

การสังเคราะห์และวัดสมบัติฟิล์มบางไม่ชอบน้ำแบบยิ่งยวด
ของ TiO_2 ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบแบบ Sol-Gel
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
SUPERHYDROPHOBIC TiO_2 THIN FILM BY SOL-GEL
DIP-COATING METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2558

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
SUPERHYDROPHOBIC TiO₂ THIN FILM
BY SOL-GEL DIP-COATING METHOD



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN
PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DAPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์และวัดสมบัติฟิล์มบางไม่ชอบน้ำแบบยิ่งยวดของ TiO_2 ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบแบบ Sol-Gel
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SUPERHYDROPHOBIC TiO_2 THIN FILM BY SOL-GEL DIP-COATING METHOD

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุกัญญา คุ้มหมณี รหัสนักศึกษา 55051642

นางสาวสุธาสินี พิทักษ์สกุล รหัสนักศึกษา 55051647

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ ประธานกรรมการ	
อ.ภูมินทร์ จินดาจิวัฒน์ กรรมการ	
อ.ธนภรณ์ สีลาวัฒนานนท์ กรรมการ	
รศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเป็นเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์และวัดสมบัติฟิล์มบางไม่ชอบน้ำแบบยิ่งยวดของ TiO_2 ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบแบบ Sol-gel	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุกัญญา คุณะมณี	รหัสนักศึกษา 55051642
	นางสาวสุธาสินี พิทักษ์สกุล	รหัสนักศึกษา 55051647
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำการสังเคราะห์ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยวิธีการจุ่มเคลือบแบบโซลเจล เครื่องมือสำหรับการจุ่มเคลือบที่เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยฟิล์มที่จะถูกเคลือบลงบนบนกระจกสไลด์ไมโครสโคป หลังจากการสังเคราะห์ฟิล์มบางจะถูกนำมาวัดมุมสัมผัส และวิเคราะห์ลักษณะและโครงสร้างทางเคมีบนพื้นผิวด้วยกล้องกวาดลำอิเล็กตรอน EDX วัดการส่องผ่านแสงในย่านอัลตราไวโอเล็ตถึงย่านตามองมองเห็น และ FTIR โดยจะทำการศึกษาพารามิเตอร์ในการจุ่มเคลือบซึ่งได้แก่ อัตราการดึงขึ้น-ลง ระยะเวลาในการแช่ และ จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ รวมทั้งผลของอุณหภูมิในการแอสไนส์ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบาง

คำสำคัญ : ฟิล์มบางไม่ชอบน้ำของ TiO_2 , จุ่มเคลือบแบบโซล-เจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SUPERHYDROPHOBIC TiO ₂ THIN FILM BY SOL-GEL DIP-COATING METHOD
Students	SUKANYA KUHAMANEE Student ID 55051642 SUTHASINEE PHITHAKSAKUL Student ID 55051647
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Warawoot Thowladda
Co-advisor	Dr.S.Tipawan Khlayboonme

Abstract

The special project focused on the synthesis of titanium dioxide thin films with superhydrophobic property via by the sol-gel dip-coating method. The laboratory-made dip-coating apparatus was used for the deposition. The films coated on microscope glass slides were characterized by a contact angle measurement setup, FE-SEM, EDX with x-ray mapping, UV-Vis transmission spectroscopy and FTIR. The effect of dip coating process parameters, including immersion-withdrawal rate, dwell time and numbers of dipping cycles, were investigated. The annealing temperature influencing on film properties were also observed. The contact angle of the films was related to the surface morphology and atomic-bonding on the surface.

Keywords : Superhydrophobic TiO₂ thin films, Sol-gel Dip-coating technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดีเนื่องจากดิฉันได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจากรศ.ดร.วราวุฒิ เถาวัลดีดา ที่ให้ความรู้ทางด้านวิชาการตลอดจนปลูกฝังคุณธรรมจริยธรรม ความดีให้กับลูกศิษย์

ขอขอบคุณดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี อย่างสูงที่ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คอยกระตุ้น ให้กำลังใจในการทำงาน อีกทั้งยังคอยให้ความรู้ด้านวิชาการในเรื่องใหม่ๆกับลูกศิษย์ ทำให้โครงการ พิเศษนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้เลยถ้าไม่มี บิดา และมารดา ผู้เป็นกำลังใจให้กับดิฉันเสมอมา เมื่อดิฉันมี ปัญหาในเรื่องใดๆท่านทั้งสองก็ให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่โดยไม่มีเงื่อนไข ดิฉันขอขอบพระคุณบิดา และมารดาอย่างสุดซึ้ง

คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ดิฉันขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขอน้อมบูชาท่านบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและเมตตา

นางสาวสุกัญญา คุหะมณี
นางสาวสุชาลีณี พิทักษ์สกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
สัญลักษณ์	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ฟิล์มบาง (Thin film)	6
2.2 สมบัติพื้นฐานของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	7
2.2.1 คุณสมบัติของผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	8
2.2.2 สมบัติทางแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	9
2.3 แรงตึงผิว	11
2.3.1 แรงยึดติด	11
2.3.2 แรงเชื่อมแน่น	11
2.4 ภาวะการเปียก	11
2.4.1 แรงแอดฮีชัน	12
2.4.2 แรงโคฮีชัน	12
2.5 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง (Thin film process)	12
2.5.1 วิธีทางเคมี (Chemical Process)	12
2.5.2 วิธีทางกายภาพ (Physical Process)	13
2.6 เทคนิคการเคลือบฟิล์มบนกระจก	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 กระบวนการแบบแห้ง (Dry Process)	13
2.6.2 กระบวนการเคลือบแบบเปียก (Wet Process)	13
2.6.2.1 เทคนิคการจุ่มเคลือบ (Dip-Coating Method)	13
2.6.2.2 เทคนิคการโซล-เจล (Sol-Gel Process)	14
2.6.2.2.1 กระบวนการเกิดโซลเจล	16
2.7 เครื่องมือเตรียมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์(TiO_2)	18
2.7.1 เครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน	18
2.7.2 ระบบเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ	19
2.8 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง	20
2.8.1 เครื่องมือวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วย เครื่องยูวีซีบีเอสเปกโทรสโกปี	20
2.8.2 เครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	22
2.8.3 เครื่องวัดมุมสัมผัสที่ผิว	26
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	28
3.1 การเตรียมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	28
3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์(TiO_2)	29
3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง	30
3.4 การเตรียมกระจกสไลด์ที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง	39
3.5 การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ(TiO_2)	39
3.6 การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ(Dip coating)	39
3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติฟิล์มบางจุ่มเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์	42
3.7.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์การส่งผ่านของแสง ด้วยเครื่องยูวีซีบีเอสเปกโทรสโกปี	42
3.7.2 ขั้นตอนการวัดมุมสัมผัสด้วยโปรแกรมการคำนวณวัดมุมสัมผัส	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	46
4.1 เวลาในการกวนสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส	46
4.1.1 ค่ามุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ใช้เวลากวนสาร 72 ชั่วโมง	46
4.1.2 ค่ามุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ใช้เวลากวนสาร 24 ชั่วโมง	47
4.1.3 ค่ามุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ใช้เวลากวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที	48
4.2 จำนวนรอบในการจุ่มฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส	50
4.2.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่จำนวนในการจุ่ม สารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส	50
4.3 อุณหภูมิในการอบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส	54
4.3.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อบด้วยอุณหภูมิ 100, 200 และ 300 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์	54
4.4 ระยะเวลาทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ ที่มีผลต่อมุมสัมผัส	55
4.4.1 ค่ามุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ระยะเวลาทิ้งไว้ในอากาศที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส แบ่งช่วงระยะเวลาเป็น 3 วัน และ 3 สัปดาห์	55
4.5 ผลของการอบและทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ เป็นเวลา 3 วัน, 3 สัปดาห์ และอาฟเตอร์ฮีต	56
4.5.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่อบ และทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 วัน, 3 สัปดาห์ และอาฟเตอร์ฮีต	56
4.5.2 ผลของอุณหภูมิในการแอนนัลครั้งสุดท้ายและระยะเวลาทิ้งไว้ในอากาศ ที่มีต่อคุณภาพโครงสร้างพื้นผิวและค่ามุมสัมผัส	59
4.5.3 ผลของอุณหภูมิในการแอนนัลครั้งสุดท้ายและระยะเวลาทิ้งไว้ในอากาศ ที่มีต่อคุณภาพโครงสร้างภาพตัดขวาง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.4 ผลของอุณหภูมิในการแอนนัล ที่มีต่อการเกาะเกี่ยวพันธะ ไทเทเนียมไดออกไซด์	64
4.5.5 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อ ค่าพลังงานแถบช่องว่างทางแสงของฟิล์มบาง	67
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัย	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2	9
3.1 เงื่อนไขสำหรับการจุ่มเคลือบฟิล์มบางในสารไทเทเนียมไดออกไซด์ ตารางเปรียบเทียบมุมสัมผัสในการกวนสารเป็นเวลา 72h	28
4.1 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° (30m)	46
4.2 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 150° (30m)	46
4.3 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 200° (30m)	47
4.4 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 500° (30m)	47
ตารางเปรียบเทียบมุมสัมผัสในการกวนสารเป็นเวลา 24h	
4.5 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° (30m)	47
4.6 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 150° (30m)	47
4.7 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 200° (30m)	48
ตารางเปรียบเทียบมุมสัมผัสในการกวนสารเป็นเวลา 2h 30m	
4.8 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° (30m)	48
4.9 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 150° (30m)	48
4.10 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 200° (30m)	48
4.11 ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการจุ่ม 5 รอบ ที่อุณหภูมิ 100°	50
4.12 ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการจุ่ม 5 รอบ ที่อุณหภูมิ 150°	50
4.13 ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการจุ่ม 5 รอบ ที่อุณหภูมิ 200°	51
4.14 มุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อบด้วยอุณหภูมิ 100° , 200° และ 300°	54
4.15 มุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อบด้วยอุณหภูมิ 100° , 150° และ 200°	55
4.16 มุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อบด้วยอุณหภูมิ 100° , 150° และ 200°	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะพื้นผิวของใบบัวที่มีลักษณะเป็นปุ่ม	4
2.2 ลักษณะการกลิ้งของหยดน้ำบนพื้นผิวของใบบัว	4
2.3 ลักษณะของแรงทั้งสาม ซึ่งทำมุมระหว่างหยดน้ำกับผิว มีผลต่อแรงทั้งสาม	5
2.4 ลักษณะของหยดน้ำที่อยู่บนผิวหน้าของวัสดุโดยมีค่ามุมสัมผัสค่าต่างๆ	5
2.5 ตัวอย่างของฟิล์มบาง	6
2.6 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์	7
2.7 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำไททาเนียมถูกกระตุ้นด้วยแสง	10
2.8 มุมสัมผัสแนวโน้มน้ำที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นที่ผิวเรียบของของแข็ง	12
2.9 แสดงกระบวนการเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ	13
2.10 กระบวนการเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ	14
2.11 การเปลี่ยนสถานะจาก Sol ไปเป็น Gel	15
2.12 แผนภาพขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีโซลเจล	18
2.13 เครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน	19
2.14 โครงสร้างภายในของระบบเคลือบจุ่ม	19
2.15 ระบบเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ	20
2.16 องค์ประกอบพื้นฐานของการเซตเครื่อง	20
2.17 เครื่องSpectrometer unit	21
2.18 เครื่องLight source	22
2.19 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM ที่เป็นจุดกำเนิดภาพ	24
2.20 เครื่องวัดมุมสัมผัสที่ผิว (Contact Angle)	26
2.21 แบบจำลองเครื่อง (Contact Angle)	27
3.1 สารละลายต่างๆใช้ในการผสมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์	29
3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายและจุ่มเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์	29
3.3 อุปกรณ์ในการทดลองสารประกอบด้วยปีกเกอร์ ปิเปต ซ้อนตักสาร แท่งแม่เหล็ก และจุกยาง	30
3.4 เตตระบิวทิลไทเทเนต (TBOT) $[Ti(OC_4H_9)_4]$	31
3.5 อะเซตติลอะซิโตน (Acetylacetone) $(CH_3COCH_2COCH_3)$	31
3.6 กรดแอสติก (Acetic acid) (CH_3COOH, HAc)	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) (EtOH)	32
3.8 น้ำกลั่น (Distilled water)	33
3.9 เตาอบสาร	33
3.10 เตาอบไฟฟ้ายี่ห้อ SHARP รุ่น KZ-50s	34
3.11 เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็ก	34
3.12 ล้างด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน	35
3.13 ล้างด้วยน้ำสะอาดและล้างด้วยน้ำปลอดประจุ (DI)	36
3.14 ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที	36
3.15 ล้างด้วยอะซิโตนทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที	37
3.16 ล้างด้วยเมทานอลทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที	37
3.17 ล้างด้วยน้ำปลอดประจุ (DI)	38
3.18 นำกระจกมาเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนแห้ง	38
3.19 อบให้แห้งด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็น 15 นาที	39
3.20 เตรียมสารละลาย 5 ชนิด เพื่อทำการผสมสารไทเทเนียมไดออกไซด์	39
3.21 ผสมสารเข้าด้วยกันกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงและนำสาร TiO ₂ มาจุ่มเคลือบ	40
3.22 ขั้นตอนการจุ่มเคลือบกระจกสไลด์	40
3.23 นำกระจกสไลด์ที่เคลือบสารอบด้วยเตาไฟฟ้ายี่ห้อ SHARK รุ่น KZ-50s 5 นาที	41
3.24 อบรมสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100-500 °C ค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 1-10 °C	41
3.25 สเปคโตรสโกปีบริษัท Ocean Optics รุ่น 4000-USB	42
3.26 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลซึ่งจะนำไปวิเคราะห์หามุมสัมผัส	43
3.27 แสดงภาพถ่ายที่นำไปตัดเพื่อที่จะให้เห็นบริเวณรอยต่อที่ชัดเจน	43
3.28 หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม	44
3.29 แสดงการหาค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรมวัดมุมสัมผัส	45
3.30 เครื่อง Contact angle ที่ใช้ในการทดลอง	45
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ และระยะเวลาการกวนสารที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส	49
4.2 ค่ามุมสัมผัส (ก) เวลาการกวนสาร 72 ชั่วโมง ค่ามุมสัมผัส 33.88 ° (ข) เวลาการกวนสาร 24 ชั่วโมง ค่ามุมสัมผัส 90.70 ° (ค) เวลาการกวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที ค่ามุมสัมผัส 105.48 °	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับจำนวนรอบในการจุ่มฟิล์มบาง ไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 100°, 150° และ 200°	51
4.4 ค่ามุมสัมผัสในการจุ่ม 5 รอบ อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ก) จุ่ม 1 รอบ ค่ามุมสัมผัส 65.49° (ข) จุ่ม 2 รอบ ค่ามุมสัมผัส 70.69° (ค) จุ่ม 3 รอบ ค่ามุมสัมผัส 72.24° (ง) จุ่ม 4 รอบ ค่ามุมสัมผัส 77.30° (จ) จุ่ม 5 รอบ ค่ามุมสัมผัส 75.30°	52
4.5 ค่ามุมสัมผัสในการจุ่ม 5 รอบ อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (ก) จุ่ม 1 รอบ ค่ามุมสัมผัส 70.73° (ข) จุ่ม 2 รอบ ค่ามุมสัมผัส 78.91° (ค) จุ่ม 3 รอบ ค่ามุมสัมผัส 85.24° (ง) จุ่ม 4 รอบ ค่ามุมสัมผัส 89.23° (จ) จุ่ม 5 รอบ ค่ามุมสัมผัส 55.16°	53
4.6 ค่ามุมสัมผัสในการจุ่ม 5 รอบ อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (ก) จุ่ม 1 รอบ ค่ามุมสัมผัส 94.59° (ข) จุ่ม 2 รอบ ค่ามุมสัมผัส 105.48° (ค) จุ่ม 3 รอบ ค่ามุมสัมผัส 117.14° (ง) จุ่ม 4 รอบ ค่ามุมสัมผัส 145.20° (จ) จุ่ม 5 รอบ ค่ามุมสัมผัส 120.83°	53
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับอุณหภูมิ ในการจุ่ม 4 รอบ อบที่อุณหภูมิ 100°, 200° และ 300°	54
4.8 ค่ามุมสัมผัส (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 97.43° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุม สัมผัส 145.29° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 117.14°	55
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่ามุมสัมผัส ในระยะเวลาที่ทิ้งฟิล์มบาง ไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ เป็นเวลา 3 วัน และ 3 สัปดาห์	56
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่ามุมสัมผัส ในระยะเวลาที่ทิ้ง ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ เป็นเวลา 3 วัน, 3 สัปดาห์ และอาทิตย์	57
4.11 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางจุ่มเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° 200° และ 300° ทิ้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ 3 วัน เวลาในการกวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 66.89° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมผัส 112.87° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 53.09°	57
4.12 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางจุ่มเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100°, 200° และ 300° ทิ้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ เวลาในการกวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 110.15° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุม สัมผัส 145.20° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 117.14°	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นฟิล์มบางจุ่มเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อบด้วย อุณหภูมิ 100° , 200° และ 300° ทั้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ และเอาฟเตอร์ฮีตที่อุณหภูมิ 100° เป็นเวลา 20 นาที เวลาในการทวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมพัทธ์ 125.78° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมพัทธ์ 151.87° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมพัทธ์ 135.00°	58
4.14 ภาพพื้นผิวโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เตรียมด้วยวิธีการ จุ่มเคลือบแบบโซล-เจล จุ่มเคลือบ 4 รอบ (ก) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100° (ข) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° (ค) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300° (ง) แอนนูลครั้ง สุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ทั้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ (จ) แอนนูล ครั้งสุดท้ายที่ อุณหภูมิ 200° ทั้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์และนำมาเอาฟเตอร์ ฮีตที่อุณหภูมิ 100° 20 นาที	59
4.15 ค่ามุมสัมพัทธ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เตรียมด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ แบบโซลเจล จุ่มเคลือบ 4 รอบ (ก) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมพัทธ์ 110.15° (ข) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมพัทธ์ 145.20° (ค) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมพัทธ์ 117.14° (ง) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ทั้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ ค่ามุมสัมพัทธ์ 145.20° (จ) แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ทั้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ และนำมาเอาฟเตอร์ฮีตที่อุณหภูมิ 100° 20 นาที ค่ามุมสัมพัทธ์ 151.87°	60
4.16 โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการ แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ ในอากาศ (ก) 3 วัน มีความหนา 343.75 นาโนเมตร (ข) 3 สัปดาห์ มีความหนา 375 นาโนเมตร (ค) เอาฟเตอร์ฮีต มีความหนา 312.50 นาโนเมตร	61
4.17 โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการ แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ ในอากาศ (ก) 3 วัน มีความหนา 500 นาโนเมตร (ข) 3 สัปดาห์ มีความหนา 500 นาโนเมตร (ค) เอาฟเตอร์ฮีต มีความหนา 562.50 นาโนเมตร	62
4.18 โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการ แอนนูลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ ในอากาศ (ก) 3 วัน มีความหนา 312.50 นาโนเมตร (ข) 3 สัปดาห์ มีความหนา 531.25 นาโนเมตร (ค) เอาฟเตอร์ฮีต มีความหนา 562.50 นาโนเมตร	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 การตรวจสอบองค์ประกอบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดโหมด EDS (ก) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ข) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (ค) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	64
4.20 การกระจายตัวของออกซิเจน ไทเทเนียมและซิลิกอน บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ (ก) 100 องศาเซลเซียส (ข) 200 องศาเซลเซียส (ค) 300 องศาเซลเซียส	65
4.21 สเปกตรัมเชิงคุณภาพและปริมาณ ที่ตรวจพบบนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ (ก),(ข) 100 องศาเซลเซียส (ค),(ง) 200 องศาเซลเซียส (จ),(ฉ) 300 องศาเซลเซียส	66
4.22 วิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100,200 และ 300 องศาเซลเซียส ทั้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์	67
4.23 วิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100,200 และ 300 องศาเซลเซียส ทั้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์ และนำมาอาฟเตอร์ฮีต ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที	68
4.24 เฟสผลการวิเคราะห์ธาตุ ด้วยเทคนิค FTIR บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 150 และ 200 องศาเซลเซียส ที่มีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดและค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุด	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Nm	=	นาโนเมตร
g cm ⁻³	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
°c	=	องศาเซลเซียส
cm ⁻¹	=	wave number
T	=	อุณหภูมิ
V	=	ปริมาตร
W	=	วัตต์
K	=	เคลวิน
d	=	ระยะทาง
CA	=	ค่ามุมสัมผัส
UV	=	Ultraviolet
FESEM	=	Field Emission Scanning Electron Microscope
FTIR	=	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
Um	=	ไมโครเมตร
J	=	ความหนาแน่นของกระแส
M	=	มวลโมเลกุล
N	=	จำนวนโมล
ρ	=	ความหนาแน่น
m	=	นาที่
s	=	ระยะ
ml	=	มิลลิลิตร
mm/s	=	มิลลิเมตรต่อวินาที
Speed up	=	ความเร็วในการดิ่งขึ้น
Speed down	=	ความเร็วในการดิ่งลง
Time immerse	=	เวลาในการแช่กระจก
Time holding	=	เวลาในการพักกระจก
h	=	ชั่วโมง
DI water	=	น้ำปลอดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว หรือโลตัสเอฟเฟกต์ (Lotus effect) เป็นสิ่งที่น่าสนใจมานานแล้ว ซึ่งใบบัวนั้นเป็นใบไม้ที่สะอาด และไม่เปียกน้ำทุก ๆ ครั้งที่เราเห็นหยดน้ำตกลงบนใบบัว หยดน้ำเหล่านั้นจะไม่ไหลกระจายออก แต่จะมีลักษณะเป็นหยดกลิ้งไหลลงไปรวมกันที่กึ่งกลางใบบัว จนมีคำกล่าวเปรียบเทียบกับว่า น้ำกลิ้งบนใบบัว ผิวหน้าของใบบัวประกอบด้วยโครงสร้างขนาดเล็ก คล้ายหนามจำนวนมากและมีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยหนามแต่ละอันมีความเล็กขนาดนาโนเมตร หนามเหล่านี้ส่งผลให้ผิวด้านหน้าของใบบัวมีลักษณะขรุขระเมื่อหยดน้ำตกลงมากกระทบใบบัว ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับใบบัวนั้นน้อยมาก โดยถ้าหากมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวใบบัวเข้าใกล้ 150-180 องศา จะส่งผลให้หยดน้ำมีลักษณะกลม ไม่สามารถกระจายตัวออกได้ นอกจากนี้ผิวด้านบนของใบบัวยังเคลือบด้วย สารซึ่งมีลักษณะคล้ายแว็กซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเกลียดน้ำ (Hydrophobic) ทำให้น้ำไม่กระจายตัวออก คุณสมบัติทั้งสองประการนี้ส่งผลให้ใบบัวแสดงคุณสมบัติเป็น Superhydrophobic surface หากมีฝุ่นผงและสิ่งสกปรกต่างๆ ติดอยู่ที่ใบบัว เมื่อหยดน้ำตกลงมาหยดน้ำจะกลิ้งพาให้สิ่งสกปรกติดไปกับหยดน้ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหยดน้ำ กับสิ่งสกปรกมีค่าสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสิ่งสกปรกกับใบบัวจึงทำให้ใบบัวสะอาดอยู่เสมอ (self-cleaning surface) ในโครงการพิเศษนี้เราได้ศึกษาคุณสมบัติของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดเกาะและเคลือบผิวได้ง่าย นำมาใช้ในการเคลือบฟิล์มบางเพื่อให้มีมุมสัมผัสและพื้นผิวไม่ชอบน้ำแบบยิ่งยวด

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide:TiO₂) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียม ที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้า คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titaniumdioxide) ไทเทนิคแอนไฮไดรด์ (Titanic anhydride) และไทเทเนียม (Titania) ไทเทเนียมเป็นแร่ที่ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1791 ในเหมืองแร่เหมืองคอร์นวอลล์ ประเทศอังกฤษ โดยนักธรณีวิทยาชื่อ William Gregor ใช้สัญลักษณ์แทนคือ Ti มีเลขอะตอม 22 มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อสภาพกัดกร่อนของคลอรีน น้ำทะเล และ

กรดต่าง ได้ดี ไทเทเนียมไดออกไซด์โดยธรรมชาติจะพบน้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่อิลเมนไนต์ (ilmenite) หรือ ลิวโซซีน (leuxocene) โดยทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธี rutile beach sand ไทเทเนียมไม่วาร์ณได้ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์มีประโยชน์มากในหลายๆด้านเช่น ในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมแก้ว กระจก อุตสาหกรรมผลิตกระเบื้อง การผลิตสุญญากาศ การผลิตเซรามิก อุตสาหกรรมโลหะสำหรับการเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อลดการทะลุผ่านของแสง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน รวมถึงคุณสมบัติที่กล่าวในข้างต้น นอกจากนั้น การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเคลือบผิวผลิตภัณฑ์สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต และลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อีกทาง ในด้านการบำบัดมลพิษใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางน้ำด้วยการให้แสงแก่แผ่นตัวกลางนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่แขวนอยู่ในน้ำ เมื่อได้รับแสงจะเกิดการปลดปล่อยอนุภาคด่างที่กล่าวข้างต้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการบำบัดมลพิษทางอากาศ เช่น การกำจัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NOx) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ด้วยการผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงคลื่น 300-400 นาโนเมตร จะทำให้เกิดอนุภาคข้างต้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารมลพิษดังกล่าวทำให้กลายเป็นกรดไนตริกและกรดซัลฟูริก ส่วนสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลายเป็นสารอื่นที่มีความเป็นอันตรายน้อยลง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานของระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ
- 2) เพื่อสังเคราะห์ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ
- 3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติการยึดเกาะของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้เคลือบผิวต่อการไม่ชอบน้ำ
- 4) เพื่อศึกษาและวัดคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค UV-Vis transmission Spectroscopy, Contact angle และ FE-SEM

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีโครงสร้างและคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์
- 2) ศึกษาการทำงานของระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ
- 3) เพื่อหาพารามิเตอร์ของการสังเคราะห์ฟิล์มบางเพื่อควบคุมสมบัติฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์
- 4) เพื่อศึกษาลักษณะการทำมุมของหยดน้ำบนพื้นผิวที่เป็น Superhydrophobic
- 5) เพื่อหามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับสมบัติของฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
ก.ย. – พ.ย. พ.ศ.2558	1.ศึกษาลักษณะโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ 2. ศึกษาการทำงานระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีจุ่มเคลือบ
ธ.ค – ม.ค พ.ศ. 2558-2559	1. เตรียมกระจกที่ใช้ในการจุ่มเคลือบ 2. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการจุ่มเคลือบ
ก.พ – มี.ค พ.ศ. 2559	1. ผสมสารละลายเพื่อให้เกิดสมบัติไม่ชอบน้ำ 2. ทดสอบการจุ่มเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์
เม.ย – พ.ค พ.ศ. 2559	วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

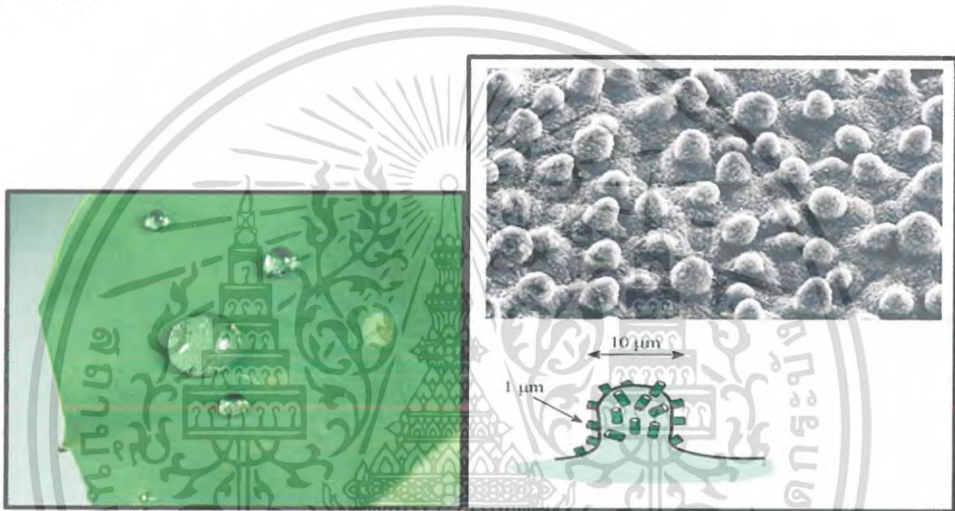
- 1) มีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีโครงสร้างและคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์
- 2) สามารถนำฟิล์มบางไม่ชอบน้ำไทเทเนียมไดออกไซด์ไปพัฒนาในด้านอื่นๆได้
- 3) มีความรู้ความเข้าใจการทำงานระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ
- 4) สามารถพัฒนาระบบสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

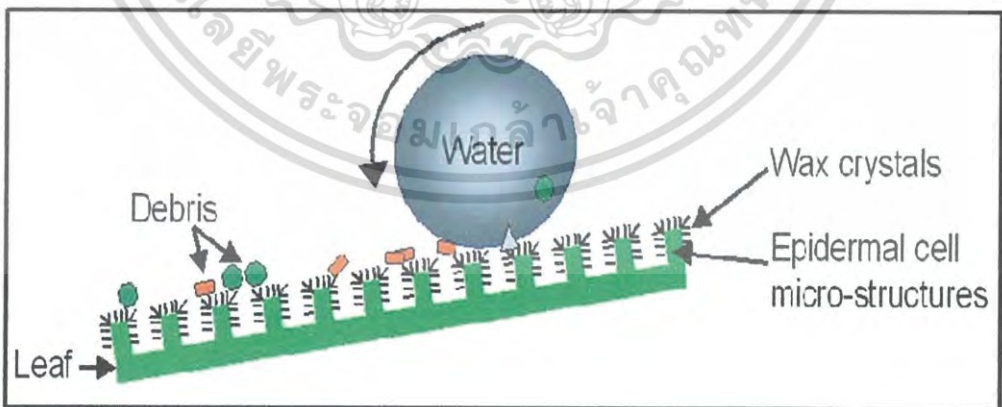
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นผิวของใบบัวมีลักษณะพิเศษ ตรงที่มีความขรุขระเกิดจากการมีปุ่มขนาดประมาณ 10 ไมครอนกระจายอยู่ตามผิวใบบัว โดยที่แต่ละปุ่มก็จะมีปุ่มเล็ก ๆ คล้ายหนาม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ไมครอนกระจายอยู่รอบ ๆ ปุ่มใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ด้วยเหตุผลนี้เอง จึงทำให้การสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวใบบัวน้อยกว่าที่จะเป็น เป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์การไม่ชอบน้ำของใบบัว (Lotus Effect)



รูปที่ 2.1 ลักษณะพื้นผิวของใบบัวที่มีลักษณะเป็นปุ่ม

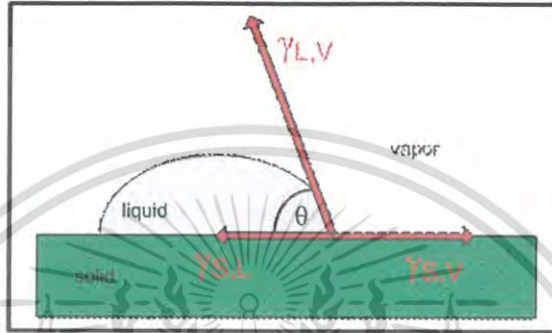


รูปที่ 2.2 ลักษณะการกลิ้งของหยดน้ำบนพื้นผิวของใบบัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

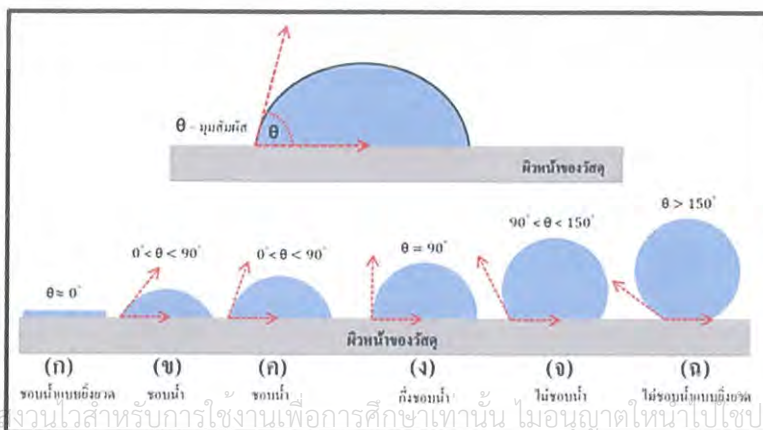
หลักการทางฟิสิกส์ที่อยู่เบื้องหลังปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัวนี้ นักวิทยาศาสตร์ตั้งชื่อว่า Lotus-Effect เกิดขึ้นจากแรงระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิว รูปร่างของหยดน้ำจะขึ้นอยู่กับพื้นผิวที่รองรับ ซึ่งแรงที่เกี่ยวข้องมี อยู่ 3 แรงด้วยกัน

1. แรงระหว่างพื้นผิวกับหยดน้ำ ($\gamma_{S,L}$)
2. แรงระหว่างพื้นผิว กับอากาศ ($\gamma_{S,V}$)
3. แรงระหว่าง หยดน้ำกับอากาศ ($\gamma_{L,V}$)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของแรงทั้งสาม ซึ่งมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิว(θ) มีผลต่อแรงทั้งสาม

ซึ่งมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิว(θ) จะมีผลต่อแรงทั้งสาม โดยถ้าหากมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวใบบัวเข้าใกล้ 150 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จะส่งผลให้หยดน้ำมีลักษณะกลม ไม่สามารถกระจายตัวออกได้ นอกจากนี้พื้นผิวของใบบวยังเคลือบด้วย สารซึ่งมีลักษณะคล้ายแว็กซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเกลียดน้ำ(Hydrophobic) ทำให้น้ำไม่กระจายตัวออก คุณสมบัติทั้งสองประการนี้ส่งผลให้ใบบัวแสดงคุณสมบัติเป็น Super hydrophobic surface หากมีฝุ่นผงและสิ่งสกปรกต่างๆ ติดอยู่ที่ใบบัว เมื่อหยดน้ำตกลงมาหยดน้ำจะกลิ้งพาให้สิ่งสกปรกติดไปกับหยดน้ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหยดน้ำ กับสิ่งสกปรกมีค่าสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสิ่งสกปรกกับใบบัวจึงทำให้ใบบัวสะอาดอยู่เสมอ (self-cleaning surface)



รูปที่ 2.4 ลักษณะของหยดน้ำที่อยู่บนผิวหน้าของวัสดุโดยมีมุมสัมผัสค่าต่างๆ

2.1 พิล์มบาง (Thin film)

ฟิล์มบาง (thin film) หมายถึง ชั้นของอะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่จับรวมกันเป็นชั้นบางๆ การระบุว่าฟิล์มใดเป็นฟิล์มบางอาจพิจารณาได้จากลักษณะการใช้งานว่าใช้สมบัติด้านใดของฟิล์ม กล่าวคือ ถ้าเป็นการใช้สมบัติเชิงผิว (surface properties) จะเรียกฟิล์มนั้นว่า ฟิล์มบาง แต่ถ้าเป็นการใช้สมบัติเชิงปริมาตร (bulk properties) จะเรียกฟิล์มนั้นว่า ฟิล์มหนา ทั้งนี้จากความหมายจะเห็นว่าฟิล์มเดียวกันอาจเป็นฟิล์มบางหรือฟิล์มหนาก็ได้ขึ้นกับลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญอย่างไรก็ดี การเคลือบฟิล์มบางเป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงสมบัติของวัสดุที่เคลือบให้ดีขึ้นเช่นให้มีความคงทน ทนทาน หรือ สวยงามมากขึ้นรวมถึงเพื่อการใช้ประโยชน์ในงานอื่นๆ

การสร้างทำได้โดยการเคลือบฟิล์มบางจะเป็นกระบวนการทำให้สารเคลือบตกเคลือบบนผิวของวัสดุที่ต้องการ โดยเริ่มจากการสร้างสารเคลือบในรูปของอะตอมโมเลกุลหรืออนุภาคจากนั้นเป็นการเคลื่อนย้ายสารเคลือบมายังวัสดุรองรับเมื่อสารเคลือบตกกระทบบนผิววัสดุรองรับก็เกิดการควบแน่นและพอกพูนเป็นชั้นของฟิล์มบางบนวัสดุรองรับในที่สุด

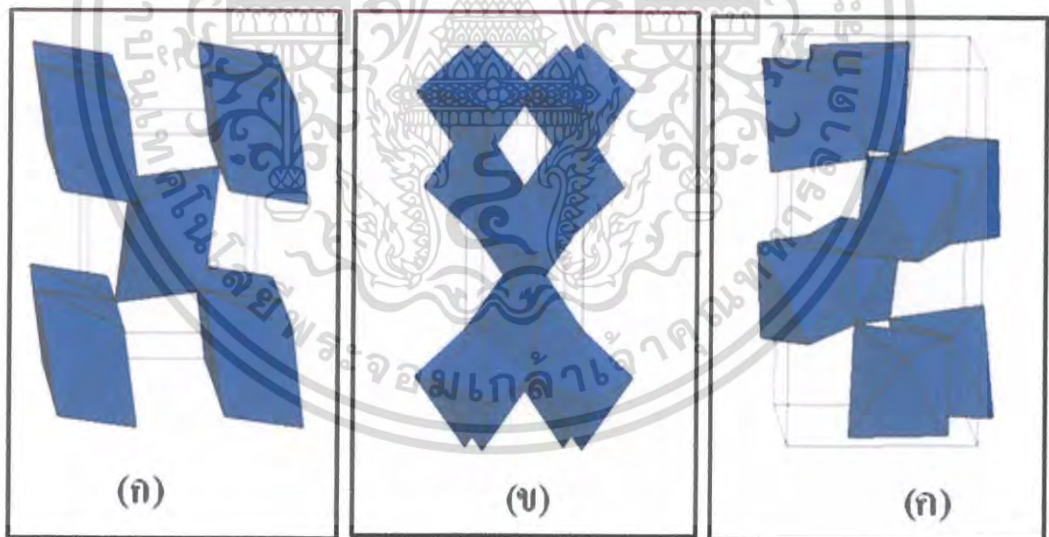


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติพื้นฐานของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ไททาเนียมหรือไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide: TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียมซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน ไททาเนียมได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี, ไม่มีความเป็นพิษสูง, ราคาไม่แพงมาก, และคุณสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์ที่อีกหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไทเทเนียมถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม (Photocatalysis) เป็นต้น เนื่องจากไทเทเนียมมีค่าตรรกะการหักเหของสูง จึงถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบป้องกันการสะท้อนของแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน (Silicon solar cell) และในอุปกรณ์ทางการมองเห็นชนิดแผ่นบาง (Thin film optical device) หลายชนิด ไทเทเนียมยังถูกนำมาใช้เป็นตัวตรวจสอบก๊าซ (Gas sensor) เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปได้ตามองค์ประกอบของก๊าซที่สภาวะบรรยากาศ เช่น สามารถใช้ตรวจสอบก๊าซออกซิเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, และมีเทน เป็นต้น นอกจากนี้ เนื่องจากไทเทเนียมสามารถเข้ากับร่างกายมนุษย์ได้ จึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุทางชีวภาพ เช่น กระดูกเทียม เป็นต้น



รูปที่ 2.6 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์

(ก) รูไทล์

(ข) อนาเทส

(ค) บรูคไคท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณสมบัติของผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์

ไทเทเนียมที่พบตามธรรมชาตินั้นมีโครงสร้างผลึก 4 ชนิดหลักคือ - อนาเทส (Anatase) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) - บรูคไคท์ (Brookite) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) - รูไทล์ (Rutile) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) - ไททาเนียบี ($\text{TiO}_2(\text{B})$) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบโมนอคลินิก (Monoclinic) โครงสร้างผลึกอนาเทส, รูไทล์, และบรูคไคท์ สามารถแสดงได้ในรูปของ TiO_2^{2-} ที่เป็นปิระมิดฐานสี่เหลี่ยมสองอันประกบกันหรือออกตะฮีดรอล (Octahedral) โดยโครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันเนื่องมาจากการบิดตัวของแต่ละออกตะฮีดรอลที่เรียงต่อกันและจากรูปแบบการเรียงตัวของออกตะฮีดรอล โดยโครงสร้างผลึกอนาเทสเกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนยอดของแต่ละออกตะฮีดรอล ในขณะที่โครงสร้างผลึกรูไทล์เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล และโครงสร้างผลึกบรูคไคท์เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ทั้งส่วนยอดและส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล ถึงแม้ว่าโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมมีอยู่หลายชนิดตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่อนาเทสและรูไทล์เป็นโครงสร้างผลึกที่พบเป็นส่วนใหญ่ โดยปกติแล้วโครงสร้างผลึกอนาเทสสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นโครงสร้างผลึกรูไทล์ได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 600 องศาเซลเซียส นับจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากอนาเทสเป็นรูไทล์เป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมเป็นตัวแปรที่สำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่จะกำหนดประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม, ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช่แสงร่วม), หรือเซรามิกส์ที่ใช้ทำเยื่อแผ่นบาง (Membrane) โดยนอกจากอุณหภูมิแล้ว ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกดังกล่าวได้แก่ ความดัน, ปริมาณของผลึก, ความไม่สมบูรณ์ของผลึก, และขนาดของผลึก ในการประยุกต์ใช้ไทเทเนียม ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม โครงสร้างผลึกทั้งอนาเทสและรูไทล์เป็นที่นิยมนำมาศึกษากันโดยทั่วไป สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมโดยปกติแล้ว โครงสร้างผลึกอนาเทสให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์ แต่อย่างไรก็ตามในบางปฏิกิริยา โครงสร้างผลึกรูไทล์หรือโครงสร้างผลึกผสมระหว่างอนาเทสและรูไทล์ (เช่น อนาเทส 70-75% และรูไทล์ 30-25%) ถูกรายงานว่าให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกอนาเทส โดยทั้งนี้ทั้งนั้นมีตัวแปรหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมได้แก่ พื้นที่ผิว, การกระจายตัวของรูพรุน, ขนาดของอนุภาคผลึก, และที่สำคัญมากคือ วิธีการที่ใช้ในการสังเคราะห์ผลึกไทเทเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2

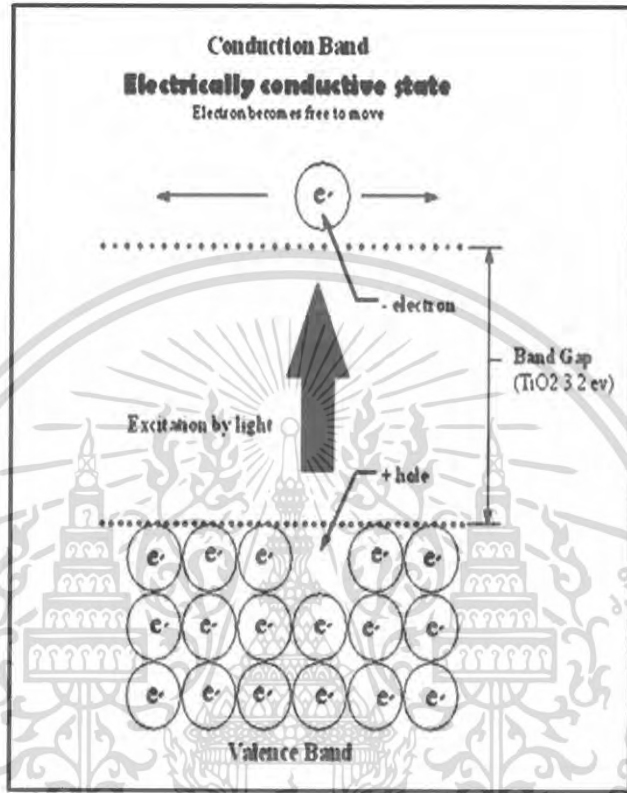
ลักษณะ	ของแข็ง สีขาว
น้ำหนักโมเลกุล	79.87 g mol^{-1}
ความหนาแน่น	4.23 g cm^{-3}
จุดหลอมเหลว	1870 C
จุดเดือด	2972 C
การละลาย	ไม่ละลายน้ำ
ความเป็นพิษ	ไม่เป็นพิษ

ไทเทเนียมไดออกไซด์โดยทั่วไปมีความปลอดภัยในการใช้กับอาหาร ยา สี เครื่องสำอาง สามารถป้องกันการเกิดหยดน้ำ และคราบต่าง ๆ รวมทั้งทำให้เกิดสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง เช่น ผนังด้านนอกของอาคารที่ถูกปกคลุมด้วยคราบเขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ที่มีส่วนประกอบเป็นน้ำมัน เมื่อผนังตึกถูกทาด้วยไทเทเนียม ไดออกไซด์ (Titanium Dioxide : TiO_2) ซึ่งมีสมบัติการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง จะทำให้ผนังมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง โดยเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง ไทเทเนียม ไดออกไซด์ (Titanium Dioxide : TiO_2) จะทำลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งฝุ่นผงต่าง ๆ ที่เกาะติดอยู่กับผนัง และจะถูกชะล้างออกจากผนังอย่างง่ายดาย เมื่อฝนตกลงมา ทำให้ผนังตึกดูสะอาดและใหม่อยู่เสมอ

2.2.2 สมบัติทางแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

เนื่องจากไทเทเนียมมีตำแหน่งที่ว่างของออกซิเจนในโครงสร้างผลึก ไทเทเนียมจึงจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อมๆกัน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and reduction reactions) โดยการกระตุ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าพลังงานแบนด์แกป (Band gap energy) ความสามารถของสารกึ่งตัวนำที่จะถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกดูดซับไว้ นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพลังงานแบนด์แกปของสารกึ่งตัวนำและตำแหน่งของศักย์พลังงานในการเกิดรีดอกซ์ (Redox) ของสารที่ถูกดูดซับ โดยปกติแล้วระดับของพลังงานที่ต่ำที่สุดของ

คอนดัคชันแบนด์ (Conduction band) จะเป็นระดับของศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น (Excited electron) ในทางกลับกัน ระดับของพลังงานที่สูงที่สุดของวาเลนซ์แบนด์ (Valence band) จะเป็นระดับศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโฮล (Hole) ที่เหลืออยู่หลังจากที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปแล้ว



รูปที่ 2.7 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมถูกกระตุ้นด้วยแสง

สารกึ่งตัวนำแตกต่างจากโลหะคือ มีความไม่ต่อเนื่องของระดับพลังงาน ทำให้เกิดเป็นช่องว่างของระดับพลังงานหรือแบนด์แกป ซึ่งส่งผลให้เกิดการแยกจากกันของอิเล็กตรอนและโฮลหลังจากที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง ทำให้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลมีระยะเวลาเพียงพอในการเคลื่อนที่ผ่านไปยังพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและก่อให้เกิดปฏิกิริยาในที่สุด ความแตกต่างของโครงสร้างผลึกของไทเทเนียม ซินดีอนาเทสและรูไทล์ทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นและโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่งผลให้มีค่าพลังงานแบนด์แกปแตกต่างกันคือ 3.20 eV สำหรับโครงสร้างผลึกอนาเทสและ 3.02 eV สำหรับโครงสร้างผลึกรูไทล์ ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงเริ่มเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่แตกต่างกัน โดยโครงสร้างผลึกอนาเทสสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 384 นาโนเมตร ในขณะที่โครงสร้างผลึกรูไทล์สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 410 นาโนเมตร ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แรงตึงผิว

แรงตึงผิว (surface tension) คือ แรงต้านที่ผิวหน้า (surface film) ของของเหลวใดๆ เป็นแรงเชื่อมแน่น (cohesion) ระหว่างโมเลกุลที่ผิวของของเหลว ของเหลวที่มีแรงตึงผิวสูง จะมีแรงเชื่อมแน่น (cohesion force) ระหว่างโมเลกุลมาก ทำให้ควบคุมรูปร่างให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยที่สุด เป็นทรงกลม เป็นหยด

แรงต่อความยาวของผิวสัมผัสแรงตึงผิวของของเหลว คือ แรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่ผิวของของเหลวสัมผัสกับของเหลวอื่นหรือกับผิวของแข็งโดยมีพลังงานเพียงพอต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นทำให้เกิดเป็นลักษณะคล้ายๆ กับแผ่นบางๆ ที่สามารถต้านแรงดึงได้เล็กน้อย มีทิศขนานกับผิวของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความตึงผิวของเหลวจะมีค่าลดลงสัมพันธ์ (ความพยายามในการยึดผิวของของเหลว) ในของไหลทุกชนิดจะมีคุณสมบัติของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล 2 ชนิด คือ แรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น

2.3.1 แรงยึดติด (Adhesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคต่างชนิดกัน เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในหลอดแก้วที่บรรจุน้ำแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับอนุภาคในแผ่นไม้ เป็นต้น เมื่อหยดน้ำลงบนแผ่นกระดาษหรือแผ่นไม้จะพบว่า แผ่นกระดาษและแผ่นไม้เปียก แสดงว่าแรงเชื่อมแน่นมีค่าน้อยกว่าแรงยึดติด แต่ถ้าหยดน้ำลงบนวัสดุใดแล้วพบว่าเกิดหยดน้ำที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมเกาะที่พื้นผิววัสดุนั้น แสดงว่า แรงเชื่อมแน่นมีค่ามากกว่าแรงยึดติด

2.3.2 แรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของสารชนิดเดียวกัน เช่นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของเอทานอลกับเอทานอล เป็นต้น

2.4 ภาวะการเปียก

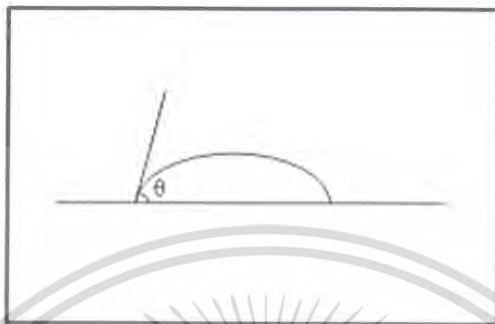
ภาวะการเปียก (wetting) คือ ความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง ซึ่งเป็นผลจาก ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล โดยระดับขั้นของภาวะการเปียกขึ้นกับความสมดุลระหว่าง แอดฮีชัน และ โคฮีชัน

ภาวะการเปียกมีความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรงยกตัว (หรือ capillary effect) ก็เป็นผลมาจากภาวะการเปียก และแรงพื้นผิวที่กำหนดภาวะการเปียก รูปร่างของหยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ในวงจำกัดเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แรงแอดฮีชัน (Adhesion) คือ แรงระหว่างของเหลวและของแข็งหรือแรงต่างชนิดกัน จะทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิว

2.4.2 แรงโคฮีชัน (Cohesion) คือ แรงภายในของเหลวหรือแรงชนิดเดียวกัน จะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง



รูปที่ 2.8 มุมสัมผัสแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นผิวเรียบของของแข็ง

มุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อย และจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง

สำหรับกรณีถ้าของเหลวนั้นเป็นน้ำ พื้นผิวที่มีการกระจายตัวได้ดีจะถูกเรียกว่า hydrophilic และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีจะถูกเรียกว่า hydrophobic พื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดียิ่งยวด (Superhydrophobic) จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° ทำให้มีหน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมากๆ ซึ่งกรณีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า "Lotus effect" หรือ "ปรากฏการณ์ใบบัว"

2.5 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง (Thin film process)

วิธีการเตรียมฟิล์มบางมีหลายแบบทั้งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีปริมาณและคุณภาพของฟิล์มบาง สำหรับเทคโนโลยีในการเตรียมฟิล์มบางนั้นแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

2.5.1 วิธีทางเคมี (Chemical Process) เป็นการเคลือบที่อาศัยการแตกตัวของสารเคมีในสภาพของก๊าซและเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นสารใหม่ตกเคลือบบนแผ่นรองรับซึ่งรวมถึงการพ่นสเปรย์ไพโรไลซิส (Spray Pyrolysis) กระบวนการเคลือบไอเคมี (Chemical vapor deposition) และวิธีโซลเจล (Sol-gel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 วิธีทางกายภาพ (Physical Process) เป็นการเคลือบที่อาศัยการทำให้อะตอมของสาร เคลือบหลุดออกจากผิวและฟุ้งกระจายหรือวิ่งเข้าไปจับและยึดติดกับผิวของแผ่นรองรับโดยการ ใช้ ความร้อน (Thermal) และระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron beam evaporation) รวมถึง วิธีการใช้แสงเลเซอร์ (Laser ablation) และวิธีการสปัตเตอริง (Sputtering)

2.6 เทคนิคการเคลือบฟิล์มบนกระจก

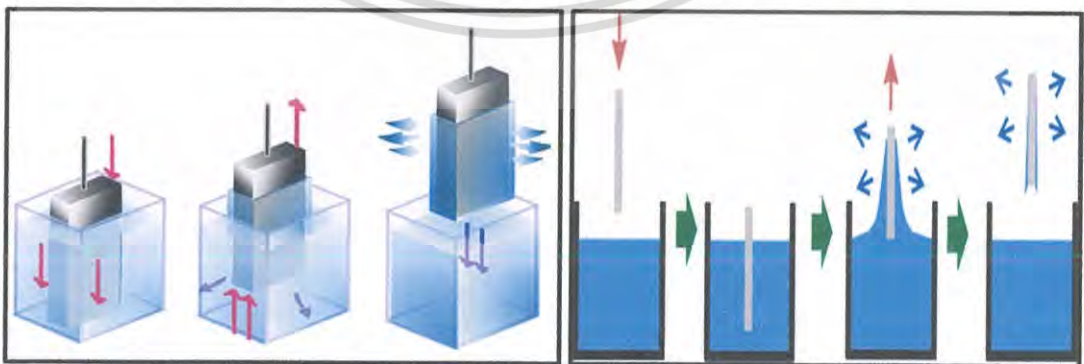
เทคนิคการเคลือบฟิล์มบนกระจกออกแบ่งได้ 2 วิธีคือ

2.6.1 กระบวนการแบบแห้ง (Dry Process) เช่นการเคลือบแบบไอระเหยทางฟิสิกส์ หรือทางเคมี สปัตเตอริง รีแอกทีฟพลาสมาเลเซอร์

2.6.2 กระบวนการเคลือบแบบเปียก (Wet Process) เช่น ไมโครอาร์ค-ออกซิเดชัน ไฮโดรเทอร์มอล และ เทคนิคแบบโซล-เจล โดยการเคลือบจุ่มหรือการเคลือบแบบสปินอาจทำให้ได้ฟิล์มที่เคลือบผิวบนวัสดุรองเคลือบเพียงด้านเดียวหรือสองด้าน เทคนิคการเคลือบโดยการเตรียมแบบโซล-เจล และการเคลือบแบบจุ่มเคลือบเป็นเทคนิคที่ราคาไม่สูงและกระบวนการเตรียมที่ง่ายเหมาะสำหรับการเตรียมฟิล์มสองหน้าดังนั้นจึงมีความเหมาะสมสำหรับเคลือบฟิล์มสองหน้าและเหมาะแก่การปรับปรุงสมบัติฟิล์มในภายหลังการเคลือบ

2.6.2.1 เทคนิคการจุ่มเคลือบ (Dip-Coating Method)

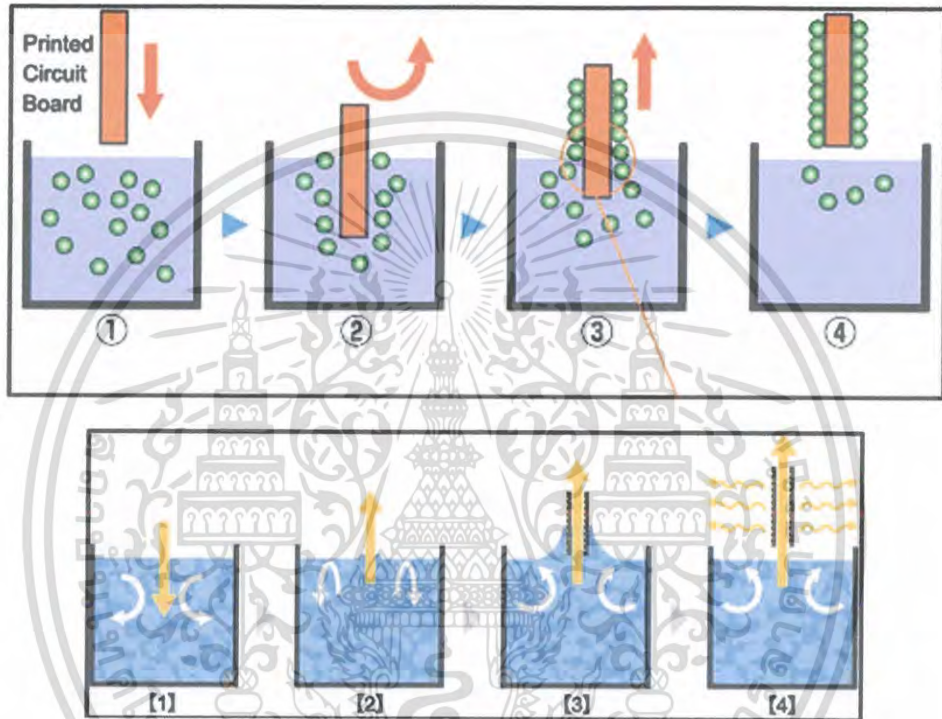
การจุ่มเคลือบ (Dip-coating) เป็นวิธีเคลือบที่ได้สะดวกและรวดเร็วเนื่องจากมีขั้นตอนที่ ไม่ซับซ้อนทำให้เหมาะสำหรับการเคลือบผลิตภัณฑ์อาหารที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และต้องการใช้ประโยชน์จากสารเคลือบอย่างเต็มที่ เช่นการจุ่มเคลือบสารเคมีลงบนฟิล์มบาง หรือกระจก เป็นต้น



รูปที่ 2.9 แสดงกระบวนการเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการจุ่มเคลือบแผ่นรองรับจะถูกจุ่มลงไปในสารละลายแล้วถูกดึงขึ้นจากสารละลายโดยควบคุมความเร็วโดยทั่วไปแล้วความหนาในการเคลือบจะเพิ่มขึ้นโดยแผ่นรองรับจะถูกดึงในความเร็วที่เร็วขึ้นความหนาของฟิล์มจะถูกกำหนดโดยความสมดุลของแรงที่จุดเฉื่อยชา หรือจุดหยุดนิ่ง (Stagnation) บนผิวของเหลวความเร็วในการดึงที่เร็วขึ้นผิวของแผ่นรองรับจะดึงของเหลวได้มากขึ้นก่อนที่จะไหลกลับลงไปในสารละลายความหนาที่ได้จะเป็นผลมาจากความหนืดของของเหลว ความหนาแน่นของของเหลว แรงตึงผิว และความเร็วในการดึง

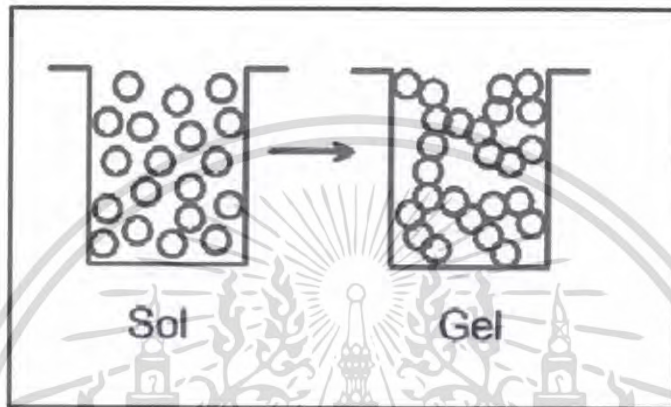


รูปที่ 2.10 กระบวนการเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ

2.6.2.2 เทคนิคการโซล-เจล (Sol-Gel Process)

เทคนิคโซลเจลเป็นกระบวนการทางเคมีที่อาศัยการเกิดพันธะทางเคมีหรือการเกาะตัวกันของสารตั้งต้นในระดับโมโนเมอร์ เทคนิคนี้เป็นที่รู้จักครั้งแรกในปี 1800 เทคโนโลยีโซลเจลเริ่มใช้อัลคอกไซด์ในปี 1846 เป็นเวลาร้อยกว่าปีแล้วที่ได้มีความสนใจการเคลือบชั้นออกไซด์หลักการเตรียมสารแขวนลอยในรูปของโซลเจล อย่างไรก็ตามการพัฒนาเทคนิคโซลเจลก็เพิ่งเริ่มสนใจพัฒนาอย่างรวดเร็วไม่กี่สิบปี โดยเฉพาะการเตรียมสารละลายไอออนโลหะ เช่น อัลคอกไซด์, เกลือในรูปของสารอินทรีย์ (Inorganic salts), เกลือของโลหะอินทรีย์ (Metallo-Organic salts) ในแอลกอฮอล์ที่เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม และเป็นเทคนิคที่กำลังถูกพัฒนาเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์วัสดุเซรามิก และเป็นตัวอย่างของการเตรียมโลหะออกไซด์ (Metal oxide) โดยเกิดผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของสารประกอบอินทรีย์โลหะเริ่มที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามักจะใช้โลหะ

แอลกอฮอล์ (Alkoxide) ในสารละลายแอลกอฮอล์ (Alcoholic Solution) ผลที่ได้คือ ไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) การรวมตัวของโมเลกุลไฮดรอกไซด์โดยการกำจัดน้ำออกจะทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโลหะไฮดรอกไซด์ เมื่อสปีชีส์ (Species) ของไฮดรอกไซด์เชื่อมต่อกันแล้วจะทำให้เกิดเป็นเจลคือการเปลี่ยนจากโซล (Sol) เป็นเจล (Gel) ดังรูปที่ 2.10 และเป็นเจลแน่นที่มีรูพรุน (Porous Gel) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะผ่านขั้นตอนของการทำให้เกิดสารแขวนลอยที่มีอนุภาคเล็กมาก โดยที่แรงที่กระทำกับโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นแรงวานเดอร์วาลส์ (Vander Waal's Force)



รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนสถานะจาก Sol ไปเป็น Gel

โดยทั่วไปกระบวนการเกิดโซลเจล คือ การเปลี่ยนสถานะจากของเหลว ที่เรียกว่า โซล ซึ่งอยู่ในรูปของคอลลอยด์ที่มีอนุภาคประมาณ $0.1 - 1$ ไมโครเมตร ไปเป็นสารที่จับตัวกันแข็งเป็นวุ้น มีความหนืดสูงซึ่งเรียกว่า เจล

โซลเป็นคอลลอยด์ของเหลวที่เกิดจากของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลวคอลลอยด์บางชนิด จะเปลี่ยนสภาพกลับไปมาระหว่างโซลกับเจลได้ขึ้นอยู่กับสภาวะ เช่น อุณหภูมิ

เจลเป็นคอลลอยด์ของแข็งที่เกิดจากของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลวซึ่งเป็นโครงข่ายเชื่อมโยง 3 มิติของของแข็งที่มีความพรุนที่กระจายปกคลุมอยู่ทั่วเฟสของเหลว เมื่อผ่านการกำจัดทำละลาย (Solution) และทำให้แห้งที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผงโลหะออกไซด์ที่มีลักษณะที่ดี

กระบวนการเตรียมแบบโซลเจล (Sol-Gel) เป็นกระบวนการเตรียมเชิงเคมีแบบเปียก (Wet Process) ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพและนอกจากนี้ยังสามารถนำไปดัดแปลงประยุกต์ใช้งานในการผลิตวัสดุได้หลายรูปแบบ เช่น การผลิตเป็นวัสดุเซรามิกโดยการทำให้กลายเป็นเจลและนำไปให้ความร้อน การผลิตเป็นแผ่นฟิล์มบางเคลือบผิววัสดุ โดยการจุ่มวัสดุที่ต้องการเคลือบลงในโซล และนำไปให้ความร้อนจนกลายเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความหนาแน่นมากขึ้น (Dense Film) การผลิตเป็นเส้นใยเซรามิก (Ceramic Fiber) โดยการดึงยืดภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงหรือการผลิตเป็นผงขนาดเล็กและสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2.1 กระบวนการเกิดโซลเจล

1. ขั้นตอนเตรียมโซล

การเตรียมโซลสามารถทำได้โดยการผสมสารตั้งต้นชนิดต่างๆที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร ในปริมาณที่เหมาะสมลงในสารละลายที่เหมาะสมแล้วทำให้อนุภาคเหล่านี้กระจายตัวอยู่ในสารละลายมีสภาพคอลลอยด์อย่างเสถียร สารตั้งต้นที่นิยมใช้ในกระบวนการโซลเจล เป็นสารประกอบโลหะหรือกึ่งโลหะที่ถูกล้อมรอบด้วยลิแกนด์ที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา เช่น โลหะอัลคอกไซด์ที่อยู่ในแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม โลหะอัลคอกไซด์เหล่านี้มีสูตรทั่วไปว่า $M(OR)_4$ หรืออาจได้มาจากแอลกอฮอล์ (ROH) ที่มี R เป็นสารในกลุ่มแอลคิลที่มีโลหะ M เข้าไปแทรกอยู่ที่ไฮดรอกซิลโปรตอน

2. ขั้นตอนการเกิดเจล

การเกิดเจลเป็นขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโดยระเหยของเหลวออกไปบางส่วนหรือปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลานานเพื่อให้เกิดโครงสร้างโครงข่ายของอัลคอกไซด์ต่อเนื่องในสามมิติโดยมีลักษณะคล้ายกับกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) จากกระบวนการนี้ส่งผลให้โซลมีความหนืดขึ้นเรื่อยๆเกิดเป็นลักษณะมวลกึ่งแข็งกึ่งเจลสำหรับกระบวนการที่คล้ายการเกิดพอลิเมอร์นี้เป็นกระบวนการที่สำคัญที่คอยควบคุมการยึดเกาะกันขององค์ประกอบทางเคมีและช่วยป้องกันการแยกออกไปกองอยู่ที่ข้างใดข้างหนึ่งมากเกินไปด้วย

เมื่อพิจารณาการเกิดเจล (Gelation) พบว่าในการเกิดเจลนั้นจะอาศัยกลไกที่สำคัญ 2 กลไก คือ การแยกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis) และกลไกการควบแน่น (Condensation) โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

Hydrolysis:



Water Condensation:



Alcohol Condensation:



เมื่อ M คือโลหะที่มีเวเลนซ์เล็กตรอนเท่ากับ X

R คือหมู่อัลคิล (Alkyl Group) หรือหมู่แอลริล (Aryl Group)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดโดยการเพิ่มเข้าไปของน้ำโดยหมู่อัลคอกไซด์ (OR) ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซี (OH) ลำดับต่อมาจึงเกิดปฏิกิริยารวมตัวโดยหมู่ซิลานอล (Si-OH) จะทำให้เกิดพันธะซิลอกเซนขึ้น (Si-O-Si) รวมกับผลผลิตข้างเคียงที่ได้เป็นน้ำกับแอลกอฮอล์ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่โลหะอัลคอกไซด์สายสั้นๆ ถูกแยกสลายด้วยน้ำซึ่งโลหะอัลคอกไซด์ส่วนใหญ่มีความว่องไวต่อน้ำดังนั้นปฏิกิริยาอาจเกิดขึ้นอย่างรุนแรงเนื่องจากการคายความร้อนออกมามากเกินไปจึงต้องควบคุมให้มีการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ โดยการควบคุมความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาและค่า pH ของสารละลายให้เหมาะสมบางกรณีอาจเติมสารประกอบประเภทคีเลต (Chelating agent) ลงไปเพื่อลดความว่องไวของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยารวมตัวเนื่องจากลิแกนด์ที่เป็นสารคีเลต (Chelating ligand) จะสร้างพันธะกับอะตอมโลหะได้แข็งแรงจึงทำให้เกิดการแทนที่ได้ยากส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้าลงสารประกอบคีเลตที่นิยมใช้ได้แก่ กรดอะซิติก (Acetic acid) อะซิติกอะซิโตน (Acetylacetone) หรือเอมีน (Amine)

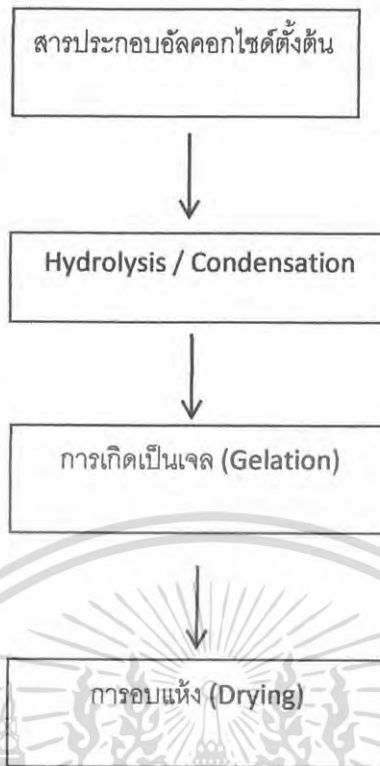
ปฏิกิริยาต่อมาเป็นการต่อสายโซ่โดยการเกิดผ่านปฏิกิริยาการควบแน่นซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดสารที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น (Oligomers) กลายเป็นเจล เมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์โดยอาศัยการแยกสลายด้วยน้ำและการควบแน่นเกิดขึ้นและมีการเชื่อมต่อข้ามสายจนเกิดการพันกันเป็นโครงข่ายสามมิติจะทำให้สารผสมมีความหนืดสูงขึ้นเรื่อยๆจนเข้าสู่สภาพเป็นเจล ซึ่งจะได้สารที่มีลักษณะเป็นโซล และเป็นเจลตามลำดับจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้สารผลิตภัณฑ์อื่นร่วมด้วย สารผลิตภัณฑ์อื่นมักเป็นพวกอะลิฟาติกแอลกอฮอล์ (Aliphatic alcohol) ซึ่งเราสามารถขจัดออกโดยการนำไประเหยแต่สารผลิตภัณฑ์ร่วมจำพวกซิลิกอนและฟอสฟอรัสอัลคอกไซด์จะยากแก่การระเหย

3. ขั้นตอนการระเหยของเหลว

กระบวนการต่อมาคือการระเหยของเหลวที่อยู่ในตัวเจล (Dehydration) ความแข็งแรงของตัวเจลจะช่วยให้สามารถรักษาความสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกันในระดับโมเลกุลให้คงอยู่ได้ นอกจากนี้การกำจัดของเหลวออกจากเจลภายใต้สภาวะวิกฤตยวดยิ่ง (Supercritical) หรือสภาวะวิกฤตเกิน (Hypercritical) นั้นแทบจะไม่ทำให้การหดตัวเกิดขึ้นเลย เจลที่แห้งแล้วจึงไม่มีการแน่นตัวเกิดขึ้นทำให้มีความเปราะจึงสามารถขจัดย้อยให้กลายเป็นผงละเอียดได้ง่าย

4. ขั้นตอนการเผาเจล

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเผาเจลที่ปราศจากน้ำให้กลายเป็นสารประกอบที่ต้องการจัดแบ่งประเภทของวิธีการเตรียมแบบโซลเจลนั้นสามารถกระทำได้โดยพิจารณาจากการเลือกโซลหรือสารละลายมาใช้เป็นสารตั้งต้นข้อดีของเทคนิคโซลเจลคือ มีการรวมกันของทุกโมเลกุลเป็นเนื้อเดียวกันสารประกอบที่ได้จึงมีความบริสุทธิ์สูงมีขนาดอนุภาคเล็กมากอยู่ในช่วงประมาณ 20 ถึง 50 นาโนเมตร ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวหน้ามากการเผาจึงสามารถกระทำได้โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในกรณีของผงที่เตรียมได้จากการวิธีการเตรียมเชิงกลแบบดั้งเดิม การจัดแบ่งประเภทของวิธีการเตรียมแบบโซลเจลนั้น สามารถกระทำได้โดยพิจารณาจากการเลือกโซลหรือสารละลายใช้เป็นสารตั้งต้น



รูปที่ 2.12 แผนภาพขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีโซลเจล

2.7 เครื่องมือเตรียมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์(TiO_2)

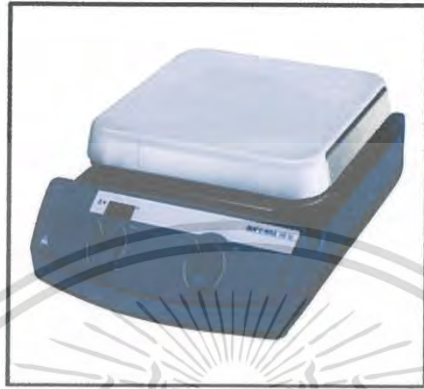
2.7.1 เครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน

คุณสมบัติของเครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน

- เป็นเครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก พร้อมให้ความร้อนในเครื่องเดียวกัน
- การปรับอุณหภูมิและความเร็วรอบในการกวนเป็นแบบปุ่มหมุนแยกกัน
- เป็นเครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็ก ชนิดกวนสารได้ปริมาตร 10 ลิตร
- การปรับความเร็วรอบในการกวนสารแบบปุ่มหมุนเพียงปุ่มเดียวตั้งแต่ 100-1,500 รอบต่อนาที โดยมีหน้าปัดเป็นสเกล 1-6
- มีมอเตอร์ขนาด input/output 15/1.5 W
- มีเตาให้ความร้อนขนาด 1000 W
- ให้ความร้อนได้ตั้งแต่ 50-500°C โดยมีปุ่มปรับความร้อนโดยมีหน้าปัดเป็นอิเล็กทรอนิกส์ (digital)
- มีความแม่นยำในการให้อุณหภูมิในของเหลว $\pm 10\text{K}$
- แผ่นให้ความร้อนทำด้วย เซรามิกแก้ว มีขนาด 180x180 มิลลิเมตร ซึ่งป้องกันสารเคมี (chemical resistance)
- สามารถใช้กับอุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิในสารตัวอย่างได้ คือ ETS-D5 หรือ ETS-D6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2562-0000 หรือ 0-2562-0001

- มีระบบป้องกันเพื่อความปลอดภัย (Safety circuit) ตั้งค่าให้ตัดไฟได้เมื่ออุณหภูมิถึง 550°C ซึ่งไม่สามารถปรับค่าได้
- มีระบบเตือนแผ่นให้ความร้อนยังคงร้อนอยู่หลังจากเครื่องปิดไปแล้ว
- ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อความแม่นยำ



รูปที่ 2.13 เครื่องกวนสารละลายสายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน

2.7.2 ระบบเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ

ระบบเคลือบฟิล์มแบบจุ่มที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นเครื่องที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.14 โดยการทำงานของระบบนั้นเป็นการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วยคอนโทรลเลอร์ผ่านชุดขับมอเตอร์ (Driver) และสั่งงานผ่านทางคีย์แพดพร้อมแสดงผลออกทางแอลซีดีส่วนประกอบภายในประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 5 v, 12 v และ 24 v
2. วงจรขับมอเตอร์ (Driver)
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 2.14 โครงสร้างภายในของระบบเคลือบจุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

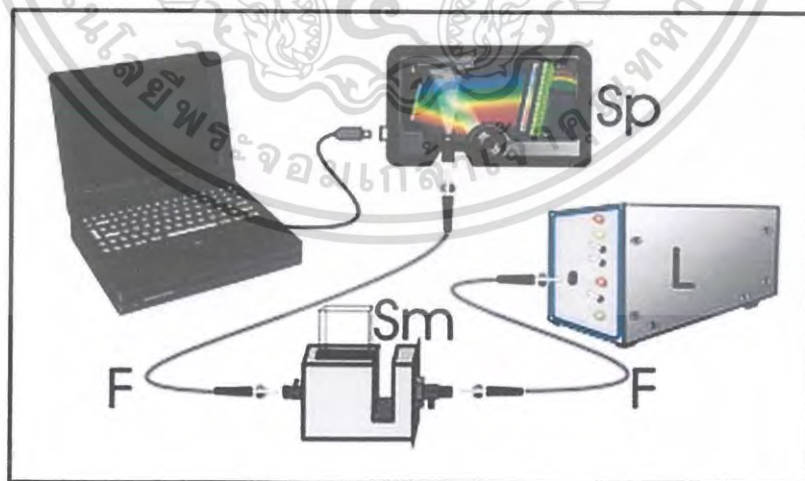


รูปที่ 2.15 ระบบเคลือบฟิล์มแบบจุ่มเคลือบ

2.8 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง

2.8.1 เครื่องมือวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวีซิปสเปกโทรสโกปี (Uv-Vis Transmission Spectroscopy)

การตรวจวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงฟิล์มบางในโครงการพิเศษนี้ทำได้โดยการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของบริษัท Ocean Optics รุ่น USB-4000 แสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งทำการตรวจสอบในช่วงความยาวคลื่น 200-900 นาโนเมตร จากข้อมูลการส่องผ่านของแสงของฟิล์มบาง สามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความหนา ดัชนีหักเหของแสงสำหรับฟิล์มบางสามารถใช้วิธีสเวนนิโพล(Swanpoel) ได้ด้วย

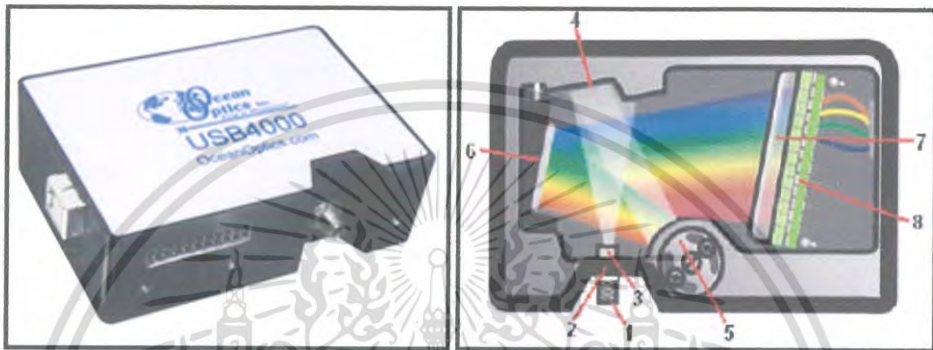


รูปที่ 2.16 องค์ประกอบพื้นฐานของการเชื่อมต่อเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งพื้นฐานควรมี 5 องค์ประกอบดังนี้

- 1) เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Spectrophotometer unit
- 2) แหล่งกำเนิดแสง Light Source
- 3) ที่วางตัวอย่าง Sample Holder
- 4) สายใยแก้วนำแสง Fiber Optics
- 5) คอมพิวเตอร์ Computer

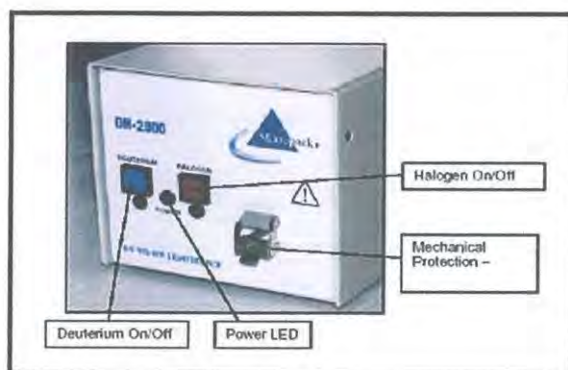


รูปที่ 2.17 เครื่อง Spectrometer unit

ส่วนประกอบ

1. SMA connector
2. Slit
3. Filter
4. Collimating mirror
5. Grating
6. Focusing mirror
7. L2 detector and protecting
8. CCD Detector (UV-Vis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 เครื่อง Light source

แหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงออกมาในช่วง UV-Visible ในอุปกรณ์ชุดนี้จะแก้ปัญหาที่มีในแหล่งกำเนิดแสงแบบทั่วไป คือ การทำให้ปริมาณของแสง UV (จาก deuterium lamp) นั้นมีความเข้มที่ใกล้เคียงกับในช่วง Visible (จาก Halogen lamp) ทำให้การวัดได้ข้อมูลที่ดีขึ้น-ให้เปิดเครื่องและแสดงให้เห็นแสงที่ออกมาจาก lamp แต่ละแหล่งกำเนิด และ ทั้งสองแหล่งกำเนิด-แสดงให้เห็นถึงการควบคุมปริมาณแสงโดยการใช้ FVA fiber optic attenuator-แสดงถึงการเลือกค่า excitation wavelength

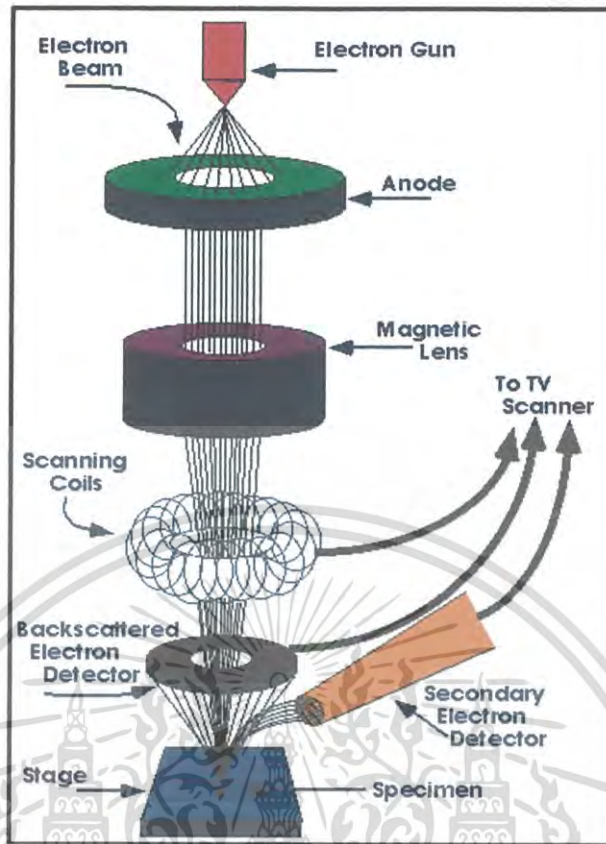
2.8.2 เครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

Scanning Electron Microscope เรียกโดยย่อว่า SEM หรือในภาษาไทยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยายเช่นเดียวกับเครื่อง Transmission Electron Microscopy (TEM) แต่มีความแตกต่างในรายละเอียดของกระบวนการในการสร้างภาพอย่างมาก เครื่อง SEM เครื่องแรกประดิษฐ์ในช่วงทศวรรษที่ 1960 จากนั้น เครื่อง SEM ก็ค่อยๆ กลายเป็นเครื่องมือที่นำไปประยุกต์ใช้แพร่หลายทั่วไปทั้งในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การแพทย์ อุตสาหกรรม นิติวิทยาศาสตร์ โบราณคดี และอื่นๆ อีกหลายด้านซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Electron Gun จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดย Condenser Lens จากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่างโดย Objective Lens ซึ่ง ณ ตอนนี อิเล็กตรอนที่ตกลงบนผิวตัวอย่างจะเป็นเพียงจุดที่เล็กมาก Scan Coil จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนให้กวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อสุดก็เลื่อนลงอีกชั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกครั้ง เป็นเช่นนี้จนครบเฟรม การกวาดลำอิเล็กตรอนเช่นนี้เรียกว่า Raster scan และเมื่อครบเฟรม แล้วก็จะไปเริ่มสแกนที่จุดแรกใหม่ ในการกวาดลำอิเล็กตรอนในแต่ละเฟรม จะถูกกำหนดจำนวนจุดและ

แถวไว้อย่างแน่นอน โดยในภาพตัวอย่าง 1 เฟรม ตามเส้นตามแนวนอนจะประกอบด้วยจุด 1000 จุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิววัตถุ ในที่นี้ถ้ากล่าวอย่างง่าย ๆ ว่าถ้าผิวตัวอย่างเรียบก็จะให้สัญญาณสะท้อนอิเล็กทรอนิกส์ได้ดี แต่ถ้าผิวตัวอย่างเป็นหลุมลึกก็จะไม่ให้สัญญาณหรือให้ได้น้อย ซึ่งเราสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ตัวตรวจจับที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะนำมาขยายให้มีความแรงที่เหมาะสมแล้วนำมาสร้างเป็นภาพ ถ้าเราใช้หลอดรังสีแคโทด (Cathod ray tube , CRT) เพื่อแสดงภาพ ในหลอดรังสีแคโทดจะมีการสร้างอิเล็กทรอนิกส์และถูกบีบให้เป็นลำเล็กๆ แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าในกล้องของเครื่อง SEM มาก กล่าวคือ ในเครื่อง SEM ลำอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร แต่ในจอภาพมีขนาดศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของลำอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่อง SEM ต่อ จอภาพจะพบว่าห่างกันถึง 20000 เท่า ทำให้เกิดเป็นอัตราส่วนของกำลังขยายที่จะให้ภาพที่รายละเอียดได้ดี ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป การสแกนในจอภาพจะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ Raster scan พร้อมๆกับการสแกนของลำอิเล็กทรอนิกส์ในกล้อง ขณะเดียวกันความสว่างของจุดอิเล็กทรอนิกส์ในจอภาพจะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณจาก Amplifier ที่ขยายสัญญาณจากตัวตรวจจับ รับสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ในกล้อง ถ้าสัญญาณแรงก็จะให้ความสว่างของลำอิเล็กทรอนิกส์มากเมื่อส่งลงบนจอภาพก็จะปรากฏเป็นจุดสว่าง ในทางกลับกันถ้าสัญญาณเบาาก็จะได้จุดที่มีความสว่างน้อย บนจอก็จะปรากฏเป็นจุดสว่างน้อยด้วย บนจอภาพจะทำการเรียงจุดของสัญญาณที่ได้นี้เป็นแถวจนครบเฟรมก็จะได้เป็นภาพออกมา ถ้าบนจอภาพมีขนาดกว้างและยาวเป็น 20 เซนติเมตรและเรากำหนดการกวาดลำอิเล็กทรอนิกส์ในกล้องให้ 1 เฟรมมีพื้นที่ขนาด กว้างยาวเป็น 20 เซนติเมตร ด้วยอัตราส่วนการขยายของภาพก็จะเป็น 1 เท่า แต่ถ้าเราให้การกวาดลำอิเล็กทรอนิกส์ในกล้องเป็นพื้นที่ 1×1 เซนติเมตร ก็จะขยายภาพเป็น 20 เท่า แต่ในความเป็นจริงขนาดของการสแกน 1 เฟรมในกล้องอาจควบคุมให้เล็กมากถึงระดับนาโนไมโครเมตร โดยที่การสแกนบนจอยังเท่าเดิม ดังนั้นการขยายจึงได้ถึงระดับหมื่นเท่าอิเล็กทรอนิกส์จาก Column ของเครื่อง SEM เราเรียกว่า Primary Electron เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะมีสัญญาณหลายอย่างเกิดขึ้นแต่พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้สองกลุ่มคือ Inelastic scattering และ Elastic scattering ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM ดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM ที่เป็นจุดกำเนิดภาพ

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun)

อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจาก 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูงคือระหว่าง 1-30 กิโลโวลต์ ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยลวดโลหะ Tungsten ที่บิดเป็นรูปตัววีเรียกว่า Filament และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehnelt cylinder) มีรูอยู่ปลายกรวย เมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 โวลต์ จะไปเข้ามาสู่ Filament ลวดตัววีดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูง ประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจายออกมาในสภาวะสุญญากาศภายใน Column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (Anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของ Electron gun ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือ บริเวณสนามแม่เหล็กที่สามารถรวบรวมประจุ อิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง Electron gun ซึ่งมี filament และ Wehnelt cylinder อยู่ภายในสามารถทำให้ขยับเขยื้อนได้ด้วยสกรูที่อยู่รอบๆด้านนอก Electron gun ทั้งนี้เพื่อปรับให้ Electron gun อยู่ในแนวตรงได้ ศูนย์กลางหรือตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของเลนส์สนามแม่เหล็กภายใน Column ใน SEM

สมัยใหม่นอกจากจะมีปั๊มหรือสกรูที่ช่วยปรับ Electron gun ให้ได้ศูนย์แล้วยังมีขดลวดที่มีสนามไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า บริเวณแผ่นขั้วบวก เพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่ศูนย์กลางของ สนามแม่เหล็กในเลนส์ชุด ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรกขดลวดดังกล่าวเรียกว่า Alignmentcoil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับได้ตามต้องการโดยหมุนและปรับปุ่ม (Alignment knobs) บนแผงของ Console Unit เหตุที่ต้องปรับ Electron gun ก็เพื่อจะให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เป็นรูปทรง กระบอกที่ไม่บิดเบี้ยวออกไปจากศูนย์กลาง หากมีการบิดของลำแสงอิเล็กตรอนออกนอกทิศทางอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) บางส่วนจะถูกกั้นออกไปซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron)

2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน (Electromagnetic Lens & Scan coil)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบ บนผิวตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขั้วหรือผลึกให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเลนส์แต่ละชุดมี Aperture ซึ่งเป็นโลหะประเภททองขาวทองเหลืองมีรูขนาดต่างๆกัน (50-400 μm) และสามารถเปลี่ยนได้ตามขนาดที่ต้องการ Aperture ดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเลนส์แต่ละชุดภายในบริเวณที่ไร้สนามแม่เหล็กของเลนส์ Aperture เหล่านี้ทำหน้าที่กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่สนามแม่เหล็กของเลนส์แต่ละชุดให้มีรูปกรวยที่สมมาตร Aperture ของเลนส์ชุดสุดท้ายก่อน ที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะมาสัมผัสกับตัวอย่างเป็น Aperture พิเศษเรียกว่า Objective Aperture มีไว้เพื่อกรองลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวย ขนาดเล็กที่มีความสมมาตรที่สุดและกำหนดขนาดและปริมาณของอิเล็กตรอนให้กระทบจุดต่างๆบนผิวตัวอย่างเพื่อให้ภาพที่มีความลึกมากกว่าปกติ ขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้กราดไปบนผิวของตัวอย่างชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์นี้เรียกว่า Scan coil ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้าและยังควบคุมการกราดของลำแสงที่เป็นเส้นในจอร์รับภาพ ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทาง และเวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอน

3. ช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง SEM (Specimen Chamber)

เป็นช่องว่างใต้เลนส์สุดท้ายส่วนที่สำคัญของช่องใส่ตัวอย่างคือฐานวางตัวอย่างและปุ่มควบคุมโดยใช้เฟืองขนาดต่างๆเพื่อเลื่อนไปมาภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทางฐานวางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า Goniometer stage

4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & Scintillator)

เป็นแท่งแก้วใสมีปลายมลทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอะลูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวกขนาด 30-250 โวลต์ เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่าง

5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging & Photographic devices)

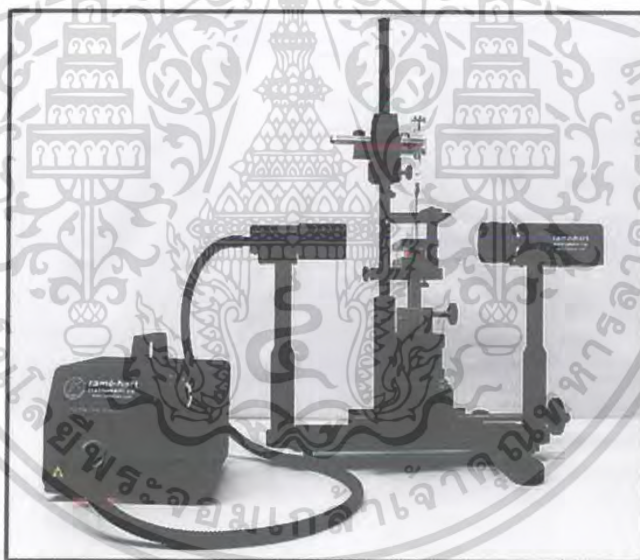
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอภาพก็พร้อมที่จะไม่จำกัดโดยที่อื่น อีกทั้งยังมีให้ดูแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการบันทึกอุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อลำแสงและเครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณ

อิเล็กตรอนให้เป็นแสงไฟฟ้าการสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใสประเภทที่นำแสงในลักษณะของแสงแสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง(Photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงแสงชนิดโฟตอนนี้ไปอิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพที่ติดตั้งไว้บน Console unit

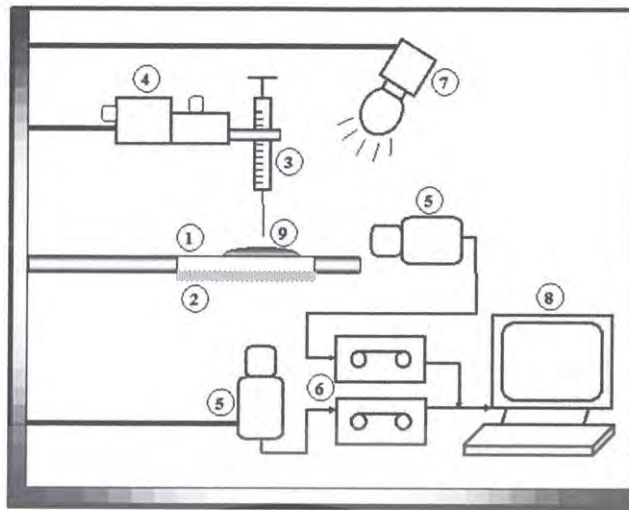
2.8.3 เครื่องวัดมุมสัมผัสที่ผิว (Contact Angle)

เครื่องวัดมุมสัมผัสที่ผิว (Contact Angle) ทดสอบมุมสัมผัสของของเหลวบนผิววัสดุ ทดสอบมุมสัมผัสของของเหลวบนผิววัสดุ สามารถวัดค่า Static Contact Angle ,Dynamic Contact Angle ,Surface tension/Interfacial Tension by Pendant Drop method, Surface energy Polar/dispersive properties , Adhesion Force และ Absorption ของเซรามิก แก้ว กระจก พลาสติก ผ้า หรือผงตัวอย่าง



รูปที่ 2.20 เครื่องวัดมุมสัมผัสที่ผิว (Contact Angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แบบจำลองเครื่อง Contact Angle setup

ส่วนประกอบของเครื่อง Contact Angle

1. Flat solid substrate
2. Optical screen
3. Microlitre syringe
4. Micromanipulator
5. CCD video camera
6. VHS recorder
7. Light source
8. Personal computer with frame grabber
9. spreading drop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การปลูกฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์(TiO₂) เพื่อสังเคราะห์และวัดสมบัติฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการเคลือบสารละลายโซลเจลด้วยเทคนิคการจุ่มเคลือบ(Dip coating) มาใช้ในการปลูกฟิล์มบางเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายมีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ราคาถูก สามารถทำได้ในระบบเปิดและควบคุมปริมาณของสารเจือได้

3.1 การเตรียมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)

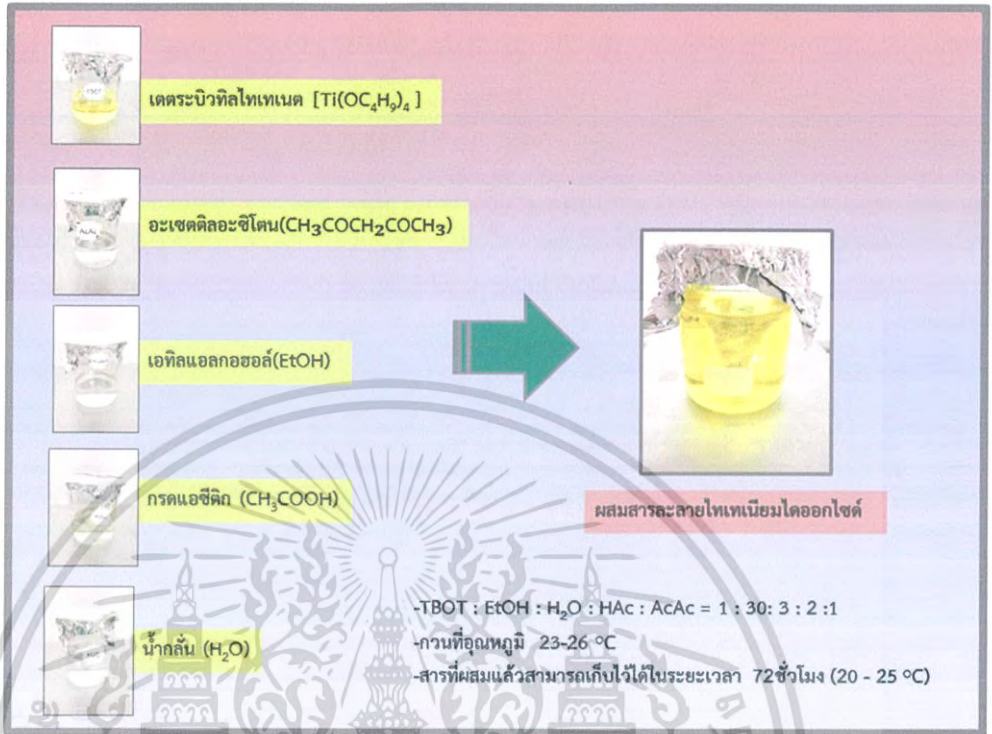
ขั้นตอนการเตรียมสารตั้งต้นไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) จากเตตระบิวทิลไทเทเนต [Ti(OC₄H₉)₄] เตตระบิวทิลไทเทเนตถูกนำไปผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์(EtOH) ที่มีสถานะเป็นตัวทำละลาย โดยใช้ น้ำกลั่นเพื่อความสมบูรณ์ในเทคนิคกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำ เนื่องจากอะเซตติลอะซิโตน(CH₃COCH₂COCH₃)เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการเสริมฤทธิ์การยับยั้งการออกซิเดชันและกรดแอซีติก (CH₃COOH) จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วน Molar ratio คือ TBOT : EtOH : H₂O : HAC : AcAc = 1 : 30 : 3 : 2 : 1 ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้จะมีอายุการใช้งานอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเสถียรภาพ (ความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 30 และอุณหภูมิ 20 - 25 °C) ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขสำหรับการจุ่มเคลือบฟิล์มบางในสารไทเทเนียม ไดออกไซด์ ในโครงการพิเศษนี้

ปริมาณความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ (ml)	ความเร็ว (mm/s)		เวลา (s)		จำนวนการจุ่มเคลือบ (Cycle)	ระยะทาง (mm)
	ขึ้น	ลง	แช่	พัก		
80	5	5	300	180	1	75
80	5	5	300	180	2	75
80	5	5	300	180	3	75
80	5	5	300	180	4	75
80	5	5	300	180	5	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)



รูปที่ 3.1 สารละลายต่างๆ ใช้ในการผสมสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายและจุ่มเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

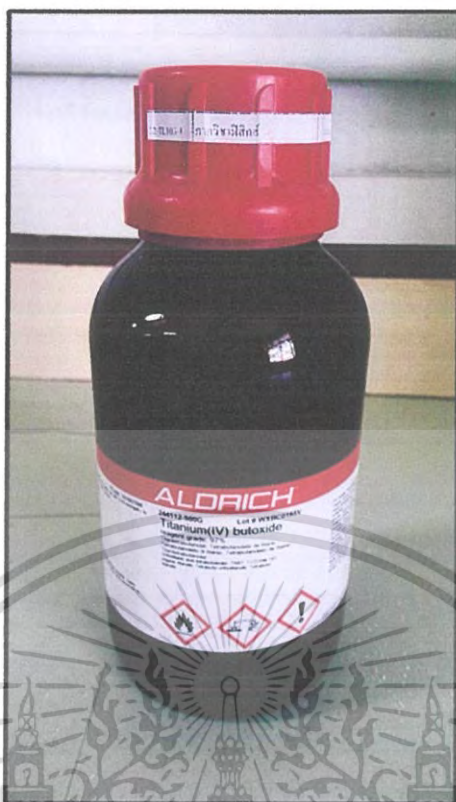
3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. กระจก
2. เครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิก
3. เตตระบิวทิลไทเทเนต (TBOT) $[\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4]$
4. อะเซตติลอะซิโตน (Acetylacetone) $(\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3)$
5. กรดแอซิติค (Acetic acid) $(\text{CH}_3\text{COOH}, \text{HAc})$
6. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) (EtOH)
7. น้ำกลั่น (Distilled water)
8. ปีกเกอร์ขนาด 100 ml, 200 ml และ 250 ml
9. หลอดหยดสาร
10. แท่งแม่เหล็ก
11. เตาอบสาร
12. เครื่องกวนสาร
13. จานแก้ว



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ในการทดลองสาร ประกอบด้วยปีกเกอร์ กระจก จานแก้ว แท่งแม่เหล็ก หลอดหยดสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เตตระบิวทิลไทเทเนต (TBOT) $[Ti(OC_4H_9)_4]$

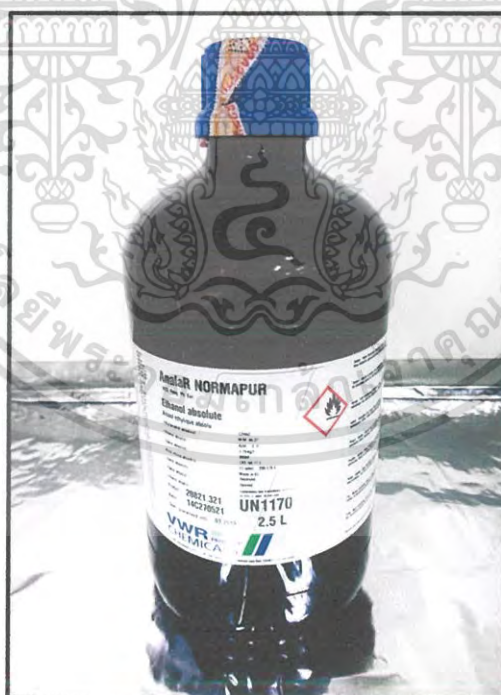


รูปที่ 3.5 อะเซตติลอะซิโตน (Acetylacetone) $(CH_3COCH_2COCH_3)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กรดแอสติก (Acetic acid) (CH_3COOH , HAC)



รูปที่ 3.7 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) (EtOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 น้ำกลั่น (Distilled water)

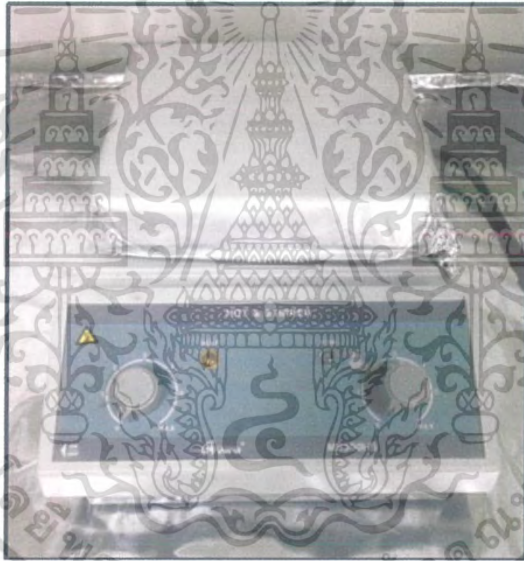


รูปที่ 3.9 เตาอบสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เตาอบไฟฟ้าหี้อ SHARP รุ่น KZ-50s



รูปที่ 3.11 เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมกระจกสไลด์ที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง

งานวิจัยนี้ใช้ฐานรองรับเป็นกระจกสไลด์ในการปลูกการฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ มีขั้นตอนการเตรียม ดังนี้

1. กระจกสไลด์ขนาด กว้าง 76 มิลลิเมตร ยาว 26 มิลลิเมตรหนา 1 มิลลิเมตร
2. ล้างด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน
3. ล้างด้วยน้ำสะอาดและล้างด้วยน้ำปอดประจุ (DI) ด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที
4. ล้างด้วยอะซิโตน ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที
5. ล้างด้วยเมทานอล ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที
6. ล้างด้วยน้ำปอดประจุ (DI)
7. นำกระจกมาเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนจนแห้ง
8. อบให้แห้งด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็น 5 นาที



รูปที่ 3.12 ล้างด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ล้างด้วยน้ำสะอาดและล้างด้วยน้ำปอดประจุ (DI)



รูปที่ 3.14 ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาทีล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ล้างด้วยอะซีโตนทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที

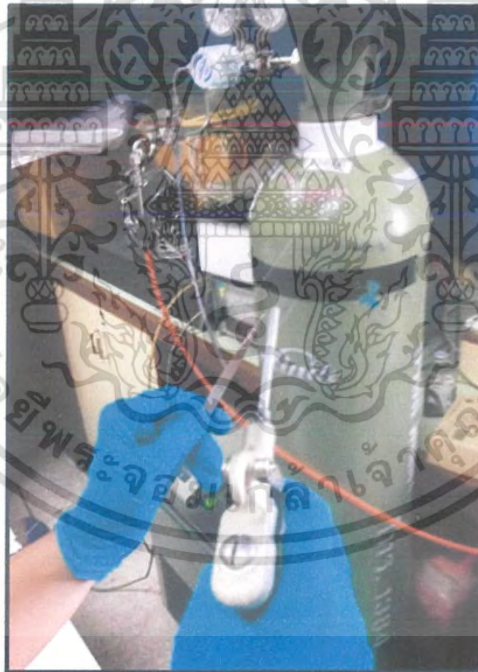


รูปที่ 3.16 ล้างด้วยเมทานอลทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

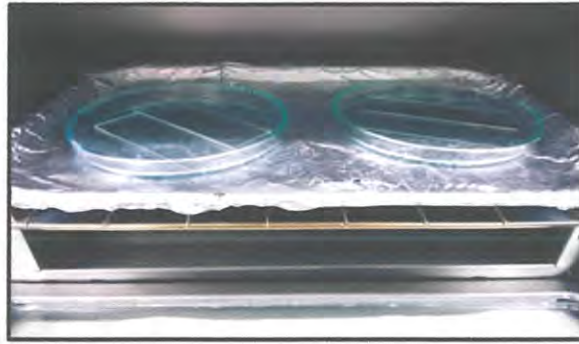


รูปที่ 3.17 ล้างด้วยน้ำปลอดประจุ (DI) ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที



รูปที่ 3.18 นำกระจกมาเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 อบแห้งด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็น 5 นาที

3.5 การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (Dip coating)

อันดับแรกให้ทำความสะอาดแผ่นกระจกที่จะใช้ในการจุ่มเคลือบสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) อบด้วยเตาไฟฟ้าไหมดอบขนมปังที่อุณหภูมิ 180-200 °C เวลา 5 นาที และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง อุปกรณ์จุ่มเคลือบที่ใช้สำหรับการทำงานและความหนาของฟิล์มอาจถูกปรับตามอัตราการถอนตัว (0-12 นิ้ว/นาที) ตัวอย่างเช่น ในการจุ่มเคลือบกระจกแต่ละครั้งจะจุ่มในจำนวนครั้งที่แตกต่างกัน (1-5 ครั้ง/5 นาที), อบด้วยเตาไฟฟ้าไหมดอบขนมปัง ที่อุณหภูมิ 180-200 °C เวลา 5 นาที และนำมาอบรวมที่อุณหภูมิ 100-500 °C

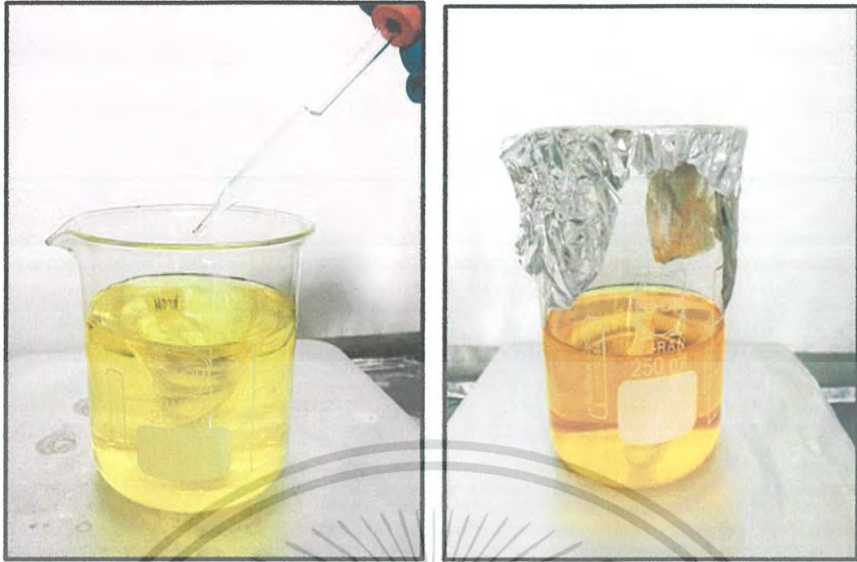
3.6 การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (Dip coating)

1. เตรียมผสมสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)
2. นำกระจกสไลด์ที่เตรียมไว้มาอบอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที
3. กำหนดอัตราการจุ่ม 1 ครั้ง ความเร็วในการดึงขึ้น (Speed up) 5 mm/s ความเร็วในการดึงลง (Speed down) 5 mm/s ระยะเวลาในการจุ่มกระจกในสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (Time immerse) เป็นเวลา 300 s แซ่กระจกในสารไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นเวลา 180 s และระยะทางในการจุ่มกระจกในสารละลายซิงค์ออกไซด์ (Distance) 75 mm.
4. นำกระจกสไลด์ที่เคลือบสารแล้วอบด้วยเตาอบไฟฟ้าไหมดอบขนมปัง เป็นเวลา 5 นาที
5. อบรอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100-500 °C โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 50 °C ทุกๆ นาที



3.20 เตรียมสารละลาย 5 ชนิดเพื่อทำการผสมสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นค่าการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้อัดแปลงเป็นหนังสือหรือสื่ออื่นใดโดยไม่แจ้งความก่อนล่วงหน้า

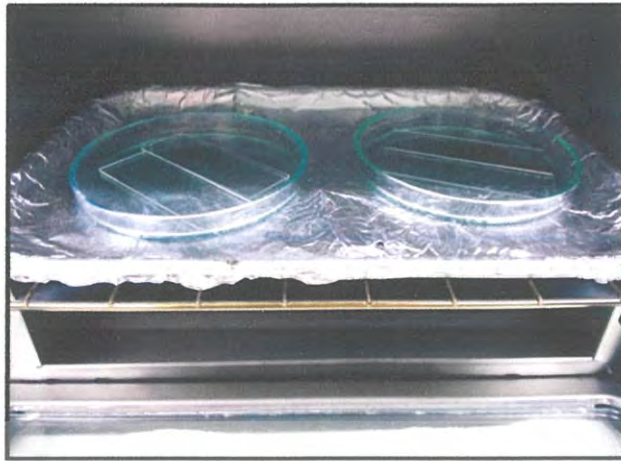


รูปที่ 3.21 ผสมสารเข้าด้วยกันจนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงและนำสารไทเทเนียมไดออกไซด์(TiO_2) มาจุ่มเคลือบ



รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการจุ่มเคลือบกระจกแผ่นสไลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 นำกระจกสไลด์ที่เคลือบสารแล้วอบด้วยเตาไฟฟ้ายี่ห้อ SHARP รุ่น KZ-50s โหมดอบขนมปัง เป็นเวลา 5 นาที



รูปที่ 3.24 อบรอบสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100-500 °C โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 1-10 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

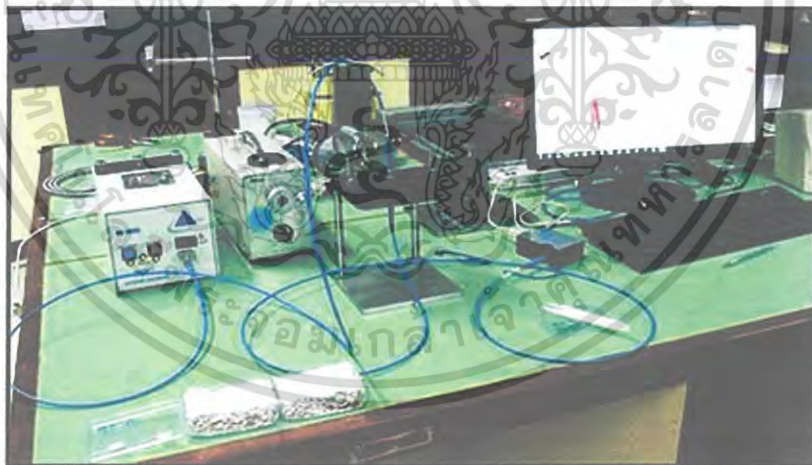
3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติฟิล์มบางจุ่มเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์

ในการศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์มบางจุ่มเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง จำเป็นต้องใช้เทคนิคในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มบาง ดังนี้

1. เครื่องมือวิเคราะห์หัดมุมสัมผัส(Contact angle)
2. เครื่องมือวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวีซิปเปกโทรมิเตอร์สโกปี (Uv-Vis Spectrophotometry)
3. เครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

3.7.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์การส่งผ่านของแสงด้วยเครื่อง UV-VIS transmission spectroscopy

ตรวจสอบการส่งผ่านของแสงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของบริษัท Ocean Optics รุ่น USB-4000 ดังแสดงในรูปที่ 3.25 ซึ่งทำการตรวจสอบในช่วงความยาวคลื่น 200-900 นาโนเมตร จากข้อมูลการส่งผ่านนำไปวิเคราะห์ค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง



รูปที่ 3.25 สเปกโทรมิเตอร์ของบริษัท Ocean Optics รุ่น 4000-USB

ขั้นตอนการวัดสเปกตรัมการส่งผ่าน

1. จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.25
2. เปิดโปรแกรม Ocean Optics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกโหมดการวัดแบบส่องผ่าน

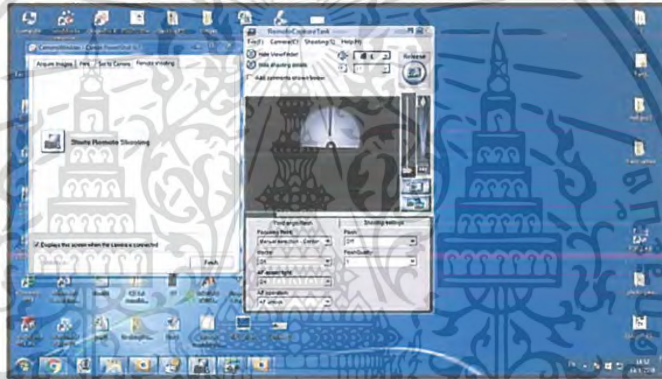
4. บันทึกค่า Dark Spectrum ขณะนำแผ่นโลหะมาขึ้นแสง

5. ทำการวัดฟิล์มบางตัวอย่าง
6. บันทึกค่าที่สเปกตรัมการส่องผ่านที่ได้

3.7.2 ขั้นตอนการวัดมุมสัมผัสด้วยโปรแกรมการคำนวณวัดมุมสัมผัส (Contact angle)


เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากโปรแกรม visual basic ในการทดลองนี้จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หามุมสัมผัส โดยการทำงานของโปรแกรมจะใช้วิธีการวัดแบบโปรแกรมเลือกทรงของหยดน้ำอัตโนมัติจะได้วัดได้แม่นยำกับรูปที่มีความละเอียดสูง เนื่องจากโปรแกรมจะนำตำแหน่งของ Pixel มาใช้ในการคำนวณ จากรูป 3.26 เป็นรูปที่ได้จากการทดลองแล้วจะนำไปวิเคราะห์หามุมสัมผัส

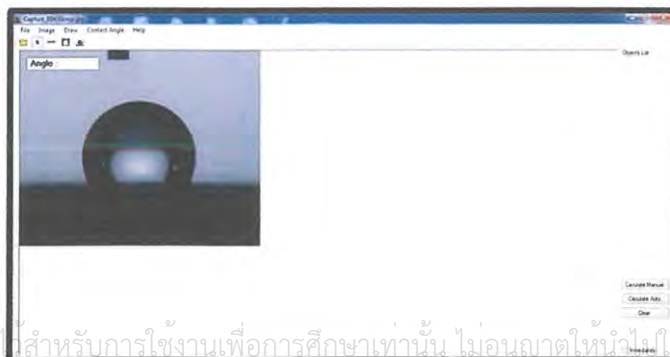
โปรแกรมการคำนวณวัดมุมสัมผัส



รูปที่ 3.26 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลซึ่งจะนำไปวิเคราะห์หามุมสัมผัส

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



1. ทำการรันโปรแกรม
2. ทำการโหลดไฟล์รูปภาพที่ต้องการวัดมุมสัมผัสโดยกดที่เมนู Open>File Image หรือ กดที่ไอคอน  จะได้ภาพดังแสดงในรูปที่ 3.27




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้นรูปที่ 3.27 แสดงภาพถ่ายที่นำไปตัดเพื่อที่จะให้เห็นบริเวณรอยต่อที่ชัดเจน การนำไปใช้

3. ก่อนการวัดมุมสัมพันธ์จะต้องทำการ Threshold ภาพก่อนทุกครั้ง และจะต้องป้อนค่า Threshold ให้เหมาะสมกับภาพ ซึ่งค่าที่ป้อนนั้นต้องอยู่ในช่วง 1-256 โดยเลือกที่เมนู Image>Threshold แล้วป้อนค่า Threshold ลงไปใน Textbox

4. การวัดมุมสัมพันธ์ของหยดน้ำสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

-เลือกที่จะวัดมุมสัมพันธ์โดยการระบุตำแหน่ง (Manual Measurement) โดยเลือกที่เมนู Draw>Manually 2 points line หรือกดที่ไอคอน  แล้วทำการลากเส้นฐานของหยดน้ำและเส้นสัมพันธ์ของหยดน้ำ แล้วกดปุ่ม Calculate Manual หรือปุ่ม 

-เลือกที่จะวัดมุมสัมพันธ์โดยให้โปรแกรมหาขอบของหยดน้ำให้ (Auto Detect) โดยเลือกที่เมนู Draw>Auto Detect หรือกดปุ่มไอคอน  แล้วทำการลากกรอบให้ครอบคลุมด้านที่ต้องการวัด จากนั้นจะมีหน้าต่าง Side Selection ขึ้นมาให้เลือกว่าต้องการวัดขอบของหยดน้ำด้านไหน จากนั้นกดปุ่ม Calculate Auto

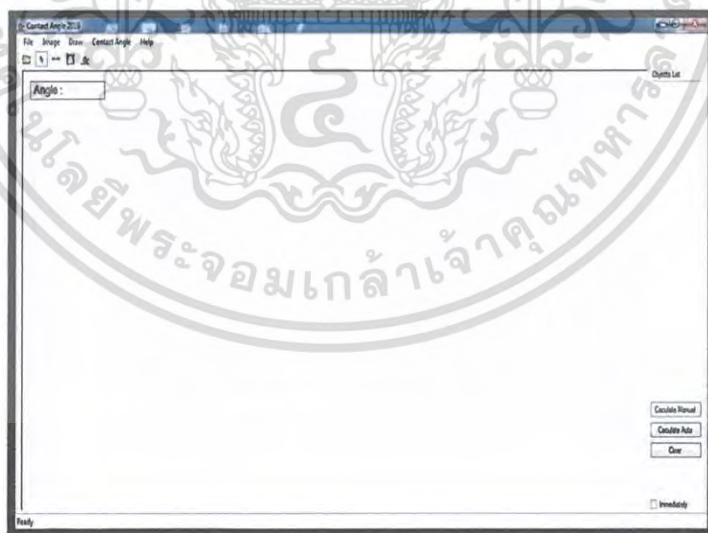
5. ค่ามุมสัมพันธ์ของหยดน้ำจะแสดงค่าใน

Angle :

6. หากต้องการลบฟังก์ชันการทำงานที่กระทำบนภาพอยู่ให้กดปุ่ม Clear

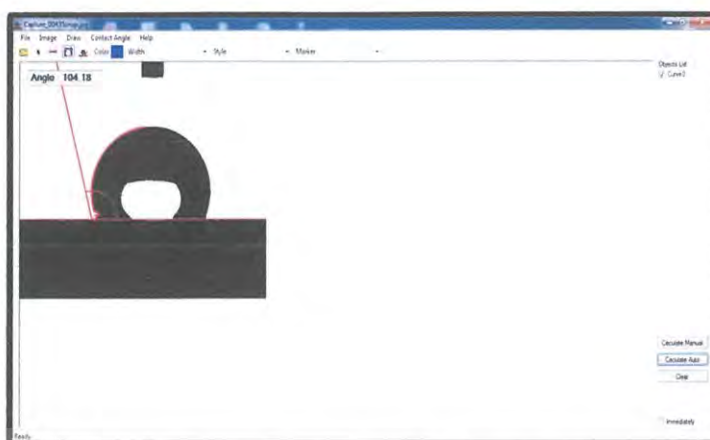
7. หากต้องการให้ภาพกลับไปเป็นภาพเริ่มต้น โดยเลือกเมนู Image>Original Image

8. ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม เลือกเมนู File>Exit Program หรือกดปุ่ม 



รูปที่ 3.28 หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงการหาค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรมวัดมุมสัมผัส

- เครื่องวัดมุมสัมผัส มีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่
- กล้องถ่ายรูป ทำหน้าที่ในการบันทึกภาพระหว่างหยดของเหลวและพื้นผิว โดยที่แท่นวางกล้องถ่ายรูปสามารถปรับเลื่อนขึ้นลง ซ้ายขวาได้
 - แหล่งกำเนิดแสง ทำหน้าที่ในการปรับความเข้มแสงสำหรับแต่ละพื้นผิว เพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างหยดของเหลวและพื้นผิวได้อย่างชัดเจน
 - แหล่งจ่ายไฟ ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับแหล่งกำเนิดแสง
 - ไมโครมิเตอร์ ใช้เพื่อกำหนดขนาดของหยดของเหลวให้มีขนาดเท่ากันตลอดการทดลอง ในการทดลองจะใช้ขนาดของหยดของเหลว 20 ไมโครเมตร
 - แท่นวางแผ่นพื้นผิว สามารถปรับขึ้นลง ซ้ายขวาได้
 - คอมพิวเตอร์ จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับกล้องถ่ายรูปและวิเคราะห์การวัดมุมสัมผัส ด้วยโปรแกรมการวัดมุมสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 3.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.30 เป็นลิขสิทธิ์ของรามอฮาร์ท กรุณาแจ้งการนำไปใช้

รูปที่ 3.30 เครื่อง Contact angle ที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการพัฒนาฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยวิธีการโซล-เจล แบบจุ่มเคลือบ นั้น พารามิเตอร์หรือปัจจัยของกระบวนการในการเตรียมฟิล์มบางที่คาดว่าจะผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการกวนสาร อัตราการจุ่ม-ดึง แช่ (dwell time) ของฐานรองรับ จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ รวมทั้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบหลังจากการจุ่มเคลือบ ช่วงระยะเวลาทิ้งไว้ในอากาศ และ ผลของการอบซ้ำอีกครั้ง เนื่องจากเป้าหมายหลักของการสังเคราะห์ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ คือ การสังเคราะห์ฟิล์มบางที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ฉะนั้นการศึกษาปัจจัยของกระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มในเบื้องต้นจะถูกตรวจวัด Contact Angle (CA) Measurement เพียงอย่างเดียว หลังจากนั้นจึงปัจจัยที่ส่งผลทำให้ได้ฟิล์มบางที่มีค่ามุมสัมผัสที่สุทธมาศึกษาลักษณะของพื้นผิวด้วย FE-SEM องค์ประกอบธาตุที่อยู่บนพื้นผิวด้วย EDS และ chemical-bonding ด้วย FTIR รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงในช่วง UV-Vis

4.1 เวลาในการกวนสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส

4.1.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ใช้เวลาในการกวนสาร 72 ชั่วโมง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.1-4.4

ตารางที่ 4.1 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° (30m)

มุมสัมผัส(องศา)						
สารเคมี	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
TiO_2	-	-	66.66	75.43	-	71.04

ตารางที่ 4.2 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 150° (30m)

มุมสัมผัส(องศา)						
สารเคมี	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
TiO_2	-	-	89.58	83.66	-	86.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 200° (30m)

สารเคมี	มุมสัมผัส(องศา)					เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	
TiO_2	-	-	71.44	56.48	-	63.96

ตารางที่ 4.4 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 500° (30m)

สารเคมี	มุมสัมผัส(องศา)					เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	
TiO_2	ไม่สามารถวัดได้	-	-	-	-	-

4.1.2 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ใช้เวลาในการกวนสาร 24 ชั่วโมง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.5-4.7

ตารางที่ 4.5 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° (30m)

สารเคมี	มุมสัมผัส(องศา)					เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	
TiO_2	80.74	78.91	77.30	75.79	84.45	79.43

ตารางที่ 4.6 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 150° (30m)

สารเคมี	มุมสัมผัส(องศา)					เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	
TiO_2	48.60	48.01	55.16	43.43	43.12	47.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 200° (30m)

มุมสัมพัทธ์(องศา)						
สารเคมี	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
TiO_2	95.30	100.39	78.39	90.83	97.43	92.46

4.1.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ใช้เวลาในการกวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.8-4.10

ตารางที่ 4.8 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° (30m)

มุมสัมพัทธ์(องศา)						
สารเคมี	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
TiO_2	49.96	62.47	69.76	72.24	70.69	65.02

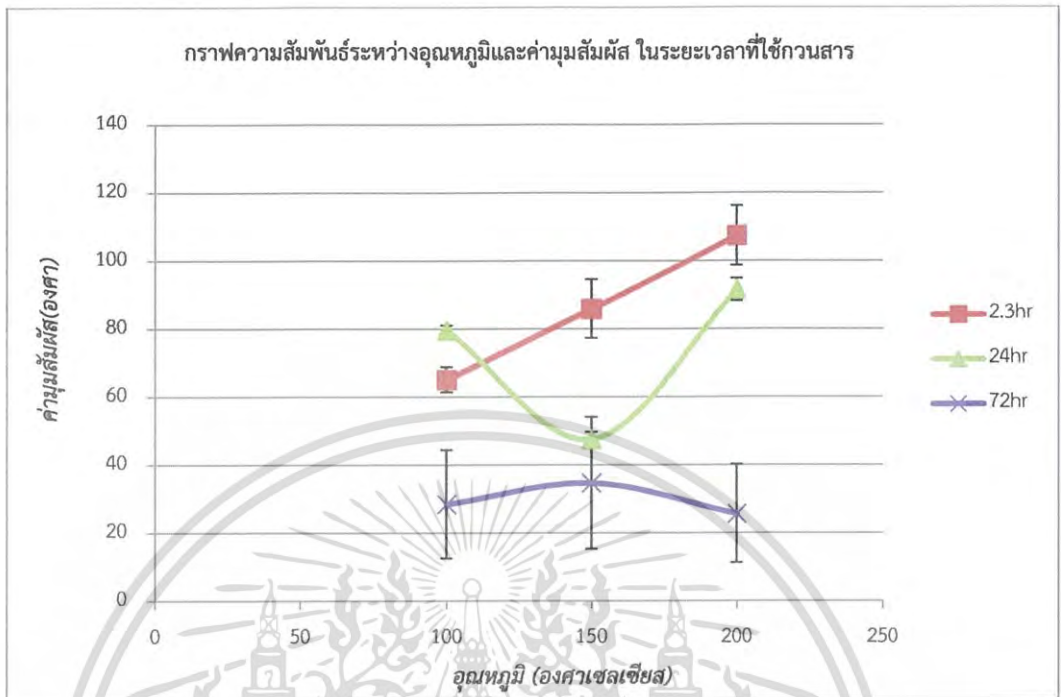
ตารางที่ 4.9 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 150° (30m)

มุมสัมพัทธ์(องศา)						
สารเคมี	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
TiO_2	92.47	89.23	99.39	99.18	48.91	85.83

ตารางที่ 4.10 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบด้วย TiO_2 ที่อบด้วยอุณหภูมิ 200° (30m)

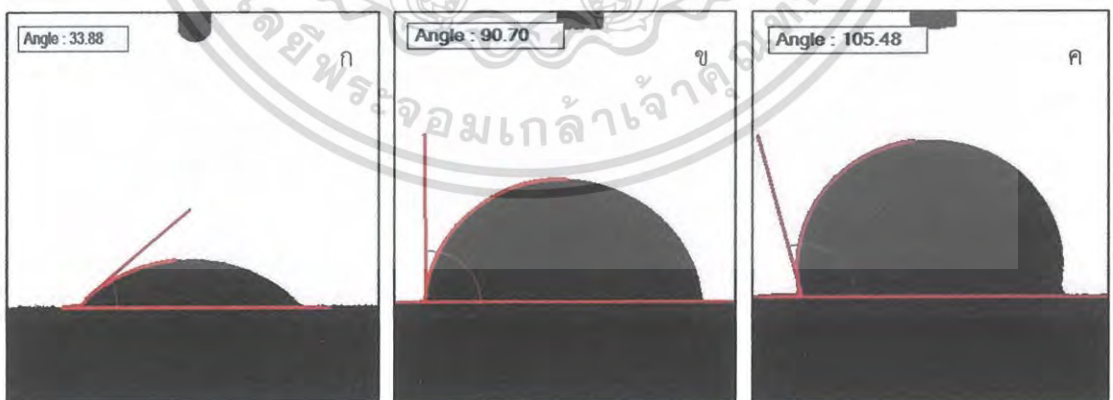
มุมสัมพัทธ์(องศา)						
สารเคมี	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	เฉลี่ย
TiO_2	105.48	97.39	94.59	144.75	94.40	107.32

จากการหาเฟสเวลาในการกวนสาร สามารถสรุปได้ตามกราฟดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ และระยะเวลา กวนสารที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส

ภาพถ่ายของมุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยโปรแกรมการวัดมุมสัมผัสที่ใช้ เวลาในการกวนสาร 72 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง 30 นาที



รูปที่ 4.2 ค่ามุมสัมผัส (ก) เวลา กวนสาร 72 ชั่วโมง ค่ามุมสัมผัส 33.88° (ข) เวลา กวนสาร 24 ชั่วโมง ค่ามุมสัมผัส 90.70° (ค) เวลา กวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที ค่ามุมสัมผัส 105.48°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเวลาที่ใช้ในการทวนสารที่มีผลทำให้ได้มุมสัมผัสที่มีค่ามากที่สุด คือ การใช้เวลาทวนสารที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที

4.2 จำนวนรอบในการจุ่มฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส

4.2.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่จำนวนรอบในการจุ่มสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.11-4.13

ตารางที่ 4.11 ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการจุ่ม 5 รอบ ที่อุณหภูมิ 100 °

อุณหภูมิ 100°	ค่ามุมสัมผัส(องศา)		average	stdv	uncw
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
จุ่ม 1รอบ	49.96	80.74	65.35	21.76	15.39
จุ่ม 2รอบ	62.47	78.91	70.69	11.62	8.22
จุ่ม 3รอบ	69.76	77.30	73.53	5.33	3.77
จุ่ม 4รอบ	72.24	84.45	78.34	8.63	6.10
จุ่ม 5รอบ	70.69	75.79	73.24	3.60	2.55

ตารางที่ 4.12 ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการจุ่ม 5 รอบ ที่อุณหภูมิ 150 °

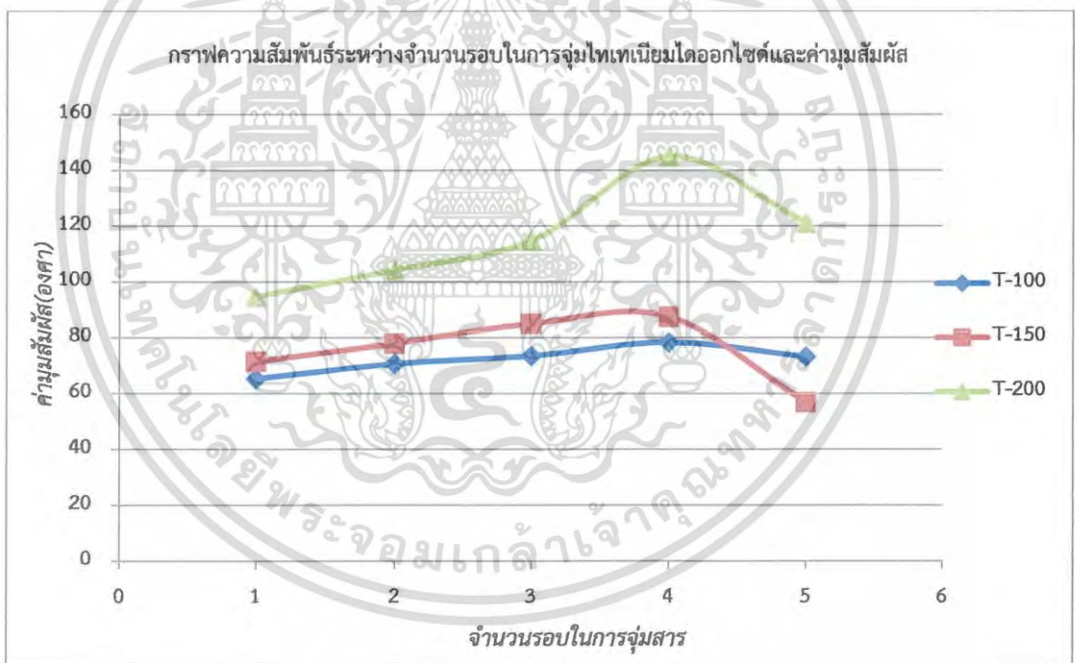
อุณหภูมิ 150°	ค่ามุมสัมผัส(องศา)		average	stdv	uncw
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
จุ่ม 1รอบ	92.47	50.53	71.50	29.65	20.97
จุ่ม 2รอบ	89.23	66.80	78.01	15.86	11.21
จุ่ม 3รอบ	99.39	70.73	85.06	20.26	14.33
จุ่ม 4รอบ	99.18	75.96	87.57	16.41	11.61
จุ่ม 5รอบ	48.91	64.85	56.88	11.27	7.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 फिल्मบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการจุ่ม 5 รอบ ที่อุณหภูมิ 200°

อุณหภูมิ 200°	ค่ามุมสัมผัส(องศา)		average	stdv	uncw
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
จุ่ม 1รอบ	105.48	84.03	94.75	15.16	10.72
จุ่ม 2รอบ	97.39	111.33	104.36	9.85	6.97
จุ่ม 3รอบ	94.59	135.00	114.79	28.57	20.20
จุ่ม 4รอบ	144.75	145.20	144.97	0.31	0.22
จุ่ม 5รอบ	94.40	147.96	121.18	37.87	26.78

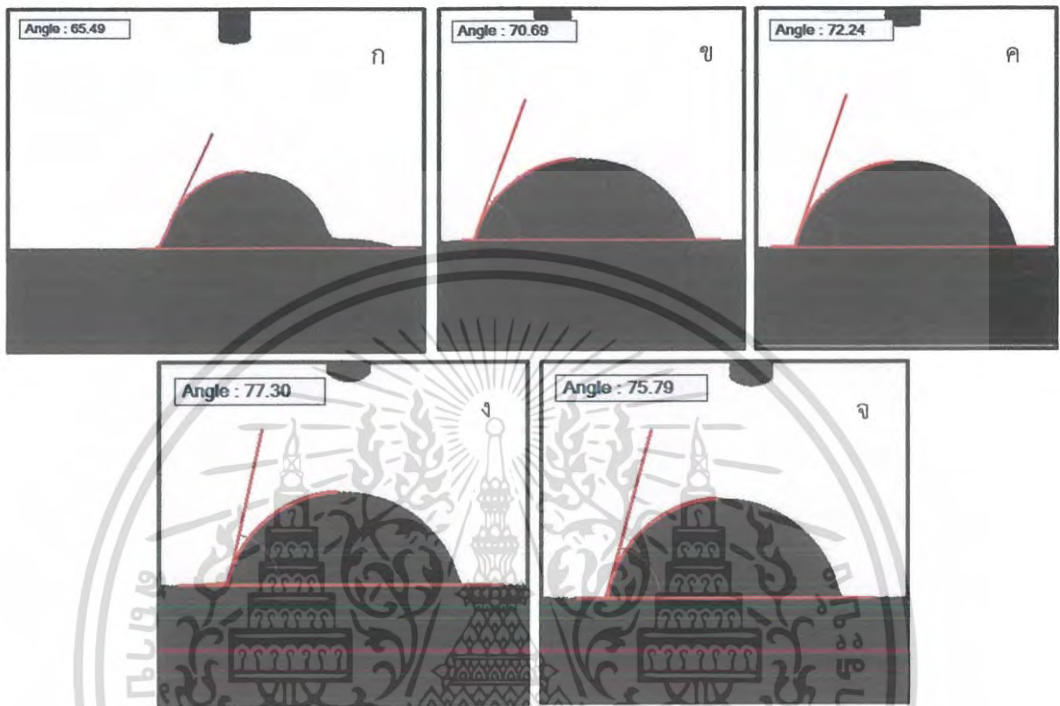
จากการหาเฟสอัตราการจัดขึ้นตั้งลงฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถสรุปได้ตามกราฟดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับจำนวนรอบในการจุ่มฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 100° , 150° และ 200°

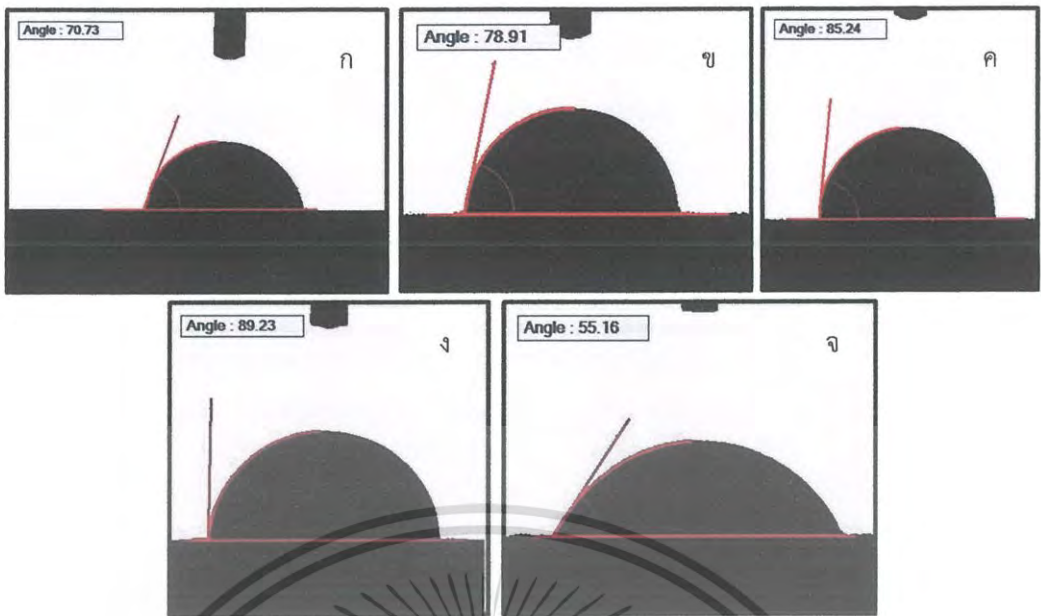
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายของมุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยโปรแกรมการวัดมุมสัมผัส จำนวนรอบในการจุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ แบ่งเป็น 1รอบ,2รอบ,3รอบ,4รอบ และ5รอบ ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° , 150° และ 200°

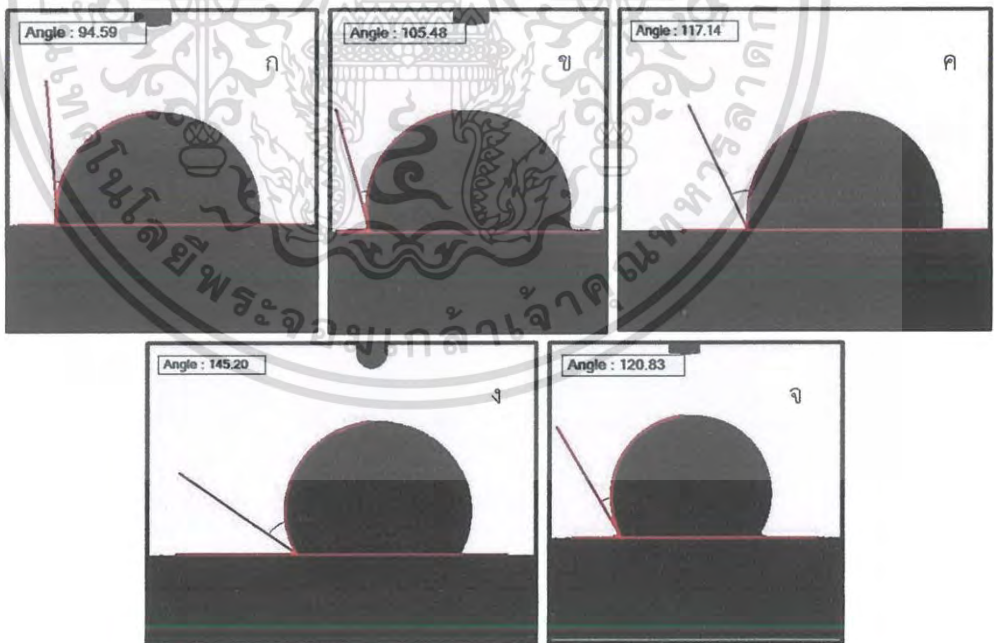


รูปที่ 4.4 ค่ามุมสัมผัสในการจุ่ม 5รอบ อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ก) จุ่ม 1รอบ ค่ามุมสัมผัส 65.49° (ข) จุ่ม 2รอบ ค่ามุมสัมผัส 70.69° (ค) จุ่ม 3รอบ ค่ามุมสัมผัส 72.24° (ง) จุ่ม 4รอบ ค่ามุมสัมผัส 77.30° (จ) จุ่ม 5รอบ ค่ามุมสัมผัส 75.30°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่ามุมสัมผัสในการจุ่ม 5 รอบ อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (ก) จุ่ม 1 รอบ ค่ามุมสัมผัส 70.73° (ข) จุ่ม 2 รอบ ค่ามุมสัมผัส 78.91° (ค) จุ่ม 3 รอบ ค่ามุมสัมผัส 85.24° (ง) จุ่ม 4 รอบ ค่ามุมสัมผัส 89.23° (จ) จุ่ม 5 รอบ ค่ามุมสัมผัส 55.16°



รูปที่ 4.6 ค่ามุมสัมผัสในการจุ่ม 5 รอบ อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (ก) จุ่ม 1 รอบ ค่ามุมสัมผัส 94.59° (ข) จุ่ม 2 รอบ ค่ามุมสัมผัส 105.48° (ค) จุ่ม 3 รอบ ค่ามุมสัมผัส 117.14° (ง) จุ่ม 4 รอบ ค่ามุมสัมผัส 145.20° (จ) จุ่ม 5 รอบ ค่ามุมสัมผัส 120.83°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ซึ่งหากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังได้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าจำนวนรอบในการจุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ มีผลทำให้ได้มุมสัมผัสที่มีค่ามากที่สุด คือ การจุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ในรอบที่ 4 ของทุกๆอนุกรมที่ใช้ในการอบ คือ 100° ค่ามุมสัมผัส 77.30° , 150° ค่ามุมสัมผัส 89.23° และ 200° ค่ามุมสัมผัส 145.20°

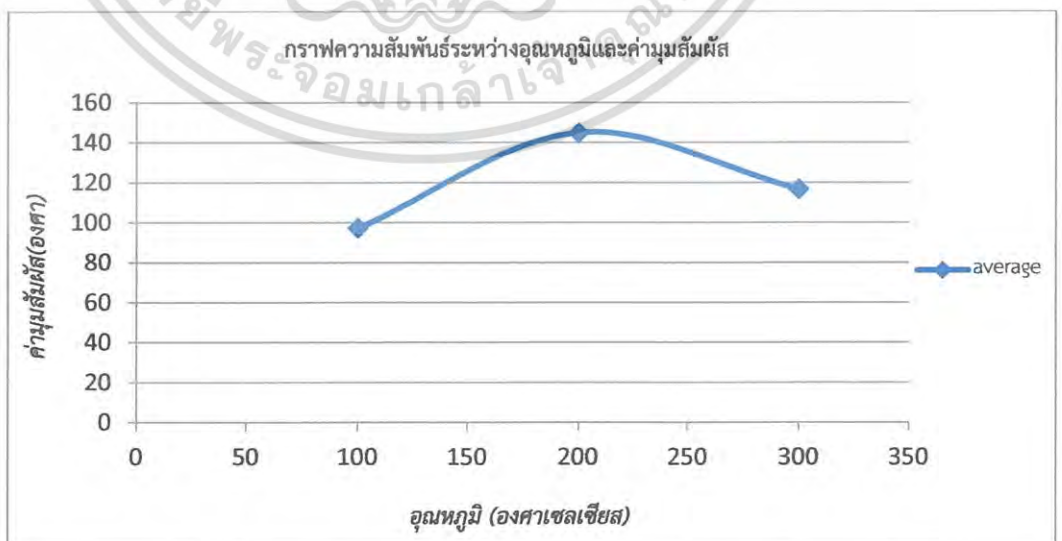
4.3 อนุกรมในการอบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส

4.3.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อบด้วยอนุกรม 100,200 และ 300 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 มุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อบด้วยอนุกรม 100° , 200° และ 300°

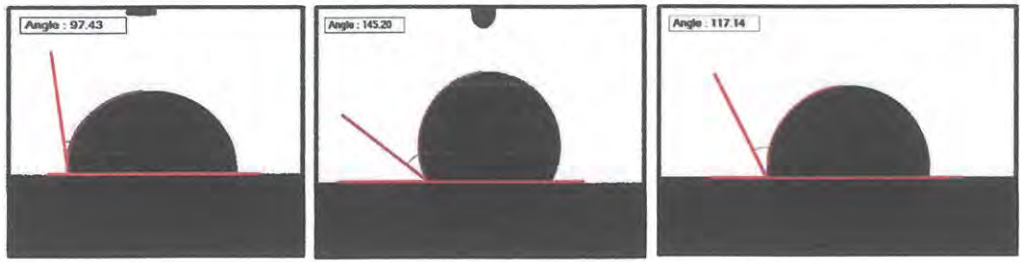
อนุกรม จุ่ม 4 รอบ	ค่ามุมสัมผัส(องศา)		average	stdv	Uncw
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
100°	110.15	84.45	97.30	18.17	12.85
200°	145.20	144.75	144.97	0.31	0.22
300°	117.14	116.40	116.77	0.52	0.37

จากการหาเฟสอนุกรมในการอบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส สามารถสรุปได้ตามกราฟดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับอนุกรม ในการจุ่ม 4 รอบ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
อบที่อนุกรม 100° , 200° และ 300°

ภาพถ่ายของมุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยโปรแกรมการวัดมุมสัมผัส จำนวนรอบในการจุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ 4 รอบ อบที่อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ค่ามุมสัมผัส (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 97.43° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมผัส 145.29° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 117.14°

พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีผลทำให้ได้มุมสัมผัสที่มีค่ามากที่สุด คือ การอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

4.4 ระยะเวลาทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส

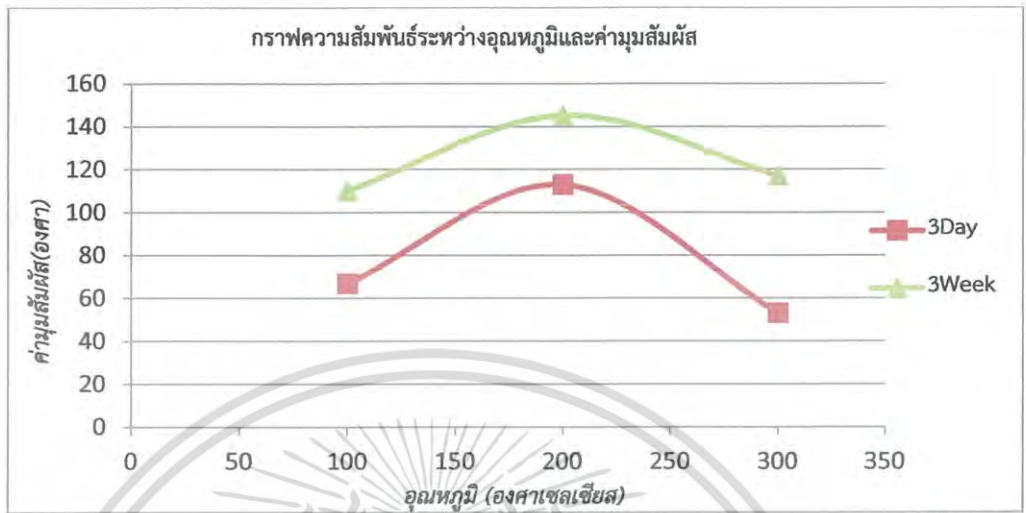
4.4.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ระยะเวลาทิ้งไว้ในอากาศที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ แบ่งช่วงระยะเวลาเป็น 3 วัน และ 3 สัปดาห์ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 มุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อบด้วยอุณหภูมิ 100°, 150° และ 200°

อุณหภูมิในการอบ	ค่ามุมสัมผัส(องศา)	
	3 วัน	3 สัปดาห์
100°	66.89	110.15
200°	112.87	145.20
300°	53.09	117.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการหาเฟสระยะเวลาทิ้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถสรุปได้ตามกราฟดังนี้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่ามุมสัมผัส ในระยะเวลาที่ทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ เป็นเวลา 3วันและ3สัปดาห์

พบว่าระยะเวลาที่ทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ 3วันและ3สัปดาห์ มีผลทำให้ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น คือ ทิ้งฟิล์มบางไว้ในอากาศเป็นเวลา 3สัปดาห์

4.5 ผลของการอบและทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศเป็นเวลา 3วัน,3สัปดาห์ และอาฟเตอร์ฮีต ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส

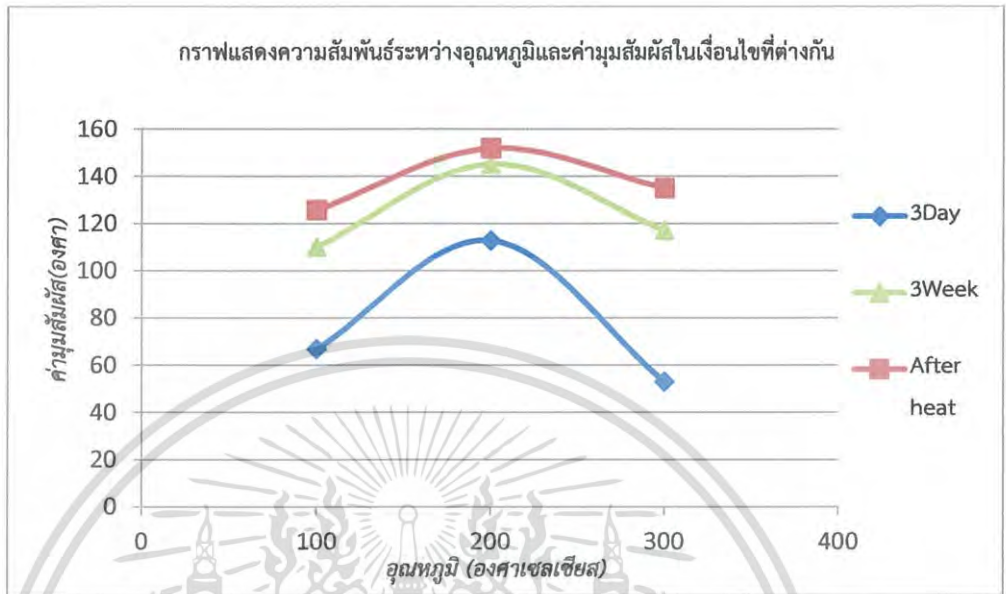
4.5.1 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่อบและทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศที่มีผลต่อ ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ แบ่งเป็น 3วัน,3สัปดาห์ และอาฟเตอร์ฮีต แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 มุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ อดด้วยอุณหภูมิ 100°,150° และ 200°

อุณหภูมิในการอบ	ค่ามุมสัมผัส(องศา)		
	3 วัน	3 สัปดาห์	อาฟเตอร์ฮีต
100°	66.89	110.15	125.78
200°	112.87	145.20	151.87
300°	53.09	117.14	135.00

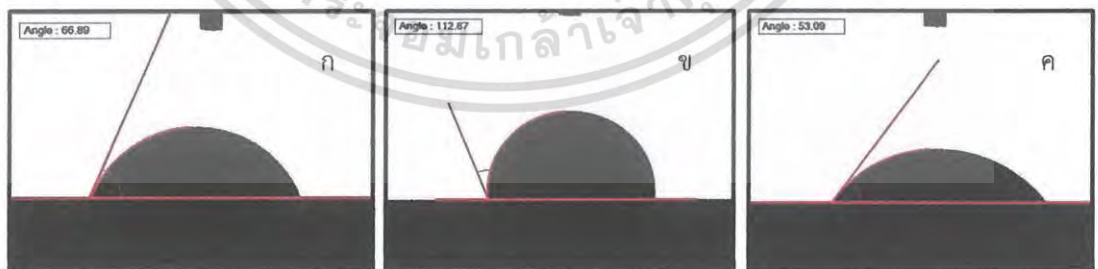
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการหาเฟสอุณหภูมิในการอบและระยะเวลาทิ้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ ที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถสรุปได้ตามกราฟดังนี้



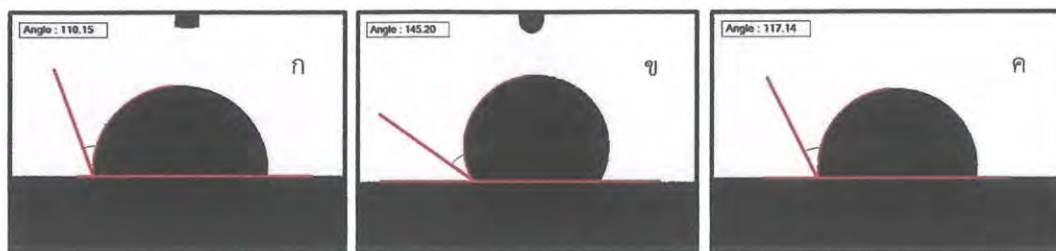
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่ามุมสัมผัส ในระยะเวลาที่ทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ เป็นเวลา 3วัน,3สัปดาห์ และออฟเตอรืฮีต

ภาพถ่ายของมุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยโปรแกรมการวัดมุมสัมผัส จำนวนรอบในการจุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ 4รอบ อบที่อุณหภูมิ 100,200 และ 300 องศาเซลเซียส และทิ้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 3วัน,3สัปดาห์ และออฟเตอรืฮีต



รูปที่ 4.11 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางจุ่มเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° 200° และ 300° ทิ้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ 3 วัน เวลาในการกวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 66.89° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมผัส 112.87° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 53.09°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางจุ่มเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° , 200° และ 300° ทั้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ เวลาในการกวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 110.15° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมผัส 145.20° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 117.14°



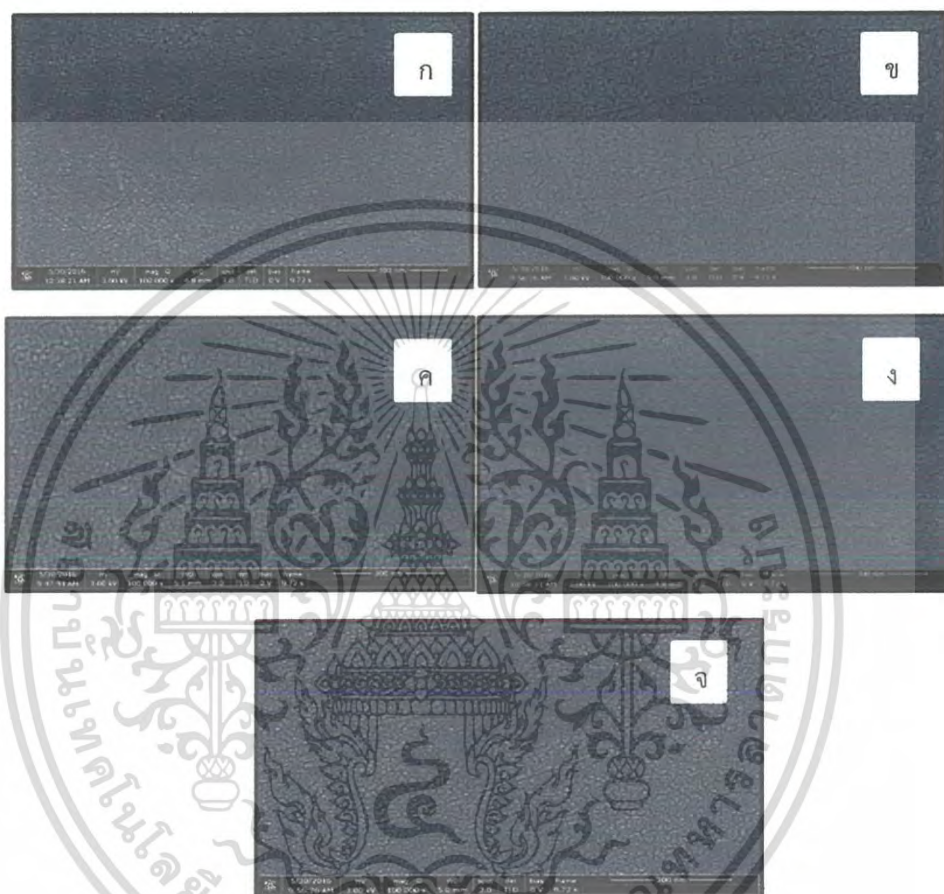
รูปที่ 4.13 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางจุ่มเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อบด้วยอุณหภูมิ 100° , 200° และ 300° ทั้งฟิล์มบางไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ และออปเตอร์ฮีตที่อุณหภูมิ 100° เป็นเวลา 20 นาที เวลาในการกวนสาร 2 ชั่วโมง 30 นาที (ก) อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 125.78° (ข) อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมผัส 151.87° (ค) อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 135.00°

พบว่าอุณหภูมิในการอบและระยะเวลาที่ทั้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ 3 วัน, 3 สัปดาห์และออปเตอร์ฮีต มีผลทำให้ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น คือ การอบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทั้งฟิล์มบางไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์และนำมาออปเตอร์ฮีตเพื่อไล่ความชื้นบนแผ่นฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทำให้ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากกว่า 150° ซึ่งผิวสัมผัสที่มีค่ามุมมากกว่า 150° นี้จะทราบถึงกระจายตัวไม่ดีอย่างยิ่งวด หรือ Superhydrophobic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

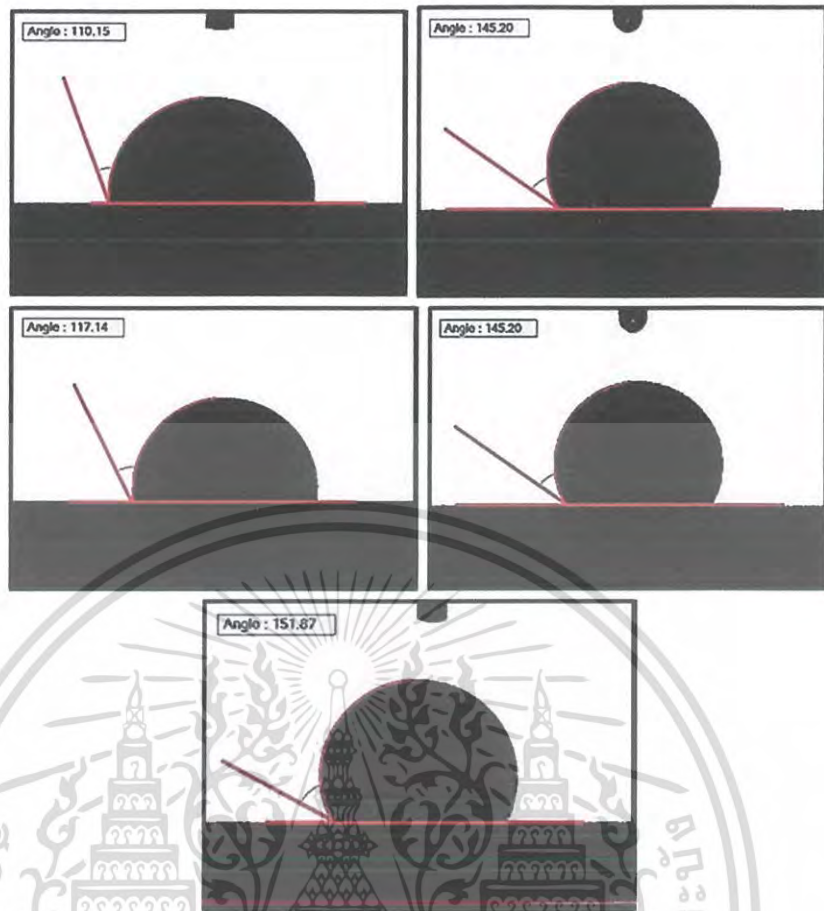
4.5.2 ผลของอุณหภูมิในการแอนนัลครั้งสุดท้ายและระยะเวลาทิ้งไว้ในอากาศ ที่มีต่อคุณภาพโครงสร้างพื้นผิวและค่ามุมสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ภาพถ่ายโครงสร้างพื้นผิวและค่ามุมสัมผัสฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (FE-SEM) และโปรแกรมการวัดมุมสัมผัส



รูปที่ 4.14 ภาพพื้นผิวโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เตรียมด้วยวิธีการจุ่มเคลือบแบบโซล-เจล จุ่มเคลือบ 4 รอบ (ก) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100° (ข) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° (ค) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300° (ง) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ทิ้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ (จ) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ทิ้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์และนำมาอาฟเตอร์ฮีตที่อุณหภูมิ 100° 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



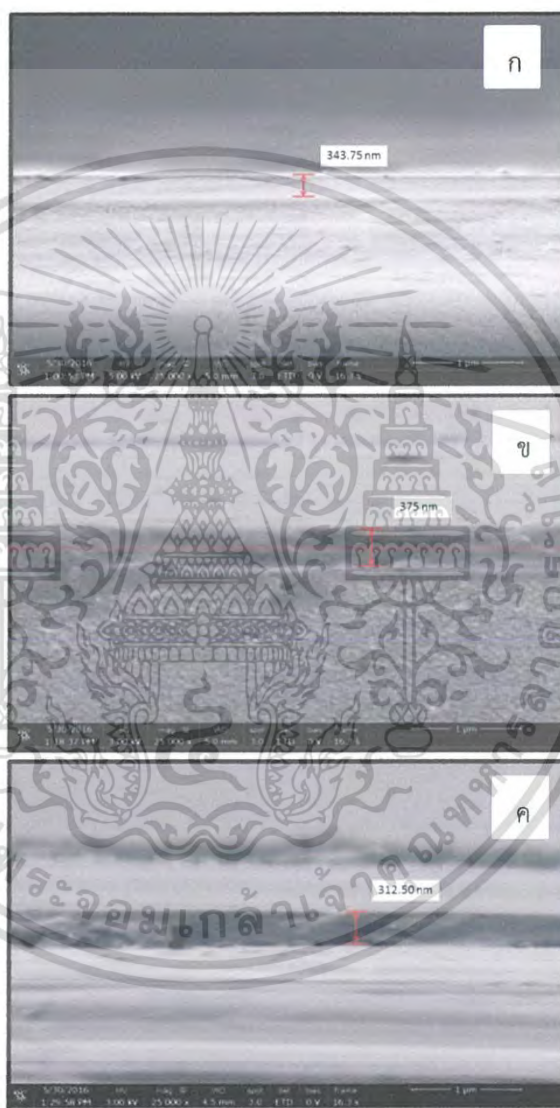
รูปที่ 4.15 ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เตรียมด้วยวิธีการจุ่มเคลือบแบบโซล-เจล จุ่มเคลือบ 4 รอบ (ก) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100° ค่ามุมสัมผัส 110.15° (ข) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ค่ามุมสัมผัส 145.20° (ค) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300° ค่ามุมสัมผัส 117.14° (ง) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ทิ้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์ ค่ามุมสัมผัส 145.20° (จ) แอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200° ทิ้งไว้ในอากาศ 3 สัปดาห์และนำมาอาฟเตอร์ฮีทที่อุณหภูมิ 100° 20 นาที ค่ามุมสัมผัส 151.87°

พบว่าลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์มีความขรุขระ แตกกระแหง และมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุด คือ ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 สัปดาห์และอาฟเตอร์ฮีทไล่ความชื้นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

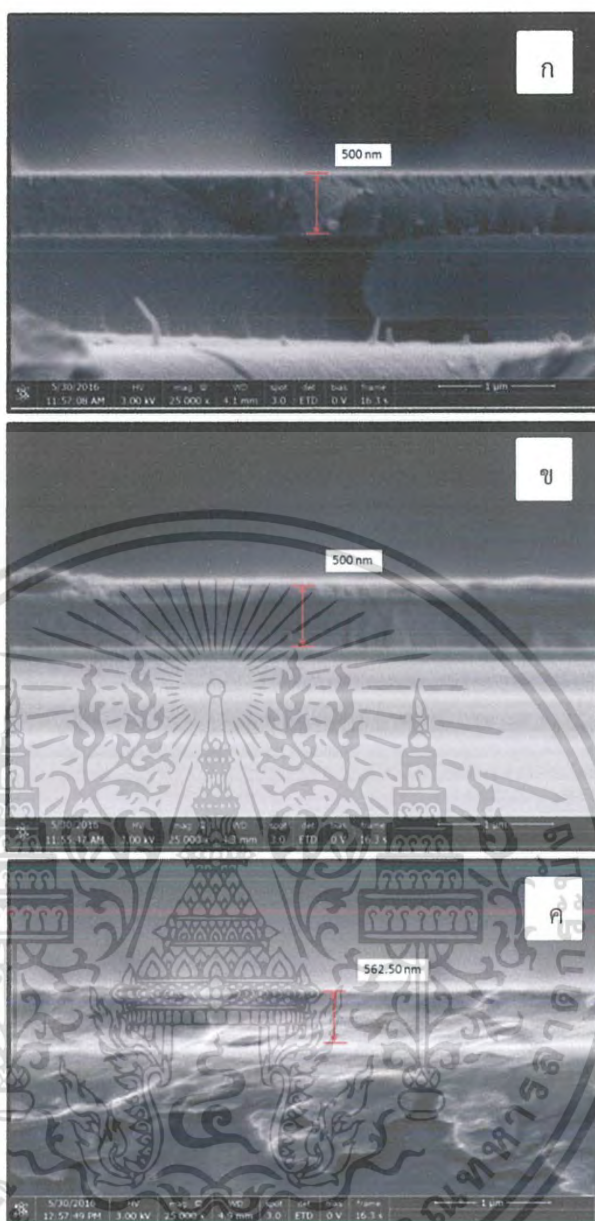
4.5.3 ผลของอุณหภูมิในการแอนนัลครั้งสุดท้ายและระยะเวลาทิ้งไว้ในอากาศ ที่มีต่อคุณภาพโครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ภาพถ่ายโครงสร้างภาพตัดขวางและความหนา ที่พื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (FE-SEM)



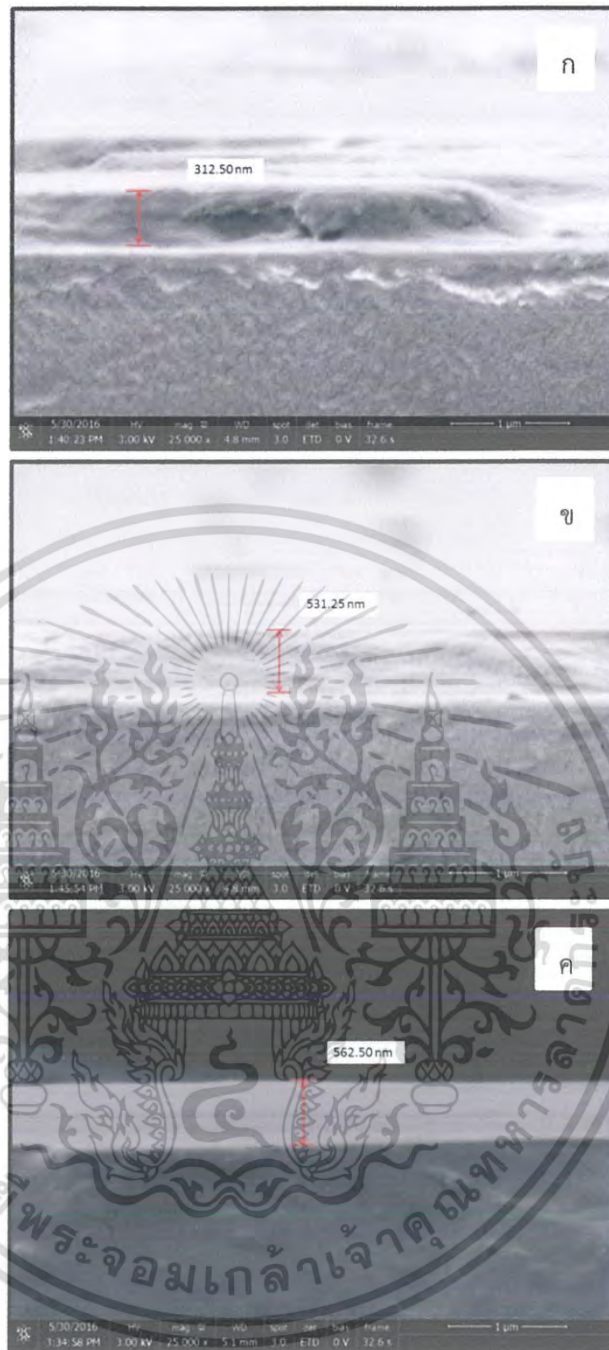
รูปที่ 4.16 โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ในอากาศ (ก) 3 วัน มีความหนา 343.75 นาโนเมตร (ข) 3 สัปดาห์ มีความหนา 375 นาโนเมตร (ค) ออฟเตออร์ฮีต มีความหนา 312.50 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการแอนนิลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ในอากาศ (ก) 3 วัน มีความหนา 500 นาโนเมตร (ข) 3 สัปดาห์ มีความหนา 500 นาโนเมตร (ค) อาฟเตอร์ฮีต มีความหนา 562.50 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

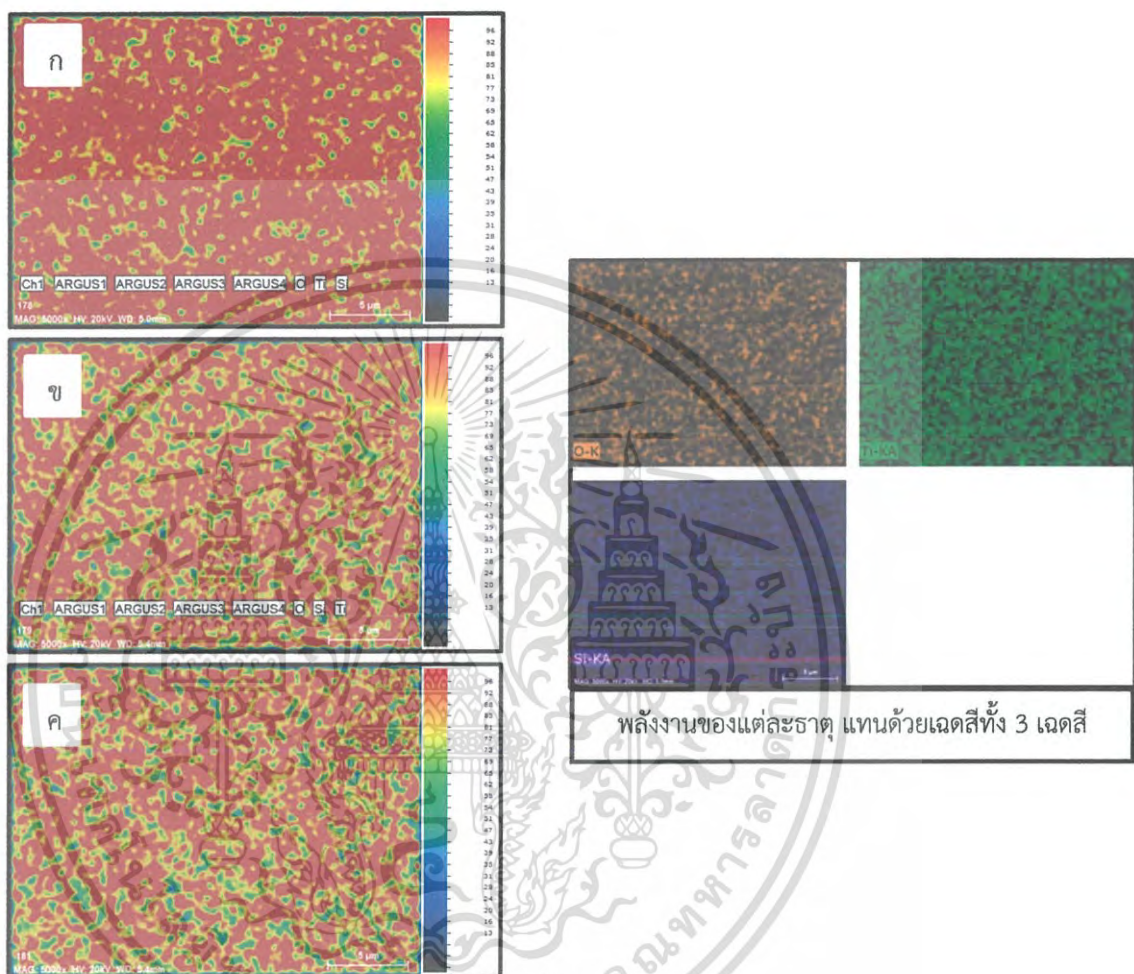


รูปที่ 4.18 โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ในอากาศ (ก) 3 วัน มีความหนา 312.50 นาโนเมตร (ข) 3 สัปดาห์ มีความหนา 531.25 นาโนเมตร (ค) อพเตอร์ฮีต มีความหนา 562.50 นาโนเมตร

พบว่าโครงสร้างภาพตัดขวางที่มีขนาดค่าเฉลี่ยความหนามากที่สุด คือ โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยมีความหนาเฉลี่ยที่ 520.83 นาโนเมตร

4.5.4 ผลของอุณหภูมิในการแอนนีส ที่มีต่อการเกาะเกี่ยวพันธะไทเทเนียมไดออกไซด์

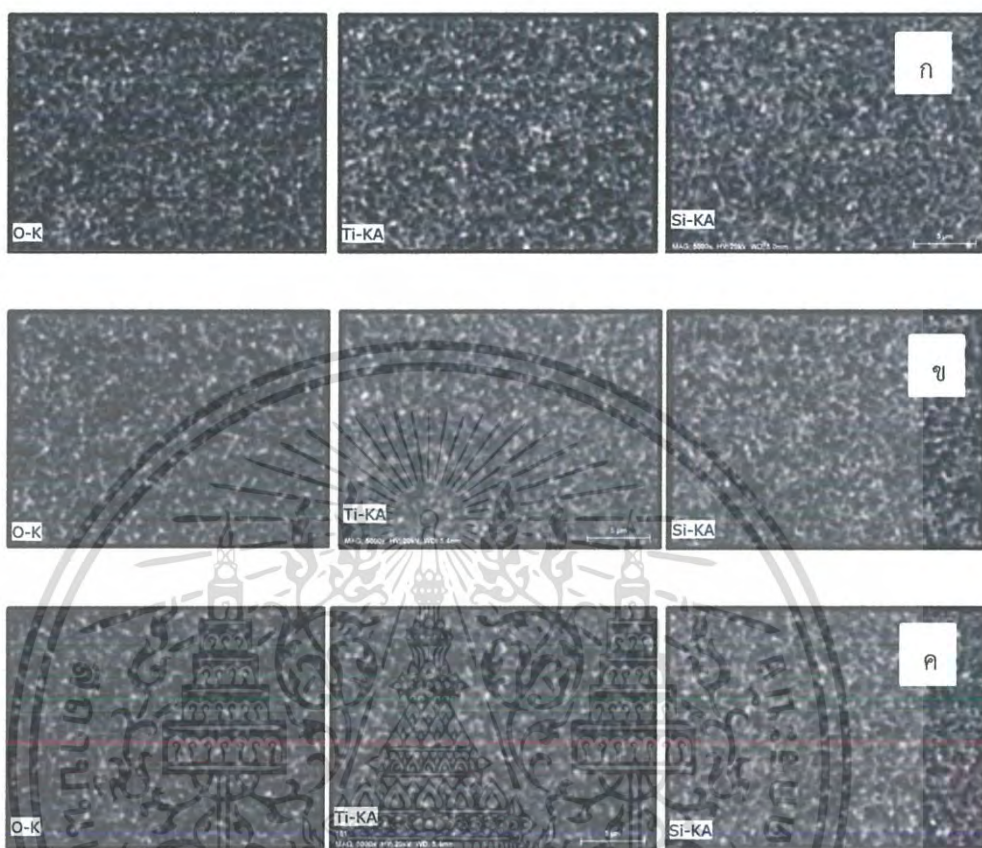
ภาพถ่ายองค์ประกอบของธาตุที่ตรวจพบ บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดโหมด EDS



รูปที่ 4.19 การตรวจสอบองค์ประกอบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดโหมด EDS (ก) แอนนีสครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ข) แอนนีสครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (ค) แอนนีสครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายการกระจายตัวของออกซิเจน ไทเทเนียมและซิลิกอน บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดโหมด EDS

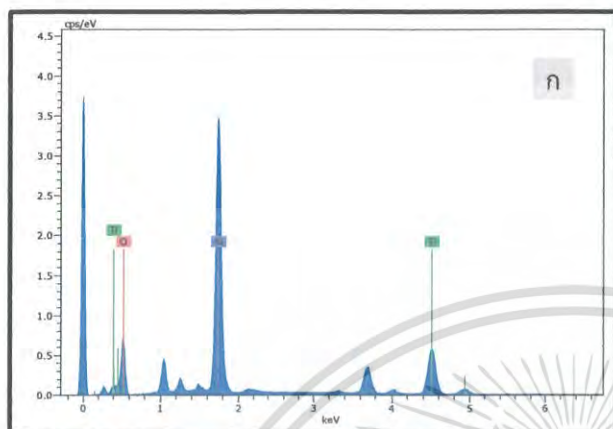


รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของออกซิเจน ไทเทเนียมและซิลิกอน บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ (ก) 100 องศาเซลเซียส (ข) 200 องศาเซลเซียส (ค) 300 องศาเซลเซียส

พบว่าในการตรวจสอบองค์ประกอบและการกระจายตัวของธาตุ บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดโหมด EDS ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 องศาเซลเซียส ที่พื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีพลังงานของธาตุทั้ง 3 คือ ออกซิเจน ไทเทเนียม และซิลิกอน กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของฟิล์มบางแยกออกเป็นเขตสีและจุดความสว่างชัดเจน

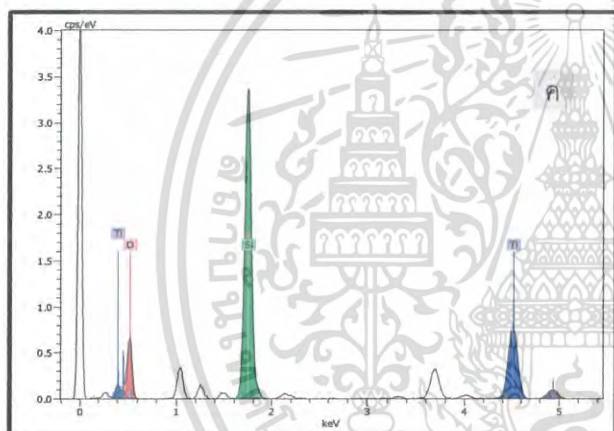
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ธาตุออกซิเจน ไทเทเนียมและซิลิกอน ที่ตรวจพบบนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเล็กรวด โหมด EDS



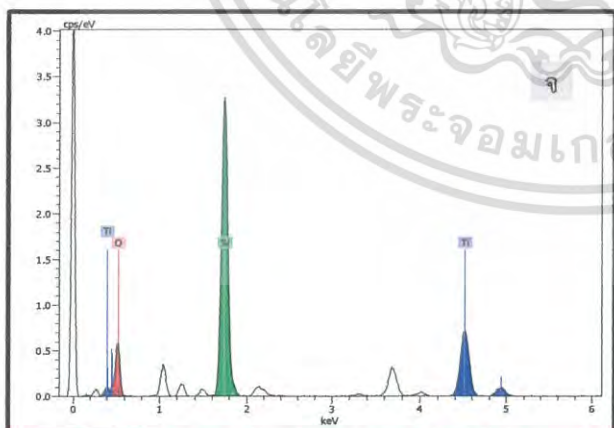
Spectrum: Spectrum

Element	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	K-series	25.09	43.81	61.95	10.17
Titanium	K-series	12.38	21.63	10.22	1.14
Silicon	K-series	19.79	34.56	27.84	2.62
Total:		57.26	100.00	100.00	



Spectrum: Spectrum

Element	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	K-series	26.07	42.11	61.32	10.60
Titanium	K-series	16.84	27.20	13.23	1.50
Silicon	K-series	18.99	30.68	25.45	2.51
Total:		61.90	100.00	100.00	



Spectrum: Spectrum

Element	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	K-series	22.98	40.71	59.66	9.51
Titanium	K-series	14.97	26.53	12.99	1.35
Silicon	K-series	18.49	32.76	27.35	2.45
Total:		56.44	100.00	100.00	

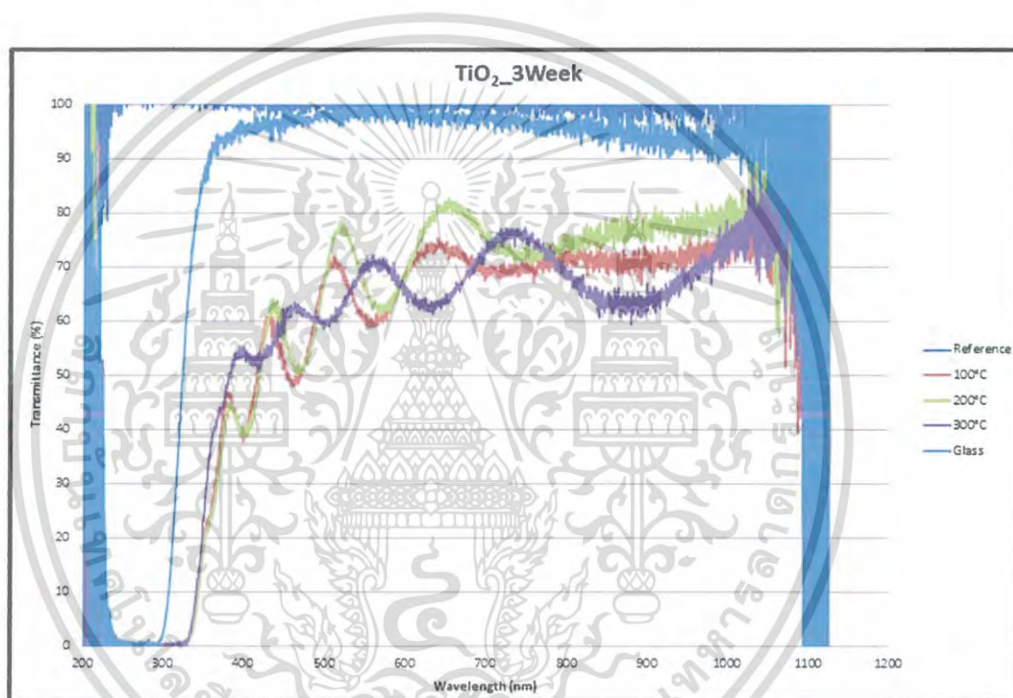
รูปที่ 4.21 สเปกตรัมเชิงคุณภาพและปริมาณ ที่ตรวจพบบนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิต่ำ (ก),(ข) 100 องศาเซลเซียส (ค),(ง) 200 องศาเซลเซียส (จ),(ฉ) 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าสเปกตรัมเชิงคุณภาพและปริมาณ ที่ตรวจพบบนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัล ครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีปริมาณการกระจายตัวของไทเทเนียม บนพื้นผิวฟิล์มบางมากที่สุด

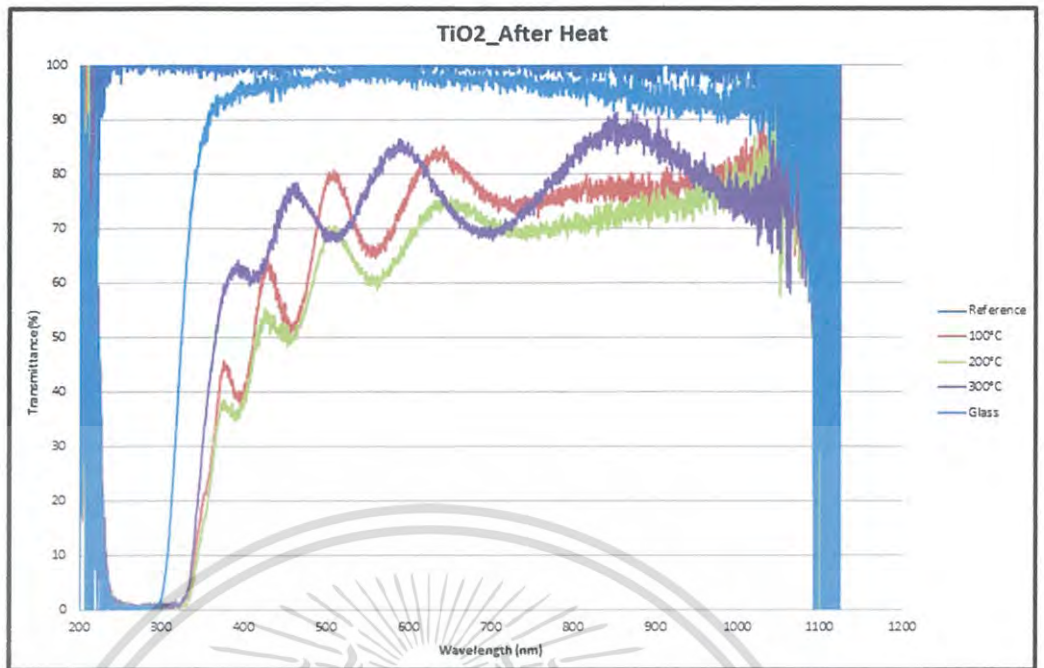
4.5.5 ผลของความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อค่าพลังงานแถบช่องว่างทางแสงของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

เฟสวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง ที่ตรวจพบบนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี(Uv-Vis Transmission spectroscopy)



รูปที่ 4.22 วิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100,200 และ 300 องศาเซลเซียส ทั้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 3สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

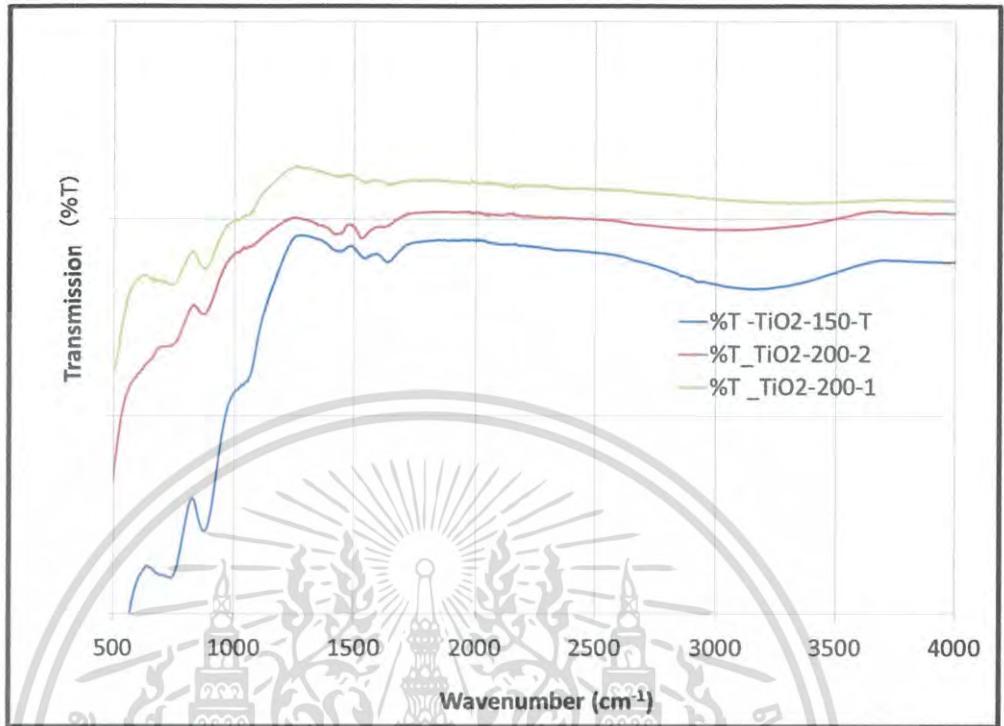


รูปที่ 4.23 วิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100,200 และ 300 องศาเซลเซียส ทั้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์ และนำมาอาฟเตอร์ฮีต ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

พบว่าในการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเครื่องยูวีวิสซิเบิลสเปกโทรสโกปี ปริมาณและความสามารถในการส่องผ่านของแสงที่ดีที่สุด คือ ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทั้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์ และนำมาอาฟเตอร์ฮีต ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที มีค่าความยาวคลื่น 373.80 นาโนเมตร เปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน 36.54 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค FTIR บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 4.24 เฟสผลการวิเคราะห์ธาตุ ด้วยเทคนิค FTIR บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 150 และ 200 องศาเซลเซียส ที่มีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดและค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุด

ที่ตำแหน่ง 860 cm^{-1} และ 1639 cm^{-1} ตรงกับโหมดการสั่นของ Ti-OH ซึ่ง Hydroxyl group มีผลทำให้พื้นผิวนั้นชอบน้ำ แต่ Hydroxyl group ส่วนมากเป็น radical ซึ่งจะไม่เสถียรและสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี กับ oxygen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยมีการดำเนินการเกี่ยวกับการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของแผ่นกระจกที่จุ่มเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อต้องการคุณสมบัติของฟิล์มบางที่มีความเป็น Superhydrophobic จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° ทำให้มีหน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมากๆ ทำให้เกิดการก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง ซึ่งกรณีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า "Lotus effect" หรือ "ปรากฏการณ์ใบบัว"

โดยวิธีการสังเคราะห์แบบโซล-เจล แบบจุ่มเคลือบ(dip coating) ลงบนแผ่นกระจก จากนั้นนำฟิล์มบางที่ได้ไปผ่านกระบวนการแอนนัลในอุณหภูมิครั้งแรกโดยใช้เตาอบไฟฟ้าที่ชื่อ SHARP รุ่น KZ-01 โหมคอบขนมปัง อุณหภูมิอยู่ที่ $180-200$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที/ครั้งในการจุ่ม และนำไปแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ $100-500$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ศึกษาระยะเวลาในการกวน-ผสมสาร TiO_2 พบว่าเวลาที่ใช้ในการกวนสารมีผลต่อคุณสมบัติพื้นผิวในการวัดค่ามุมสัมผัส สารที่ใช้ระยะเวลาในการกวน 24-72 ชั่วโมง วัดค่ามุมสัมผัสได้ $\leq 120^{\circ}$ และกวนที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที วัดค่ามุมสัมผัสได้ $\geq 100^{\circ}-151^{\circ}$

ศึกษาจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบสาร TiO_2 พบว่าจำนวนรอบในการจุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ มีผลทำให้ได้มุมสัมผัสที่มีค่ามากที่สุด คือ การจุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ในรอบที่ 4 ของทุกๆ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ คือ 100° ค่ามุมสัมผัส 77.30° , 150° ค่ามุมสัมผัส 89.23° และ 200° ค่ามุมสัมผัส 145.20°

ศึกษาผลของความเข้มข้นของ TiO_2 ที่ใช้ในเวลากการจุ่มเคลือบฟิล์มบาง ความเร็วในการดิ่งลง 2-5 มิลลิเมตรต่อวินาที ดิ่งขึ้น 2-5 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยที่ระดับความเร็วในการดิ่งขึ้น ดิ่งลงที่มีความเหมาะสมต่อความหนาของสาร TiO_2 ที่จุ่มเคลือบบนแผ่นฟิล์มบาง คือ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที เวลาที่ใช้ในการจุ่ม 5-10 นาที

ศึกษาอุณหภูมิในการใช้แอนนัลครั้งสุดท้าย พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีผลทำให้ได้มุมสัมผัสที่มีค่ามากที่สุด คือ การอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ศึกษาระยะเวลาทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ พบว่าอุณหภูมิในการอบและ
ไม่วางกรณีใดๆ ทั้งนี้ ผู้ที่สนใจหาข้อมูลเพิ่มเติมต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ระยะเวลาที่ทิ้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ 3 วัน, 3 สัปดาห์และอาทิตย์ มีผลทำให้

ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น คือ การอบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทั้งฟิล์มบางไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์และนำมาอาฟเตอร์ฮีตเพื่อไล่ความชื้นบนแผ่นฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทำให้ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากกว่า 150° ซึ่งผิวสัมผัสที่มีค่ามุมมากกว่า 150° นี้จะทราบถึงกระจายตัวไม่ตัวอย่างยิ่งยวด หรือ Superhydrophobic

วิเคราะห์มุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของฟิล์มบางจุ่มเคลือบด้วย TiO_2 โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผลภาพหยดน้ำที่ถ่ายได้และใช้โปรแกรมวัดมุมสัมผัสของภาพที่ถ่ายได้ออกมา พบว่าอุณหภูมิในการอบและระยะเวลาที่ทั้งฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ในอากาศ 3 วัน, 3 สัปดาห์และอาฟเตอร์ฮีต มีผลทำให้ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น คือ การอบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทั้งฟิล์มบางไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์และนำมาอาฟเตอร์ฮีตเพื่อไล่ความชื้นบนแผ่นฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทำให้ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากกว่า 150° ซึ่งผิวสัมผัสที่มีค่ามุมมากกว่า 150° นี้จะทราบถึงกระจายตัวไม่ตัวอย่างยิ่งยวด หรือ Superhydrophobic

วิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยเครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) พบว่าลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์มีความขรุขระแตกกระแหง และมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุด คือ ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทั้งฟิล์มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 สัปดาห์และอาฟเตอร์ฮีตไล่ความชื้นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

วิเคราะห์โครงสร้างภาพตัดขวางและความหนา ที่พื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (FE-SEM) พบว่าโครงสร้างภาพตัดขวางที่มีขนาดค่าเฉลี่ยความหนามากที่สุด คือ โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจก ที่ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยมีความหนาเฉลี่ยที่ 520.83 นาโนเมตร

วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่ตรวจพบ บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดโหมด EDS พบว่าในการตรวจสอบองค์ประกอบและการกระจายตัวของธาตุ บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดโหมด EDS ผ่านการแอนนัล ครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 องศาเซลเซียส ที่พื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีพลังงานของธาตุทั้ง 3 คือ ออกซิเจน ไทเทเนียม และซิลิกอนกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของฟิล์มบาง แยกออกเป็นเม็ดสีและจุดความสว่างชัดเจน และบนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีปริมาณการ

เอกสารนี้กระจายตัวของไทเทเนียมบนพื้นผิวฟิล์มบางมากที่สุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง ที่ตรวจพบบนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี(Uv-Vis Transmission spectroscopy) พบว่าในการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสง บนพื้นผิวฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ปริมาณและความสามารถในการส่องผ่านของแสงที่ดีที่สุด คือ ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ่านการแอนนัลครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 3 สัปดาห์ และนำมาอาฟเตอร์ฮีท ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที มีค่าความยาวคลื่น 373.80 นาโนเมตร เปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน 36.54 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในโครงการพิเศษนี้พบปัญหาบางประการที่เป็นอุปสรรคในการเตรียมฟิล์มบาง จึงมีแนวทางแก้ไขพร้อมทั้งข้อเสนอแนะบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงในการพัฒนาคุณภาพการเตรียมฟิล์มบางให้ดียิ่งขึ้นดังนี้

1. ในการผสมสารละลายนั้นต้องกวนสารไปด้วยในระหว่างผสมสาร
2. ในการผสมสารละลายต้องมีขั้นตอนในการผสมว่าสารชนิดใดผสมก่อนหลัง
3. สารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีอายุของสารอยู่ได้ 3 วัน ที่อุณหภูมิ 20-23 องศาเซลเซียส หลังจากกวนสารละลายเสร็จสมบูรณ์
4. เมื่อนำกระจกสไลด์ ไมโครสโคป จุ่มลงในสารละลาย ต้องไม่ให้อากาศถ่ายเท ในขณะที่จุ่มเคลือบและแอนนัล
5. ควรเก็บรักษาฟิล์มบางที่ไถกันความชื้น เพราะถ้าฟิล์มบางโดนความชื้นจะทำให้ฟิล์มบางเสื่อมคุณภาพได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก.1 คำนวณปริมาณสารตั้งต้นของสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ ในกระบวนการจุ่มเคลือบแบบโซล-เจล ในสารละลายตั้งต้นโดยใช้อัตราส่วน tetrabutyl titanate: ethanol: distilled water: acetic acid: acetylacetoneเท่ากับ 0.05 : .5: 0.15 : 0.1 :0.05 mol/l สารละลายที่ใช้เตรียมสารตั้งต้นของสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ มีดังนี้

สารตั้งต้น	สูตรเคมี	มวล โมเลกุล	หน้าที่
tetrabutyl titanate (TBOT)	Ti(OC ₄ H ₉) ₄	340.32	สารตั้งต้นไทเทเนียม ไดออกไซด์
Ethanol (EtOH)	C ₂ H ₅ OH	46.07	ตัวทำละลายไทเทเนียม ไดออกไซด์
distilled water	H ₂ O	18.02	ตัวทำละลายไทเทเนียม ไดออกไซด์
acetic acid (HAc)	CH ₃ COOH	60.05	ตัวป้องกันการเสื่อมสภาพ ของไทเทเนียมไดออกไซด์
Acetylacetone (AcAc)	CH ₃ COCH ₂ COCH ₃	100.12	ตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียม ไดออกไซด์

หาจำนวนปริมาตรของ tetrabutyl titanate(TBOT) ในอัตราส่วน 0.05 mol

$$\text{จาก } n = \frac{\rho V}{M}$$

n = จำนวนโมล (mol)

ρ = ความหนาแน่น (g/ml)

M = มวลโมเลกุล(g/mol)

V = ปริมาตร (ml)

โดยที่ ความหนาแน่นของ tetrabutyl titanate เท่ากับ 1.00 g/ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยัง $V = \frac{n \times M}{\rho}$ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \frac{0.05 \times 340.32}{1.00} = 17.01 \text{ ml}$$

หาจำนวนปริมาตรของ Ethanol ในอัตราส่วน 1.5 mol
โดยที่ ความหนาแน่นของ Ethanol เท่ากับ 0.79 g/ml

$$V = \frac{n \times M}{\rho}$$

$$V = \frac{1.5 \times 46.07}{0.79} = 87.47 \text{ ml}$$

หาจำนวนปริมาตรของ distilled water ในอัตราส่วน 0.15 mol
โดยที่ ความหนาแน่นของ distilled water เท่ากับ 1.00 g/ml

$$V = \frac{n \times M}{\rho}$$

$$V = \frac{0.15 \times 18.02}{1.00} = 2.70 \text{ ml}$$

หาจำนวนปริมาตรของ acetic acid ในอัตราส่วน 0.1 mol
โดยที่ ความหนาแน่นของ acetic acid เท่ากับ 1.049 g/ml

$$V = \frac{n \times M}{\rho}$$

$$V = \frac{0.1 \times 60.05}{1.049} = 5.72 \text{ ml}$$

หาจำนวนปริมาตรของ Acetylacetone ในอัตราส่วน 0.05 mol
โดยที่ ความหนาแน่นของ Acetylacetone เท่ากับ 0.975 g/ml

$$V = \frac{n \times M}{\rho}$$

$$V = \frac{0.05 \times 100.12}{0.975} = 5.13 \text{ ml}$$

เพราะฉะนั้นปริมาตรของสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 118.03 ml
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้