



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟ

Synthesis of Zinc Oxide by Microwave Technique

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555

จำนวน 267,800 บาท

หัวหน้าโครงการ

นางสาวศุภรัตน์ นาคสิทธิพันธุ์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

28 / สิงหาคม / 2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์ฟิล์มซิงค์ออกไซด์โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟ (Synthesis of Zinc Oxide by Microwave technique) ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณสำหรับทำวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัด เชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2555 ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้สำเร็จ สมบูรณ์

ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	23
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	29
สรุปผลการวิจัย	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงการสังเคราะห์ฟิล์มโดยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงานและเวลาต่างๆ	26
ตารางที่ 2 ตารางแสดงสถานะการสังเคราะห์ฟิล์มโดยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน และเวลาต่างๆ ด้วยวิธีทางเคมี	28

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 โครงสร้างแบบเวทริกซ์ของซิงก์ออกไซด์	8
ภาพที่ 2 แสดงช่องว่างแถบพลังงานของสารที่เป็นไดอิเล็กทริก กึ่งตัวนำและโลหะ	9
ภาพที่ 3 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	10
ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM	11
ภาพที่ 5 แสดงอันตรกิริยาที่สำคัญที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่จะนำมาใช้ในการแปร สัญญาณในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	11
ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของรังสีเอกซ์	13
ภาพที่ 7 หลักการทำงานของเครื่องเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	14
ภาพที่ 8 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	15
ภาพที่ 9 กลิ่นแม่เหล็กไฟฟ้า	17
ภาพที่ 10 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ single beam	19
ภาพที่ 11 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ double beam	20
ภาพที่ 12 แสดงแผนผังการเตรียมฟิล์มซิงก์ออกไซด์ด้วยวิธีทางกายภาพจาก คลื่นไมโครเวฟโดยตรง	25
ภาพที่ 13 การเตรียมฟิล์มของซิงก์ออกไซด์โดยวิธีทางเคมี และคลื่นไมโครเวฟ	27
ภาพที่ 14 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางกายภาพและ ใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 15	การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางกายภาพและ ใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	30
ภาพที่ 16	การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางกายภาพและ ใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	31
ภาพที่ 17	สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	32
ภาพที่ 18	สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	33
ภาพที่ 19	สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	34
ภาพที่ 20	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	36
ภาพที่ 21	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที	37
ภาพที่ 22	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 23	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	39
ภาพที่ 24	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที	40
ภาพที่ 25	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที	41
ภาพที่ 26	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	42
ภาพที่ 27	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที	43
ภาพที่ 28	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที	44
ภาพที่ 29	การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีและใช้คลื่น ไมโครเวฟที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	45
ภาพที่ 30	การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีและใช้คลื่น ไมโครเวฟที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	46
ภาพที่ 31	การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมี และใช้คลื่น ไมโครเวฟที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 32	สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมี และอาศัยที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	48
ภาพที่ 33	สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมี และอาศัยที่พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	49
ภาพที่ 34	สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมี และอาศัยที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	50
ภาพที่ 35	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที ตามลำดับ	52
ภาพที่ 36	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียม ด้วยวิธีทางเคมี ที่พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที ตามลำดับ	53
ภาพที่ 37	ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียม ด้วยวิธีทางเคมีที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที ตามลำดับ	54
ภาพที่ 38	ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที	55
ภาพที่ 39	ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี ที่พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที	56
ภาพที่ 40	ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี ที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 41	สเปกตรัมการส่องผ่านของแสงของฟิล์มที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	58
ภาพที่ 42	สเปกตรัมการส่องผ่านของแสงของฟิล์มที่พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	59
ภาพที่ 43	สเปกตรัมการส่องผ่านของแสงของฟิล์มที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ	60

การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟ

Synthesis of Zinc Oxide by Microwave Technique

สุภรัตน์ นาคสิทธิพันธุ์

Suparut Narksitipan

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมฟิล์มของซิงค์ออกไซด์ทั้งวิธีทางกายภาพและเคมีโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟ วิเคราะห์เฟสและโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้นั้นมีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล จากการตรวจวัดการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ (EDS) พบธาตุที่ประกอบอยู่บนฟิล์มบาง ได้แก่ ซิงค์และออกซิเจน นอกจากนี้ศึกษาสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งฟิล์มที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่เกิดขึ้นมีลักษณะแบบเข็มขนาดเล็ก ที่เติบโตออกจากแผ่นรองรับ ส่วนฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมี พบว่าฟิล์มมีลักษณะเรียบ ศึกษาสมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) พบว่าฟิล์มมีการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นแสงระหว่าง 370 – 375 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงในช่วงของอัลตราไวโอเลต ค่าการส่องผ่านสูงสุดของฟิล์มเท่ากับร้อยละ 75 และค่าแถบพลังงานต้องห้าม มีค่าประมาณ 3.31 – 3.35 อิเล็กตรอนโวลต์

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์, คลื่นไมโครเวฟ, สมบัติทางแสง

Abstract

In this research, zinc oxide (ZnO) films were prepared by physical and chemical method via microwave technique. X-ray diffraction (XRD), energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS) were used to study the phase, crystalline structure, chemical compositions and optical properties of films, respectively. Transmittance in UV-visible was also measured. Surface films morphologies were investigated by scanning electron microscopy (SEM). As a result, ZnO phase with hexagonal structure was detected. The EDS spectra show that element of Zn (Zinc) and O (Oxygen). The average transmittance value for all films was 75% at wavelength of 370-375 nm, a comparison among the films obtained at different times showed a transmittance value slightly higher for films obtained at highest times. Calculated of energy band gap of the ZnO films were estimated to be in the range from 3.31 to 3.35 eV. ZnO films prepared by physical method showed the needle shape on the surface and they grew from substrate. Additional, ZnO films prepared by chemical method showed smooth surface.

Keywords: zinc oxide, microwave, optical properties

คำนำ

ในงานวิจัยนี้เราได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นหนึ่งในวัสดุหลายชนิดที่ได้รับการศึกษาและการวิจัยเป็นอย่างมากในยุคปัจจุบันนี้ทั้งที่อยู่ในรูปของฟิล์มบางและผงที่มีความละเอียดหรือผงที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีสมบัติที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวหลายอย่างนั่นเอง ซิงค์ออกไซด์จัดเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างของแถบพลังงาน (Energy band gap) ค่อนข้างกว้าง อยู่ที่ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ ณ อุณหภูมิห้อง [1] ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล และมีความโปร่งแสงสูง จึงมีการนำซิงค์ออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ แผงโซลาร์เซลล์ ก๊าซเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ทางแสง เนื่องจากมีสมบัติที่ดีในด้านการดูดซับแสง และสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาดำรงแสง[2] และนำไปประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น

ปัจจุบันการสังเคราะห์ฟิล์มบางสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ วิธีแรก คือ การระเหยกลายเป็นไอด้วยวิธีทางเคมี (Chemical vapor deposition; CVD) หลักการโดยอาศัยการแตกตัวของสารตั้งต้นให้อยู่ในสภาพของไอระเหยหรือก๊าซและเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นสารใหม่เคลือบบนผิววัสดุ เช่น กระบวนการโซลเจล (Sol-gel) กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) และกระบวนการผสมสารละลาย และ วิธีที่สอง คือ การระเหยกลายเป็นไอด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical vapor deposition; PVD) มีหลักการโดยอาศัยทำให้สารตั้งต้นกลายเป็นไอระเหยในสถานะก๊าซหรือเป็นอะตอม จากอาศัยแหล่งกระตุ้นจากภายนอก เช่น ความร้อน กระแสไฟฟ้า ลำของไอออนเพื่อให้มีถ่ายเทโมเมนตัมแล้วพุ่งกระจายเข้าจับและยึดติดกับผิววัสดุรองรับ เช่น เทคนิคสปีตเตอริง (Sputtering) การเคลือบด้วยไอจากการอาร์ก และการทำให้เป็นไอด้วยความร้อนด้วยวิธีการแผ่กระจายรังสีไมโครเวฟ [3]

โครงการวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยอาศัยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟเพื่อการกระตุ้นให้เกิดสารประกอบซิงค์ออกไซด์ การสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟ มีข้อดีหลายประการ เช่น ให้ความร้อนอย่างรวดเร็วใช้เวลาค่อนข้างสั้นในการสังเคราะห์ เป็นวิธีที่ง่าย ใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ และทำให้ได้สารประกอบที่มีความบริสุทธิ์สูง

ดังนั้นขอบเขตของงานโครงการวิจัยนี้ คือ การสร้างเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์จากการประยุกต์ใช้เครื่องไมโครเวฟ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของฟิล์มโลหะออกไซด์สูงสุดโดยวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางพื้นผิวของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) เฟสและ

โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction; XRD) และศึกษาสมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer เป็นต้น



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์ฟังก์ชันออกไซด์โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟ ดังนี้

1. เพื่อประยุกต์ใช้เครื่องไมโครเวฟในการสังเคราะห์ฟิล์มฟังก์ชันออกไซด์
2. เพื่อศึกษาเทคนิคการสังเคราะห์ฟิล์มบางด้วยเทคนิคคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นเทคนิคที่สร้างขึ้นได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนและต้นทุนในการสร้างเครื่องต่ำ
3. เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ฟิล์มโลหะออกไซด์
4. เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยา องค์ประกอบของโครงสร้างผลึกและเฟส และสมบัติทางแสงของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยเรื่องการสังเคราะห์เชิงค็อกไซด์โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟนี้ ดังนี้

1. ก่อให้เกิดการองค์ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการสังเคราะห์เชิงค็อกไซด์ที่ ซึ่งจะมีตัวแปรอื่นๆ เกี่ยวกับมากมาย ดังนั้นจึงต้องให้ความรู้และความเข้าใจอย่างมากในการสังเคราะห์ฟิล์มเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
2. ก่อให้เกิดการพัฒนาเทคนิคและการประยุกต์ใช้เครื่องไมโครเวฟในการสังเคราะห์ฟิล์มขึ้นได้
3. ก่อให้เกิดการพัฒนาศักยภาพและบูรณาการสำหรับการเรียนการสอนได้ เช่น รายวิชา วท 498 การเรียนรู้อิสระ
4. เผยแพร่ผลงานวิจัยจากโครงการวิจัยนี้ในการประชุมทางวิชาการทั้งในระดับชาติและนานาชาติได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังคาดหวังว่าจะตีพิมพ์ผลงานวิจัยนี้ในวารสารทางวิชาการระดับชาติและนานาชาติได้

การตรวจเอกสาร

ส่วนนี้กล่าวถึง หลักการของคลื่นไมโครเวฟ โครงสร้างผลึกของซิงก์ออกไซด์ และ หลักการของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่าง อาทิเช่น ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เฟสและโครงสร้างผลึกของฟิล์มด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และศึกษาสมบัติทางด้านแสงด้วยเครื่องศึกษาสมบัติทางแสง (UV-VIS spectrophotometer; UV-VIS)

1. คลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาที มีลักษณะ คล้ายกับคลื่นวิทยุแต่มีความถี่ที่สูงกว่า หัวใจสำคัญของเตาไมโครเวฟ คือ ตัวแม่กนิตรอน (Magnetron) ที่จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เพราะคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นความถี่สูงมีไอออน จึงไม่กระจายและสะสมในร่างกายมนุษย์

การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟมีหลักการที่แตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีธรรมดาทั่วไป คือ ความร้อนที่วัสดุที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟนั้นจะเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเท มาจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอก เช่น ลวดความร้อนจากแท่งความร้อน หรือจาก ลำแสงเลเซอร์ ความร้อนที่เกิดขึ้น โดยคลื่นไมโครเวฟนี้จะเรียกว่า เป็นความร้อนภายในที่เกิดขึ้นทั่วทั้งชิ้นวัสดุ

ลักษณะเฉพาะของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ คือ การทะลุผ่านของคลื่น จะทำให้ อุณหภูมิภายในสูงกว่าที่พื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยให้เกิดความร้อนภายในชิ้นงานอย่างรวดเร็วและ ไม่ทำให้ อุณหภูมิที่ผิวสูงเกินไป และการควบคุมการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าได้ ช่วยในงานที่ต้องการความร้อนเฉพาะที่

คลื่นไมโครเวฟ มีลักษณะเด่น 3 ประการ

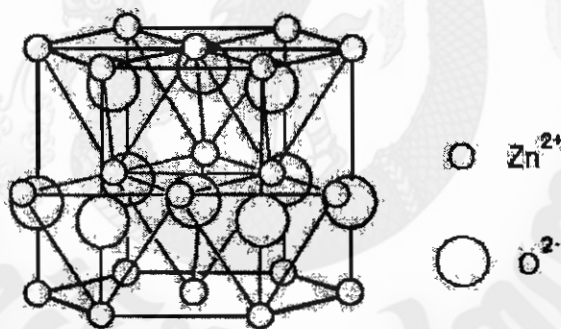
1. การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ จะสะท้อนกลับหมด

2. การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ ไม้ เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะ ที่ใช้ได้ดีในเตาไมโครเวฟ

3. การดูดซึม (Absorption) ปกติอาหารโดยทั่วไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหาร ซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟ ทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็ว และอีกนัยหนึ่งเมื่อ โมเลกุลของน้ำดูดซึมคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันที ไม่เกิดการสะสม [4]

2. ซิงก์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO)

ซิงก์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO) เป็นสารกึ่งตัวนำ มีช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) โครงสร้างผลึกของ ซิงก์ออกไซด์เป็นแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) ภายในโครงสร้างมีออกซิเจนไอออน (Oxygen ions : O^{2-}) แทรกอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางระหว่าง ซิงค์ไอออน (Zinc ions : Zn^{2+}) ซึ่งทำพันธะกันแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) เรียกว่าเวิร์ตไซต์ (Wurtzite structure) ดังภาพที่ 1 ซิงก์ออกไซด์มีค่าคงที่ผลึก (Lattice constants) $a = 3.24$ อังสตรอม และ $c = 5.19$ อังสตรอม



ภาพที่ 1 โครงสร้างแบบเวิร์ตไซต์ของซิงก์ออกไซด์

เนื่องจากซิงก์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO) มีช่องว่างแถบพลังงานที่กว้างจึงสามารถประยุกต์ใช้ในอุณหภูมิที่สูงๆดีกว่าสารกึ่งตัวนำ ที่ไม่ใช่แถบพลังงานกว้าง (Wide band gap) ค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมีความสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่น (λ) ตามสมการดังนี้

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{หรือ} \quad E_g (\text{in eV}) = \frac{1240}{\lambda (\text{in nm})} \quad (1)$$

เมื่อ E_g = พลังงานของช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap energy)

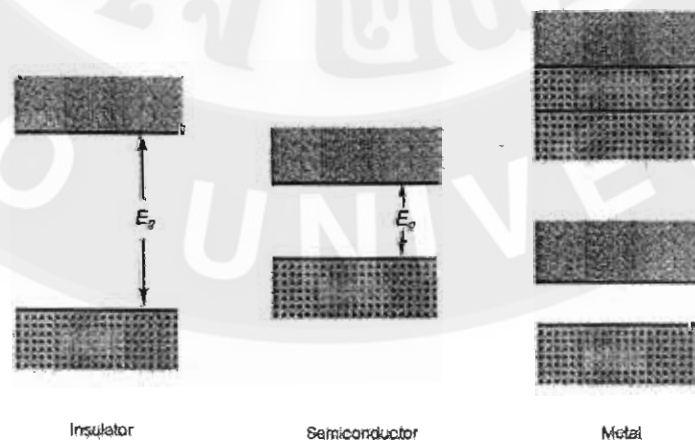
C = ความเร็วของแสง (Velocity of light) มีค่าเท่ากับ 2.998×10^8 เมตรต่อวินาที (m/s)

h = ค่าคงที่ของแพงค์ (Planck constant) มีค่าเท่ากับ 6.6×10^{-34} จูลวินาที (J.S)

λ = ค่าความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมา (Emitted wavelength) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

3. สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

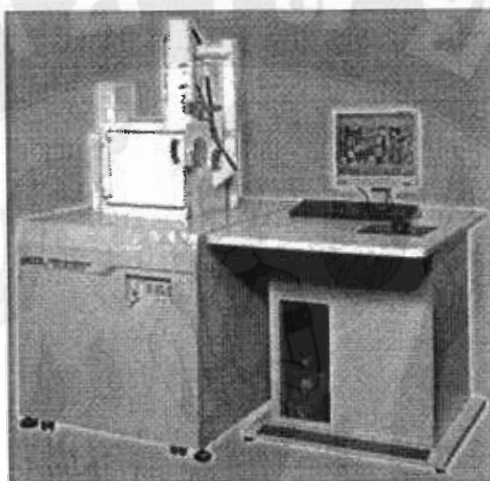
สารกึ่งตัวนำเป็นวัสดุที่มีสภาพนำไฟฟ้าสูงกว่าไดอิเล็กทริก แต่ต่ำกว่าตัวนำ ลักษณะแถบพลังงาน (Energy band) โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) มีช่องว่างพลังงาน (Energy gap; E_g) ซึ่งมีความกว้างไม่เกิน 4 eV กันระหว่างแถบทั้งสองนี้ แสดงดังภาพที่ 2 หน่วยของพลังงานคือ อิเล็กตรอนโวลต์ (Electron volt; eV) ซึ่ง หมายถึง พลังงานที่ใช้งานในการทำให้อิเล็กตรอนหนึ่งตัววิ่งผ่านสนามศักย์ไฟฟ้า 1 โวลต์ เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงานมากพอก็จะสามารถข้ามช่องว่างพลังงานไปยังแถบการนำและทำให้เกิดการนำกระแสได้



ภาพที่ 2 แสดงช่องว่างแถบพลังงานของสารที่เป็นไดอิเล็กทริก กึ่งตัวนำและโลหะ [6]

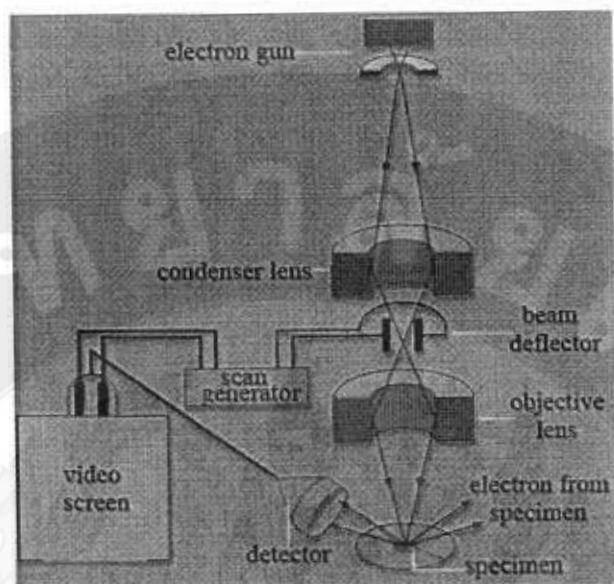
4. การศึกษาลักษณะเฉพาะ

4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)



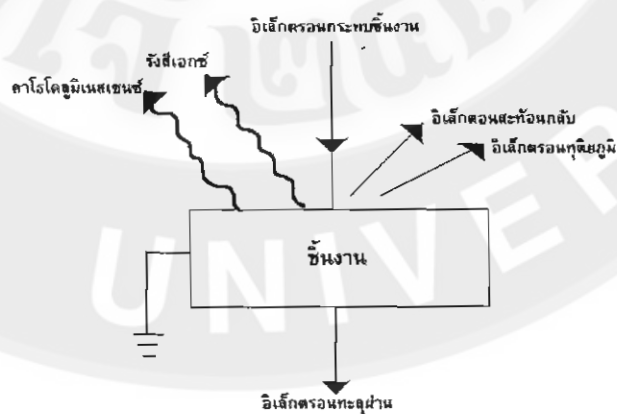
ภาพที่ 3 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นเครื่องมือการศึกษาที่ผิวหรือบริเวณส่วนเล็กใกล้ผิว โดยจะมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ปืนอิเล็กตรอนซึ่งจะมีการเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานประมาณ 20 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ถึง 40 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากนั้นจะมีเลนส์คอนเดนเซอร์ เลนส์ใกล้วัตถุ และที่สำคัญมีส่วนที่เรียกว่า ขดลวดแสกน (Scanning coil) ซึ่งคอยส่องกราดลำอิเล็กตรอนลงบนชิ้นงาน และเมื่ออิเล็กตรอนตกกระทบพื้นผิวของชิ้นงาน จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ อิเล็กตรอนสะท้อนกลับหรือรังสีอื่นๆ ที่ปลดปล่อยออกมาจากผิว ซึ่งจะถูกรวบรวมด้วยหัววัดแบบต่างๆ โดยจะทำการวัดแต่ละจุดที่มีการสแกน ซึ่งหลักการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะมีบางส่วนที่มีลักษณะการทำงานคล้ายการสแกนภาพในโทรทัศน์ สำหรับกำลังขยายภาพนั้นจะพิจารณาจากกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเส้นตรงที่เรียกว่าเรสเตอร์ (Raster) จะพบว่าเรสเตอร์ที่ถูกสแกนด้วยอิเล็กตรอนจะเล็กกว่าเรสเตอร์ที่ปรากฏบนจอภาพ



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM

ในการสร้างภาพในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะใช้การตรวจจับอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากผิว ซึ่งก็ได้จากการทำอันตรกิริยาของลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิต่อชิ้นงานดังปรากฏในภาพที่ 5 ซึ่งแสดงแผนภาพของสิ่งที่เกิดขึ้น หรือลำอิเล็กตรอนตกกระทบชิ้นงาน โดยแปรเป็นสัญญาณต่างๆ ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพที่ 5 แสดงอันตรกิริยาที่สำคัญที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่จะนำมาใช้ในการแปรสัญญาณในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

สำหรับการสร้างภาพส่วนใหญ่แล้ว ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะใช้สัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ และอิเล็กตรอนสะท้อนกลับ นอกจากนั้นแล้วสัญญาณของรังสีเอกซ์ที่ถูกปลดปล่อยสามารถนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้ [6]

4.2 การวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ (Energy dispersive x – ray spectrometer)

ในระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์สำหรับเครื่อง SEM นี้ใช้ระบบวิเคราะห์แบบ EDS ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ได้และใช้เวลาเพียงไม่นาน ไม่กี่นาที โดยในแบบ EDS มีหลักการวิเคราะห์คือ เมื่อลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงเคลื่อนที่เข้าชนอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอมเช่น ชั้น K หรือ L แล้วเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้แก่อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นที่ได้รับพลังงานดังกล่าวมีพลังงานสูงขึ้นเกิน พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) ของชั้นโคจรจึงหลุดออกจากวงโคจรและทำให้เกิดที่ว่างของอิเล็กตรอนในชั้นโคจร จากนั้นอะตอมที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นลดระดับพลังงานลงสู่สภาวะปกติในช่วงเวลาอันสั้น โดยอิเล็กตรอนของวงโคจรชั้นถัดออกไปจะลดระดับพลังงานลงมาให้เท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวของวงโคจรที่เกิดที่ว่างของอิเล็กตรอน ด้วยการปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของรังสีเอกซ์ แล้วอิเล็กตรอนจะเข้ามาแทนที่พลังงานส่วนเกินนี้ มีพลังงานเท่ากับความต่างของระดับพลังงานยึดเหนี่ยวเฉพาะชั้นโคจรของอิเล็กตรอน และเฉพาะของธาตุนั้นๆ จึงมีค่าพลังงานเฉพาะค่า เราเรียกรังสีเอกซ์ชนิดนี้ว่า “ รังสีเอกซ์เฉพาะตัว ” [7]

4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction; XRD)

รังสีเอกซ์ (X-ray) [6] จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง มีความยาวคลื่นสั้นจัดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-100 อังสตรอม หรือ 0.01 ถึง 10 นาโนเมตร ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1895 โดยเรินต์เกน (W.C. Rontgen) ต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและการเกิดอันตรกิริยาของรังสีต่อสาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์อย่างมาก การเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสารนั้นก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น การเปล่งแสง (Emission) การดูดกลืน (Absorbance) การกระเจิง (Scattering) หรือการเลี้ยวเบน (Diffraction) เป็นต้น ปรากฏการณ์เหล่านี้ล้วนเป็นลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิดซึ่งหลักการดังกล่าว สามารถนำมาใช้วิเคราะห์สารได้ดังนี้

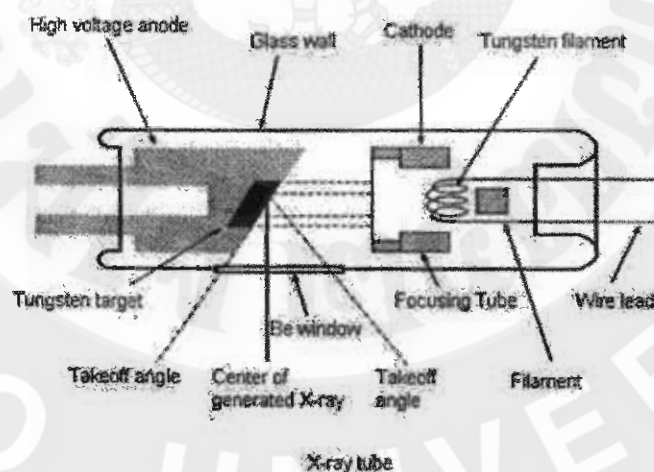
1. ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในสารทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ

2. ใช้ศึกษาหาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic structure) ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดพันธะเคมี (Chemical bonding)

3. ใช้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก (Crystal structure) หรือโมเลกุลของสาร ด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

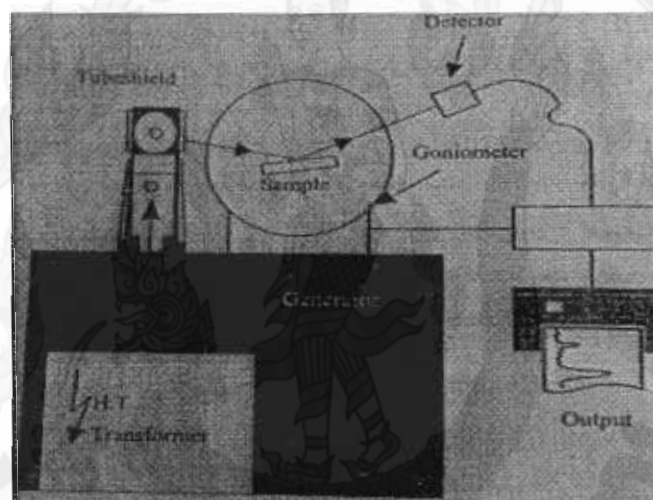
แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการสลายตัวของนิวไคลด์ธาตุกัมมันตรังสี และมนุษย์ผลิตขึ้นจากกลไกอิเล็กทรอนิกส์ กล่าวคือ เมื่ออะตอมได้รับการกระตุ้น (Excite) ด้วยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงวิ่งชนอะตอมทำให้เกิดอันตรกิริยา ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนชั้นวงโคจรต่าง ๆ ของอะตอมมีค่าสูงขึ้นเกิดภาวะไม่เสถียร (Unstable) ดังนั้นอิเล็กตรอนชั้นวงโคจรดังกล่าวจำเป็นต้องลดระดับพลังงานเข้าสู่ภาวะปกติ โดยมวลของอะตอมไม่เปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นพลังงานปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปแม่เหล็กไฟฟ้าโฟตอนออกมาในลักษณะพัลส์ (Pulse) จากอะตอมทุกครั้งที่ได้รับการกระตุ้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปลดปล่อยออกมานี้เรียกว่า “รังสีเอกซ์”



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของรังสีเอกซ์

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) เป็นการวิเคราะห์วัสดุพื้นฐานชนิดการวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย (Non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างของผลึก (Crystal Structure) การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในสารประกอบต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ปริมาณ (Quantitative) โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์และความรู้เกี่ยวกับวิธระบบโครงสร้างผลึก (Crystallography) เครื่องมือชนิดนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิต สำหรับการตรวจสอบสมบัติวัสดุดิบ และผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ



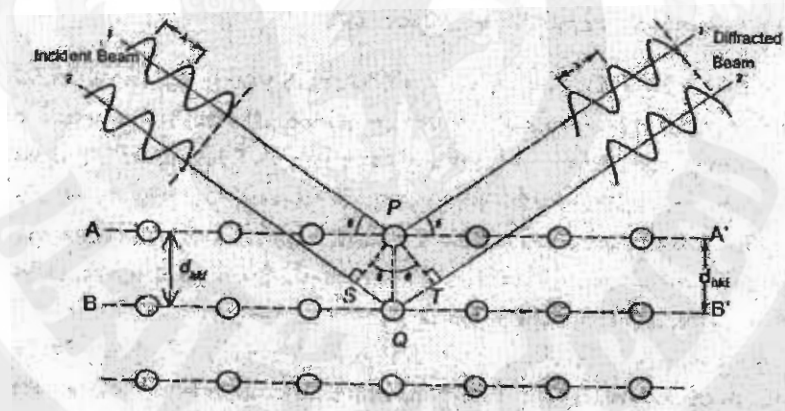
ภาพที่ 7 หลักการทำงานของเครื่องเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

จากภาพที่ 7 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยเริ่มจากหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง (High-tension transformer) ทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขั้วแคโทดทำให้เส้นลวดฟิลาเมนต์ร้อนขึ้น และก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวด ดังนั้น ค่าความต่างศักย์ ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนเป้า (Target) ที่ขั้วแอโนด มีการปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาผ่านหน้าต่างที่ทำด้วยเบอริลเลียม (Be window) หลอดรังสีเอกซ์ มีหลายชนิด เรียกชื่อตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำแอโนด เช่น Mo W Cr Cu Co Ag และ Fe ซึ่งจะทำให้รังสีเอกซ์มีค่าความยาวคลื่นต่างๆ กัน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ แต่โดยทั่วไปมักนิยมใช้ Cu ซึ่งให้ค่าความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 1.542 อังสตรอม จะมีทั้ง K_{α} และ K_{β} สำหรับการวิเคราะห์นี้มีความจำเป็นต้องใช้รังสีเอกซ์ความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic x-ray) ดังนั้นจึงต้องใช้แผ่นกรองเบต้าเพื่อกำจัด K_{β} เพื่อให้เหลือเพียง K_{α} อย่าง

เดียว การเลือกแผ่นกรองเบต้าควรเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของหลอดรังสีเอกซ์ โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับมวล (Mass absorption coefficient) จากนั้นรังสีเอกซ์ K_{α} จะถูกบีบให้เป็นลำแคบลงโดยไดเวอร์เจนสลิต ลำรังสีเอกซ์ที่ผ่านไดเวอร์เจนสลิตจะตกกระทบลงบนตัวอย่างซึ่งติดไว้กับแกนของโกนิโอมิเตอร์ (Goniometer) รังสีที่สะท้อนกลับจากสารตัวอย่างจะผ่านไปยังรีซีฟิงสลิตและเข้าไปยังหน่วยระบบสัญญาณเพื่อแปลงสัญญาณออกมาในรูปดิฟแฟรคโตแกรม (Diffractogram) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม 2θ และค่าความเข้มของรังสี

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เมื่อลำรังสีเอกซ์ตกกระทบผิวหน้าของผลึกโดยทำมุม θ บางส่วนของรังสีเอกซ์จะเกิดการกระเจิงด้วยชั้นของอะตอมที่ผิวหน้า อีกส่วนหนึ่งของลำรังสีเอกซ์จะผ่านไปยังชั้นที่ 2 ของอะตอม ซึ่งบางส่วนจะเกิดการกระเจิง และส่วนที่เหลือจะผ่านเข้าไปยังชั้นที่ 3 ของอะตอมแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ถ้าอะตอมผลึกจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและมีระยะห่างระหว่างอะตอมเท่า ๆ กัน ลำรังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปในแต่ละชั้นของอะตอมจะเกิดการเลี้ยวเบนเป็นลำขนานกัน การเลี้ยวเบนนี้ก็มีลักษณะคล้ายกับการเลี้ยวเบนแบบเกรตติงแบบสะท้อน (Reflection grating) ซึ่งสำคัญในการเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับภาวะสองประการ คือ

1. รังสีที่ตกกระทบ รังสีเลี้ยวเบน และเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. ระยะห่างระหว่างชั้นของอะตอมควรมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

จากรูปที่ 8 จะพบว่ารังสีขนานตกลงบนผลึกที่จุด P และ Q ตามลำดับ โดยทำมุมกับระนาบของผลึก การเลี้ยวเบนของรังสีจะเกิดขึ้นเมื่อระยะทางที่รังสีเอกซ์ 1 และ 2 เดินทางต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น จะได้ว่า

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

โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots$,

λ = ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ (นาโนเมตร)

d = ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก (นาโนเมตร)

θ = มุมตกกระทบของรังสีเอกซ์กับระนาบผลึก (องศา)

4.4 เทคนิค UV-VIS Spectrophotometer

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สมบัติทางแสงจากการวัดร้อยละของการส่องผ่าน (% Transmission) ของแสงบนฟิล์มซึ่งก่อออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้น

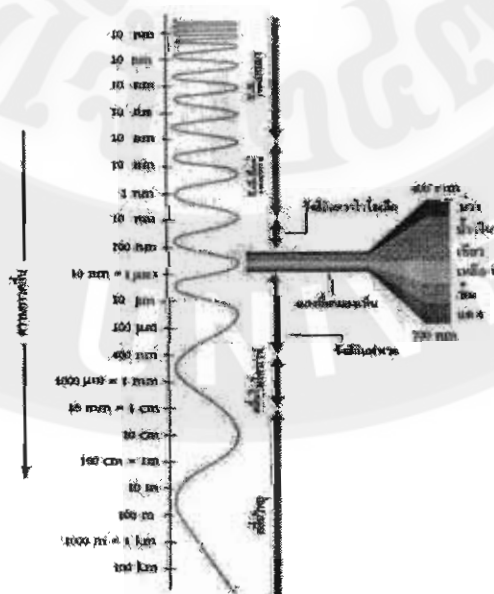
ธรรมชาติของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) แสงมีความเร็วในสุญญากาศเท่ากับ ผลคูณของความยาวคลื่น และความถี่ แต่ความเร็วในการเดินทางจะเปลี่ยนไปเมื่อเดินทางผ่าน ตัวกลางอื่นๆ โดยมีความเร็วในการเดินทางเท่ากับ 2.9979×10^{16} เซนติเมตร/วินาที/ n (n = ครรชนีหักเหของตัวกลาง; Refractive index) แสงต่างชนิดกันจะมีความยาวคลื่นต่างกันและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน ความเข้มของแสงนิยมนวัดในหน่วยกำลังเทียน (Candle power) หรือ ลูเมน (Lumen) ปริมาณแสงแปรผันโดยตรงกับความเข้ม (Intensity) ของแสง ดังนั้นการวัดความเข้มของแสงจึงเป็นการวัดปริมาณแสงทางอ้อม ความยาวคลื่นแสงนิยมนแทนด้วยอักษรกรีกคือ (แลมบ์ดา; Lambda) แสงแต่ละช่วงความยาวคลื่นถูกกำหนดให้มีชื่อเรียกต่างกันตามข้อกำหนดของ The Joint Committee on Nomenclature in Applied Spectroscopy ดังนี้

- แสงที่มองเห็น (Visible light) เป็นแสงสีขาวที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีต่างๆ มีสีหลักอยู่ 7 สี คือ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด และสีแดง มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 - 700 นาโนเมตร เมื่อแสงสีขาวตกกระทบวัตถุแล้วทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีใดแสดงว่าวัตถุดูดกลืนแสงสีอื่นหมดแต่สะท้อนแสงสีที่ตามองเห็นออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นๆ ดูดกลืนแสงทุกสีไว้ได้หมดจะมองเห็นวัตถุเป็นสีดำ

- แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet light) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 210 - 380 นาโนเมตร เป็นแสงที่มีคุณสมบัติในการทำให้อิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมเกิดการสั่นผ่าน (Electronic transmission) เมื่อร่างกายถูกแสงนี้เป็นเวลานานอาจเกิดอันตราย ตัวอย่างเช่น ผิวหนังไหม้เกรียม เชื้อแบคทีเรียถูกทำลาย และอาจทำให้เกิดเป็นมะเร็งของผิวหนังได้ เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเลตทำให้ไธมีนเบส (Thymine base) ในนิวคลีอิกของเซลล์รวมตัวกัน

- แสงอินฟราเรด (Infrared light) เป็นแสงที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า สามารถทำให้โมเลกุลของวัตถุต่างๆ เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงจนเกิดความร้อนขึ้นมาก เนื่องจากวัตถุส่วนใหญ่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นในช่วง 3,000 - 100,000 นาโนเมตร ได้ดี ดังนั้นจึงนิยมใช้รังสีอินฟราเรดในการทำให้อวัยวะต่างๆ แห้ง เพราะมีประสิทธิภาพในการทำให้แห้งสูงกว่าการใช้ความร้อนแบบธรรมดา [7]



ภาพที่ 9 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ปฏิกิริยาระหว่างแสงและของแข็ง เมื่อแสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศไปในเนื้อของแข็ง จะมีหลายปรากฏการณ์เกิดขึ้น แสงบางส่วนอาจส่องผ่านเนื้อของแข็งนั้นไป ในขณะที่บางส่วนถูกดูดซับเอาไว้ และบางส่วนถูกสะท้อนที่พื้นที่ผิวระหว่างตัวกลางทั้งสอง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ (I_0) จะต้องเท่ากับผลบวกของความเข้มของแสงที่ส่องผ่าน (I_T) ถูกดูดซับ (I_A) และสะท้อนออก (I_R) ดังสมการ

$$I_0 = I_T + I_A + I_R \quad (3)$$

เมื่อ I_0 = ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

I_T = ความเข้มของแสงที่ส่องผ่าน

I_A = แสงที่ถูกดูดซับ

I_R = แสงที่สะท้อนออก

ความเข้มของแสงมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร หมายถึง ค่าพลังงานแสงต่อหนึ่งหน่วยเวลาในหนึ่งหน่วยพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนตัว สมการข้างต้นอาจเขียนได้อีกแบบหนึ่งคือ

$$T + A + R = 1 \quad (4)$$

เมื่อ T = สภาวะส่องผ่าน

A = สภาวะดูดซับ

R = สภาวะสะท้อน

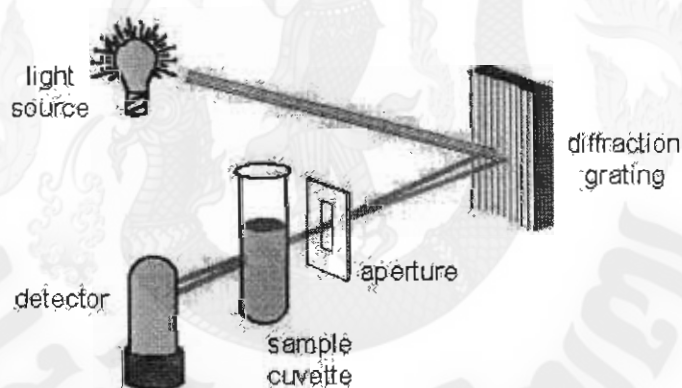
โดยที่ T คือสภาวะส่องผ่าน (Transmittivity) เท่ากับ (I_T/I_0) A คือสภาวะดูดซับ (Absorptivity) เท่ากับ (I_A/I_0) และ R คือสภาวะสะท้อน (Reflectivity) เท่ากับ (I_R/I_0) คืออัตราส่วนของแสงที่ส่องผ่าน ถูกดูดซับและสะท้อนโดยวัสดุ ผลบวกของค่าทั้งสามเท่ากับหนึ่ง

วัสดุที่ปล่อยให้แสงส่องผ่านได้เป็นปริมาณมาก มีการดูดซับและสะท้อนออกเป็นปริมาณน้อยเรียกว่าเป็นวัสดุโปร่งใส (Transparent) สามารถมองเห็นวัตถุชนิดนี้ได้ วัสดุโปร่งแสง (Translucent) เป็นวัสดุที่ให้แสงส่องผ่านได้ แต่เกิดการกระจายตัวของแสงในเนื้อวัสดุ ทำให้ไม่

(Translucent) เป็นวัสดุที่ให้แสงส่องผ่านได้ แต่เกิดการกระจายตัวของแสงในเนื้อวัสดุ ทำให้ไม่สามารถเห็นวัตถุที่อยู่ข้างหลังวัสดุประเภทนี้อย่างชัดเจน สำหรับวัสดุที่ไม่ยอมให้แสงส่องผ่านเลย คือ วัสดุทึบแสง (Opaque)

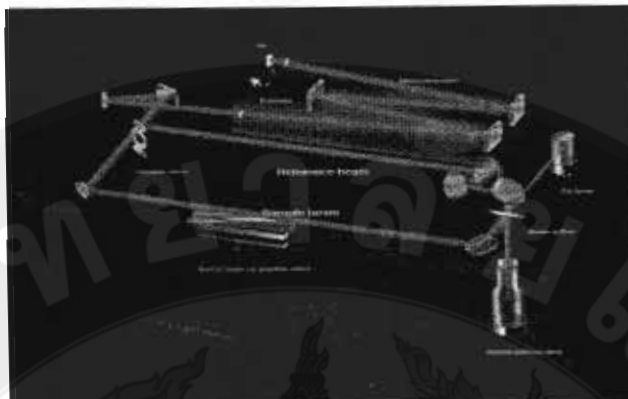
ชนิดของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

1. ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single beam type) ใช้ลำแสงลำเดียวกันสำหรับวัดสารอ้างอิง (Reference หรือ Blank) และสารตัวอย่าง (Sample) การวัดความเข้มแสงกระทำโดยปรับ 0 %T แล้วปรับ 0A หรือ 100 %T ด้วยสารอ้างอิง หลังจากนั้นวัดค่าของสารตัวอย่างในหน่วย A หรือ %T ชนิดลำแสงเดี่ยวมีข้อดีตรงที่มีองค์ประกอบน้อย และมีแสงผ่านไปยังสารตัวอย่างมากกว่าแบบอื่น ๆ แต่มีข้อเสียตรงที่มีเสถียรภาพในการอ่านค่าต่ำและค่าเปลี่ยนแปลงได้ง่าย นอกจากนี้ยังไม่สามารถกวาด (Scan) ดูการดูดกลืนของแสงต่างๆ อย่างต่อเนื่องได้



ภาพที่ 10 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ single beam

2. ชนิดลำแสงคู่ (Double beam type) วัดความเข้มของแสงโดยการสะท้อนแสงที่ผ่านออกมาจากตัวแยกแสงให้ผ่านสารอ้างอิงและสารตัวอย่างสลับกัน ทำให้ความเข้มแสงที่ผ่านตัวอย่างลดลงครึ่งหนึ่ง วงจรจะขยายสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้รับจากสารตัวอย่างกับสารอ้างอิงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีเสถียรภาพในการวัดความเข้มของแสงดีมาก แต่เครื่องวัดชนิดนี้มีองค์ประกอบซับซ้อน เนื่องจากใช้ตัวไวแสงอันเดียวจึงต้องมีวงจรเลือกวัดสัญญาณ และใช้หลอดไฟฟ้ากำเนิดแสงมีกำลังส่องสว่างสูง จึงทำให้มีราคาแพงกว่าเครื่องมือชนิดลำแสงเดี่ยว [8]



ภาพที่ 11 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ double beam

การทบทวนวรรณกรรม

Seungho C. และคณะ [9] ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่มีรูปร่างคล้ายเข็มขนาดเล็ก โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟโดยตรงลงบนแผ่นรองรับที่เป็นซิงก์ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนและอาร์กอน (ความดันรวม 1 เอทีเอ็ม) ซึ่งคลื่นไมโครเวฟที่ใช้มีพลังงานค่อนข้างต่ำ (300 วัตต์) และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เร็ว (3 นาที) โดยไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาใดๆ จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่าซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ โครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล และถูกเคลือบบนแผ่นรองรับที่เป็นซิงก์ การวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์ พบซิงก์ออกไซด์ที่มีลักษณะคล้ายเข็มมีความยาวประมาณ 500 นาโนเมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบริเวณปลายเข็มเฉลี่ยเท่ากับ 50 นาโนเมตร และบริเวณโคนมีขนาดเล็กประมาณ 100 นาโนเมตร จากผลการวิจัยนี้ช่วยให้เข้าใจกลไกการเกิดอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่มีรูปร่างคล้ายเข็มขนาดเล็กบนแผ่นรองรับที่เป็นซิงก์โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟโดยตรง

Hongbin C. และคณะ [10] ศึกษาการเกิดโครงสร้างของซิงก์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยการใช้ความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟและสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่มีรูปร่างคล้ายเข็มบนพื้นผิวแผ่นรองรับได้ โดยขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และตรวจหาเฟสองค์ประกอบของสารโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่าโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล

Seungho C. และคณะ [11] ศึกษาการสังเคราะห์และควบคุมความหนาแน่นของอนุภาคซิงก์ออกไซด์ในระดับนาโนที่มีรูปร่างคล้ายเข็มบนพื้นผิวเทฟลอน โดยผลความเข้มข้นของอลูมิเนียมคลอไรด์ มีผลต่อความหนาแน่นของซิงก์ออกไซด์ ที่ผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และตรวจหาเฟสองค์ประกอบของสารโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบชั้นของซิงก์อลูมิเนียมที่มีดัดเบิ้ลไฮดรอกไซด์ (ZnAl-LDH) เป็นสิ่งสำคัญที่เป็นตัวควบคุมความหนาแน่นของซิงก์ออกไซด์บนแผ่นเทฟลอน

Yonghong N. และคณะ [12] ศึกษาการเตรียมซิงก์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลโดยวิธีไมโครเวฟ ใช้พลังงาน 700 วัตต์ ความถี่ 2.45 จิกกะเฮิร์ต เป็นเวลา 8 นาที สารตั้งต้นที่ใช้คือ ซิงก์อะซิเตตไดไฮเดรต เอคิลลาไมด์ 2,20-azo-bis-iso-butyronitrile (AIBN) และเมทิลลีนเตตระไรด์ เป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของซิงก์ออกไซด์ บนพื้นผิวของแผ่นรองรับต่างๆ หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์พบว่าซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล

Farid S. และคณะ [13] ศึกษาหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่มีรูปร่างแบบเส้นขนาดเล็กในระดับนาโน ได้มีการเตรียมบนแผ่นซิงก์บริสุทธิ์ โดยมีการตกเคลือบของทองโดยมีการกลายเป็นไอในระบบสุญญากาศ หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่าซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างเวิร์ดไซต์แบบเฮกซะโกนอล พร้อมกับเฟสของ AuZn_3 เมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าซิงก์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นเส้น มีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตรและมีความยาวอยู่ในระดับไมโครเมตร และเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยสมบัติทางแสง พบว่าฟิล์มที่ผ่านการอบอ่อนมีผลึกสูง ส่งผลต่อการตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็น หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์การเปียกผิว พบว่าฟิล์มที่ผ่านการอบอ่อนมีมุมสัมผัสเพิ่มสูงขึ้น

Chih L. และคณะ [14] ศึกษาการสังเคราะห์ของซิงก์ออกไซด์ที่มีลักษณะแบบเส้นลวดขนาดนาโนด้วยวิธีการแตกตัวทางความร้อนโดยใช้ซิงก์อะซิเตตไดไฮเดรต 0.5 กรัมใส่ในถ้วยอลูมินา แล้วปิดฝา นำไปเข้าเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง

กราด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และตรวจหาเฟสองค์ประกอบของสารโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่า ได้ซิงก์ออกไซด์ที่มีลักษณะแบบเส้นลวดขนาดเล็ก มีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 40 นาโนเมตร

Liang L. และคณะ [15] ศึกษาผลของการอบอ่อนที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมโดยวิธีทางเคมี ด้วยซิลิคอนเวเฟอร์ชนิด พีไทด์ เป็นแผ่นรองรับ นำไปทำความสะอาดด้วยอะซิโตนและน้ำที่ปราศจากไอออนตามลำดับ นำไปเข้าเตา อบอ่อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 50 องศาต่อนาที ทำให้ซิงก์อะซิเตทที่เตรียมไว้กลายเป็นไอขึ้นไปเกาะบนแผ่นรองรับที่เป็นซิลิคอนเวเฟอร์ ที่วางขนานกัน ด้วยระยะห่าง 10 เซนติเมตร ภายใต้บรรยากาศ อาร์กอนและออกซิเจน เป็นเวลา 3 นาที และปิดทุกอย่าง และลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตรวจหาเฟสของสารโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่า ได้ซิงก์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล

อุปกรณ์และวิธีการ

ส่วนนี้กล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยมีสองวิธี โดยวิธีแรกเป็นการเตรียมฟิล์มของซิงก์ออกไซด์ด้วยวิธีทางกายภาพจากเทคนิคกลั่นไม่โครเวฟโดยตรง และวิธีที่สองเป็นวิธีการเตรียมฟิล์มซิงก์ออกไซด์บนกระจกด้วยวิธีทางเคมีและอาศัยกลั่นไม่โครเวฟร่วมด้วย ศึกษาพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของสารประกอบโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และศึกษาสมบัติทางด้านแสงด้วย UV-VIS spectrophotometer

1. การเตรียมฟิล์มซิงก์ออกไซด์ด้วยวิธีทางกายภาพจากเทคนิคกลั่นไม่โครเวฟโดยตรง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

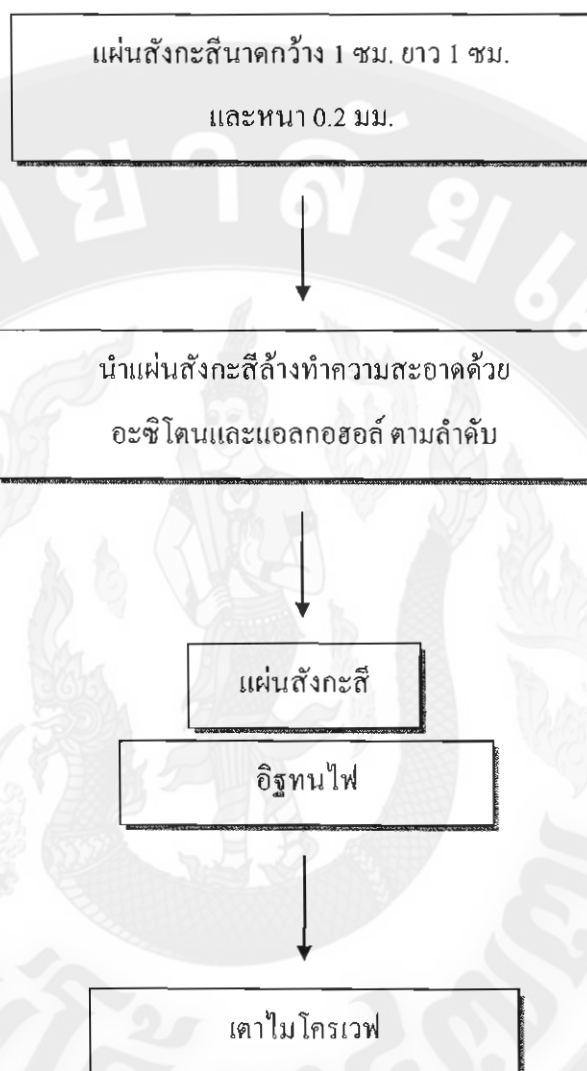
- อะซิโตน (Acetone)
- แอลกอฮอล์ (Alcohol)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- ปีกเกอร์
- กระบอกตวง
- ที่ลึบชิ้นงาน
- กรรไกรตัดโลหะ
- คัตเตอร์
- ไม้เรียว
- อิฐทนไฟ
- เตาไมโครเวฟ ยี่ห้อ Samsung รุ่น T.D.S Triple Distribution System

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตัดแผ่นซิงก์ที่มีขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร และหนา 0.2 มิลลิเมตร
2. ทำความสะอาดแผ่นซิงก์ด้วยอะซิโตนและแอลกอฮอล์ ตามลำดับ หลังจากนั้นนำไปเป่าให้แห้ง
3. นำแผ่นซิงก์จาก (ข้อ 2) ไปวางบนอิฐทนไฟ และให้ความร้อนกับแผ่นซิงก์ด้วยคลื่นไมโครเวฟยี่ห้อ Sumsung รุ่น T.D.S Triple Distribution System และใช้พลังงาน 350 วัตต์ 400 วัตต์ และ 450 วัตต์
4. หลังจากนั้นนำชิ้นงานวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตรวจสอบฟอสกัประกอบและโครงสร้างผลึกของสาร โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) หลังจากนั้นวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



ภาพที่ 12 แสดงแผนผังการเตรียมฟิล์มซิงก์ออกไซด์ด้วยวิธีทางกายภาพจากคลื่นไมโครเวฟโดยตรง

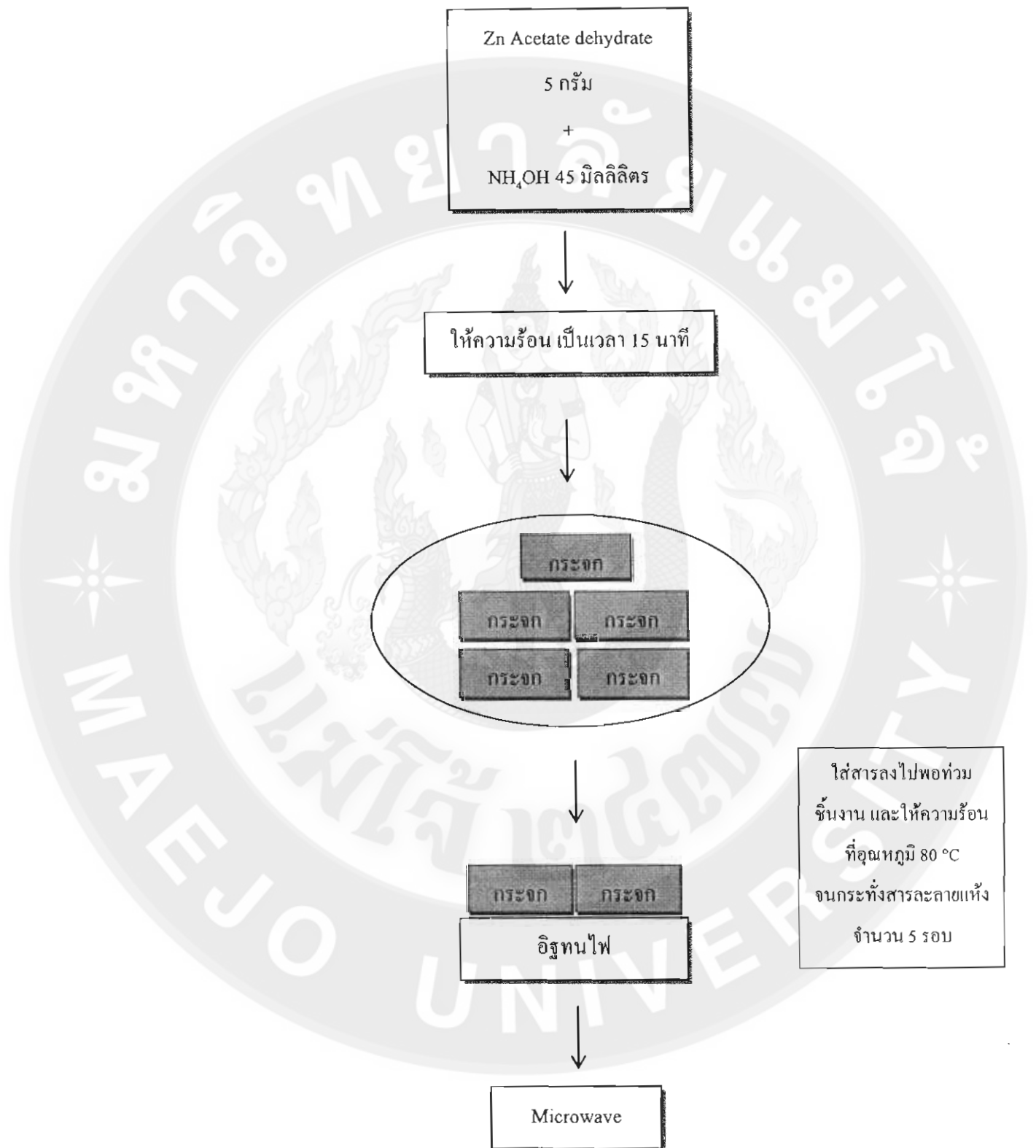
ตารางที่ 1 แสดงการสังเคราะห์ฟิล์มโดยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงานและเวลาต่างๆ

พลังงาน (วัตต์)	เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (นาที)	
350	5	10
400	5	10
450	5	10

2. การเตรียมฟิล์มซิงก์ออกไซด์โดยวิธีทางเคมีและคลื่นไมโครเวฟ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตัดแผ่นกระจกใสได้ขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร และหนา 0.2 เซนติเมตร
2. ทำความสะอาดด้วยอะซิโตนและแอลกอฮอล์ ตามลำดับ และนำไปเป่าให้แห้ง
3. เตรียมสารละลาย โดยมีสารตั้งต้นซิงก์อะซิเตรทไดไฮเดรตและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ผสมกันตามอัตราส่วน และคนสารละลายเป็นเวลา 15 นาที บันทึกค่า pH และอุณหภูมิ
4. นำสารที่ได้จากการเตรียม หยดลงบนกระจกที่เตรียมไว้พอท่วม นำไปให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนแห้ง
5. นำสารตัวอย่างที่ได้จากข้อ 4 วางบนอิฐทนไฟและให้ความร้อนจากไมโครเวฟที่พลังงาน 400 วัตต์ 500 วัตต์ และ 600 วัตต์ ตามลำดับ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที
6. วิเคราะห์พื้นฐานวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตรวจสอบเฟสองค์ประกอบ และโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และศึกษาสมบัติทางค่านแสงด้วย Ultraviolet-visible spectroscopy (UV-VIS) นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



ภาพที่ 13 การเตรียมฟิล์มของซิงก์ออกไซด์โดยวิธีทางเคมี และคลื่นไมโครเวฟ

ตารางที่ 2 ตารางแสดงสถานะการสังเคราะห์ฟิล์มโดยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงานและเวลาต่างๆ ด้วยวิธีทางเคมี

พลังงาน (วัตต์)	เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (นาท)	
400	5	10
500	5	10
600	5	10

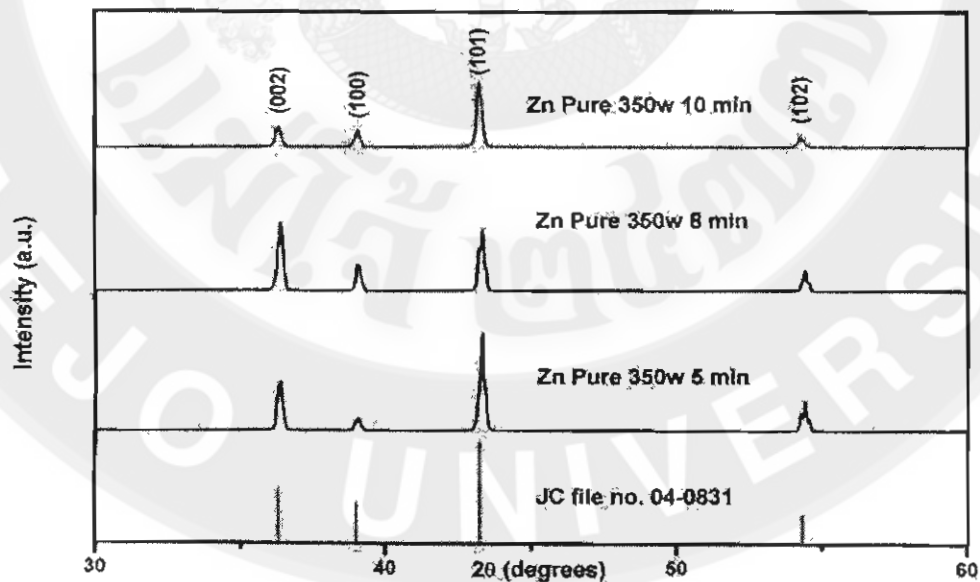
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัยสำหรับโครงการวิจัยเรื่องการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟ แสดงดังต่อไปนี้

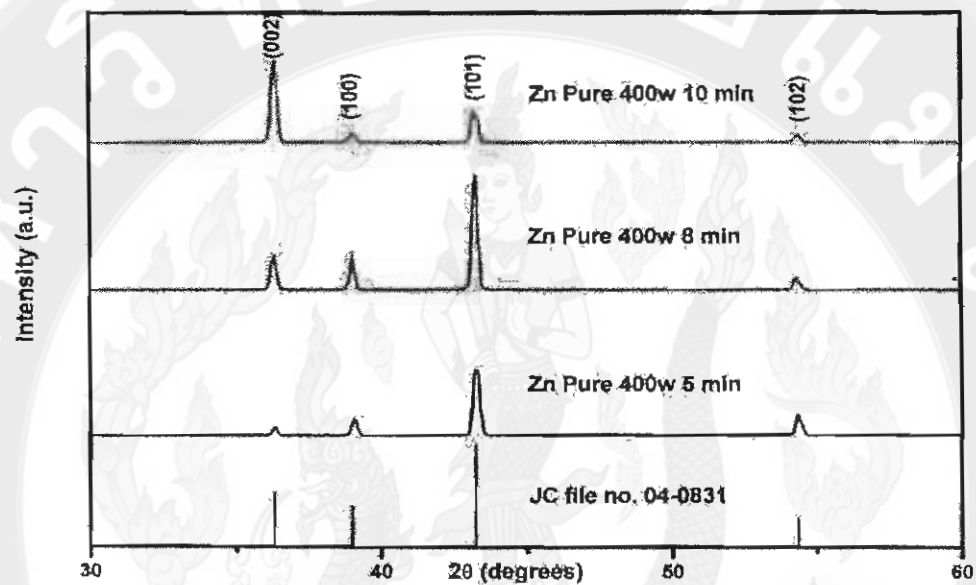
1. การเตรียมฟิล์มซิงค์ออกไซด์โดยวิธีทางกายภาพจากเทคนิคคลื่นไมโครเวฟโดยตรง

1.2 การวิเคราะห์ตรวจสอบเฟสองค์ประกอบของสารโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

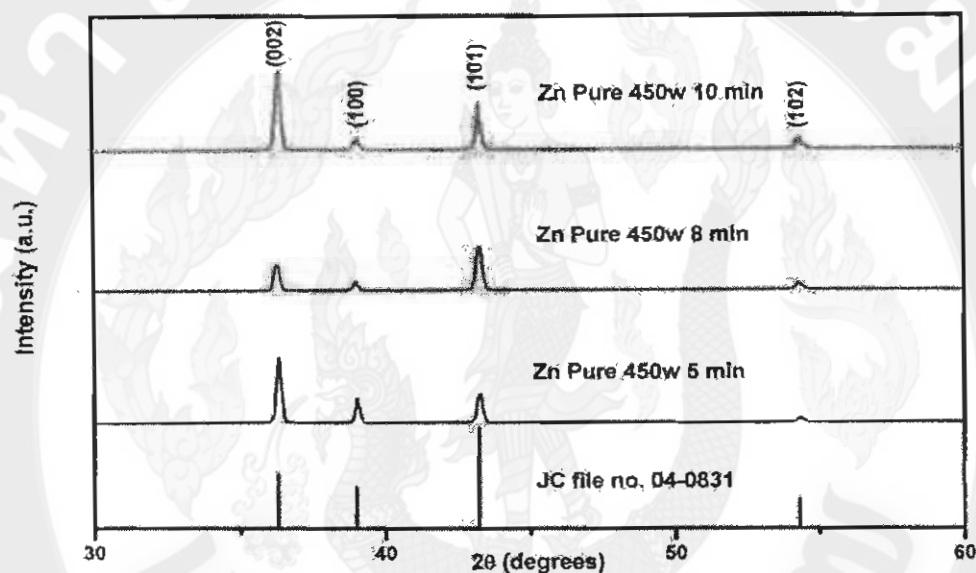
การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นั้น เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุพื้นฐานชนิดการวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย เพื่อศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในสารประกอบต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพ ปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์



ภาพที่ 14 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ และใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 15 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ และใช้คลื่นไมโครเวฟที่
พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ

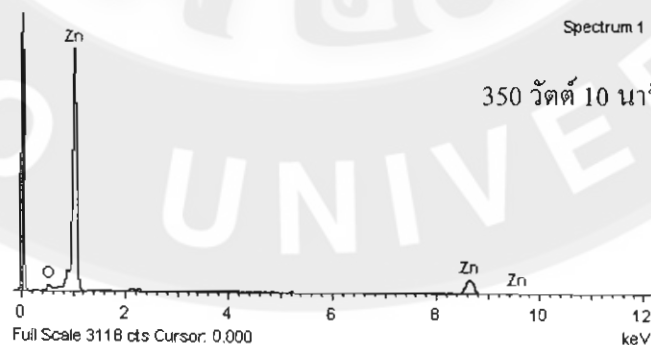
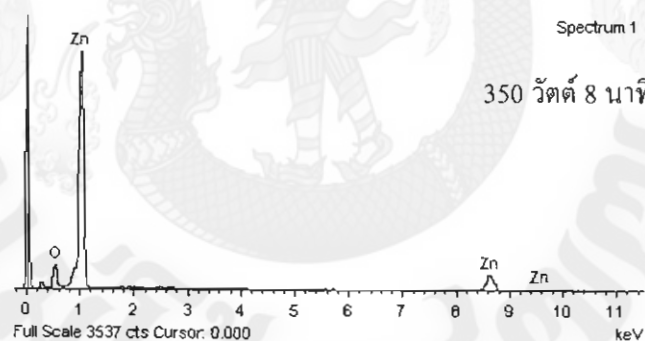
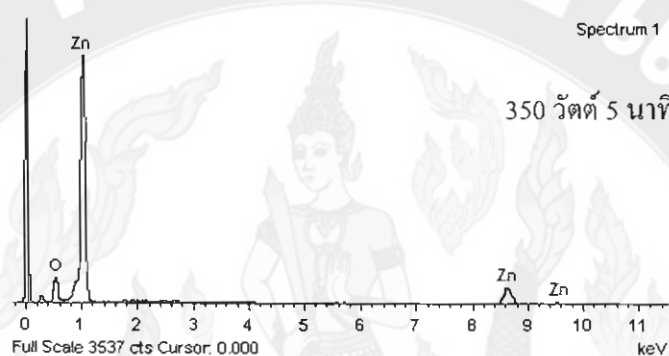


ภาพที่ 16 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ และใช้คลื่นไมโครเวฟที่
พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ

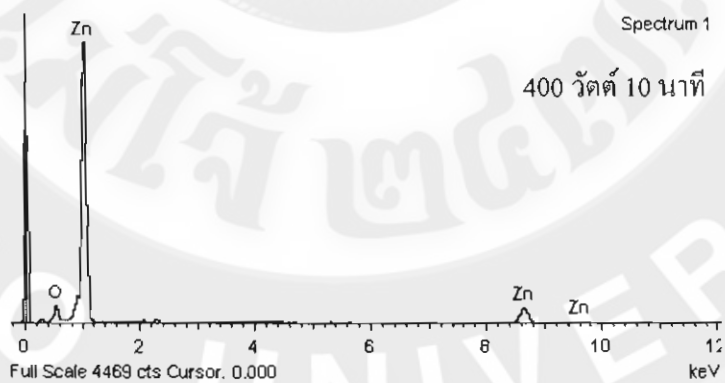
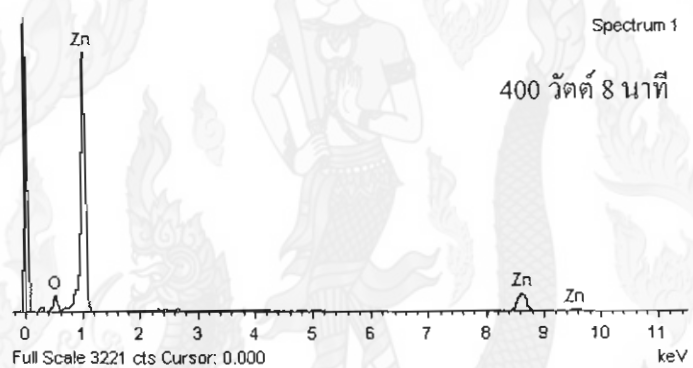
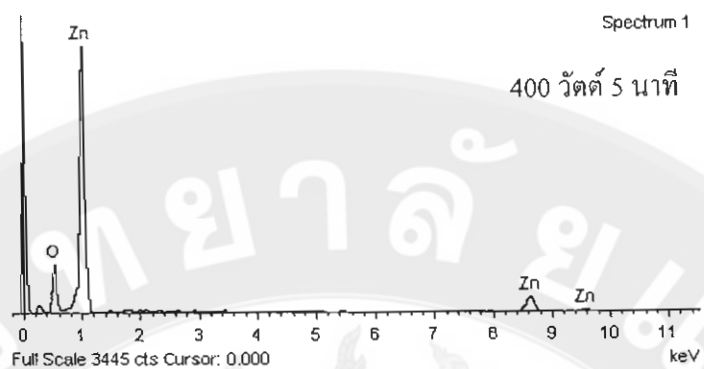
จากภาพที่ 14-16 แสดงภาพแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่สังเคราะห์พบ
สเปคตรัม หมายเลข 04-0831 (Zn) ปรากฏเฟสหลักที่มีความคล้ายคลึงกันเมื่อเทียบกับฐานข้อมูล
มาตรฐาน แสดงว่าฟิล์มบางที่เกิดขึ้นพบเพียงองค์ประกอบของซิงก์ มีโครงสร้างผลึกเป็นเฮกซะ
โกนอล สาเหตุที่พบแต่ซิงก์เกิดจากการส่องผ่านของรังสีเอกซ์ที่บริเวณพื้นผิวของฟิล์มบาง เมื่อลำ
รังสีเอกซ์ตกกระทบผิวหน้าของผลึกอำนาจทะลุทะลวงสูง มีความยาวคลื่นสั้นจัดอยู่ในช่วงระหว่าง
0.01 ถึง 10 นาโนเมตร จึงทำให้รังสีเอกซ์ส่องผ่านทะลุชั้นของฟิล์มไป

1.2 ผลจากการวิเคราะห์ตรวจวัดการกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ (EDS)

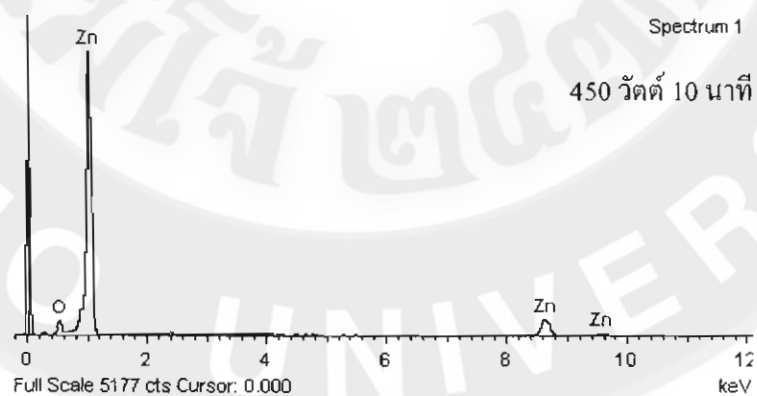
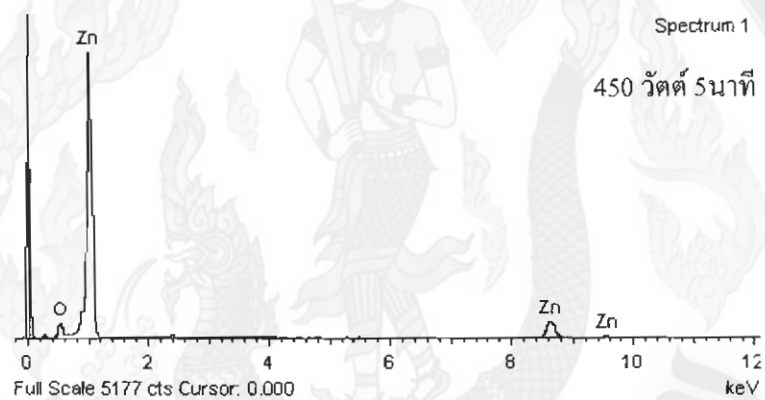
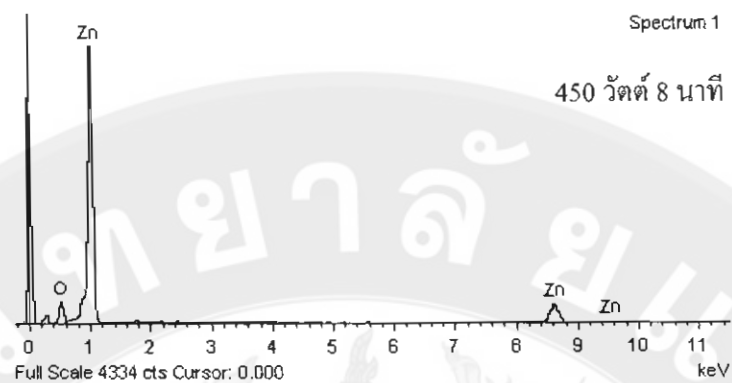
การวิเคราะห์ตรวจวัดการกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ (Energy dispersive x-ray spectroscopy) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของฟิล์มที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพและอาศัยคลื่นไมโครเวฟตั้งแต่พลังงานที่ 350 วัตต์ – 450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที – 10 นาที แสดงดังภาพที่ 17 - 19



ภาพที่ 17 สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 18 สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 400 วัดต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ

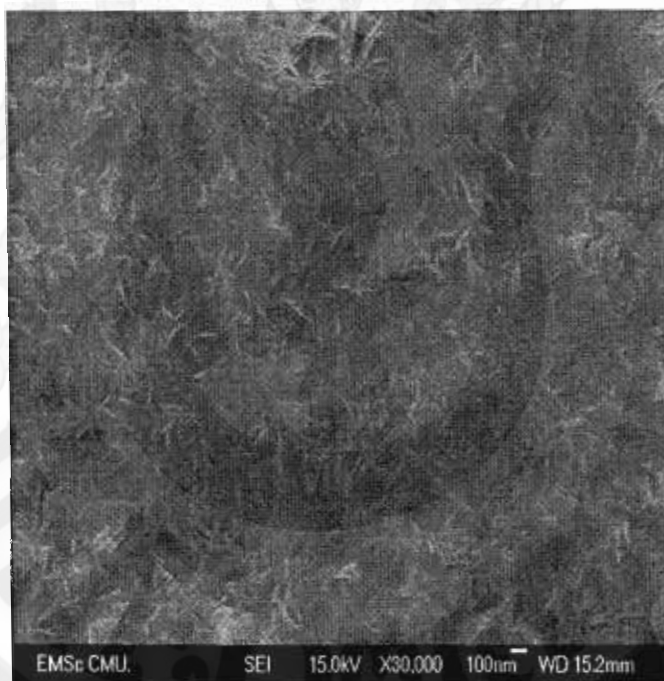


ภาพที่ 19 สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยคลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน
450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ

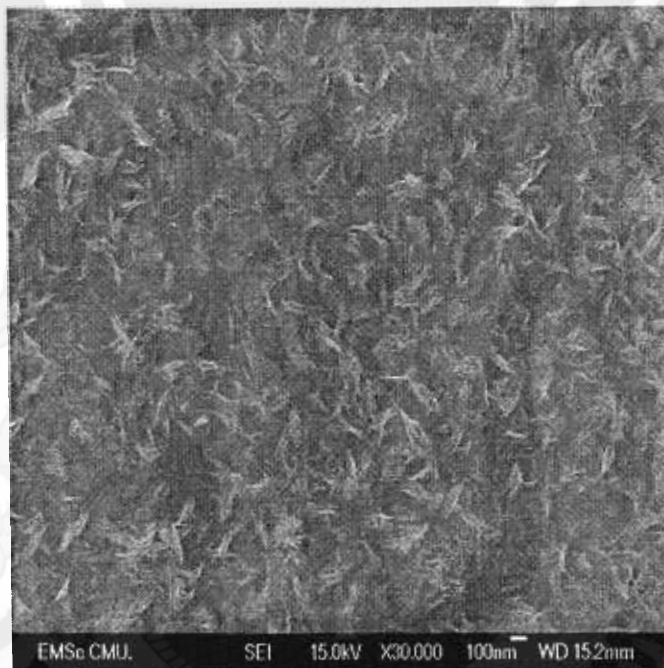
จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อยังมีอิเล็กตรอนในบริเวณสเปกตรัม อิเล็กตรอนพลังงานสูงจะเคลื่อนที่เข้าชนวงโคจรชั้นพลังงานต่างๆ โดยเกิดการถ่ายโอนพลังงานแก่อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นมากกว่าค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของชั้นโคจรทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป และอิเล็กตรอนในวงโคจรถัดไปจะลดระดับพลังงานลงมาแทนที่ในการลดระดับพลังงานนี้จะเกิดการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในภาพรังสีเอกซ์ ซึ่งพลังงานส่วนเกินนี้จะมีพลังงานเท่ากับ ความต่างของระดับชั้นพลังงานยึดเหนี่ยวเฉพาะชั้นโคจรซึ่งมีความเฉพาะในแต่ละธาตุนั้นๆ และปรากฏธาตุต่างๆให้เห็นในการวิเคราะห์ จากภาพ 17-19 แสดงถึงการกระจายตัวของสเปกตรัมที่เกี่ยวข้องกับธาตุทั้งหมดที่ประกอบอยู่บนฟิล์ม จากผลการวิเคราะห์พบธาตุที่ประกอบอยู่บนฟิล์ม คือ ชิงค์ (Zn) และ ออกซิเจน (O) เกิดขึ้นซึ่งเป็นข้อมูลหนึ่งที่ยืนยันถึงการเกิดสารประกอบของชิงค์ ออกไซด์จากการอาศัยการแผ่รังสีของคลื่นไมโครเวฟลงบนแผ่นชิงค์บริสุทธิ์ที่ใช้เป็นแผ่นรองรับ

1.3 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

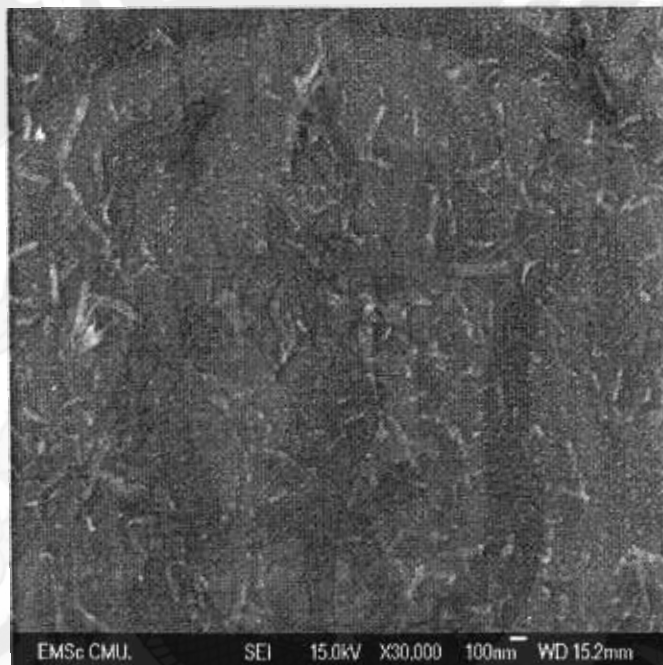
ลักษณะสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการสังเคราะห์โดยวิธีทางกายภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่พลังงานตั้งแต่ 350 -450 วัตต์ เป็นเวลา 5-140 นาที แสดงดังต่อไปนี้



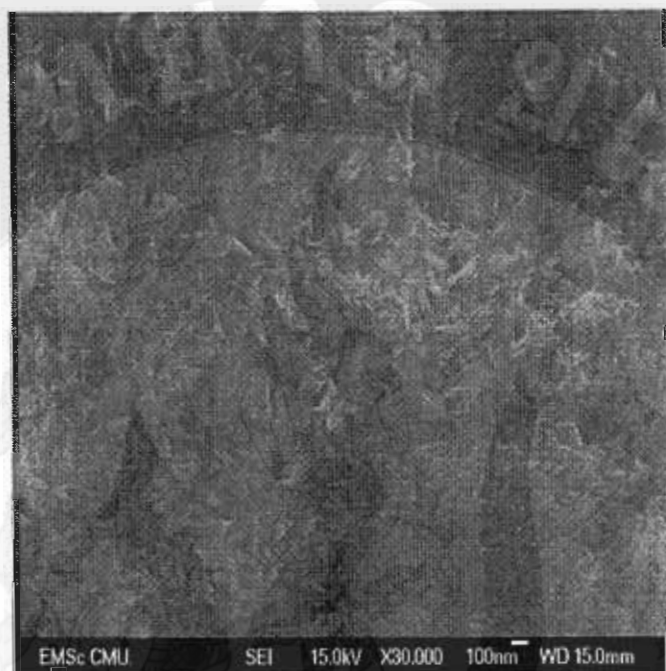
ภาพที่ 20 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที



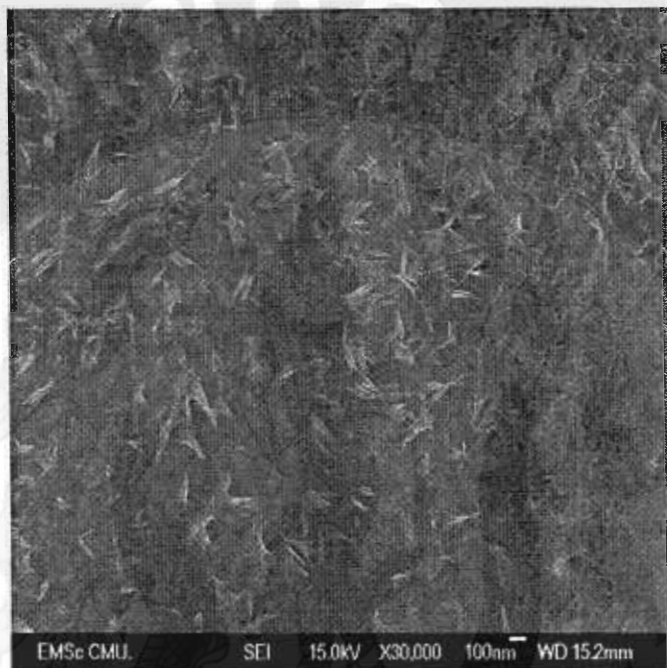
ภาพที่ 21 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที



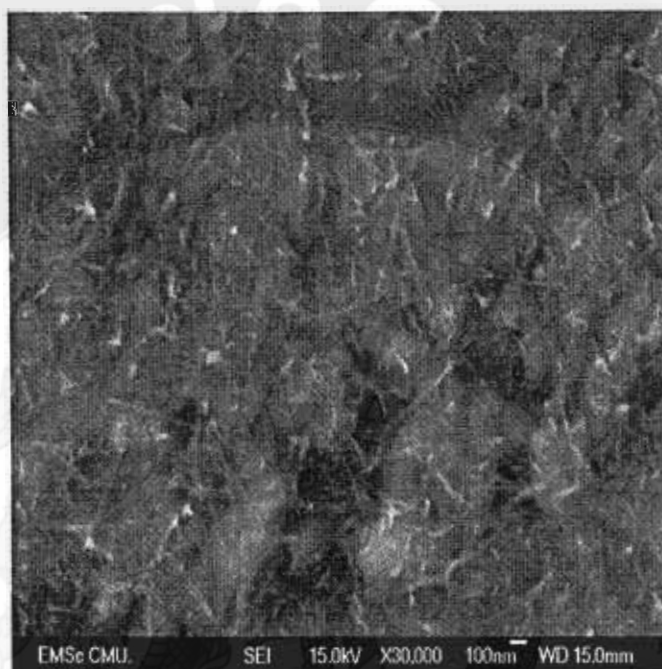
ภาพที่ 22 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกรีดด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 350 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที



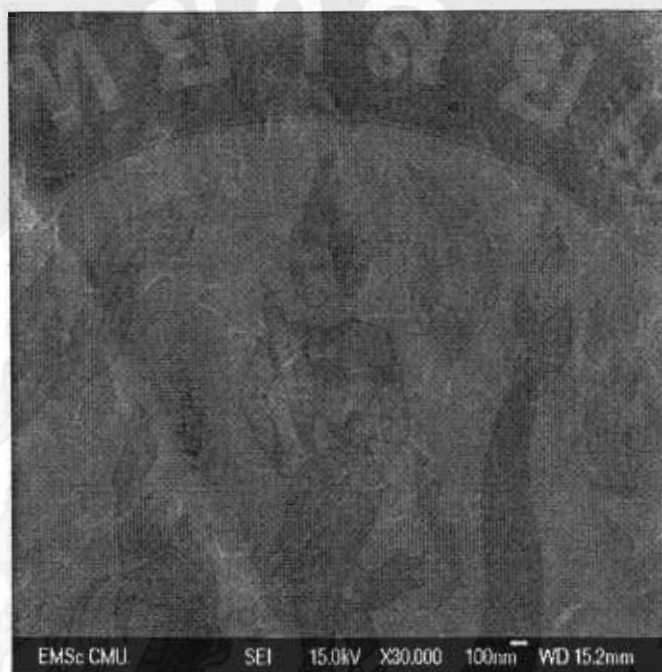
ภาพที่ 23 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที



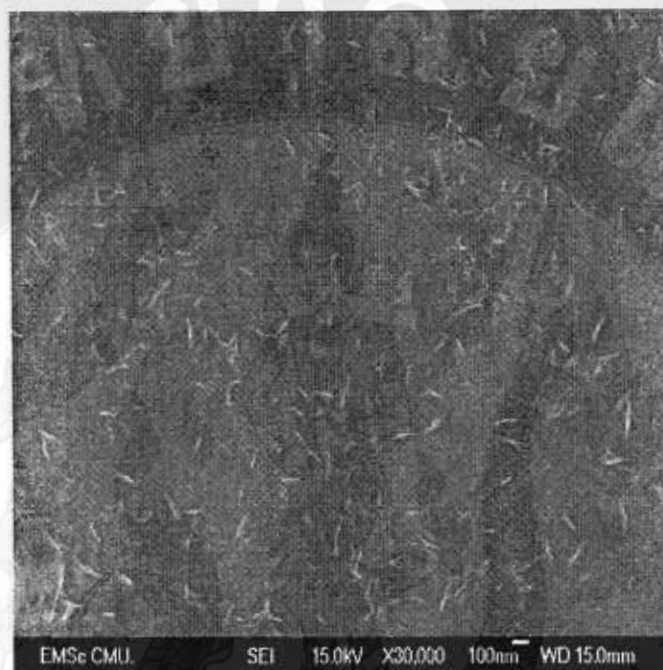
ภาพที่ 24 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที



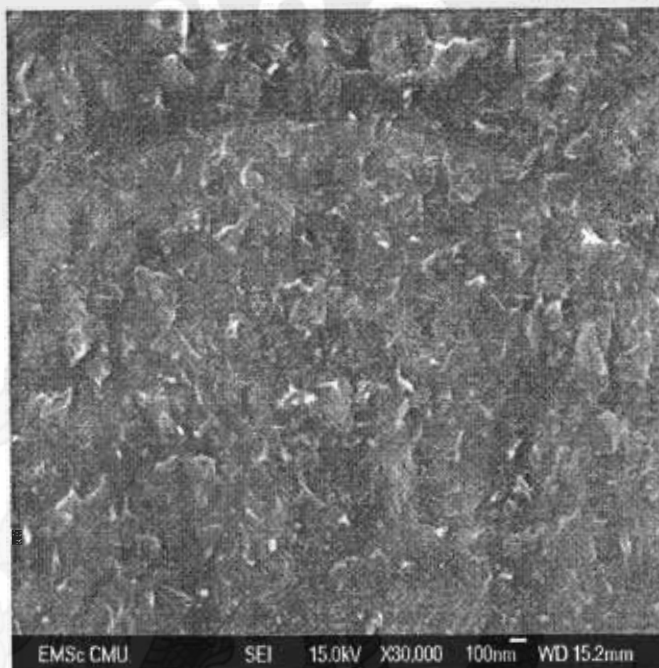
ภาพที่ 25 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที



ภาพที่ 26 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที



ภาพที่ 27 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 450 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที



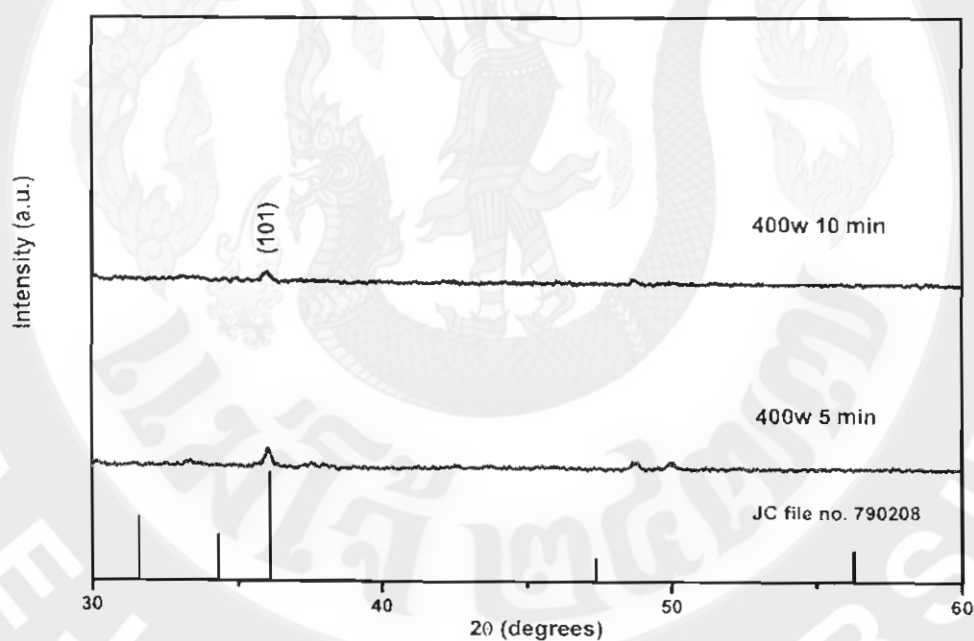
ภาพที่ 28 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 450 โวลต์ เป็นเวลา 10 นาที

ภาพที่ 20-28 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วย
วิธีทางกายภาพ ที่พลังงาน 350 โวลต์ 400 โวลต์ และ 450 โวลต์ เป็นเวลา 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที
ตามลำดับ เมื่อพลังงานเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของซิงก์ออกไซด์จะมีปริมาณลดลงและเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น
ความยาวของซิงก์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้น

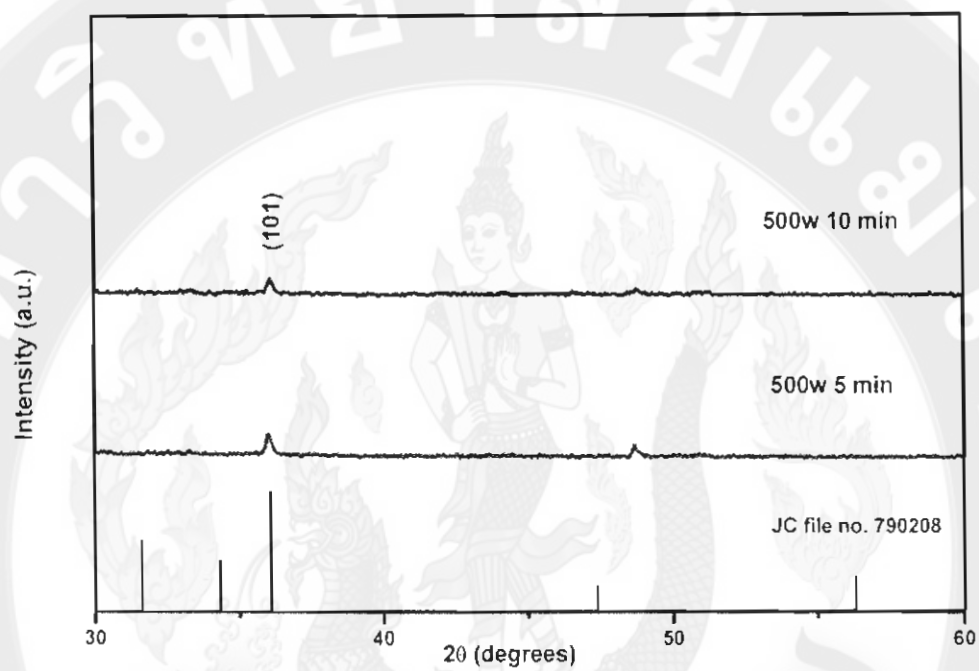
2. การเตรียมฟิล์มซิงก์ออกไซด์โดยวิธีทางเคมีและคลื่นไมโครเวฟ

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

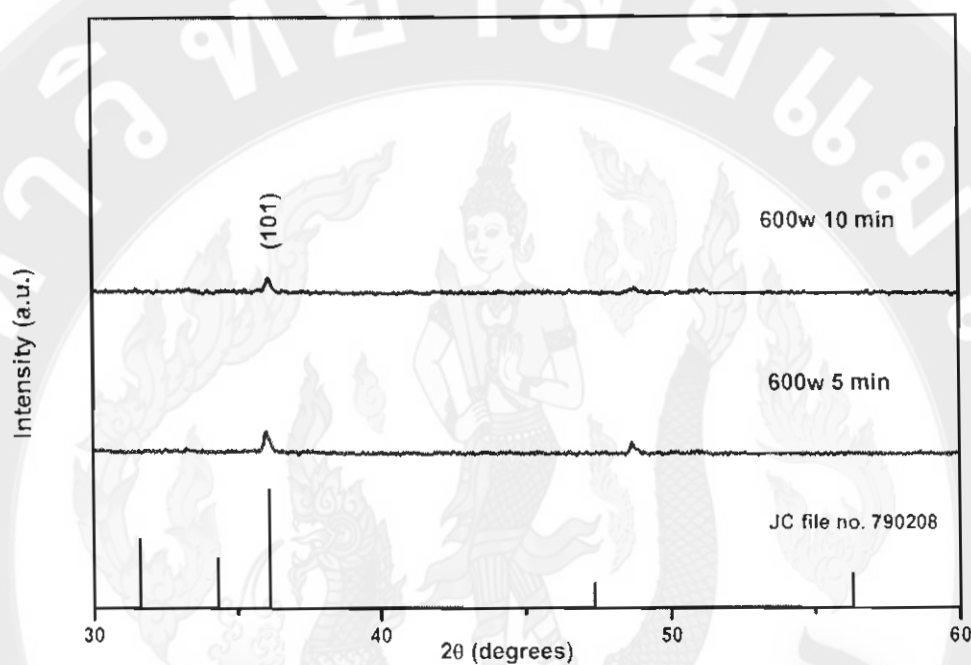
การวิเคราะห์องค์ประกอบเฟสและโครงสร้างผลึกของฟิล์มที่ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีและใช้คลื่นไมโครเวฟโดยตรง และใช้พลังงานของไมโครเวฟตั้งแต่ 400 วัตต์ ถึง 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที แสดงดังภาพ 29 - 31



ภาพที่ 29 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมี และใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 30 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมี และใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



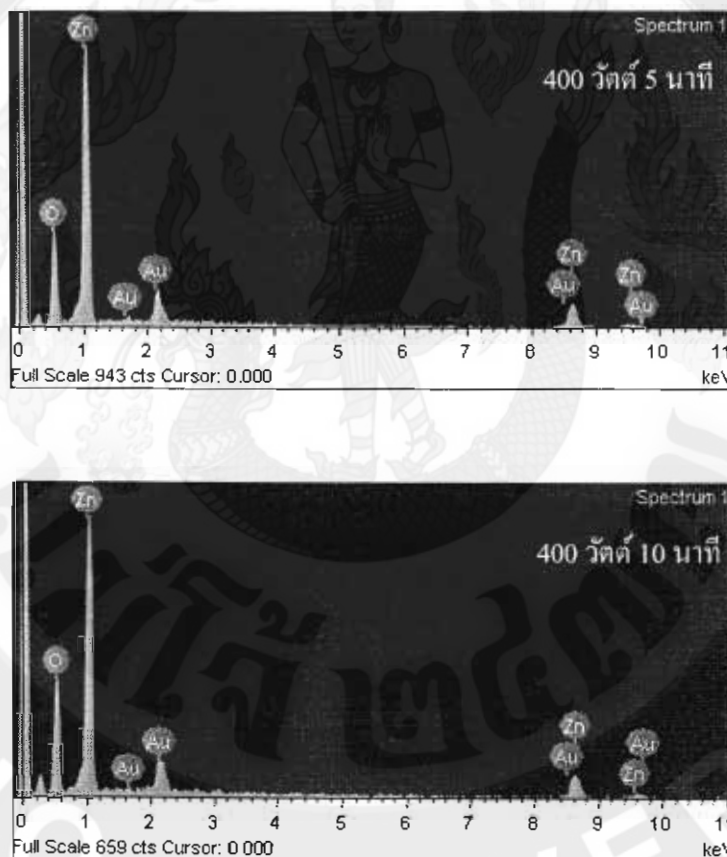
ภาพที่ 31 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมี และใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ

ภาพที่ 28-31 ภาพแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ มีลักษณะพีคเกิดขึ้นที่ระนาบ (101) และเมื่อนำไปเทียบกับ JCPDS สอดคล้องกับซิงค์ออกไซด์ (ZnO) หมายเลข 79-0208 ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้พีคหลักมีปริมาณลดลง

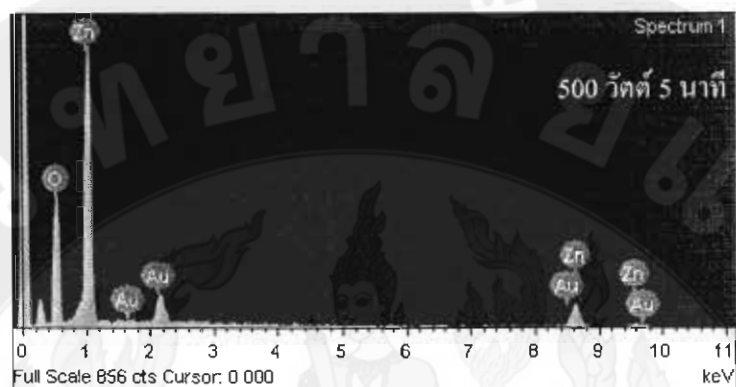
4.2 การวิเคราะห์ตรวจวัดการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ (EDS)

การวิเคราะห์ตรวจวัดการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ (Energy dispersive x - ray spectroscopy; EDS) ของฟิล์มที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมีและใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่พลังงาน 400 วัตต์ - 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม แสดงดังภาพที่ 32

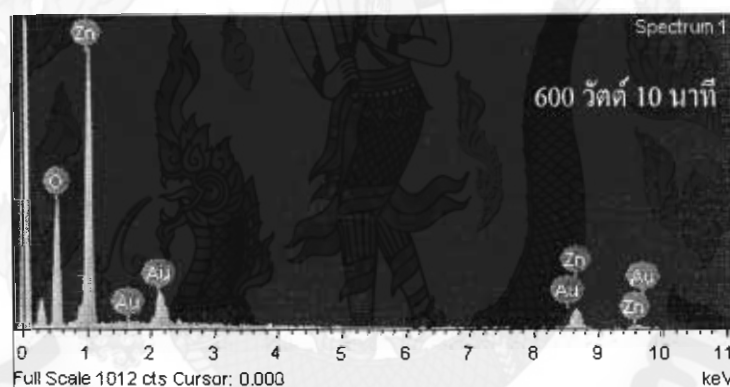
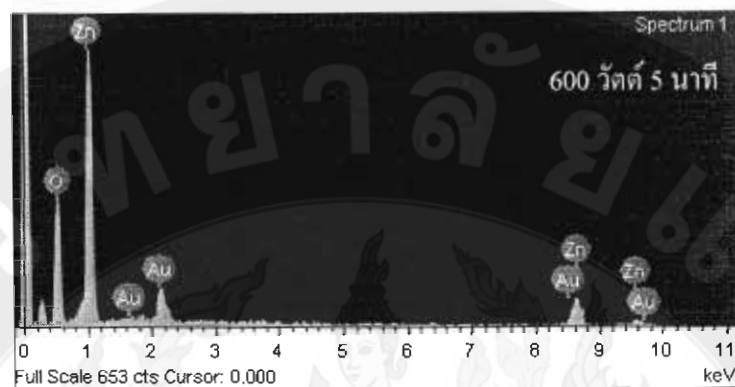
-34



ภาพที่ 32 สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีและอาศัยที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 33 สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีและอาศัยที่
พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



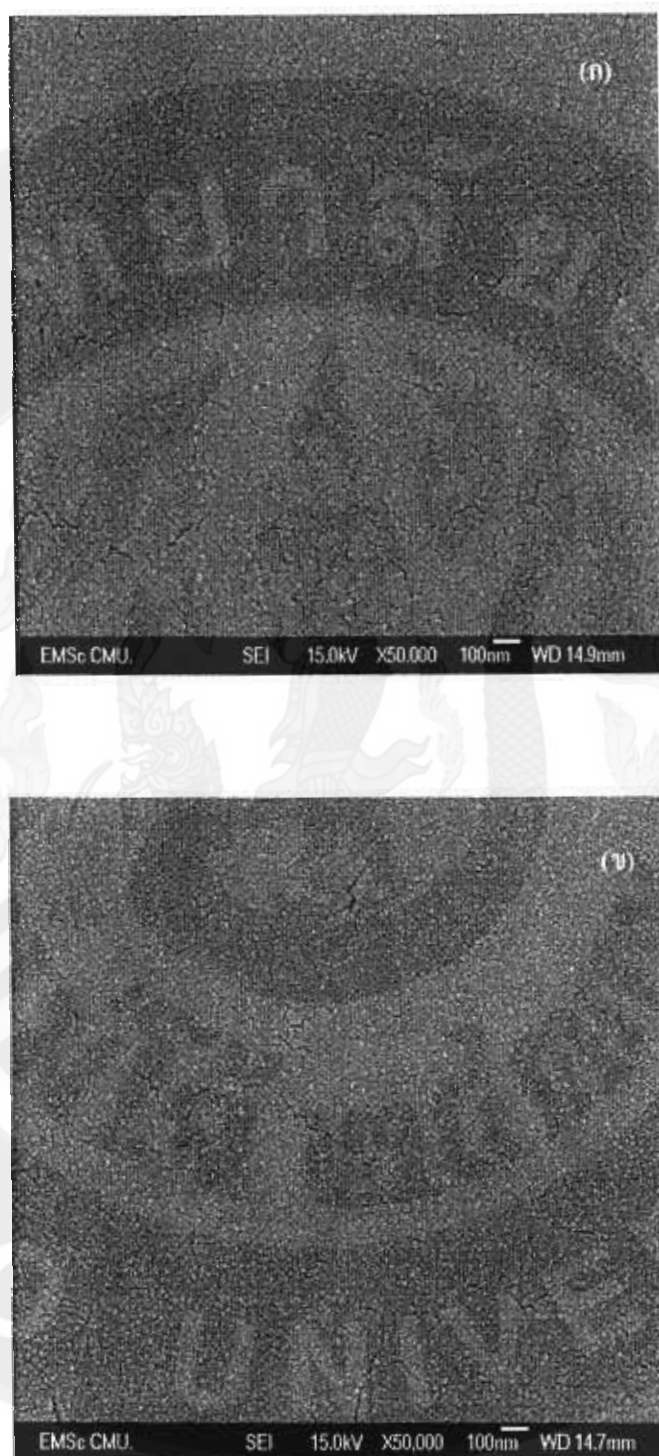
ภาพที่ 34 สเปกตรัม EDS ของฟิล์มหลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีและอาศัยที่
พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์จากสเปกตรัม EDS พบว่า เมื่อลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานค่อนข้างสูงจะ
เคลื่อนที่เข้าชนวงโคจรชั้นพลังงานต่างๆ โดยเกิดการถ่ายโอนพลังงานแก่อิเล็กตรอนในวงโคจร

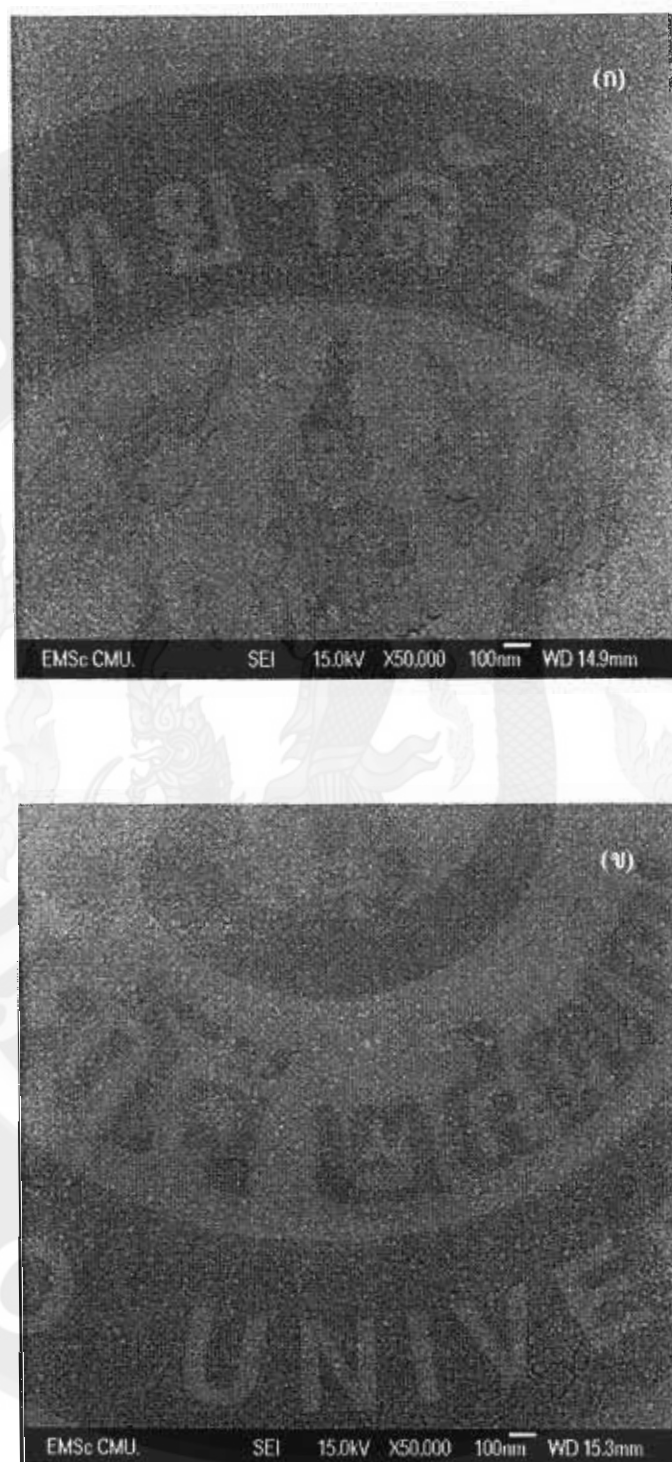
นั้นๆ จะทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นมากกว่าค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของชั้นโคจรทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป และอิเล็กตรอนในวงโคจรถัดไป จะลดระดับพลังงานลงมาแทนที่ ในการลดระดับพลังงานนี้จะเกิดการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในภาพรังสีเอกซ์ ซึ่งพลังงานส่วนเกินนี้จะมีพลังงานเท่ากับความต่างของระดับชั้นพลังงานยึดเหนี่ยวเฉพาะชั้นโคจร ซึ่งมีความเฉพาะในแต่ละธาตุนั้นๆ และปรากฏธาตุต่างๆ ให้เห็นในการวิเคราะห์ จากภาพ 32 - 34 แสดงถึงการกระจายตัวของสเปกตรัมที่เกี่ยวข้องกับธาตุทั้งหมดที่ประกอบอยู่บนฟิล์ม จากผลการวิเคราะห์พบธาตุที่ประกอบอยู่บนฟิล์ม คือ ซิงค์ (Zn) ออกซิเจน (O) ส่วนทองเกิดขึ้น เนื่องจากการเคลือบทอง เพื่อให้เหนียวนำไฟฟ้าก่อนการนำไปวิเคราะห์

2.3 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

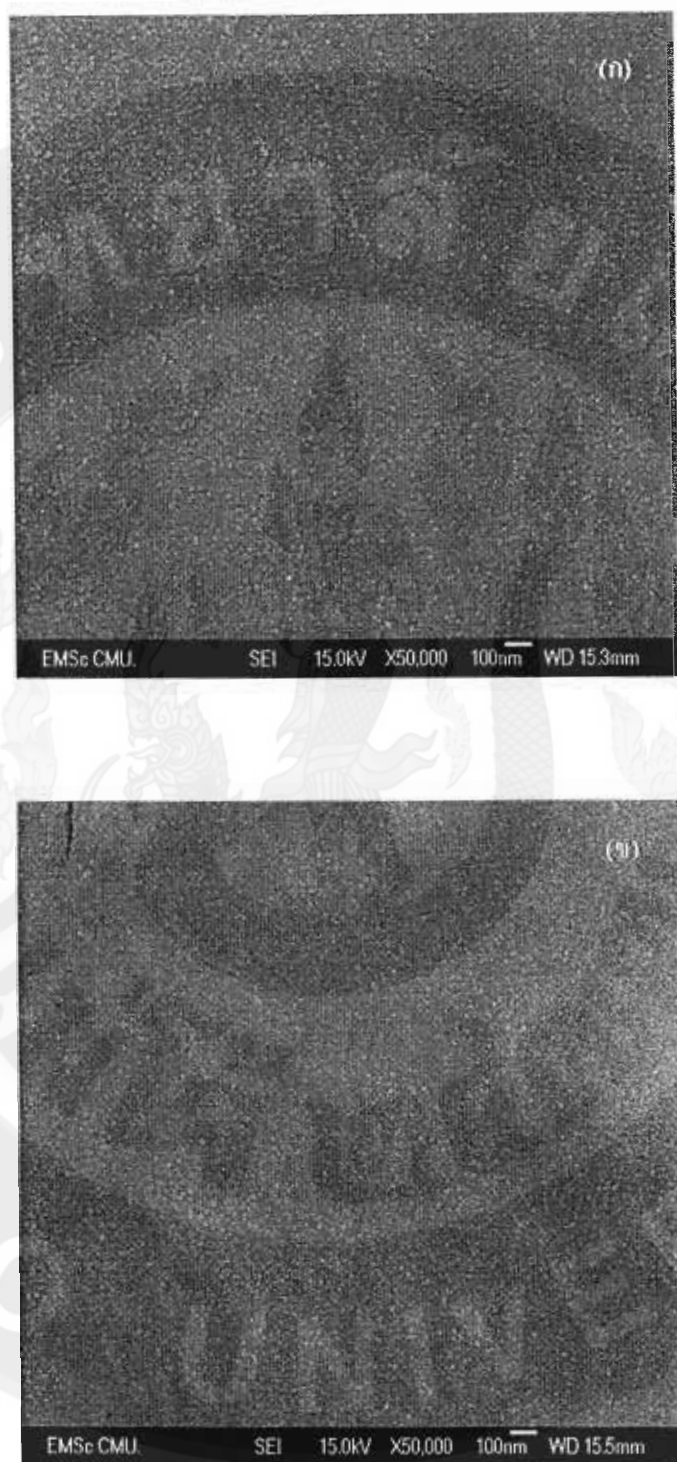
บอกถึงแสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวของฟิล์มซิงค์ออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีและอาศัยการแผ่ของคลื่นไมโครเวฟโดยที่พลังงาน 400 – 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 – 10 นาที แสดงดังภาพ 35 - 37 ตามลำดับ



ภาพที่ 35 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี ที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 36 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี
ที่พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที ตามลำดับ

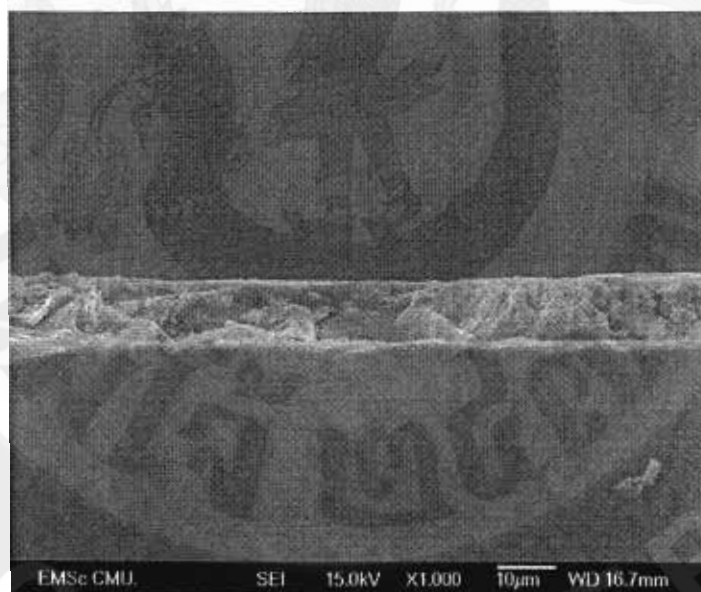


ภาพที่ 37 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี
ที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 5 นาที (ข) 10 นาที ตามลำดับ

ภาพถ่าย SEM แสดงดังภาพที่ 35 – 37 เพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ผิวของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมี ที่พลังงาน 400 วัตต์ 500 วัตต์ และ 600 วัตต์ เป็นระยะเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ พื้นที่ผิวของฟิล์มค่อนข้างเรียบ แต่อนุภาคเล็กๆ ที่ปรากฏน่าจะเป็นเกรนของทองที่นำมาเคลือบเพื่อช่วยให้มีการนำไฟฟ้าและได้ภาพที่ชัดเจนขึ้น

ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวาง

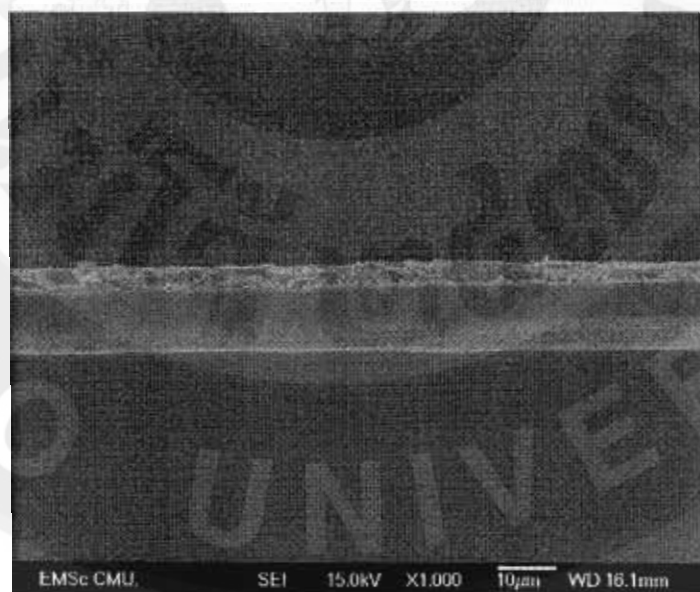
จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมีและอาศัยคลื่นไมโครเวฟ เป็นเวลาครั้งที่ 10 นาที และพลังงานของคลื่นไมโครเวฟแตกต่างกัน แสดงดังต่อไปนี้



ภาพที่ 38 ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมีที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที



ภาพที่ 39 ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมีที่พลังงาน 500 วัตต์
เป็นเวลา 10 นาที

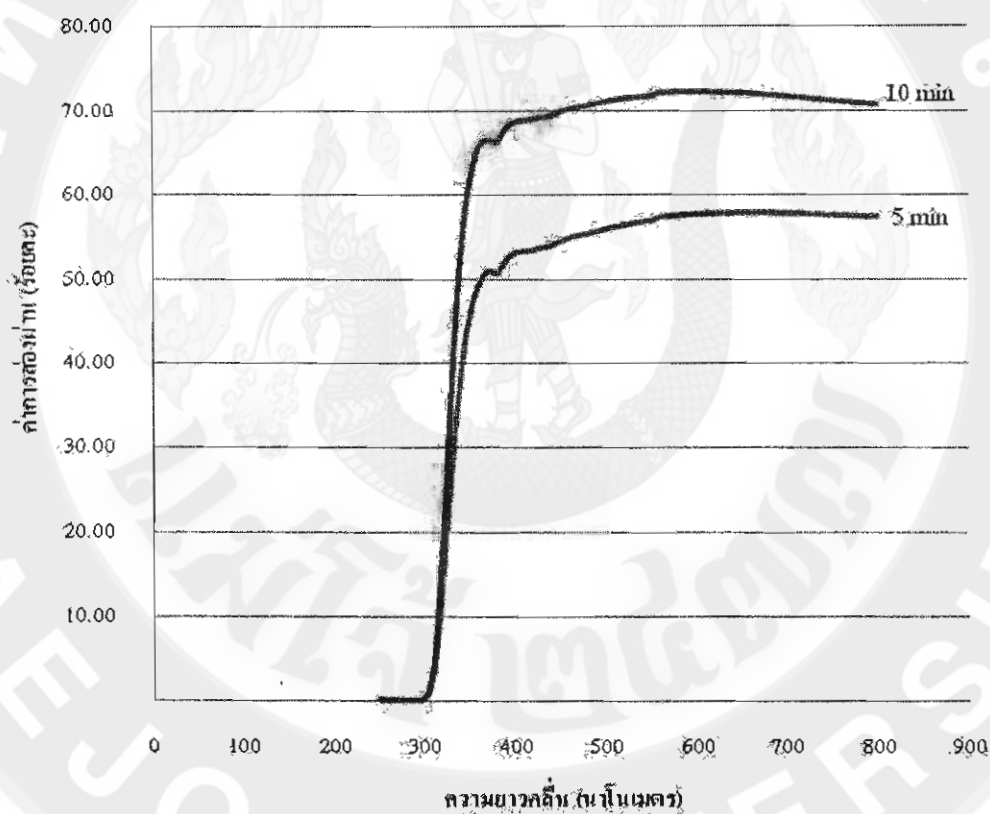


ภาพที่ 40 ภาพถ่าย SEM แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มถูกเตรียมด้วยวิธีทางเคมีที่พลังงาน 600 วัตต์
เป็นเวลา 10 นาที

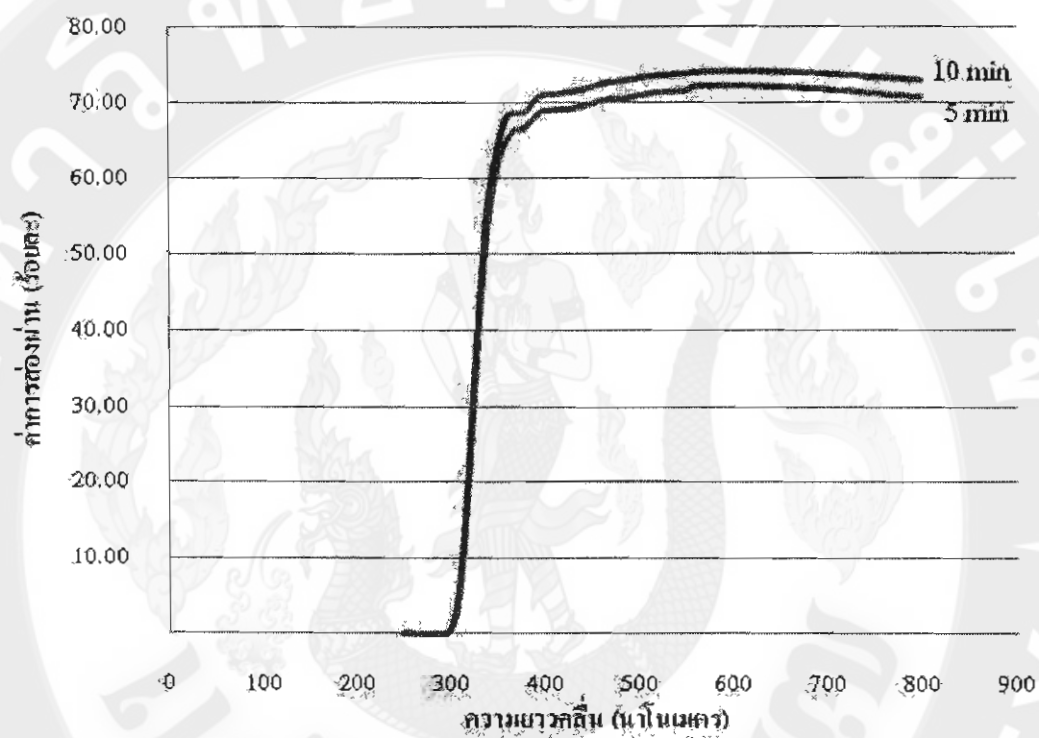
จากภาพที่ 38 - 40 แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มที่ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีสังเกตเห็นว่าฟิล์มบางของซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีความหนาของฟิล์มที่เวลา 10 นาที มีความแตกต่างกัน โดยที่พลังงาน 400 วัตต์ มีความหนาของฟิล์มที่ 13 ไมโครเมตร ที่พลังงาน 500 วัตต์ มีความหนาของฟิล์มที่ 20 ไมโครเมตร และที่พลังงาน 600 วัตต์ มีความหนาของฟิล์มที่ 13 ไมโครเมตร สาเหตุน่าจะเนื่องจากในกระบวนการเตรียมชิ้นงานระหว่างการใส่สารละลายลงไปบนกระจกแล้วให้ความร้อน ซึ่งพื้นอาจไม่ได้ระนาบที่ขนานดีพอ จึงส่งผลต่อความหนาของฟิล์มที่แตกต่างกันออกไปแต่อย่างไรก็ตามฟิล์มซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมมีความหนายู่ระหว่าง 13 – 20 ไมโครเมตร

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

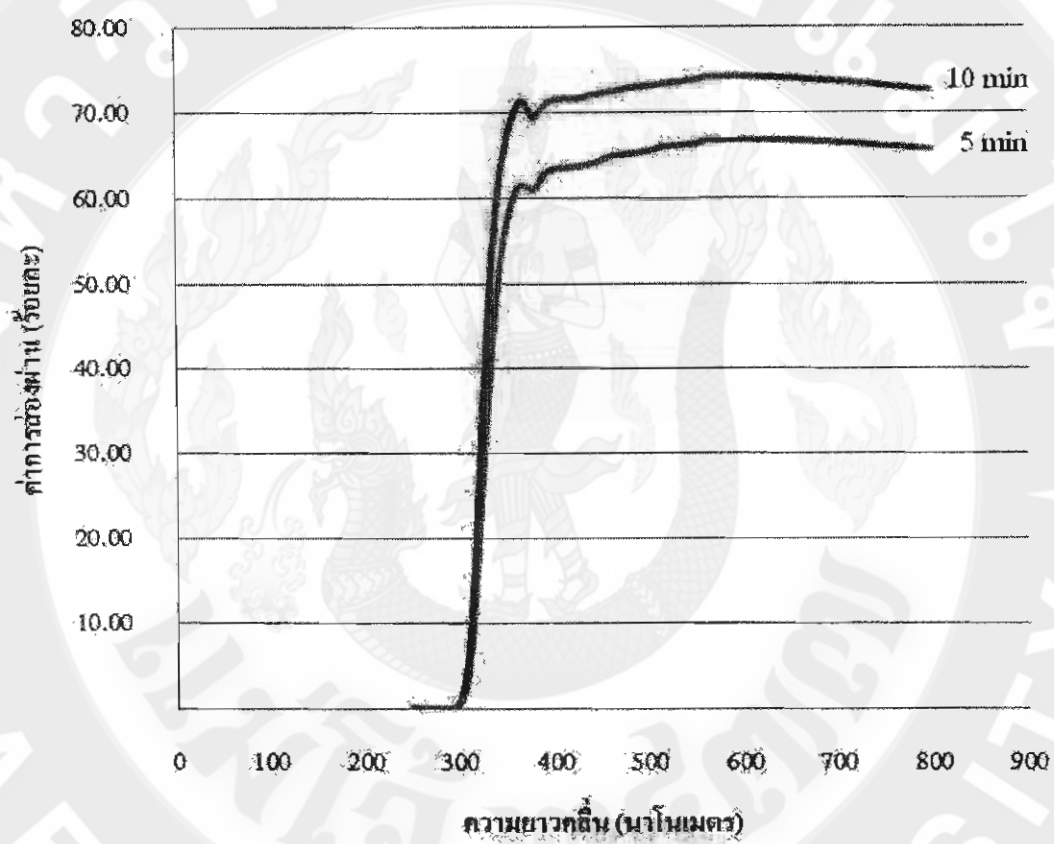
ส่วนนี้แสดงผลการทดลองจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ซึ่งจะแสดงถึงร้อยละของการส่องผ่าน (Transmission) ของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีและใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่พลังงานตั้งแต่ 400 วัตต์ – 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที แสดงดังภาพที่ 41 ถึง 43 ดังนี้



ภาพที่ 41 สเปกตรัมการส่องผ่านของแสงของฟิล์มที่พลังงาน 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 42 สเปกตรัมการส่องผ่านของแสงของฟิล์มที่พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 43 สเปกตรัมการส่องผ่านของแสงของฟิล์มที่พลังงาน 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ

จากภาพที่ 41 - 43 แสดงสเปกตรัมร้อยละของการส่องผ่านและความยาวคลื่นของฟิล์มที่
ถูกเตรียมที่พลังงานและเวลาต่างๆ ในการตรวจวิเคราะห์ ใช้แสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 นาโน
เมตร ถึง 800 นาโนเมตร แต่ฟิล์มที่เตรียมมีการตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 370 นา
โนเมตร - 375 นาโนเมตร และมีย่านร้อยละของการส่องผ่านของฟิล์มที่เตรียมที่พลังงานต่างๆ ที่เวลา
10 นาที มีร้อยละของการส่องผ่านมากกว่า 5 นาที ซึ่งมีค่าร้อยละของการส่องผ่านประมาณร้อยละ
75 จากค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงจะมีค่ามาก แสดงว่าชั้นงานนั้นมีความโปร่งแสงของชั้นงาน
สูง นอกจากนั้นเมื่อคำนวณหาพลังงานแถบต้องห้าม (Energy band gap) มีค่าระหว่าง 3.31 ถึง
3.35 อิเล็กตรอน โวลต์ ซึ่งสอดคล้องกับแถบพลังงานต้องห้ามของซิงก์ออกไซด์ที่มีค่าประมาณ 3.37
อิเล็กตรอน โวลต์ [16]

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยโครงการการสังเคราะห์ฟิล์มของซิงค์ออกไซด์โดยเทคนิคไมโครเวฟได้สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การศึกษาเฟสและโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ฟิล์มที่ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกายภาพพบเฟสของซิงค์ (Zn) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล อาจเนื่องจากฟิล์มที่เตรียมค่อนข้างบาง ส่วนฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีพบเฟสของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล ซึ่งตรงกับ JCPDS หมายเลข 79-0208
2. ฟิล์มที่เตรียมทั้งสองวิธีนั้นพบองค์ประกอบธาตุของซิงค์ (Zn) และ ออกซิเจน (O) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS
3. ลักษณะสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางกายภาพพบซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นเส้นลวดขนาดเล็กมีทิศทางพุ่งออกจากแผ่นรองรับที่เป็นแผ่นสังกะสีและให้กลิ่นไมโครเวฟกระทบโดยตรง โดยพลังงานที่เพิ่มขึ้นของไมโครเวฟส่งผลต่อความยาวและความหนาแน่นของเส้นลวดซิงค์ออกไซด์ และฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีพื้นผิวของฟิล์มค่อนข้างเรียบไม่มีรูพรุน พลังงานและเวลาไม่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี
4. วิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer พบว่าฟิล์มมีการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นแสงประมาณ 370-375 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นแสงในช่วงของแสงอัลตราไวโอเลต โดยมีการส่องผ่านเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งเมื่อคำนวณค่าพลังงานต้องห้าม (Energy band gap) มีค่าประมาณ 3.31-3.35 อิเล็กตรอนโวลต์

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดอาจจะเคลือบทองบางๆ และใช้กำลังขายน้อยกว่าห้าหมื่นเท่า เนื่องจากอาจจะทำให้เห็นอนุภาคของทองได้ ซึ่งต้องใช้ประสบการณ์ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอนุภาคทองและอนุภาคของสารที่สังเคราะห์
2. การวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD สำหรับฟิล์มบางมากๆ อาจจะกำหนดมุมตกกระทบที่ต่ำมากๆ เพื่อสะท้อนเฟสของฟิล์มบาง ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Deepali S., Sapna S., B.S.K., Jaspreet R., Mohinder K. (2011). Synthesis of ZnO nanoparticles using surfactant free in-air and microwave method. Applied Surface Science, 257,9661-9672.
2. Lee S., Islam S., Kim S. (2007). Photoresponses of ZnO nanobridge devices fabricated using a single-step thermal evaporation method. Sensors and Actuators B-Chemical, 126(1), 73-77.
3. Jian Z., Jing Z., Hui Z., Wen Q., Li C., Yue H. (2009). Microwave-assisted synthesis and characterization of ZnO-nanorod arrays. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 1578-1582.
4. ขวณ คล้ายปาน. (2545). เตาอบไมโครเวฟ. กรมวิทยาศาสตร์บริการโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม.
5. ราชดั่งกะสี. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.aiyaragems.com/content.aspx?id=1480>. (17 มีนาคม 2556).
6. นันทนัช วัฒนสุภิญโญ. (2553). สมบัติทางกายภาพของฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียมและอินเดียมเตรียมโดยเทคนิค ดีซี แมกนีตรอน สเปดเตอริง. (สาขาฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
7. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. (2543). เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์. ทฤษฎีและหลักการทางงานเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. UV-VIS Spectroscopy [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://glasswarechemical.com/scientific-instrumen> 170655. (18 มีนาคม 2556)
9. Seungho C., Dae-Deob S., Seung-Ho J., Eugene O., Bo Ram L., Kun-Hong L. (2009). Fabrication of ZnO nanoneedle arrays by direct microwave irradiation. Materials Letters, 63, 739-741.

10. Hongbin Cheng., Jiping C., Yunjin Z., Qing-Ming W. (2007). Large-scale fabrication of ZnO micro-and nano-structures by microwave thermal evaporation deposition. *Journal of Crystal Growth*, 29, 34-40.
11. Seungho ., Bo Ram L., Hye-jin K., Da-Hye P., Kun-Hong L. (2009). Synthesis of density-controller ZnO nanoneedle arrays on a flexible substrate by addition of Al salts and use of microwave irradiation. *Materials Letters*, 63, 2025-2028.
12. Yonghong N., Sen Y., Jianming H., Peng Z., Yunyou Z., Daobao C. (2008). Microwave-assisted preparation, characterization and properties of columnar hexagonal-shaped ZnO Microcrystals. *Scripta Materials*, 59, 127-130.
13. Farid J., K.R. P., Dilip S., Mahendra A. (2011). Synthesis of Cu-ZnO and C-ZnO nanoneedle arrays on zinc foil by low temperature oxidation route: Effect of buffer layers on growth, optical and field emission properties. *Applied Surface Science*, 257, 8366-8372.
14. Chih-Cheng L and Yuan-Yao L. (2009). Synthesis of ZnO nanowires by thermal decomposition of zinc acetate dehydrate. *Materials Chemistry and Physics*, 113, 334-337.
15. Liang-Chium C., Hau-ting H., shih-hsaun Y., Yang-chun F. (2008). Effect of annealing on the properties of (100) ZnO films prepared by chemical vapor deposition utilizing zinc acetate dehydrate. *Thin Solid Films*, 516, 6305-6309.
16. Ian Y. Y. Bu. (2013). Rapid synthesis of ZnO nanostructures through microwave heating process. *Ceramics International*, 39, 1189-1194.

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยในโครงการนี้ได้ถูกนำเสนอในที่ประชุมทางวิชาการระดับชาติและนานาชาติ รวมทั้งสิ้น 2 ครั้ง ได้แก่

1. การประชุมทางวิชาการจุลทรรศน์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 (MST 30) ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 23 – 25 ตุลาคม พ.ศ. 2556 ณ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งนำเสนอเรื่อง “preparation of zinc oxide films by using microwave technique”
2. การประชุมทางวิชาการ The 7th International Conference on Materials Advanced Technologies ระหว่างวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2556 – 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ณ สาธารณรัฐสิงคโปร์ ซึ่งนำเสนอเรื่อง “The effect of preparative parameter on the structure and properties of zinc oxide thin films prepared by microwave technique”

Poster Presentation

Preparation of Zinc Oxide Films by using Microwave Technique

Thaweechai Awirut and Supanut Narksitipan*

Materials Science Program, Faculty of Science, Maejo University, Samsai, Chiang Mai 50290, Thailand

*Corresponding author, e-mail: n_supanut@yahoo.com

Abstract

Zinc oxide (ZnO) is a potential semiconductor with a wide band gap (3.37 eV). It is applied in the many fields of applications such as microelectronics panel solar cells, gas sensors and optical devices [1-3]. There are various techniques to synthesize ZnO films. This work, the microwave technique have been investigated. This technique is easy method, low cost and high purity [4-5]. ZnO films were prepared by using microwave technique. Zn sheets were cleaned with alcohol and acetone, respectively. They were placed in the microwave chamber and direct irradiation on the Zn sheet at power of 350 watt and 400 watt for 8 min. Element compositions and morphology of the ZnO surface were characterized by energy-dispersive x-ray spectrometry (EDS) and scanning electron microscope (SEM), respectively. EDS spectrum showed in figure 1 (a) and figure 2 (a). Zn and O elements were detected. No significant characteristic peaks of impurities could be detected. Morphology of ZnO films surface were prepared at power of 350 watt and 400 watt showed in figure 1 (b) and figure 2 (b), respectively. The morphology of ZnO prepared at power of 350 watt had a similar nanoneedle-like shape. Moreover, ZnO prepared at power of 400 watt, had rod shape with average diameter 10 nm and nanoneedle-like shape. In conclusion, the microwave power play important role in the morphology of ZnO films.

Acknowledgement

We would like to give thank to the Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University and Faculty of Science, Maejo university.

References

1. S. Cho, D.S. Shim, S.H. Jung, E. Oh, B.R. Lee, K.H. Lee, Fabrication of ZnO nanoneedle arrays by direct microwave irradiation, *Mater. Lett.* 63, 739-741 (2009).
2. S. Cho, B.R. Lee, H.J. Kim, D.H. Park, K.H. Lee, Synthesis of density-controlled ZnO nanoneedle arrays on a flexible substrate by addition of Al salts and use of microwave irradiation, *Mater. Lett.* 63, 2025-2028 (2009).
3. Y. Ni, S. Yang, J. Hong, P. Zhen, Y. Zhou, D. Chu, Microwave-assisted preparation, Characterization and properties of columnar hexagonal-shaped ZnO microcrystals, *Scripta Mater.* 59, 127-130 (2008).
4. H. Cheng, J. Cheng, Y. Zheng, Q.M. Wang, Large-scale fabrication of ZnO micro- and nano-structures by microwave thermal evaporation deposition, *J. Cryst. Growth* 299, 34-40 (2007).
5. F.J. Shein, K.R. Patil, D.S. Joag, M.A. More, Surface characterization of Au-ZnO nanowire films, *Ceram. Int.* 38, 6665-6670 (2012).

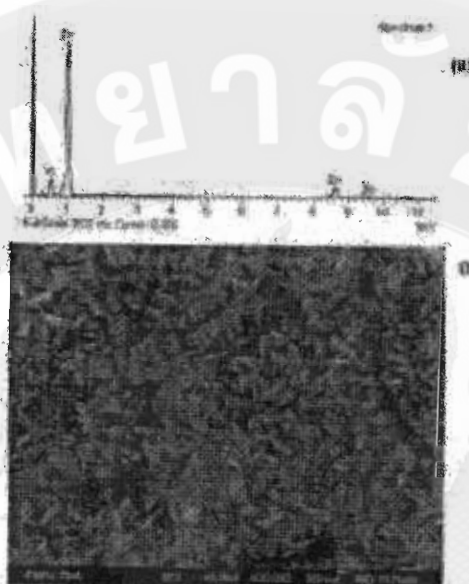


Figure 1 (a) EDX and (b) SEM of ZnO film prepared at power of 150 walt for 8 min.

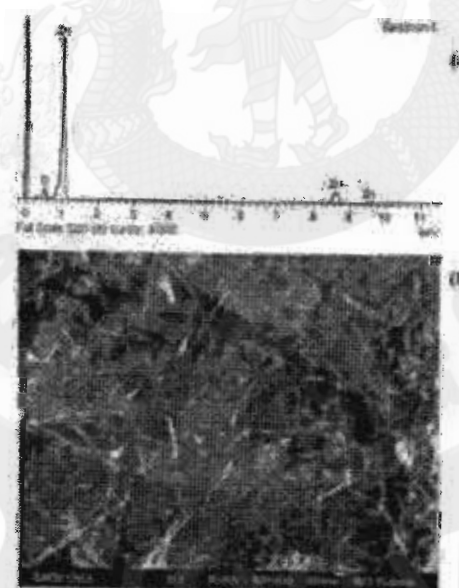


Figure 2 (a) EDX and (b) SEM of ZnO film prepared at power of 400 walt for 8 min.

Pw: ICMAT2013 Abstract Notification (2097)

From: "Suparat Narkisitpan" <suparat@yahoo.com>

To: teewadeewongteerung@hotmail.com

From: icmat2013@icmat.net <icmat2013@icmat.net>

To: ch_suparat@yahoo.com; suparat@msu.ac.th;

Subject: ICMAT2013 Abstract Notification (2097)

Sent: Tue, Feb 19, 2013 9:02:38 AM



Dear Author(s),

Congratulations! Your abstract has been accepted for presentation at ICMAT2013 taking place from 30 June to 5 July, 2013 at SUNTEC Singapore. The review report is as shown. This and other program details - your presentation schedule, meeting registration, invoice, receipt, etc will be posted as they become available on your personal page on icmat2013.org.
Symposium Q: Innovative Processing of Emerging Films and Nanostructures of Functional Materials
ICMAT13-A-2097: The Effect of Preparative Parameter on the Structure and Properties of Zinc Oxide Thin Films Prepared by Microwave Technique
Suparat NARKISITPAN, Faculty of Science, Maejo University, Thailand

Review Decision	Accepted
Presentation Mode	Poster
Reviewer Comments	Nil

Please register and make payment by 28 March 2013. Failure to do so may result in the Abstract not being included in the conference program and any other publications printed for distribution at the conference.

If your abstract was accepted as a poster presentation, please prepare your poster to fit the usual ICMAT 2.5m high x 1m wide poster panel. (Vertical Portrait format is suggested)

Registration and Payment

Please check registration fee table at <http://www.msu.ac.th/department/2013public.asp?page=fees.asp> and note that discounted rate is only applicable for fees paid by 28 March 2013. Regular fees apply after the date.

1. Log in on icmat2013.org and click "Meeting Registration" from the left menu;
2. Complete the online form and make payment;
3. Online portal closes on 31 June 2013. After this date, registration and fee payment can only be done onsite.
4. Please see also notes below.

Accommodation

Conference hotels are open for booking at the special conference rate until 31 May 2013.

Please check out details here: <http://www.msu.ac.th/department/2013public.asp?page=hotel.asp>

Further Information

If you need any assistance, please contact the Secretariat by email - icmat2013@icmat.net

The conference will be held at SUNTEC Singapore and you can obtain information on the venue, travel visa requirements and other details

Information here:

http://www.msu.ac.th/department/2013public.asp?page=singapore_essential.asp

Yours truly,

ICMAT2013 Secretariat

Notes:

1. Each meeting registration covers 2 abstracts (presentations) maximum.
2. The preliminary program will be posted on the conference website in April.
3. The final program and presenters' abstracts will be posted on the conference website in June.
4. Book your hotel early. Special rate ends once room blocks are sold out.
5. If you are unable to present your papers at ICMAT 2013, you must inform the Secretariat. Presentation by co-author is acceptable.
6. Walk-in payment onsite - please note: While every effort will be made to order adequate supplies (e.g. program books, conference bags, food & drinks, etc), please understand that the issue of supplies are subject to availability of stock at the time of your walk-in payment onsite.

O-PO2: ICMAT13-A-2097 Contributed

41 The Effect of Preparative Parameter on the Structure and Properties of Zinc Oxide Thin Films Prepared by Microwave Technique

Suparat NARKISITPAN¹*

¹Materials Science, Faculty of Science, Maejo University, Thailand.

*Corresponding author: suparat@yahoo.com *Presenter

In this research, zinc oxide thin films were deposited on cleaned glass substrate by spray pyrolysis using zinc acetate dihydrate $[Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O]$ was as the starting materials to prepare zinc oxide thin films via microwave technique. Microwave technique is a fast, simple, low cost and clean. The different preparative parameters such as the concentration of precursor solution, microwave power and deposition time were investigated. The structure phase composition and morphology of zinc oxide thin films were characterized by X-ray diffraction (XRD) and Field emission electron microscopy (FE-SEM), respectively. Moreover, optical properties of zinc oxide thin films were studied by UV-vis spectrophotometer.