

การเตรียมและการวิเคราะห์ฟิล์มบางทินออกไซด์ที่ผสมอนุภาคนาโน



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของภาคการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation and Characterization of Nanoparticle/SnO₂ thin films



Miss Tanita Thongplew

Mr.Pornchai Rattanasirisin

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การเตรียมและการวิเคราะห์ฟิล์มบางทินออกไซด์ที่ผสม
อนุภาคนาโน

นักศึกษา

นาย พรชัย รัตนสิริสิน

นางสาว ธนิตา ทองปลิว

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.วิฑูรย์ ยินดีสุข	
กรรมการ รศ.วิษณุ เตชะธิระ	
กรรมการ อ.ทศพรกรรณ์ ทิววงศ์	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา	



(รองศาสตราจารย์วิษณุ เตชะธิระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์ฟิล์มบางทินออกไซด์ที่ ผสมอนุภาคนาโน
นักศึกษา	นายพรชัย รัตนสิริสิน นางสาวธนิศา ทองปลิว
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิญญู เพชรภา

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของการผสมอนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางทินออกไซด์ การเตรียมฟิล์มบางทินออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจลจากสารตั้งต้นทินกลอไรด์ผสมกับไอโซโพรพานอลและกรดอะซิติก และเคลือบสารบนตัวอย่างด้วยวิธีหมุนเคลือบสารโดยใช้จำนวนรอบ 1500-2000 รอบ และการเคลือบแต่ละครั้งทำซ้ำ 7-9 ครั้ง การผสมอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ในโซลเจลด้วยความเข้มข้น 3, 5 และ 7% การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มก่อนและหลังผสมอนุภาคนาโนด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ การวัดสมบัติทางแสงเลือกใช้ความยาวคลื่น 290-1000 นาโนเมตรในการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงและการดูดกลืนแสง และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มบาง ผลจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติก่อนและหลังผสมอนุภาคนาโนพบว่าฟิล์มบางที่ผสมอนุภาคนาโนมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและสมบัติทางแสงมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation and Characterization of Nanoparticle/SnO ₂ thin films
Name	Miss Tanita Thongplew Mr.Pornchai Rattanasirisin
Department	Applied Physics Faculty of Science
Program	Applied Physics
Academic Year	2007
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Wisanu Pecharapa

ABSTRACT

The special project is the study of the influence of doped metal oxide nanoparticles in structural and optical properties of tin oxide (SnO₂) thin films. Tin oxide thin films were prepared by sol gel method based on SnCl₄, C₃H₈O and CH₃COOH. All samples were coated by spin coater with various speed from 1500 – 2000 rpm and the coating process was repeated for 7-9 times. ZnO nanoparticles were doped in the sol gel with 3, 5 and 7 % by weight. The crystal structure of both undoped and nanoparticle-doped films were examined by mean of X-ray Diffraction technique. The single beam UV-Vis Spectrophotometer with operated wavelength of 290 – 1000 nm is used to measure optical transmission from the samples. The film surface morphology was investigated by Scanning Electron Microscope. All results of nanoparticle-doped films illustrated significant changes comparing to undoped samples.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกัน ดังนี้

บิดามารดา และผู้ปกครอง

ผู้ให้กำเนิด ให้กำลังใจ และความห่วงใยเสมอมา

รองศาสตราจารย์ วิษณุ เพชรภา

ผู้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และแนะนำตลอดมา

คณาจารย์ทุกท่าน

ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้มา โดยตลอด

ดร.สามารถ คงทวีเลิศและ

อาจารย์ศุภลักษณ์ อ่างแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ที่คอยแนะแนวทางในการทำโครงการ

เพื่อนๆทุกคน

ผู้ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

QOS LAB พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สำหรับห้องปฏิบัติการเครื่องมือและให้

คำแนะนำ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ให้สิ่งดีๆมา โดยตลอด4ปี

พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณทุกๆท่านที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามด้วยความจริงใจ

นางสาวชนิตา ทองปลิว

นายพรชัย รัตนศิริสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สมบัติพื้นฐานของทินออกไซด์ (SnO_2)	3
2.2 สมบัติพื้นฐานของทินคลอไรด์ (SnCl_4)	4
2.3 สมบัติพื้นฐานของ Isopropyl alcohol	5
2.4 สมบัติพื้นฐานของ Acetic acid	6
2.5 สมบัติพื้นฐานของ Hydrogen dioxide	6
2.6 สมบัติพื้นฐานของ Sulfuric acid	7
2.7 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์ม	8
2.7.1 เครื่องผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer)	8
2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด	11
2.7.3 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD	13
2.7.4 UV-Vis Spectrometer	16
2.7.5 เครื่องหมุนเคลือบสาร	19
2.8 การศึกษาวิธีวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการทะลุผ่านของแสง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	25
3.1 การดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนการศึกษา	25
3.2 การดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนการทดลอง	25
3.2.1 การเตรียมสารเพื่อใช้ในการทดลอง	25
3.2.2 การทำความสะอาดพื้นผิวกระจกสไลด์	27
3.2.3 การปลูกฟิล์ม	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	29
4.1 ผลการวัดความต้านทานของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO ₂)	29
4.2 ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากการวัดด้วย X-ray Diffractometer	31
4.3 ผลการวัดค่าการทะลุผ่านทางแสงที่วัดด้วย UV-Vis spectrometer	35
4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด	38
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ	40
5.2 แนวทางในการพัฒนา	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของสารประกอบ SnO_2	3
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของสารประกอบ (SnCl_4)	4
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของสาร Isopropyl alcohol	5
ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของสาร Acetic acid	6
ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของสาร Hydrogen dioxide	6
ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของสาร Sulfuric acid	7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างผลึกของ SnO_2	4
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างผลึกของ SnCl_4	5
รูปที่ 2.3 แสดงเครื่อง Homogenizer	8
รูปที่ 2.4 การทำงานของโรเตอร์-สเตเตอร์	9
รูปที่ 2.5 Rotor-Stator Homogenizer	10
รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด	11
รูปที่ 2.7 องค์ประกอบภายในของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด	13
รูปที่ 2.8 สมการของ Bragg	14
รูปที่ 2.9 แสดงเครื่อง UV-VIS Spectrometer	16
รูปที่ 2.10 สมการ Beer-Lambert law	17
รูปที่ 2.11 การเคลือบสารบนแผ่น glass slide แบบสปิโนเนออร์	19
รูปที่ 2.12 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง	20
รูปที่ 2.13 แสดงขอบการดูดกลืนแสง	22
รูปที่ 2.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอน	22
รูปที่ 2.15 แสดงกราฟพลังงาน โฟตอนและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง	24
รูปที่ 3.1 ลักษณะสาร $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	26
รูปที่ 3.2 แสดงการผสมสารด้วยเครื่อง Homogenizer	26
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO_2 ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน	29
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO_2 ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3%	29
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO_2 ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5%	30
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO_2 ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 7%	30
รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน	31

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3%	31
รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5%	32
รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่อุณหภูมิห้อง	33
รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่าง(S8) $\text{ZnO-5Al}_2\text{O}_3$ และ (S11) $\text{ZnO-5Al}_2\text{O}_3\text{-5TiO}_2$	34
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน	35
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3%	35
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5%	36
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 7%	36
รูปที่ 4.14 แสดงการส่งผ่านทางแสง (a) ของ ZnO และ (b) SnO_2	37
รูปที่ 4.15 แสดงพื้นผิวของฟิล์ม SnO_2 ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5%	38
รูปที่ 4.16 แสดงพื้นผิวของฟิล์ม SnO_2 ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน	38
รูปที่ 4.17 แสดงพื้นผิวของฟิล์ม SnO_2 ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3%	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในประเทศไทยแหล่งที่พบดีบุกจะพบในลักษณะที่เป็นสายแร่ในหินแกรนิต บางส่วนของแร่เปลี่ยนตำแหน่งจากที่พบในหินไปสะสมทับถมกันเป็นลานแร่ เนื่องจากสายแร่เดิมถูกกัดกร่อนให้พังทลาย แร่ดีบุกจึงมักถูกน้ำพัดพามาทับถมกันเป็นลานแร่ในบริเวณภูมิประเทศตามลำน้ำหรือก้นทะเล ในประเทศไทยจึงมักพบเป็นลานแร่อยู่กับเศษหิน ดิน ทราย ดีบุกที่พบส่วนมากจึงเป็นสารประกอบของดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ซึ่งมีลักษณะเด่น คือ เนื้อแน่น ทึบแสง มีความวาว สีน้ำตาลถึงดำหรือสีอื่นๆ

ดีบุกออกไซด์เป็นวัสดุที่นำใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการตรวจวัดก๊าซ ดีบุกออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ที่มี defect แบบ oxygen vacancies เมื่อมีโมเลกุลของก๊าซเข้ามาอุดเกาะที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับสารกึ่งตัวนำนั้นขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงไป คุณสมบัติที่เด่นของดีบุกออกไซด์คือมีความสามารถในการตอบสนองต่อก๊าซได้ดีที่อุณหภูมิห้องและสามารถตรวจวัดก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการปลูกฟิล์มด้วยวิธี Spin coat
- 1.2.2 เพื่อหาเงื่อนไขการปลูกฟิล์ม SnO_2 ที่ดีที่สุดด้วยวิธี Spin coat
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ผสมอนุภาคนาโนบางชนิด เช่น ZnO
- 1.2.4 เพื่อเรียนรู้ลักษณะงานที่เป็นระบบและรู้จักวิเคราะห์ปัญหา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ปลูกฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2)
- 1.3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มทินออกไซด์ก่อนและหลังผสมอนุภาคนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติของทินออกไซด์ (SnO_2) และ ZnO
- 1.4.2 ปลูกฟิล์มทินออกไซด์ ด้วยวิธี spin coat และหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด
- 1.4.3 ผสมอนุภาคนาโนคือ ZnO ในฟิล์มทินออกไซด์ หาเงื่อนไขที่ดีที่สุด
- 1.4.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มทินออกไซด์ก่อนและหลังผสมอนุภาคนาโน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถทำฟิล์มจากสารละลายเคมีได้
- 1.5.2 สามารถนำฟิล์มที่ทำได้มาผสมอนุภาคนาโน
- 1.5.3 มีความรู้เกี่ยวกับการหาสมบัติของฟิล์มได้
- 1.5.4 ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น
- 1.5.5 มีความรับผิดชอบต่อการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติพื้นฐานของทินออกไซด์ (SnO_2)

ดีบุก(Sn) เป็นธาตุในหมู่ 4 ของตารางธาตุ สารเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นดีบุกไอออนและรวมตัวกับสารอินทรีย์ เช่น ออกซิเจน หรือ คลอไรด์เกิดเป็นสารประกอบขึ้น ทินออกไซด์(SnO_2)จะมีสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของสารประกอบ SnO_2

สมบัติของสาร	SnO_2
มวลโมเลกุล (g / mol)	150.6888
โครงสร้าง	เตตระโกนอล
ความหนาแน่น (kg / cm^3)	6.55
สถานะ	ของแข็ง
สี	ขาว
จุดเดือด	2,000
จุดหลอมเหลว	1,625
พลังงานที่ใช้ในการเกิดสารประกอบ	520.000
พลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้	581.128
พลังงานในการสลายพันธะ	580.709
พลังงานของโครงผลึก	1,186.7018
สภาพต้านทานไฟฟ้า($\Omega.\text{cm}$)	4×10^6 (20 C) 60 (1200 C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SnO_2 มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระโกนอล ดังรูป 2.1 คือประกอบด้วย Sn 2 อะตอม และ O 4 อะตอม โดยมีการสร้างพันธะเคมีระหว่างอะตอมแบบโคเวเลนต์หรือแบบเตตระฮีดรอน



รูป 2.1 แสดงโครงสร้างผลึกของ SnO_2

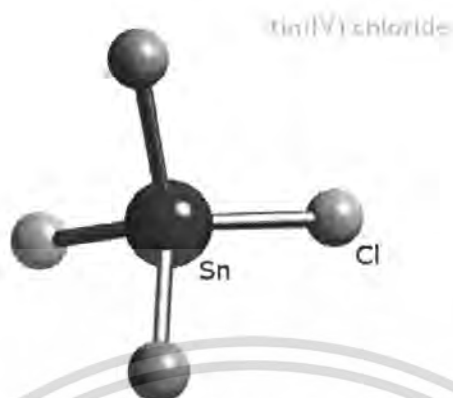
2.2 สมบัติพื้นฐานของทินคลอไรด์ (SnCl_4)

tin (IV) chloride หรือ stannic chloride (SnCl_4) สารนี้มีความเสถียรภายใต้สภาวะปกติของการใช้และการเก็บเกิดควันในอากาศซึ่งทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำเกิดกรดไฮโดรคลอริกที่จะสัมผัสกับความชื้นหรือความร้อน มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระฮีดรอน

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของสารประกอบ (SnCl_4)

สมบัติของสาร	(SnCl_4)
มวลโมเลกุล (g / mol)	260.521
โครงสร้าง	เตตระฮีดรอน
ความหนาแน่น (g / cm ³)	2234
สถานะ	ของแข็ง
สี	ขาว
จุดเดือด (°C)	114
จุดหลอมเหลว (°C)	-33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างผลึกของ SnCl_4

2.3 สมบัติพื้นฐานของ Isopropyl alcohol


ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของสาร Isopropyl alcohol

สมบัติของสาร	Isopropyl alcohol
มวลโมเลกุล (g / mol)	60.10
สูตรโมเลกุล	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$
สูตรโครงสร้าง	
ความหนาแน่น (g / cm^3)	0.785
สถานะ	ของเหลว
สี	ไม่มีสี
จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$)	82.3
จุดหลอมเหลว($^{\circ}\text{C}$)	-89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

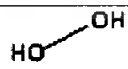
2.4 สมบัติพื้นฐานของ Acetic acid

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของสาร Acetic acid

สมบัติของสาร	Acetic acid
มวลโมเลกุล (g / mol)	60.05
สูตรโมเลกุล	CH ₃ COOH
สูตรโครงสร้าง	
ความหนาแน่น (g / cm ³)	1.049
สถานะ	ของเหลว
สี	ไม่มีสี
จุดเดือด(°C)	118.1
จุดหลอมเหลว(°C)	16.5

2.5 สมบัติพื้นฐานของ Hydrogen dioxide

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของสาร Hydrogen dioxide

สมบัติของสาร	Hydrogen dioxide
มวลโมเลกุล (g / mol)	34.0147
สูตรโมเลกุล	H ₂ O ₂
สูตรโครงสร้าง	
ความหนาแน่น (g / cm ³)	1.4
สถานะ	ของเหลว
สี	ไม่มีสี

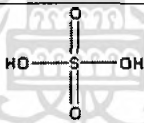
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

สมบัติของสาร	Hydrogen dioxide
จุดเดือด(°C)	150.2
จุดหลอมเหลว(°C)	-11

2.6 สมบัติพื้นฐานของ Sulfuric acid

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของสาร Sulfuric acid

สมบัติของสาร	Sulfuric acid
มวลโมเลกุล (g / mol)	98.078
สูตรโมเลกุล	H ₂ SO ₄
สูตรโครงสร้าง	
ความหนาแน่น (g / cm ³)	1.84
สถานะ	ของเหลว
สี	ไม่มีสี
จุดเดือด(°C)	290
จุดหลอมเหลว(°C)	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง

2.7.1 เครื่องผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer)



รูปที่ 2.3 แสดงเครื่อง Homogenizer

การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenization) คือการผสมวัสดุอย่างน้อย 2 ชนิด ให้เป็นเนื้อเดียวกันก็คือการลดขนาดวัตถุให้มีขนาดเล็กที่สุดก็ได้ เทคนิคการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่วิธีการพื้นฐานอย่างการตัด หั่น บด ปั่น โม่ และกวน จนกระทั่งเทคนิคการใช้คลื่นอัลตราโซนิคซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อเร่งทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกจนมีขนาดเล็กลง สำหรับในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แล้ว เครื่องมือที่ใช้ผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันคือเครื่อง Homogenizer และนอกจากเครื่องมือนี้จะใช้ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ยังสามารถใช้เพื่อแตกเซลล์ได้อีกด้วย Homogenizer หรือ เครื่องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับก่อกำเนิดความเร็วและแรงเฉือนสูง เพื่อลดขนาดวัตถุให้มีขนาดอนุภาคเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดโดยการปั่น ตัด และผสมที่ความเร็วสูง เครื่อง Homogenizer สามารถใช้ได้กับตัวอย่างวัตถุหลายชนิด โดยจะใช้งานได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นหรือมีปริมาณไขมันสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายด้าน ทั้งงานด้านอาหาร (มักใช้กับนม อาหารสำหรับเด็กอ่อน น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์ประเภทซอสปรุงรสต่างๆ) การเตรียมตัวอย่างงานวิจัยทางชีวภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การบดและ โม่กระดาษ การผสมตัวอย่าง และใช้ผสมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังนิยมใช้เครื่อง Homogenizer ในการแตกเซลล์ เพื่อนำตัวอย่างสารหรือองค์ประกอบภายในเซลล์ไปวิเคราะห์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานHomogenizer

Rotor-Stator Homogenizers : โรเตอร์หรือสเตเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดแรงเฉือนสูงทำให้สามารถลดขนาดวัตถุได้ดี โดยแรงเฉือนนี้เกิดจากใบมีดที่วางเรียงตัวเป็นแถวโดยรอบบริเวณปลายด้ามผสมใบมีดเหล่านี้จะเฉือนวัสดุทุกชนิดเข้ามาใน Stator tip เมื่อโรเตอร์หมุนวัตถุตัวอย่างจะถูกดูดและหมุนเหวี่ยงผ่านออกมาทางช่องของสเตเตอร์โดยทั่วไปแล้วจะใช้เวลาสำหรับผสมตัวอย่างประมาณ 20-60 วินาที จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 2.4 การทํางานของโรเตอร์-สเตเตอร์

โดยทั่วไปแล้ว Rotor-Stator Homogenizer ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนั้นจะมีส่วนขับเคลื่อนอยู่ด้านบน ซึ่งมีมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 8,000 – 60,000 rpm อยู่ด้านในขนาดของหัวโรเตอร์ - สเตเตอร์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดปริมาตรของตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้กับตัวอย่างที่มีปริมาตรตั้งแต่ 0.5-50 มิลลิลิตรหรืออาจได้มากสูงสุดถึง 10 ลิตร ขึ้นกับขนาดของเครื่อง โดยขนาดของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์ นั้นต้องสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่เหมาะสม สเตเตอร์ไม่ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าโรเตอร์ จนเกินไปเพราะจะทำให้ช่องว่างระหว่างโรเตอร์ - สเตเตอร์นั้นมากเกินไปจึงไม่สามารถผสมตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอได้ และไม่ควรอยู่ชิดกันเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณหัวปั่น โดยอัตราส่วนระหว่างโรเตอร์ : สเตเตอร์ โดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ 1:1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันนั้น ตัวอย่างวัตถุจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าไปอยู่ในช่องบริเวณหัวของสเตเตอร์ได้ถ้าตัวอย่างมีขนาดใหญ่เกินไปอาจต้องตัด หั่นหรือบดให้เป็นชิ้นเล็กๆก่อนจึงจะนำเข้าสู่กระบวนการได้

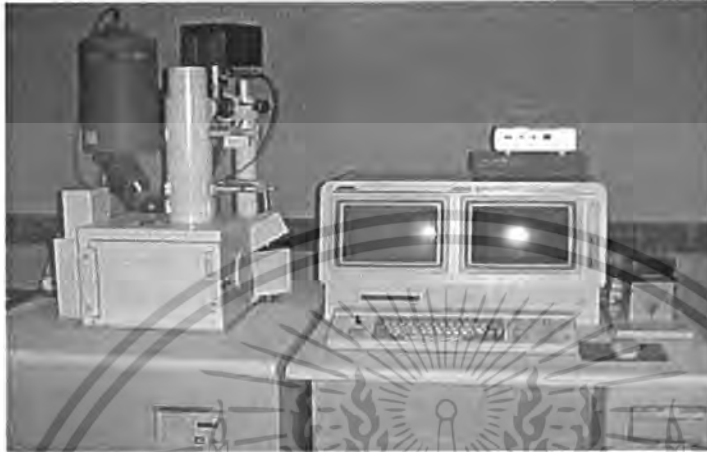


รูปที่ 2.5 Rotor-Stator Homogenizer

เครื่อง Homogenizer เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับผสมวัตถุให้เป็นเนื้อเดียวกัน และใช้ในการแตกเซลล์ได้ ในระดับห้องปฏิบัติการ Homogenizer จะใช้สำหรับการผสมสารที่ต้องการความเร็ว และตัวอย่างไม่เสียหายจากการผสม ส่วนในระดับอุตสาหกรรม เครื่อง Homogenizer ถือเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้สำหรับผสมองค์ประกอบต่างๆของผลิตภัณฑ์ให้เข้ากัน และใช้กับตัวอย่างปริมาณมาก การใช้งานเครื่อง Homogenizer ถึงแม้จะค่อนข้างง่าย แต่ก็ยังมีข้อระวังหลายอย่างที่ควรคำนึงถึง ทั้งขนาดและสภาพของตัวอย่าง และลักษณะการทำงาน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถใช้งานเครื่อง Homogenizer ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผสมสารได้โดยไม่เกิดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด(Scanning Electron Microscope : SEM)



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ใช้ในการส่องดูลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง ได้จากการบังคับลำอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิวแล้วแล้วแสดงผลบนจอ cathode ray tube (CRT) มีลักษณะของภาพเป็นภาพขาวดำ มีกำลังขยาย 10 – 300,000 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง หลักการทำงาน คือ อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับตัวอย่างทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron : SE) และจับสัญญาณ โดยตัวตรวจ จับสัญญาณ (Detector) นำสัญญาณที่ได้ไปขยายและสร้างภาพบนจอ cathode ray tube (CRT)

2.7.2.1) หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด

การทำงานของกล้อง SEM เริ่มจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนเรียกว่า แคโทด (Cathode) เนื่องจากเป็นขั้วลบ ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอน จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าในช่วง 1 – 40 keV พร้อมทั้งบีบกลุ่มอิเล็กตรอนให้เป็นลำอิเล็กตรอนโดยระบบของเลนส์อิเล็กตรอน (Electron lens) ซึ่งมี 2 ชนิด คือ เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) และเลนส์วัตถุ (Objective lens) ทำหน้าที่โฟกัสภาพ ขณะเดียวกันลำอิเล็กตรอนจะกวาดไปบนผิวตัวอย่างโดยขดลวดสนามแม่เหล็ก (Scanning coils) บนระนาบ x – y สิ่งสำคัญของการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด คือการเลือกสัญญาณจากอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับอะตอมของตัวอย่างมาสร้างเป็นภาพ ความต่างจากผลของอันตรกิริยาคือชนิดของตัวอย่างขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของธาตุในเนื้อตัวอย่างและกระบวนการวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจจับสัญญาณ แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (Secondary electron : SE) มีความสำคัญมากในการ ศึกษา ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เนื่องจากสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่หลุดออกมาส่วนมากจะมาจาก บริเวณผิวของตัวอย่าง สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron : PE) ถ่าย โอนพลังงานให้แก่อะตอมของตัวอย่าง บริเวณชั้นอิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนของตัวอย่าง ได้รับพลังงานสูงขึ้นกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอม อิเล็กตรอนก็จะหลุดออกจากอะตอม กลายเป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิ อีกทั้งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์มีพลังงานต่ำ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอน ปฐมภูมิลงไปกระตุ้นอะตอมของตัวอย่างในบริเวณลึกจากผิวตัวอย่าง โอกาสที่สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ จะหลุดออกมาจากชั้นความลึกนั้นมีน้อยเพราะสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จะถูกดูดกลืน โดยอะตอมบนผิวก่อนที่จะเล็ดลอดออกมา

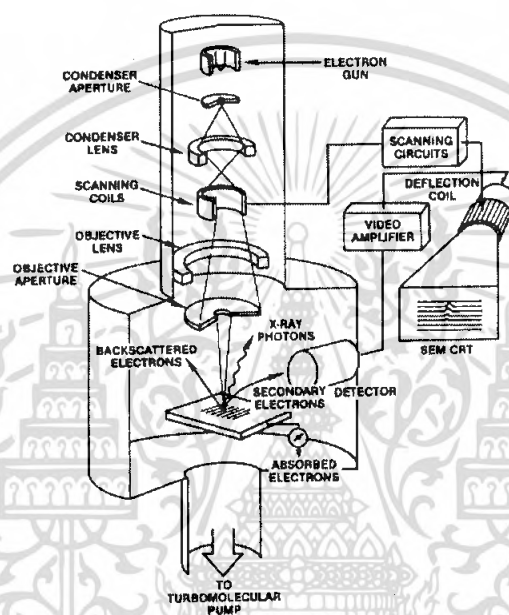
สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์นี้จะถูกดึงเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณ อิเล็กตรอนทุติยภูมิเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากบริเวณที่เกิดอันตรกิริยา ระหว่าง อิเล็กตรอนกับผิวของตัวอย่างจะมีสัญญาณหลายชนิด ดังนั้นต้องเลือกสัญญาณเฉพาะที่ต้องการ ใน กรณีของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จะถูกดึงโดยสนามไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสัญญาณ สัญญาณ อิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งมีพลังงานต่ำจะเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณผิวของตัวอย่างหลังจากสัญญาณ อิเล็กตรอนทุติยภูมิถูกดึงโดยสนามไฟฟ้าที่ถูกไบแอสไว้ สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จะเคลื่อนเข้าสู่ บริเวณ scintillator ซึ่งทำมาจาก CaF_2 และฉาบผิวด้วยอลูมิเนียมบางทำหน้าที่เป็น collector ไบแอส ศักคาไฟฟ้าที่ 12 kV ซึ่งสนามไบแอสนี้จะเร่งให้สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนเข้าสู่ scintillator ทำให้เกิดสัญญาณแสง และจะถูกส่งไปตาม light guide เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแสงไป เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วจึงทำการขยายสัญญาณ เพื่อส่งต่อให้ระบบสร้างภาพบนจอ CRT กล่าวคือ เมื่ออิเล็กตรอนถูกบีบเป็นลำอิเล็กตรอนและโฟกัสด้วยเลนส์แม่เหล็กลงบนผิวของตัวอย่าง ลำ อิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยชุด scanning coils ซึ่งเป็นขดลวดที่สร้างสนามแม่เหล็กควบคุมการ กราดของลำอิเล็กตรอนไปบนผิวของตัวอย่าง ซึ่งการกราดบนผิวของตัวอย่างนี้จะทำให้ได้สัญญาณ ต่างๆ สัญญาณควบคุมการกราดบนพื้นผิวนี้อาจทำงานเข้าจังหวะกับชุดควบคุมการสแกนของจอภาพ CRT จุดต่อจุดและเส้นต่อเส้น ในขณะที่เดียวกันสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จะถูกนำไปควบคุมปริมาณความ มีคสว่างบนจอ CRT เกิดเป็นภาพขึ้นตามระนาบการกราดของลำอิเล็กตรอนในกล้องจุลทรรศน์ แบบ SEM เนื่องจากพื้นที่แสดงจอภาพ CRT โดกว่าพื้นที่การกราดบนผิวของตัวอย่างโดยลำ อิเล็กตรอนในกล้องจุลทรรศน์ ดังนั้นจึงเกิดความสัมพันธ์ของกำลังขยายของภาพขึ้นดังนี้

กำลังขยาย = พื้นที่บน CRT / พื้นที่ของการกราดบนตัวอย่างของลำอิเล็กตรอน

ชุดของ scanning coils นี้เป็นตัวควบคุมพื้นที่ของการกราดบนตัวอย่างของลำอิเล็กตรอนและนอก จากควบคุมพื้นที่ในการกราดแล้วยังควบคุมความเร็วในการกราดอีกด้วย ซึ่งลักษณะความเร็วในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราดนี้จะทำให้ภาพที่ออกมามีความละเอียดแตกต่างกัน ถ้าเราใช้ความเร็วในการกราดมีความเร็วสูง เราจะได้ภาพที่มีความละเอียดต่ำกว่าการใช้ความเร็วต่ำในการกราด แสดงองค์ประกอบภายในของ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบภายในของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

2.7.3 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

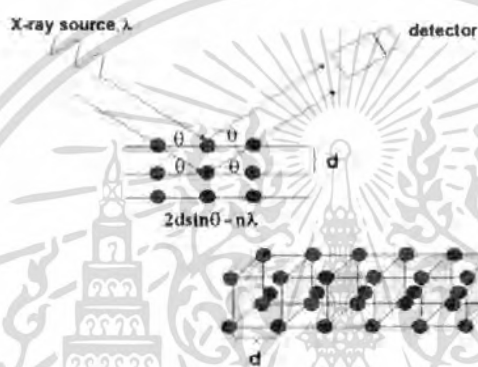
เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง(Non-destructive method) จากเครื่องมือ X-ray Diffractometer (XRD) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน แล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกเพื่อหาปริมาณของธาตุที่เป็นส่วนประกอบ เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านเคมีและเคมีชีวภาพ โดยใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอนินทรีย์ คีเอ็นเอ โปรตีนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ รวมถึงวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XRD เป็นเทคนิคที่คล้ายเทคนิค spectroscopic อื่นๆ เช่น เทคนิคการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence; XRF) โดยที่ XRF จะสามารถบอกได้ว่าวัสดุเหล่านั้นประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ในขณะที่ XRD นั้นจะช่วยให้สามารถรู้ได้ว่าธาตุเหล่านั้นมีองค์ประกอบเป็นอย่างไร

2.7.3.1) หลักการพื้นฐาน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD นั้นจะใช้คุณสมบัติการเลี้ยวเบนรังสีของโครงสร้างผลึก ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Bragg



รูปที่ 2.8 สมการของ Bragg

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

โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots$, λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์,
 d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก
 θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอกซ์กับระนาบผลึก

ในขั้นตอนแรกนั้นต้องทำการปลูกผลึกที่สนใจแล้วนำผลึกที่ได้ไปวางในเครื่อง diffractometer แล้วฉายด้วยรังสีเอกซ์ รังสีที่เกิดการเลี้ยวเบนจะถูกบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มหรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้จะถูกรวบรวมแล้วนำมาสร้างเป็นแผนผังของความหนาแน่นอิเล็กตรอนของโมเลกุล หลังจากนั้นจะถูกรับค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ตำแหน่ง เทียบกับผังความหนาแน่นเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่าความเข้มที่มุมต่างๆ จะถูกนำมาพล็อตจนได้กราฟที่เรียกว่า diffractogram ซึ่งแต่ละพีคที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ด้วยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ทำให้เราได้ทราบถึงข้อมูลของวัสดุที่ต้องการศึกษาทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงกลอย่างมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.2) เทคนิคที่ใช้หลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิค ได้แก่

1. Single-Crystal Methods

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

2. Powder Methods

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

2.7.4 เครื่อง UV-Vis Spectrometer



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่อง UV-Vis Spectrometer

UV-Vis Spectrophotometer เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร (nm) ของสารนั้น ได้แก่ สารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) โดยนำสารตัวอย่างใส่ในเซลล์ควอตซ์ (quartz) แล้ววางในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดแสง สารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสี หรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังเครื่องวัดแสง (photomultiplier tube) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมา โดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลผลเป็น curve หรือสเปกตรัมซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7.4.1) หลักการทำงานและส่วนประกอบในเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

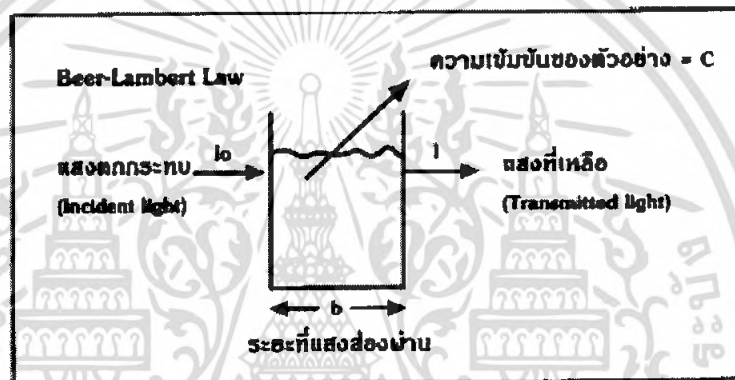
Spectrophotometer และ Beer's Law

แสง UV-Visible จัดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร โดยที่แสงหรือ Radiation เมื่อส่องผ่านสารที่สามารถดูดกลืนแสงได้ แสงจะถูกดูดกลืน เรียกว่า Absorbance (A) โดยสัมพันธ์กับค่า Transmittance (T) ดังนี้

$$A = \log I_0/I$$

I_0 = ความเข้มของแสงที่ตกกระทบบ

I = ความเข้มของแสงที่เหลือ (Transmittance)



รูปที่ 2.10 สมการ Beer-Lambert law

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ตาม Beer's law อื่น ๆ ที่ควรทราบคือ $A = abc$

โดยที่ a = absorbtivity

b = ระยะทางที่แสงส่องผ่าน หรือความกว้างของ cell

c = ความเข้มข้นของตัวอย่าง

องค์ประกอบของเครื่อง

เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ทุกชนิดประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้คือ

- * แหล่งกำเนิดแสง ให้แสงช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม เช่น ระหว่าง 190-1000 นาโนเมตร
- * monochromator เป็นส่วนที่ใช้จัดการเกี่ยวกับแสงทำให้ผู้ใช้เลือกช่วงแสงที่จะนำ มาวัดได้
- * ช่องใส่ตัวอย่าง ใช้ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัด
- * detector / amplifier ใช้วัดแสงที่เหลือจากการดูดกลืนของตัวอย่าง

แหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงที่ดีควรให้แสงที่มีความเข้มสม่ำเสมอและแสงนิ่งตลอดช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ทำงานนอก จากนี้ควรมีขนาดพอเหมาะ ทนทาน และราคาไม่แพง หากเราคาดหวังทุกอย่างที่กล่าวมาเราจะใช้หลอดเพียงชนิดเดียวไม่ได้ ต้องมีหลอดอย่างน้อย 2 ชนิดที่จะครอบคลุมความต้องการดังกล่าวหลอดที่ว่านั่นคือ หลอดควิที่เรียม และหลอดทังสเตน

หลอดทังสเตน นำมาใช้ในช่วง visible โดยหลอดชนิดนี้ให้พลังงาน ตั้งแต่ 300 – 2000 นาโนเมตรปกติแล้วหลอดนี้มี Filament ที่ทำ จากทังสเตนครอบด้วย Quartz ก๊าซภายในเป็นพวกกลุ่ม Halogen เช่น ไอ โอดีน เป็นต้น หลอดชนิดนี้มีข้อดีในด้านให้พลังงานสูง โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่น 300 – 400 นาโนเมตร

หลอดควิที่เรียม เป็นหลอดที่ทำงานได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตร โดยปกติแล้วหลอดนี้จะให้แสงที่ต่อเนื่องและสม่ำเสมอในช่วง 180 – 400 นาโนเมตร ส่วนที่ครอบของหลอดนี้จะทำ จาก Quartz เช่นกัน

monochromator ทำหน้าที่แยกแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่นและแยกส่วนความยาวคลื่นที่ต้องการไปใช้วัดตัวอย่าง monochromator โดยทั่วไปแล้วประกอบไปด้วย entrance slit ที่ใช้จำกัดให้แสงผ่านเข้าไปในกรอบการใช้งานที่ต้องการ จากนั้น Collimating mirror จะนำ แสงเข้าระบบไปสู่ส่วน Diffraction grating ซึ่งจะแตกแสงออกเป็นความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยที่ Focusing mirror จะเล็งแสงที่แตกแล้วนี้ผ่านออกไปยัง Exit slit ไปยังตัวอย่าง

ช่องใส่ตัวอย่าง ปกติจะออกแบบให้มีฝาครอบ หรือเลื่อนปิดอย่างมิดชิด เพื่อไม่ให้แสงจากภายนอกตกไปยัง detector ส่วนที่ใช้ใส่ตัวอย่างนี้จะปิดกันอย่างดีเพื่อป้องกัน monochromator และ detector cell ที่ใช้มักจะเป็น cuvette รูปทรงต่าง ๆ วัสดุมีให้เลือกหลัก ๆ คือ Quartz optical glass และพลาสติก การเลือกวัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ใช้วัด และลักษณะของตัวอย่างถ้าจะใช้ความยาวคลื่นต่ำกว่า 350 nm ต้องใช้ cell ที่ทำ จาก Quartz ที่จริงแล้ว cuvette ที่ทำ จาก Quartz นั้นจะใช้ได้ ตลอดช่วง UV-Visible เช่น ตั้งแต่ 190 – 1000 นาโนเมตร เป็นต้น ส่วน optical glass ใช้ได้ในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 300 นาโนเมตร และสำหรับพลาสติกจะใช้ได้ในช่วง Visible เท่านั้นคือตั้งแต่ 350 นาโนเมตร เป็นต้นไปขนาดของ cell ทั่ว ๆ ไปคือ 10 มิลลิเมตร รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความสูงที่จุสารละลายได้ประมาณ 2-3 มิลลิลิตรแต่ถ้าหากมีตัวอย่างจำกัด ผู้ใช้สามารถเลือกซื้อ cell ซึ่งจะลดขนาดโดยลดความกว้างของ cell แต่ path length (ระยะที่แสงส่องผ่าน) ยังคงเดิม

Detector ทำหน้าที่ แปลงพลังงานแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ที่มีใช้กันใน UV-VIS Spectrophotometer มี 2 ชนิดคือ

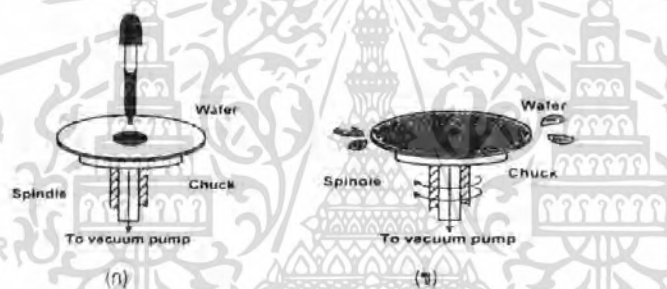
Silicon Photodiode ใช้หลักการที่ว่าเมื่อแสงตกกระทบผิว Detector ที่มีคุณสมบัติเป็น semi-conductive จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photomultiplier tube detector ชนิดนี้ประกอบไปด้วย photo tube และ high gain amplifier ข้อดีของ detector แบบนี้ คือสามารถปรับความไวในการตรวจวัดโดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ให้ และใช้วัดได้ดีในช่วง 200 – 600 นาโนเมตร แต่ถ้าความยาวคลื่นเกิน 900 นาโนเมตร ความไวในการตรวจวัดจะลดลงมาก

2.7.5 เครื่องหมุนเคลือบสาร (Spin Coat)

Spin Coat จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าสปินเนอร์ โดยมีแท่นหมุนที่สามารถปรับความเร็วได้ด้วยมอเตอร์ความเร็วสูง บนแท่นหมุนจะมีการยึดด้วยระบบสุญญากาศ ซึ่งจะสามารถยึดแผ่น glass slide ไว้ได้ในขณะที่หมุนแผ่นผลึก glass slide ด้วยความเร็วสูง แรงเหวี่ยงจากศูนย์กลางที่เกิดขึ้นจากการหมุนจะทำให้สารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวกระจายออกจนทั่วผิวหน้า ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.11 การเคลือบสารบนแผ่น glass slide แบบสปินเนอร์

(ก) การหยดสารบนแผ่น glass slide

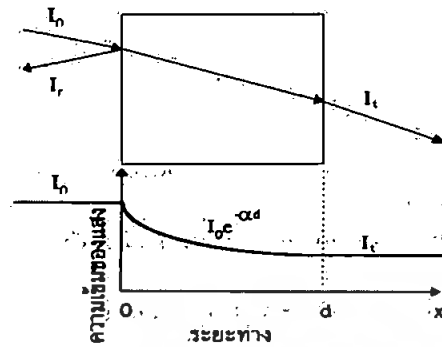
(ข) การหมุนแผ่น glass slide บนแท่นหมุนเพื่อเคลือบสาร

โดยความหนาของชั้นฟิล์มจะขึ้นอยู่กับความหนืดของสาร และความเร็วรอบในการหมุน ถ้าหากใช้ความเร็วรอบต่ำ จะได้ชั้นของฟิล์มที่หนา ถ้าเพิ่มความเร็วรอบสูงก็จะได้ชั้นฟิล์มที่บางลง ชั้นฟิล์มที่ดีจะต้องมีความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ในขั้นตอนนี้จะต้องมีกระวังเรื่องฝุ่นละอองมากเป็นพิเศษ

2.8 การศึกษาวิธีวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการทะลุผ่านของแสง

การศึกษาวิธีวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการทะลุผ่านของแสง จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง และองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง เมื่อแสงเดินทางไปกระทบแผ่นฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของแผ่นฟิล์มบาง บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืน ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบาง

เมื่อ	I_0	คือ	ความเข้มแสงตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบาง
	I_r	คือ	ความเข้มแสงสะท้อน
	I_t	คือ	ความเข้มแสงทะลุผ่าน
	I_i	คือ	ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง
	R	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสง (Reflectivity)
	T	คือ	สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง (Transmittance)
	α	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง (Absorption coefficient)
	d	คือ	ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงมีค่า

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2.2)$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางมีค่า

$$I_i = I_0 - I_r \quad (2.3)$$

$$I_i = I_0 - RI_0 \quad (2.4)$$

$$I_i = (1 - R)I_0 \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงทะลุผ่านมีค่าดังสมการ

$$I_t = I_i \times e^{-\alpha d} \quad (2.6)$$

$$I_t = (1 - R)I_o \times e^{-\alpha d} \quad (2.7)$$

ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลัง สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

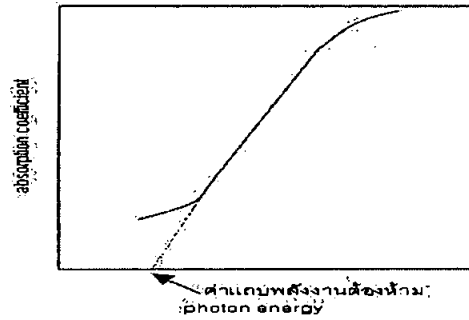
$$T = \frac{I_t}{I_o} = (1 - R)e^{-\alpha d} \quad (2.8)$$

ในกรณีที่มีการสะท้อนแสงทั้งที่ผิวด้านหน้าฟิล์มบางและที่ผิวด้านหลังแผ่นฟิล์มบาง จำนวนครั้งเป็นอนันต์ สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงมีค่า

$$T = \frac{(1 - R)^2 + e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (2.9)$$

2.8.1 การหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามจากสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง

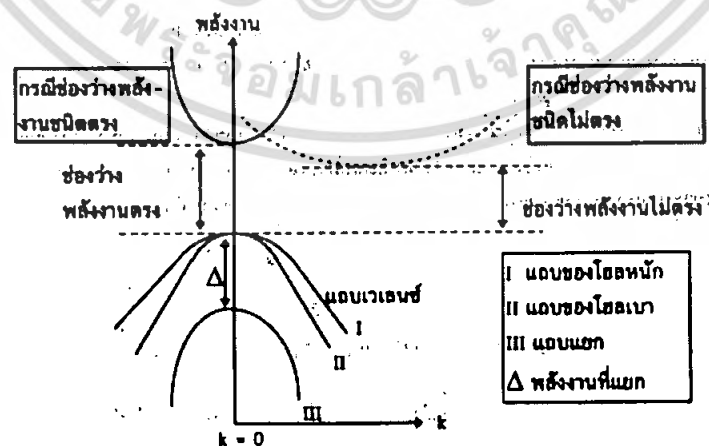
การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแสงที่มีพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าแถบพลังงานต้องห้าม แล้วเปลี่ยนสถานะจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบคอนดักชัน สเปกตรัมการดูดกลืนแสงบริเวณที่พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยจะมีลักษณะเป็นขอบแสดงถึงการลดลงของการดูดกลืนแสงอย่างกะทันหัน ขอบลักษณะนี้เรียกว่า ขอบการดูดกลืนแสง (absorption edge) แสดงดังรูป พลังงานโฟตอน (Photon energy) ที่ขอบการดูดกลืนแสง มีค่าเท่ากับ ความต่างของจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชันและจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ จุดที่เส้นตรงตัดกับแกนในแนวนอนจะให้ค่าแถบพลังงานต้องห้าม (E_g) วิธีการนี้เป็นการกำหนดค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมากที่สุด ซึ่งการเขียนกราฟเช่นนี้เรียกว่า การเขียนกราฟแบบเทาซ์ (Tauc's plot)



รูปที่ 2.13 แสดงขอบการดูดกลืนแสง

การดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนในผลึกสารกึ่งตัวนำเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม โดยให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเป็นฟังก์ชันของเลขคลื่นของอิเล็กตรอน (Wave number) แสดงด้วยเวกเตอร์ k ในแผนภาพแสดงลักษณะของแถบพลังงาน แนวแกนอนคือเลขคลื่น k และแนวแกนตั้งคือพลังงานของอิเล็กตรอน เนื่องจากโมเมนตัมของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $p = \hbar k$ ดังนั้นแนวแกนอนก็คือค่าโมเมนตัมของอิเล็กตรอน เมื่อเขียนแผนภาพของแถบพลังงานในรูปฟังก์ชันของ k จะได้แผนภาพดังรูปที่ 2.13

ถ้าการดูดกลืนแสงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนระหว่างจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์และจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชันที่มีค่า k เท่ากัน เรียกการดูดกลืนแสงชนิดนี้ว่า การดูดกลืนชนิดตรง (Direct absorption) แต่ถ้าจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ และจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชันมีค่า k ไม่ตรงกัน ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนเพื่อดูดกลืนแสงจะต้องอาศัยโฟนอนช่วย โดยอิเล็กตรอนต้องมีการดูดความร้อนจากโครงผลึกหรือคายความร้อนให้แก่โครงผลึก เรียกการดูดกลืนแสงชนิดนี้ว่า การดูดกลืนชนิดไม่ตรง (Indirect absorption)



รูปที่ 2.14 แสดงการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าของแถบพลังงานต้องห้ามพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง (α) ของสารกึ่งตัวนำจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง (T) จากรูปที่ 1 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบจากด้านซ้ายของฟิล์มบาง (I_0) ความเข้มแสงภายในฟิล์มบางจะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และมีค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง โดยทั่วไปการสะท้อน (R) มีค่าน้อยมากดังนั้น จะกลายเป็น

$$T = e^{-\alpha d} \quad (2.10)$$

เมื่อ	α	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง (Absorption coefficient)
	T	คือ	สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง (Transmittance)
	I_0	คือ	ความเข้มแสงตกกระทบแผ่นฟิล์มบาง
	I_t	คือ	ความเข้มแสงทะลุผ่าน
	d	คือ	ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

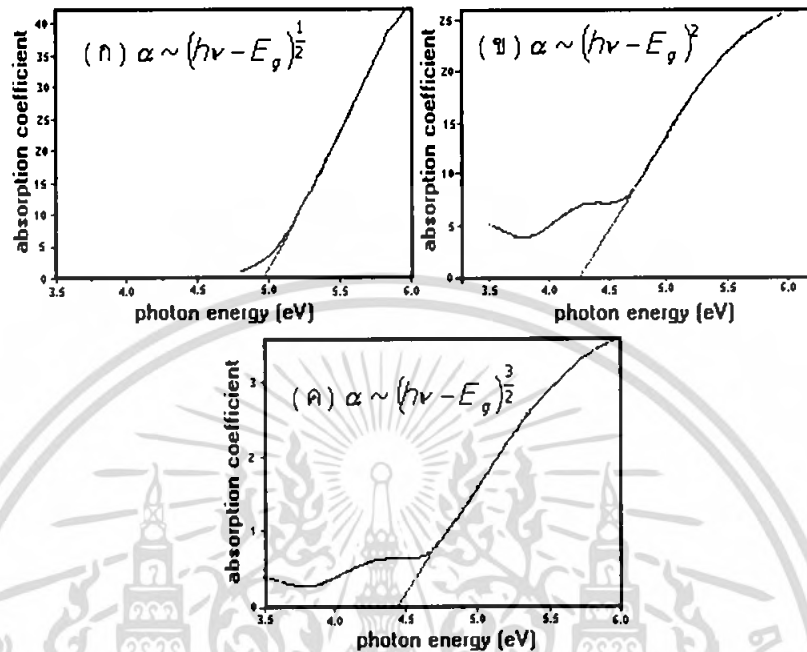
ที่กล่าวมาเป็นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงจากสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงโดยไม่คิดถึงการสะท้อนของแสง สำหรับกรณีการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงกับค่าพลังงานแถบต้องห้ามซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลา แถบพลังงานต้องห้ามของแผ่นฟิล์มบางประมาณได้โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงซึ่งจะถูกดูดกลืนเมื่อแสงที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบางมีค่าพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้าม ที่ขอบของการดูดกลืนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่า

$$\alpha h\nu \sim (h\nu - E_g)^\gamma \quad (2.11)$$

- เมื่อ $\gamma = \frac{1}{2}$ สำหรับแถบยินยอมที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบตรง (Direct allowed transition)
- $= \frac{3}{2}$ สำหรับแถบต้องห้ามที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบตรง (Direct forbidden transition)
- $= 2$ สำหรับแถบยินยอมที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบอ้อม (Indirect allowed transition)
- $= 3$ สำหรับแถบต้องห้ามที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบอ้อม (Indirect forbidden transition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างกราฟพลังงานโฟตอนและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง ที่ค่า γ ต่างๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 2.15 แสดงกราฟพลังงานโฟตอนและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง ที่ค่า γ ต่างๆ

กล่าวคือสามารถคำนวณหาค่าของแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งมีแถบต้องห้ามที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบตรง ($\gamma = \frac{3}{2}$) ได้จากการเขียนกราฟแบบเททซ์ และคำนวณหาความ สัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง และพลังงานโฟตอน โดยการแทนค่า γ ได้ดังนี้

$$(\alpha h\nu)^{\frac{2}{3}} = \left[\left(-\frac{1}{d} \ln T \right) h\nu \right]^{\frac{2}{3}} = h\nu - E_g \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.1 การดำเนินงานในขั้นตอนการศึกษา

เป็นการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของสาร $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และการศึกษาคุณสมบัติของสารเจือปนอนุภาคนาโนคือ ZnO ศึกษาข้อมูลเครื่องมือที่จะใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มทินออกไซด์

3.2 การดำเนินงานในขั้นตอนการทดลอง

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้ามาทำการทดลอง โดยเริ่มจาก

1. การเตรียมสารที่จะใช้ในการทดลอง
2. การเตรียมแผ่นกระจกสไลด์
3. การเคลือบสารด้วยเครื่อง spin coat
4. การแอนนีสฟิล์มทินออกไซด์
5. หาคุณสมบัติของฟิล์มทินออกไซด์
6. การผสมด้วยอนุภาคนาโน
7. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มจากเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์ม ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Scanning Electron Microscope : SEM), UV-Visible Spectrophotometer, X-ray Diffractometer (XRD)

3.2.1 การเตรียมสารเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

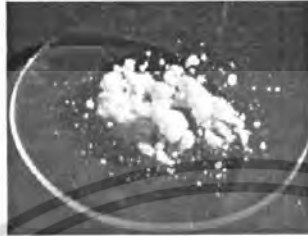
3.2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสาร

- ปีกเกอร์
- ขวดรูปชมพู่
- dropper
- แท่งแก้วคนสาร
- กระจกตวงสาร
- เครื่อง Homogenizer
- สาร $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- สาร $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ (Isopropanol)
- สาร CH_3COOH (Glacial acetic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 ขั้นตอนการเตรียมสาร

1.เตรียมสาร $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 17.53 กรัม ผสมน้ำเล็กน้อย พอให้สารละลาย



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะสาร Stannic chloride

- 2.นำสาร CH_3COOH (Glacial acetic) จำนวน 3 มิลลิลิตร มาผสมกับสารที่เตรียมไว้
- 3.เตรียมสาร $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ มาผสมกับ $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 4.นำสารที่ได้มาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Homogenizer จำนวน 6000 rpm เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.2 แสดงการผสมสารด้วยเครื่อง Homogenizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทำความสะอาดพื้นผิวกระจกสไลด์

การทำความสะอาดพื้นผิวกระจกสไลด์ใช้กระบวนการที่เรียกว่า Piranha Process ซึ่งมีอุปกรณ์และขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้งานในการทำความสะอาดพื้นผิวกระจกสไลด์

1. ถุงมือ
2. บีกเกอร์
3. คีมคีบพลาสติก
4. ก๊าซไนโตรเจน (N_2)
5. กระจกสไลด์
6. สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
7. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

3.3.2.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดพื้นผิวกระจกสไลด์

1. นำกระจกสไลด์ที่เตรียมไว้ไปล้างด้วยน้ำยาทีโพล (Teepol)
2. จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำไร้ไอออน (De-ionized water)
3. นำมาต้มในสารละลายระหว่างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ด้วยอัตราส่วน (H_2O_2):(H_2SO_4) คือ 1:2 เป็นเวลา 30 นาที
4. นำมาล้างด้วยน้ำยาทีโพล (Teepol)
5. ล้างด้วยน้ำไร้ไอออน (De-ionized water)
6. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2)
7. อบให้แห้งในเตาอบเป็นเวลา 30 นาที

3.2.3 การปลูกฟิล์มบนกระจกสไลด์ด้วยเครื่อง Spin coat

1. ทำการอบแผ่นกระจกสไลด์ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที
2. นำ sol-gel ของ SnCl₄ ที่เตรียมไว้ นำมาหยดบนกระจกสไลด์
3. เริ่มทำการปลูกฟิล์มตามเงื่อนไขดังนี้

3.1 การปลูกฟิล์ม SnO₂ ที่จำนวนรอบ 2000 rpm เป็นเวลา 30 วินาที
ใช้จำนวนครั้งของการเคลือบสารดังนี้ (ระหว่างการเคลือบแต่ละครั้งนำฟิล์มมาอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 นาที)

จำนวนครั้ง 3 ครั้ง

จำนวนครั้ง 5 ครั้ง

จำนวนครั้ง 7 ครั้ง

จำนวนครั้ง 9 ครั้ง

จำนวนครั้ง 11 ครั้ง

3.2 จำนวนครั้งของการเคลือบสาร 7 ครั้ง และ 9 ครั้ง ใช้จำนวนรอบของการเคลือบสารดังนี้(ระหว่างการเคลือบแต่ละครั้งนำฟิล์มมาอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 นาที)

จำนวนรอบ 1500 rpm

จำนวนรอบ 1800 rpm

จำนวนรอบ 2000 rpm

3.3 ผสม SnO₂ กับอนุภาคนาโนของ ZnO ตามความเข้มข้นดังนี้

ZnO 3 % , 5 % และ 7 % (w/v %)

4. จากนั้นนำฟิล์มมาแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
5. นำฟิล์มมาตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วย X-ray Diffractometer (XRD)
6. ตรวจสอบคุณสมบัติโดยการวัดด้วย UV-Vis เพื่อดูการส่งผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 290 nm-1000 nm
7. ตรวจสอบคุณสมบัติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด(Scanning Electron Microscope : SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวัดความต้านทานของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2)



(a) ก่อนแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 116 MΩ

(b) หลังแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 54 MΩ

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO_2 ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน (a) ก่อนแอนนีสและ (b) หลังแอนนีส



(a) ก่อนแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 15 MΩ

(b) หลังแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 329 MΩ

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO_2 ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3% (a) ก่อนแอนนีสและ (b) หลังแอนนีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ก่อนแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 15 MΩ



(b) หลังแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 89 MΩ

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO₂ ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5% (a) ก่อนแอนนีสและ (b) หลังแอนนีส



(a) ก่อนแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 15 MΩ



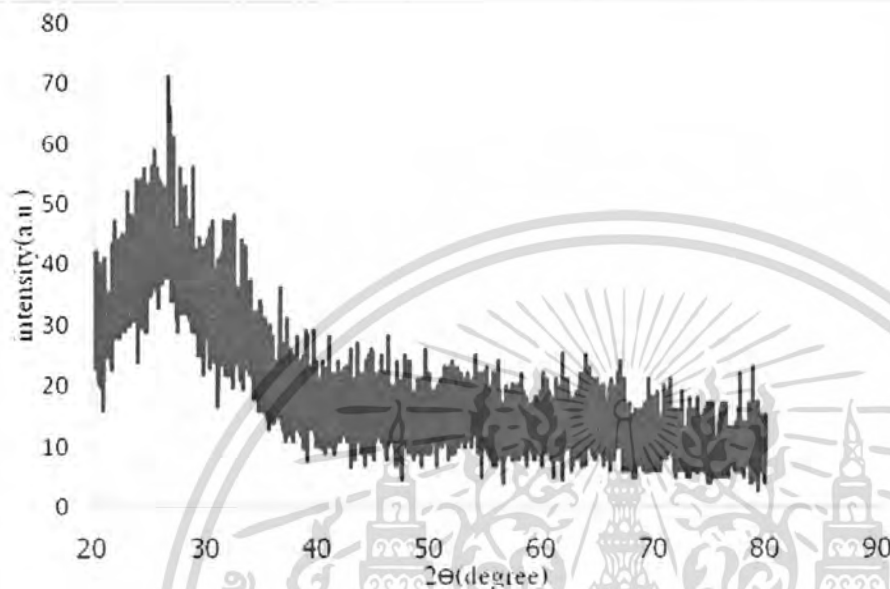
(b) หลังแอนนีสอ่านค่าความต้านทาน
ได้ 114 MΩ

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของฟิล์ม SnO₂ ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 7% (a) ก่อนแอนนีสและ (b) หลังแอนนีส

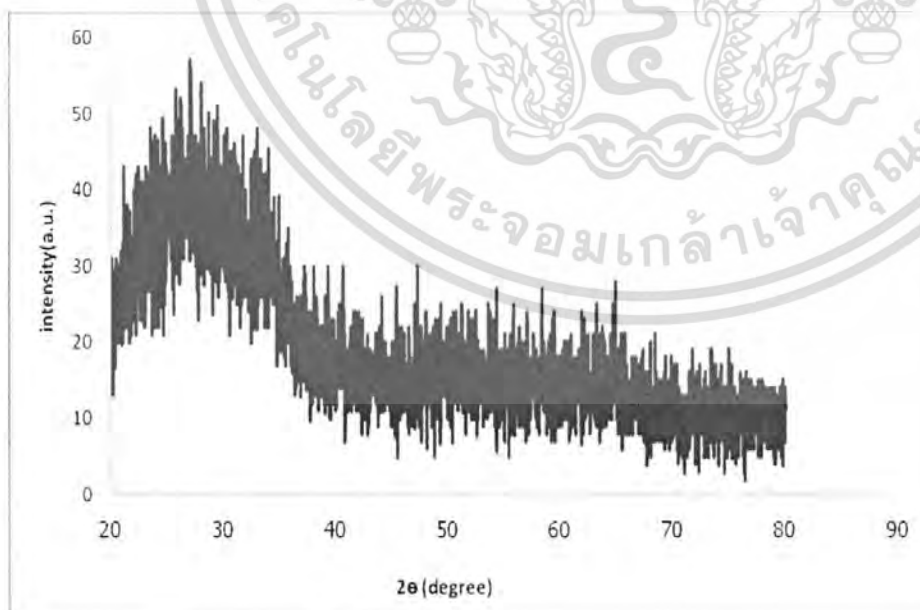
จากการวัดความต้านทานของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนก่อนการแอนนีสมีความต้านทานมากกว่าหลังการแอนนีส เมื่อผสมอนุภาคนาโนของ ZnO ก่อนการแอนนีสมีความต้านทานน้อยกว่าหลังการแอนนีส เนื่องจากเมื่อผสมอนุภาคนาโนของ ZnO ในฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) ทำให้สภาพคล่องตัวของพาหะในฟิล์มลดลงจึงทำให้ฟิล์มมีความต้านทานเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

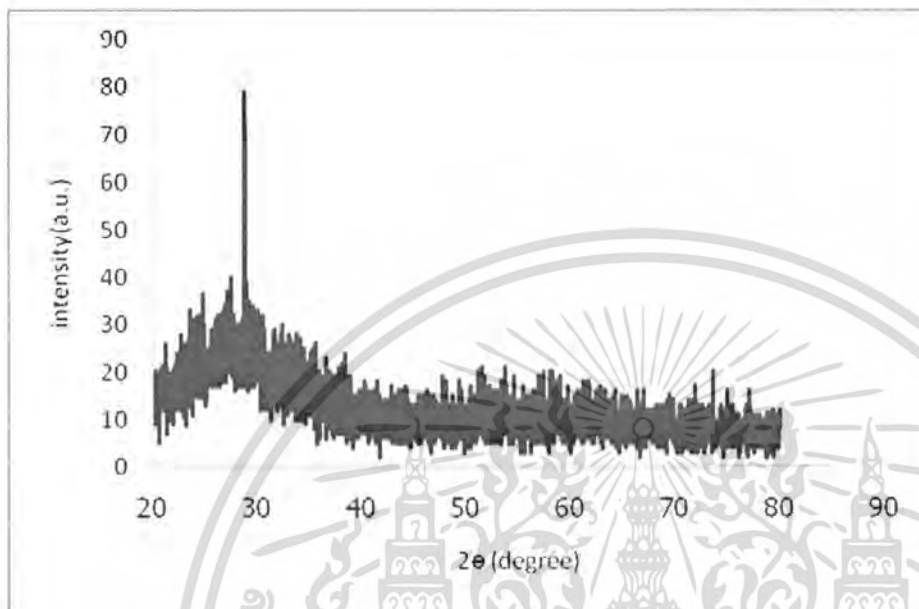
4.2 ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากการวัดด้วย X-ray Diffractometer (XRD)



รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน



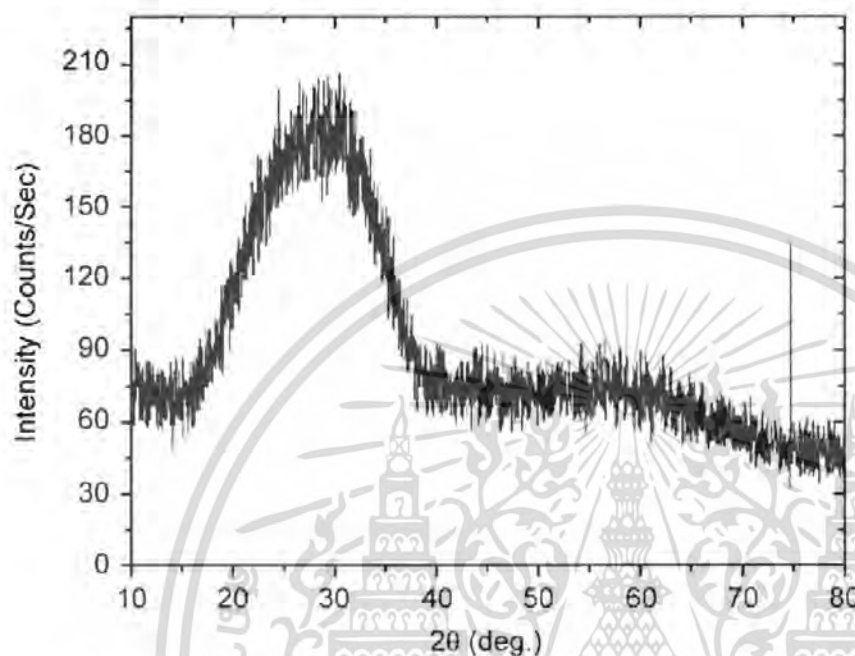
รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3% ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5%

จากกราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนจะเห็น peak บริเวณ 28° ที่ความเข้ม 70 เมื่อผสมอนุภาคนาโนจะเห็น peak ที่บริเวณใกล้เคียง 30°

จากการศึกษาของ E. Centinorgu et al. (journal of Crystal Growth 299(2007) 259-267) ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิฐานรองรับที่ปลูกฟิล์มบาง ZnO และฟิล์ม SnO₂ ด้วยวิธี filtered vacuum arc ดังรูป 4.8

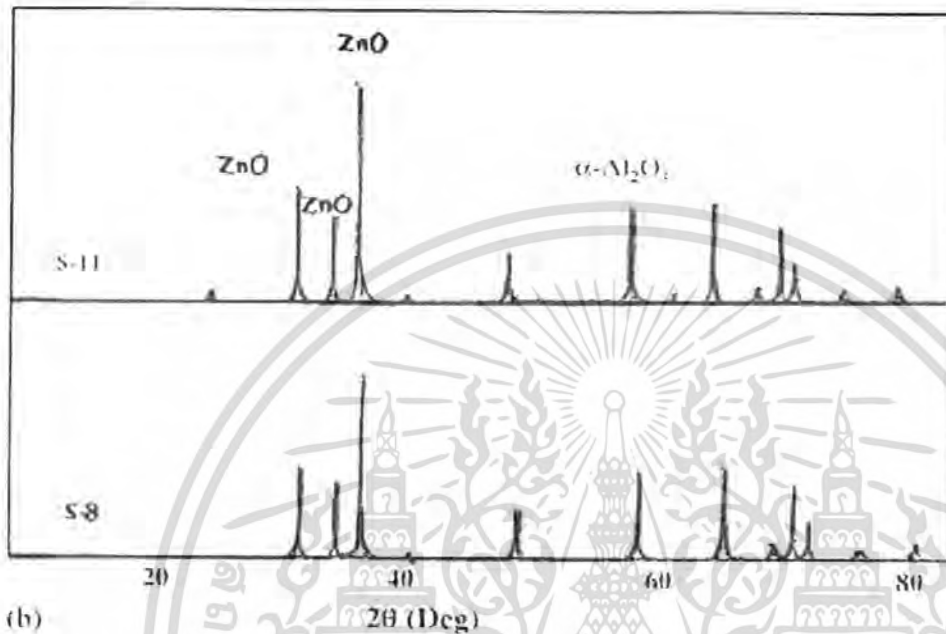


รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) ที่อุณหภูมิห้อง [E. Centinorgu et al. (journal of Crystal Growth 299(2007) 259-267)]

เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) ที่ได้จากการทดลองพบว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันคือ peak จะอยู่ในช่วงประมาณ 30° สาเหตุที่เห็น peak ไม่เด่นชัดเนื่องจากฟิล์มทินออกไซด์มีโครงสร้างเป็นแบบ amorphous

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาของ Shrikrishna Pandurangji Yawale et al.(Sensors and Actuators A 135(2007) 388-393) ซึ่งศึกษาการเจือทินออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ในเซนเซอร์วัดความชื้น ดังรูป 4.9

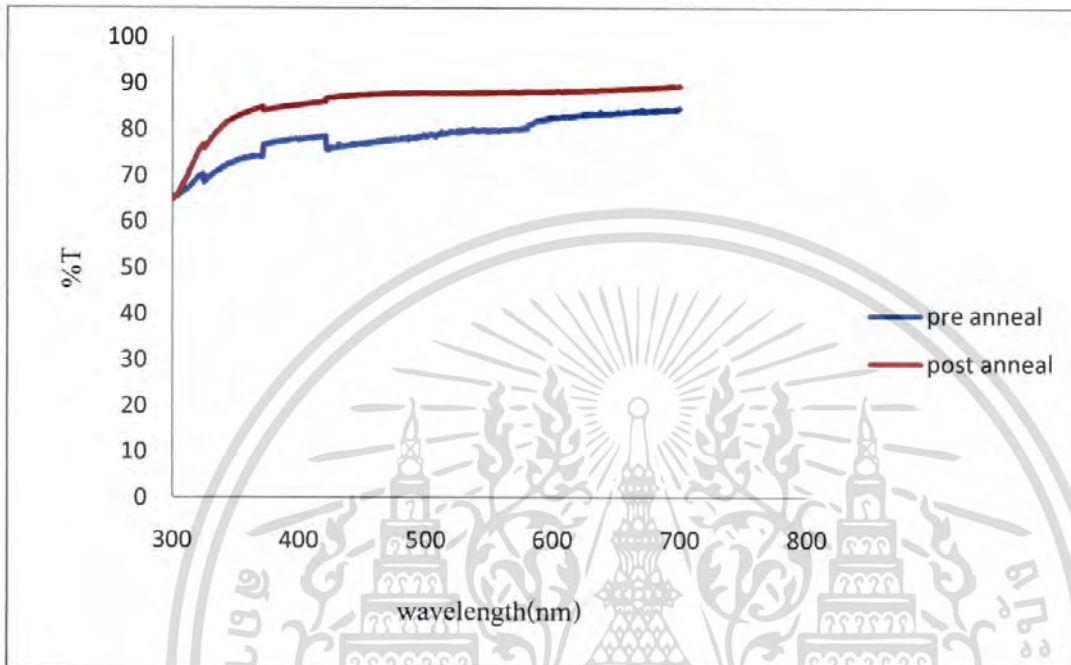


รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่าง(S8) ZnO-5Al₂O₃ และ (S11) ZnO-5Al₂O₃-5TiO₂ [Shrikrishna Pandurangji Yawale et al.(Sensors and Actuators A 135(2007) 388-393)]

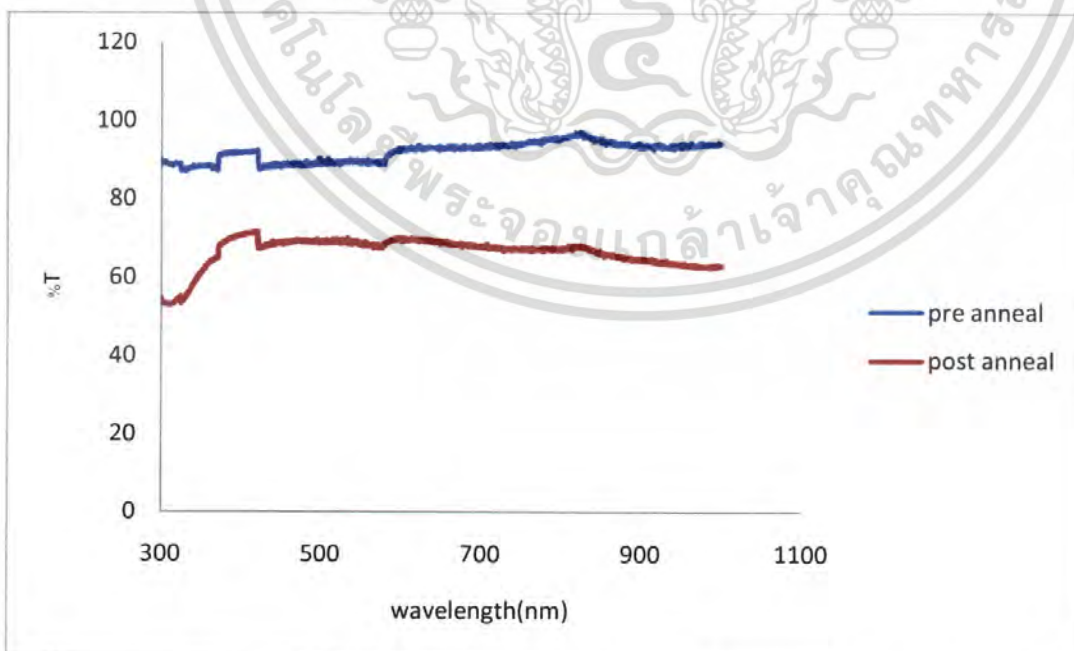
เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) ที่ผสมอนุภาคนาโนZnO จากการทดลองพบว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันคือ peak จะอยู่ในช่วงประมาณ 30°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

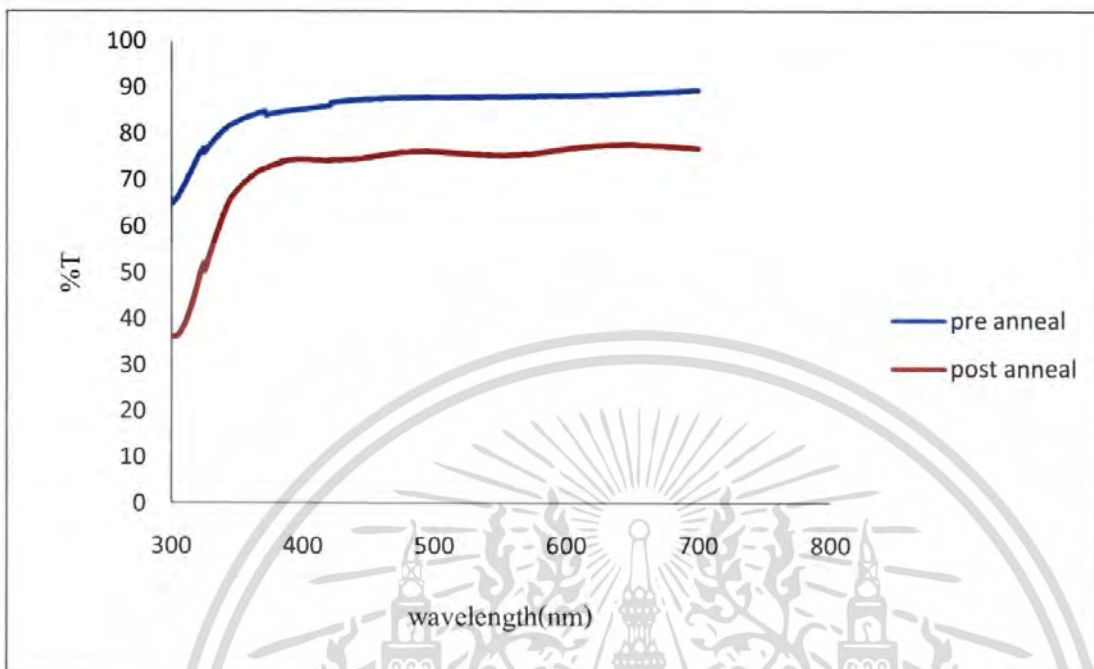
4.3 ผลการวัดค่าการทะลุผ่านทางแสงที่วัดด้วย UV-Vis spectrometer



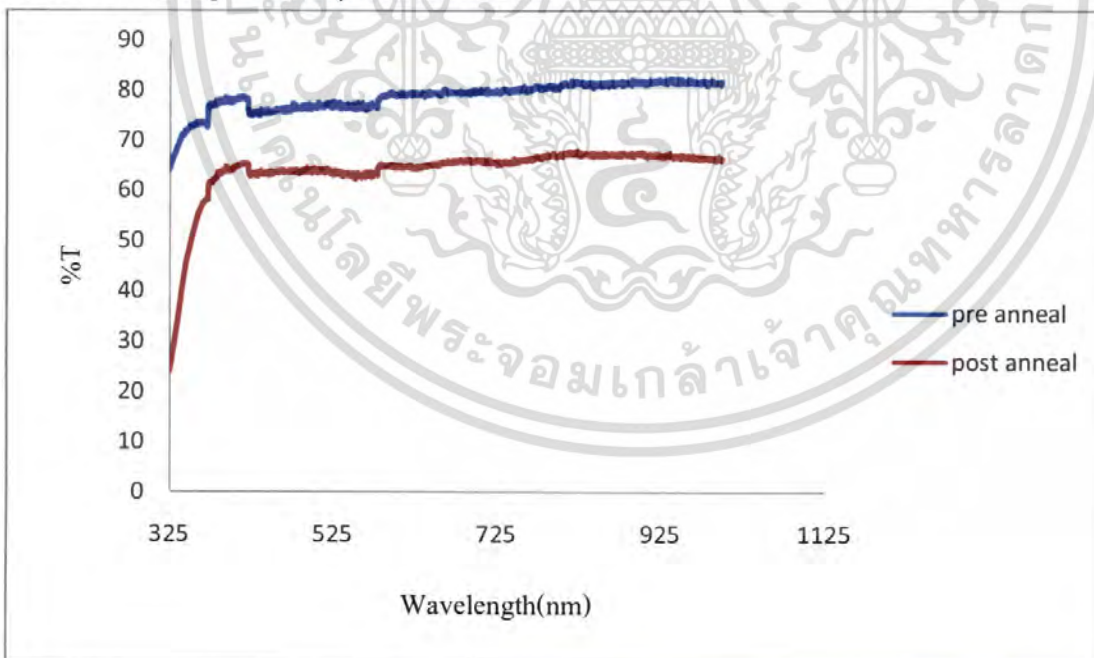
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3% เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5%



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

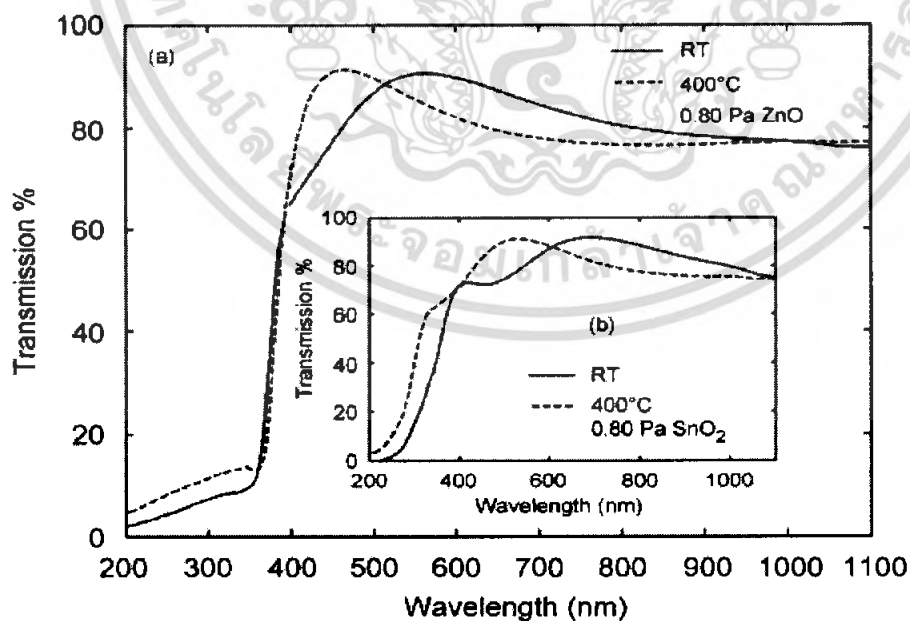
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนพบว่าก่อนการแอนนัลค่าการทะลุผ่านทางแสงจะเริ่มประมาณ 65 ที่ความยาวคลื่น 300 nm หลังการแอนนัลก็มีค่าใกล้เคียงกับก่อนการแอนนัลแต่เส้นกราฟจะต่ำกว่าเล็กน้อย

ค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3% ก่อนการแอนนัลค่าการทะลุผ่านทางแสงจะเริ่มประมาณ 90 ที่ความยาวคลื่น 300 nm หลังการแอนนัลค่าการทะลุผ่านทางแสงจะเริ่มประมาณ 50 ที่ความยาวคลื่น 300 nm

ค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5% ก่อนการแอนนัลค่าการทะลุผ่านทางแสงจะเริ่มประมาณ 65 ที่ความยาวคลื่น 300 nm หลังการแอนนัลค่าการทะลุผ่านทางแสงจะเริ่มประมาณ 35 ที่ความยาวคลื่น 300 nm

ค่าการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 7% ก่อนการแอนนัลค่าการทะลุผ่านทางแสงจะเริ่มประมาณ 65 ที่ความยาวคลื่น 325 nm หลังการแอนนัลค่าการทะลุผ่านทางแสงจะเริ่มประมาณ 25 ที่ความยาวคลื่น 325 nm

จากการศึกษาของ E. Centinorgu et al. (journal of Crystal Growth 299(2007) 259-267) ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิฐานรองรับการปลูกฟิล์มบาง ZnO และฟิล์ม SnO_2 ด้วยวิธี filtered vacuum arc ดังรูป 4.14

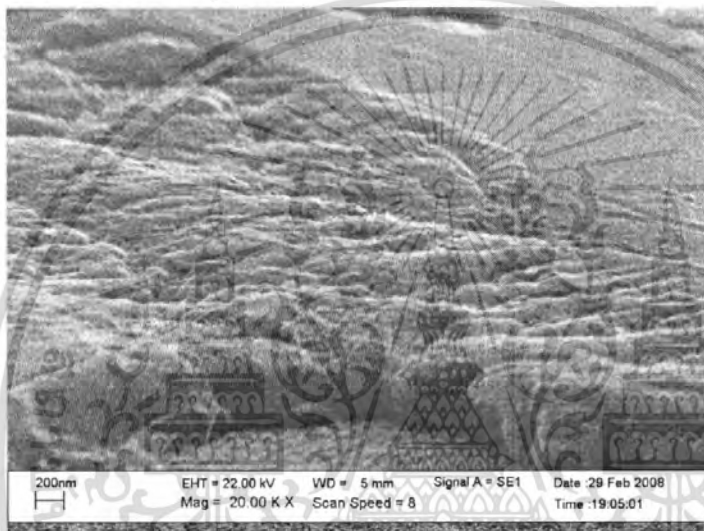


รูปที่ 4.14 แสดงการส่งผ่านทางแสง (a) ของ ZnO และ (b) SnO_2 [E. Centinorgu et al. (journal of Crystal Growth 299(2007) 259-267)]

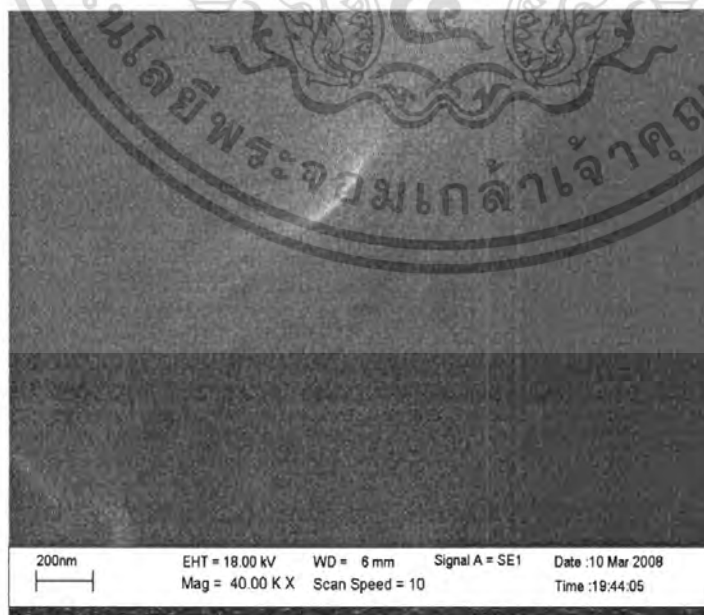
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการวัดการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) จากการทดลองมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน แต่การผิดพลาดที่เกิดเนื่องจากเมื่อผสมอนุภาคนาโนของ ZnO แล้วอนุภาคนาโนมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงหรืออาจเกิดการ scattering ของแสงทำให้การส่งผ่านแสงลดลง

4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (SEM)

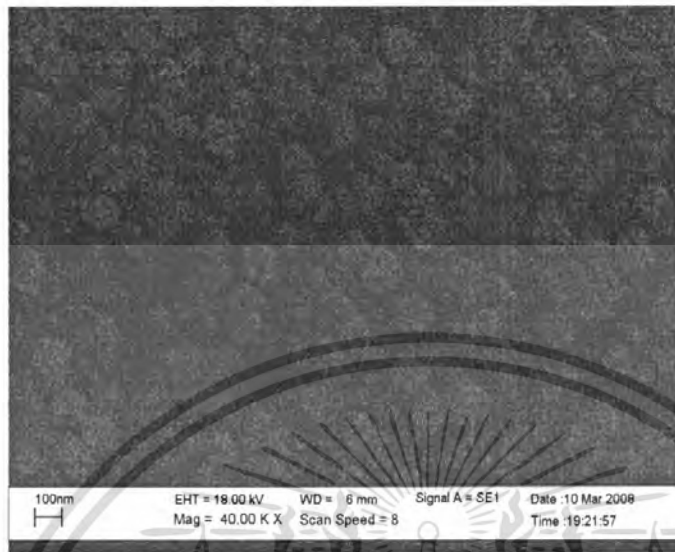


รูปที่ 4.15 แสดงพื้นผิวของฟิล์ม SnO_2 ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 5% (ภาพตัดขวาง)



รูปที่ 4.16 แสดงพื้นผิวของฟิล์ม SnO_2 ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงพื้นผิวของฟิล์ม SnO₂ ที่ผสมอนุภาคนาโน ZnO 3%

ผลจากการวัดพื้นผิวของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนจะมีพื้นผิวเรียบแต่เมื่อผสมอนุภาคนาโน ZnO ในฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) จะพบว่าพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นและจากภาพตัดขวางของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO₂) พบว่าฟิล์มทินออกไซด์มีความหนาประมาณ 400 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ

ในโครงการนี้เป็นการปลูกฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ด้วยวิธีหมุนเคลือบสาร (Spin coat) และนำฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) มาผสมด้วยอนุภาคนาโนของ ZnO และเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ก่อนและหลังผสมอนุภาคนาโน

จากการวัดความต้านทานของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ก่อนการแอนนีสมีความต้านทานมากกว่าหลังการแอนนีส เมื่อผสมอนุภาคนาโนของ ZnO ก่อนการแอนนีสมีความต้านทานน้อยกว่าหลังการแอนนีส เนื่องจากเมื่อผสมอนุภาคนาโนของ ZnO ในฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ทำให้สภาพคล่องตัวของพาหะในฟิล์มลดลง จึงทำให้ฟิล์มมีความต้านทานเพิ่มขึ้น

ผลจากการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) มีพีคใกล้ๆ 30 หลังจากผสมอนุภาคนาโนก็มีค่าพีคใกล้ๆ 30 พีคที่พบจะกว้างไม่เด่นชัดเนื่องจากฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ได้จากการทดลองเป็นอะมอร์ฟัส

ผลจากการวัดสมบัติทางแสงของฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrometer ก่อนการแอนนีสมีค่าการทะลุผ่านแสงน้อยกว่าหลังการแอนนีส เมื่อผสมอนุภาคนาโนของ ZnO พบว่าหลังการแอนนีสฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) มีค่าการทะลุผ่านแสงลดลงเนื่องจากอนุภาคนาโนมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงหรืออาจเกิดการ Scattering ของแสงทำให้การส่งผ่านแสงลดลง

ผลจากการวัดวัดพื้นผิวของฟิล์ม SnO_2 ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (SEM) ฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโนจะมีพื้นผิวเรียบแต่เมื่อผสมอนุภาคนาโน ZnO ในฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) จะพบว่าพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น

5.2 แนวทางการพัฒนา

1. สามารถนำฟิล์มทินออกไซด์ (SnO_2) ที่ได้ไปพัฒนาเป็น Gas Sensor ได้ด้วยการเพิ่ม Sensitivity คือต้องมีความเป็นรูพรุนสูง เพื่อให้โมเลกุลของก๊าซไปฝังตัว การที่จะทำให้เกิดรูพรุนสูงทำได้โดยการกัดฟิล์มและเติมอนุภาคนาโนเพื่อเพิ่ม Porosity

2. ศึกษาวิธีปลูกฟิล์มด้วยวิธีอื่น

เอกสารอ้างอิง

E.Centinorgu et al. 2007. The effect of substrate temperature on filtered vacuum arc deposited zinc oxide and tin oxide thin films. **Journal of Crystal Growth**. 2007(299): 259-267.

http://www.hpcc.nectec.or.th/wiki/index.php?title=Defect_band_structure_of_SnO2&printable=yes

http://en.wikipedia.org/wiki/Acetic_acid

http://en.wikipedia.org/wiki/Isopropyl_alcohol

http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_peroxide

http://en.wikipedia.org/wiki/Sulfuric_acid

http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm

http://www.thaiscience.com/lab_vol/p25/Homogenizer.asp

http://www.thaiscience.com/lab_vol/P22/microscope.asp

<http://student.nu.ac.th/electronic>

http://www.thaiscience.com/lab_vol/p38/uv_vis.asp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้