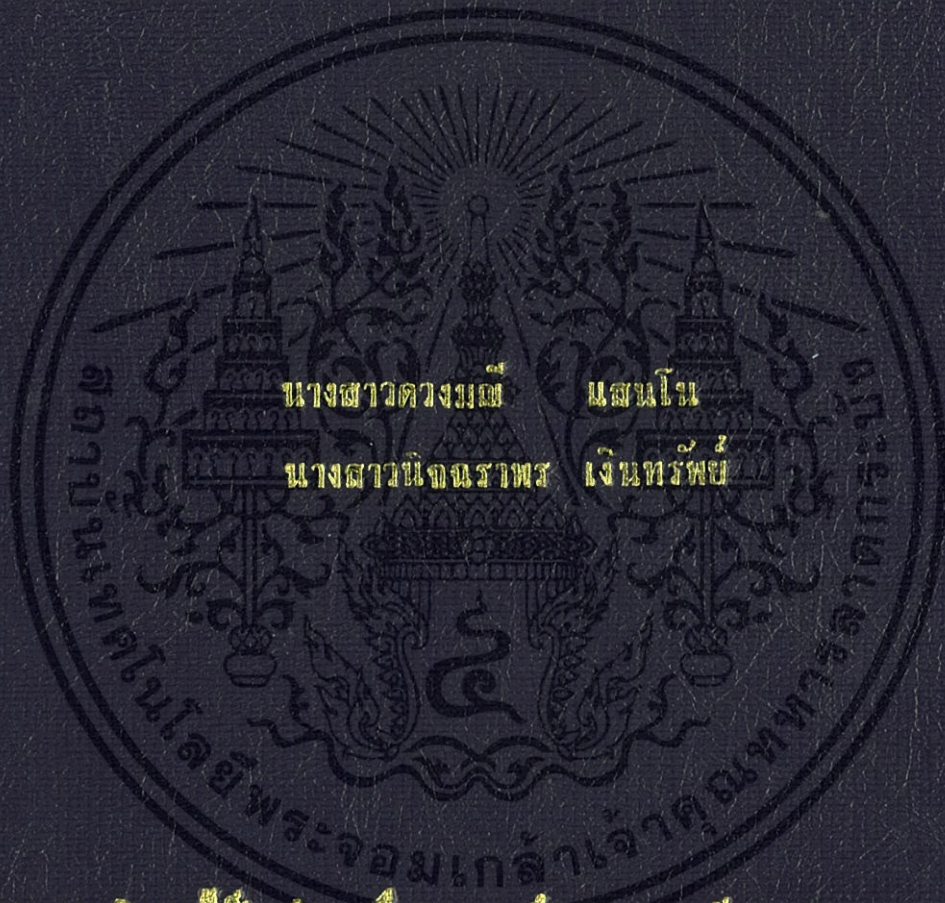


การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของ M-doped ZnO (M-Al,Sn,Sb) ที่เตรียมด้วย

วิธีการตกตะกอนร่วม

STUDY OF ELECTRICAL PROPERTIES OF M-DOPED ZnO
(M-Al,Sn,Sb) PREPARED BY CO-PRECIPIATION PROCESS



โครงการพิเศษสนับสนุนหน่วยงานของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของ M-doped ZnO (M=Al, Sn, Sb) ที่เตรียมด้วย
วิธีการตกตะกอนร่วม

STUDY OF ELECTRICAL PROPERTIES OF M-DOPED ZnO
(M=Al, Sn,Sb) PREPARED BY CO-PRECIPIATION PROCESS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY OF ELECTRICAL PROPERTIES OF M-DOPED ZnO
(M=Al, Sn,Sb) PREPARED BY CO-PRECIPITATION PROCESS**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของ M-doped ZnO(M=Al, Sn, Sb) ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

STUDY OF ELECTRICAL PROPERTIES OF M-DOPED ZnO

(M=Al, Sn,Sb) PREPARED BY CO-PRECIPIATION PROCESS

ชื่อนักศึกษา นางสาวดวงมณี แสนโน
นางสาวนิจธราพร เงินทรัพย์

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา
นายกฤษณะ ช่องศรี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.รัชชก สมพรเสนห์	
ดร.พิชชานันท์ ชีเศรษฐ์โสภณ	
อ.ชนภรณ์ สิววัฒนานนท์	
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา	
นายกฤษณะ ช่องศรี	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของ M-doped ZnO(M=Al, Sn, Sb) ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

STUDY OF ELECTRICAL PROPERTIES OF M-DOPED ZnO
(M=Al, Sn, Sb) PREPARED BY CO-PRECIPIATION PROCESS

ชื่อนักศึกษา นางสาวดวงฉวี แสนโน
นางสาวนิจฉราพร เงินทรัพย์

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิชาญ เตชะศิระ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา
นายกฤษณะ ช่องศรี

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของ M-doped ZnO(M=Al, Sn, Sb) ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้ ซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$) อลูมิเนียมคลอไรด์($AlCl_3$) ทินเตตระคลอไรด์($SnCl_4$) และแอนติโมนีคลอไรด์($SbCl_5$) เป็นสารตั้งต้นของซิงค์ ดีบุก อลูมิเนียมและพลวง ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ โดยมีสารละลายไฮเดรียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นตัวเร่งการตกตะกอน โครงการนี้ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางไฟฟ้า ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะอลูมิเนียม, ดีบุก และพลวงที่ปริมาณการเจือ 1%, 3%, 5% และ 10% และศึกษาผลการตอบสนองทางไฟฟ้าของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม, ดีบุก และพลวง จากนั้นนำสารที่เตรียมได้จากกระบวนการตกตะกอนร่วมนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ตรวจสอบพิสูจน์ลักษณะสมบัติเชิงโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียม, ดีบุก และพลวง จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์(XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด(SEM) แล้วนำสารที่เตรียมไปสู่กระบวนการอัดเม็ดและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เพื่อการวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้าต่อไป

คำสำคัญ : ซิงค์ออกไซด์(ZnO), ดีบุก(Sn), อลูมิเนียม(Al), พลวง(Sb), ตกตะกอนร่วม

Title STUDY OF ELECTRICAL PROPERTIES OF M-DOPED ZnO
(M=Al, Sn, Sb) PREPARED BY CO-PRECIPIATION PROCESS

Student Miss Duangmanee Saenno
Miss Nicharaporn Ngernsup

Degree Bachelor of Science

Major Program Physics

Academic Year 2013

Advisor Assoc. Prof. Wicharn Techitdheera

Co-Advisor Assoc. Prof. Dr. Wisanu Pecharapa
Mr. Krisana Chongsri

ABSTRACT

This special project design to study of electrical properties of M-doped ZnO (M=Al, Sn, Sb) prepared by co-precipitation process using $ZnCl_2$, $AlCl_3$, $SnCl_4$ and $SbCl_3$ as pre-cursors with 0.5 Molar concentration and NaOH 5 Molar is used as a precipitation catalyst. The physical and electrical properties are studied when the doping percentage 1%, 3%, 5% and 10% of Al, Sn and Sb were used. The powder product from precipitation process was sinter at $550^\circ C$ and then characterized by XRD and SEM to study the crystal structure and surface morphology. The electrical resistivity was studied after $900^\circ C$ sintering and resistance was measured with the table sample.

Keywords: zinc oxide(ZnO), aluminium(Al), tin(Sn), antimony(Sb), Co-precipitation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาจัดทำโครงการพิเศษในหัวข้อเรื่อง “การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของ M-doped ZnO (M=Al, Sn, Sb) ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม” ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต เพื่อเป็นการศึกษาคุณสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะจากการเตรียมโดยกระบวนการตกตะกอนร่วม และนำคุณสมบัติที่ได้ จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆและนำไปสู่การพัฒนาความรู้ต่อยอดด้านวิทยาศาสตร์ ดังนั้นจึงเห็นว่าการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะนั้นทำให้มีความรู้และเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในงานวิจัยทางด้านนี้ ทั้งนี้ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

ขอขอบคุณ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำรวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องรวมทั้งคอยเตือนสติและให้กำลังใจซึ่งเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำโครงการมีความมานะและพยายามที่จะทำโครงการพิเศษนี้ให้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา และนายกฤษณะ ช่องศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้การปรึกษาเกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้รวมทั้งแนะนำเทคนิคต่างๆที่นำมาใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ดร.รัชก สมพรเสนต์ ประธานกรรมการสอบ ดร.พิชชานันท์ ชีเศรษฐ์โสภณ และอาจารย์ ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์ กรรมการสอบโครงการพิเศษฉบับนี้ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการในการจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ตลอดจนให้ความรู้ความเข้าใจและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้ในการปรับปรุงผลงานเพื่อให้เป็นผลงานที่ดีที่สุด

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติผู้ใหญ่ ญาติพี่น้อง รวมทั้งเพื่อนสนิทมิตรสหายที่รักทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คอยส่งเสริมและสนับสนุน คณะผู้จัดทำโครงการทำให้มีกำลังใจในการทำการศึกษาและจัดทำโครงการพิเศษฯนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดีมาตลอด

นางสาวดวงมณี แสนโน
นางสาวนิจรพร เงินทรัพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ โครงการงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการงานพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตโครงการงานพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนและการดำเนินงานโครงการงานพิเศษ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการงานพิเศษ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 สมบัติพื้นฐานของซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO)	4
2.2 สมบัติพื้นฐานของอลูมิเนียม (Aluminium; Al)	5
2.3 สมบัติพื้นฐานของดีบุก (Tin; Sn)	8
2.4 สมบัติพื้นฐานของพลวง (Antimony; Sb)	8
2.5 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง	9
2.5.1 เครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	9
2.5.2 เครื่องมือวิเคราะห์เชิงโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิควัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	11
2.6 การวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้า	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	16
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	17
3.3.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	17
3.3.2 การเตรียมสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยคีนุก, อลูมิเนียม, แอนติโมนี และขั้นตอนการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม	17
3.3.3 ขั้นตอนการอัดเม็ดสารเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้า	18
3.3.4 ขั้นตอนการเผาสารเพื่อวิเคราะห์ผล	18
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	19
3.4.1 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์(XRD)	19
3.4.2 การวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ เลือนกราด(SEM)	21
3.4.3 การวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้าด้วยการใช้โอห์มมิเตอร์	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	22
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	22
4.1.1 ผลการทดลองซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมภายใต้เงื่อนไข การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม	22
4.1.2 ผลการทดลองซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยคีนุกภายใต้เงื่อนไข การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือคีนุก	24
4.1.3 ผลการทดลองซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนีภายใต้เงื่อนไข การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี	27
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด	30
4.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียม ภายใต้เงื่อนไขการ เปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม 0% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิ การเผา 550°C และ 900°C	30
4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยคีนุก ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลง ปริมาณการเจือคีนุก 0% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550°C และ 900°C	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3. การวิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้างทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยแอนติโมนี ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี 0% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550°C และ 900 °C	36
4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่องโอห์มมิเตอร์	39
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	42
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	43
เอกสารอ้างอิง	44



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.4.2 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงปริมาณของซิงค์ออกไซด์โครงสร้างผลึกเฮกซะ โกนอล	5
ตารางที่ 2.2 เทคนิคการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	11
ตารางที่ 3.1 ปริมาณการเตรียมซิงค์คลอไรด์ ทินเตตระคลอไรด์ อลูมิเนียม และแอนติโมนี ที่ละลายในน้ำปอดประจุ 200 ml	18
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณผล XRD ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม	23
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณผล XRD ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก	26
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณผล XRD ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยพลวง	29
ตารางที่ 4.4 แสดงการวัดค่าความต้านทาน (R) ของอลูมิเนียม (Al) โดยใช้โอห์มมิเตอร์	39
ตารางที่ 4.5 แสดงการวัดค่าความต้านทาน (R) ของดีบุก (Sn) โดยใช้โอห์มมิเตอร์	40
ตารางที่ 4.6 แสดงการวัดค่าความต้านทาน (R) ของพลวง (Sb) โดยใช้โอห์มมิเตอร์	40
ตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ (Ω.cm))	40

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างตั้งกะตือออกไซด์โครงสร้างผลึกเฮกซะโกนอลแสดงระนาบที่มีข้อ	4
รูปที่ 2.2 ภาพตัวอย่างของอลูมิเนียม	7
รูปที่ 2.3 ภาพตัวอย่างของคีนุก	8
รูปที่ 2.4 ภาพตัวอย่างของพลวง	9
รูปที่ 2.5 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง SEM	10
รูปที่ 2.6 แสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	11
รูปที่ 2.7 กรวยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากสารตัวอย่างชนิดผลึกผง	12
รูปที่ 2.8 กล้องเคอบาย-เซียร์ และฝาครอบ	13
รูปที่ 2.9 (ก)-เซียร์ และ (ข)รูปแบบการเลี้ยวเบนบนฟิล์ม	14
รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)	19
รูปที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (SEM)	20
รูปที่ 3.3 การเตรียมเม็คสารด้วยการเคลือบ Silver paint	20
รูปที่ 3.4 แสดงวิธีวัดค่าความต้านทานโดยใช้โอห์มมิเตอร์	21
รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม	23
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Crystallite size(nm) และ Micro strain กับ % Al doped	24
รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยคีนุก	26
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Crystallite size(nm) และ Micro strain กับ % Sn doped	27
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนี	28
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Crystallite size (nm) และ Micro strain กับ % Sb doped	29
รูปที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม	30
รูปที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยคีนุก	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนี	36
รูปที่ 4.10 แสดงการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า	41



คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
ZnO	ซิงค์ออกไซด์
Al	อลูมิเนียม
Sn	ดีบุก
Sb	พลวง
XRD	X-Ray Diffraction
SEM	Scanning Electron Microscope
ml	มิลลิลิตร
M/L	โมลต่อลิตร
g	กรัม
nm	นาโนเมตร
cm	เซนติเมตร
mm	มิลลิเมตร
PVA	Poly (vinyl alcohol)
R	ความต้านทาน
wt%	% โดยน้ำหนัก (กรัม)
Å	อังสตรอม
ϵ	Micro strain
FWHM	Full Width at Half-Maximum of diffraction peak
ρ	สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\Omega \cdot \text{cm}$)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นหนึ่งในวัสดุหลายชนิดที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากนักวิจัยในยุคปัจจุบันนี้ทั้งที่อยู่ในรูปของฟิล์มบางและผงที่มีความละเอียดหรือผงที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร ในปัจจุบันจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับซิงค์ออกไซด์ออกมาอย่างต่อเนื่องเนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นของซิงค์ออกไซด์คือซิงค์ออกไซด์มีความต้านทานสูงเหมาะที่จะนำไปใช้ในอุปกรณ์ที่มีความร้อนสูงในขณะใช้งาน นอกจากสมบัติดังกล่าวแล้วซิงค์ออกไซด์ยังมีราคาถูกจึงเหมาะกับงานที่ใช้ต้นทุนต่ำ ในการเตรียมสารซิงค์ออกไซด์นี้สามารถเตรียมได้หลายวิธีเช่น การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ โซล-เจล (sol-gel) การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) การสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal processes) และการสังเคราะห์ด้วยวิธีเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส (Flame spray Pyrolysis)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กระบวนการตกตะกอนร่วมนำมาใช้ในการเตรียมสารซิงค์ออกไซด์จากสารตั้งต้นซิงค์คลอไรด์และทินเตตระคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์และอลูมิเนียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์และแอนติโมนีคลอไรด์ โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งการตกตะกอนกระบวนการนี้เป็นวิธีที่ง่ายคือไม่ต้องทำในระบบสุญญากาศทำในอุณหภูมิห้องสามารถควบคุมปริมาณสารเจือได้ ปัจจุบันมีการนำซิงค์ออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในงานได้หลากหลายโดยโครงการพิเศษนี้จะศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดีบุกและแอนติโมนี ที่มีผลต่อสมบัติทางโครงสร้าง ทางพื้นผิว และสมบัติทางไฟฟ้า การวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดีบุกและแอนติโมนีวิเคราะห์ด้วยเครื่องการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer : XRD) วิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) และตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าด้วยการใช้โหม้มมิเตอร์วัด

1.2 วัตถุประสงค์โครงการพิเศษ

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมสารละลายที่ใช้ในการเตรียมสารซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ (M = Al, Sn, Sb)

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางไฟฟ้า ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ (M = Al, Sn, Sb)

1.2.3 เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่มีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและทางไฟฟ้า ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ (M = Al, Sn, Sb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4 เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางไฟฟ้าของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ (M = Al, Sn, Sb)

1.3 ขอบเขตโครงการพิเศษ

1.3.1 เพื่อศึกษาการเตรียมสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ คือ อลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี ด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม

1.3.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางโครงสร้าง ทางพื้นผิวและทางไฟฟ้า ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ อลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี

1.3.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือด้วยธาตุโลหะ อลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี ต่อสมบัติทางโครงสร้างทางพื้นผิวและทางไฟฟ้า

1.3.4 เพื่อศึกษาการตอบสนองสมบัติทางไฟฟ้าของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ อลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1.4.1 แผนการดำเนินงานสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติของซิงค์ออกไซด์ อลูมิเนียมดีบุก และแอนติโมนี

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการเตรียมสารด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม

ขั้นตอนที่ 3 เตรียมสารซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนีด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางกายภาพโครงสร้าง และสมบัติทางไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี

1.4.2 ตารางแสดงระยะเวลาการดำเนินงาน

	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ขั้นตอนที่ 1									
ขั้นตอนที่ 2									
ขั้นตอนที่ 3									
ขั้นตอนที่ 4									
ขั้นตอนที่ 5									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการตกตะกอนร่วมของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ เช่นอลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี

1.5.2 มีความสามารถในการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้าง ทางพื้นผิว และทางไฟฟ้า ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ เช่น อลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี เมื่อเพิ่มปริมาณการเจือด้วยธาตุโลหะ

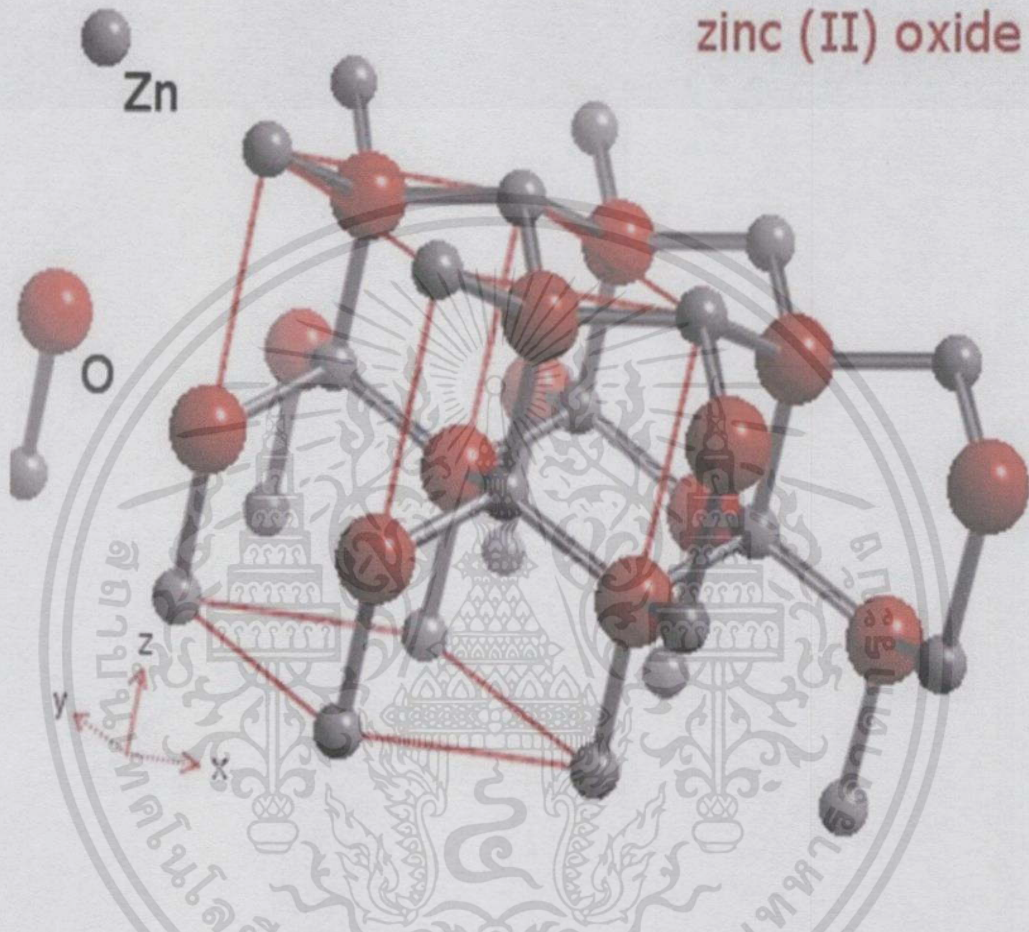
1.5.3 มีความสามารถในการวิเคราะห์การตอบสนองทางไฟฟ้าของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ เช่น อลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี

1.5.4 มีความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างและสมบัติทางพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยธาตุโลหะ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสังกะสีออกไซด์ โครงผลึกเฮกซะโกนอลแสดงระนาบที่มีข้อผิดพลาด [17]

2.1 สมบัติพื้นฐานของซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO)

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำแถบพลังงานกว้างซึ่งจะมีค่าพลังงานของแถบพลังงานมากกว่า 3.3 eV [6][10] ซิงค์ออกไซด์ในธรรมชาตินั้นมีโครงสร้างแบบเวอร์ตไซต์ (wurtzite) ดังรูปที่ 2.1 โครงสร้างชนิดนี้มีสมบัติเพียร์โซอิเล็กตริกเนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การแปลงพลังงานไฟฟ้าเชิงกลสูงและมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำเนื่องจากซิงค์ออกไซด์มี exciton binding energy สูง (60 meV) ทำให้ซิงค์ออกไซด์มีความต้านทานสูงเหมาะที่จะนำไปใช้ในอุปกรณ์ที่มีความร้อนสูง ในขณะที่ใช้งานเช่นเลเซอร์ไดโอดซิงค์ออกไซด์มีสมบัติเชิงปริมาตร (bulk properties) ดังตารางที่ 2.1

[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงปริมาตรของอซิงค์ออกไซด์โครงสร้างผลึกเฮกซะโกนอล

สมบัติ	ค่า
ค่าคงที่โครงสร้างผลึก(Göpel et al 1982)	
a0	3.253 Å
c0	5.211 Å
a0/c0	1.602
ความหนาแน่น	5.606 g/ cm ³
เฟสเสถียรที่ 300 K	เฮกซะโกนอล
จุดหลอมเหลว	1975°C
สัมประสิทธิ์ขยายตัวเชิงเส้น	a0:6.5 x10 ⁻⁶ / °C, c0:3.0 x10 ⁻⁶ / °C
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(static dielectric constant)	8.656
ดัชนีหักเห	2.008,2.029
ช่องว่างแถบพลังงาน	3.4 eV
ความหนาแน่นพาหะภายใน (intrinsic carrier concentration)	<10 ⁶ / cm ³
พลังงานพันธะเอกซิตรอน(exciton binding energy)	60 meV
มวลยังผลของอิเล็กตรอน(electron effective mass)	0.24
ความคล่องตัวอิเล็กตรอนที่ 300 K (electron Hall mobility at 300 K for low n-type conductivity)	200 cm ² /V.s
มวลยังผลของโฮล (hole effective mass)	0.59
ความคล่องตัวโฮลที่ 300 K (electron Hall mobility at 300 K for low p-type conductivity)	5-50 cm ² /V.s

2.2 สมบัติพื้นฐานของอลูมิเนียม(Aluminium;Al)

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อนและเบาที่มีลักษณะไม่เป็นเงาเนื่องจากเกิดการออกซิเดชันชั้นบางๆที่เกิดขึ้นเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ โลหะอลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษไม่เป็นแม่เหล็กและไม่เกิดประกายไฟอลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงด้านการดึงประมาณ 49 ล้านปาสกาล (MPa) และ 400 Mpa ถ้าทำเป็นโลหะผสม อลูมิเนียมมีความหนาแน่นเป็น 1/3 ของเหล็กกล้าและทองแดงอ่อนสามารถตัดได้ง่าย สามารถกลึงและหล่อแบบได้ง่าย และมีความสามารถต่อต้านการกร่อนและความทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากชั้นออกไซด์ที่ป้องกันพื้นหน้ากระจกเงาที่เป็นอลูมิเนียมมีการสะท้อนแสงมากกว่าโลหะอื่นๆ ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm (UV) และ 3000-10000 nm (IR ไกล) ส่วนในช่วงที่มองเห็นได้คือ 400-700 nm โลหะเงินสะท้อนแสงได้ดีกว่าเล็กน้อยและในช่วง 700-3000 (IR ใกล้) โลหะเงินทองคำและทองแดงสะท้อนแสงได้ดีกว่า อลูมิเนียมเป็นโลหะที่ตัดได้ง่ายเป็นอันดับ 2 (รองจากทองคำ) และอ่อนเป็นอันดับที่ 6 อลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี จึงเหมาะสมที่จะทำหม้อหุงต้มอาหาร[11] ในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากอลูมิเนียมนั้น เมื่อวัดในทั้งปริมาณและมูลค่า การใช้อลูมิเนียมมีมากกว่าโลหะอื่น ๆ ยกเว้นเหล็ก และมีความสำคัญในเศรษฐกิจโลกทุกด้าน อลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงต่ำแต่สามารถนำไปผสมกับธาตุต่างๆ ได้ง่าย เช่น ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม แมงกานีส และซิลิกอน (เช่น duralumin) ในปัจจุบันวัสดุเกือบทั้งหมดที่เรียกว่าอะลูมิเนียมเป็นโลหะผสมของอลูมิเนียม อลูมิเนียมบริสุทธิ์พบเฉพาะเมื่อต้องการความทนต่อการกัดกร่อนมากกว่าความแข็งแรงและความแข็งเมื่อรวมกับกระบวนการทางความร้อนและกลการ (thermo-mechanical processing) โลหะผสมของอลูมิเนียมมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้น โลหะผสมอลูมิเนียมเป็นส่วนสำคัญของเครื่องบินและจรวดเนื่องจากมีอัตราความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง อลูมิเนียมสามารถสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ดีเยี่ยม (99%) และสามารถสะท้อนแสงอินฟราเรดได้ดี (95%) อลูมิเนียมชั้นบาง ๆ สามารถสร้างบนพื้นผิวเรียบด้วยวิธีการควบแน่นของไอสารเคมี (chemical vapor deposition) หรือวิธีการทางเคมี เพื่อสร้างผิวเคลือบออปติคัล (optical coating) และกระจกเงา ผิวเคลือบเหล่านี้จะเกิดชั้นออกไซด์ที่บางยิ่งกว่าที่ไม่สึกกร่อนเหมือนผิวเคลือบเงิน กระจกเงาเกือบทั้งหมดสร้างโดยใช้อลูมิเนียมชั้นบางบนผิวหลังของแผ่นกระจกลอย (float glass) กระจกเงาในกล้องโทรทรรศน์สร้างด้วยอลูมิเนียมเช่นกัน แต่เคลือบข้างหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนภายใน การหักเห และการสูญเสียจากความใส กระจกเหล่านี้เรียกว่า first surface mirrors และเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่ากระจกเงาตามบ้านทั่วไปที่เคลือบข้างหลัง

ตัวอย่างการนำเอาอลูมิเนียมไปใช้งาน

- การขนส่ง (รถยนต์ เครื่องบิน รถบรรทุก ตู้รถไฟ เรือทะเล จักรยาน ฯลฯ)
- ภาชนะ (กระป๋อง, ฟอยล์ ฯลฯ)
- การบำบัดน้ำ
- การรักษาปรสิตของปลา เช่น *Gyrodactylus salaris*
- งานก่อสร้าง (หน้าต่าง ประตู รางข้าง ลวด ฯลฯ)
- สินค้าสำหรับผู้บริโภคที่มีความคงทน (เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ครัว ฯลฯ)
- ไฟฟ้าไฟฟ้า (ชิ้นส่วนและลวดอลูมิเนียมมีความหนาแน่นน้อยกว่าทองแดง และราคาถูกกว่าด้วย แต่มีความต้านทานไฟฟ้ามากกว่าด้วย มีหลายพื้นที่ ที่ห้ามใช้ลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อลูมิเนียมสำหรับสายไฟตามบ้าน เนื่องจากความหนาแน่นสูงกว่าและขยายในความร้อนมากกว่า)

- เครื่องจักรกล
- แม่เหล็กที่ทำจากเหล็กกล้าเอ็มเคเอ็ม (MKM steel) แอลไนโก (Alnico) แม้ว่าตัวอลูมิเนียมเองจะใช้วัสดุแม่เหล็กก็ตาม
- อลูมิเนียมความบริสุทธิ์สูง (SPA ย่อจาก Super purity aluminium, 99.980% to 99.999% Al) ใช้ในอิเล็กทรอนิกส์และซีดี.
- อลูมิเนียมผง ใช้เป็นตัวเคลือบเงินในสี เกล็ดอลูมิเนียมมีอยู่ในสีพื้น เช่น สีเคลือบเนื้อไม้(primer) เมื่อแห้งเกล็ดจะซ้อนทับกันเป็นชั้นกันน้ำ
- อลูมิเนียมแอโนไดส์ (anodised) คงทนต่อการออกซิเดชันเพิ่มเติม และใช้ในการก่อสร้างในด้านต่าง ๆ รวมถึงการทำฮีตซิงก์ ด้วย
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่ต้องทำความเย็นของชิ้นส่วนภายใน (เช่น ทรานซิสเตอร์ ซีพียู- สารกึ่งตัวนำ โดยทั่วไป) มีฮีตซิงก์ที่ทำจากอลูมิเนียม เนื่องจากผลิตง่าย และนำความร้อนได้ดี ฮีตซิงก์ทองแดงเล็กกว่า แต่แพงกว่าและผลิตยากกว่าด้วย
- อลูมิเนียมออกไซด์ หรือ อลูมินา, พบในธรรมชาติในรูปของแร่กะรุน (ทับทิม และนิล), และใช้ในการผลิตกระจก ทับทิมและนิลสังเคราะห์ใช้ในเครื่องเลเซอร์ เพื่อผลิตแสงความถี่เดียว(coherent light)
- อลูมิเนียมออกไซด์ด้วยพลังงานสูง ทำให้ใช้ในเชื้อเพลิงแข็งสำหรับจรวด เฮอร์ไมต์(thermite) และสารประกอบอื่น ๆ สำหรับทำดอกไม้ไฟนอกจากนี้อลูมิเนียมยังเป็นตัวนำยิ่งยวด ที่อุณหภูมิวิกฤต 1.2 องศาเซลวิน



รูปที่ 2.2 ภาพตัวอย่างของอลูมิเนียม[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมบัติพื้นฐานของดีบุก(Tin:Sn)

ดีบุก หรือ ทิน(อังกฤษ: Tin) คือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 50 และสัญลักษณ์คือ Sn (มาจากคำในภาษาลาตินว่าStannum) ดีบุกเป็นโลหะทนต่อการกัดกร่อนและถูกออกซิไดซ์ในอากาศได้ดี พบในโลหะผสมหลายชนิด ดีบุกส่วนใหญ่สกัดได้จากแร่แคสสิเทอไรต์(cassiterite) แหล่งแร่ดีบุกจะพบได้ทั่วไปในบริเวณด้านตะวันตกของประเทศไทย ตั้งแต่เหนือจรดใต้และจัดเป็นส่วนหนึ่งของแนวแร่ดีบุกในเอเชียอาคเนย์ ซึ่งเริ่มจากทางตอนเหนือของพม่าผ่านไทยและมาเลเซียออกไปจนถึงอินโดนีเซีย สำหรับพื้นที่ศักยภาพทางแร่ดีบุกของประเทศไทย ดีบุกใช้ประโยชน์ในการทำโลหะผสม, เคลือบโลหะเพื่อบรรจุอาหาร, ทำโลหะพิวเตอร์, ทำชิ้นส่วนเครื่องบิน, ผสมกับเซอร์โคเนียมเพื่อใช้ทำภาชนะบรรจุเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู นอกจากนั้นสารประกอบของดีบุกสามารถนำมาใช้ในการผลิตแก้วเนื้อทึบเครื่องเคลือบ สิ่งทอ พลาสติก สีทาบ้าน[1]



รูปที่ 2.3 ภาพตัวอย่างของดีบุก[14]

2.4 สมบัติพื้นฐานของพลวง(Antimony;Sb)

แร่พลวงที่พบส่วนใหญ่เป็นแร่พลวงเงิน (Stibnite; $Sb_2 S_3$) และพลวงทอง (Stibnite; $Sb_2O_4 \cdot nH_2O$) แร่พลวงเงินมักพบเป็นแท่งเล็กเรียวยาวเข็ม หรือแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเม็ดเกาะกันเป็นก้อนมีสีเทาตะกั่วมีความวาวแบบโลหะตรงผิวที่บริสุทธิ์มักพบเกิดเป็นแท่งเล็กเรียวยาวเข็มเกาะรวมกันเป็นกระจุก โดยมีปลายข้างหนึ่งอยู่รวมกันคล้ายรัศมีดาวหรือพบเป็นแผ่นใบมีดซ้อนอยู่เป็นกลุ่ม มีสีผงละเอียดเป็นสีเทาตะกั่วความแข็ง 2 เล็บชูดได้ความถ่วงจำเพาะ 4.5 จับคูรูสึกมีน้ำหนักส่วนแร่พลวงทองนั้นเป็นแร่แปรสภาพมาจากแร่พลวงเงินมักพบเป็นลักษณะที่ผ่านกระบวนการผุมาแล้วมีสีออกสีเทาอ่อนเป็นสีเหลืองอ่อน สีน้ำตาลอ่อน หรือสีขาวคล้ำ มีลักษณะคล้ายหินผุแต่ยังเห็นร่องรอยลักษณะเป็นรูปร่างของแร่เดิมอยู่การตรวจสอบแร่พลวงเงินพิจารณาจากรูปร่างของแร่และลักษณะเด่นของแร่ คือสีของแร่และผงละเอียดเป็นสีเทาตะกั่ว เนื้อแร่อ่อนอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบแร่ได้ง่าย โดยลองเผาด้วยไม้ขีดไฟจะได้กลิ่นกำมะถันประโยชน์ของแร่พลวงเงินและพลวงทองคือเป็นสินแร่พลวงที่สำคัญเพื่อถลุงเอาโลหะพลวงไปใช้ในการทำโลหะผสมโดยผสมกับตะกั่วทำแผ่นกริดแบตเตอรี่ผสมตะกั่วและดีบุกในการทำตะกั่วตัวพิมพ์และโลหะบัดกรีบางชนิดใช้เป็น ส่วนประกอบของกระสุนปืน ใช้ในอุตสาหกรรมไม้ขีดไฟ ทำยาง ผ้าและผ้าทนไฟและอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบนอกจากนี้ยังใช้ในการหุ้มสายโทรศัพท์ สายไฟขนาดใหญ่ ทำหมึกพิมพ์โรเนียวและยังใช้ในทางการแพทย์อีกด้วย[13]



รูปที่ 2.4 ภาพตัวอย่างของพลวง[15]

2.5 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง

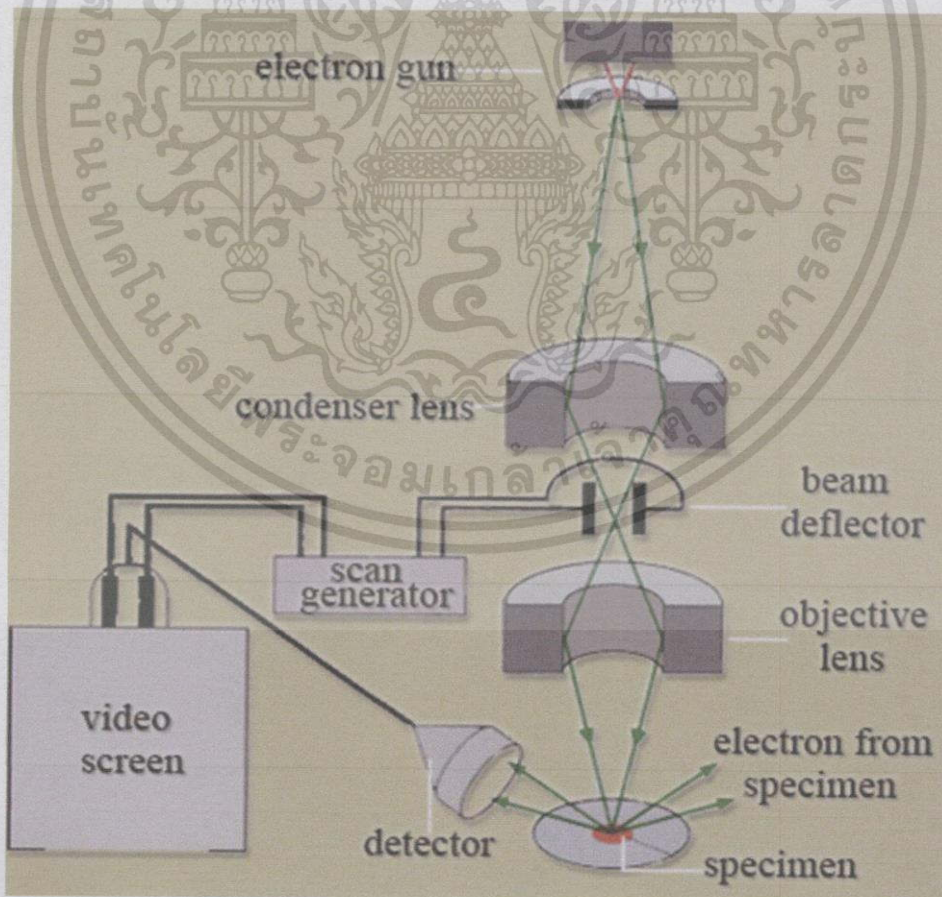
2.5.1 เครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง Transmission Electron Microscopy (TEM) (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 nm) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

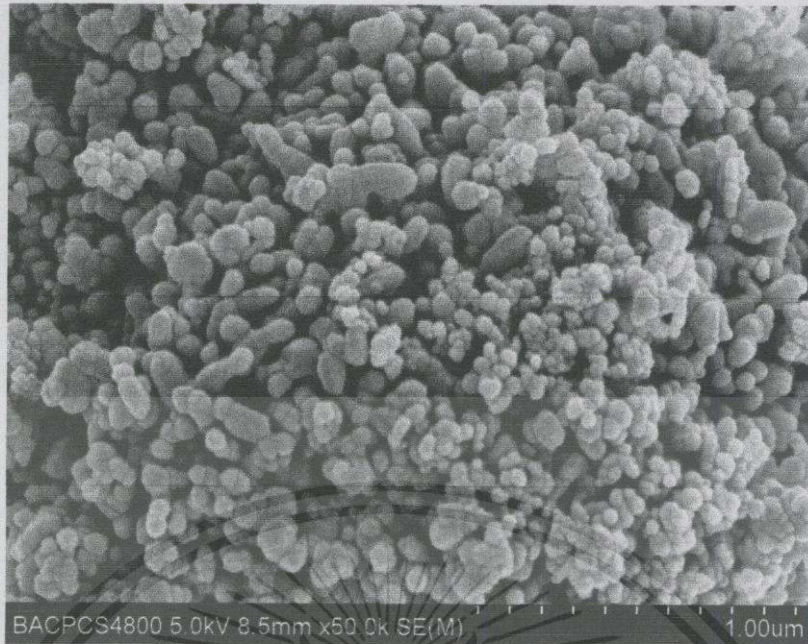
หลักการการทำงานของเครื่อง SEM ดังรูปที่ 2.5 จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอนซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษาหลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้โดย

ข้อดีของเครื่อง SEM เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง TEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ ในขณะที่ภาพจากเครื่อง TEM จะให้ภาพลักษณะ 2 มิติอีกทั้งวิธีการใช้งานเครื่อง SEM จะมีความรวดเร็วและใช้งานง่ายกว่าเครื่อง TEM มาก



รูปที่ 2.5 แสดงหลักการการทำงานของเครื่อง SEM[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM[19]

2.5.2 เครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในการศึกษาวัสดุกันอย่างกว้างขวางเพื่อวัตถุประสงค์หลายๆประการแตกต่างกันเช่นใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพหาองค์ประกอบซึ่งเป็นผลึกที่มีอยู่ในสารตัวอย่างใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณหาสัดส่วน โดยน้ำหนักขององค์ประกอบซึ่งเป็นผลึกที่มีอยู่ในสารตัวอย่างใช้ในการวิเคราะห์หาค่าคงที่แลตทิซและชนิดของแลตทิซของสารตัวอย่างใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งของอะตอมในเซลล์หน่วย โดยละเอียดใช้ในการวัดความเค้นสารตัวอย่างเช่นฟิล์มบางและใช้ในการหาขนาดของเม็ดผลึกผงเทคนิคการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์มี 3 แบบหลักๆคือวิธีของเลออี (Laue method) วิธีผลึกหมุน (Rotating crystal method) และวิธีผลึกผง (Powder method) ความแตกต่างของแต่ละวิธีขึ้นอยู่กับว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือควบคุมตัวแปรต่างๆในสมการของเบรกก์อย่างไรซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2.2 การวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ด้วยผลึกผงเป็นวิธีที่ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันเฉพาะรายละเอียดของวิธีนี้เท่านั้นที่จะกล่าวถึงต่อไป

ตารางที่ 2.2 เทคนิคการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

วิธีการวัด	ความยาวคลื่น	มุมของการเลี้ยวเบน
วิธีของเลออี	แปรค่า	คงที่
วิธีผลึกหมุน	คงที่	แปรค่า
วิธีผลึกผง	คงที่	แปรค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

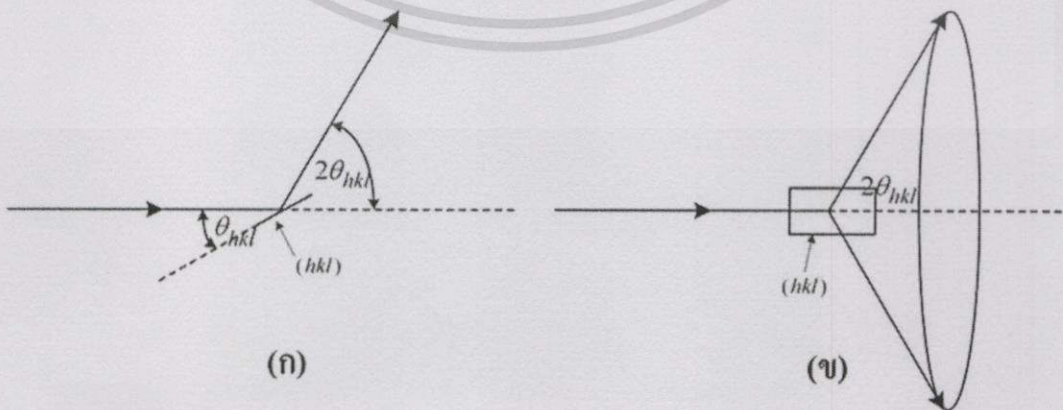
1. นิยามผลึกผง

ผลึกผงประกอบด้วยเม็ดผลึกขนาดเล็กวางตัวแบบสุ่ม (random orientation) อาจได้จากการบดก้อนสารที่เป็นผลึกเดี่ยว (single crystalline bulk specimen) หรือก้อนสารแบบผลึกพหุ (Polycrystalline bulk specimen) ให้เป็นผงละเอียด โดยแต่ละเม็ดของผลึกผงอาจมีขนาดตั้งแต่ 0.1-100 ผลึกผงที่ได้จากการบดก้อนสารแบบผลึกเดี่ยวจะได้เม็ดผลึกผงแต่ละเม็ดเป็นผลึกเดี่ยว ส่วนผลึกผงที่ได้จากการบดก้อนสารแบบผลึกพหุอาจประกอบด้วยเม็ดผลึกขนาดเล็กที่เป็นผลึกเดี่ยวหรือผลึกพหุก็ได้ ขึ้นอยู่กับความละเอียดในการบดย่อย นอกจากนี้ผลึกผงอาจได้จากการระเหิดสังเคราะห์โดยตรงก็ได้

2. ลักษณะการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากผลึกผง

เมื่อยิงรังสีเอ็กซ์ไปตกกระทบสารตัวอย่างชนิดผลึกผงจากลักษณะการวางตัวแบบสุ่มของเม็ดผลึกผงจะทำให้มีเม็ดผลึกจำนวนหนึ่งที่วางตัวในทิศทางที่ทำให้ระนาบ (hkl) ที่สนใจเข้าเงื่อนไขของแบรกก์เสมอ นั่นคือเราจะมีโอกาสพบการเลี้ยวเบนจากระนาบ (hkl) เสมอโดยไม่ต้องหมุนตัวอย่าง

สมมุติมีเม็ดผลึกผงจำนวนหนึ่งที่วางตัวในทิศที่ทำให้ระนาบ (hkl) ทำมุม θ_{hkl} กับรังสีเอ็กซ์ตกกระทบเมื่อ θ_{hkl} เป็นมุมแบรกก์สำหรับระนาบ (hkl) เราจะพบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากระนาบ (hkl) ในทิศ $2\theta_{hkl}$ ดังรูปที่ 2.7(ก) จากนั้นสมมุติว่าทำการหมุนระนาบ (hkl) รอบแกนของแนวรังสีเอ็กซ์ตกกระทบโดยที่รักษาให้มุม $2\theta_{hkl}$ คงที่ จะได้รังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบนจากระนาบ (hkl) พุ่งตามแนววงนศิวกรวยซึ่งมีขนาดมุมยอดเท่ากับ $4\theta_{hkl}$ และมีแนวรังสีเอ็กซ์ตกกระทบเป็นแกนของกรวยดังภาพที่ 2.7(ข) จริงๆแล้วการเรียงตัวแบบสุ่มของเม็ดผลึกผงจะให้ผลเทียบเท่ากับการหมุนระนาบในลักษณะดังกล่าวนี้ โดยที่ไม่ต้องหมุนตัวอย่างตั้งนั้นสารตัวอย่างแบบผลึกผงจึงให้รังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบนจากระนาบ (hkl) ใดๆตามแนววงนศิวกรวยซึ่งมีขนาดมุมยอดเท่ากับ $4\theta_{hkl}$ และมีแนวรังสีเอ็กซ์ตกกระทบเป็นแกนของกรวย



รูปที่ 2.7 กรวยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากสารตัวอย่างชนิดผลึกผง[20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน
 β คือ ค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบน (Full Width at Half -Maximum of diffraction peak: FWHM)
 λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

คำนวณหา Crystallite size จากสมการ " Bragg 's Law "

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.2)$$

- เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ
 n คือ อันดับการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...
 λ คือ ความยาวคลื่น
 θ คือ มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ

คำนวณหา Micro strain (ϵ) ได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (2.3)$$

- เมื่อ ϵ คือ Micro stain
 θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน
 β คือ ค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบน (Full Width at Half-Maximum of diffraction peak: FWHM)

2.6 การวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้า

การวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้า ใช้โอห์มมิเตอร์วัด เพื่อหาค่าความต้านทาน (R) ทางไฟฟ้าของสารตัวอย่าง แล้วนำค่าความต้านทานที่ได้มาแทนค่าในสมการ

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2.4)$$

- เมื่อ ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า
 R คือ ค่าความต้านทาน (Ω) ที่วัดได้จากเม็ดสารตัวอย่าง
 A คือ พื้นที่ของเม็ดสารตัวอย่าง ($A = \pi r^2$)
 L คือ ความหนาของเม็ดสาร (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในปัจจุบันการเตรียม ZnO โดยกระบวนการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากนักวิจัยโครงการพิเศษนี้จึงเลือกใช้กระบวนการตกตะกอนร่วมนำมาใช้ในการเตรียมสารซึ่งคือออกไซด์จากสารตั้งต้นซิงค์คลอไรด์ ทินเตตระคลอไรด์ อลูมิเนียมคลอไรด์ และแอนติโมนีคลอไรด์ โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งการตกตะกอน กระบวนการนี้เป็นวิธีที่ง่าย คือ ไม่ต้องทำในระบบสุญญากาศ ทำในอุณหภูมิห้อง สามารถควบคุมปริมาณสารเชื่อได้ ปัจจุบันมีการนำซิงค์ออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในงานได้หลากหลาย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำปลอดประจุ (Deionized Water:DI)
2. ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
3. ทินเตตระคลอไรด์ ($SnCl_4$)
4. อลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$)
5. แอนติโมนีคลอไรด์ ($SbCl_3$)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
7. Acetyl-Acetone
8. Absolute Ethanol 99%
9. กาวเงิน (Silver paint)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว
2. เครื่องชั่งสาร (3 ตำแหน่ง)
3. แท่งแม่เหล็กปั่นกวน
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กให้ความร้อน
6. กระดาษตรวจสอบความเป็นกรด-เบส
7. กระดาษกรองสาร (ขนาด 5 ไมครอน)
8. โอห์มมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำให้เกิดการตกตะกอน โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5M/L (100g/500ml) ในน้ำปลอดประจุ (DI) ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายเป็นเวลาประมาณ 10 นาที เพื่อให้สารละลายแตกตัวได้ดีขึ้น

3.3.2 การเตรียมสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก, อลูมิเนียม, แอนติโมนีและขั้นตอนการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม

ทำการเตรียมสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุกซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมและซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนีเพื่อนำไปสังเคราะห์ด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วมที่เตรียมจากซิงค์คลอไรด์และทินเตตระคลอไรด์ อลูมิเนียม และแอนติโมนีเป็นสารตั้งต้น ที่ปริมาณการเจือดีบุก 1% 3% 5% และ 10% โดยมีขั้นตอนการเตรียมสารดังนี้

1. เตรียมน้ำปลอดประจุปริมาณ 200 ml ในบีกเกอร์
2. ชั่งสาร ผงซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 M
3. ชั่งสารทินเตตระคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 M ในอัตราส่วนการเจือดีบุก 1% 3% 5% และ 10% ตามปริมาณ ดังตารางที่ 3.1
4. นำสารตั้งต้นที่ได้จากการเตรียมในข้อ 2. และข้อ 3. ละลายในน้ำปลอดประจุที่เตรียมไว้ในข้อ 1.
5. นำสารละลายที่ได้ ไปปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
6. จากนั้นทำการหยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ ครั้งละ 5 ml อย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 2 นาที ทำการหยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปเรื่อยๆ จะเกิดการแยกชั้นเป็นตะกอนสีขาว
7. ตรวจวัดค่าความเป็นเบส ด้วยกระดาษตรวจสอบความเป็นกรด-เบสจนได้ pH เท่ากับ 14
8. นำสารละลายที่ตกตะกอนแล้วไปล้างด้วยน้ำปลอดประจุจนให้สารละลายมีค่า pH เท่ากับ 7
9. นำไปล้างด้วยเอทานอล 95%
10. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองสารจะได้ตะกอนสีขาว
11. นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
12. เตรียมสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม และซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนี เหมือนกับการเตรียมสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก ข้อ 1. ถึงข้อ 11. แต่ในการเตรียม

สารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนีนี้นั้นจะใช้ Absolute Ethanol แทนน้ำปลอดประจุในการทำลายตัวสารแอนติโมนี และจะใช้ Acetyl-Acetone 10 ml ช่วยในการละลายแอนติโมนีอีกด้วย

ตารางที่ 3.1 ปริมาณการเตรียมซิงค์คลอไรด์ทินเตตะคลอไรด์ อลูมิเนียมคลอไรด์ และแอนติโมนีคลอไรด์ที่ละลายในน้ำปลอดประจุ 200 ml

ปริมาณการเจือ ซิงค์คลอไรด์: สารที่ เจือ (wt%)	ซิงค์คลอไรด์ (g)	ทินเตตะคลอ ไรด์ (g)	อลูมิเนียมคลอ ไรด์ (g)	แอนติโมนีคลอ ไรด์ (g)
100% : 0%	13.628	-	-	-
99% : 1%	13.498	0.351	0.241	0.228
97% : 3%	13.219	1.052	0.724	0.684
95% : 5%	12.947	1.753	1.207	1.141
90% : 10%	12.265	3.506	2.414	2.281

3.3.3 ขั้นตอนการอัดเม็ดสารเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้า

1. ทำการชั่งสารตัวอย่างที่จะนำมาอัดเม็ด 0.4 g (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ด 1 cm ความหนาของเม็ดสาร 2 mm)
2. นำสารที่ชั่งแล้วมาบดให้ละเอียดอีกครั้ง ผสม PVA 5% ลงไป 2 หยด เพื่อช่วยในการยึดติดกันของอนุภาคสารขณะอัดเม็ด บดประมาณ 15 นาที หรือจนกว่า PVA 5% จะแห้ง
3. นำสารที่บดแล้วมาเทลงบนลือกอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm เคลือบสารให้ทั่ว บดลือกอัดสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดสารแตกหรือร้าว
4. เมื่อนำสารใส่บดลือกอัดแล้ว นำไปอัดโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกโดยจะใช้แรงอัด 2 ช่วง ในการอัดเม็ด คือ ช่วงแรกจะใช้แรงในการอัดเม็ด 2 ตัน เป็นเวลา 2 นาที แล้วให้เพิ่มแรงในการอัดช่วงที่สองเป็น 2.6 ตัน เป็นเวลา 2 นาที
5. เมื่อครบตามเวลา นำเม็ดสารออกจากบดลือกอัด ตรวจสอบรอยร้าวบนเม็ดสารถ้าหากมีรอยร้าวบนเม็ดสาร ให้นำมาบดแล้วอัดใหม่

3.3.4 ขั้นตอนการเผาสารเพื่อวิเคราะห์ผล

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ผล เราจะแบ่งการเผาเพื่อวิเคราะห์ผลเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ใช้สารตัวอย่างที่เป็นผงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เพื่อจะนำไปวิเคราะห์ผลลักษณะทางโครงสร้างโดยใช้เครื่อง XRD และวิเคราะห์ผลลักษณะทางพื้นผิวโดยใช้เครื่อง SEM และในส่วนที่ 2 จะใช้สารตัวอย่างที่เป็นแบบเม็ดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.1 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

ในงานวิจัยนี้เราตรวจสอบโครงสร้างของผงตะกอนโดยระบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่อง XRD รุ่น D8 ของบริษัท Bruker ซึ่งใช้ $\text{Cu } k_\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นรังสีเอ็กซ์และมีความยาวคลื่น 1.5046 อังสตรอม จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและมุมเลี้ยวเบนสามารถนำมาคำนวณหา

1. ขนาดของโครงสร้างผลึก จากสมการ (2.1)
2. หาค่า d-spacing จากสมการ (2.2)
3. คำนวณ Micro strain(ϵ) ได้จากสมการ (2.2)



รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)[21]

3.4.2 การวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (SEM)

การวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวเป็นการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่าง ได้จากการบังคับอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิวแล้วแสดงผลบนจอ Cathode Ray Tube (CRT) มีลักษณะของภาพเป็นภาพขาวดำ มีกำลังขยาย 10-300,000 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง หลักการทำงานคือ อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสารตัวอย่าง ทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron: SE) และจับสัญญาณโดยการตรวจจับสัญญาณ (Detector) นำสัญญาณที่ได้ไปขยายและสร้างภาพบนจอ ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวของผงอนุภาคนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV และ Link ISIS Series 300

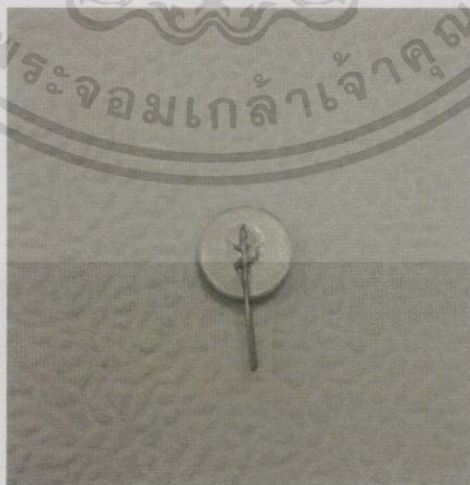
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (SEM)[1]

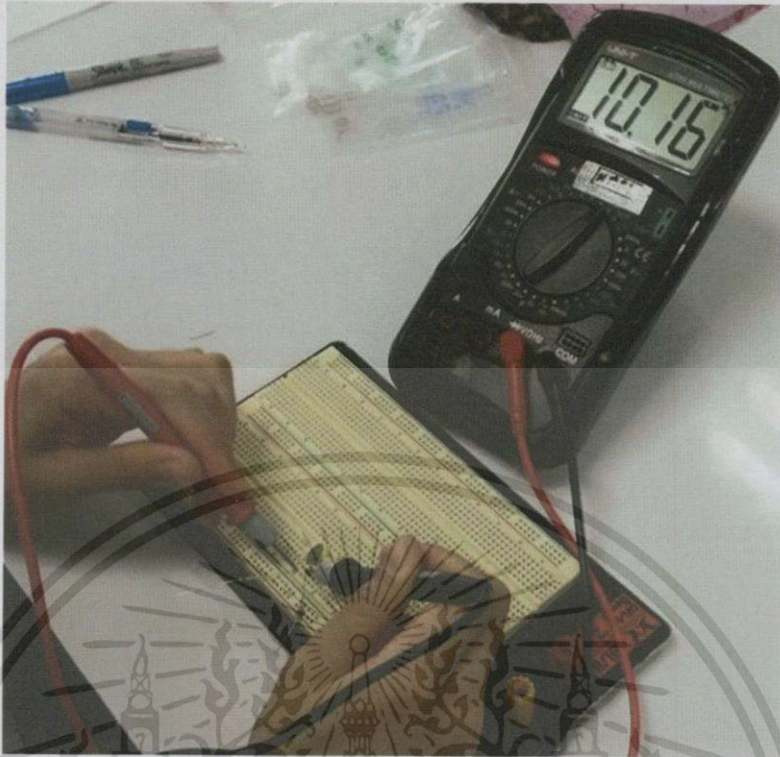
3.4.3 การวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้าด้วยการใช้โอห์มมิเตอร์

1. นำสารตัวอย่างที่อัดเม็ดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เสร็จแล้วนั้น มาทาคั้วกาวเงิน ให้ทั่วพื้นที่ผิวหน้าทั้งสองด้านของเม็ดสาร โดยระวังไม่ให้กาวเงินทั้งสองด้านที่ทาไปนั้นสัมผัสกัน
2. นำเส้นลวดมาติดกับพื้นผิวทั้งสองด้านเพื่อทำเป็นขั้วให้กับเม็ดสาร
3. นำโอห์มมิเตอร์มาวัด โดยใช้วัดที่ขั้วทั้งสองข้างได้เลย อ่านค่าความต้านทานที่ได้จากโอห์มมิเตอร์
4. นำค่าความต้านทานที่ได้ ไปคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) โดยใช้สมการ (2.1)



รูปที่ 3.3 การเตรียมเม็ดสารด้วยการเคลือบกาวเงินทั้งสองด้าน
แล้วนำลวดมาติด เพื่อทำขั้วให้เม็ดสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงวิธีวัดค่าความต้านทานโดยใช้โอห์มมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและอภิปราย

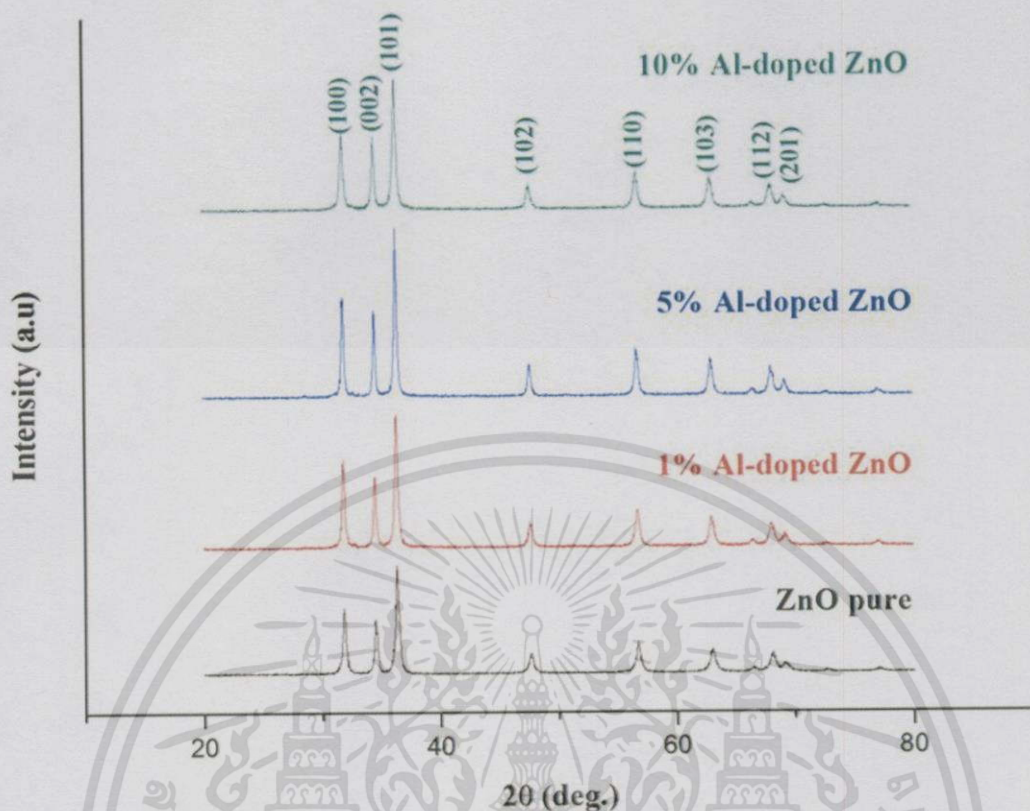
4.1 การด้วยวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

4.1.1. ผลการทดลองซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมที่เปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม 0% 1% 5% และ 10% โดยอุณหภูมิที่ใช้เผาเพื่อศึกษาผลกระทบของการเจือคือ 550 °C จากรูปที่ 4.1 พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตำแหน่ง $2\theta = 31.715^\circ$ 34.408° และ 36.250° ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบ (100) (002) และ (101) ของโครงสร้างซิงค์ออกไซด์แบบ Hexagonal Wurtzite แสดงให้เห็นว่าอลูมิเนียมได้กระจายเข้าไปในโครงสร้างในรูปแบบสารละลายของแข็ง โดยไม่ทำให้โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์เปลี่ยนแปลงไปและพบการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนเมื่อปริมาณการเจืออลูมิเนียมเพิ่มขึ้นความเข้มของสัญญาณการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง $2\theta = 31.715^\circ$ 34.408° และ 36.250° จะลดลงแต่ตำแหน่งสัญญาณการเลี้ยวเบนยังคงเป็นของซิงค์ออกไซด์อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของรัศมีไอออนโดยรัศมีไอออนของ $Al^{3+} = (0.053 \text{ nm})$ และ $Zn^{2+} = (0.074 \text{ nm})$ เนื่องจากรัศมีไอออนของ Al^{3+} มีขนาดเล็กกว่ารัศมีไอออนของ Zn^{2+} เมื่อไอออน Al^{3+} เข้าไปแทรก (Interstitial) ในโครงสร้างซิงค์ออกไซด์จึงมีผลต่อการหดตัวของโครงสร้าง [2-4] หรืออาจจะเกิดจากการก่อตัวของ Al_2O_3 แบบอสัณฐาน (Amorphous phase) ซึ่งขัดขวางการเกิดผลึกของซิงค์ออกไซด์ได้เช่นกัน

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียม 0% 1% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550 °C สามารถคำนวณหา Crystallite size จากสมการ Scherrer's equation และหาระยะห่างระนาบ (d-spacing) จาก "Bragg's Law" และคำนวณค่า Micro strain ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 4.1 และเมื่อนำค่า Crystallite size ที่คำนวณได้กับค่า Micro strain มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.2 พบว่า Crystallite size มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเจือถึง 5% หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเจือที่ 10% ขณะที่ค่า Micro strain มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงข้าม ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่เจืออลูมิเนียมในปริมาณที่ไม่มากนัก (< 5%) ไอออนของ Al^{3+} สามารถเข้าแทรกในโครงร่างผลึกของซิงค์ออกไซด์ แต่เมื่อปริมาณการเจือเพิ่มขึ้นเกินค่าจำกัดค่าหนึ่ง ไอออนของอลูมิเนียมสามารถที่จะจับกับออกซิเจนแล้วเกิดเป็น Al_2O_3 แบบอสัณฐาน (Amorphous phase) ซึ่งขัดขวางการเกิดผลึกของซิงค์ออกไซด์ทำให้ขนาดผลึกของซิงค์ออกไซด์ลดลง และขนาดผลึกที่เปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งการเกิดเฟสของ Al_2O_3 ขึ้นอาจส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างของขนาดโครงร่างผลึกระหว่างเฟสทั้งสองทำให้ค่า microstrain เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

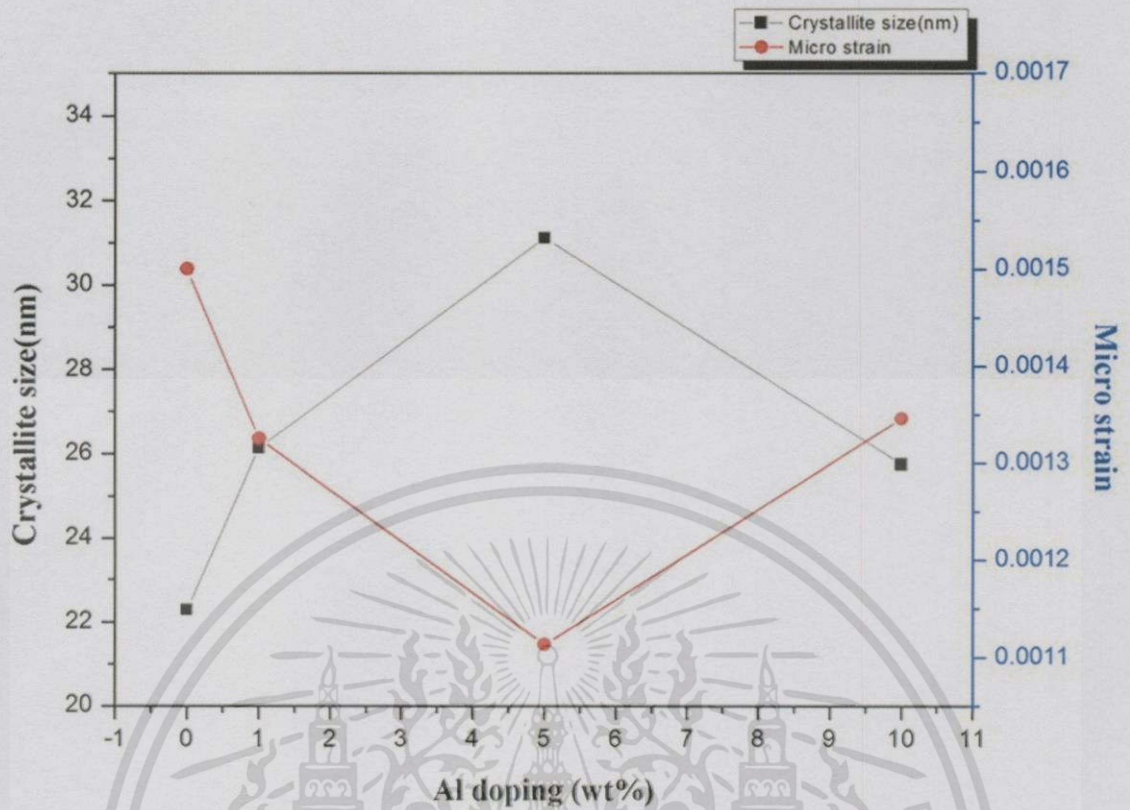


รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม 0% 1% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550°C

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณผล XRD

Al Doping (wt.%)	FWHM (Radian)	Crystallite size (nm)	d-spacing (Å)	Micro strain (ϵ)
0%	0.0065	22.29	4.83	0.0015
1%	0.0056	26.13	4.84	0.0013
5%	0.0047	31.13	4.83	0.0011
10%	0.0057	25.75	4.83	0.0014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



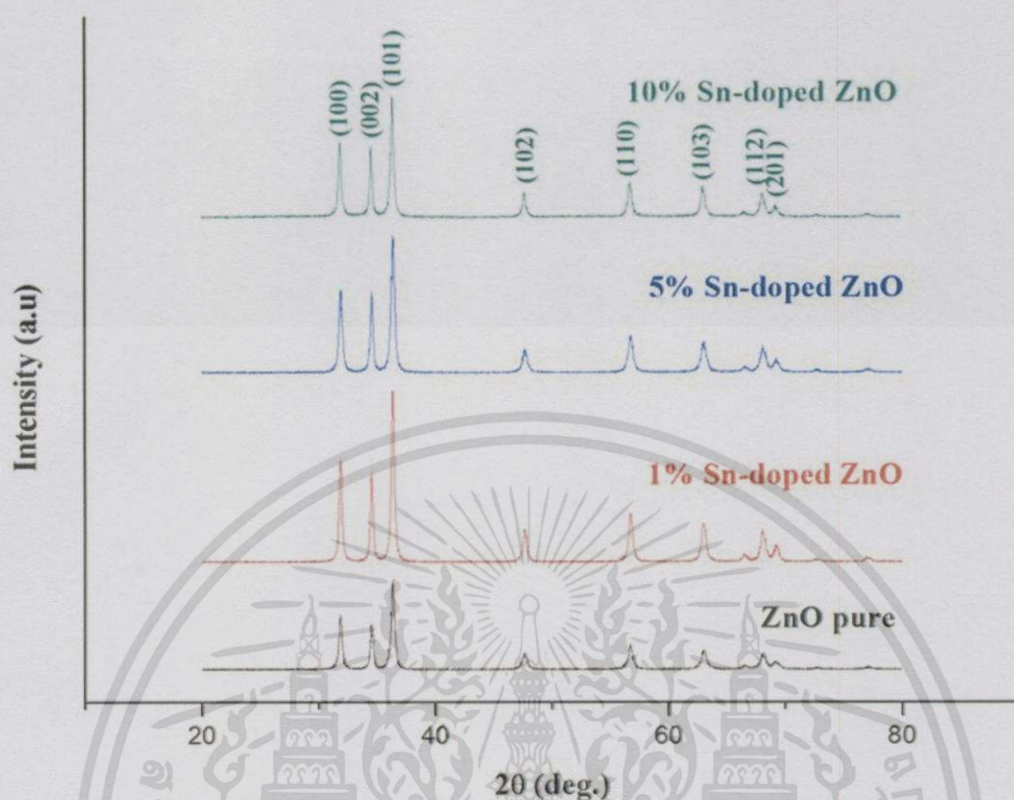
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Crystallite size (nm) และ Micro strain กับ % Al doped ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม 0% 1% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550 °C

4.1.2. ผลการทดลองซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุกภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุกที่เปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก 0% 1% 5% และ 10% โดยอุณหภูมิที่ใช้เผาเพื่อศึกษาผลกระทบของการเจือดีบุกคือ 550 °C จากรูปที่ 4.3 พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตำแหน่ง $2\theta = 31.715^\circ$, 34.408° และ 36.250° สัมพันธ์กับระนาบ (100) (002) และ (101) เป็นระนาบของโครงสร้างซิงค์ออกไซด์ซึ่งให้เห็นการเข้าไปอยู่ของดีบุกภายในซิงค์ออกไซด์อย่างสมบูรณ์ โดยดีบุกเข้าไปแทนที่บริเวณซิงค์ไอออนและพบการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนเมื่อปริมาณการเจือดีบุกเพิ่มขึ้นความเข้มของสัญญาณการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง $2\theta = 31.715^\circ$, 34.408° และ 36.250°

จะลดลงแต่ตำแหน่งสัญญาณการเลี้ยวเบนยังคงเป็นของซิงค์ออกไซด์แสดงว่าการเจือปนไม่ได้ทำให้โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์เปลี่ยนแปลงแต่ติบูกอาจเข้าไปแทนที่(Substitutional)ในบางตำแหน่งของซิงค์ออกไซด์เนื่องจากรัศมีไอออนของ Sn^{4+} (0.069 nm) มีขนาดใกล้เคียงกับ Zn^{2+} (0.074 nm) จึงไปขัดขวางการก่อตัวเป็นผลึกของซิงค์ออกไซด์ [1][5-7]

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยติบูก 0% 1% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550 °C สามารถคำนวณหา Crystallite size จากสมการ Scherrer's equation และหาระยะห่างระนาบ(d-spacing)จาก "Bragg 's Law " และคำนวณค่า Micro strain ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 4.2 และเมื่อนำค่า Crystallite size ที่คำนวณได้กับค่า Micro strain มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.4 พบว่า Crystallite size และ Micro strain มีค่าไม่คงที่ โดยค่าขนาดของผลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 21-25 nm และค่า micro strain มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0014-0.0016 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวอาจเกิดเนื่องจากการเมื่อมีการเจือ Sn ในปริมาณที่น้อยไอออน Sn^{4+} สามารถเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งอะตอมของ Zn^{2+} ทำให้ขนาดของผลึกมีค่าลดลงจาก 24.8 nm เหลือ 21.5 nm เมื่อปริมาณการเจือ Sn 5% แต่เมื่อปริมาณการเจือเพิ่มขึ้นถึง 10 % ไอออนของ Sn^{4+} ที่มีปริมาณมากพอและ Zn^{2+} สามารถเกิดเป็นสารประกอบใหม่ในรูปของ $ZnSn(OH)_6$ ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบลูกบาศก์ โดยการก่อตัวของ $ZnSn(OH)_6$ สามารถสังเกตเห็นได้จากภาพถ่าย SEM ซึ่งอยู่ในหัวข้อถัดไป การก่อตัวของสารประกอบเฟสใหม่ที่ผสมอยู่กับเฟสของ ZnO ทำให้ค่าขนาดผลึกของ ZnO มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ส่วนค่า Microstrain มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากขนาดไอออนของสารเจือมีค่าใกล้เคียงกับไอออนของ Zn^{2+} ทำให้เกิดการแทนที่ที่ดีในโครงสร้างผลึกของ ZnO

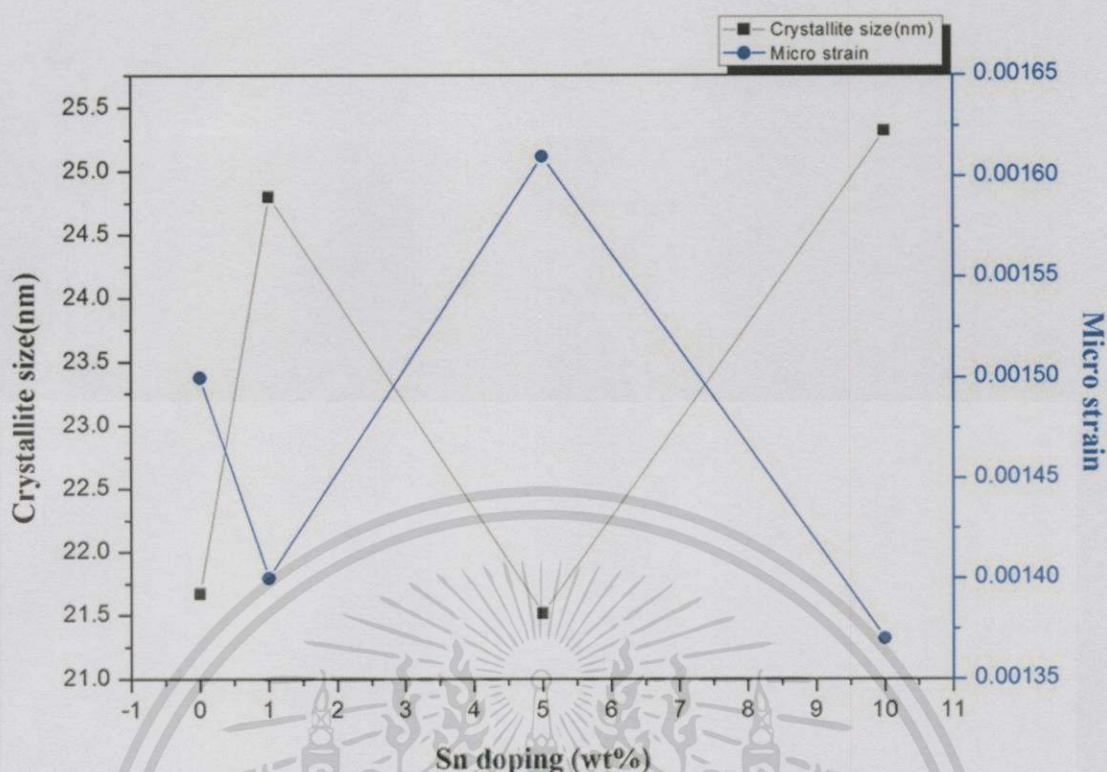


รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก 0% 1% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550°C

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณผลXRD

Sn Doping (wt.%)	FWHM (Radian)	Crystallite size (nm)	d-spacing (Å)	Micro strain (ϵ)
0%	0.0065	22.29	4.83	0.0015
1%	0.0059	24.80	4.83	0.0014
5%	0.0068	21.52	4.82	0.0016
10%	0.0058	25.32	4.83	0.0014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



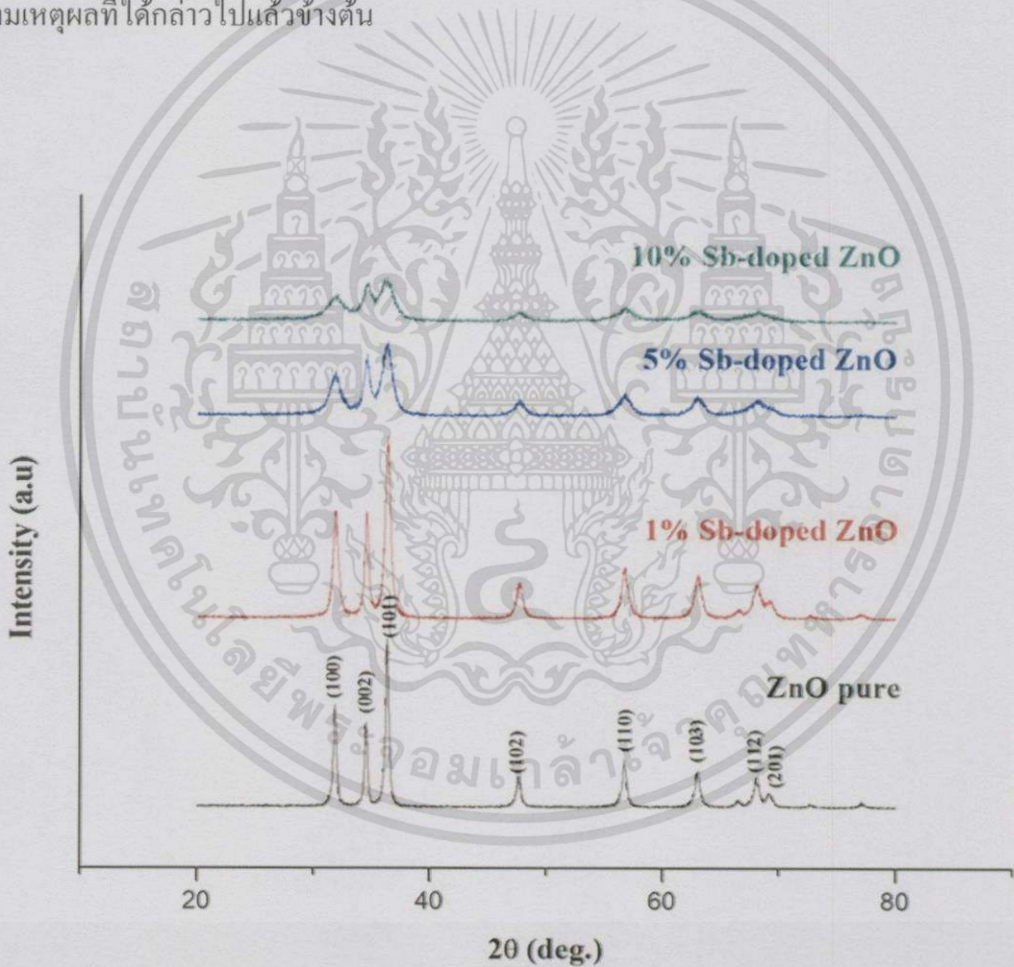
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Crystallite size(nm) และ Micro strain กับ % Sn doped ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก 0% 1% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550°C

4.1.3. ผลการทดลองซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนีภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนีที่เปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี 0% 1% 5% และ 10% โดยอุณหภูมิที่ใช้เผาเพื่อศึกษาผลกระทบของการเจือดีบุกคือ 550 °C จากรูปที่ 4.5 พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตำแหน่ง $2\theta = 31.715^\circ$ 34.408° และ 36.250° สัมพันธ์กับระนาบ (100) (002) และ (101) เป็นระนาบของโครงสร้างซิงค์ออกไซด์เช่นกัน เกิดจากการแทนที่กันระหว่างไอออนของแอนติโมนีกับซิงค์ โดยไอออนของแอนติโมนี (0.076 nm) จะเข้าไปแทนที่ตำแหน่งของซิงค์ (0.074 nm) จึงทำให้โครงสร้างซิงค์ออกไซด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนเมื่อปริมาณการเจือแอนติโมนีเพิ่มขึ้นความเข้มของสัญญาณการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง $2\theta = 31.715^\circ$ 34.408° และ 36.250° จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นถึงความเป็นผลึกของ ZnO ลดลง

ตามปริมาณการเจือ Sb ที่เพิ่มขึ้น แต่ตำแหน่งสัญญาณการเลี้ยวเบนยังคงเป็นของซิงค์ออกไซด์ อาจเกิดจากการเจือแอนติโมนีบางส่วนจับตัวกับออกซิเจนแล้วเกิดเป็นสารประกอบ Sb_2O_3 ในระหว่างขั้นตอนของการเผา ซึ่งส่งผลต่อการหน่วงการก่อผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่อุณหภูมิดังกล่าว [8-10]

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยแอนติโมนี 0% 1% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550 °C สามารถคำนวณหา Crystallite size จากสมการ Scherrer's equation และหาระยะห่างระนาบ(d-spacing)จาก " Bragg 's Law " และคำนวณหาค่า Micro strain ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 4.3 และเมื่อนำค่า Crystallite size ที่คำนวณได้กับค่า Micro strain มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.6 พบว่า Crystallite size ลดลงและค่า Micro strain มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

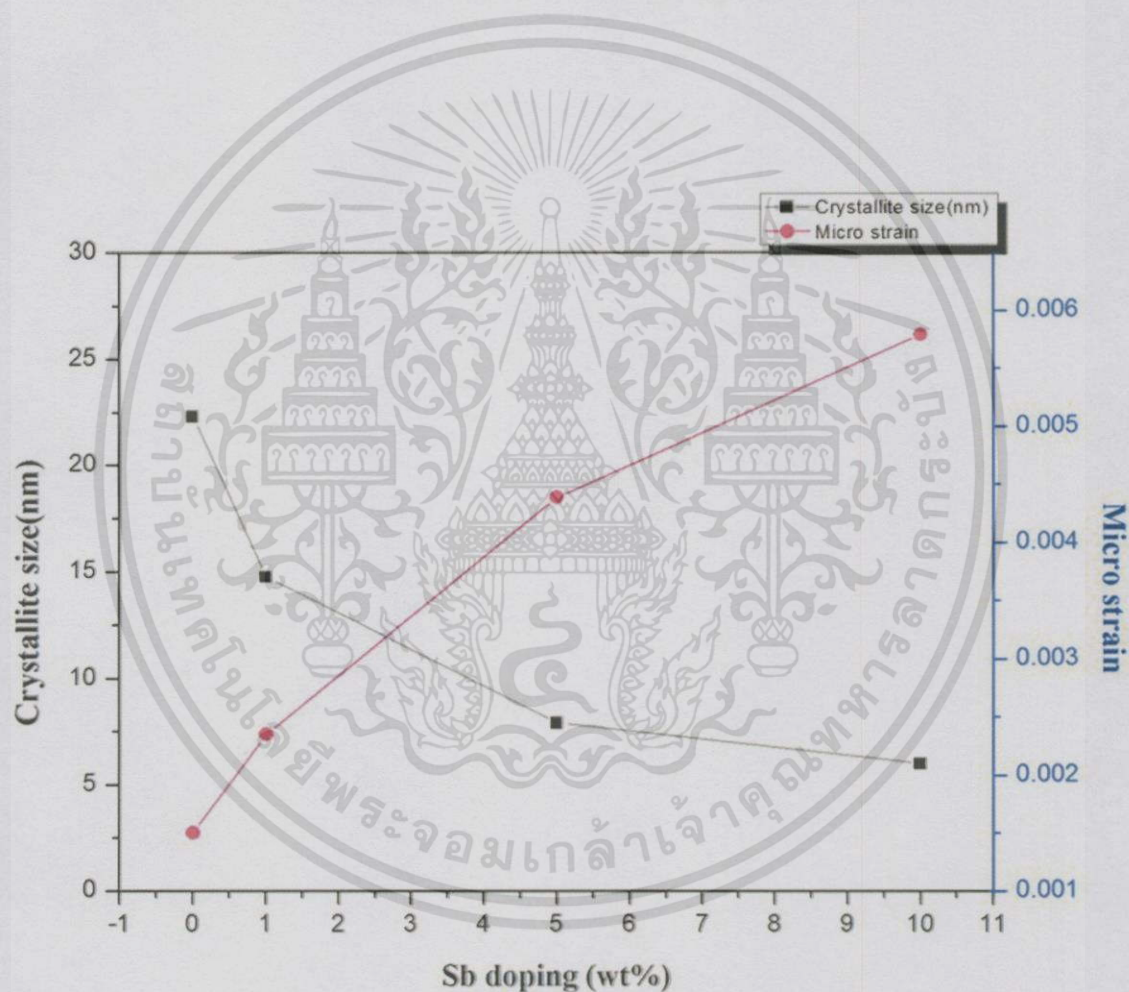


รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนี ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี 0% 1% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณผลXRD

SbDoping (wt.%)	FWHM (Radian)	Crystallite size (nm)	d-spacing (Å)	Micro strain (ϵ)
0%	0.0065	22.29	4.83	0.0015
1%	0.0099	14.76	4.83	0.0024
5%	0.0185	7.90	4.84	0.0044
10%	0.0244	5.99	4.85	0.0058



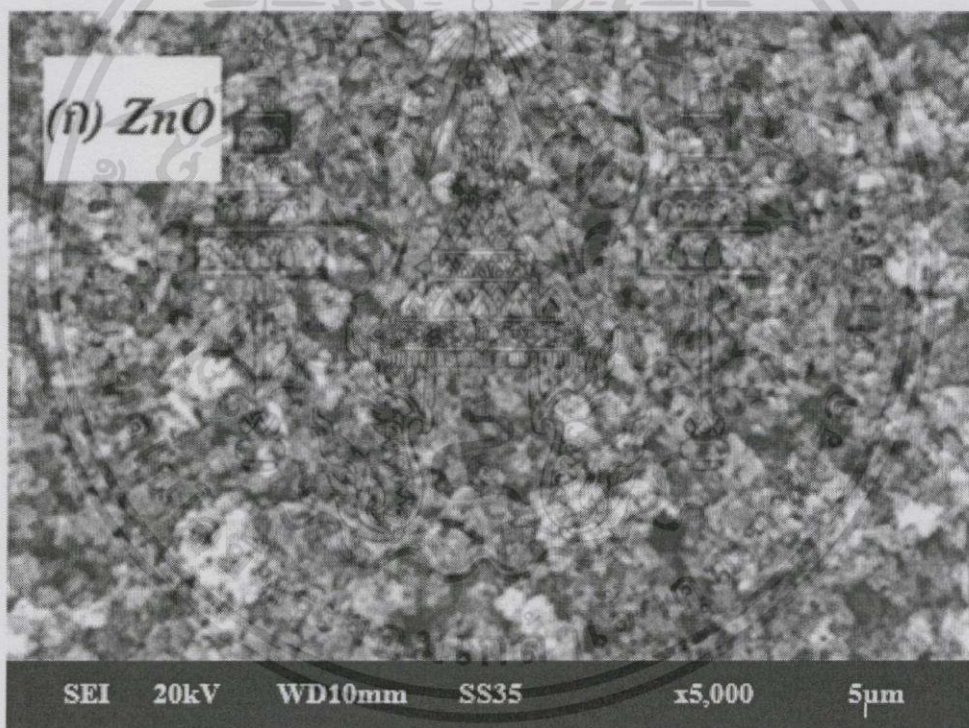
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Crystallite size(nm) และ Micro strain กับ% Sb doped ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี 0% 1% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

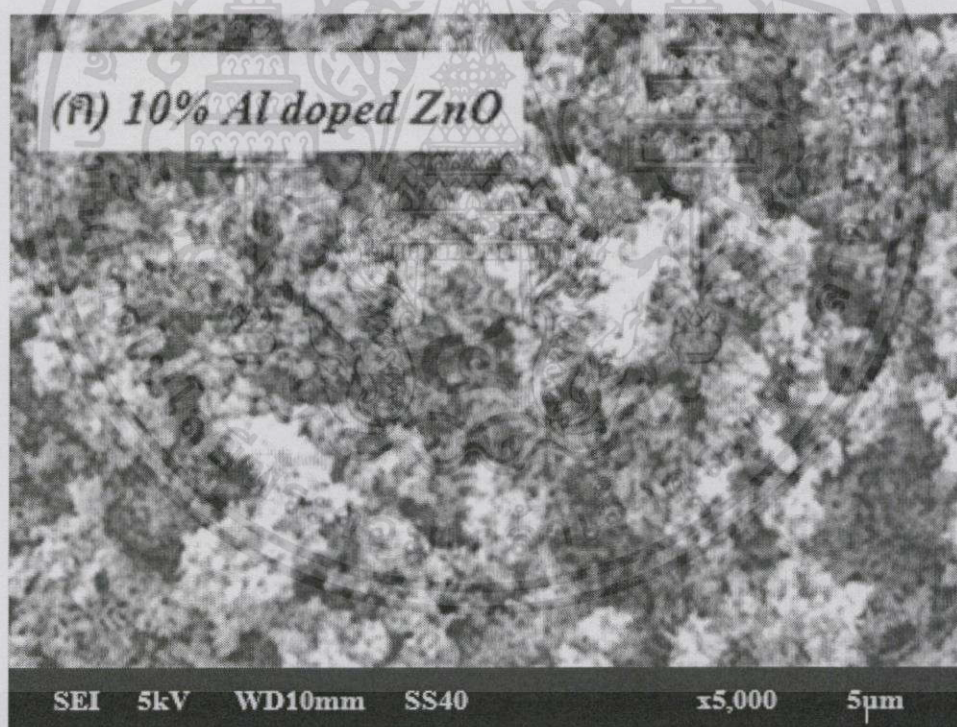
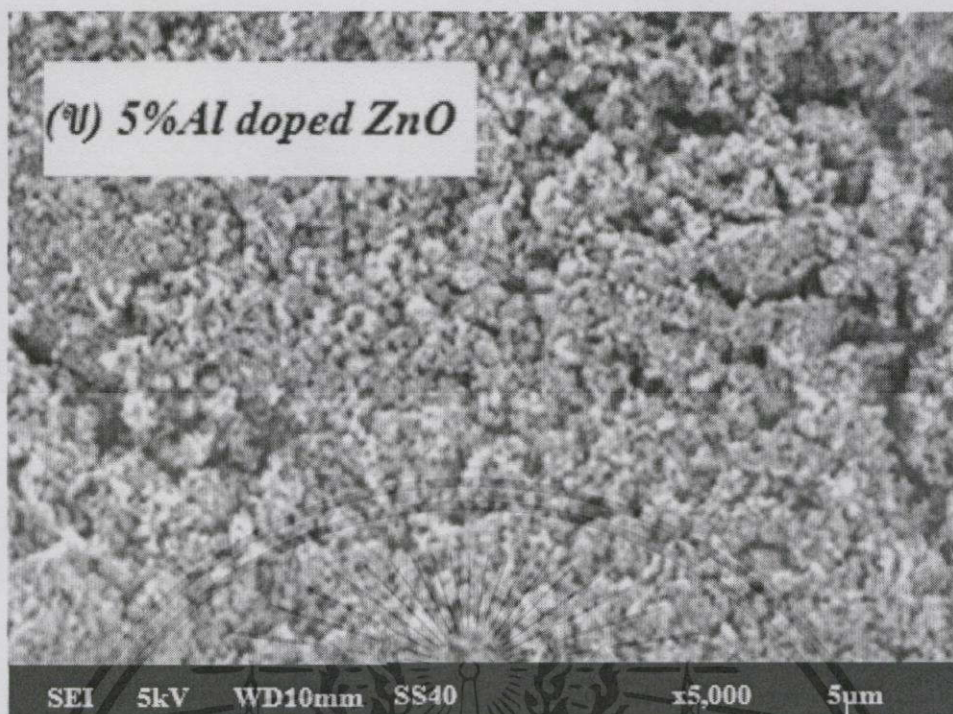
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด

4.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียม ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม 0% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550°C

สังเกตเห็นว่าพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่มีการเจือจะมีความหนาแน่นน้อยแต่จะเห็นเป็นเม็ดผลึกได้ชัดเจน เมื่อปริมาณการเจือเพิ่มขึ้นที่ 5% และ 10% พื้นผิวของซิงค์ออกไซด์จะมีความหนาแน่นมากขึ้น ผลึกจะมีขนาดเล็กลงจนไม่สามารถมองเห็นเป็นเม็ดผลึกได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาที่ 900°C จะเห็นความเป็นผลึกที่หนาแน่นชัดเจนมากขึ้น ขนาดของเม็ดผลึกที่เล็กลงเมื่อปริมาณการเจือเพิ่มขึ้นจะสอดคล้องกับผลของการวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (รูปที่ 4.1)

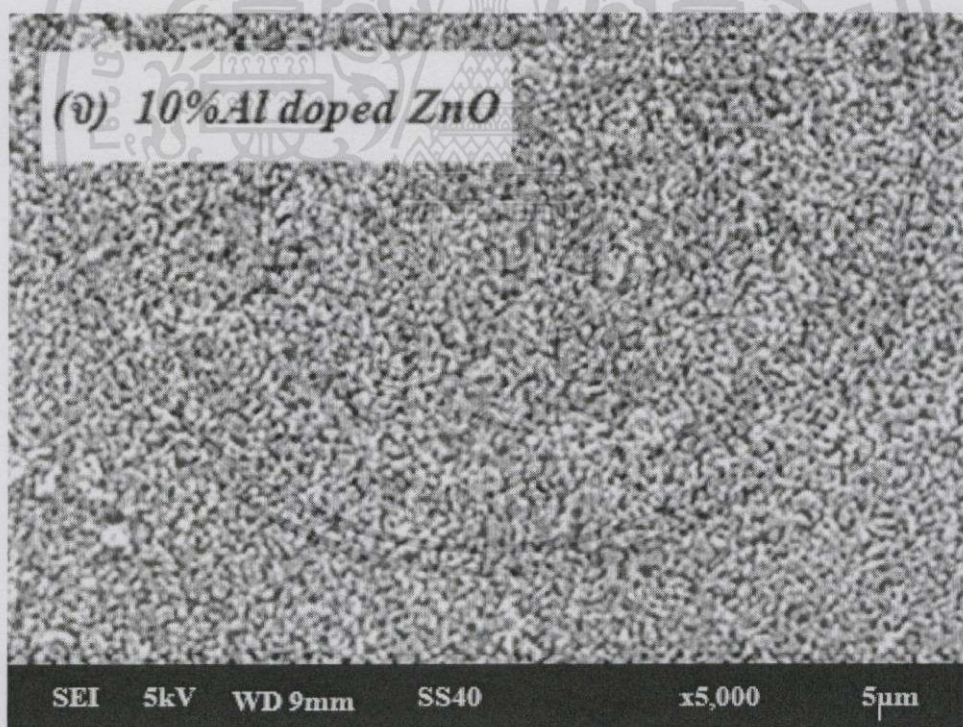
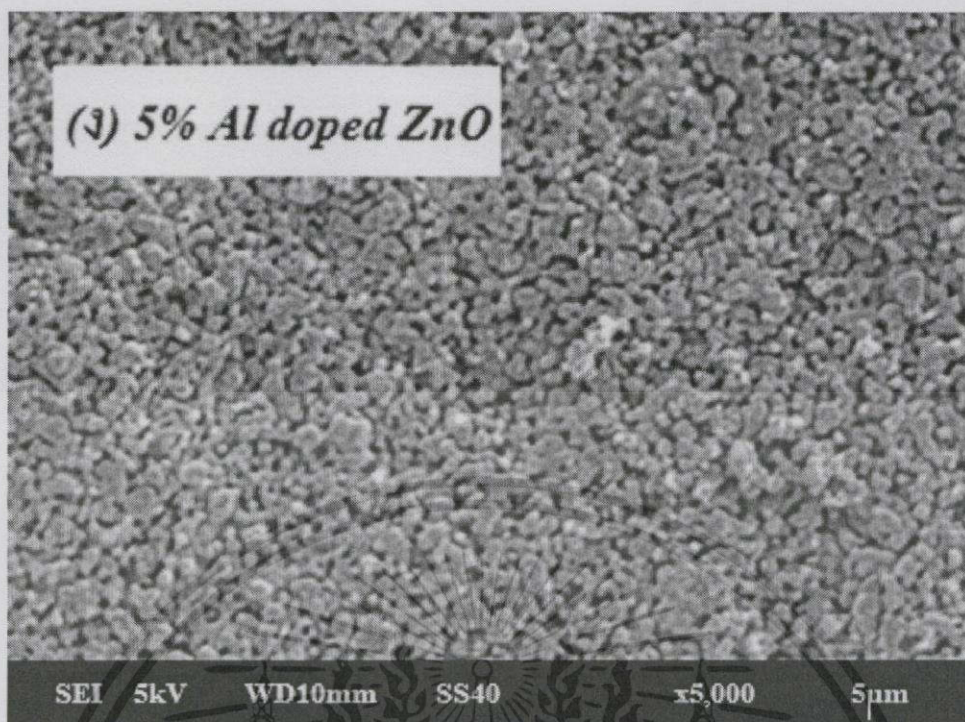


รูปที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม 0% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550°C (ก)ZnO (ข)5%Al doped ZnO (ค)10%Al doped ZnO และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง)5%Al doped ZnO (จ)10%Al doped ZnO



รูปที่ 4.7(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
 เลื่อนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือ
 อลูมิเนียม 0% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550 °C (ก) ZnO (ข) 5% Al doped ZnO (ค) 10% Al
 doped ZnO และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง) 5% Al doped ZnO (จ) 10% Al doped ZnO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

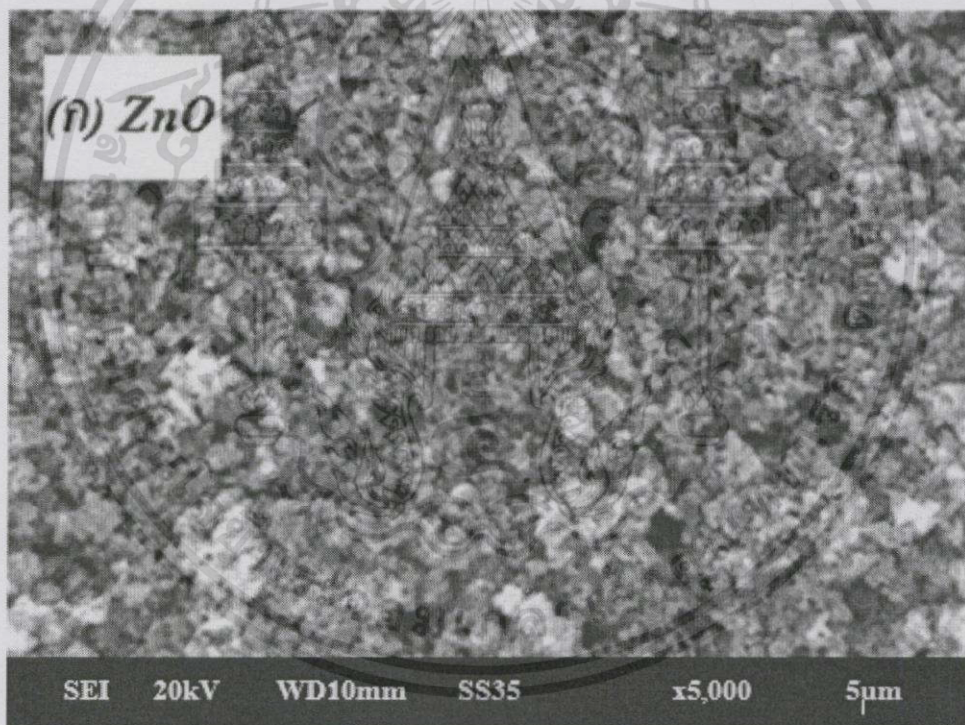


รูปที่4.7(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม 0% 5%และ10% หลังเผาที่อุณหภูมิ550°C (ก)ZnO (ข)5%Al doped ZnO (ค)10%Al doped ZnO และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง)5%Al doped ZnO (จ)10%Al doped ZnO

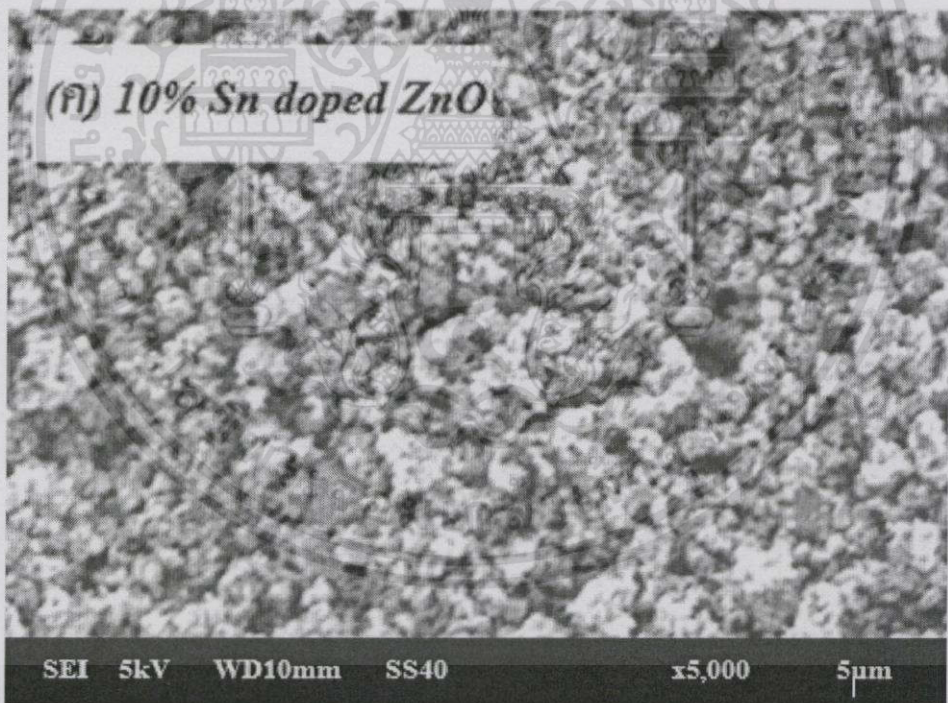
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยดีบุก ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก 0% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550 °C

สังเกตเห็นว่ามีลักษณะความเป็นผลึกของซิงค์ออกไซด์ลดลงหลังจากเจือดีบุก การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวเป็นไปทางเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (รูปที่ 4.3) จึงบ่งบอกว่าดีบุกเข้าไปขัดขวางการก่อตัวเป็นผลึกของซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเป็นผลึกของซิงค์ออกไซด์ลดลง แต่ลักษณะทางพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุกเพิ่มขึ้นที่ 10% จะพบว่ามีลักษณะคล้ายลูกบาศก์แทรกอยู่และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาที่ 900 °C จะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายลูกบาศก์แทรกอยู่ได้ชัดเจนขึ้นเมื่อปริมาณการเจือเพิ่มขึ้นที่ 10% ซึ่งเป็นการยืนยันการก่อผลึกของสารประกอบใหม่ของ Zn-Sn-OH ในรูปของ $ZnSn(OH)_6$ ที่มีโครงสร้างแบบลูกบาศก์

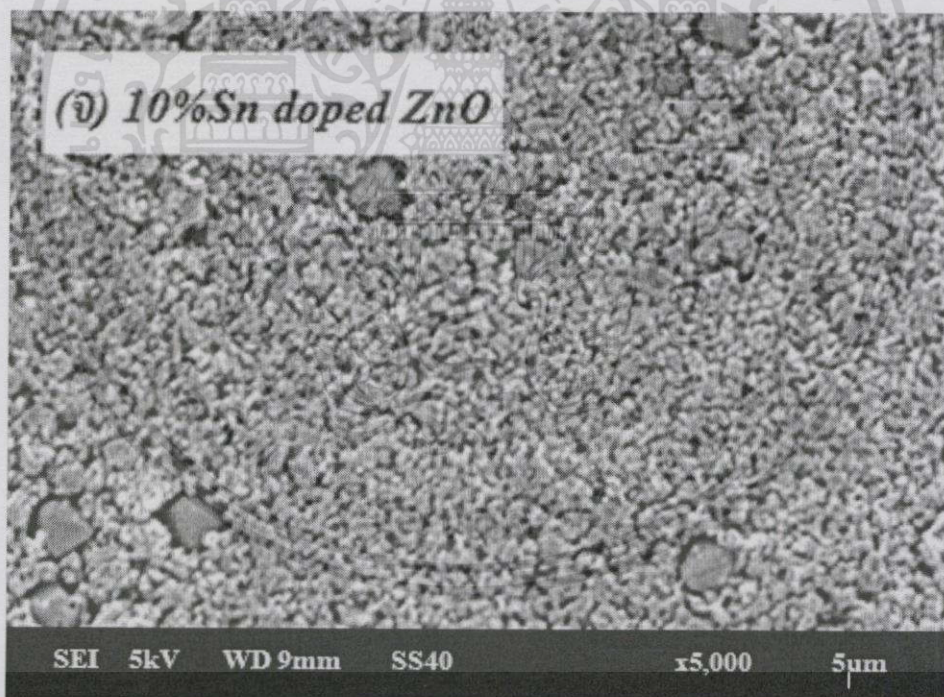
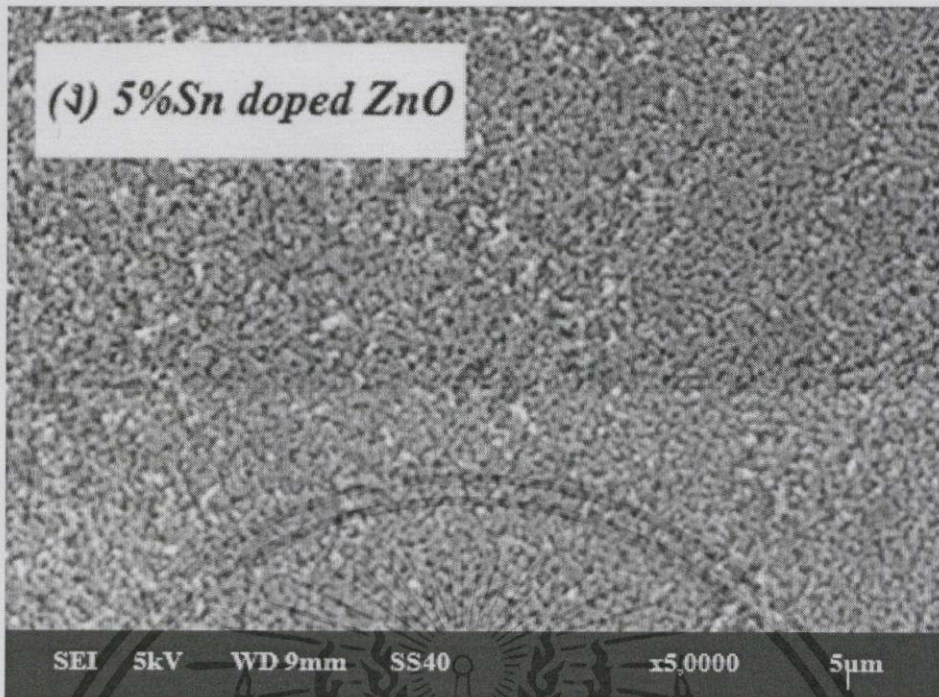


รูปที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก 0% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550 °C (ก) ZnO (ข) 5% Sn doped ZnO (ค) 10% Sn doped ZnO และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง) 5% Sn doped ZnO (จ) 10% Sn doped ZnO



รูปที่ 4.8(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
 เตือนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก 0%
 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550 °C (ก) ZnO (ข) 5% Sn doped ZnO (ค) 10% Sn doped ZnO และ
 หลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง) 5% Sn doped ZnO (จ) 10% Sn doped ZnO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

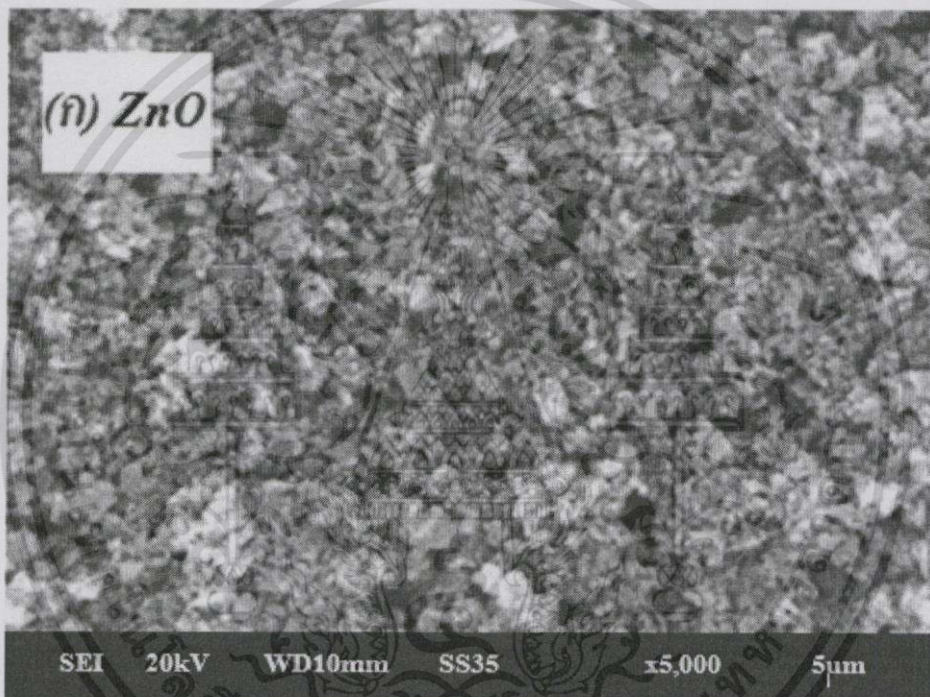


รูปที่ 4.8(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
 ใต้นกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือดีบุก 0%
 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550°C (ก) ZnO (ข) 5%Sn doped ZnO (ค) 10%Sn doped ZnO
 และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง) 5%Sn doped ZnO (จ) 10%Sn doped ZnO

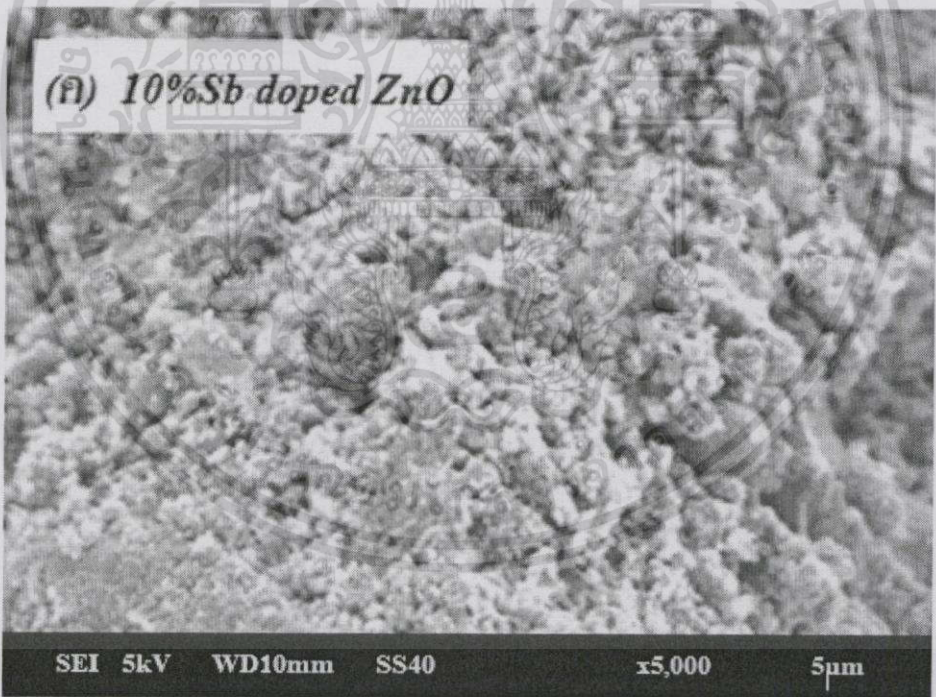
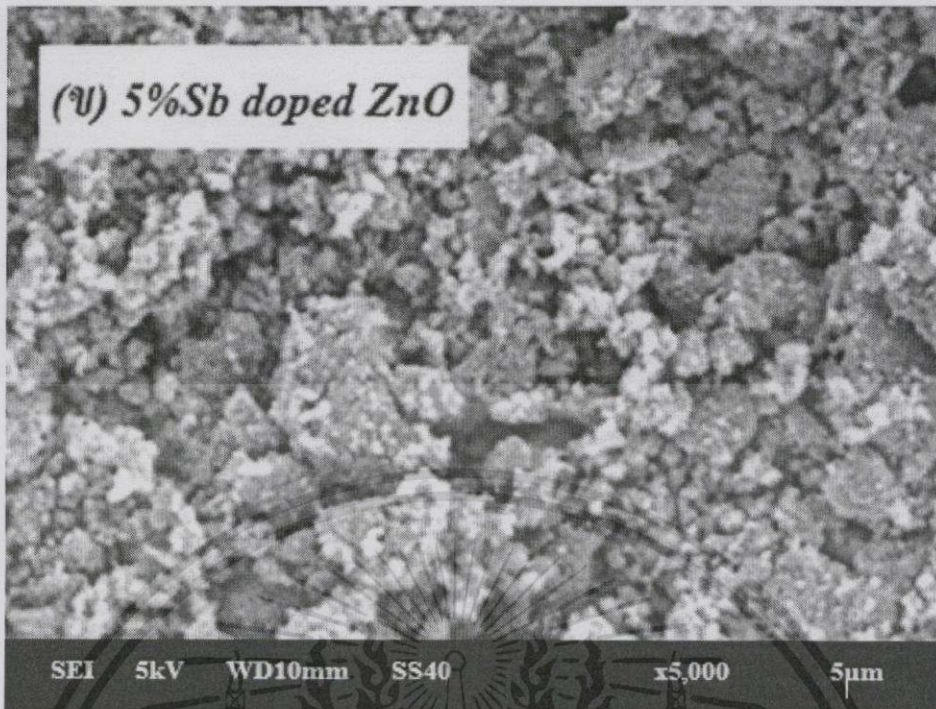
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3. การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของซิงค์ออกไซด์เจือด้วยแอนติโมนี ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี 0% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550°C

สังเกตเห็นว่าปริมาณการเจือแอนติโมนีเพิ่มขึ้นความเป็นผลึกซิงค์ออกไซด์จะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณการเจือแอนติโมนีที่ 10% จะพบว่าความเป็นผลึกของซิงค์ออกไซด์ต่ำมาก และไม่มีรูปร่างที่ชัดเจนซึ่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวเป็นไปทางเดียวกันและสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (รูปที่ 4.5)

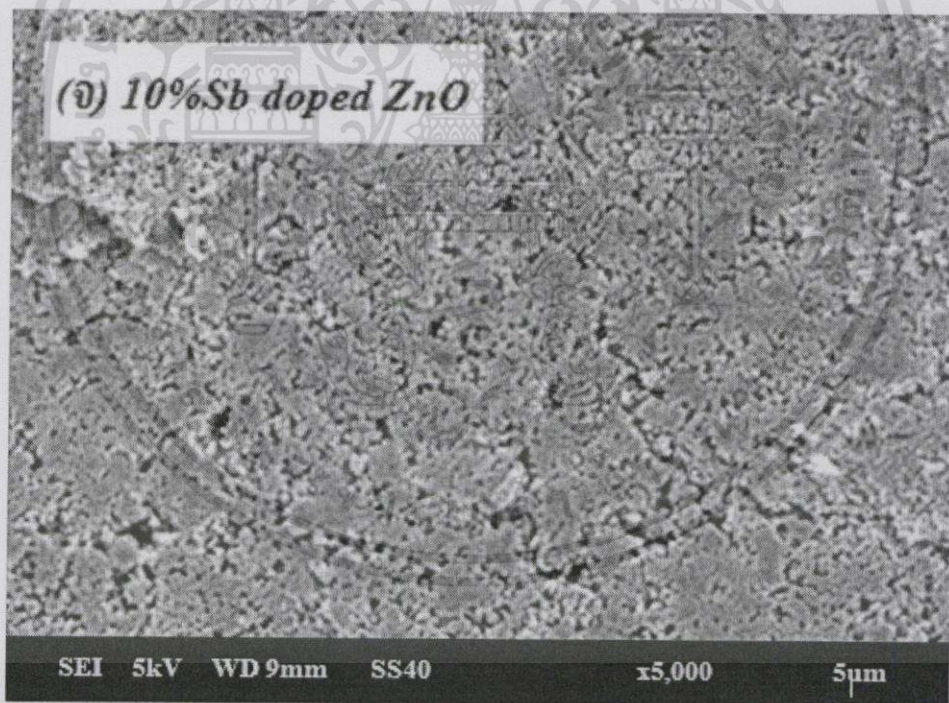
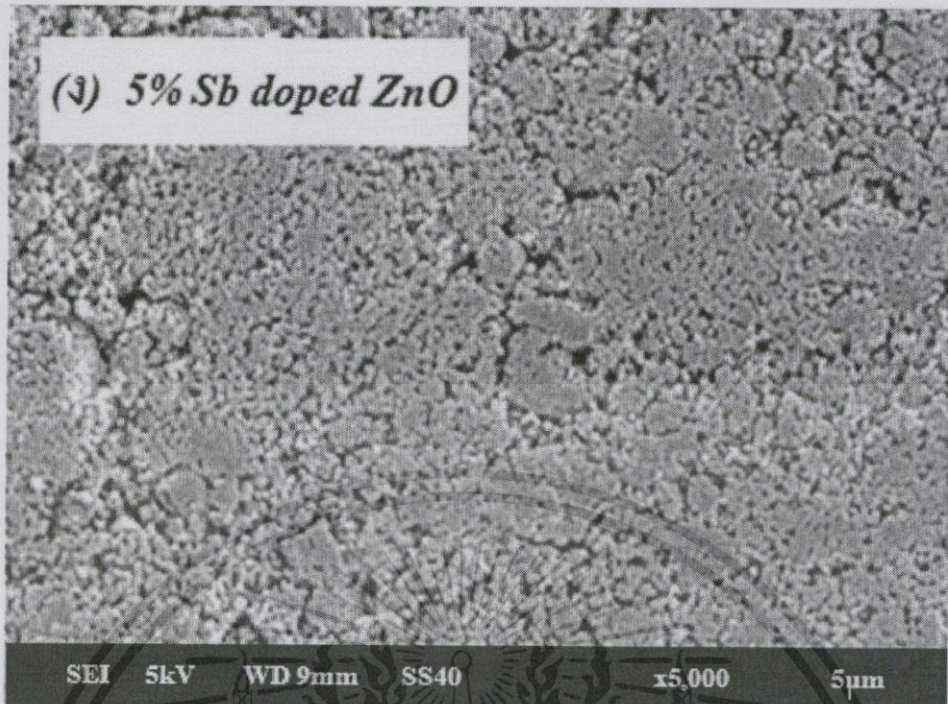


รูปที่4.9 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนี ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือแอนติโมนี 0% 5% และ10% หลังเผาที่อุณหภูมิ550°C (ก)ZnO (ข)5%Sb doped ZnO (ค)10%Sb doped ZnO และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง)5%Sb doped ZnO (จ)10%Sb doped ZnO



รูปที่ 4.9(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
 เลื่อนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนี ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือ
 แอนติโมนี 0% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550 °C (ก)ZnO (ข)5%Sb doped ZnO (ค)10%Sb
 doped ZnO และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง)5%Sb doped ZnO (จ)10%Sb doped ZnO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
 เลื่อนกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแอนติโมนี ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือ
 แอนติโมนี 0% 5% และ 10% หลังเผาที่อุณหภูมิ 550 °C (ก) ZnO (ข) 5% Sb doped ZnO (ค) 10% Sb
 doped ZnO และหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 °C (ง) 5% Sb doped ZnO (จ) 10% Sb doped ZnO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า

การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนีที่เปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนี 0% 1% 3% 5% และ 10% โดยอุณหภูมิที่ใช้เพื่อศึกษาผลกระทบของการเจืออลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนีคือ 900 °C พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมมีสภาพต้านทานทางไฟฟ้าต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก และแอนติโมนี แสดงว่าซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมมีการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าการเจือด้วยดีบุกหรือเจือด้วยแอนติโมนี โดยปกติการนำไฟฟ้าของสารประกอบ ZnO เกิดจากการเกิดช่องว่างของออกซิเจน (Oxygen vacancy) ภายใต้บรรยากาศที่ออกซิเจนสามารถออกมาได้ ทำให้ Al^{3+} ที่เจือลงไปภายในโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์และเกิดการแทรกในโครงร่างผลึกของ ZnO หรืออาจแทนที่บางตำแหน่ง Zn^{2+} แต่ละ Zn^{2+} ที่ถูกแทนที่ด้วย Al^{3+} ทำให้เกิดจำนวนของ Oxygen Vacancy ที่เพิ่มขึ้นและจำนวนพาหะที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและส่งผลต่อการลดลงของสภาพความต้านทาน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการเจืออาจทำให้เกิดการก่อตัวของ Al_2O_3 ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าเป็นผลทำให้สภาพความต้านทานของ ZnO มีค่าเพิ่มขึ้น[11-12] ในขณะที่การเจือด้วยอะตอม Sn และ Sb ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติทางไฟฟ้าของ ZnO อย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ายังมีค่าสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดเฟสใหม่ของสารประกอบ $ZnSn(OH)_6$ เมื่อเจือด้วย Sn และ Sb_2O_3 เมื่อเจือด้วย Sb ซึ่งไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ Oxygen Vacancy ในโครงร่างผลึกของ ZnO

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความต้านทาน (R) ของสาร Al-doped ZnO

Al-doped ZnO (%)	R (M Ω)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0%	0.59	0.47	0.41	0.49
1%	0.35	0.30	0.29	0.31
3%	2.24	2.19	2.66	2.36
5%	6.07	8.72	7.50	7.43
10%	11.03	10.95	12.02	11.33

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทาน (R) ของสาร Sn-doped ZnO

Sn-doped ZnO (%)	R (M Ω)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0%	0.59	0.47	0.41	0.49
1%	6.74	6.05	5.31	6.03
3%	5.36	4.27	7.62	5.75
5%	46.70	60.70	60.50	55.97
10%	16.30	11.90	20.90	16.37

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความต้านทาน (R) ของสาร Sb-doped ZnO

Sb-doped ZnO (%)	R (M Ω)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0%	0.59	0.47	0.41	0.49
1%	8.20	8.64	9.13	8.66
3%	11.32	12.00	11.85	11.72
5%	28.20	29.00	34.00	30.40
10%	45.10	44.30	33.70	41.03

ตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณหาค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า(ρ) ของ ZnO ที่เจือด้วยธาตุ Al, Sn และ Sb

Doping (%)	$\rho \times 10^6$ ($\Omega \cdot \text{cm}$)		
	Al	Sn	Sb
0%	2.26	2.26	2.26
1%	1.48	27.87	40.03
3%	10.91	26.58	54.17
5%	34.34	258.69	140.50
10%	52.37	75.66	189.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจือและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเผาอลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีในเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีโดยปริมาณการเจือที่ทำการศึกษามีดังนี้ 0% 1% 3% 5% และ 10% จะศึกษาสมบัติทางโครงสร้าง ลักษณะทางพื้นผิว และสมบัติทางไฟฟ้า ในเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเผาทำการศึกษาลักษณะทางพื้นผิว สมบัติทางไฟฟ้า

จากการศึกษาผลกระทบของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีวิเคราะห์โครงสร้างด้วยรังสีเอ็กซ์จะพบว่าผลกระทบของการเจืออลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนี 0% 1% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผา 550°C ปรากฏระนาบของโครงสร้างซิงค์ออกไซด์เท่านั้น ซึ่งอลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีไอออนจะเข้าไปแทนที่ [2-10] อยู่ในตำแหน่งของซิงค์ออกไซด์ไอออน การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดของซิงค์ออกไซด์เจืออลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนี 0% 1% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิ 550°C พบว่าผลึกของซิงค์ออกไซด์ลดลงเมื่อปริมาณการเจืออลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนีเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเผา 900°C จะเห็นพื้นผิวที่ชัดเจนและเป็นรูปร่างมากขึ้น

จากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของซิงค์ออกไซด์ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเจืออลูมิเนียม ดิบุก และแอนติโมนี 0% 1% 3% 5% และ 10% ที่อุณหภูมิการเผาที่ 900 °C พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมจะมีสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดิบุก และแอนติโมนี เมื่อปริมาณการเจืออลูมิเนียมเพิ่มขึ้นสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากในอากาศที่เต็มไปด้วยออกซิเจนและความดันที่สูงของออกซิเจนบางส่วนทำให้ซิงค์ออกไซด์แทบจะไม่สูญเสียอะตอมของออกซิเจนใดๆ จึงทำให้เกิดความยากในการเปลี่ยน Zn^{2+} เป็น Al^{3+} [11-12]

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.2.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดอุปกรณ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ไม่สะอาด หรือมีฝุ่น ส่งผลต่อผลการวิเคราะห์ คือ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ อาจจะมีธาตุหรือสิ่งที่ไม่ต้องการศึกษา

5.2.2 ความชื้นในบรรยากาศมีผลต่อผลการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ดังนั้นเมื่อเตรียมผง ซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ดีบุก และแอนติโมนีเสร็จควรเก็บรักษาไว้ในที่ที่ปราศจากความชื้น

5.2.3 ในขั้นตอนการอัดเม็ดสาร หากใช้แรงในการอัดที่ไม่เท่ากัน ก็จะมีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้า



เอกสารอ้างอิง

- [1]. ฐานัญฐพร สุภรัตน์สมัย, ธิดาพร กัญญาพันธ์. การศึกษาและการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก. โครงการงานพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555
- [2]. Zhiwu Chen, Guanghui Zhan, Yongpeng Wu, Xinhua He, Zhenya Lu "Sol-gel-hydrothermal synthesis and conductive properties of Al-doped ZnO nanoparticles with controllable morphology", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 587 (2014), pp. 692–697
- [3]. Dongmei Zhu, Kun Li, Fa Luo, Wancheng Zhou "Preparation and infrared emissivity of ZnO: Al (AZO) thin films", *Applied Surface Science*, vol. 255 (2009), pp. 6145–6148
- [4]. Jiaping Han, P.Q. Mantas, A.M.R. Senos "Effect of Al and Mn doping on the electrical conductivity of ZnO", *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 21 (2001), pp. 1883–1886
- [5]. N. Chahmat, T. Souier, A. Mokri, M. Bououdina, M.S. Aida, M. Ghers "Structure, microstructure and optical properties of Sn-doped ZnO thin films", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 593 (2014), pp. 148–153
- [6]. A.D. Acharya, Shweta Moghe, Richa Panda, S.B. Shrivastava, Mohan Gangrade, T. Shripathi, D.M. Phase, V. Ganesan "Growth and characterization of nano-structured Sn doped ZnO", *Journal of Molecular Structure*, vol. 1022 (2012), pp. 8–15
- [7]. Mi Jung, Sangdan Kim, Sanghyun Ju "Enhancement of green emission from Sn-doped ZnO nanowires", *Optical Materials*, vol. 33 (2011), pp. 280–283
- [8]. S.V. Mohite, K.Y. Rajpure "Synthesis and characterization of Sb doped ZnO thin films for photodetector application", *Optical Materials*, vol. 36 (2014), pp. 833–838
- [9]. H. Benelmadjat, N. Touka, B. Harieche, B. Boudine, O. Halimi, M. Sebais "Study of structural and optical properties of Sb doped ZnO thin films deposited by spin coating method", *Optical Materials*, vol. 32 (2010), pp. 764–767
- [10]. T. Yang, B. Yao, T.T. Zhao, G.Z. Xing, H. Wang, H.L. Pan, R. Deng, Y.R. Sui, L.L. Gao, H.Z. Wang, T. Wu, D.Z. Shen "Sb doping behavior and its effect on crystal structure, conductivity and photoluminescence of ZnO film in depositing and annealing processes", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 509 (2011), pp. 5426–5430
- [11]. P. Zhang, R.Y. Hong, Q. Chen, W.G. Feng "On the electrical conductivity and photocatalytic activity of aluminum-doped zinc oxide", *Powder Technology*, vol. 253 (2014),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

pp. 360–367

[12]. Frank Maldonado, Arvids Stashans “Al-doped ZnO: Electronic, electrical and structural properties” , Journal of Physics and Chemistry of Solids , vol. 71 (2010) , pp. 784–787

[13]. [Online].Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/อลูมิเนียม>

[14]. [Online].Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/ดีบุก>

[15]. [Online].Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/พลวง>

[16]. [Online].Available: http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=571&filename=mineral_new

[17]. [Online].Available: <http://www.packoffacts.com/?p=26>

[18]. [Online].Available: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>

[19]. [Online].Available: http://www.nabond.com/ZnO_nanopowder.html

[20]. [Online].Available: http://physics.kku.ac.th/solid/sites/default/files/Chapter-4_Practical_XRD.pdf

[21]. [Online].Available: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm