

การเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ

ZINC OXIDE THIN FILM PREPARED BY

A DIP COATING METHOD



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ  
ZINC OXIDE THIN FILM PREPARED BY  
A DIP COATING METHOD



นางสาวมนัสนันท์ ทองดี  
นางสาวมุกดา แซ่ตั้ง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2556

**ZINC OXIDE THIN FILM PREPARED BY  
A DIP COATING METHOD**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีเกิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวมนัสนันท์ ทองดี
	นางสาวมุกดา แซ่ดี
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วราวุฒิ เถาคัดดา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมฟิล์มบาง (Thin Film) วิธีการจุ่มเคลือบ (Dip Coating) ด้วยสารประกอบซิงค์ออกไซด์ (ZnO) โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซิงค์ออกไซด์และอัตราเร็วคั้งขึ้นในการเคลือบฟิล์มบนกระจกสไลด์ โดยกระตุ้นสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1M, 0.35M, 0.5M และจุ่มเคลือบที่อัตราเร็วคั้งขึ้นต่างๆ จากการทดสอบความเป็นผลึกของซิงค์ออกไซด์ ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction Spectrometer พบว่าความเข้มของผลึกซิงค์ออกไซด์ที่วัดได้ เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายซิงค์ออกไซด์ และการทดสอบความเป็นหมู่ฟังก์ชันของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy พบว่าปริมาณของสารประกอบซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ตามจำนวนรอบที่จุ่มเคลือบฟิล์ม แต่จากการทดสอบด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy พบว่าค่าการส่องผ่านของแสงลดลงตามความเข้มข้นของสารละลายและจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : ซิงค์ออกไซด์ , การจุ่มเคลือบ , ฟิล์มบาง

<b>Title</b>	ZINC OXIDE THIN FILM PREPARED BY A DIP COATING METHOD
<b>Students</b>	Miss Manasanan Thongdee Miss Mukda Saetee
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Associate Professor Dr. Warawoot Thowladda
<b>Co-Advisor</b>	Dr. S. Tipawan Khalayboonme

### ABSTRACT

This special project is to prepare thin films by the method of dip coating with zinc oxide compound (ZnO) via studying concentration of zinc oxide solution and hook up rate for thin film coating on glass slides stimulated by zinc oxide solution concentrations of 0.1M, 0.35M, 0.5M and various hook up rates. Results of crystallization of zinc oxide measured by X-ray Diffraction Spectrometer exhibits that higher concentration of zinc oxide thin films is increased by higher concentration of zinc oxide solutions. Furthermore, after measuring functional groups of zinc oxide done by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, there is more quantity of zinc oxide from more hook up rounds of dip coating. Finally, the outcome films will have a property of low light transmission (tested by UV-Vis Spectroscopy) which is proportional to concentration of the solutions and hook up rounds of dip coating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Keywords :** ZnO , Dip Coating , Thin film

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้รับความรู้ คำแนะนำและการชี้แนะต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยโดยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เถาถัดดา และ ดร.ศ. ทิพวรรณ คล้ายบุญมี ที่ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยได้อย่างราบรื่นและรวมไปถึงขอ กราบขอบพระคุณอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาและอบรมสั่งสอนตั้งแต่ การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน

ขอขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับสถานที่ทำการวิจัยและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาทางวิชาการในการทำงานวิจัยที่ติดต่อมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้ความสนับสนุนและ ส่งเสริมในการศึกษาทุกระดับชั้นด้วยดีมาตลอด อีกทั้งคอยเป็นกำลังใจพร้อมทั้งให้คำปรึกษาและ คำแนะนำที่ดีเสมอมา

ด้วยความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นางสาวมนัสนันท์ ทองดี  
นางสาวมุกดา แซ่ตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
คำย่อและสัญลักษณ์	X
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 ซิงค์ออกไซด์ ZnO	3
2.2 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)	4
2.3 ฟิล์มบาง (Thin film)	8
2.4 เทคนิคการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง	12
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่อง Dip Coating	22
3.2 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระจก	26
3.3 ขั้นตอนการผสมสาร	27
3.4 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์ม	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	32
4.1 ลักษณะของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์และศึกษาคุณสมบัติการส่งผ่านแสงและการดูดกลืนแสง	32
4.2 ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy	46
4.3 ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง FTIR	46
4.4 ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง XRD	50
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	52
5.1 สรุปผลวิจัย	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สารประกอบ ZnO	3
2.2	โครงสร้างผลึกของ ZnO	4
2.3	สารกึ่งตัวนำชนิด P และ N	6
2.4	โครงสร้างของรอยต่อ P-N ของสารกึ่งตัวนำ	7
2.5	สัญลักษณ์ของไดโอด	7
2.6	ตัวอย่างของฟิล์มบาง	8
2.7	กระบวนการเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ	11
2.8	การเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ	12
2.9	การตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์ ที่ระนาบของผลึกและให้ผลต่างทางเดินแสงเท่ากับ $2d \sin\theta$	13
2.10	แถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	14
2.11	การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นที่เหมาะสม	15
2.12	ตัวอย่างสเปกตรัมการส่องผ่านของแสงที่ได้จากการวัดตรวจสอบด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer	15
2.13	แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Single beam UV-Vis spectrophotometer	15
2.14	แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Double beam UV-Vis spectrophotometer	17
2.15	แสดงส่วนประกอบของ Fourier Transform Infrared Spectrometer	18
2.16	Raman Spectrometer	19
3.1	เครื่อง Dip Coating	22
3.2	ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่อง Dip Coating	22
3.3	คีย์แพดของเครื่อง Dip Coating	23
3.4	หน้าจอแสดงผล	23
3.5	เมนูการตั้งค่า	24
3.6	เมนูการตั้งค่าความเร็ว	24
3.7	เมนูการตั้งค่าระยะทาง	24
3.8	เมนูการตั้งค่าเวลา	25
3.9	เมนูการตั้งค่าจำนวนรอบ	25
3.10	ระบบมอเตอร์ของเครื่อง Dip Coating	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลแบบสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การล้างกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง ultrasonic	26
3.12 สารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมของสารละลาย ZnO	27
3.13 กระตุ่นสารละลายด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer	27
3.14 สารละลาย ZnO	28
3.15 ตัวอย่างการจุ่มเคลือบฟิล์มด้วยเครื่อง Dip Coating	31
4.1 กระจกเปล่าที่ยังไม่ได้ทำการจุ่มเคลือบ	32
4.2 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ก)	33
4.3 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ข)	33
4.4 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ค)	33
4.5 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ง) จำนวน 1 รอบ	33
4.6 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ง) จำนวน 2 รอบ	34
4.7 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ง) จำนวน 3 รอบ	34
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.1M	35
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.1M	35
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์ม ความเข้มข้น 0.1M	36
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์ม ความเข้มข้น 0.1M	36
4.12 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (จ)	37
4.13 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ)	37
4.14 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ซ)	38
4.15 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ซ) จำนวน 1 รอบ	38
4.16 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ซ) จำนวน 2 รอบ	38
4.17 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ซ) จำนวน 3 รอบ	39

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.35M	39
4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.35M	40
4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์ม ความเข้มข้น 0.35M	40
4.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์ม ความเข้มข้น 0.35M	41
4.22	กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) จำนวน 1 รอบ	41
4.23	กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) จำนวน 2 รอบ	42
4.24	กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) จำนวน 3 รอบ	42
4.25	กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ญ) จำนวน 1 รอบ	42
4.26	กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ญ) จำนวน 2 รอบ	43
4.27	กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ญ) จำนวน 3 รอบ	43
4.28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 4 mm/s ความเข้มข้น 0.5M	44
4.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 4 mm/s ความเข้มข้น 0.5M	44
4.30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s ความเข้มข้น 0.5M	45
4.31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s ความเข้มข้น 0.5M	45
4.32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Raman shift กับ Intensity	46
4.33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ %Tranmistance ของ ZnO Solution	47

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ %Tranmistance ของ Negative Control	47
4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ %Tranmistance ของ Positive Control	48
4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ %Tranmistance ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกไซด์ ที่ความเร็ว 4 mm/s	48
4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ %Tranmistance ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกไซด์ ที่ความเร็ว 6 mm/s	49
4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $2\theta$ กับ Intensity ด้วยเครื่อง XRD ที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 0.1M , 0.35M , 0.5M โดยใช้ความเร็วในการดิ่งขึ้น 4mm/s	50
4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $2\theta$ กับ Intensity ด้วยเครื่อง XRD ที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 0.5M โดยใช้ความเร็วในการดิ่งขึ้น 6mm/s เท่ากับเปรียบเทียบจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์

$^{\circ}\text{C}$	คือ องศาเซลเซียส
cm	คือ เซนติเมตร
$d_{hkl}$	คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ
g	คือ กรัม
kV	คือ กิโลโวลต์
m	คือ เมตร
mm	คือ มิลลิเมตร
mm/s	คือ มิลลิเมตร/วินาที
M	คือ โมล
min	คือ นาที
n	คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน
nm	คือ นาโนเมตร
s	คือ วินาที
UV	คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือ รังสียูวี (ultraviolet)
ZnO	คือ ซิงค์ออกไซด์
%	คือ เปอร์เซ็นต์
$\lambda$	คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
$\theta$	คือ มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอ็กซ์ซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์เป็นหนึ่งในสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์และมีโครงสร้างเป็นแบบผลึกหกเหลี่ยม ซึ่งฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์มีคุณสมบัติทางแสง,เสียง และนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านของอิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นใยแก้วนำแสงหรือระบบเซนเซอร์ และฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ยังสามารถนำมาประยุกต์เป็นฟิล์มโปร่งแสงที่ใช้งานด้านโซลาร์เซลล์ได้อีกด้วย

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ โดยใช้เทคนิคการจุ่มเคลือบ (Dip Coating) ซึ่งได้เลือกใช้ zinc acetate เป็นสารตั้งต้นในการผสมสารละลาย ZnO เนื่องจาก ZnO มีคุณสมบัติที่ดีในการป้องกันรังสี UV และป้องกันแบคทีเรีย และใช้กันอย่างกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง(ครีมกันแดด) และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ต่อผู้ใช้งาน รวมถึงเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความโปร่งแสง ดังนั้นจึงเลือกใช้ ZnO มาเคลือบลงบนฟิล์มบาง อย่างไรก็ตามกระบวนการสังเคราะห์ ZnO นั้นมีหลายกระบวนการที่แตกต่างกันไป ซึ่งแต่ละกระบวนการจะใช้เวลา , สารตั้งต้น และอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป และยังได้รูปร่างและขนาดของผลึก ZnO ที่แตกต่างกันด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์การเตรียมสารที่ใช้ในการเคลือบแผ่นกระจก
2. เพื่อศึกษาและสร้างระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางโดยวิธีการจุ่มเคลือบ
3. เพื่อศึกษาฟิล์มบางที่ได้จากการจุ่มเคลือบ
4. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางให้สามารถประยุกต์ใช้งาน ได้หลายด้าน
5. เพื่อนำความรู้ที่ได้เรียนมาไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ

เอกสารนี้เผยแพร่ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

2. ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติของ ZnO
3. ควบคุมการจุ่มเคลือบให้ได้ตามระยะที่ต้องการอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตุลาคม – พฤศจิกายน พ.ศ. 2556	ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติของฟิล์มบางและสารละลาย
	ศึกษาการทำงานของระบบเครื่องที่ใช้ในการจุ่มเคลือบฟิล์ม
ธันวาคม พ.ศ. 2556 – มกราคม พ.ศ. 2557	เตรียมกระจกที่ใช้ในการจุ่มเคลือบ
	เตรียมสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ
	ทดลองกำหนดตัวแปรและจุ่มเคลือบฟิล์ม
กุมภาพันธ์ – มีนาคม พ.ศ. 2557	วิเคราะห์ผลจากการทดลองที่ได้ให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อโครงการนี้สำเร็จลง คาดว่าจะมีประโยชน์อย่างมากต่อผู้ที่สนใจและกำลังศึกษาในเรื่องของการสังเคราะห์ฟิล์มบางโดยวิธีการจุ่มเคลือบ ทั้งการคำนวณหาอัตราส่วนในการผสมสาร การกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย ZnO รวมถึงการกำหนดอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบฟิล์มบางให้มีความสม่ำเสมอ อีกทั้งยังสามารถใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณสมบัติฟิล์มบางได้และสามารถนำการสังเคราะห์ฟิล์มบางที่เป็นสารประกอบเซมิคอนดักเตอร์ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

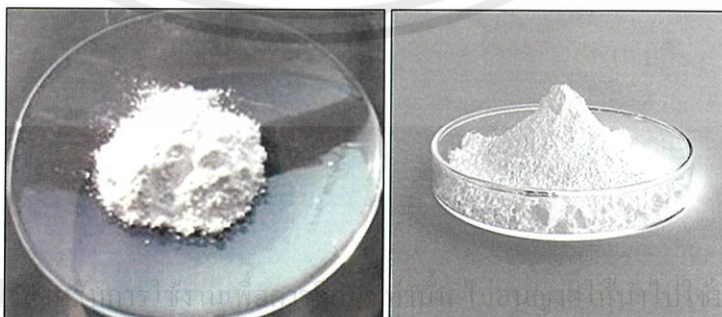
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ซิงค์ออกไซด์ ZnO

ZnO หรือ ซิงค์ออกไซด์เป็นที่รู้จักในนาม คาลาไมล์ ซึ่งเป็นภาษาอียิปต์โบราณ เป็นธาตุธรรมชาติจากสินแร่ สมิทโซไนต์ (Smithsonite) มนุษย์ใช้ซิงค์ออกไซด์ในการรักษาโรคตั้งแต่ในยุคอียิปต์โบราณ ซิงค์ออกไซด์ มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาว เป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย (Anti-bacteria) ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากฆ่าแบคทีเรียแล้วยังช่วยป้องกันและยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย ด้วยเหตุผลนี้ ซิงค์ออกไซด์ จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการเป็นยาต้านแบคทีเรีย และยังสามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ระงับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ซิงค์ออกไซด์นาโน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร ( $10^{-9}$  เมตร) มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี สามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ต้านทานแบคทีเรีย (Anti-bacteria) ระงับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้โดยกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ( Synthesis of ZnO Nanoparticles ) มี 4 วิธี

- Coprecipitation
- Sol-gel
- Hydrothermal
- Flame spray Pyrolysis



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงรูปที่ 2.1 แสดงสารประกอบ ZnO เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างผลึกของ ZnO

ZnO เข้ากันได้กับส่วนผสมอื่น ๆ หลายชนิด แต่ไม่สามารถใช้ร่วมกับสารประเภทคาร์โบเมอร์ได้ เนื่องจาก ZnO จะเกิด crosslinks กับโพลีเมอร์ และขัดขวางคุณสมบัติในการทำให้ชั้นของโพลีเมอร์ ความยุ่งยากที่เกิดอาจเนื่องจากอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำที่มีกรดสเตียริก ทำให้เกิดซิงค์สเตียเรท จำนวนเล็กน้อย ซึ่งเป็น polyvalent surfactant เป็นผลให้ลดความคงสภาพของอิมัลชัน เมื่อใช้ microfined ZnO ร้อยละ 2-10 จะสามารถผสมเข้าไปในน้ำกระสาย (vehicle) ของอิมัลชันได้โดยง่าย โดยทั่วไปจะเป็นผลดีหากใช้ส่วนน้ำหรือส่วนน้ำมันผสมกับ ZnO จากนั้นค่อยเติมส่วนผสมดังกล่าวเข้ากับอิมัลชัน ที่เตรียมไว้แล้ว กรณีที่ใช้ hydrophilic emulsifiers ในส่วนน้ำมันให้เอา ZnO กระจายเข้าไปในส่วนน้ำมันที่ร้อนก่อนที่จะนำไปทำเป็นอิมัลชัน

## 2.2 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

สสารทุกชนิดประกอบด้วยส่วนประกอบเล็กๆ ที่เรียกว่า “โมเลกุล” มารวมตัวกัน โดยแต่ละโมเลกุลก็จะประกอบด้วยส่วนที่เล็กมากๆ ซึ่งเรียกว่าอะตอม เช่น โมเลกุลของน้ำจะประกอบด้วยอะตอม 3 อะตอม คืออะตอมของไฮโดรเจน (Hydrogen) 2 อะตอม และ อะตอมของออกซิเจน (Oxygen) 1 อะตอมมารวมกัน โดยอะตอมแต่ละอะตอมจะมีแกนกลางซึ่งเรียกว่านิวเคลียส ซึ่งจะมีนิวตรอนและโปรตอนอยู่ภายใน และจะมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบๆนิวเคลียส หลากๆวง โดยอิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดเรียกว่า วาเลนอิเล็กตรอน (Valence Electron) จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของสสารนั้น สสารที่เป็นตัวนำ (Conductor) จะมีอิเล็กตรอนวงนอกเพียง 1-3 ตัว ดังนั้นเมื่อมันได้รับพลังงานความร้อน หรือ พลังงานไฟฟ้า อิเล็กตรอนก็จะหลุดออกมาจากวงโคจรเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) ได้ทันที ทำให้สามารถเคลื่อนตัวไปในสสารได้อย่างอิสระ

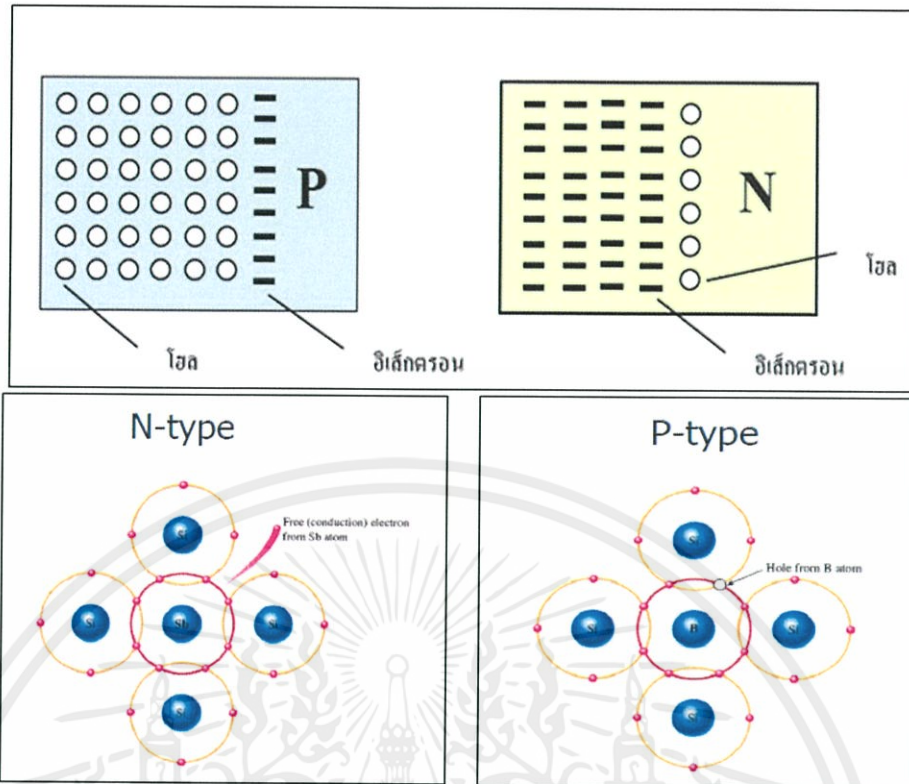
ซึ่งเราเรียกการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนนี้ว่า “กระแสไฟฟ้า” ดังนั้นสสารที่เป็นตัวนำจึงมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดี ส่วนสสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกตั้งแต่ 5-8 ตัว เราจะเรียกว่า “ฉนวน” (Insulator) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ไม่ดีนักเพราะมีอิเล็กตรอนอิสระน้อย สำหรับสสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 4 ตัว เช่น ซิลิกอน (Silicon) และเจอร์มันเนียม (Germanium) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เราเรียกว่า “สารกึ่งตัวนำ” (Semiconductor) ซึ่งสารกึ่งตัวนำ คือ สารที่มีสภาพระหว่างตัวนำกับฉนวน นำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น ไดโอด, ทรานซิสเตอร์ ฯลฯ การค้นพบสารกึ่งตัวนำ นับเป็นการค้นพบที่ยิ่งใหญ่ จนอาจกล่าวได้ว่าเป็นการปฏิวัติอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เลยทีเดียว

### 2.2.1 สารกึ่งตัวนำ ชนิด P และ ชนิด N

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี เพราะอิเล็กตรอนวงนอกจะจับตัวรวมกัน โดยใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน เพื่อให้เกิดภาวะเสถียร เหมือนมีอิเล็กตรอนวงนอก 8 ตัว จึงไม่เหมาะต่อการใช้งาน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมีการเติมสารอื่นเข้าไปเพื่อให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าที่ดีกว่าเดิม เหมาะกับการใช้งาน โดยการเติมสารหรือที่เรียกกัน ทับศัพท์ว่า การโด๊ป (Doping) สารนั้น จะมีได้ 2 ลักษณะคือ

1. เติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว เช่น อลูมิเนียมหรือแกลเลียมลงไป ทำให้เกิดสภาวะขาดอิเล็กตรอน คือจะมีที่ว่างของอิเล็กตรอน ซึ่งเรียกว่า โฮล(Hole) มากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ ด้วยเหตุที่โฮลมีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าบวก และเป็นพาหะส่วนใหญ่ของสาร ส่วนอิเล็กตรอน จะเป็นพาหะส่วนน้อย เราจึงเรียกสารกึ่งตัวนำประเภทนี้ว่า สารกึ่งตัวนำ ชนิด P (P-type Semiconductor)
2. เติมสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 5 ตัว เช่น สารหนูหรือฟอสฟอรัสลงไป ทำให้เกิดสภาวะมีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าจำนวนของโฮล ด้วยเหตุที่อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าลบและเป็นพาหะส่วนใหญ่ ส่วนโฮลเป็นพาหะส่วนน้อยของสาร เราจึงเรียกว่าเป็น สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-type Semiconductor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



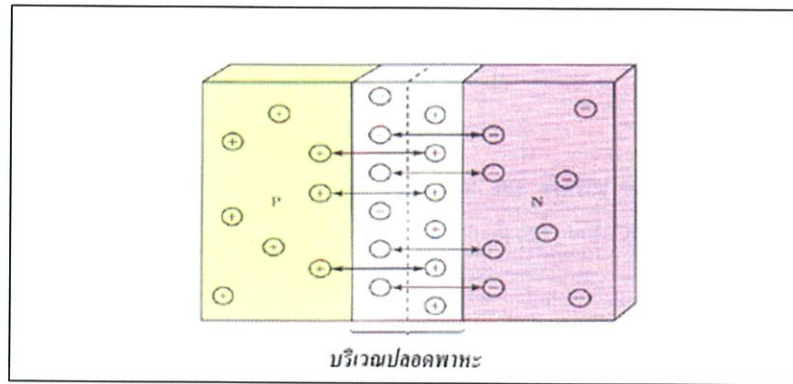
รูปที่ 2.3 แสดงสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N

### 2.2.2 รอยต่อ PN

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และ สารกึ่งตัวนำชนิด N มาเชื่อมต่อกัน จะเกิดการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลบริเวณใกล้รอยต่อนั้น โดยอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N จะรวมตัวกับโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิด P ทำให้อะตอมบริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด N จะขาดอิเล็กตรอนไปเกิดเป็นสภาวะเป็นประจุไฟฟ้าบวก ซึ่งจะต้านการเคลื่อนที่ของโฮล ในขณะที่อะตอมบริเวณรอยต่อของสาร P จะมีอิเล็กตรอนเกินมา ทำให้มีประจุไฟฟ้าลบซึ่งจะผลักอิเล็กตรอนอิสระที่จะวิ่งเข้ามาทางฝั่ง ของสาร P ดังรูป

บริเวณดังกล่าว จึงเป็นบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) โดยจะเสมือนกำแพงกั้นไม่ให้อิเล็กตรอนและโฮลของอะตอมอื่นๆ ภายในสารกึ่งตัวนำมารวมกัน ถ้าต้องการให้พาหะทั้งสองฝั่งมารวมตัวกัน จะต้องให้แรงดันไฟฟ้าแก่สารให้มากกว่าระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากประจubarrier รอยต่อ โดยถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากซิลิกอน ระดับแรงดันดังกล่าวจะอยู่ประมาณ

0.7 โวลต์ และ ในกรณีสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากเยอรมันเนียม ระดับแรงดันดังกล่าวจะมีค่าต่ำกว่าถ้าไม่ว่ากรณีใดโดยจะมีค่าประมาณ 0.3 โวลต์

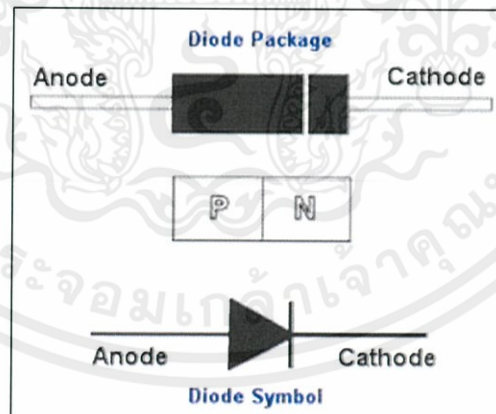


รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของรอยต่อ P-N ของสารกึ่งตัวนำ

### 2.2.3 สารกึ่งตัวนำกับการนำไปใช้

#### ไดโอด (Diode)

จากคุณลักษณะของรอยต่อ PN ของสารกึ่งตัวนำ เราจึงนำมาสร้างอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไดโอด ขึ้น โดยเรียกขั้วที่ต่อกับสาร P ว่า อาโนด (Anode) และเรียกขั้วที่ต่อกับสาร N ว่า คาโทด (Cathode) โดยไดโอดจะมีความต้านทานต่ำมาก และยอมให้กระแสไหลผ่านได้ เมื่อต่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ปลายพี สูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ปลายเอ็น (ต่อปลายพีเข้ากับขั้วบวกและต่อปลายเอ็นเข้ากับขั้วลบ) หรือที่เรียกว่า ไบแอสตรง แต่ถ้าเราต่อให้ที่ปลายพีมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าปลายเอ็น (ไบแอสกลับ) ไดโอดจะมีความต้านทานสูงมาก และไม่ยอมให้กระแสไหลผ่าน



รูปที่ 2.5 แสดงสัญลักษณ์ของไดโอด

ไดโอดมีหลายชนิดแล้วแต่การใช้งาน เฉพาะที่แตกต่างกัน เช่น

- ซีเนอร์ไดโอด (ใช้ควบคุมเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า)
- วาเรคเตอร์ไดโอด (ใช้ปรับความถี่)
- ซอดกกีไดโอด (การสวิตซ์ซึ่งที่มีความเร็วสูง)

นอกจากนี้ยังมีไดโอดที่ใช้งานย่านความถี่ ไมโครเวฟ เช่น

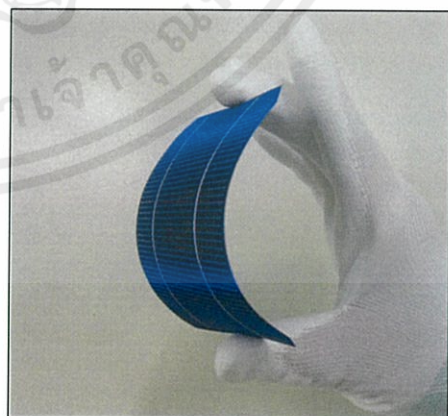
- ทันแนลไดโอด
- อิมแพทไดโอด (ใช้ในการกำเนิดและ ขยายสัญญาณไมโครเวฟ)
- กั้นน้ำไดโอด

## 2.3 ฟิล์มบาง (thin film)

### 2.3.1 ฟิล์มบาง (thin film)

ฟิล์มบาง(thin film) หมายถึง ชั้นของอะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่จับรวมกันเป็นชั้นบางๆ การระบุว่าฟิล์มใดเป็นฟิล์มบาง อาจพิจารณาได้จากลักษณะการใช้งานว่าใช้สมบัติด้านใดของฟิล์ม กล่าวคือ ถ้าเป็นการใช้สมบัติเชิงผิว (surface properties) จะเรียกฟิล์มนั้นว่า ฟิล์มบาง แต่ถ้าเป็นการใช้สมบัติเชิงปริมาตร (bulk properties) จะเรียกฟิล์มนั้นว่า ฟิล์มหนา ทั้งนี้จากความหมายจะเห็นว่า ฟิล์มเดียวกันอาจเป็นฟิล์มบางหรือฟิล์มหนาก็ได้ ขึ้นกับลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญอย่างไรก็ดี การเคลือบฟิล์มบางเป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงสมบัติของวัสดุที่เคลือบให้ดีขึ้น เช่น ให้มีความคงทน ถาวร หรือ สวยงามมากขึ้นรวมถึงเพื่อการใช้ประโยชน์ในงานอื่นๆ

การสร้างทำได้โดยการเคลือบฟิล์มบางจะเป็นกระบวนการทำให้สารเคลือบตกเคลือบบนผิวของวัสดุที่ต้องการ โดยเริ่มจากการสร้างสารเคลือบในรูปของอะตอม โมเลกุลหรืออนุภาคจากนั้นเป็นการเคลื่อนย้ายสารเคลือบมายังวัสดุรองรับเมื่อสารเคลือบตกกระทบบนผิววัสดุรองรับก็เกิดการควบแน่นและพอกพูนเป็นชั้นของฟิล์มบางบนวัสดุรองรับในที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ ใ้รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของฟิล์มบางให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 ประโยชน์ของ Thin films

#### 1. Solar Powerfilm

Thin films มีประโยชน์มากในด้านพลังงานจากแสงอาทิตย์ เนื่องด้วยเมื่อผลิตออกมาเป็นอุปกรณ์แล้วมีขนาดที่บาง และน้ำหนักที่เบา สามารถสังเคราะห์เปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ดี สามารถนำไปติดตั้งใช้งานในที่กลางแจ้งได้ สามารถนำมาใช้ในส่วน of พลังงานขนาดเล็กที่ใช้กับอุปกรณ์บันทึกต่างๆ ได้อีกด้วย

#### 2. Thin Film Transistors

Thin film ที่ถูกนำมาสร้างเป็น amorphous silicon transistor บนแผ่นพลาสติกนั้นมีประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มากมาย เช่น ทีวีจอแบน, OLED displays, วิทยุ, หน่วยความจำในกล้อง digital , เครื่อง x-ray imaging เป็นต้น

#### 3. Thin Film Capacitors

Diamond Thin film Capacitor ที่สังเคราะห์โดยวิธี multilayer polycrystalline diamond (PCD) and diamond-like carbon (DLC) นั้นมีประโยชน์มากสำหรับการนำไปใช้การผลิตชิ้นส่วนในเครื่องบิน หรือยานอวกาศ เพราะสามารถออกแบบทำให้มีขนาดเล็กลง และ สามารถให้ทนความร้อน ทนความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ทนความต้านทานได้สูงมากๆ

#### 4. Thin insulators

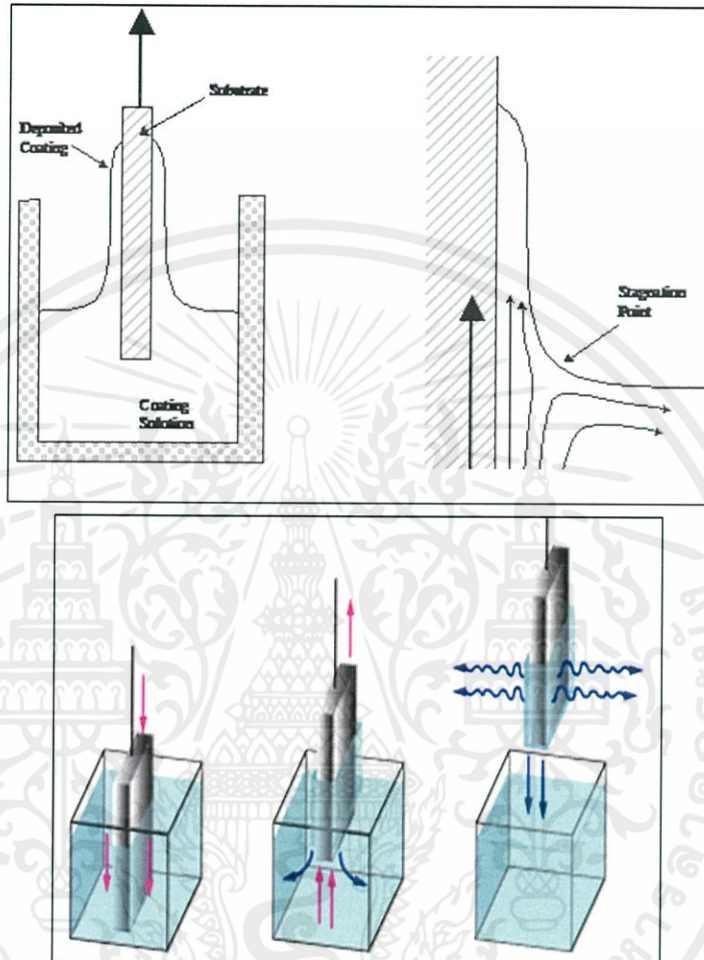
Thin insulators ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีขนาดความบางน้อยกว่า 10,000 อังสตรอม ถูกใช้เป็นชิ้นส่วนหลายอย่างโดยลักษณะของฟิล์มจะเป็น amorphous หรือใกล้เคียงกับ amorphous นับตั้งแต่การค้นพบ Polycrystalline film จนกระทั่งมาถึง Insulating Film ซึ่งแต่ละชนิดล้วนมีความบริสุทธิ์สูง มีคุณสมบัติเหมือนกับก้อน Glass ในขณะเดียวกัน ได้มีการพัฒนา Film ของ SnO<sub>2</sub> ที่มีความบริสุทธิ์ของโลหะ 10% โดยมีสมบัติการนำไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง ผลจากการวิเคราะห์เกี่ยวกับ Amorphous insulators ของวัสดุ Ferroelectric พบว่ามีสมบัติเป็น crystalline ใช้เป็นอุปกรณ์ต้านทานความร้อน

#### 5. Thin Film Cryotrons

ตัวต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์ Superconductor สามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้โดยการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในสนามแม่เหล็ก โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลใน conductor โดย cryotron คืออุปกรณ์ที่สร้างโดย Buck โดยใช้ลวด tantalum กับลวด niobium solenoid แล้วใช้เครื่อง computer เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของ helium เหลว แล้วกระแสจะถูกทำให้ไหลอย่างถาวรผ่านตัว superconducting niobium ซึ่งสามารถควบคุมสนามแม่เหล็กแรงสูงให้ผ่านไปยัง superconductor ตัว tantalum gate cryotron สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้ โดยการใส่กระแสที่มีปริมาณน้อยกว่ากระแสวิกฤตของ gate จะเห็นได้ว่า cryotron สามารถควบคุมปริมาณของกระแส ของ



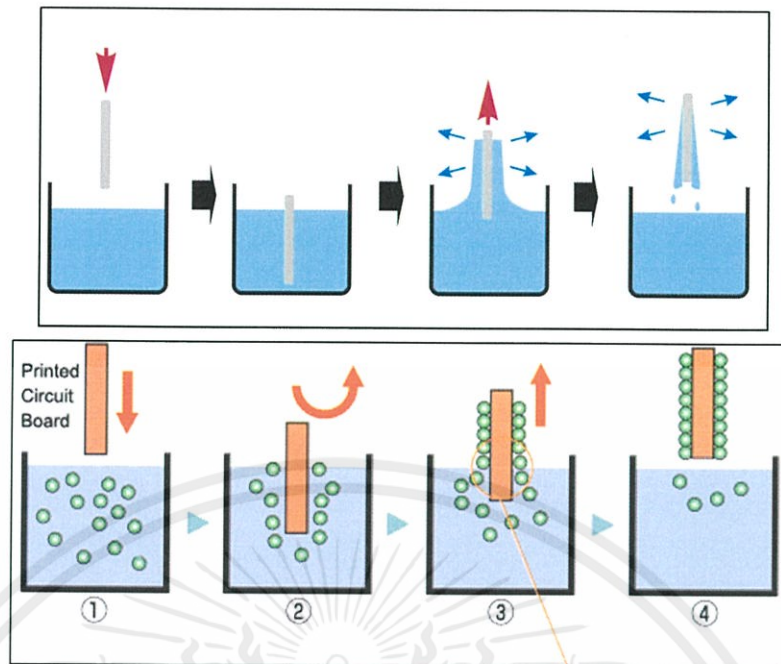
การจุ่มเคลือบ (dip coating) เป็นวิธีเคลือบที่ทำได้สะดวกและรวดเร็วเนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน ทำให้เหมาะสำหรับการเคลือบผลิตภัณฑ์อาหารที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และต้องการใช้ประโยชน์จากสารเคลือบอย่างเต็มที่ เช่นการจุ่มเคลือบสารเคมีลงบนฟิล์มบางหรือกระดาษ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ

ในกระบวนการจุ่มเคลือบแผ่นรองรับจะถูกจุ่มลงไปในสารละลายแล้วถูกดึงขึ้นจากสารละลาย โดยการควบคุมความเร็ว โดยทั่วไปแล้วความหนาในการเคลือบจะเพิ่มขึ้นโดยแผ่นรองรับจะถูกดึงในความเร็วที่เร็วขึ้น ความหนาของฟิล์มจะถูกกำหนดโดยความสมดุลของแรงที่จุดเฉื่อยชา หรือจุดหยุดนิ่ง (Stagnation) บนผิวของเหลว ความเร็วในการดึงที่เร็วขึ้นผิวของแผ่นรองรับจะดึงของเหลวได้มากขึ้นก่อนที่จะไหลกลับลงไปในสารละลาย ความหนาที่ได้จะเป็นผลมาจากความหนืดของของเหลว ความหนาแน่นของของเหลว แรงตึงผิว และความเร็วในการดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ

## 2.4 เทคนิคการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง

### 2.4.1 การวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction spectrometer, XRD)

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง รังสีเอ็กซ์เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งในสนามไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงแล้ววิ่งชนเป้าซึ่งทำด้วยโลหะหนัก ผลของการชนก่อให้เกิดรังสีเอ็กซ์ 2 ชนิด คือ รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-Ray) กับรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-Ray) รังสีเอ็กซ์จะเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึก เมื่อคลื่นผ่าน โครงสร้างผลึกออกมาจะเกิดการแทรกสอด (Interference) ทั้งแบบเสริมและหักล้างกัน วิลเลียม เฮนรี แบริก (William Henry Bragg) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ใน โครงสร้างผลึกไว้ว่า รังสีเอ็กซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุดเมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยความแตกต่างของทางเดินคลื่น (Path different) เป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เรียกกฎนี้ว่า กฎของแบรกก์ (Bragg's law) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

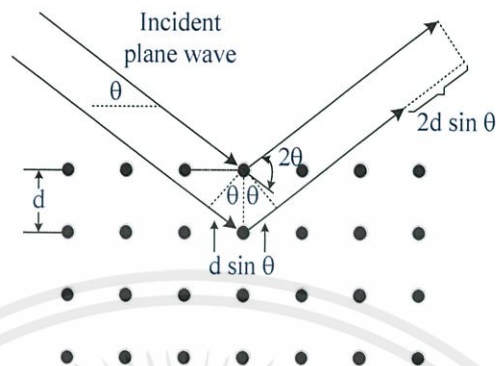
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ข้อมูลข้างต้นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n$  คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

$d_{hkl}$  คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ

$\theta$  คือ มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอ็กซ์ซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ



รูปที่ 2.9 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์ที่ระนาบของผลึก และให้ผลต่างทางเดินแสงเท่ากับ  $2d \sin \theta$

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนเสมอไป ระนาบใดที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์เรียกว่า ระนาบแบรกก์ (Bragg plane) แสดงดังรูปที่ 2.9 และมุมที่รังสีสะท้อนเท่ากับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่า มุมเลี้ยวเบน (Diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ความเข้ม (Intensity) ของรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนและมุมเลี้ยวเบนต่างๆ จะถูกตรวจหาด้วย X-Ray diffract meter นำค่าทั้งสองที่บันทึกไว้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

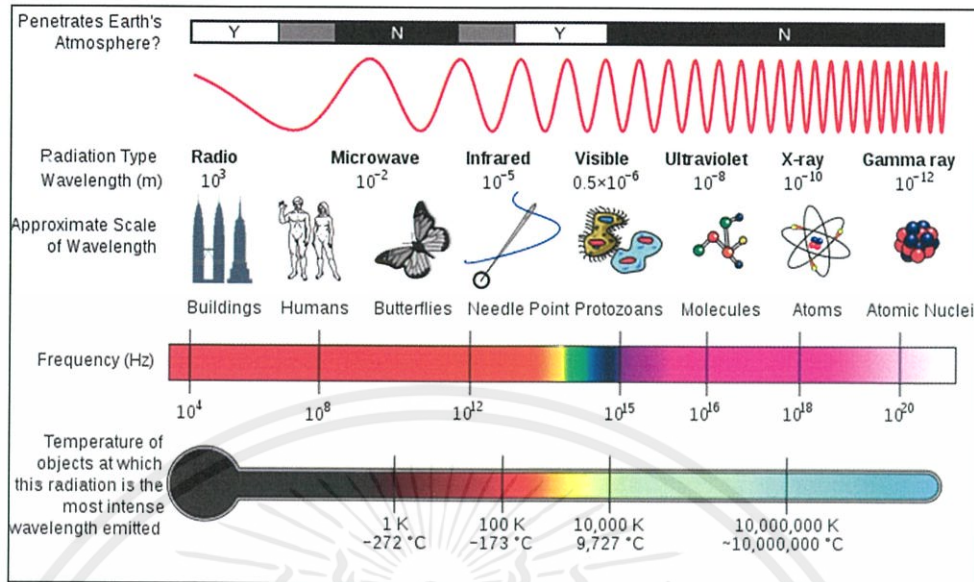
#### 2.4.2 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)

UV-Vis spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืน โดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

#### - UV-Vis Spectrum

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีแถบสเปกตรัม ตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (รวมทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์) ไปจนถึงช่วงความยาวคลื่นยาว (รวมถึงไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ) รังสียูวีและแสงขาวเป็นเพียงส่วนเล็กๆส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยมีความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร

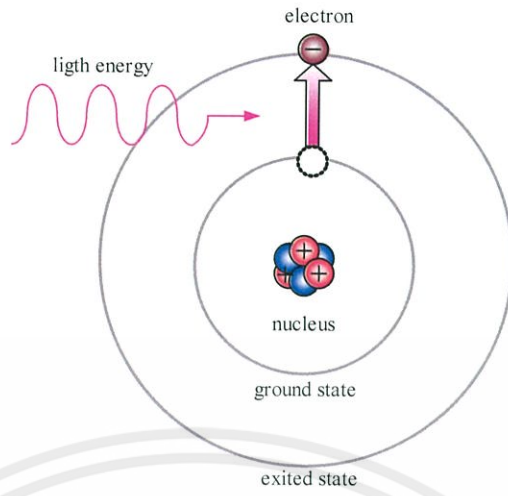


รูปที่ 2.10 แสดงแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

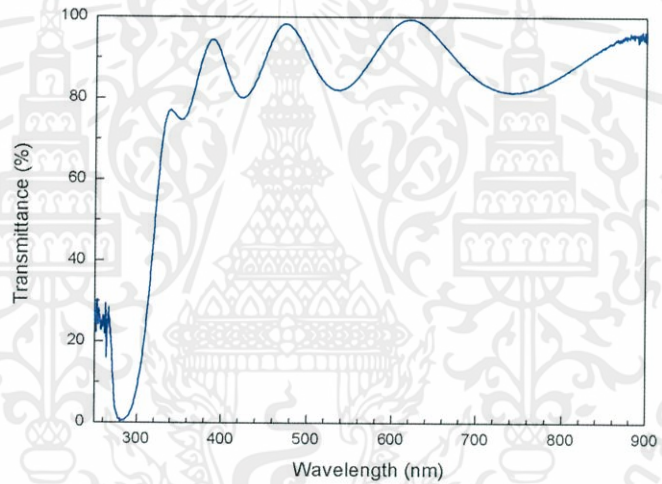
#### - UV-Vis Spectroscopy

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคนิค UV-Vis spectroscopy ได้ถูกนำไปใช้งานต่าง ๆ อย่างมากมาย แม้ว่าทุกวันนี้เครื่องมือที่นำเทคนิคนี้ไปใช้จะมีความแตกต่างจากเครื่องมือตัวแรกที่มีการพัฒนาขึ้นเป็นอย่างมาก แต่เครื่องมือเหล่านี้ก็ทำงานบนหลักการพื้นฐานเดียวกัน คือ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสาร เมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาว คลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสงหรือค่า absorbance ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถระบุชนิดและปริมาณของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

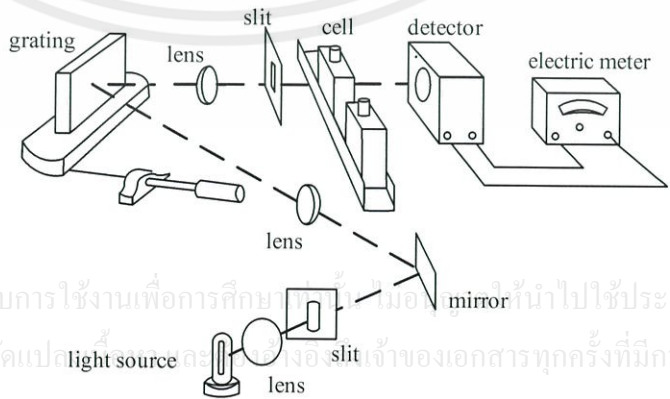
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นที่เหมาะสม



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมการส่องผ่านของแสงที่ได้จากการวัดตรวจสอบด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

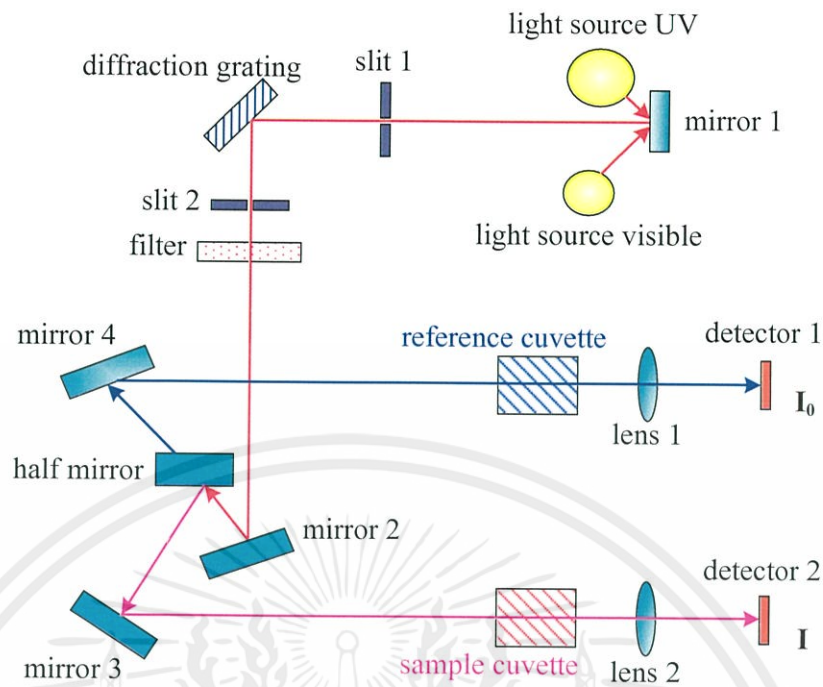
รูปที่ 2.13 แสดงแผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Single beam UV-Vis spectrophotometer

- UV-Vis Spectrophotometer

เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่นำเทคนิค UV-Vis spectroscopy ไปใช้งาน เครื่องมือตัวนี้ทำหน้าที่ในการตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่าง เปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด เครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลักๆที่เหมือนกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง เกรตติงหรือโมโนโครเมเตอร์ เซลล์ที่บรรจุ สารตัวอย่างและเครื่องตรวจวัดแหล่งกำเนิดแสง จะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ตัวที่นิยมใช้คือหลอดทังสแตน ฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2,500 นาโนเมตร สำหรับแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวีนั้นจะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอดคิวทีเรียม ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 160-375 นาโนเมตร แต่แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นต่างๆ ดังนั้นจึงต้องใช้ โมโนโครเมเตอร์เป็นตัวกระจายแสงออกเพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียวตามที่ต้องการ หลังจากนั้นแสงความยาวคลื่นค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ (cuvettes) ซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายในกว้าง 1 เซนติเมตร (ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าระยะทางเดินของแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างตามกฎของ Beer-Lambert) เครื่อง UV-Vis spectrophotometer บางรุ่นสามารถใช้หลอดทดลองเป็น cuvettes ได้ แต่ cuvettes ที่ดีที่สุดนั้นทำมาจากควอตซ์ที่มีคุณภาพสูง สำหรับ cuvettes ที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้นก็เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่สามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงแสงขาวเท่านั้น เพราะแก้วและพลาสติกดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านตัวอย่างมาถึงเครื่องตรวจวัด สำหรับเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ได้แก่ PMT (photomultiplier tube), diode arrays และ CCDs (charge coupled devices) เครื่องจะทำการบันทึกลำความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้จะแสดงในรูปของกราฟระหว่างค่า absorbance และค่าความยาวคลื่น เครื่อง UV-Vis spectrophotometer สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ แบบลำแสงเดี่ยว และแบบลำแสงคู่ สำหรับเครื่องแบบลำแสงเดี่ยวเป็นเครื่องที่ใช้ลำแสงเดียวจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องมือนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่ายสะดวกและมีราคาไม่แพงมากนัก

สำหรับเครื่องแบบลำแสงคู่ นั้นแสงจะถูกแยกออกเป็น 2 ลำก่อนที่จะไปตกลงบนตัวอย่าง โดยแสงลำหนึ่งจะใช้เป็นลำแสงอ้างอิงขณะที่อีกลำจะผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องมือที่เป็นแบบลำแสงคู่บางรุ่นจะมีเครื่องตรวจวัด 2 ตัว เพื่อที่จะตรวจวัดแสงอ้างอิงและแสงที่มาจากตัวอย่างได้พร้อมกัน แต่ในบางรุ่น จะมีเครื่องตรวจวัดเพียงตัวเดียว โดยแสงทั้งสองลำจะผ่านตัว beam chopper ซึ่งจะทำหน้าที่กักแสงลำหนึ่งไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเครื่องตรวจวัดจึงสามารถตรวจวัดความแตกต่างของแสงทั้งสองลำได้

เอกสารนี้เป็นหน้าที่กักแสงลำหนึ่งไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเครื่องตรวจวัดจึงสามารถตรวจวัดความแตกต่างของแสงทั้งสองลำได้



รูปที่ 2.14 แสดงแผนผังส่วนประกอบของเครื่อง Double beam UV-Vis spectrophotometer

### 2.4.3 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy)

Infrared (IR) Spectroscopy เป็นหนึ่งในเทคนิค Spectroscopic ที่นำไปใช้ในทางเคมีอินทรีย์และ เคมีอนินทรีย์ โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่มีความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละพันธะ หรืออาจเรียกได้ว่าเป็น ลายพิมพ์โมเลกุล

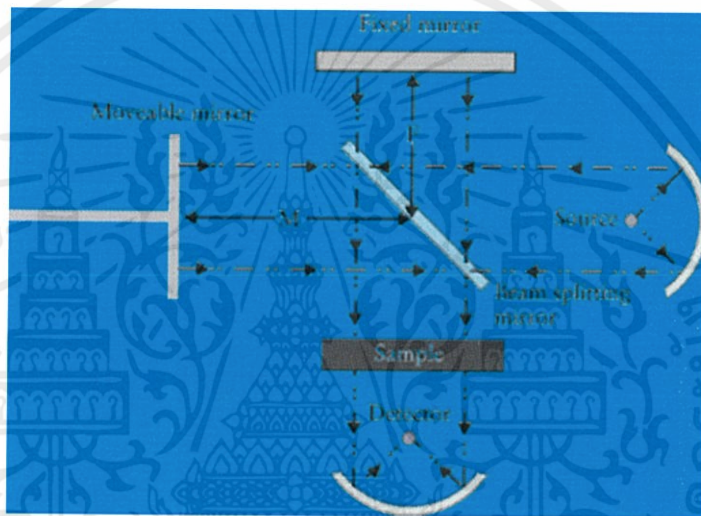
IR Spectroscopy สามารถแยกเป็น 2 ประเภท คือ Dispersive Infrared Spectroscopy และ Fourier Transform Infrared Spectroscopy

การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา เมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล โมเลกุลก็จะดูดกลืนรังสี จำนวนแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่สังเกตได้จะมีค่าไม่เท่ากับการสั่นมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะจะมีบางแถบพลังงานที่ไม่มีการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรด

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy มีประโยชน์มากสำหรับการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส FTIR ได้เข้ามาแทนที่ Dispersive Infrared Spectrometer เมื่อไม่นานมานี้ เพื่อใช้ในงานที่ต้องการความรวดเร็วและ

ความไวสูง นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์สารในช่วงที่ Dispersive วิเคราะห์ได้ยากหรือเกือบจะเป็นไปไม่ได้

ส่วนประกอบในระบบ FTIR มีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดรังสี Interferometer และเครื่องตรวจวัด FTIR จะใช้แหล่งกำเนิดรังสีชนิดเดียวกับแบบ Dispersive อย่างไรก็ดี แหล่งกำเนิดรังสีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะให้กำลังและความเสถียรมากกว่าแหล่งกำเนิดทั่วไป แต่สำหรับตัวแยกรังสีของ FTIR จะเป็น Interferometer แทนที่โมโนโครเมเตอร์ ใน Dispersive โดย Interferometer จะแยกลำรังสีออก ทำให้เกิด Path difference ระหว่างลำแสง แล้วทำการรวมสัญญาณการแทรกสอดซึ่งเป็นฟังก์ชันกับ Path difference โดยเครื่องตรวจวัด



รูปที่ 2.15 แสดงส่วนประกอบของ Fourier Transform Infrared Spectrometer

#### ข้อดี-ข้อจำกัด

FTIR ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความไวสูง (โดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 1-5 นาที) โดยมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise; S/N) ต่ำ อัตรา S/N จะแปรผันกับรากที่สองของปริมาณสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด ความไวของเครื่องตรวจวัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่ม S/N ร่วมกับการเพิ่มจำนวนรอบของแสง มีการใช้ circular optical aperture แทนที่ entrance slit ทำให้ลำรังสีมีขนาดมากกว่าแบบ Dispersive ถึง 75-100 เท่า มีกำลังแสงสูงขึ้น เหมาะสำหรับตัวอย่างหรือเทคนิคบางเทคนิคที่มีข้อจำกัดของกำลังแสง นอกจากนี้ FTIR ยังให้ประสิทธิภาพในการแยกสูงรวมทั้งมีความถูกต้องไม่ต่ำกว่า  $0.01 \text{ cm}^{-1}$  มีกลไกการทำงานที่ง่าย แต่ FTIR มีข้อจำกัดในการเตรียมตัวอย่างบางเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายที่ยินยอมให้รังสีทะลุผ่านและตัวอย่างจะต้อง active ในช่วงอินฟราเรด นอกจากนี้ เครื่องมือที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูงและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

#### 2.4.4 เครื่องตรวจสอบประเภทของวัสดุหรือสารด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectrometer)



รูปที่ 2.16 Raman Spectrometer

รามานเป็นปรากฏการณ์ในการกระเจิงของแสงรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการที่แสงตกกระทบวัตถุและส่งผลทำให้โมเลกุลของสารถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะเร้า(หากพิจารณาให้ลึกซึ้งเข้าไปในระดับโมเลกุล ก็คือการที่พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลถูกชักนำให้มีสภาพขั้วหรือ polarizability เปลี่ยนแปลงไป) และเมื่อโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นพยายามที่จะกลับคืนสู่สถานะปกติซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า (และไม่มี dipole moment ในพันธะเคมี) ก็จะทำให้เกิดการกระเจิงแสง (scattered light) ออกมา ข้อมูลที่ได้จากการกระเจิงในแบบรามานนี้ ก็มีประโยชน์มากในการนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์พอลิเมอร์ (และนิยมใช้เสริมกับเทคนิคอินฟราเรด) สิ่งที่น่าสนใจในส่วนของการกระเจิงแบบรามาน ก็คือการที่ผลต่างของพลังงาน(หรือความถี่)ของแสงที่ตกกระทบกับพลังงานแสงที่กระเจิง (เรียกว่า Raman shift) จะมีค่าตรงกันกับพลังงาน (หรือความถี่) ของพันธะในการสั่นของโมเลกุลที่วัดได้จากเทคนิคอินฟราเรด

การตรวจสอบด้วยเทคนิครามาน

- ใช้ตรวจสอบประเภทของสารตัวอย่างทั้งชนิด ของแข็ง ของเหลว ผง โดยใช้หลักการของ Raman Spectroscopy
- ใช้เทคนิคการวัดแบบ Fiber Optic Spectrometer ร่วมกับซอฟต์แวร์ AvaSoft-Raman หรือ Panorama-Raman

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้หลักตรวจสอบโดยการวัดเปรียบเทียบสเปกตรัมการกระเจิงแสงแบบรามาน ( Raman Light Scattering ) ของวัสดุ หรือสารที่กำลังตรวจสอบ กับสเปกตรัมของสารมาตรฐานที่ได้บันทึกไว้หรือที่มีอยู่แล้วใน Library ของฐานข้อมูล
  - เหมาะสำหรับการใช้ในการพิสูจน์ทราบชนิดของสารได้เกือบทุกชนิด เช่น ยาเสพติด , อัญมณี , วัตถุคืบ เป็นต้น
  - เทคนิครามานเป็นเทคนิคที่
    - ไม่ต้องเตรียมตัวอย่าง
    - ไม่ต้องวัดค่าสเปกตรัมอ้างอิง
    - วัดค่าสเปกตรัมได้ละเอียดกว่าเทคนิค NIR
    - วัดตัวอย่างที่เทคนิค NIR หรือ IR วัดไม่ได้
    - วัดได้กับตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก
    - วัดผ่านภาชนะใส่ตัวอย่างที่เป็น ควอตซ์ แก้ว พลาสติก ได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับตัวอย่าง
  - มีฐานข้อมูลสเปกตรัมของวัสดุหรือสารมาตรฐาน ( Spectral Library ) ที่ใช้งานทางด้านกรวิจัยและพัฒนา และด้านอุตสาหกรรมชนิดต่างๆให้เลือกมากมาย เช่น Inorganic/Organic/Materials/Pharmaceutical/Cosmetic เป็นต้น
  - วัดค่าได้ในแบบต่อเนื่อง ( Real time On-line ) จึงสามารถใช้เพื่อการ Monitoring ปฏิกิริยาต่างๆได้ ( Kinetics )
  - นำไปใช้วัดเพื่อการควบคุมคุณภาพได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ หรือในกระบวนการผลิต ( Process Analytical )
  - เคลื่อนย้ายได้ ( Portable ) น้ำหนักเบา สามารถออกแบบให้วัดพร้อมกันได้หลายๆจุดในกระบวนการผลิต
- การประยุกต์ใช้งาน
- ใช้จำแนกแยกแยะประเภทและชนิดต่างๆของอัญมณี , หาวัสดุหรือธาตุเจือปนในเนื้ออัญมณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 CD เป็นต้น

- ใช้จำแนกสารประกอบอนินทรีย์ เช่น Bariumsulfate Potassiumnitrate Rutile & Anatase titaniumdioxide เป็นต้น
- ใช้จำแนกสารประกอบอินทรีย์ เช่น Toluene Acetone Methanol เป็นต้น
- ใช้วิเคราะห์โครงสร้างผิวของแผ่น Wafer Sensor Semiconductor เพื่อหาร่องรอยความเสียหาย
- ใช้พิสูจน์และจำแนกยาชนิดต่างๆ เช่น พาราเซตามอล ไวอากร้า ยาปลอม เป็นต้น
- ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น น้ำมันไบโอดีเซล หรือน้ำมันชนิดอื่นๆ เป็นต้น
- ใช้ในการเฝ้าระวังปฏิกิริยาและวิเคราะห์กระบวนการทางเคมี ( Kinetics ) เช่น กระบวนการ Polymerizations เป็นต้น
- ใช้หาสารพิษในน้ำ เป็นต้น

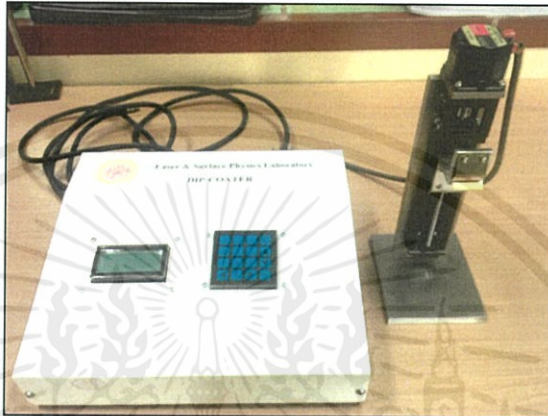


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่อง Dip Coating



รูปที่ 3.1 เครื่อง Dip Coating

เครื่อง Dip Coating เป็นเครื่องที่มีระบบการทำงานแบบอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานโดยระบบคอลโทรลเลอร์ และป้อนข้อมูลชุดคำสั่งที่เราต้องการให้ตัวมอเตอร์ขับเคลื่อนไปด้วยคีย์แพด เครื่อง Dip Coating จะแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ชุดควบคุมการทำงาน

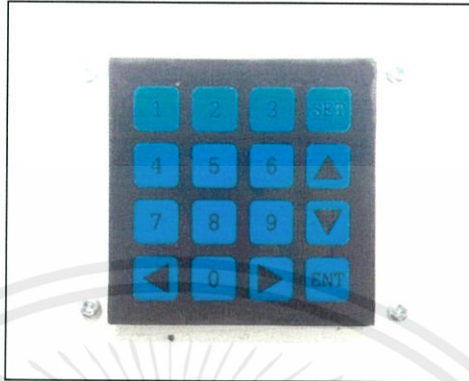


รูปที่ 3.2 ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่อง Dip Coating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่อง Dip Coating นั้นจะประกอบไปด้วย

- หน้าจอแสดงผล
- คีย์แพด



รูปที่ 3.3 คีย์แพดของเครื่อง Dip Coating

ปุ่มต่างๆบนคีย์แพด

- SET = เข้าสู่หน้าจอหลักพร้อมกับตั้งค่า
- ▲ ▼ = เลื่อนมอเตอร์ขึ้น-ลง
- ◀ = กลับสู่เมนูหลัก
- ▶ = ไปตั้งค่าหน้าต่อไป
- ENT = ส่งคำสั่งเพื่อให้ระบบทำงาน

ในส่วนของหน้าจอแสดงผลนั้นจะใช้ในการกำหนดค่าต่างๆให้กับตัวเครื่องเพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามที่เราได้กำหนดค่าต่างๆลงไป โดยเริ่มแรก กด SET เพื่อ เข้าสู่เมนูหลัก



รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของเครื่องเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

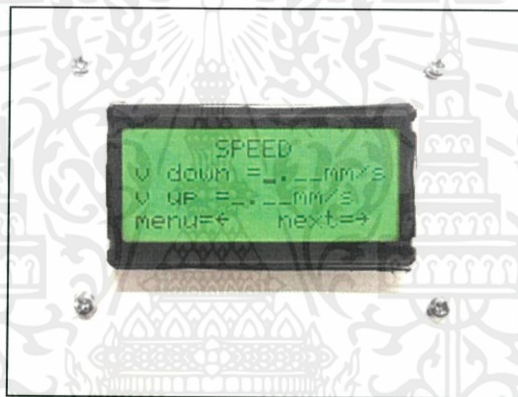
เข้าสู่หน้าจอหลักเพื่อกำหนดค่าต่างๆ โดยเข้าไปตั้งค่า Speed , Distance , Time , Round

โดยการกดที่ปุ่ม 1 , 2 , 3 , 4 บนคีย์แพด ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 เมนูการตั้งค่า

กด 1 SPEED : ตั้งค่าความเร็วในการจุ่มและความเร็วในการดึงขึ้น ตามที่ต้องการ โดยหน่วยของความเร็วจะเป็นมิลลิเมตรต่อวินาที กด “>” เพื่อไปตั้งค่าหน้าถัดไป



รูปที่ 3.6 เมนูการตั้งค่าความเร็ว

กด 2 DISTANCE : ตั้งค่าระยะทางที่เราต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป หน่วยของระยะทางจะเป็นมิลลิเมตร โดยมอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางสูงสุด 90 มิลลิเมตร กด “>” เพื่อไปตั้งค่าหน้าถัดไป



รูปที่ 3.7 เมนูการตั้งค่าระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กด 3 TIME : ตั้งค่าเวลาในการแช่และเวลาในการพักเพื่อให้แผ่นรองรับแห้ง มีหน่วยเป็นวินาที กด “>” เพื่อไปตั้งค่าน้ำถัดไป



รูปที่ 3.8 เมนูการตั้งค่าเวลา

กด 4 ROUND : ตั้งค่าจำนวนรอบในการจุ่ม กด “ENT” เพื่อให้เครื่องทำงาน



รูปที่ 3.9 เมนูการตั้งค่าจำนวนรอบ

## 2. ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์



รูปที่ 3.10 ระบบมอเตอร์ของเครื่อง Dip Coating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

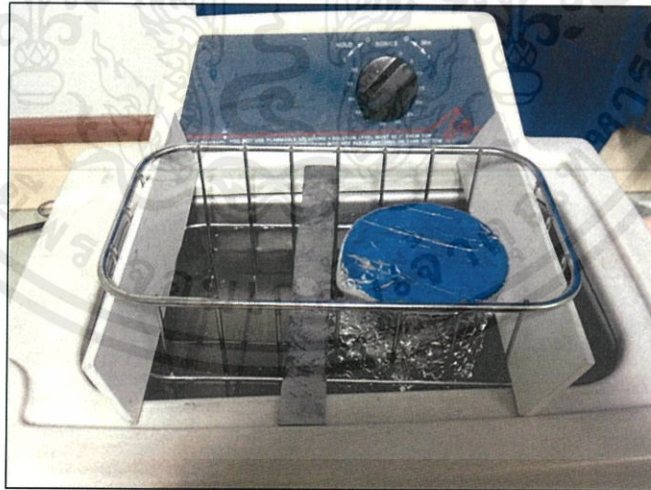
### 3.2 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นกระจก

#### 3.2.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้

- กระจกสไลด์ ขนาด กว้าง 2.5 cm. ยาว 7.5 cm. และมีความหนา 1 mm.
- อะซิโตน (Acetone)
- เมทานอล (Methanol)
- น้ำปอดประจุ (DI water)
- น้ำยาล้างจาน
- น้ำกลั่น

#### 3.2.2 ขั้นตอนการล้างกระจก

- ล้างกระจกสไลด์ด้วยน้ำยาล้างจาน นาน 20 นาที
- ล้างน้ำยาล้างจานออกด้วยน้ำกลั่น นาน 20 นาที
- ล้างในอะซิโตน นาน 20 นาที
- ล้างต่อในเมทานอล นาน 20 นาที
- ขั้นตอนสุดท้าย ล้างด้วยน้ำปอดประจุ นาน 20 นาที
- นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.11 การล้างกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง ultrasonic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนการผสมสาร

#### 3.3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้

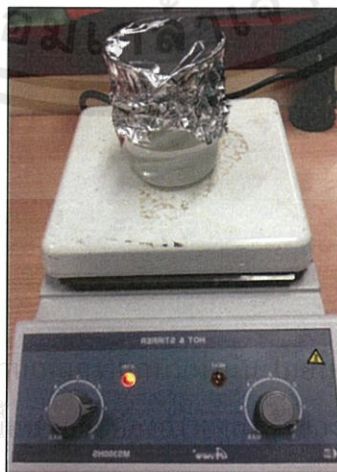
- ZINC ACETATE
- 2-METHOXYETHANOL
- ETHANOLAMINE
- บีกเกอร์
- MAGNETIC BAR
- กระจกฟรอยด์



รูปที่ 3.12 สารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมของสารละลาย ZnO

#### 3.3.2 ขั้นตอนการผสมสารละลาย

1. ผสม 2-METHOXYETHANOL กับ ETHANOLAMINE กระตุ้นให้เข้ากัน
2. เติม ZINC ACETATE ในสารละลาย กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.13 กระตุ้นสารละลายด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ

ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ได้สารละลาย ZnO เหลวใส ไม่มีสี



รูปที่ 3.14 สารละลาย ZnO

### 3.4 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์ม

#### 3.4.1 ความเข้มข้นของสารละลาย 0.35M

##### กำหนดพารามิเตอร์ควบคุม

- SPEED V DOWN = 2 mm/s
- DISTANCE = 60 mm
- TIME IMMERSE = 60 s
- TIME HOLDING = 0 s
- อุณหภูมิหลังเคลือบ 300 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิครั้งสุดท้าย 500 องศาเซลเซียส

##### กำหนดพารามิเตอร์ที่จะศึกษา

##### ตัวอย่าง 1

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 1 cycle

##### ตัวอย่าง 2

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 2 cycle

##### ตัวอย่าง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสาร - SPEED V UP = 6 mm/s งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น - ROUND = 3 cycle ปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตัวอย่าง 4**

- SPEED V UP = 0.5 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**ตัวอย่าง 5**

- SPEED V UP = 2 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**ตัวอย่าง 6**

- SPEED V UP = 4 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**3.4.2 ความเข้มข้นของสารละลาย 0.1M****กำหนดพารามิเตอร์ควบคุม**

- SPEED V DOWN = 2 mm/s
- DISTANCE = 60 mm
- TIME IMMERSE = 60 s
- TIME HOLDING = 0 s
- อุณหภูมิหลังเคลือบ 300 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิครั้งสุดท้าย 500 องศาเซลเซียส

**กำหนดพารามิเตอร์ที่จะศึกษา****ตัวอย่าง 7**

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**ตัวอย่าง 8**

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 2 cycle

**ตัวอย่าง 9**

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 3 cycle

**ตัวอย่าง 10**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SPEED V UP = 0.5 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**ตัวอย่าง 11**

- SPEED V UP = 2 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**ตัวอย่าง 12**

- SPEED V UP = 4 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**3.4.3 ความเข้มข้นของสารละลาย 0.5M****กำหนดพารามิเตอร์ควบคุม**

- SPEED V DOWN = 2 mm/s
- DISTANCE = 60 mm
- TIME IMMERSE = 60 s
- TIME HOLDING = 0 s
- อุณหภูมิหลังเคลือบ 300 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิครั้งสุดท้าย 500 องศาเซลเซียส

**กำหนดพารามิเตอร์ที่จะศึกษา****ตัวอย่าง 13**

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**ตัวอย่าง 14**

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 2 cycle

**ตัวอย่าง 15**

- SPEED V UP = 6 mm/s
- ROUND = 3 cycle

**ตัวอย่าง 16**

- SPEED V UP = 4 mm/s
- ROUND = 1 cycle

**ตัวอย่าง 17**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SPEED V UP = 4 mm/s
- ROUND = 2 cycle

**ตัวอย่าง 18**

- SPEED V UP = 4 mm/s
- ROUND = 3 cycle



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการจุ่มเคลือบฟิล์มด้วยเครื่อง Dip Coating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทำการทดลองสังเคราะห์ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์(ZnO)โดยเลือกใช้เทคนิคการจุ่มเคลือบ ( Dip Coating ) ทำการจุ่มเคลือบลงบนกระจกใส โดยเลือกทำการศึกษาที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 0.1M , 0.35M , 0.5M และเลือกใช้ความเร็วในการจุ่มเคลือบที่แตกต่างกันเพื่อทำการสังเคราะห์ฟิล์มให้มีลักษณะที่บางและใส

#### 4.1 ลักษณะของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกใสได้และศึกษาคุณสมบัติการส่งผ่านแสงและการดูดกลืนแสง

##### 4.1.1 เงื่อนไขที่ 1

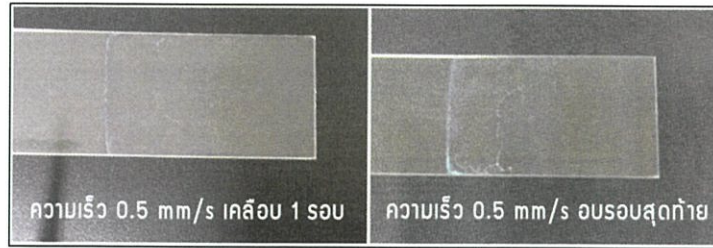
1. ความเข้มข้นของ ZnO 0.1M
2. ความเร็วในการดึงลง 2 mm/s
3. ความเร็วในการดึงขึ้นแตกต่างกัน โดยเลือกใช้ความเร็ว
  - 0.5 mm/s (ก)
  - 2 mm/s (ข)
  - 4 mm/s (ค)
  - 6 mm/s เคลือบ 1,2,3 รอบ (ง)
4. ระยะเวลาในการแช่กระจกในการละลาย ZnO เป็นเวลา 60 วินาที
5. อบหลังจุ่มเคลือบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที
6. อบรอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิ ครั้งละ 50 องศาเซลเซียสทุกๆ 15 นาที จนถึง 500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการอบฟิล์มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.1 กระจกเปล่าที่ยังไม่ได้ทำการจุ่มเคลือบ

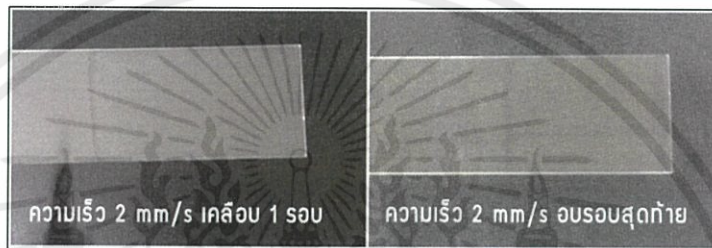
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ...  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก...

(ก) ความเร็วในการดึงขึ้น 0.5 mm/s



รูปที่ 4.2 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ก)

(ข) ความเร็วในการดึงขึ้น 2 mm/s



รูปที่ 4.3 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ข)

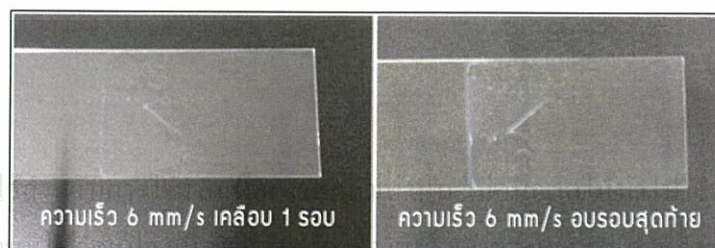
(ค) ความเร็วในการดึงขึ้น 4 mm/s



รูปที่ 4.4 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ค)

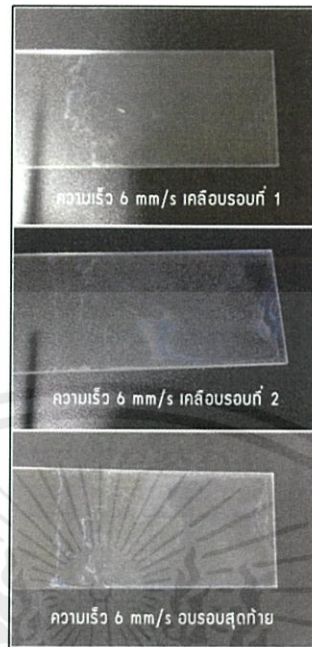
(ง) ความเร็วในการดึงขึ้น 6 mm/s

- เคลือบ 1 รอบ



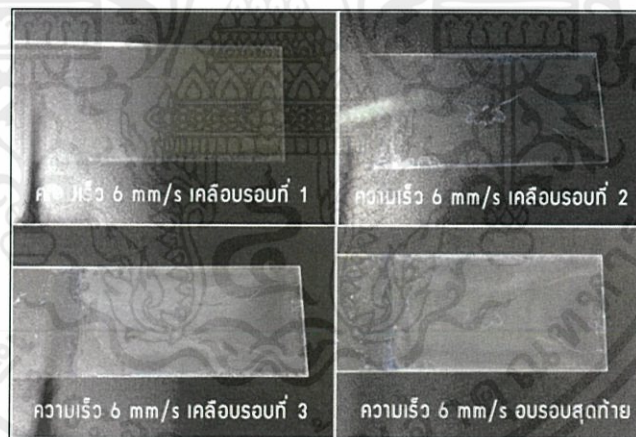
รูปที่ 4.5 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ง) จำนวน 1 รอบ

- เคลือบ 2 รอบ



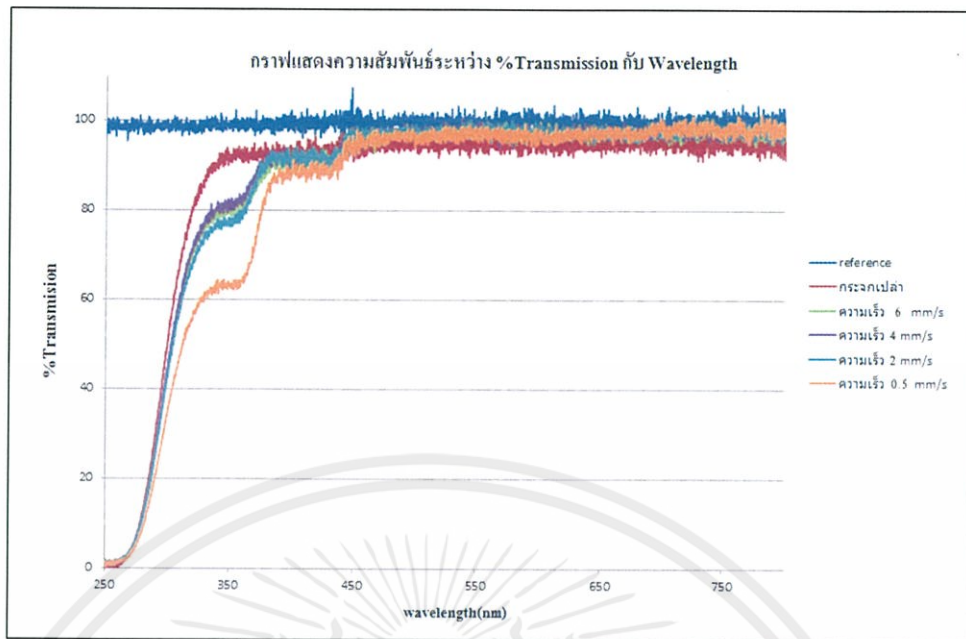
รูปที่ 4.6 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ง) จำนวน 2 รอบ

- เคลือบ 3 รอบ

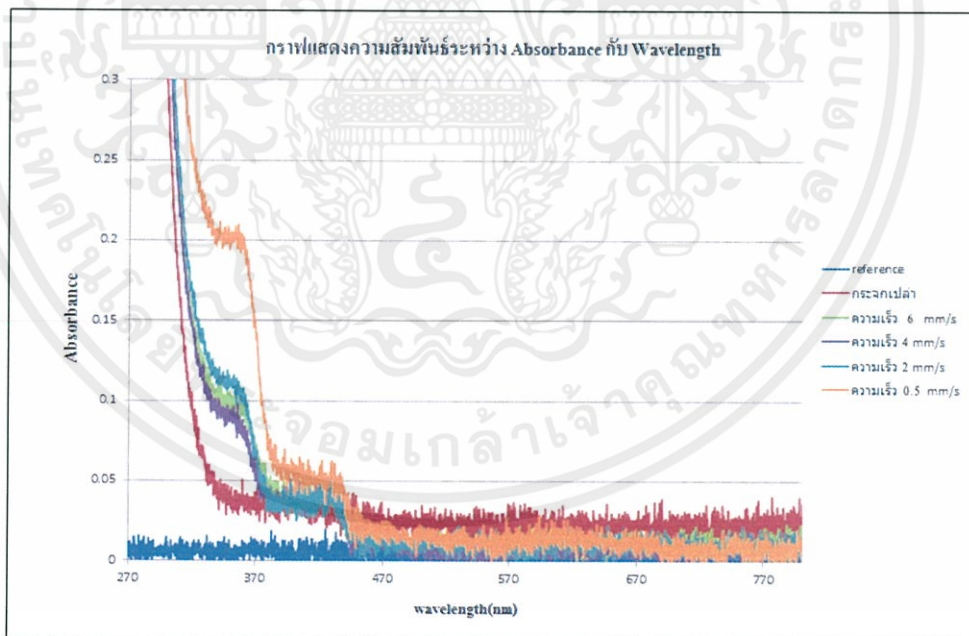


รูปที่ 4.7 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ง) จำนวน 3 รอบ

จากการศึกษาสเปกตรัมแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ทำกรเตรียมด้วยวิธีการจุ่มเคลือบที่ความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 0.1M นั้นพบว่าค่าการส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสงที่ความเร็วต่างๆเทียบกับกระจกเปล่าที่ยังไม่ได้ทำการจุ่มเคลือบนั้นที่ความเร็วในการดึงกระจกขึ้นจากเอกรสารนี้เป็นสารละลายถ้าทำการดึงขึ้นด้วยความเร็วมากๆและสม่ำเสมอจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความบางและใสกว่าการดึงขึ้นด้วยความเร็วต่ำๆและเมื่อทำการเคลือบฟิล์มด้วยจำนวนรอบที่มากขึ้นก็จะทำให้ค่าการส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสงไม่ดีเนื่องจากฟิล์มมีความหนา

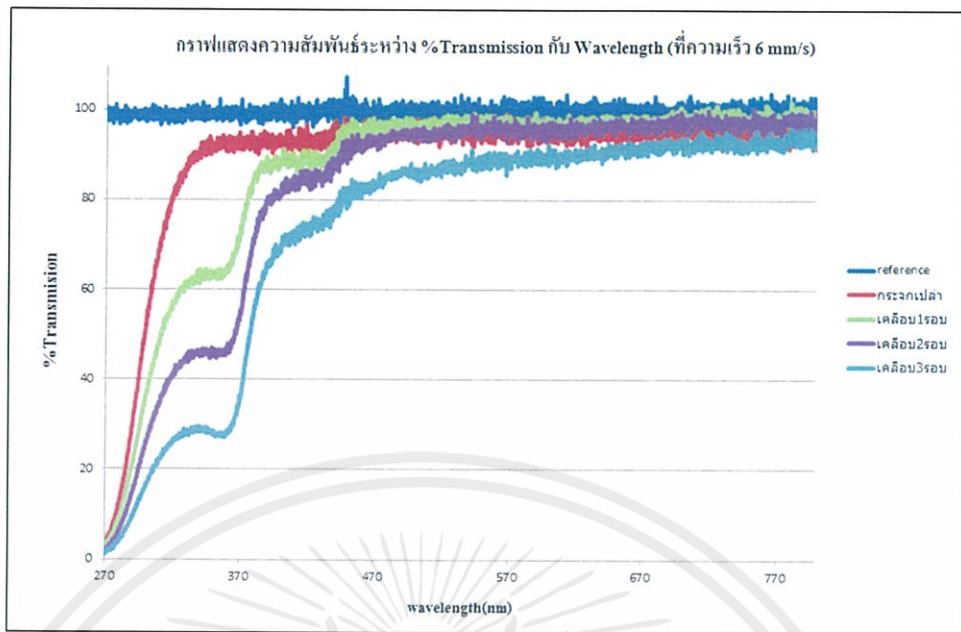


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.1M

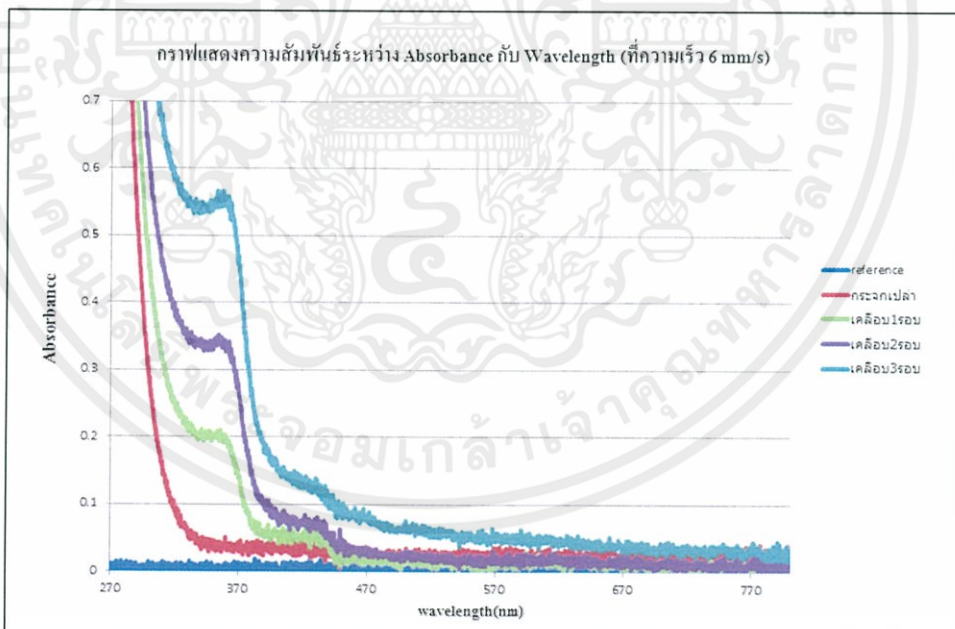


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.1M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 0.1M



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ ที่ความเร็ว 6 mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 0.1M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 เงื่อนไขที่ 2

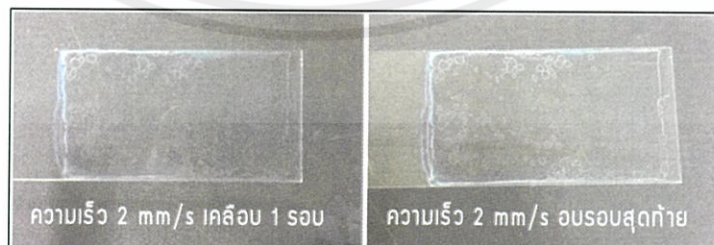
1. ความเข้มข้นของ ZnO 0.35M
2. ความเร็วในการดึงลง 2 mm/s
3. ความเร็วในการดึงขึ้นแตกต่างกันโดยเลือกใช้ความเร็ว
  - 0.5 mm/s (จ)
  - 2 mm/s (ฉ)
  - 4 mm/s (ช)
  - 6 mm/s เคลือบ 1,2,3 รอบ (ซ)
4. ระยะเวลาในการแห้งระจกในการละลาย ZnO เป็นเวลา 60 วินาที
5. อบหลังจุ่มเคลือบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที
6. อบรอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิ ครั้งละ 50 องศาเซลเซียสทุกๆ 15 นาที จนถึง 500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการอบฟิล์มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(จ) ความเร็วในการดึงขึ้น 0.5 mm/s



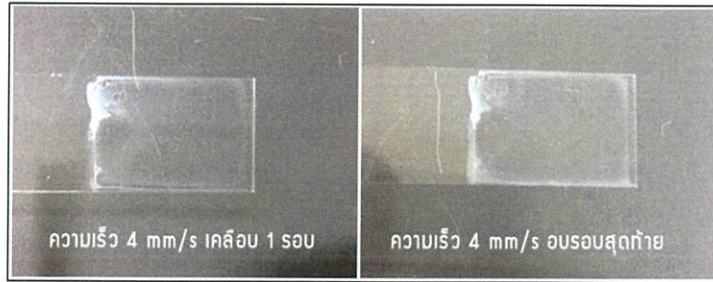
รูปที่ 4.12 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (จ)

(ฉ) ความเร็วในการดึงขึ้น 2 mm/s



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 4.13 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

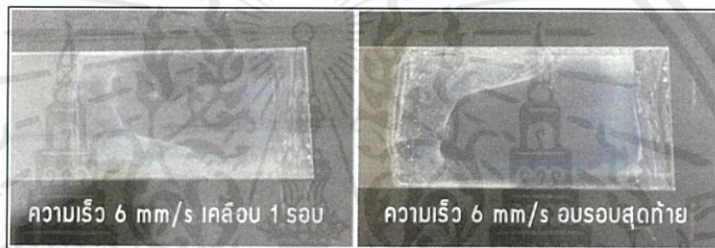
(ช) ความเร็วในการดึงขึ้น 4 mm/s



รูปที่ 4.14 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ช)

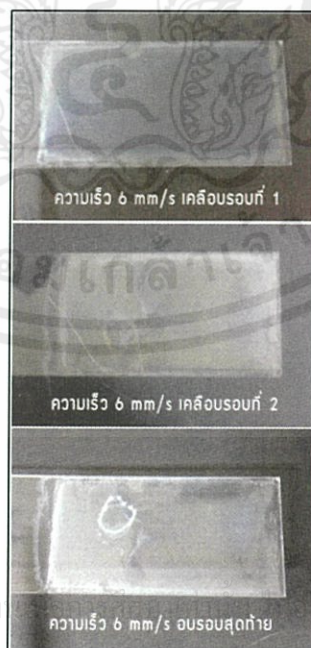
(ซ) ความเร็วในการดึงขึ้น 6 mm/s

- เคลือบ 1 รอบ



รูปที่ 4.15 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ซ) จำนวน 1 รอบ

- เคลือบ 2 รอบ



รูปที่ 4.16 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ซ) จำนวน 2 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

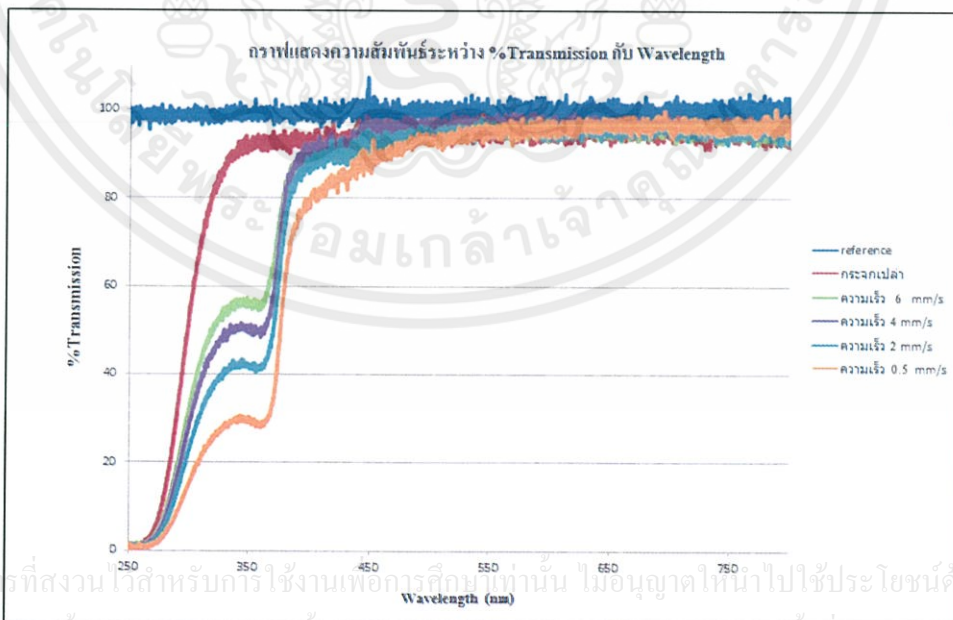
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เคลือบ 3 รอบ

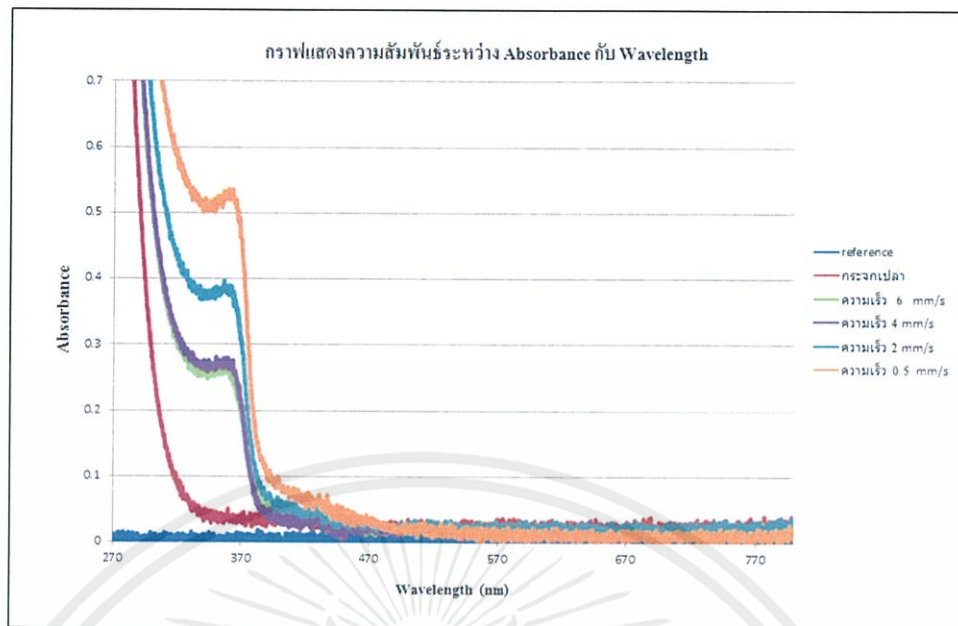


รูปที่ 4.17 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ซ) จำนวน 3 รอบ

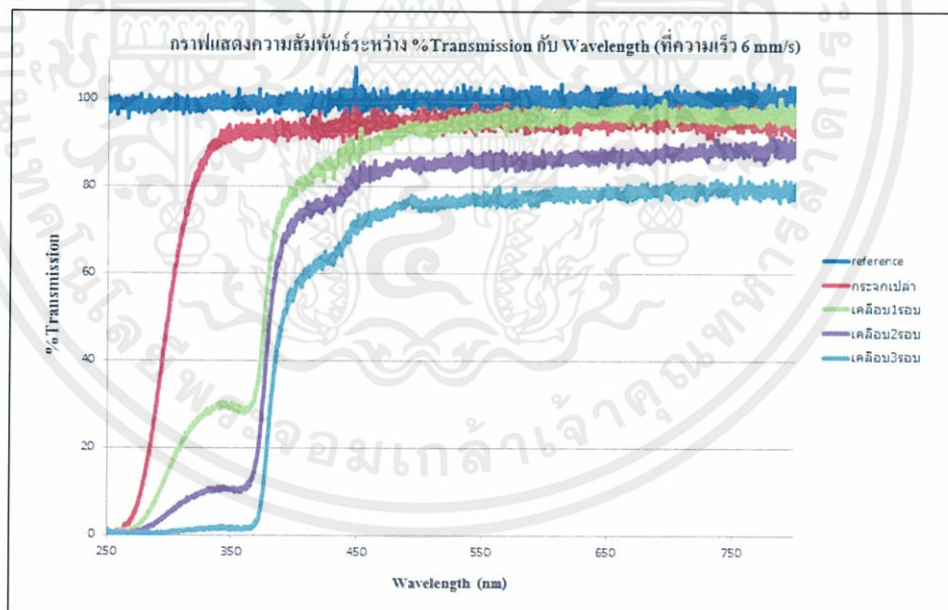
จากการศึกษาสเปกตรัมแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ทำเตรียมด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ ที่ความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 0.35M นั้นพบว่าค่าการส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสงที่ ความเร็วต่างๆเทียบกับกระจกเปล่าที่ยังไม่ได้ทำการจุ่มเคลือบนั้นที่ความเร็วในการดึงกระจกขึ้น จากสารละลายถ้าทำการดึงขึ้นด้วยความเร็วมากและสม่ำเสมอจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความบางและ ไสกว่าการดึงขึ้นด้วยความเร็วต่ำๆ เมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้น พบว่าค่าการ ส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางจะลดต่ำลงเนื่องจากการที่สารละลายมีความเข้มข้น มากขึ้นนั้นจะทำให้ฟิล์มบางที่ได้มีความหนามากขึ้นกว่าเดิม



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.35M

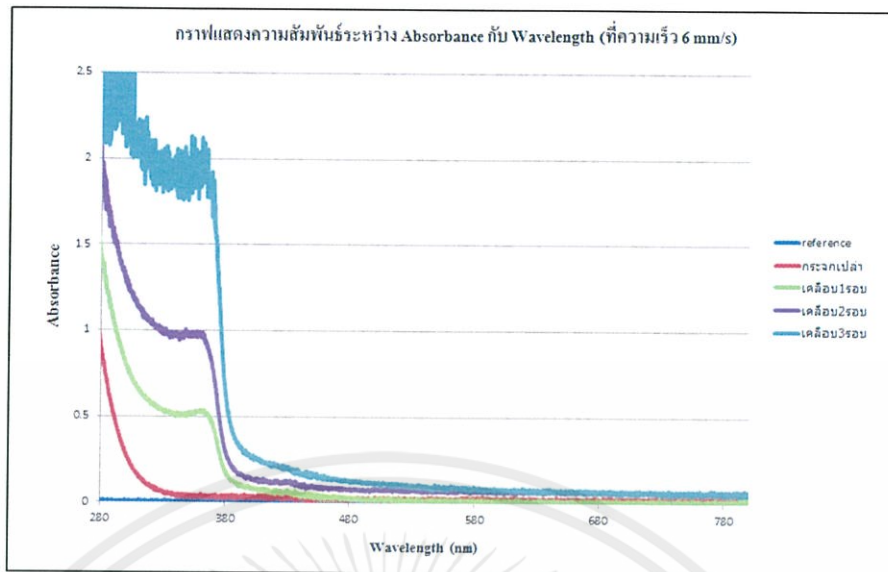


รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงโครนิกซ์ที่ความเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกันที่ความเข้มข้น 0.35M



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงโครนิกซ์ที่ความเร็ว 6mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 0.35M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



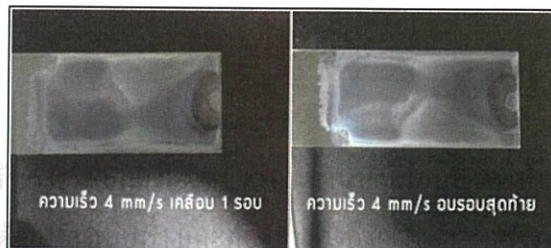
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ ที่ความเร็ว 6 mm/s และแตกต่างกันที่จำนวนรอบที่เคลือบฟิล์มความเข้มข้น 0.35M

#### 4.1.3 เงื่อนไขที่ 3

1. ความเข้มข้นของ ZnO 0.5M
2. ความเร็วในการดึงลง 2 mm/s
3. ความเร็วในการดึงขึ้นแตกต่างกันโดยเลือกใช้ความเร็ว
  - 4 mm/s โดยทำการจุ่มเคลือบ 1,2,3 รอบ (ฉ)
  - 6 mm/s โดยทำการจุ่มเคลือบ 1,2,3 รอบ (ญ)
4. ระยะเวลาในการแช่กระจกในการละลาย ZnO เป็นเวลา 60 วินาที
5. อบหลังจุ่มเคลือบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที
6. อบรอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิ ครั้งละ 50 องศาเซลเซียสทุกๆ 15 นาที จนถึง 500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการอบฟิล์มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(ฉ) ความเร็วในการดึงขึ้น 4 mm/s

- เคลือบ 1 รอบ



รูปที่ 4.22 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) จำนวน 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้

ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เคลือบ 2 รอบ



รูปที่ 4.23 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) จำนวน 2 รอบ

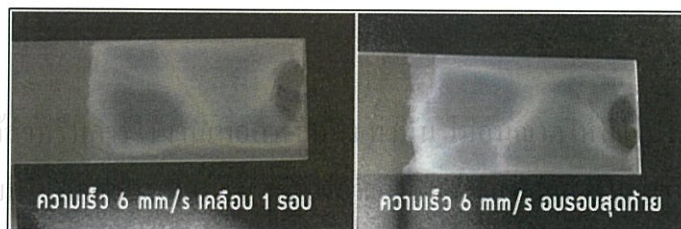
- เคลือบ 3 รอบ



รูปที่ 4.24 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) จำนวน 3 รอบ

(ญ) ความเร็วในการดึงขึ้น 6 mm/s

- เคลือบ 1 รอบ

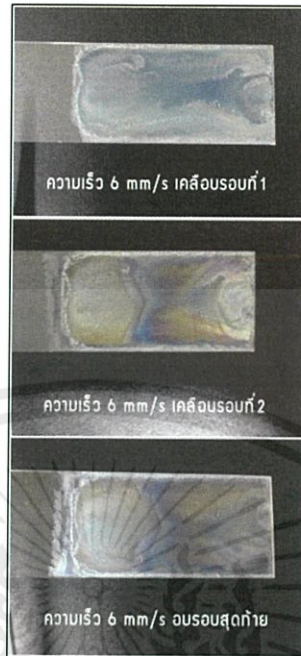


รูปที่ 4.25 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ญ) จำนวน 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม

ไปประโยชน์ด้านการค้า  
ที่มีการนำไปใช้

- เคลือบ 2 รอบ



รูปที่ 4.26 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ญ) จำนวน 2 รอบ

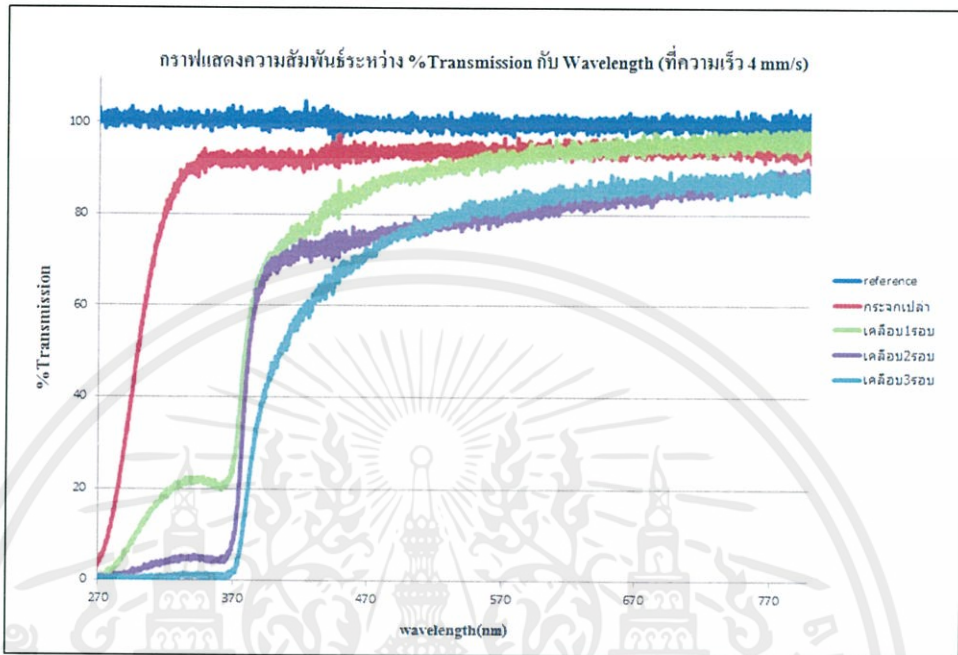
- เคลือบ 3 รอบ



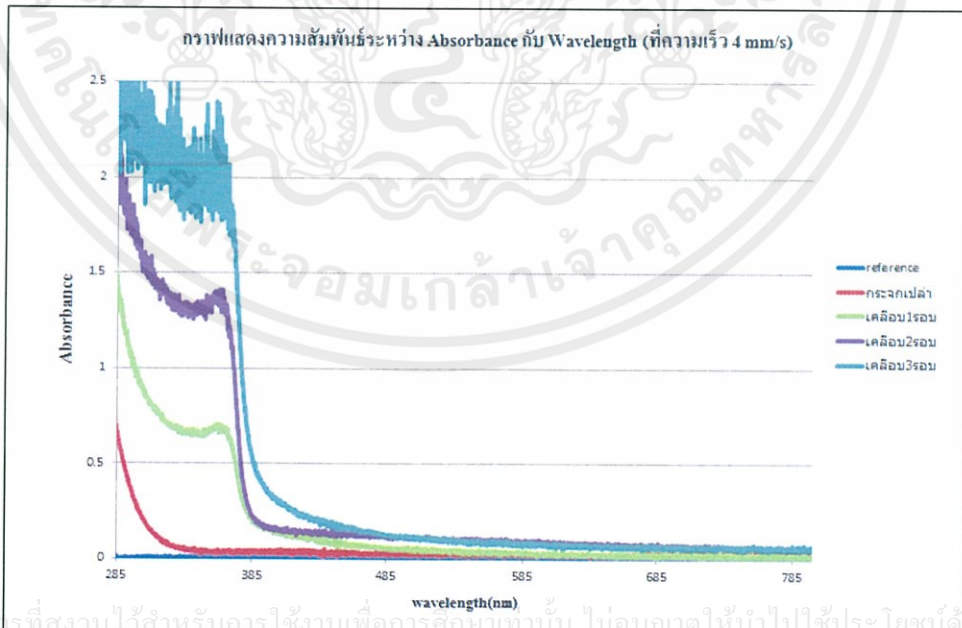
รูปที่ 4.27 กระจกเคลือบฟิล์ม ZnO (ฉ) จำนวน 3 รอบ

เงื่อนไฉนนี้เราได้ทำการเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้น โดยเลือกใช้ความเร็วในการดึงกระจกขึ้นที่ความเร็วหลายๆคือที่ความเร็ว 4 mm/s และ 6 mm/s และทำการทดลองจุ่มเคลือบที่จำนวนรอบมากขึ้นพบว่าสเปกตรัมแสงของฟิล์มบางซึ่งคือออกไซด์ที่ทำการเตรียมด้วยวิธีการจุ่มเคลือบที่ความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 0.5M นั้นค่าการส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสงที่จำนวนรอบในการเคลือบฟิล์มต่างกันเทียบกับกระจกเปล่าที่ยังไม่ได้ทำการจุ่มเคลือบนั้นพบว่าเมื่อเราทำการจุ่มเคลือบฟิล์มด้วยจำนวนรอบที่มากขึ้นจะทำให้ฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น จากการที่ฟิล์มมีความ

หนาเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มนั้นไม่ดี จะเห็นได้ว่าฟิล์มที่มีการจุ่มเคลือบจำนวนรอบน้อยๆนั้นค่าการส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มจะดีกว่าการจุ่มเคลือบฟิล์มที่จำนวนรอบมากๆ



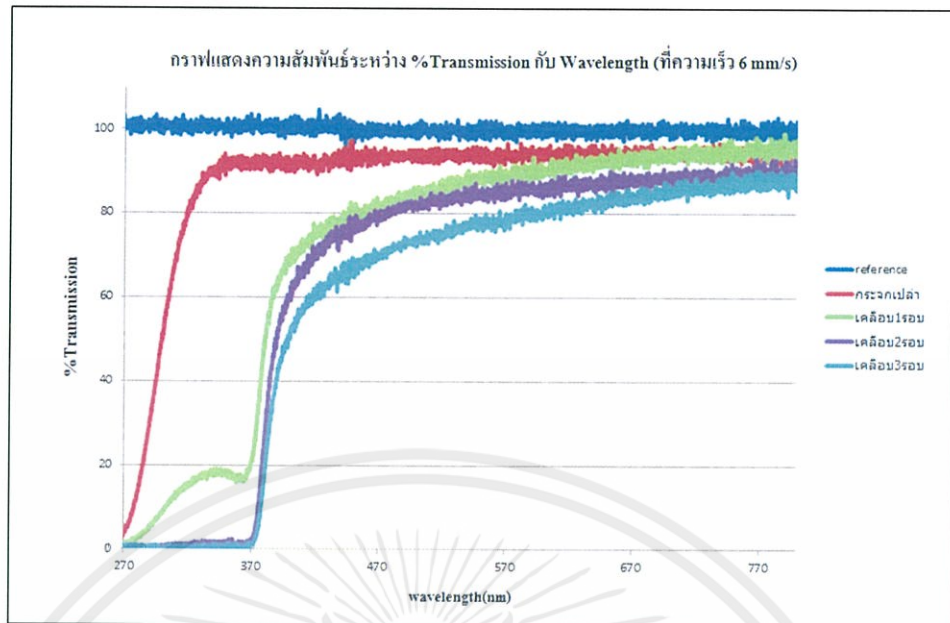
รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 4 mm/s ความเข้มข้น 0.5M



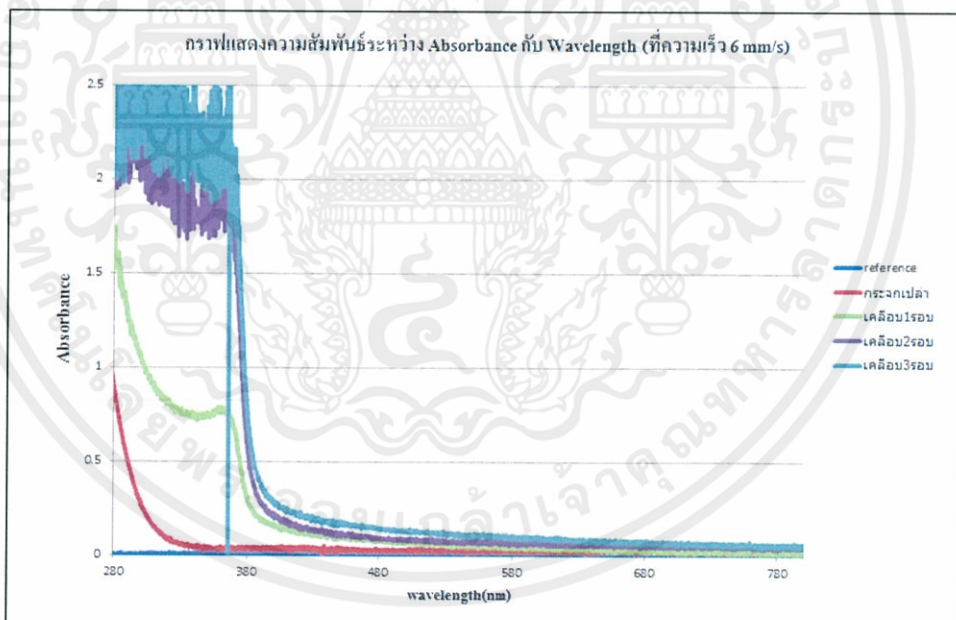
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

ที่ความเร็ว 4 mm/s ความเข้มข้น 0.5M



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s ความเข้มข้น 0.5M

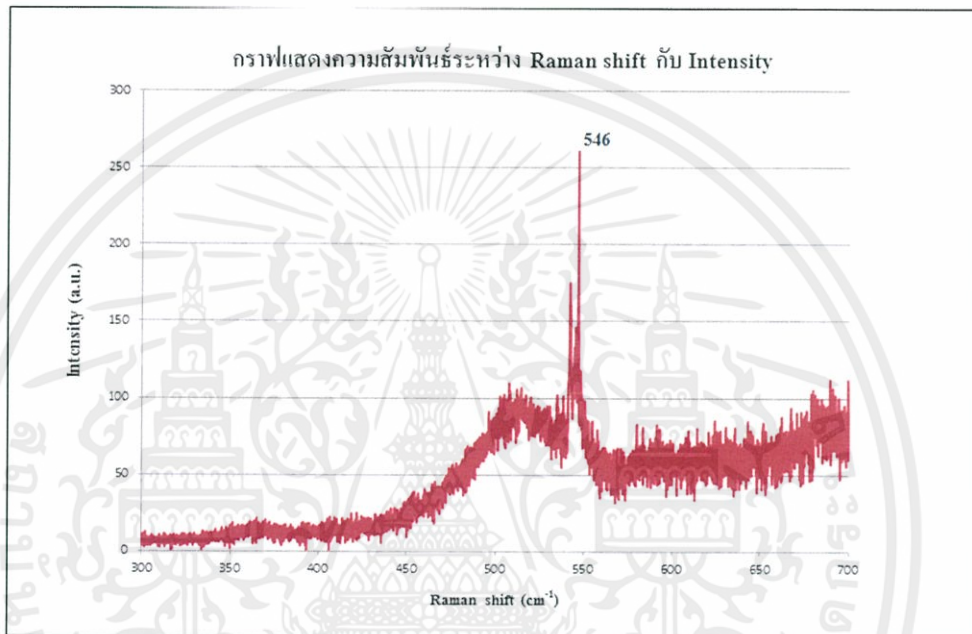


รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ความเร็ว 6 mm/s ความเข้มข้น 0.5M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy

ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (Dip Coating) นั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy พบว่าจากกราฟจะเกิดพีคที่เห็นได้อย่างชัดเจนที่ 546 ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสารประกอบซิงค์ออกไซด์



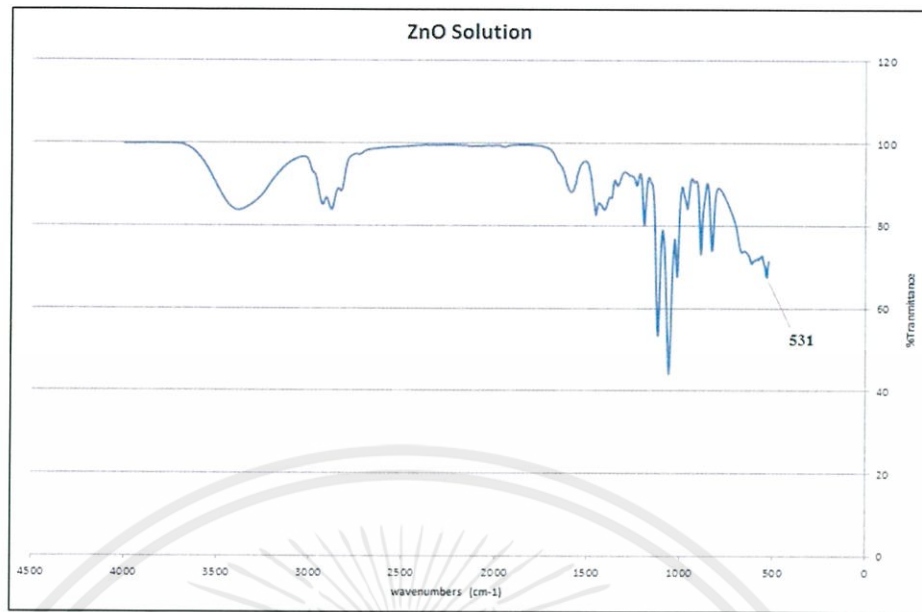
รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Raman shift กับ Intensity

#### 4.3 ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

นำฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบและโมเลกุลของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

##### 4.3.1 ZnO Solution

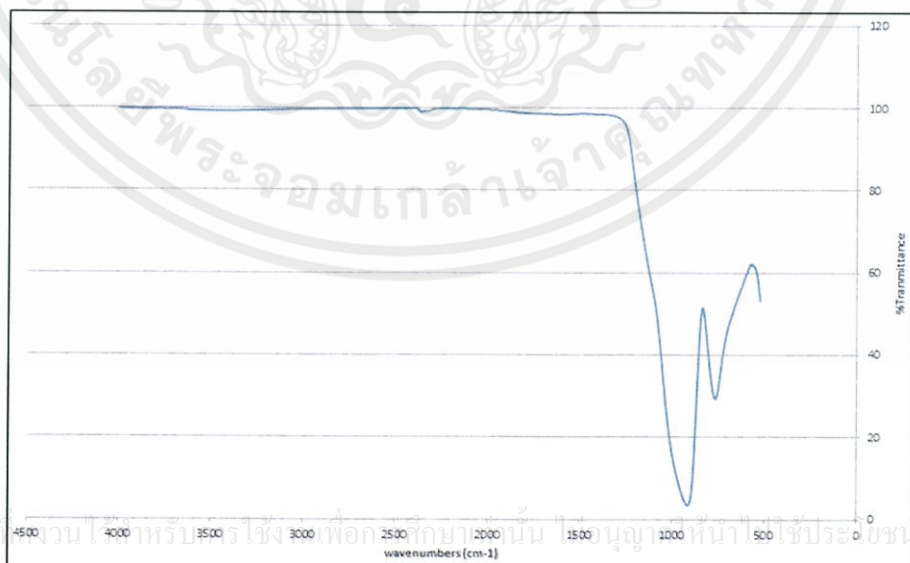
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ % Transmittance ของ ZnO Solution

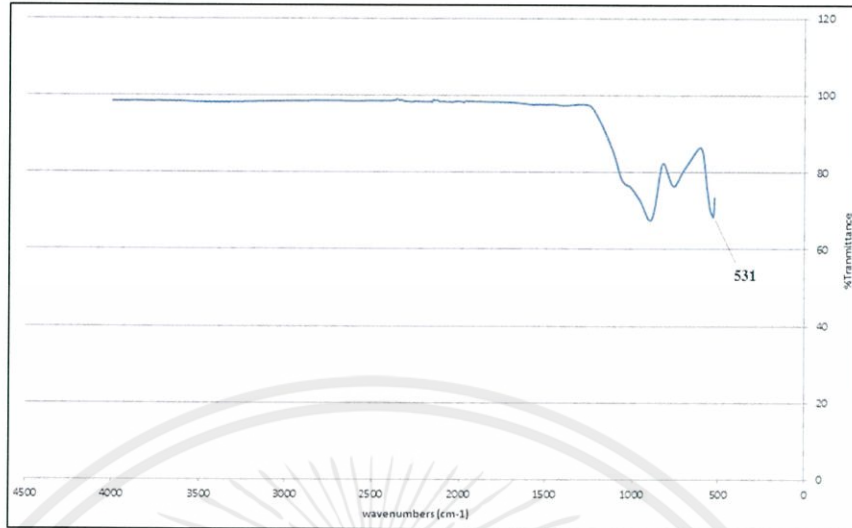
ผลของสารละลายซึ่งคือออกไซด์ เกิดค่า % Transmittance ที่ wavenumbers ค่าต่างๆ แสดงให้เห็นได้ว่า สารละลายมีหมู่ฟังก์ชันของสารอื่นๆ รวมทั้ง ZnO ผสมอยู่ด้วยกัน เนื่องจากยังไม่มี การนำสารละลายไปเคลือบและให้ความร้อน ดังนั้นจึงพบค่า wavenumbers ของสารประกอบที่ผสมอยู่ในสารละลาย

#### 4.3.2 Negative Control



รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ % Transmittance ของ Negative Control

### 4.3.3 Positive Control

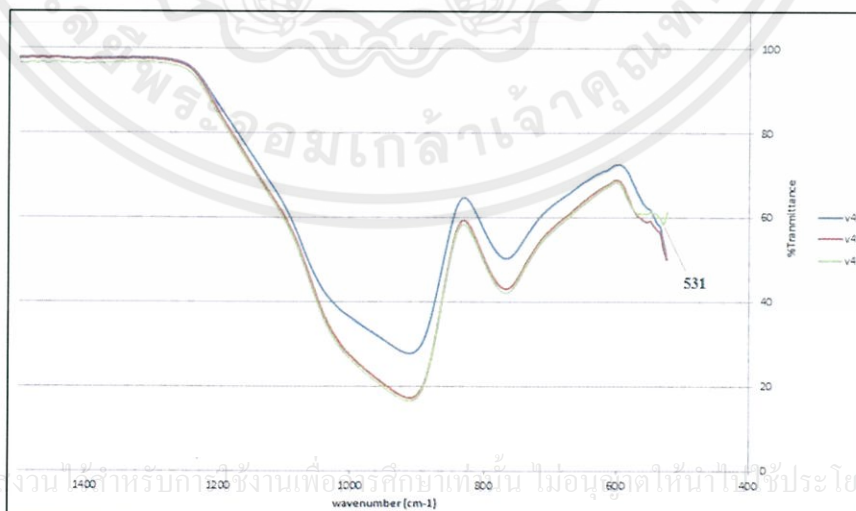


รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ %Transmittance ของ Positive Control

Negative Control เป็นการกระจกสไลด์ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว แต่ยังไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์ม มาวัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงกับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ ซึ่งผลที่ได้จะไม่พบ ค่า wavenumbers ของซิงค์ออกไซด์ แต่จะพบ wavenumbers ของสารที่เป็นส่วนประกอบของกระจกสไลด์

Positive Control เป็นการนำสารละลายซิงค์ออกไซด์มาเตรียมให้เป็นฟิล์มซิงค์ออกไซด์ โดยมีความหนาในระดับหนึ่ง เพื่อให้เป็นข้อมูลอ้างอิงค่า wavenumbers ของซิงค์ออกไซด์

### 4.3.4 ความเข้มข้น 0.5M ความเร็ว 4 mm/s



รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ %Transmittance ของฟิล์มบาง

ซิงค์ออกไซด์ ที่ความเร็ว 4 mm/s

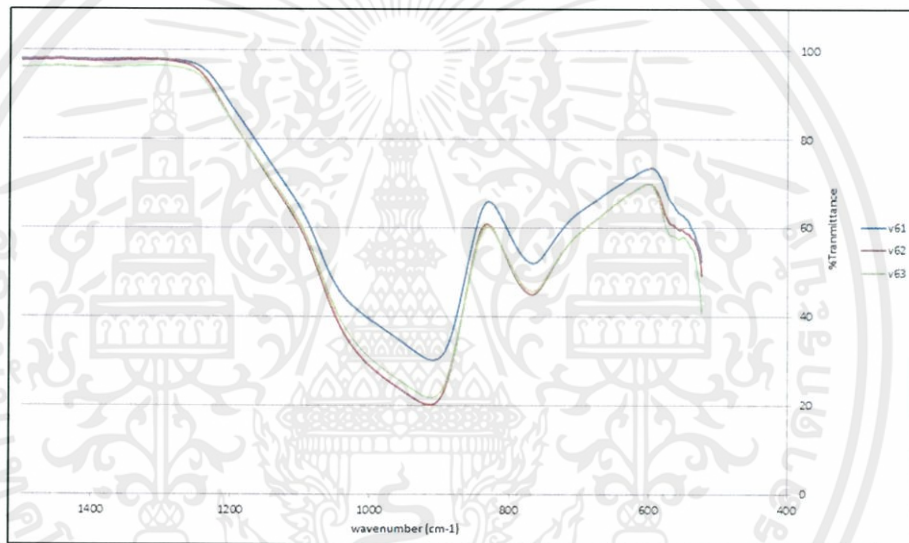
โดย V41 คือ ความเร็ว 4 mm/s จำนวนรอบในการเคลือบ 1 รอบ

V42 คือ ความเร็ว 4 mm/s จำนวนรอบในการเคลือบ 2 รอบ

V43 คือ ความเร็ว 4 mm/s จำนวนรอบในการเคลือบ 3 รอบ

จะเห็นได้ว่าฟิล์มบางที่เคลือบซิงค์ออกไซด์ด้วยความเร็ว 4 mm/s จำนวนรอบในการเคลือบ 3 รอบ จะเห็นค่า wavenumbers ของซิงค์ออกไซด์ ได้ชัดเจนและดีที่สุดใน เนื่องจากการเคลือบจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความหนามากขึ้น ทำให้เห็นหมู่ฟังก์ชันของธาตุนั้นชัดเจนขึ้น ข้อมูล V41 และ V42 มีความบางมาก ทำให้มองเห็นกราฟคล้าย Negative Control

#### 4.3.4 ความเข้มข้น 0.5M ความเร็ว 6 mm/s



รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ ) และ % Transmittance ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ ที่ความเร็ว 6 mm/s

โดย V61 คือ ความเร็ว 6 mm/s จำนวนรอบในการเคลือบ 1 รอบ

V62 คือ ความเร็ว 6 mm/s จำนวนรอบในการเคลือบ 2 รอบ

V63 คือ ความเร็ว 6 mm/s จำนวนรอบในการเคลือบ 3 รอบ

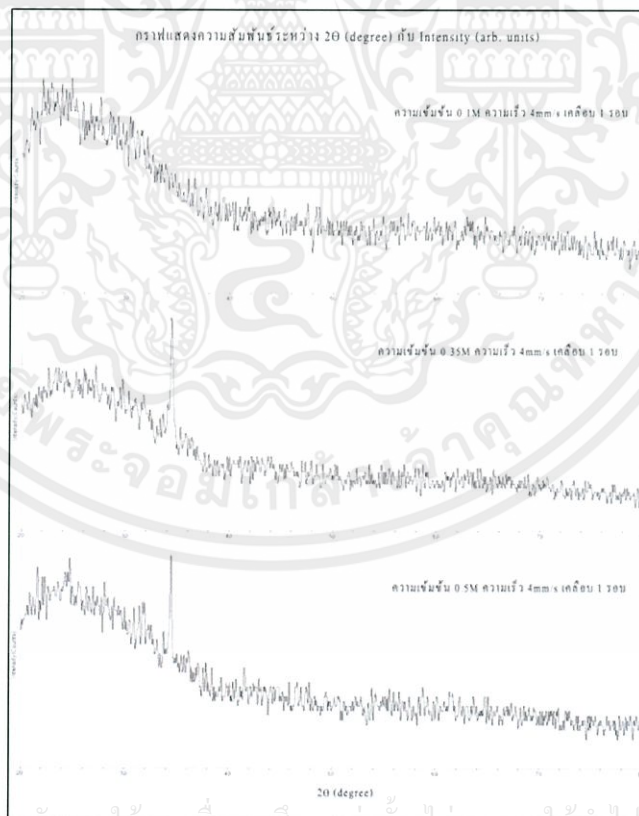
จะเห็นได้ว่าฟิล์มบางที่เคลือบซิงค์ออกไซด์ด้วยความเร็ว 6 mm/s เป็นการเคลือบฟิล์มด้วย

ความเร็วคงที่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้ฟิล์มที่มีความบางมากขึ้น ดังนั้นทำให้การวัดค่าที่ได้ มีความคล้าย

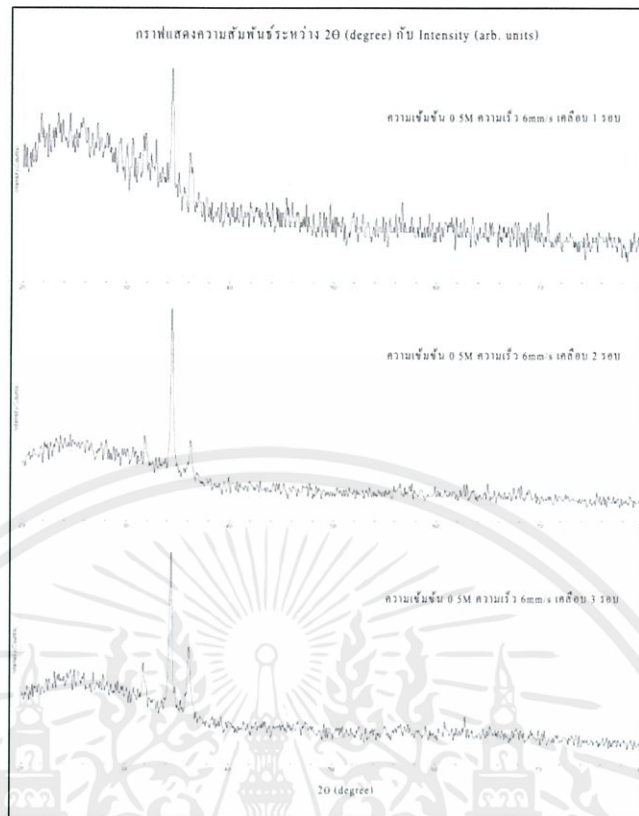
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
กับค่า Negative Control  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบบนแผ่นกระจกใสด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

นำฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) จากกราฟที่เปรียบเทียบที่ความเร็วในการดึงขึ้นเท่ากันแต่ต่างกันที่ความเข้มข้นจะพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายที่มีค่าต่ำจะเห็นพีคของกราฟได้ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำนั้นฟิล์มบางที่ได้จะมีลักษณะใสและบางมาก ทำให้เมื่อเรานำไปตรวจวัดโครงสร้างผลึกอาจทำให้เห็นค่าไม่ชัดเจน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายให้มากขึ้นก็จะพบว่าพีคของกราฟจะเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเนื่องจากเมื่อใช้ความเข้มข้นที่มากขึ้นในการจุ่มเคลือบฟิล์มความหนาของฟิล์มก็จะมากขึ้นจึงทำให้เห็นพีคของกราฟได้ชัดเจน และได้ทำการเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นมากที่สุดคือ 0.5M ที่ความเร็วในการดึงเท่ากับ 6mm/s แต่มีจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบที่แตกต่างกันก็คือ 1 รอบ , 2 รอบ , 3 รอบ พบว่าเมื่อทำการจุ่มเคลือบฟิล์มที่จำนวนรอบที่มากขึ้นพีคของกราฟที่ได้จะเห็นได้ชัดมากกว่าการจุ่มเคลือบที่จำนวนรอบน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $2\theta$  กับ Intensity ด้วยเครื่อง XRD ที่ความเข้มข้นของ  
 สารละลายเท่ากับ 0.1M , 0.35M , 0.5M โดยใช้ความเร็วในการดึงขึ้น 4mm/s เท่ากัน



รูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $2\theta$  กับ Intensity ด้วยเครื่อง XRD ที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 0.5M โดยใช้ความเร็วในการดิ่งขึ้น 6 mm/s เท่ากับเปรียบเทียบจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

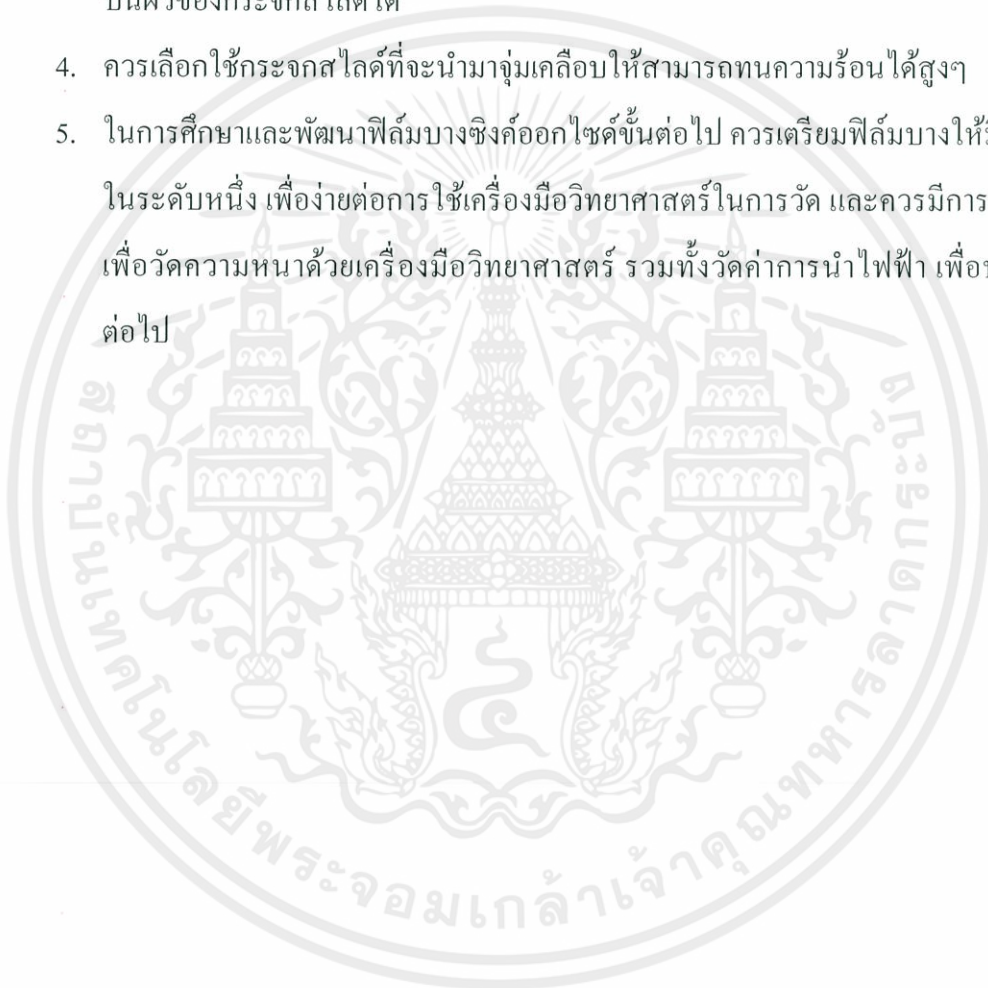
### 5.1 สรุปผลวิจัย

จากการศึกษาและวิจัยการสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบนั้นพบว่าวิธีการจุ่มเคลือบ (Dip Coating) นี้เป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสะดวกรวดเร็วในการใช้งานและจากการศึกษาทดลองนี้ได้เลือกใช้สารประกอบซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารละลายที่นำมาใช้ในการจุ่มเคลือบเนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีประโยชน์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายด้าน มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ และเป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าการจุ่มเคลือบซิงค์ออกไซด์ลงบนกระจกสไลด์แล้วฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะบางและใส โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายซิงค์ออกไซด์ ถ้าความเข้มข้นต่ำจะทำให้ได้ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่มีความบางและใสมาก และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายให้มากขึ้นฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้จะมีความหนามากขึ้นและความใสของฟิล์มจะมีความน้อยลง และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความหนาของฟิล์มก็คือความเร็วในการดึงฟิล์มขึ้นจากสารละลาย จากการทดลองพบว่าที่ค่าความเร็วในการดึงฟิล์มขึ้นจากสารละลายถ้าใช้ความเร็วต่ำจะทำให้ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีความหนามากกว่าการใช้ความเร็วในการดึงฟิล์มขึ้นจากสารละลายที่ความเร็วสูงๆ โดยเทียบจากค่าการส่งผ่านแสงและค่าการดูดกลืนแสง แล้วถ้าเลือกใช้ความเร็วในการดึงฟิล์มขึ้นจากสารละลายที่ความเร็วสูงกว่าจะทำให้พื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีความสม่ำเสมอกว่าด้วย นอกจากนี้ปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์นั้น ขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์มที่เคลือบ ซึ่งจะเห็นได้จากผลการตรวจสอบด้วย Fourier Transform Spectroscopy ฟิล์มที่มีจำนวนการเคลือบที่เพิ่มขึ้นและความเร็วระดับหนึ่ง ทำให้มองเห็นค่า wavenumbers ของซิงค์ออกไซด์ชัดเจนที่สุด แต่เมื่อที่ความเร็วการดึงฟิล์มเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ฟิล์มมีความบางมากขึ้น ทำให้มองเห็นค่า wavenumbers ไม่ชัดหรือแทบมองไม่เห็นเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรล้างกระจกสไลด์ที่จะนำมาจุ่มเคลือบให้สะอาดและไม่มีคราบไขมันเกาะติดบนกระจก
2. ในการเตรียมกระจกสไลด์ควรระวังอย่าให้เกิดรอยขึ้นบนผิวสัมผัสของตัวกระจกเพราะอาจจะทำให้ฟิล์มเคลือบติดบนกระจกสไลด์ได้ไม่ดี
3. ในการจุ่มเคลือบฟิล์มควรทำในห้องหรือตู้ที่ไม่มีปัจจัยภายนอกมารบกวนอย่างเช่น ลมหรือฝุ่น เพราะอาจจะทำให้ฟิล์มที่เคลือบอยู่บนกระจกนั้นร้อนและเกิดความไม่สม่ำเสมอบนผิวของกระจกสไลด์ได้
4. ควรเลือกใช้กระจกสไลด์ที่จะนำมาจุ่มเคลือบให้สามารถทนความร้อนได้สูงๆ
5. ในการศึกษาและพัฒนาฟิล์มบางเชิงค็อคอกไซค์ขั้นต่อไป ควรเตรียมฟิล์มบางให้มีความหนาในระดับหนึ่ง เพื่อง่ายต่อการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการวัด และควรมีการเตรียมฟิล์มเพื่อวัดความหนาด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ รวมทั้งวัดค่าการนำไฟฟ้า เพื่อประยุกต์ใช้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

[Online]. Available : <http://www.nanomaterials.co.th/>

[Online]. Available : <http://www.nectec.or.th/index.php/>

[Online]. Available : [http://vtsun.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=9&lang=en](http://vtsun.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=9&lang=en)

[Online]. Available : [http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/thin\\_film/use\\_app.htm](http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/thin_film/use_app.htm)

[Online]. Available : <http://kanokwan09.wordpress.com/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99/semiconduc/>

[Online]. Available : <http://www.spectralinstrument.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้