ 100 นาโนเมตร จากผลของ EDS พบธาตุดีบุก และออกซิเจน ที่มาจากสารละลายดีบุกออกไซด์ และยังพบธาตุซิลิคอน ที่มาจากกระจก



รอยแตก

บริเวณที่พื้นผิว  
ไม่สม่ำเสมอ

ก)



ข)

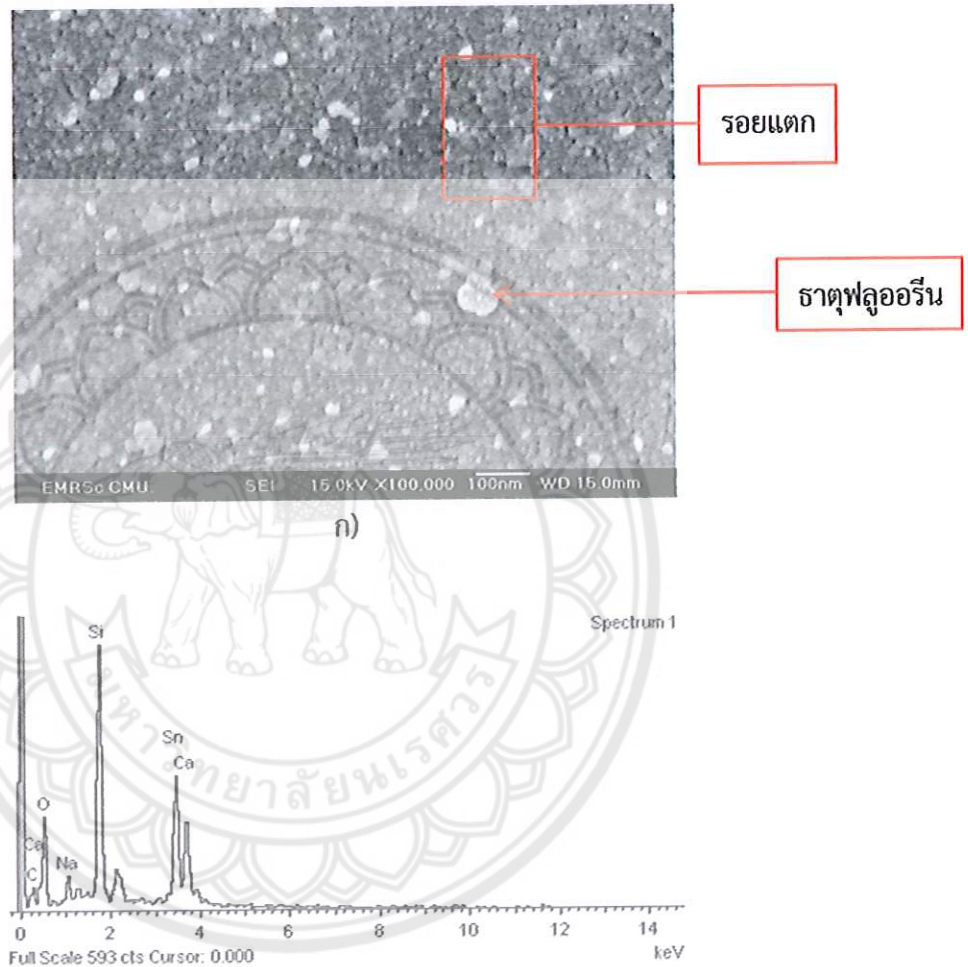
รูปที่ 4.7 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่ได้จากเครื่อง SEM และผล EDS

ก) โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ ได้จากเครื่อง SEM

ข) ผลของเครื่อง EDS แสดงองค์ประกอบธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบางดีบุกออกไซด์



ในรูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และยังพบจุดสีขาวที่คาดว่าจะเป็นธาตุฟลูออรีนมีขนาด 30 นาโนเมตร และผลจาก EDS มีธาตุซิลิคอน และโซเดียมที่มาจากกระจกสไลด์ พบธาตุดีบุก และออกซิเจน ที่มาจากสารละลาย ส่วนธาตุแคลเซียม และคาร์บอน คาดว่าเป็นสิ่งเจือปน



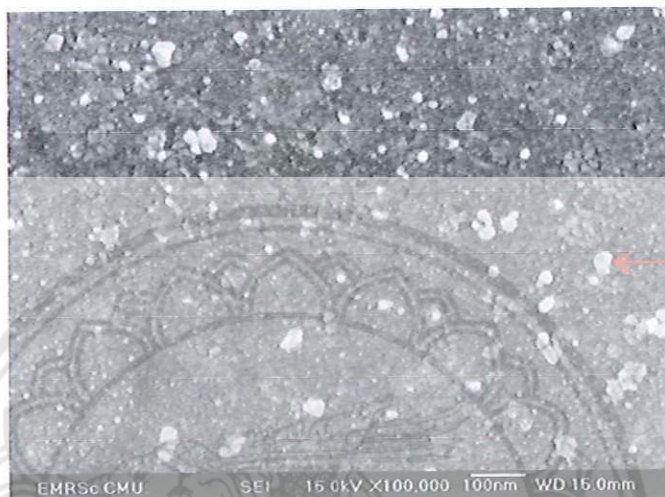
ข)

รูปที่ 4.8 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดีบุก ที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS

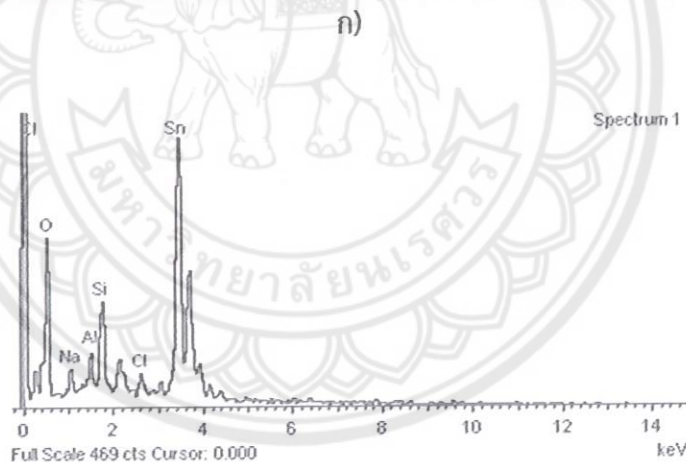
ก) โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดีบุก ได้จากเครื่อง SEM

ข) กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดีบุก ได้จากเครื่อง EDS

ในรูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าไม่พบรอยแตกบนฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้ และจุดสีขาวที่เป็นธาตุฟลูออรีนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีขนาดเท่ากับ 50 นาโนเมตร จากกราฟ EDS พบธาตุดีบุก ออกซิเจน และคลอรีนมาจากสารละลายย ดิบบุกออกไซด์ และจากสารตั้งต้นดีบุกไดคลอไรด์ ส่วนธาตุอะลูมิเนียม คาดว่ามาจากแผ่นพอยล์ที่ลองกระจกในขณะอบ



ธาตุฟลูออรีน



ข)

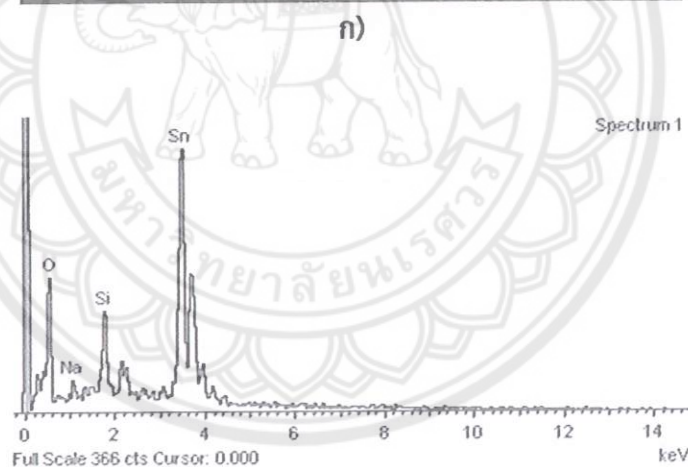
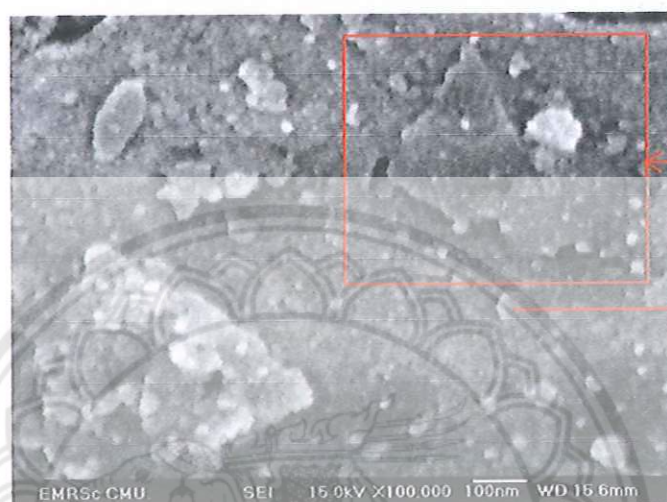
รูปที่ 4.9 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักดีบุกที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS

ก) โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 10

โดยน้ำหนักได้จากเครื่อง SEM

ข) กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ได้จากเครื่อง EDS

ในรูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าธาตุฟลูออรีนมีขนาดใหญ่ขึ้น มีขนาดเท่ากับ 80 นาโนเมตร ส่วนบริเวณที่ผิวไม่สม่ำเสมอ จุดสีขาวที่เป็นธาตุฟลูออรีนมีขนาดใหญ่ มีขนาด 90 นาโนเมตร จากผล EDS พบธาตุดีบุก และออกซิเจน ได้จากสารละลายดีบุกออกไซด์ และธาตุซิลิกอน และโซเดียมที่ได้จากกระจกสไลด์



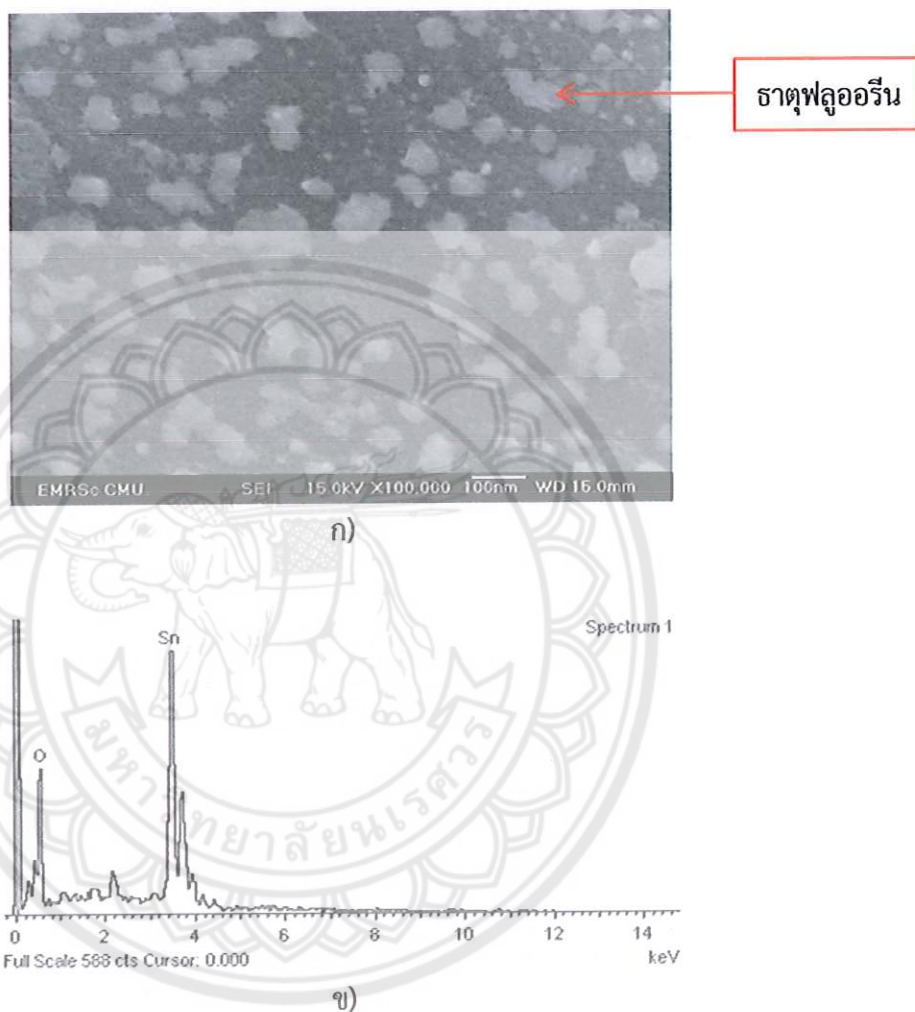
รูปที่ 4.10 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักดีบุกที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS

ก) โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักดีบุก ได้จากเครื่อง SEM

ข) กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักดีบุก ได้จากเครื่อง EDS



ในรูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าธาตุฟลูออรีนที่พบมีขนาดเท่ากับ 100 นาโนเมตร จากผล EDS พบว่าธาตุดีบุก และออกซิเจน ที่ได้จากสารเคลือบดีบุกออกไซด์



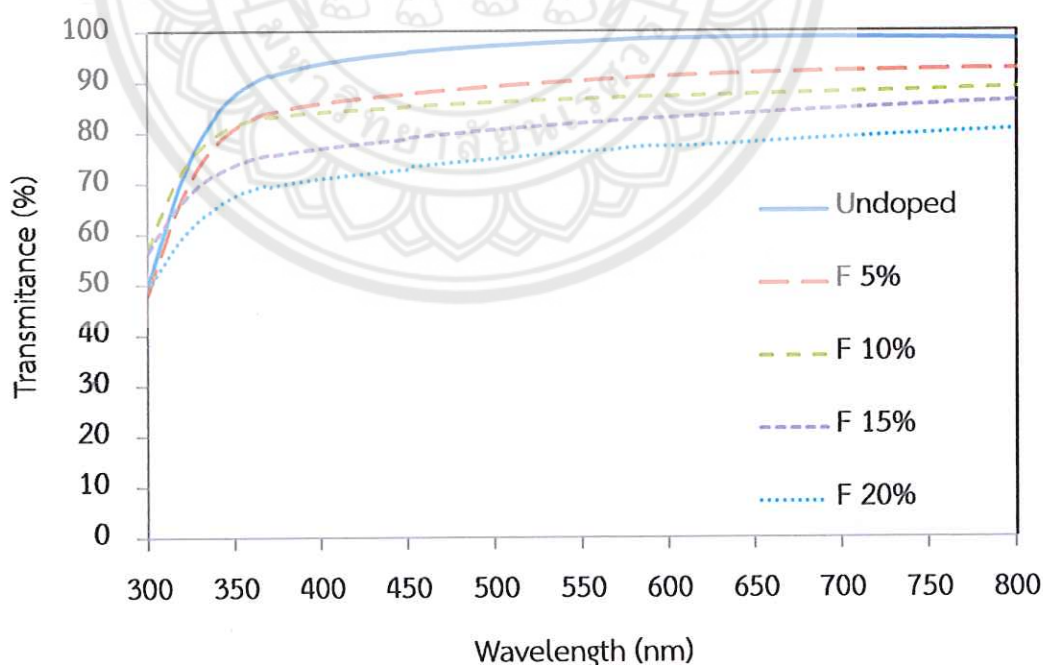
รูปที่ 4.11 การตรวจสอบฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักดีบุกที่ได้จากเครื่อง SEM และ EDS

- ก) โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักดีบุก ได้จากเครื่อง SEM
- ข) กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักดีบุก ได้จากเครื่อง EDS

จากรูปที่ 4.7 ถึง 4.11 จากการส่องตรวจองค์ประกอบธาตุบริเวณที่ได้รูปมาจากเครื่อง SEM นั้นพบธาตุดีบุกในทุก ๆ รูปที่นำมาตรวจ สามารถยืนยันได้ว่าฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้เป็นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์จริง สามารถวิเคราะห์ได้จากเครื่อง EDS รอยแตกที่พบในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 เกิดจากการหดตัวของฟิล์มบาง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง แต่ในรูปที่ 4.9 ถึง 4.11 ไม่พบรอยแตกเนื่องจากสารเจือฟลูออรีนช่วยในการเพิ่มความหนาแน่นของเกรนจึงมีรอยแตกที่ลดลง และจุดขาวบนรูปที่ 4.8 ถึง 4.11 นั้นเป็นธาตุฟลูออรีน จะสามารถพบจุดสีขาวนี้ได้เฉพาะในฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนเท่านั้น เนื่องจากธาตุฟลูออรีนเป็นธาตุหมู่เจ็ด ซึ่งมีอะตอมขนาดใหญ่ จึงมีอิเล็กตรอนมาก ทำให้เกิดแรงผลักรังสีอิเล็กตรอนที่กระดกลงมาทำให้อิเล็กตรอนสะท้อนขึ้นไปในตัวรับสัญญาณทำให้เกิดเป็นจุดสีขาวแสดงดังรูปข้างต้น แต่เนื่องจากฟลูออรีนเป็นสารเจือจึงไม่สามารถตรวจพบด้วยเครื่องวิเคราะห์ EDS ได้

#### 4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้

ผลของการส่องผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ วัดโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากการวิเคราะห์ค่าการส่องผ่านแสงในความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้นั้น ผลที่ได้ยืนยันการวิเคราะห์จากเครื่อง SEM โดยฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้นั้นไม่มีความเรียบ จึงส่งผลให้ไม่พบปรากฏการณ์แทรกสอดของแสงในผลการทดสอบ



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น กับร้อยละการส่องผ่านของดีบุกออกไซด์ในสัดส่วนการเจือด้วยฟลูออรีนที่แตกต่างกัน

ในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 380 นาโนเมตร มีการเกิดการดูดกลืน พลังงานในช่วงความยาวคลื่นนี้ กราฟจึงมีแนวโน้มที่ลดลง สืบเนื่องจากเส้นที่เป็นของ Undoped ที่มีความความชันของกราฟน้อยที่สุด แสดงถึงการดูดกลืนพลังงานในช่วงนี้น้อยที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือปนร้อยละ 5 และ 20 โดยน้ำหนัก จะมีการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นไปด้วยแต่เส้นที่สารเจือปนร้อยละ 5 และ 15 โดยน้ำหนักเกิดการผิดพลาดในการทดสอบตัวอย่าง





## บทที่ 5

### บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลโครงการวิจัย ข้อเสนอแนะ การพัฒนา และแนวทางการแก้ไข ปัญหาของโครงการวิจัย โดยมีละเอียดดังนี้

#### 5.1 บทสรุป

5.1.1 การตรวจสอบลักษณะของตัวอย่างกระจกที่เคลือบด้วยดีบุกออกไซด์ เจือด้วย ฟลูออรีนในสัดส่วนที่ต่างกัน จากการใช้กระบวนการสังเคราะห์ โดยการจุ่มเคลือบ (Dip Coat) ด้วยสารละลายดีบุกไดคลอไรด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนในสัดส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ของดีบุก และไม่ได้เจือด้วยฟลูออรีน โดยจะพบว่ามีลักษณะภายนอกที่มีความแตกต่างกันของกระจก ที่เคลือบด้วยฟิล์มบางที่เจือและไม่เจือด้วยฟลูออรีน รวมถึงความแตกต่างกันของฟิล์มบางที่เจือด้วย ฟลูออรีนในสัดส่วนที่ต่างกันทั้ง 3 ลักษณะนี้จะส่งผลกระทบต่อลักษณะภายนอกสมบัติของฟิล์มบางอีกด้วย

5.1.2 การตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยสาร ฟลูออรีน วัดโดยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบางที่ สังเคราะห์ขึ้นมานั้นยืนยันผลการทดลองไม่ได้ชัดเจนว่าฟิล์มบางที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นเป็นดีบุกออกไซด์ที่ มีระบบผลึกเป็นแบบเตตระโกนอล

5.1.3 ลักษณะสัญญาณวิทยาที่วัดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) และรายละเอียดขององค์ประกอบธาตุจากเครื่อง Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy; EDS จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าจุดสีขาวที่พบเป็นธาตุฟลูออรีน เนื่องจากฟลูออรีนเป็นธาตุหมู่ 7 จึงมีอิเล็กตรอนมากกว่าบริเวณอื่น ทำให้เกิดแรงผลักกับอิเล็กตรอน ที่กราดลงไป จึงเกิดการสะท้อนของอิเล็กตรอนทำให้เห็นเป็นจุดสีขาวขึ้น ณ ตำแหน่งนั้น และผลจาก เครื่อง EDS ที่สามารถยืนยันผลของ XRD ได้ว่าฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้นั้น เป็นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ ที่มีผลึกเป็นแบบเตตระโกนอลสังเกตได้จากผลของ EDS ในรูปที่ 4.7 ข) ถึง 4.11 ข) พบธาตุดีบุก และออกซิเจน

5.1.4 ความสามารถในการส่องผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 800 นาโนเมตร ถูกวัด โดยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ปริมาณของสารเจือที่ เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการส่องผ่านแสงที่ลดลง โดยฟิล์มบางที่ไม่มีการเจือนั้นสามารถส่องผ่านแสงได้มากกว่า

ร้อยละ 95 แต่เมื่อมีการเจือด้วยฟลูออรีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักดีบุก พบว่าการส่งผ่านแสงลดลงเหลือเพียงร้อยละ 70 เท่านั้น พบการดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่ 300 ถึง 380 นาโนเมตร เนื่องจากกราฟมีแนวโน้มจะลดลงค่าร้อยละของการส่งผ่านจึงมีค่าลดลง และในช่วงความยาวคลื่นที่ 380 ถึง 800 นาโนเมตร บ่งบอกได้ว่าฟิล์มบางที่สังเคราะห์ขึ้นไม่มีความสม่ำเสมอของพื้นผิวฟิล์ม

## 5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไขปัญหา

5.2.1 เครื่องจุ่มเคลือบมีการสั่นทำให้ไม่สามารถจุ่มได้ แก้ไขปัญหาได้โดยมีการสร้างอุปกรณ์ในการลดการสั่นลง

5.2.2 ฟิล์มบางเกินไป เนื่องจากกระบวนการจุ่มเคลือบมีข้อผิดพลาดทำให้เคลือบกระจกไม่ติด แก้ไขโดยเปลี่ยนกระบวนการจุ่มเคลือบเพื่อให้สามารถเคลือบกระจกติดได้ โดยมีการทำให้แห้งแล้วนำเข้าเตาอบก่อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีการอบจริงแทนการทำให้แห้งบน Hot plate

## 5.3 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.3.1 ขณะทำการจุ่มเคลือบเมื่อจุ่มเคลือบเสร็จแล้วให้นำไปทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานานๆ เพื่อให้โครงสร้างเกิดการเซตตัวทำให้ผิวที่ได้จากการเคลือบเรียบ

5.3.2 เวลาผสมสารควรผสมสารทีละตัวเพื่อให้สารเกิดการทำปฏิกิริยากันได้ดีขึ้น

## 5.4 การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา และงบประมาณที่ได้ในการทำวิทยานิพนธ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบทำให้ไม่สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ได้อย่างสมบูรณ์

5.4.1 ควรทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับร้อยละการส่งผ่านของแสงด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 1600 นาโนเมตร

5.4.2 ควรทำการทดลองในการวัดอุณหภูมิภายในอาคารตัวอย่างที่หลังคาทำจากกระจกที่สังเคราะห์ได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Walkerma (2005). โครงสร้างของทินไดคลอไรด์และสารประกอบที่เกี่ยวข้อง. สืบค้นเมื่อ 16 ธันวาคม 2557, จาก [http://en.wikipedia.org/wiki/File:SnCl2\\_structure.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:SnCl2_structure.jpg)
- [2] J. Phys. Chem. Solids (1996). รูปแบบลูกบอลและแท่งของโครงสร้างผลึกของ SnCl<sub>2</sub>. สืบค้นเมื่อ 16 ธันวาคม 2557, จาก [http://en.wikipedia.org/wiki/Tin%28II%29\\_chloride](http://en.wikipedia.org/wiki/Tin%28II%29_chloride)
- [3] B. Cetinkaya, I. Gumrukcu, M. F. Lappert, J. L. Atwood, R. D. Rogers and M. J. Zaworotko (1980). "Bivalent germanium, tin, and lead 2,6-di-tert-butyl - phenoxides and the crystal and molecular structures of M(OC<sub>6</sub>H<sub>2</sub>Me-4-But<sub>2</sub>-2,6)<sub>2</sub> (M = Ge or Sn)". J. Am. Chem. Soc. 102 (6): 2088–2089. doi:10.1021/ja00526a054
- [4] Greenwood, Norman N.; Earnshaw, Alan (1984). *Chemistry of the Elements*. Oxford: Pergamon Press. pp. 447–48. ISBN 0-08-022057-6.
- [5] PubChem CID 29011. สมบัติกายภาพของดีบุกไดออกไซด์. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก [http://en.wikipedia.org/wiki/Tin\\_dioxide#cite\\_note-crc-3](http://en.wikipedia.org/wiki/Tin_dioxide#cite_note-crc-3)
- [6] David R., ed. (2009). *CRC Handbook of Chemistry and Physics (90th ed.)*. Boca Raton, Florida: CRC Press. ISBN 978-1-4200-9084-0.
- [7] *Solid State Chemistry: An Introduction* Lesley Smart, Elaine A. Moore (2005) CRC Press ISBN 0-7487-7516-1
- [8] Holleman, A. F.; Wiberg, E. (2001), *Inorganic Chemistry*, San Diego: Academic Press, ISBN 0-12-352651-5
- [9] Karl Griesbaum, Arno Behr, Dieter Biedenkapp, Heinz-Werner Voges, Dorothea Garbe, Christian Paetz, Gerd Collin, Dieter Mayer (2002), Hartmut Höke "Hydrocarbons" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2002 Wiley-VCH, Weinheim*. doi:10.1002/14356007.a13\_227
- [10] D. M. Burns, John Iball (1954), *Molecular Structure of Fluorene Nature* volume 173, p. 635. doi:10.1038/173635a0
- [11] R. E. Gerkin, A. P. Lundstedt and W. J. Reppart (1984) Structure of fluorene, C<sub>13</sub>H<sub>10</sub>, at 159 K *Acta Crystallographica*, volume C40, pp. 1892–1894 doi:10.1107/S0108270184009963



## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] John Wiley & Sons. 2007, Fluorine. A Comprehensive Guide to the Hazardous Properties of Chemical Substances. Pradyot P. 3th ed. pp 471-472. - Emily, F.M., and Bruce, A.F. Metal Compounds and Rare Earths. In: W.N Rom (ed.) 1086-1087 ,Environmental and occupational medicine, 4th ed., pp.. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2007. - Fluorine.
- [13] Merck Index, 11th Edition, 4081. สมบัติกายภาพของฟลูออรีน. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://en.wikipedia.org/wiki/Fluorene>
- [14] 10th Special Report to the U.S. Congress on Alcohol and Health: Highlights from Current Research" (PDF) June 2000. National Institute of Health. National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism. p. 134. Retrieved 21 October 2014.
- [15] Brust, J. C. M. (2010). "Ethanol and Cognition: Indirect Effects, Neurotoxicity and Neuroprotection: A Review". International Journal of Environmental Research and Public Health 7 (4): 1540–57. doi: 10.3390/ijerph7041540. PMC 2872345. PMID 20617045.
- [16] SDI Company Ltd. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. ลำดับขั้นตอนกระบวนการจุ่มเคลือบ (Dip-coat). สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.sdicompany.com/en/device/device2.php>
- [17] ISO 21348 Process for Determining Solar Irradiances. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. ชนิดย่อยของรังสีอัลตราไวโอเล็ต. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/>
- [18] Mahidol University (2012). แสดงความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ. สืบค้นเมื่อ 16 ธันวาคม 2557, จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-biology1/Chapter8/Part3.html>
- [19] รพ. ไทยนครินทร์. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. ผลกระทบของการได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/bragg-law/bragg-law.htm>
- [20] Konstantin Lukin. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. กฎของแบรกกส์. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/bragg-law/bragg-law.htm>

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [21] รศ. แม้น มรสสิทธิ์ (2534). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1 ห้างหุ้นส่วน จำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์ กรุงเทพฯ ๑
- [22] T. Toya, R. Jotaki (1986). A. Kato Specimen Preparations in EPMA and SEM. JEOL Training Center Ep Section, January
- [23] Glassware Chemical (2009). หลักการของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557. จาก <http://glasswarechemical.com/scientific-instrument/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3-uv-vis-spectrophotometer/>
- [24] สมศักดิ์ เสนาใหญ่ (2014). ภาพแสดงการทำงานของ SEM. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewgroup/426>
- [25] นางสาวเสาวภาคย์ อีราทรง. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. รูปแบบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4\\_3.html](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4_3.html)
- [26] มุลนิธิ โสภ เวลด์วายด์ (2010-1014). สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.aquatoyou.com/index.php/2013-05-16-04-06-08/874-uv-vis-spectrophotometer>
- [27] นางสาวเสาวภาคย์ อีราทรง. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. ส่วนประกอบของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2557, จาก [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4\\_2.html](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4_2.html)



ภาคผนวก ก

Energy-dispersive X-ray spectroscopy : EDS



**Project 1**

Spectrum processing :

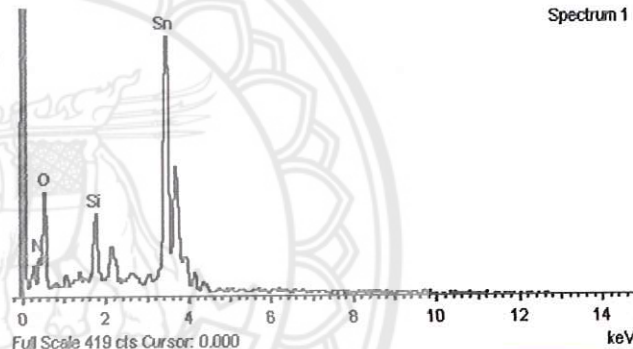
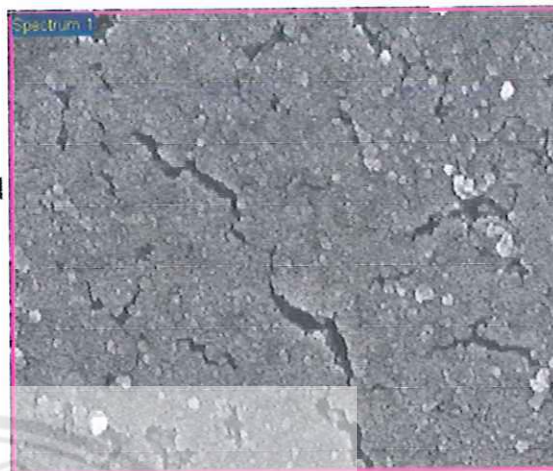
Peak possibly omitted : 2.130 keV

Processing option : All elements analyzed  
(Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

- N Not defined 1-Jun-1999 12:00 AM
- O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
- Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
- Sn Sn 1-Jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
N K	-0.19	-0.52
O K	29.87	73.45
Si K	3.51	4.92
Sn L	66.81	22.15
Totals	100.00	



รูปที่ ก.1 ข้อมูล EDS ของฟิล์มบางดีบุกไดออกไซด์ที่ไม่ผ่านการเจือด้วยฟลูออรีน

## Project 1

Spectrum processing :

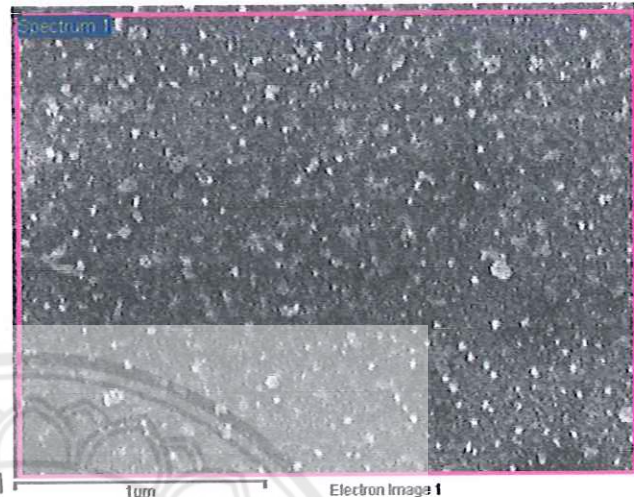
No peaks omitted

Processing option : All elements  
analyzed (Normalised)

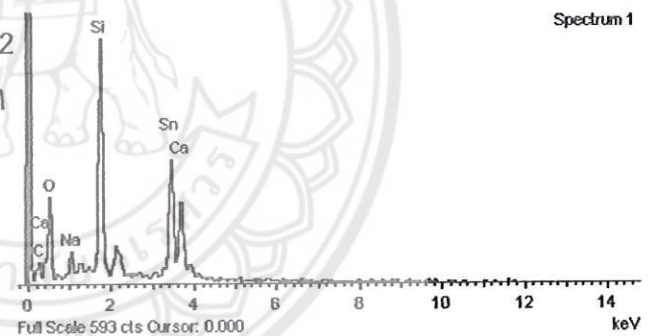
Number of iterations = 3

Standard :

C CaCO<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Sn Sn 1-Jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
C K	4.50	10.82
O K	30.80	55.56
Na K	2.70	3.39
Si K	17.10	17.57
Ca K	3.65	2.63
Sn L	41.26	10.03
Totals	100.00	



**INCA**

รูปที่ ก.2 ข้อมูล EDS ของฟิล์มบางดีบุกไดออกไซด์ที่ผ่านการเจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก  
ของดีบุก

## Project 1

Spectrum processing :

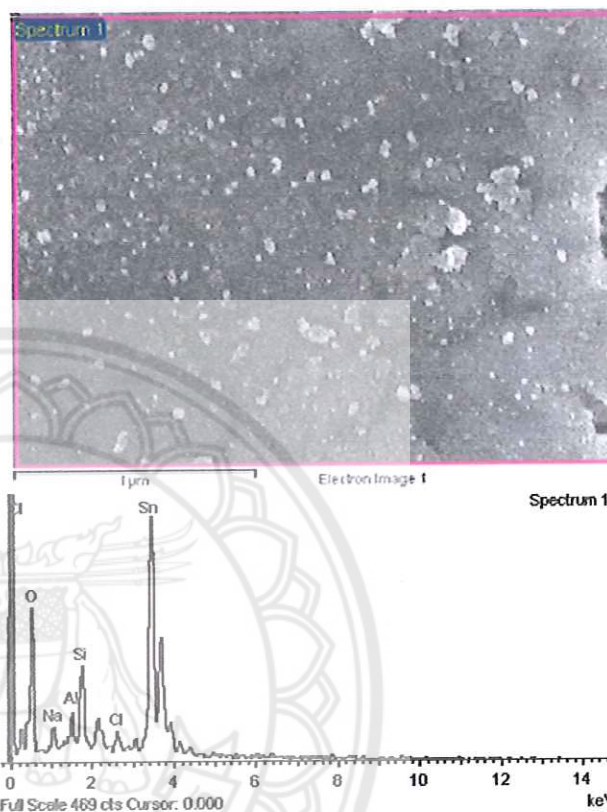
Peak possibly omitted : 2.128 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

O	SiO <sub>2</sub>	1-Jun-1999 12:00 AM
Na	Albite	1-Jun-1999 12:00 AM
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-Jun-1999 12:00 AM
Si	SiO <sub>2</sub>	1-Jun-1999 12:00 AM
Cl	KCl	1-Jun-1999 12:00 AM
Sn	Sn	1-Jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
O K	36.66	74.75
Na K	1.74	2.47
Al K	1.36	1.65
Si K	4.35	5.06
Cl K	1.10	1.01
Sn L	54.78	15.06
Totals	100.00	

รูปที่ ก.3 ข้อมูล EDS ของฟิล์มบางดีบุกไดออกไซด์ที่ผ่านการเจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของดีบุก



## Project 1

Spectrum processing :

No peaks omitted

Processing option : All elements  
analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

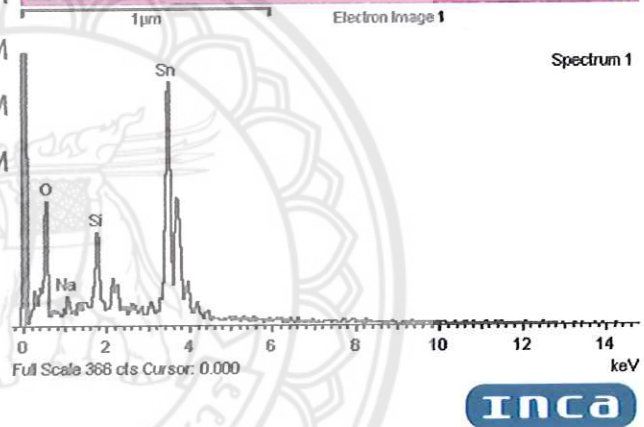
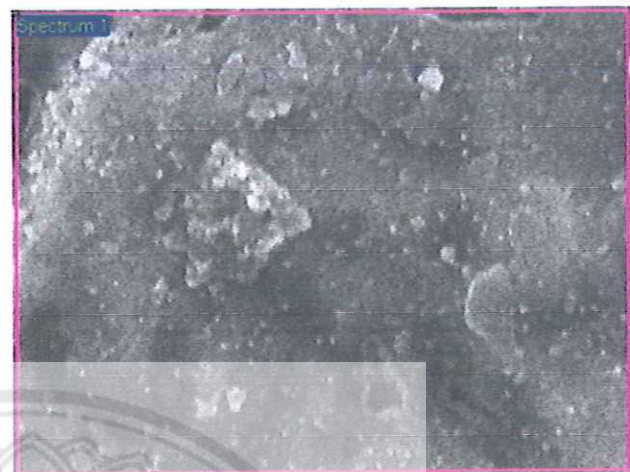
O SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Sn Sn 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	33.50	74.51
Na K	1.55	2.40
Si K	3.74	4.74
Sn L	61.21	18.35
Totals	100.00	



รูปที่ ก.4 ข้อมูล EDS ของฟิล์มบางดีบุกไดออกไซด์ที่ผ่านการเจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของดีบุก

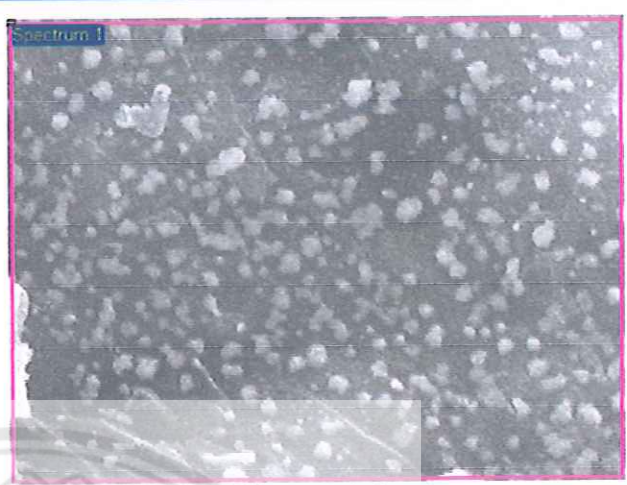
### Project 1

Spectrum processing :  
Peak possibly omitted : 2.142 keV

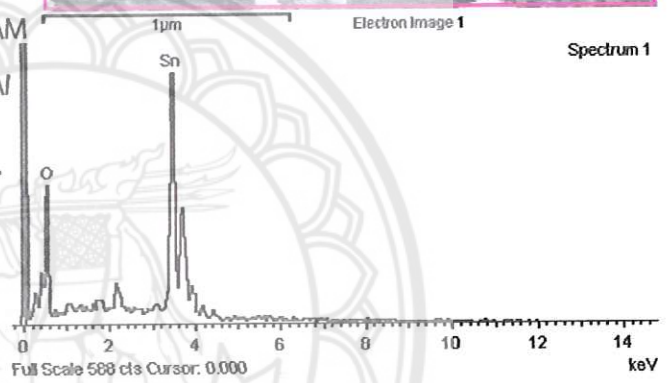
Processing option : All elements  
analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 3

Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Sn Sn 1-Jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
O K	38.14	82.06
Sn L	61.86	17.94
Totals	100.00	



รูปที่ ก.5 ข้อมูล EDS ของฟิล์มบางดีบุกไดออกไซด์ที่ผ่านการเจือด้วยฟลูออรีนร้อยละ 20 โดย น้ำหนักของดีบุก



ภาคผนวก ข

Joint Committee on Powder Diffraction Standard: JCPDS



**JCPDS no. 00-005-0467 ของ แร่ดีบุก (Cassiterite)****Name and formula**

Reference code:	00-005-0467
Mineral name:	Cassiterite, syn
PDF index name:	Tin Oxide
Empirical formula:	O <sub>2</sub> Sn
Chemical formula:	SnO <sub>2</sub>

**Crystallographic parameters**

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	P4 <sub>2</sub> /mnm
Space group number:	136
a:	4.7380 อังสตรอม
b:	4.7380 อังสตรอม
c:	3.1880 อังสตรอม
Alpha:	90.0000 องศา
Beta:	90.0000 องศา
Gamma:	90.0000 องศา
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	6.99
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	71.57
Z:	2.00 อังสตรอม

**Status, subfiles and quality**

Status:	Marked as deleted by ICDD
Subfiles:	Inorganic
Mineral	
Quality:	Indexed (I)

**Comments**

Sample source:	Sample from Johnson, Matthey and Co., Ltd.
Temperature:	Pattern taken at 26 C.

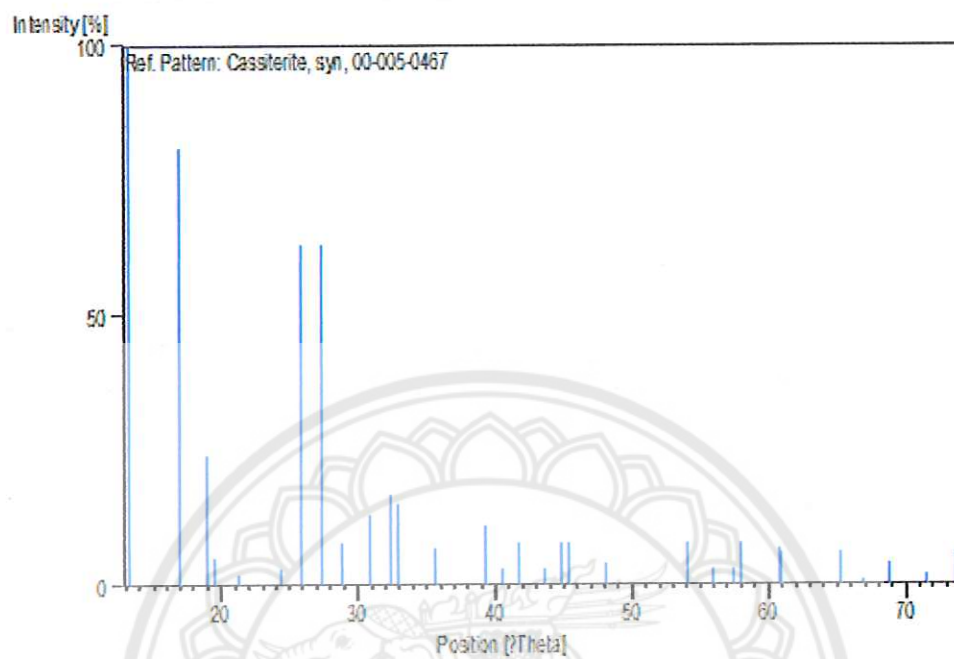
**References**

Primary reference:	Swanson, Tatge., <i>Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539</i> , 1, 54, (1953)
--------------------	---

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.35100	26.579	100.0
2	1	0	1	2.64400	33.876	81.0
3	2	0	0	2.36900	37.950	24.0
4	1	1	1	2.30900	38.976	5.0
5	2	1	0	2.12000	42.612	2.0
6				1.85900	48.958	3.0
7	2	1	1	1.76500	51.753	63.0
8	2	2	0	1.67500	54.759	63.0
9	0	0	2	1.59300	57.835	8.0
10	3	1	0	1.49800	61.891	13.0
11	1	1	2	1.43900	64.729	17.0
12	3	0	1	1.41500	65.965	15.0
13	2	0	2	1.32200	71.278	7.0
14	3	2	1	1.21500	78.690	11.0
15	4	0	0	1.18400	81.172	3.0
16	2	2	2	1.15500	83.661	8.0
17	3	3	0	1.11700	87.199	3.0
18	3	1	2	1.09200	89.724	8.0
19	4	1	1	1.08100	90.891	8.0
20	1	0	3	1.03600	96.066	4.0
21	4	0	2	0.95050	108.273	8.0
22	5	1	0	0.92910	112.009	3.0
23	3	3	2	0.91430	114.811	3.0
24	4	3	1	0.90810	116.045	8.0
25	3	0	3	0.88190	121.725	7.0
26				0.88140	121.842	6.0
27	5	2	1	0.84800	130.563	6.0
28	4	4	0	0.83750	133.782	1.0
29	3	2	3	0.82610	137.641	4.0
30	5	3	0	0.81250	142.905	2.0
31	5	1	2	0.80260	147.380	6.0

## Stick Pattern





## ประวัติผู้ดำเนินงาน



ชื่อ นายภาณุมาศ ทรงวุฒิ  
ภูมิลำเนา 54 ถ. เจริญราษฎร์ ต. ท่าอิฐ อ. เมือง  
จ. อุตรดิตถ์ 53000

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์  
จ. อุตรดิตถ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [mateennu@gmail.com](mailto:mateennu@gmail.com)



ชื่อ นาย อธิวัฒน์ จิระวิชฎา  
ภูมิลำเนา 112/12 ถ. วุฒากาศ แขวง ตลาดพลู เขต ธนบุรี  
กรุงเทพมหานคร

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนวัดราชโอรส  
กรุงเทพมหานคร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [shaman\\_nakub@windowslive.com](mailto:shaman_nakub@windowslive.com)