

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ จากละอองสารเคมี
ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก**



นางสาวกิตติยา อินทสันดา
นางสาวจันทร์พร สรรพกิจจานนท์
นางสาววิไลวรรณ โพนคำ

รฟ.
๗๖๕๓
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 76637
วัน,เดือน,ปี..... - 3 S.ค. 2550

b. 118 ๕๐๗๑๖
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of SnO_2 : F Thin Films by Ultrasonic Spray Pyrolysis



Miss. Kittiya Intasanta

Miss. Juntra Suppakitjanon

Miss. Wlalfwan Ponkham

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

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

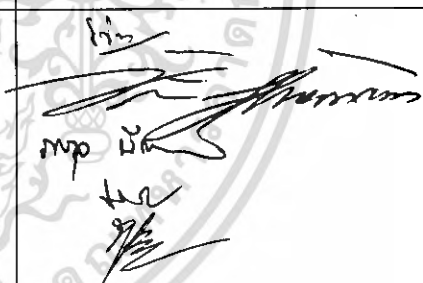
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ จากละอองสารเคมีที่เกิดจากการสันด้วย
คลื่นอัลตราโซนิก

นักศึกษา นางสาวกิตติยา อินทสันดา
นางสาวจันทร์รา สรรพกิจจานนท์
นางสาววิไลวรรณ โพนคำ

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. ฉัฐพร พรหมรส

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร. จูตินัย แก้วแดง	
กรรมการ	ผศ.ดร. ชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ	
กรรมการ	อ. ภารุจ บัณฑิตชาดิวิทย์	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ	
กรรมการที่ปรึกษาร่วม	อ. ฉัฐพร พรหมรส	

อ.น.ค.

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ จากละอองสารเคมีที่เกิดจากการสันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
นักศึกษา	นางสาวกิตติยา อินทสันดา นางสาวจันทร์รา สรรพกิจงานนท์ นางสาววิไลวรรณ โพนคำ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. ฉัฐพร พรหมรส

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ได้เตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ บนฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ในระหว่างกระบวนการเคลือบ อุณหภูมิของแผ่นรองรับมีค่าคงที่ 400°C ผลของพารามิเตอร์ในกระบวนการเคลือบ เช่น ปริมาณการเจือของฟลูออรีนในสารละลายและความหนาของฟิล์มที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มซึ่งได้ถูกตรวจสอบโดยโครงสร้างผลึกของฟิล์มถูกแสดง โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โครงสร้างพื้นผิวถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การส่งผ่านแสงของฟิล์มถูกวัดในช่วง 250 ถึง 2500 nm การศึกษาสมบัติทางด้านไฟฟ้าถูกตรวจสอบโดยปรากฏการณ์ฮอลล์ในรูปแบบของแวนเดอร์เพาว์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มีความเข้มข้นของ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% มีค่าความต้านทานแผ่นต่ำที่สุด ความหนาของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความต้านทานแผ่นและการส่งผ่านแสงจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเวลาในการเคลือบ ค่าความต้านทานแผ่นจะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้เวลาในการเคลือบ 20 นาที

Special Project Title	Preparation of SnO ₂ : F Thin Films by Ultrasonic Spray Pyrolysis
Name	Miss. Kittiya Intasanta Miss. Juntra Suppakitjanon Miss. Wilaiwan Ponkham
Department	Applied Physics Faculty of Science
Program	Applied Physics
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Ngamnit Wongcharoen
Special Project co-advisor	Aj. Nathaporn Promros

ABSTRACT

In this special project, thin films of undoped and fluorine doped tin oxide were prepared on glass slide substrate by ultrasonic spray pyrolysis deposition technique. During deposition process, the substrate temperatures was kept at 400 °C. The effect of process parameters, such as doping level of fluorine in the spray solution and thickness of the films, on the properties of tin oxide thin films were investigated. The crystal structure of the films was showed by X-ray diffraction (XRD) technique. Surface morphology was examined by scanning electron microscope (SEM). The transmission spectra of the films were recorded from 250 to 2500 nm. Electrical properties were performed by Hall measurement in the van der Pauw configuration at room temperature. The lowest sheet resistance values were found in the SnO₂:F thin films with the concentration is [F]/[Sn] 10 wt.%. The thickness of the films was found to increase whereas the sheet resistance values and transmittance were found to decrease with the increase of deposition time. The lowest sheet resistance values were found at deposition time was 20 min.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ งามนิตย์ วงษ์เจริญ รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิตินัย แก้วแดง รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยสิงห์ ภูริภัยเกียรติ และ อ.ณัฐพร พรหมรส ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนการให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ติดต่อมา รวมไปถึงการปลูกฝังสิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณ ดร. ศิริรัตน์ พิรมนตรี และคุณอารักษ์ วิฑิตย์ธีรานนท์ กองการวัดกัมภภาพรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (UV-VIS-NIR spectrometer Shimadzu 3101PC) ในการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง ในช่วงความยาวคลื่น 250 ถึง 2500 นาโนเมตร

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ในการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า และชุดวัดปรากฏการณ์ฮอลล์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้กล้องจุลทรรศน์

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ในการศึกษาลักษณะ โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณ คุณปกรณ์ สิทธิเขตรกรณ์ คุณฐิติกร จรรยาธรรม คุณอดุลย์ หาญวังม่วง และคุณประธาน ประจวบโชค นักศึกษาปริญญาโท ห้องปฏิบัติการวัสดุทางแสง ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณครู-อาจารย์ทุกท่านที่เมตตาประสาทวิชาและอบรมสั่งสอนตั้งแต่งานศึกษาภาคบังคับถึงปัจจุบัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนการทดลองและวิธีการดำเนินงานทดลอง	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 สมบัติพื้นฐานของดีบุกออกไซด์	5
2.2 สมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ	7
2.2.1 ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงาน	7
2.2.2 การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	9
2.2.3 การวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	10
2.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	12
2.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด	14
2.5 สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ	16
2.5.1 สมบัติการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ	16
2.5.1.1 สารกึ่งตัวนำชนิดอินทรีนสิก	17
2.5.1.2 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็กซ์ทรีนสิก	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพคล่อง	23
2.5.3 ปฏิกิริยาการนำฮอลล์	26
2.5.4 การวัดปฏิกิริยาการนำฮอลล์ด้วยเทคนิคแวนเดอร์เพาว์	32
2.5.5 การวัดความต้านทานแผ่นและสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวนเดอร์เพาว์	33
2.5.6 กลไกการกระเจิงพาหะ	35
2.5.6.1 การกระเจิงของแลตทิซหรือการกระเจิงแบบอะคูสติก	35
2.5.6.2 การกระเจิงแบบโฟลาร์หรือการกระเจิงแบบออปติคัล	37
2.5.6.3 การกระเจิงของไอออนสำหรับสารกึ่งตัวนำแบบนอกรีต	38
2.5.6.4 สารกึ่งตัวนำที่มีการเจืออะตอมของสารเจืออย่างหนัก	39
2.5.6.5 การกระเจิงของอะตอมของสารเจือที่เป็นกลางทางไฟฟ้า	41
2.5.6.6 การกระเจิงบริเวณขอบของเกรน	41
2.6 การเตรียมฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ด้วยวิธีพ่นละอองสารเคมี	42
2.6.1 กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในสารละลาย	42
2.6.2 กระบวนการการเกิดฟิล์มบาง	43
2.7 ทฤษฎีของครูด	46
2.8 การหาประสิทธิภาพของตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสง	48
บทที่ 3 การดำเนินงานทดลอง	49
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	49
3.1.1 การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$	49
3.1.2 การศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการ	50
3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค	51
3.2.1 การเตรียมฐานรองรับ	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 วิธีการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	51
3.2.2.1 การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	51
3.2.2.2 การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	52
3.2.2.3 การเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	56
4.1 ฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	56
4.1.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	58
4.1.3 การตรวจสอบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	60
4.1.4 สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	61
4.2 ฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	65
4.2.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	66
4.2.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	67
4.2.3 การตรวจสอบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง $400\text{ }^\circ\text{C}$ และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผลการทดลอง	74
5.1.1 สรุปผลการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง $400\text{ }^\circ\text{C}$ และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	74
5.1.2 สรุปผลการเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	75
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข	75
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก ก	80
ภาคผนวก ข	83
ภาคผนวก ค	85
ประวัติผู้เขียน	90

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงสมบัติของสารประกอบ SnO กับ SnO ₂	5
ตารางที่ 3.1	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่เจือด้วยฟลูออรีนสำหรับการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	53
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าคงที่ของโครงสร้างผลึก และความเครียดของฟิล์มบาง SnO ₂ และ SnO ₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	58
ตารางที่ 4.2	แสดงขนาดของเกรนที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง SnO ₂ และ SnO ₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	60
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าสมบัติของฟิล์มบาง SnO ₂ และ SnO ₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	63
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง SnO ₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	67
ตารางที่ 4.5	แสดงขนาดของเกรนที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และความหนาของฟิล์มบาง SnO ₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสมบัติของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	72



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงผลึกแบบเตตระโกนอลของ SnO ₂	6
รูปที่ 2.2 เฟสไดอะแกรมของ Sn-O	6
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบง่าย	7
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานและการย้ายสถานะของพลังงานอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ (T = 0 K)	8
ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง	
ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง	
รูปที่ 2.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ (T = 0 K)	9
ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง	
ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีที่เกิดกระบวนการสร้างโฟนอน	
รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพการส่งผ่านแสงในสารตัวอย่าง	10
รูปที่ 2.7 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากระนาบผลึก	13
รูปที่ 2.8 เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์	14
รูปที่ 2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	15
รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	16
รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นกับส่วนกลับของอุณหภูมิ	20
รูปที่ 2.12 ปรัชญาการแผ่ฮอลล์บนแผ่นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	27
ก. ก่อนใส่สนามแม่เหล็กในทิศ x	
ข. หลังใส่สนามแม่เหล็กในทิศ x	
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $10^8 \Delta R$ กับ B เพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์	31
รูปที่ 2.14 สารตัวอย่างแผ่นบางรูปทรงใดๆ	33
รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งของจุดสัมผัสบนชิ้นสารตัวอย่าง	34

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.16 แสดงการต่อขั้วเพื่อวัดความต้านทานแผ่นและวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า	34
รูปที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln \mu$ กับ $\ln T$ ของสารดีบุกออกไซด์	37
ก. การกระเจิงแบบแลตทิซ	
ข. การกระเจิงแบบ ไอออน	
ค. การกระเจิงบริเวณขอบของเกรน	
ง. การกระเจิงแบบโพลาไรซ์	
รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln \mu$ กับ $\ln T$ ของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์	39
ที่เจือด้วยฟลูออรีนอัตราส่วนระหว่าง $[F]/[Sn]$ เท่ากับ 0.10	42
รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะ โมเลกุลที่เกิดขึ้นภายในสารละลาย	43
รูปที่ 2.20 ลักษณะของ โมเลกุลของ SnO_2 ที่เจือปนด้วย F	44
รูปที่ 2.21 แสดงการลดลงของขนาดของหยดสารละลายตามระยะทางจากฐานรองรับ	45
รูปที่ 2.22 แบบจำลองการเกิดฟิล์มบางบนผิวของฐานรองรับ	45
ก. การเกิดปฏิกิริยาที่เกิดการสูญเสียน้ำ	
ข. การเกิดฟิล์มบางบนฐานรองรับ	
รูปที่ 2.23 แสดงการรวมตัวของฟิล์มบางที่เกิดจากวิธีการพ่นละอองสารเคมี	45
รูปที่ 2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\epsilon(\omega)$ กับ $\frac{\omega}{\omega_p}$	47
รูปที่ 3.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $SnO_2 : F$ โดยวิธีการพ่น	
ละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	50
รูปที่ 3.2 แสดงระบบวัดความต้านทานแผ่นและสภาพต้านทานไฟฟ้า	54
รูปที่ 3.3 แสดงระบบการศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์	55
รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายฟิล์มบาง SnO_2 และ $SnO_2 : F$ ในปริมาณ $[F]/[Sn]$ 5, 10, 15 และ	
20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตรา	
โซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง $400^\circ C$ และใช้ระยะเวลาในการพ่นละออง	
สารเคมี 20 นาที	56

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	57
รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	59
รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	61
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	64
รูปที่ 4.6 แสดงค่าสภาพคล่องฮอลล์ สภาพต้านทานไฟฟ้า และปริมาณพาหะข้างมากของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที	64
รูปที่ 4.7 ฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	65

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	66
รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	68
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	69
รูปที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	71
รูปที่ 4.12 แสดงสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่น กับ ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	73
รูปที่ 4.13 แสดงค่าสภาพคล่องขอลล์ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า และปริมาณพาหะข้างมากของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ [Elangovan E. และคณะ, 2003; Fukano T. และคณะ, 2004; Rajpure K. Y. และคณะ, 2000; Patil P. S. และคณะ, 2003]

ตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงมีสมบัติเด่น คือ สามารถส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ มีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ และไม่ส่งผ่านรังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อน จากสมบัติเหล่านี้ทำให้ตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงถูกนำไปใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าของจอแอลซีดี เซลล์แสงอาทิตย์ กระจกสะท้อนความร้อน และฟิล์มสะท้อนรังสีความร้อน และยังมีให้นำตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงไปใช้เป็นตัวตรวจจับก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้น เนื่องจากสามารถตอบสนองต่อก๊าซได้เป็นอย่างดี

ตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงสามารถประดิษฐ์ได้จากสารประกอบหลายประเภทด้วยกัน เช่น อินเดียมออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก ($\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Sn}$) ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยพลวง ($\text{SnO}_2 : \text{Sb}$) ดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีน ($\text{SnO}_2 : \text{F}$) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) และสังกะสีออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียม ($\text{ZnO} : \text{Al}$) เป็นต้น กระบวนการผลิตตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสเป็คเตอรिंग การอบสารละลายเคมี การระเหยสารในระบบสุญญากาศ และการพ่นละอองสารเคมี ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมีต้นทุนในการผลิตที่แตกต่างกันออกไป และประสิทธิภาพที่ได้จากแต่ละกระบวนการผลิตก็แตกต่างกันออกไปด้วย

วิธีการพ่นละอองสารเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการผลิตตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำและขั้นตอนในการผลิตไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังสามารถพัฒนาให้เป็นระบบการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต โดยฟิล์มบางที่เจือด้วยฟลูออรีนมีความต้านทานแผ่นต่ำถึง $1.75 \Omega/\text{sq}$ และมีความสามารถในการส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จากประสิทธิภาพตรงจุดนี้ กระบวนการพ่นละอองสารเคมีจึงเป็นกระบวนการที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

ดีบุกออกไซด์เป็นสารประกอบชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงโดยดีบุกออกไซด์เมื่อมีโครงสร้างเป็นผลึกสมบูรณ์จะมีความเป็นฉนวนที่ดี แต่ในฟิล์มบางจะมีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นเนื่องจากเกิดข้อบกพร่องผลึกชนิดแวนเดอวาล์วของอะตอมออกซิเจนในฟิล์มบาง และเมื่อทำการเจือด้วย ฟลูออรีนหรือพลวงแล้วจะช่วยส่งผลให้สภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางลดต่ำลงอีก ทั้งยังสามารถลดการส่งผ่านแสงในช่วงอินฟราเรดลงได้อย่างมาก

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อประดิษฐ์เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการเตรียมด้วยกระบวนการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนั้นมีต้นทุนการผลิตต่ำและมีวิธีการไม่ซับซ้อนยุ่งยากมากนัก อีกทั้งยังสามารถเตรียมฟิล์มได้ครั้งละมากๆ เหมาะสำหรับการใช้เป็นกระบวนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บนฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที
- 1.2.2 ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บนฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมีเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที
- 1.2.3 ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์
- 1.2.4 ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 1.2.5 ศึกษาสมบัติการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$
- 1.2.6 ศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ด้วยวิธีแวนเดอร์เพาว์
- 1.2.7 เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1.3.1 เตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที
- 1.3.2 เตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมีเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 นำฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่เตรียมได้ตามเงื่อนไขไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์

บางประการ ประกอบด้วย

- ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์
- ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- ศึกษาสมบัติการส่งผ่านแสง
- ศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีการแวนเดอร์เพาว์
- ศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ เพื่อคำนวณหาปริมาณความหนาแน่นของพาหะข้างมาก และสภาพคล่องฮอลล์

1.4 ขั้นตอนการทดลองและวิธีการดำเนินงานทดลอง

แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. จัดสรรตารางการแบ่งเวลาของขั้นตอนในการวิจัย
2. นำเอกสารอ้างอิงที่ได้จากการค้นคว้ามาใช้เป็นข้อมูลและใช้เปรียบเทียบในการทำการวิจัย
3. ศึกษาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ใน โครงการงานพิเศษ
 - การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยอัลตราโซนิคที่เกิดจากการสั่น
 - เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์
 - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - การวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสง
 - การวัดค่าความต้านทานแผ่นด้วยวิธีการแวนเดอร์เพาว์
 - การวัดปรากฏการณ์ฮอลล์
4. ทำการเตรียมฟิล์มบาง ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยอัลตราโซนิคที่เกิดจากการสั่น ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้
 - การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 บนฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที
 - การเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บนฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 : F ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บนฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคโดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมีเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

5. ทำการตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบางที่ได้ ดังต่อไปนี้

นำฟิล์มบาง SnO_2 และ SnO_2 : F ที่เตรียมได้ตามเงื่อนไขไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ ประกอบด้วย

- ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์
- ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- ศึกษาสมบัติการส่งผ่านแสง
- ศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีการแวนเดอร์เพาว์
- ศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ เพื่อคำนวณหาปริมาณความหนาแน่นของพาหะข้างมากและสภาพคล่องฮอลล์

6. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงหลักการและวิธีการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ SnO_2 : F ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค
- 1.5.2 ทำให้ได้ความรู้เกี่ยวกับการศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบาง SnO_2 และ SnO_2 : F เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.5.3 ทำให้ทราบถึงผลของฟลูออรีนที่มีผลต่อสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบาง SnO_2 และ SnO_2 : F ที่เตรียมด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค
- 1.5.4 ทำให้ทราบถึงผลของระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีที่มีผลต่อสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบาง SnO_2 และ SnO_2 : F ที่เตรียมด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในโรงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คือ มีปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีแตกต่างกัน คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ซึ่งจะได้อธิบายทฤษฎีและหลักการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สมบัติพื้นฐานของดีบุกออกไซด์ [Samsonov G. V., 1973; Cooper D. G., 1968; งานนิพนธ์ และคณะ, 2549; อุปถัมภ์, 2548 ; Winter M., 2004; Cahen S. และคณะ, 2003]

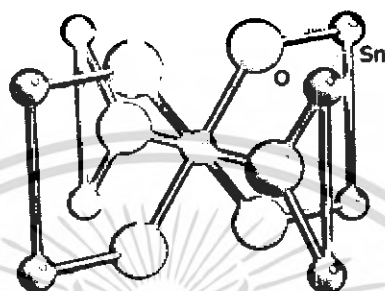
ดีบุก (Sn) เป็นธาตุในหมู่ 4 ของตารางธาตุสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นดีบุกไอออน (Sn^{2+} , Sn^{4+}) และรวมตัวกับสารอินทรีย์ เช่น ออกซิเจนหรือคลอรีนเกิดเป็นสารประกอบขึ้น ซึ่งมีชื่อเรียกต่างกันตามประจุของดีบุก คือ สารประกอบของ Sn^{2+} เรียกว่า สารประกอบสแตนนีซ (stannous compound) ส่วนสารประกอบของ Sn^{4+} เรียกว่า สารประกอบสแตนนิก (stannic compound) สารประกอบทั้งสองจะมีสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของสารประกอบ SnO กับ SnO_2

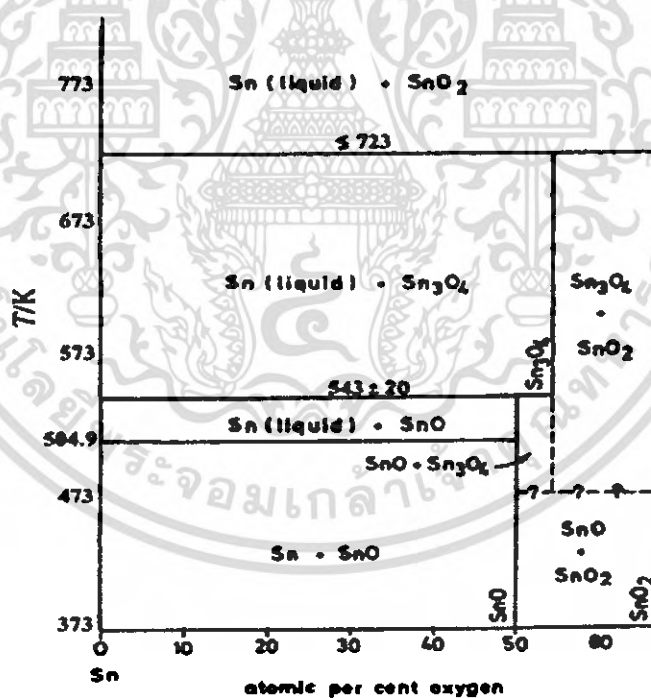
สมบัติของสาร	SnO	SnO_2
มวลโมเลกุล (g/mol)	1384.6894	150.6888
โครงสร้าง	เตตระโกนอล	เตตระโกนอล
ความหนาแน่น ($\times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)	6.45	6.55
สถานะ	ของแข็ง	ของแข็ง
สี	ดำ	ใส
จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)	1,527	2,000
จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	1,042	1,625
พลังงานที่ใช้ในการเกิดเป็นสารประกอบ ($\times 10^6 \text{ J/kg.mol}$)	257.488	520.000
สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\Omega\text{-cm}$)	-	4×10^6 (20°C) 60 (1200°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีบุกออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระโกนอกรูโทล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือประกอบด้วย Sn 2 อะตอมและ O 4 อะตอม โดยมีการสร้างพันธะเคมีระหว่างอะตอมแบบโควาเลนต์หรือแบบเตตระอีตรอน นอกจากนี้มีเฟสไดอะแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงโครงผลึกแบบเตตระโกนอกรูโทล์ของ SnO₂



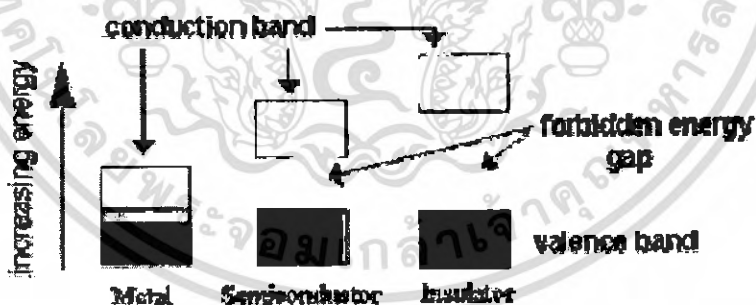
รูปที่ 2.2 เฟสไดอะแกรมของ Sn-O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ

2.2.1 ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงาน [Kittel C., 1971; งามนิทย์ และคณะ, 2545]

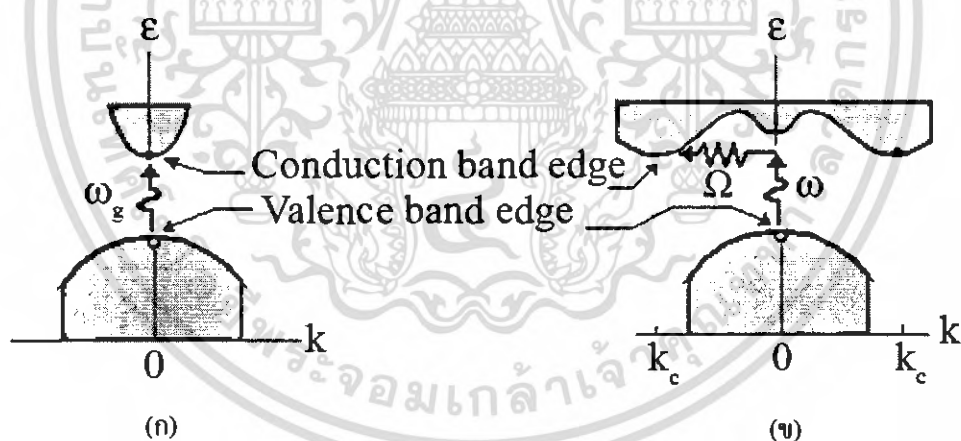
โดยทั่วไปนิยมใช้ลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานในการแบ่งแยกชนิดของสารต่างๆ ว่าเป็น ฉนวน สารกึ่งตัวนำ หรือเป็นตัวนำ ลักษณะของโครงสร้างพลังงานแบบง่าย แสดงใน รูปที่ 2.3 ประกอบด้วยแถบวาเลนซ์ (valence band) และแถบนำ (conduction band) ในแถบวาเลนซ์ สำหรับฉนวนที่อุณหภูมิห้อง และสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาเคลวินจะมีอิเล็กตรอนอยู่เต็ม และมีแรงทางไฟฟ้าสถิตยึดเหนี่ยวอะตอมเอาไว้ ส่วนตัวนำจะยังคงมีที่ว่างอยู่เล็กน้อย ในส่วนของ แถบนำซึ่งจะว่างสำหรับฉนวนที่อุณหภูมิห้องและสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ส่วน ตัวนำจะมีอิเล็กตรอนอยู่บางส่วนแล้ว ระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบนำจะ ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ เลย และเรียกบริเวณนี้ว่าบริเวณต้องห้ามหรือแถบพลังงานต้องห้าม (forbidden band หรือ forbidden gap) ซึ่งจะเรียกความกว้างของช่องว่างนั้นว่าช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap: E_g) ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานจะถูกนำมาใช้แบ่งแยกสารต่างๆ เช่น ฉนวนจะมีช่องว่าง แถบพลังงานมากกว่า 3 eV และสารกึ่งตัวนำจะมีช่องว่างแถบพลังงานน้อยกว่า 3 eV และตัวนำไม่มี ค่าช่องว่างแถบพลังงาน เพราะมีค่าแถบวาเลนซ์และแถบนำซ้อนเหลื่อมกันอยู่ เป็นต้น ที่จุดสูงสุด ของแถบวาเลนซ์จะเรียกว่า ขอบการดูดกลืนพื้นฐาน (fundamental edge หรือ band edge) ซึ่งบอก ขนาดด้วยค่าช่องว่างแถบพลังงานนั่นเอง



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบง่าย

ลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง คือ อิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่า เท่ากับขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ($\hbar\omega = E_g$) อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนนั้นและ อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นจึงย้ายสถานะพลังงาน จากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของ

แถบนำได้เป็นอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่โครงผลึก คือไม่มีการสร้างหรือทำลายโฟนอนดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) และเมื่อเขียนกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนจะได้กราฟดังรูปที่ 2.5(ก) และลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงคือโครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์อยู่ไม่ตรงตำแหน่งเวกเตอร์คลื่นค่าเดียวกันหรืออยู่ที่ตำแหน่งโมเมนตัมของคลื่นไม่เท่ากับกับจุดต่ำสุดของแถบนำ ดังนั้นอิเล็กตรอนต้องได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ในกรณีนี้จะมีกระบวนการสร้างโฟนอนเกิดขึ้น ($\hbar\omega = E_g + \hbar\Omega$) เมื่อ Ω คือค่าความถี่เชิงมุมของพลังงานโฟนอนซึ่งมีค่าน้อยกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน หรือในกรณีที่มีการทำลายล้างโฟนอน ($\hbar\omega = E_g - \hbar\Omega$) นั่นคือเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น การย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำจะมีการปล่อยโฟนอนที่มีความถี่เชิงมุม Ω มีเวกเตอร์คลื่น $k \equiv k_c$ ออกมาจึงเกิดการสร้างโฟนอน ($E_g = \hbar\Omega$) และการสร้างอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ (E_{free}) ขึ้นมาในกระบวนการนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนจะได้ดังรูปที่ 2.5 (ข)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานและการย้ายสถานะของพลังงานอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ($T = 0 \text{ K}$)

ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง

ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง

บทที่ 3

การดำเนินงานทดลอง

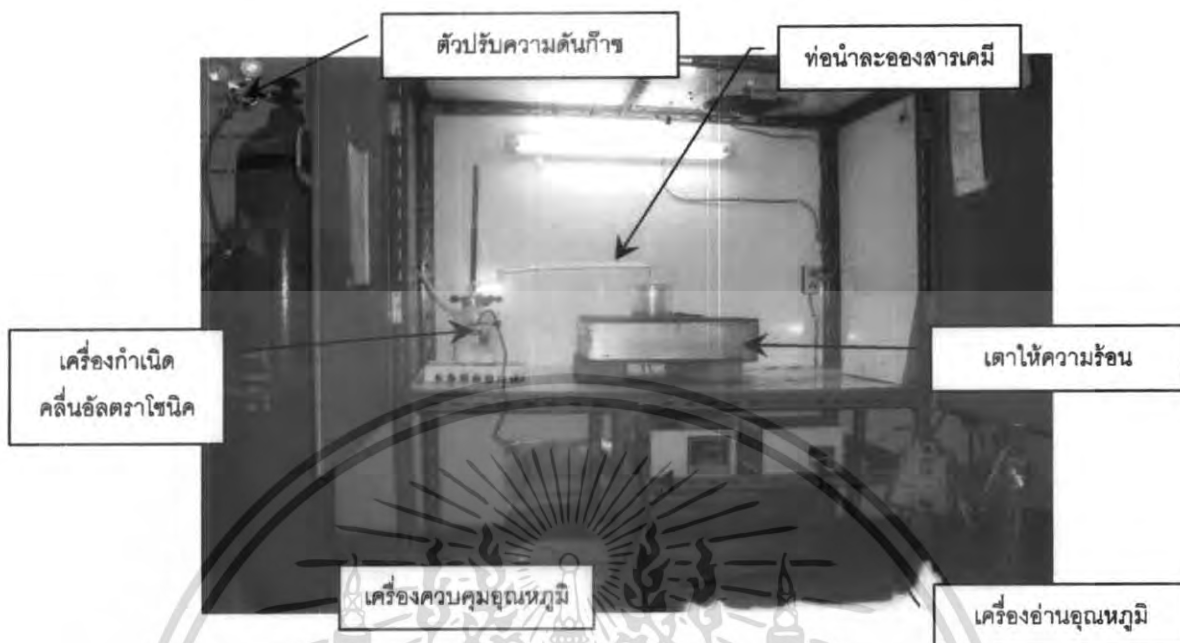
ในโครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยได้กล่าวถึงอุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

- แผ่นกระจกสไลด์ 25x75 มิลลิเมตร
- บีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- เตาให้ความร้อนกำลังสูงสุด 6000 วัตต์
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- หัวพ่นละอองสารเคมี
- เครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก
- เครื่องชั่งดิจิตอล
- แก๊สไนโตรเจน
- สารตั้งต้น ประกอบด้วย
 1. ทินไดคลอไรด์ไดไฮเดรต ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
 2. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F)
 3. เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
 4. เมทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
 5. ไฮโดรคลอริก (HCl)
 6. น้ำปลอดประจุ (Deionized water : DI water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

3.1.2 การศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการ ประกอบด้วย

- การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค โดยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรค โครมิเตอร์ (XRD)
- การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)
- การศึกษาสมบัติทางแสง โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV – VIS – NIR Spectrophotometer)
- การศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้า ประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้
 - อีเล็ก โครมิเตอร์
 - มัลติมิเตอร์
 - แหล่งจ่ายกระแสไฟตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 236
 - กาวเงินนำไฟฟ้า
 - สายไฟ
- การศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ ประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้
 - มัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องวัดสนามแม่เหล็กพร้อมหัววัด
- แหล่งจ่ายกระแสไฟตรงค่าสูง
- แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงปรับค่าได้
- กาวเงินนำไฟฟ้า
- สายไฟ

3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

3.2.1 การเตรียมฐานรองรับ [งานนิศย์ และคณะ, 2549; อุปลักษณ์, 2548; งานนิศย์ และคณะ 2545]

ฐานรองรับที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยวิธีการพ่นละอองเคมีเป็นแผ่นกระจกสไลด์ มีความกว้างและยาว 25 และ 75 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจาน
2. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเอทานอล และเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
3. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ในน้ำปอลคโปรเจจ และเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3.2.2 วิธีการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก [งานนิศย์ และคณะ, 2549; อุปลักษณ์, 2548; งานนิศย์ และคณะ, 2545]

3.2.2.1 การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายดีบุกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารคั้งคั้นทินไดคลอไรด์ไดไฮเดรต ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 4.513 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำปอลคโปรเจจให้ได้ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร
3. เติเมทานอลให้ได้ปริมาตรรวม 200 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 90 °C เวลา 15 นาที
5. ให้อุณหภูมิกับฐานรองรับอยู่ที่ 400 °C
6. ปรับค่าความดันของก๊าซไนโตรเจน
7. เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที
8. นำฟิล์มบางที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ
 - การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคโดยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์
 - การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - การศึกษาสมบัติทางแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
 - การศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวนเดอร์เพาว์
 - การศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์

3.2.2.2 การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

1. เตรียมสารละลายดีบุกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารตั้งต้นทินไดคลอไรด์ไดไฮเดรต ($\text{SnCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 4.513 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร
2. ชั่งแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) โดยใช้อัตราส่วนฟลูออรีนต่อดีบุกต่างๆ กัน ดังตารางที่ 3.1 ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ในสารละลายจากข้อ 1
3. เติมน้ำปลอตกประจุให้ได้ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร
4. เติมนเมทานอลให้ได้ปริมาตรรวม 200 มิลลิลิตร
5. นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 90 °C เวลา 15 นาที
6. ให้อุณหภูมิกับฐานรองรับอยู่ที่ 400 °C
7. ปรับค่าความดันของก๊าซไนโตรเจน
8. เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที
9. นำฟิล์มบางที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ

- การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค โดยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์
- การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- การศึกษาสมบัติทางแสง โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- การศึกษาสภาพด้านทานไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวนเดอร์เพาว์
- การศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่เจือด้วยฟลูออรีนสำหรับการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณของสารเจือ [F]/[Sn] (wt.%)	ปริมาณสารตั้งต้น (g)	
	SnCl ₂ ·2H ₂ O	NH ₄ F
5	4.5130	0.2310
10	4.5130	0.4621
15	4.5130	0.6932
20	4.5130	0.9243

3.2.2.3 การเตรียมฟิล์มบาง SnO₂ : F ที่มี [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

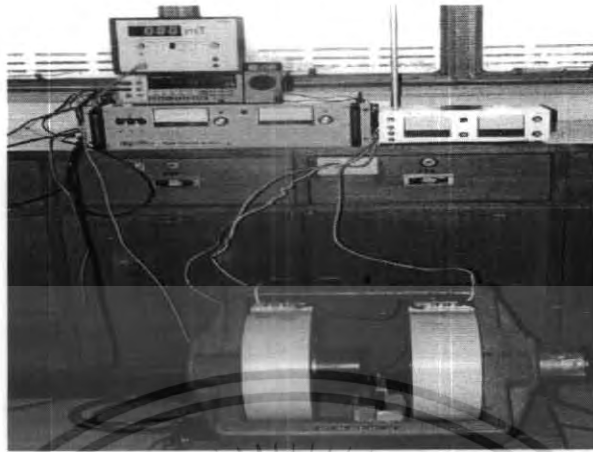
1. เตรียมสารละลายดีบุกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารตั้งต้นทินไดคลอไรด์ ไตไฮเดรต (SnCl₂·2H₂O) 4.513 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร
2. ชั่งแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH₄F) โดยใช้อัตราส่วนฟลูออรีนต่อดีบุก 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ในสารละลายจากข้อ 1
3. เติมน้ำปอดประจุให้ได้ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร
4. เติมนีออนให้ปริมาตรรวม 200 มิลลิลิตร
5. นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 90 °C เวลา 15 นาที

6. ให้อุณหภูมิกับฐานรองรับอยู่ที่ 400 °C
7. ปรับค่าความดันของก๊าซไนโตรเจน
8. เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ตามลำดับ
9. นำฟิล์มบางที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ
 - ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคโดยเอ็กซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์
 - ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - ศึกษาสมบัติทางแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
 - ศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวนเดอร์เพาว์
 - ศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์



รูปที่ 3.2 แสดงระบบวัดความต้านทานแผ่นและสภาพต้านทานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงระบบการศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ และตรวจสอบสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางที่เตรียมได้ เพื่อใช้เป็นชั้นตัวนำโปร่งแสงในเซลล์แสงอาทิตย์โดยได้กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิคจะใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมีเท่ากับ 20 นาที โดยจะทำการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งควบคุมอุณหภูมิฐานรองอยู่ที่ 400°K พบว่าลักษณะของฟิล์มบางที่ได้จะมีลักษณะใสส่งผ่านแสงได้ ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณการเจือของสารเจือ ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มจะคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.1

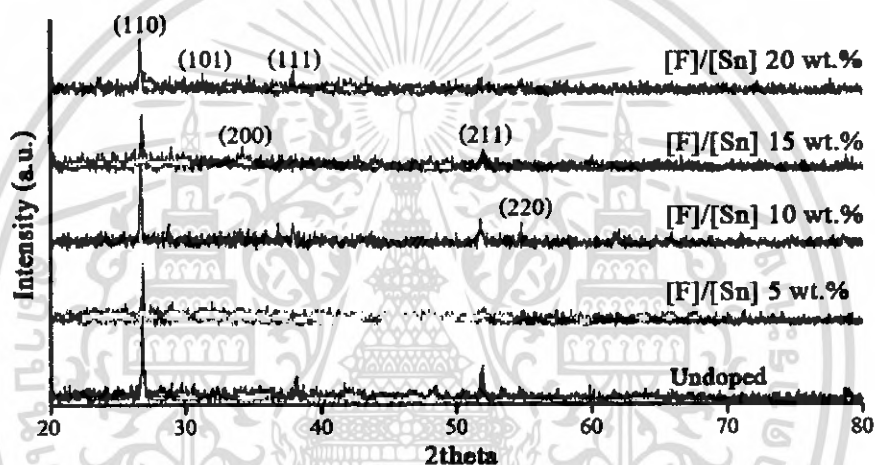


รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการขึ้นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

ได้นำฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไปศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์ (XRD) ดังแสดงผลรูปแบบของการเลี้ยวเบนดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการขึ้นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

จากรูปที่ 4.2 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ ฟิล์มบาง SnO_2 แสดงระนาบการเลี้ยวเบนในระนาบ (110), (111) และ (211) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.591, 38.991 และ 51.787 องศา ตามลำดับ แต่เมื่อทำการเจือด้วยฟลูออรีนในปริมาณ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้ว จะปรากฏทิศการเลี้ยวเบนในระนาบ (111) ที่มุม 2θ เท่ากับ 38.991 องศาหายไป แต่เมื่อปริมาณการเจือเพิ่มขึ้นเป็น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ระนาบการเลี้ยวเบนจะปรากฏทิศการเลี้ยวเบนในระนาบ (101) ที่มุม 2θ เท่ากับ 33.888 องศา ระนาบ (200) ที่มุม 2θ เท่ากับ 37.959 องศา และระนาบ (220) ที่มุม 2θ เท่ากับ 54.767 องศา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของระนาบที่ปรากฏกับไฟล์มาตรฐานจะได้

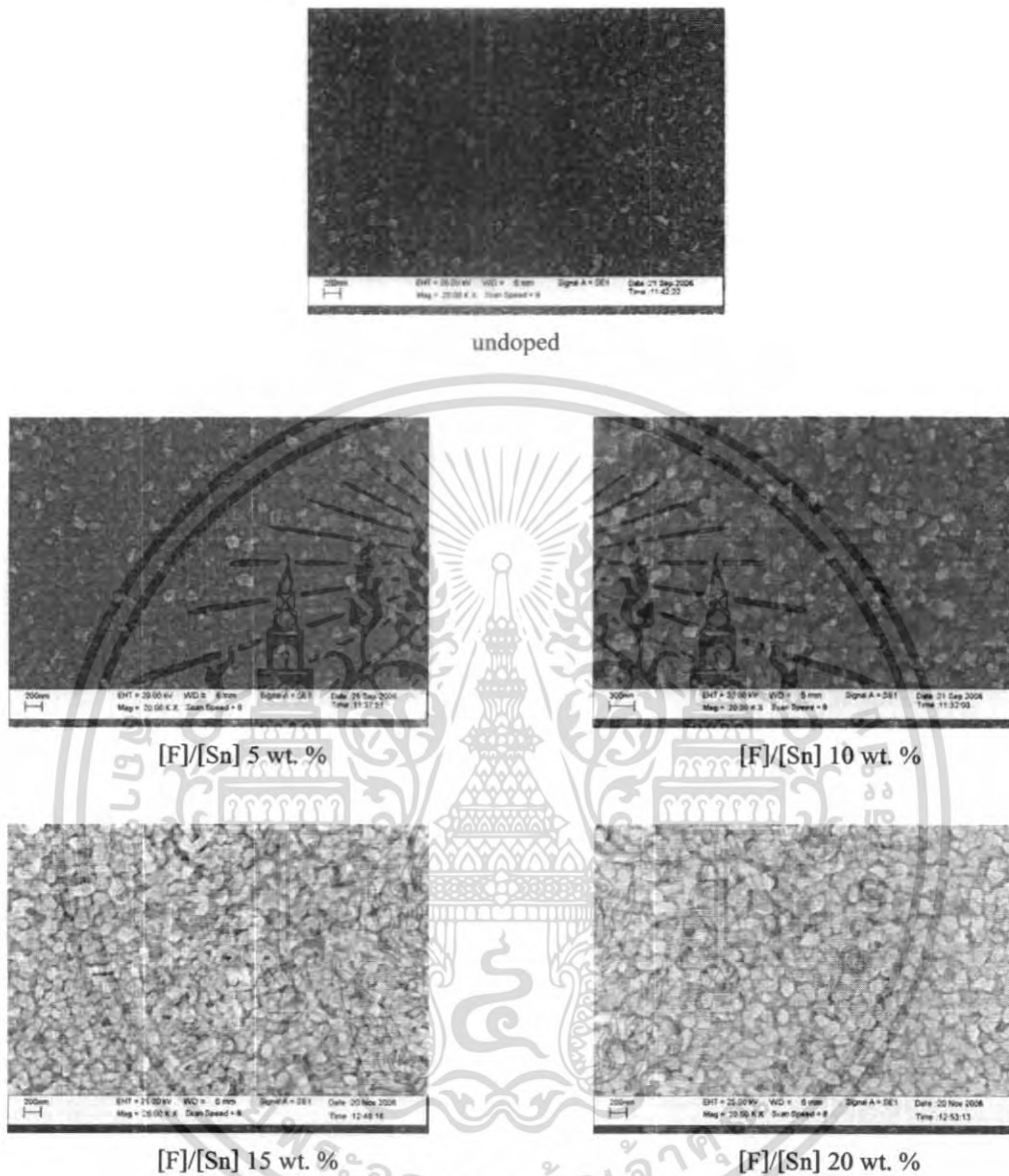
โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางเป็นแบบเตตระโกนอลและจากรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ปรากฏฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่ได้มีการจัดเรียงตัวเป็นผลึกที่ดี คือสังเกตได้จากความเข้มของพีคที่ปรากฏ ผลของการวัดเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์นี้เมื่อทำการคำนวณค่าคงที่ของ โครงผลึกและความเครียดโดยแสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในภาคผนวก ข. ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 4.1 โดยจะเห็นได้ว่าค่าคงที่ โครงผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเมื่อทำการเจือด้วยฟลูออรีน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่ได้เจือฟลูออรีนกับเจือฟลูออรีน พบว่า ค่าคงที่ โครงผลึกมีค่าใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเจือด้วย ฟลูออรีน และค่าความเครียดที่ปริมาณการเจือ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีค่าลดลง และที่ ปริมาณการเจือ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของ โครงผลึกและความเครียดของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ใน ปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการ สั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

ปริมาณของสารเจือ [F]/[Sn] (wt.%)	ค่าคงที่โครงผลึก (A)		ความเครียด ($\times 10^{-3}$)
	a	c	
0	4.678	3.334	6.90
5	4.679	3.335	0.89
10	4.736	3.494	1.53
15	4.679	3.407	11.78
20	4.737	3.491	6.11

4.1.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการ สั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาใน การพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

ได้นำฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไปศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลึกด้วยเชิงมหภาค โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ [F]/[Sn] 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะผิวหน้าและขนาดของเกรนของฟิล์มบางที่ได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าผิวหน้าของฟิล์มบางมีความเรียบและสม่ำเสมอ เมื่อเปอร์เซ็นต์การเจือของฟลูออรีนเพิ่มมากขึ้นขนาดของเกรนจะมีความใหญ่ขึ้น โดยขนาดของเกรนที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และที่ได้จากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของเกรนที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และจากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

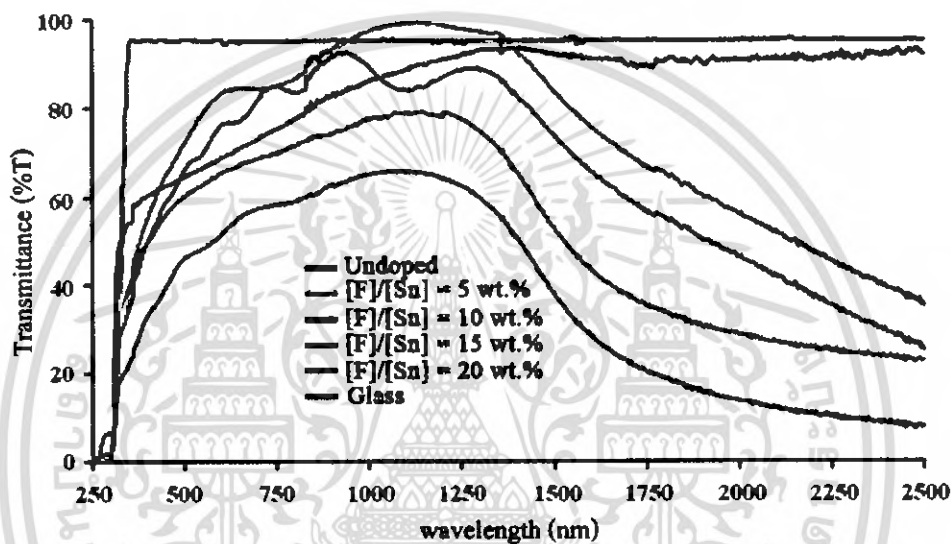
ปริมาณของสารเจือ [F]/[Sn] (wt.%)	ขนาดของเกรน (nm)	
	จาก XRD	จาก SEM
0	70.12	90.00
5	96.71	100.00
10	239.06	200.00
15	50.76	180.00
20	87.33	120.00

4.1.3 การตรวจสอบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

ในการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที ลักษณะของฟิล์มบางใสและสามารถส่งผ่านแสงได้

ฟิล์มบาง SnO_2 มีการส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ประมาณ 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการส่งผ่านแสงประมาณ

60 – 90 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการเจือด้วยฟลูออรีนการส่งผ่านแสงในช่วงที่เรามองเห็นดังแสดงในรูปที่ 4.4 การส่งผ่านแสงในช่วงอินฟราเรดนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของพาหะข้างมาก เมื่อฟิล์มบางมีปริมาณพาหะข้างมากเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการส่งผ่านแสงในช่วงอินฟราเรดลดลง จากรูปที่ 4.4 จะได้ว่าที่ปริมาณการเจือที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งมีปริมาณของพาหะมากที่สุดจะมีการส่งผ่านแสงในช่วงอินฟราเรดได้ต่ำที่สุดเช่นกันซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าที่จะได้แสดงผลในส่วนต่อไป



รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

4.1.4 สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

ได้นำฟิล์มบางที่ SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ไปทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าและความต้านทานแผ่นโดยเทคนิคของแวนเดอร์เพาว์และคำนวณปริมาณพาหะข้างมาก และสภาพคล่องของพาหะโดยปรากฏการณ์ฮอลล์ซึ่งค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อ

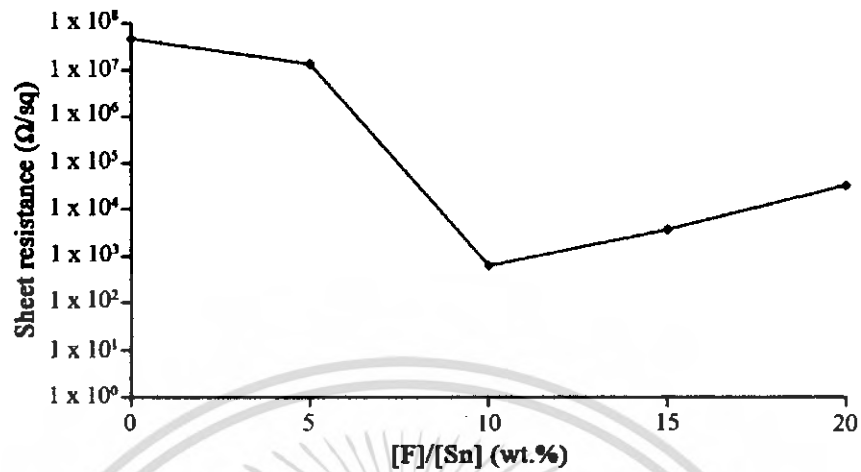
ปริมาณของสารเจือมากขึ้นจะทำให้ปริมาณพาหะข้างมากเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มบางมีสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลงขณะเดียวกันสภาพคล่องของอิเล็กตรอนก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากมีปริมาณพาหะข้างมากสูงขึ้น โดยฟิล์มบางที่มีปริมาณการเจือของฟลูออรีนเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความต้านทานแผ่นต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ $3.07 \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ และ $614.5 \Omega/\text{sq}$ ตามลำดับ แต่เมื่อปริมาณการเจือเพิ่มขึ้นเป็น 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางจะสูงขึ้น เนื่องจากอะตอมของสารเจือไม่สามารถที่จะเข้าไปอยู่ในโครงผลึกได้ทำให้แทรกอยู่ระหว่างขอบของเกรนและเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และคำนวณหาค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยและพลังงานเฟอร์มิเมื่อเทียบกับชั้นแถบนำไฟฟ้า ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณสารเจือมากขึ้นแนวโน้มของค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย ระดับพลังงานเฟอร์มิและความยาวคลื่นพลาสม่าจะมากขึ้นโดยจะมีค่ามากที่สุดที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณสารเจือมากขึ้น โดยได้แสดงค่าสมบัติของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



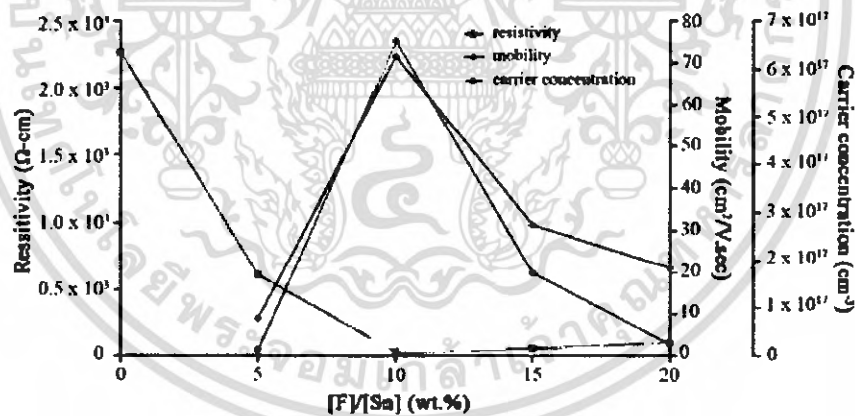
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสมบัติของฟิล์มบาง SnO₂ และ SnO₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

พารามิเตอร์ ที่ศึกษา	ปริมาณสารเจือ [F]/[Sn] (wt.%)				
	undoped	5	10	15	20
ความหนาฟิล์ม (± 25 nm)	500	500	500	500	500
ค่าความต้านทานแผ่น (x10 ³ Ω/sq)	45300.0	13500.0	0.6	3.6	30.4
สภาพต้านทานไฟฟ้า (x10 ⁻¹ Ω-cm)	22660.0	6080.0	0.3	1.8	15.2
ค่าสภาพคล่องของพาหะ (cm ² /V.sec)	-	9.0	71.5	31.5	21.2
ค่าความหนาแน่นพาหะ (x10 ¹⁷ cm ⁻³)	-	0.01	6.47	1.64	0.13
ระยะทางอิสระเฉลี่ย (Å)	-	0.60	57.5	18.8	15.8
ระดับพลังงานเฟอร์มิ (eV)	-	0.19	0.30	0.15	0.02
ความยาวคลื่นพลาสมา (nm)	-	1620	1640	1510	1280
ตัวเลขคุณภาพ (x 10 ⁷ Ω/sq) ⁻¹	0.007	0.055	5810	179	2.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ [F]/[Sn] 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที



รูปที่ 4.6 แสดงค่าสภาพคล่องฮอลล์ สภาพต้านทานไฟฟ้า และปริมาณพาหะข้างมากของฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ [F]/[Sn] 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

4.2 พิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

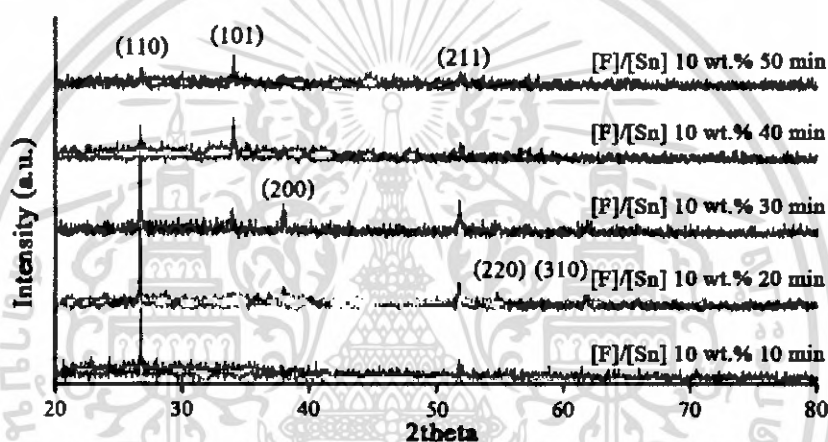
ได้มีการศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด จึงได้ศึกษาต่อว่าความหนาของฟิล์มบางจะมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์มหรือไม่ โดยในขั้นตอนนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มีปริมาณการเจือของฟลูออรีนเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีต่างๆกันคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ตามลำดับ และอุณหภูมิฐานรองอยู่ที่ประมาณ 400 K โดยลักษณะของฟิล์มบางที่ได้นั้นจะมีลักษณะใสที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีต่ำๆ และเมื่อระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีเพิ่มขึ้น พบว่าความโปร่งแสงของฟิล์มก็จะลดลงและมีลักษณะขาวขุ่นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 พิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

4.2.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุดภาคของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

ได้นำฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มีปริมาณการเจือของฟลูออรีน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไปศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) ดังแสดงผลรูปแบบของการเลี้ยวเบนดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

จากรูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาในการพ่น 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที โดยเมื่อเวลาในการพ่นสาร 10 นาที จะปรากฏพิกการเลี้ยวเบนในระนาบ (110) และ (211) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.591° องศา และ 51.787° องศา ตามลำดับ เมื่อเวลาในการพ่นเพิ่มขึ้นเป็น 20 นาที จะปรากฏพิกการเลี้ยวเบนในระนาบ (110), (211), (220) และ (310) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.591° , 51.787° , 54.767° และ 61.892° องศา ตามลำดับ เมื่อเวลาในการพ่นเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาที จะปรากฏพิกการเลี้ยวเบนในระนาบ (110), (101), (200) และ (211) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.591° , 33.888° , 37.959° และ 51.787° องศา ตามลำดับ เมื่อเวลาในการพ่นเพิ่มขึ้นเป็น 40 นาที และ 50 นาที จะปรากฏพิกการเลี้ยวเบนในระนาบ (110), (101)

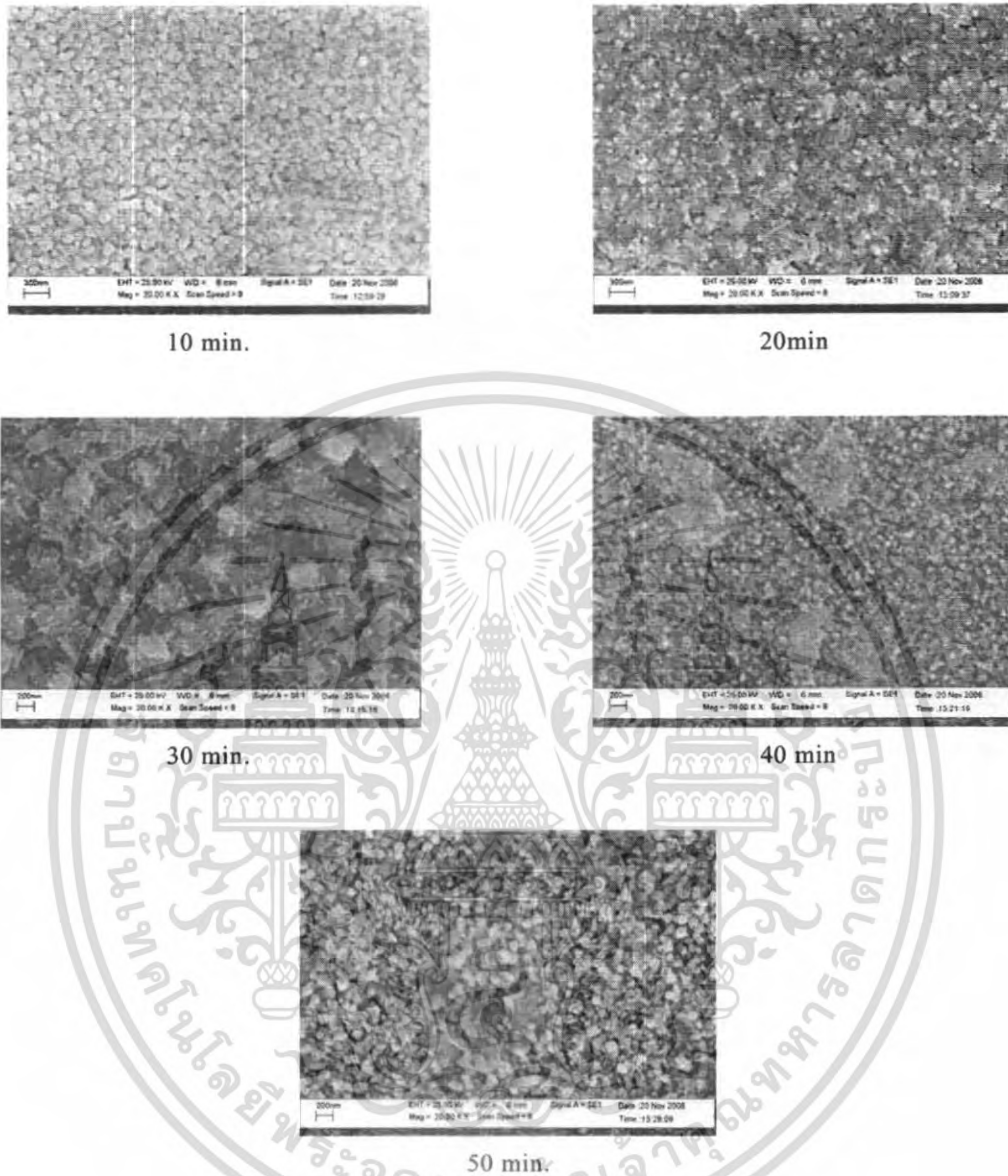
และ (211) ที่มุม 2θ เท่ากับ 26.591, 33.888 และ 51.787 องศา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของระนาบที่ปรากฏกับไฟล์มาตรฐานจะได้โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางเป็นแบบเตตระโกนอล และฟิล์มบางที่ได้มีการจัดเรียงตัวกันเป็นผลึกที่ดี ซึ่งสังเกตได้จากพีคที่มีความคมชัด และจากผลของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เมื่อทำการคำนวณหาค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกและความเครียดจะได้ค่าดังตารางที่ 4.4 ซึ่งเห็นได้ว่าขนาดของโครงสร้างผลึกมีขนาดเล็กลงเล็กน้อยเมื่อเวลาในการพ่นสารเพิ่มขึ้น และคำนวณหาความเครียดจะมีค่าอยู่ในช่วง $1 \times 10^{-3} - 9 \times 10^{-3}$

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง SnO₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

ฟิล์มบาง SnO ₂ : F ที่มีเงื่อนไขต่างๆ		ค่าคงที่โครงสร้างผลึก (A)		ความเครียด ($\times 10^{-3}$)
เวลาที่ใช้ในการพ่น ละอองสารเคมี (นาที)	ปริมาณของสารเจือ [F]/[Sn] (wt.%)	a	c	
10	10	4.736	3.196	8.25
20	10	4.736	3.194	1.53
30	10	4.734	3.184	1.63
40	10	4.729	3.191	5.59
50	10	4.720	3.181	6.54

4.2.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง SnO₂ : F ในปริมาณ [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400 °C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

นำฟิล์มบาง SnO₂ : F ที่มีปริมาณการเจือของฟลูออรีนเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ไปศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลึกเชิงมหภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยแสดงภาพดัดรูป 4.9

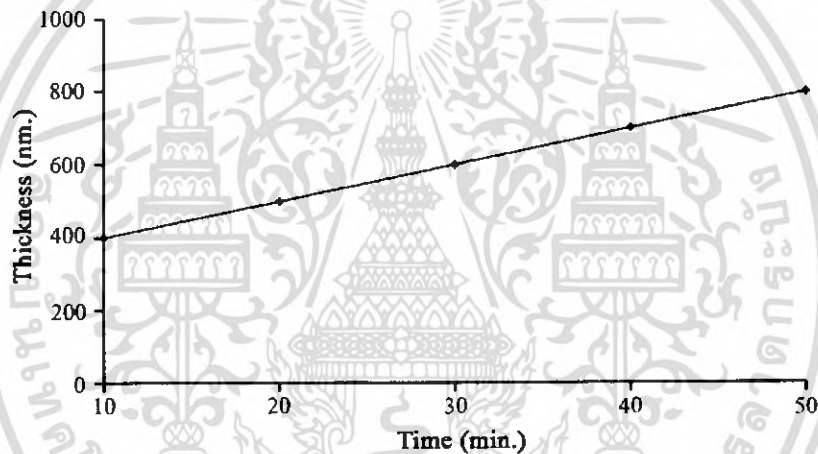


รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 20,000 เท่า ซึ่งจะแสดงลักษณะพื้นผิวและขนาดของเกรนของฟิล์มบางที่ได้ โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 10 นาที พื้นผิวของฟิล์มบางค่อนข้างเรียบ เกรนมีขนาดสม่ำเสมอและเมื่อระยะเวลาการพ่นละอองเพิ่มขึ้น พื้นผิวของฟิล์มบางมีความขรุขระมากขึ้นและขนาดของเกรนมีความสม่ำเสมอลดลง

จากรูปที่ 4.10 เป็นรูปการแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาการพ่นสารเคมีกับความหนาของฟิล์มบางที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งความหนาของฟิล์มบางมีค่าอยู่ในช่วง 400 – 800 nm โดยความหนาของฟิล์มบางจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการพ่นละอองสารเคมีเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มบางกับระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

ได้นำผลการทดลองจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมาหาค่าขนาดของเกรน พบว่าขนาดของเกรนมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 50-200 nm โดยแสดงผลดังตารางที่ 4.5

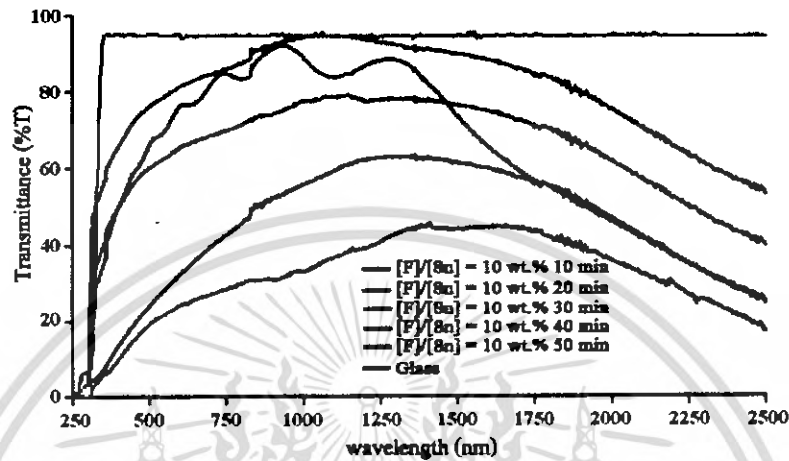
ตารางที่ 4.5 แสดงขนาดของเกรนที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและความหนาของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

ฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มีเงื่อนไขต่างๆ		ขนาดของเกรน (nm)	
เวลาที่ใช้ในการพ่น ละอองสารเคมี (นาที)	ปริมาณของสารเจือ [F]/[Sn] (wt.%)	จาก XRD	จาก SEM
10	10	50.21	70
20	10	239.06	320
30	10	107.49	140
40	10	68.29	120
50	10	60.41	100

4.2.3 การตรวจสอบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

ในการเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีแบบอัลตราโซนิกจะใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ลักษณะของฟิล์มบางใสและสามารถส่งผ่านแสงได้ ฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่ได้นั้นเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีเพิ่มขึ้นความใสของฟิล์มจะลดลงและเมื่อทำการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์ม พบว่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านลดลงเมื่อระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.11 จากรูปฟิล์มบางที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมี 10 และ 20 นาที จะมีความสามารถในการส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อ

ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีเพิ่มขึ้นถึง 40 นาที ความสามารถในการส่งผ่านแสงจะลดลงเหลือเพียง 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

4.2.4 สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

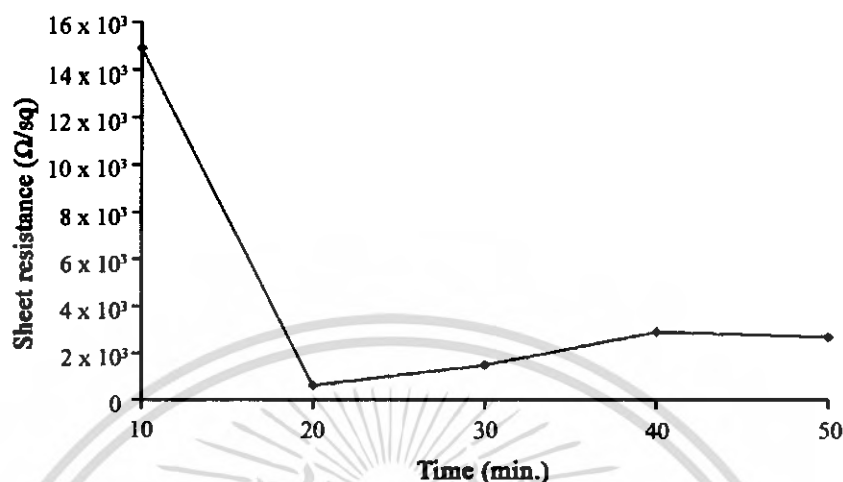
ได้นำฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่เจือด้วยฟลูออรีนความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีต่างๆกันไปทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าคือ สภาพต้านทานไฟฟ้า และความต้านทานแผ่น โดยวิธีเทคนิคของแวนเดอร์เพาว์ และวัดปริมาณพาหะข้างมากและสภาพคล่องพาหะ โดยปรากฏกราฟของค่าแสดงค่าดังตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่าสภาพต้านทานไฟฟ้า และความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากขนาดของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ลดการกระเจิงของพาหะลง โดยจะมีค่าต่ำที่สุดที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที โดยมีความต้านทานแผ่นและสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่า $614.51 \Omega/\square$ และ $3.07 \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ ตามลำดับ แต่ที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมี 30 นาทีขึ้นไป สภาพต้านทานไฟฟ้าและความต้านทานแผ่นมีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีที่

30 นาที นั้นฟิล์มบางมีโครงสร้างใกล้เคียงความเป็นผลึกสมบูรณ์ทำให้สภาพต้านทานไฟฟ้าและความต้านทานแผ่นเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงค่าสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มีปริมาณการเจือของฟลูออรีนเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิคที่ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีต่างๆ

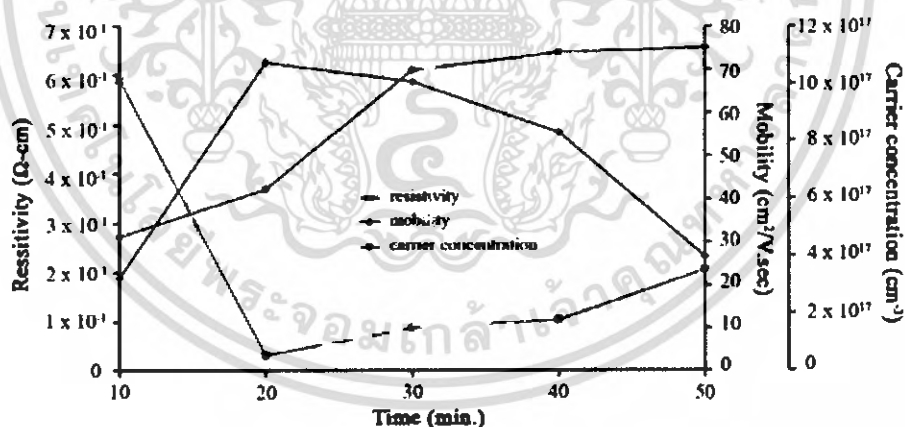
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสมบัติของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

พารามิเตอร์ ที่ศึกษา	ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมี (นาที)				
	10	20	30	40	50
ความหนาฟิล์ม ($\pm 25 \text{ nm}$)	400	500	600	700	800
ค่าความต้านทานแผ่น ($\times 10^3 \Omega/\text{sq}$)	14.9	0.6	1.5	2.9	2.7
สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^2 \Omega\text{-cm}$)	59.0	3.1	8.8	10.4	20.6
ค่าสภาพคล่องของพาหะ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$)	21.7	71.5	67.2	55.4	26.6
ค่าความหนาแน่นพาหะ($\times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)	4.81	6.47	10.60	11.20	11.40
ระยะทางอิสระเฉลี่ย (\AA)	2.7	57.5	11.9	0.9	54.9
ระดับพลังงานเฟอร์มิ (eV)	0.30	0.30	0.48	0.03	1.97
ความยาวคลื่นพลาสมา (nm)	1745	1640	1500	1810	1160
ตัวเลขคุณภาพ ($\times 10^3 \Omega/\text{sq}$) ⁻¹	2.920	58.100	3.750	0.210	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่น กับ ระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีของฟิล์มบาง SnO₂:F ที่มี [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที



รูปที่ 4.13 แสดงค่าสภาพคล่องของอิเล็กตรอน ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า และปริมาณพาหะข้างมากของฟิล์มบาง SnO₂:F ที่มี [F]/[Sn] 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

บทนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง การวัดสมบัติต่างๆทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ พร้อมทั้งปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำการวิจัยขั้นต่อไป

5.1.1 สรุปผลการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ในปริมาณ $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 5, 10, 15 และ 20 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที

การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 และ $\text{SnO}_2 : \text{F}$ โดยวิธีพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิก นั้นจะใช้เครื่องกำเนิดอัลตราโซนิกในการทำให้สารละลายเป็นไอ ซึ่งจะทำการเตรียมจากสารตั้งต้นคือ $\text{SnCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ NH_4F โดยใช้ NH_4F เป็นสารตั้งต้นของสารเจือฟลูออรีน โดยเจือฟลูออรีน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นนำสารที่เตรียมได้ไปละลายในน้ำปอดคปริมาตร 42 มิลลิลิตร แล้วเติมกรด HCl ปริมาตร 8 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมเมทานอลให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 200 มิลลิลิตร นำสารละลายที่เตรียมได้ไปอุ่นที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจึงทำการพ่นละอองสารเคมีทุกๆ 2 นาที โดยนำพาด้วยแก๊สไนโตรเจน จนครบ 20 นาที โดยที่อุณหภูมิฐานรองเท่ากับ 400°C พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้จะมีลักษณะใสส่งผ่านแสงได้ ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณการเจือของสารเจือ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การเจือฟลูออรีนมากขึ้นพบว่าเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าลดลง โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดที่ปริมาณการเจือฟลูออรีนเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

5.1.2 รูปผลการเตรียมฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ที่มี $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ 10 wt.% ที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคโดยให้อุณหภูมิของฐานรอง 400°C และใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที

หลังจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเจือที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบาง ซึ่งพบว่าความเข้มข้นที่ปริมาณการเจือฟลูออรีนเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ทำให้ฟิล์มบางมีคุณภาพดีที่สุด จึงได้เลือกเงื่อนไขนี้มาทำการศึกษาต่อว่าความหนาของฟิล์มจะมีผลต่อสมบัติของฟิล์มบางหรือไม่ โดยใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมี 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ซึ่งพบว่าความใสของฟิล์มบางนั้นจะลดลงเมื่อระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมี 20 นาที ฟิล์มบางจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด และเมื่อระยะเวลาการพ่นละอองสารเคมีมากขึ้นพบว่าเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและการส่งผ่านแสงจะมีค่าลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

1. ในการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ด้วยคลื่นอัลตราโซนิคควรมีการพัฒนา ระบบให้ใหญ่ขึ้นซึ่งจะสามารถเตรียมฟิล์มบางได้มากขึ้น
2. ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิค นั้น จะใช้เมทานอล ในการทำลายซึ่งเมทานอลเป็นอันตรายจึงควรใช้เอทานอลเป็นตัวทำลาย แต่เอทานอลนั้นเกิดละอองสารเคมีด้วยอัลตราโซนิคได้น้อยจึงควรมีการปรับปรุงระบบ ให้สามารถพ่นละอองโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำลายได้
3. ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิค นั้นจะใช้กรด HCl ช่วยในการละลายของสารละลาย ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของกรดที่ใช้ นั้นจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของฟิล์มจึงควรมีการศึกษาผลกระทบของปริมาณความเข้มข้นของกรดต่อไป
4. ในการเตรียมฟิล์มบาง ได้ทำการเตรียมที่อุณหภูมิของฐานรองรับเท่ากับ 400°C ควรมีการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของฐานรองรับที่เปลี่ยนไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Elangovan E., Ramamurthi K. 2003. "Optoelectronic Properties of Spray Deposition SnO_2 :F Thin Films for Windows Materials in Solar Cells.", **J. Optoelect. Adv. Mat.**, vol.5, pp. 45-54.
- Fukano T., Motohiro T. 2004. "Low-Temperature Growth of Highly Crystallized Transparent Conductive Fluorine-Doped Tin Oxide Films by Intermittent Spray Pyrolysis Deposition.", **Sol. Ener. Mater. Sol. Cells**, vol.82, pp. 567-575.
- Rajpure K. Y., Kusumade M. N., Neumann-Spallartb M. N., Bhosale C.H. 2000. "Effect of Sb Doping on Properties of Conductive Spray Deposited SnO_2 Thin Films.", **Mater. Chem. Phys.**, vol.64, pp. 184-188.
- Patil P. S., Kwar R. K., Seth T., Amalnerkar D. P., Chigare P. S. 2003. "Effect of Substrate Temperature on Structural, Electrical and Optical Properties of Sprayed Tin Oxide (SnO_2) Thin Films.", **Ceram. Int.**, vol.29, pp. 725-734.
- Samsonov G. V. 1973. **The Oxide Handbook**, London: Plenum Press.
- Cooper D. G. 1968. **The Periodic Table** 4th ed., London: Butterworth.
- งานนิตย์ วงษ์เจริญ , จูตินัย แก้วแดง และทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ. 2549. การประดิษฐ์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยอะตอมฟลูออรีน สำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ รายงานวิจัย เสนอต่อดคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อุปถัมภ์ นาครักษ์. 2548. การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนและพลวง ซึ่งเตรียมโดยวิธีแผ่นละอองสารเคมี วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Winter M. 2004. "**The Periodic Table on WWW**", [Online]., Available : www.webelements.com.
- Cahen S., David N., Fioran, J. M., Maitre A., Vilas, M.2003. "Thermodynamic Modelling of The O-Sn System.", **Thermochemica Acta**, vol.403, pp. 275-285.
- Kittel C. 1971. **Introduction to Solid State Physics** 4th ed., New York: John Wiley & Sons Inc.

งานนิตย ์ แก้วแดง , จูตินัย แก้วแดง , ชัยสิงห์ ภูรัศม์เกียรติ , ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ. 2545. "การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์", รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Abelas F. 1972. **Optical Properties of Solids.**, London: North-Holland.

Runyan W. R. 1975. **Semiconductor Measurement and Instrument** 3rd ed., New York :Mc Graw-Hill.

Moore D. M., Reynolds Jr. R. C. 1989. **X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals**, New York: Oxford University Press Inc.

Klug H. P., Alexander L. E. 1974. **X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials** 2nd ed., London: John Wiley & Sons.

Dieter K. S. 1998. **Semiconductor Material and Device Characterization** 2nd ed., New York : John Wiley & Sons Inc.

Hearle J.W. S., Sparrow J. T., Cross P. M. 1973. **The Use of the Scanning Electron Microscope**, New York: Pergamon Press Ltd.

สมฤทธิ วงศ์ณีโรจน์. 2538. "ระบบวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า และสภาพเคลื่อนที่ได้ของฮอลล์ควมคุมโดยคอมพิวเตอร์", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Fahrenbruch A.L., Bube R. H. 1983. **Fundamentals of Solar Cells Photovoltaic Solar Energy Conversion.**, New York: Academic Press Inc., p. 44.

Van der Pauw L. J. 1958. "A Method of Measuring Specific Resistivity and Hall Effect of Discs of Arbitrary Shape.", **Philips Res. Repts.**, vol.13, pp. 1-9.

Thangaraju B. 2002. "Structure and Electrical Studies on Highly Conducting Spray Deposited Fluorine and Antimony Doped SnO_2 Thin Films from $SnCl_2$ Precursor.", **Thin Solid Films**, vol.402, pp. 71-78.

Joseph Prince J., Ramamurthy S., Subramanian B., Sanjeeviraja C., Jayachandran M. 2002. "Spray Pyrolysis Growth and Material Properties of In_2O_3 Films.", **J. Cryst. Growth.**, vol.240, pp. 142-151.

Haacke G. 1976. "New Figure of Merit for Transparent Conductors.", **J. Appl. Phys.**, vol.47, pp. 4086-4089.

- Hou X., Choy K. 2004. "Deposition Mechanism and Structural Characterization of TiO_2 Films Produced Using ESAVD Method.", **Surf. Coat. Technol.**, vol.180-181, pp.15-19.
- Okuya M., Nakade K., Osa D., Nakano T., Asoka Kumara G. R., Kaneko S. 2004. "Fabrication of Dye – Sensitized Solar Cells by Spray Pyrolysis Deposition (SPD) Technique.", **J. Photochem. Photobiol. A: Chem.**, vol.164, pp. 167-172.
- Tsukuma K., Akiyama T., Imai H. 1997. "Liquid Phase of Deposition Film of Tin Oxide.", **J. Non-Cryst. Sol.**, vol.210, pp. 48-54.
- Goebbert C., Nonninger R., Aegerter M. A., Schmidt H. 1999. "Wet Chemical Deposition of ATO and ITO Coatings Using Crystalline Nanoparticles Redispersable in Solutions." **Thin Solid Films**, vol.351, pp. 79-84.
- Kodigala Subba Ramaiah*, V. Sundara Raja. 2006. "Structural and electrical properties of Fluorine doped tin oxide films prepared by spray-pyrolysis technique." **Applied surface science**, vol.253, pp. 1451-1458.
- Shanthi S., Subramanian P., Ramasamy P. 1999. "Investigation on Optical Properties of Undoped, Fluorine Doped and Antimony Doped TinOxide Films.", **Cryst. Res. Technol.**, vol.34, pp. 1037-1046.
- Elangovan E., Ramamurthi K. 2003. "Study on Optical Properties of Polycrystalline SnO_2 :Sb Thin Films Prepared Using SnCl_2 Precursor.", **Cryst. Res. Technol.**, vol.38, pp. 779-784.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ SnO_2

Pattern : 41-1445

Radiation = 1.540598

Quality : High

SnO ₂		2 θ	I	h	k	l
		25.611	100	1	1	0
		33.893	75	1	0	1
		37.950	21	2	0	0
		39.989	4	1	1	1
		42.635	1	2	1	0
		51.781	57	2	1	1
		54.759	14	2	2	0
		57.519	6	0	0	2
		61.872	11	3	1	0
		62.581	1	2	2	1
		64.719	12	1	1	2
		65.938	14	3	0	1
		69.231	1	3	1	1
		71.278	6	2	0	2
		71.773	1	3	2	0
		74.452	1	2	1	2
		78.714	9	3	2	1
		81.139	3	4	0	0
		83.714	6	2	2	2
		84.170	1	4	1	0
		87.228	3	3	3	0
		89.768	7	3	1	2
		90.890	8	4	1	1
		93.256	3	4	2	0
		93.924	1	3	3	1
		95.980	3	1	0	3
		98.896	1	3	2	2
		99.041	1	1	1	3
		100.007	1	4	2	1
		108.256	4	4	0	2
		108.407	7	2	1	3
		111.484	1	4	1	2
		111.972	3	5	1	0
		114.752	3	3	3	2
		115.984	8	5	0	1
		118.310	1	2	2	3

Lattice : Tetragonal

Mol. weight = 150.69

S.G. : P42/mnm (136)

Volume [C₀] = 71.55

a = 4.73820

Dx = 6.994

Dm = 7.020

c = 3.18710

Z = 2

Wcor = 1.00

COLOR : White

ADDITIONAL PATTERN To replace 1-667, 14-567 and 21-1250

OPTICAL DATA : B=2.006, C=2.0972, Sign=+

ADDITIONAL PATTERN : See ICSD 39173 (PDF 77-447).

*ICDD Grant-in-Aid, (1988) contributed :
Welton, J., McCarthy, G., North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA

*Powder Diffraction, volume 4, page 156, (1989) primary reference

McCarthy, G., Welton, J.

*Acta Crystallogr., Sec. A, volume 9, page 515, (1956) :

Baur, W.

*Microscopic Character of Artificial Inorg. Solid Sub., page 89, (1964) optical data :

Winchell, A., Winchell, H.

Radiation : CuK α 1

Filter : Monochromator crystal

Lambda : 1.54060

d-sp : Diffractometer

SS/FOM : F30-105(0 0095.30)

Internal standard : Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 78 1023 Radiation = 1540506 Quality : Calculated

Sn O ₂	2th	l	h	k	j	2th	l	h	k	j
	11.145	<1	0	0	2	74.444	<1	1	0	12
	21.839	<1	1	0	2	74.879	2	2	2	8
	22.968	<1	0	0	4	74.879	2	3	2	5
	34.769	1	1	1	0	75.133	2	3	1	7
	25.045	40	1	1	1	75.871	1	0	4	8
	26.866	79	1	1	2	75.871	1	1	4	5
	29.743	100	1	1	3	76.267	1	1	3	9
	31.317	1	0	2	0	77.157	<1	3	0	8
	31.833	3	0	2	1	78.130	1	2	4	0
	33.358	58	0	2	2	78.403	1	2	4	1
	33.950	58	1	1	4	78.684	6	3	3	0
	33.874	31	0	6	6	78.950	3	3	3	1
	35.721	14	0	2	3	79.289	3	0	4	7
	37.183	<1	1	2	1	79.289	3	3	1	8
	37.550	13	1	1	5	79.541	2	2	1	11
	37.959	19	2	0	0	79.900	<1	0	2	12
	38.504	2	1	2	2	80.138	3	2	2	10
	38.643	19	0	2	4	80.836	4	2	4	3
	38.979	12	1	0	6	80.857	2	2	3	6
	40.625	1	1	2	3	81.152	4	4	0	0
	41.841	<1	2	1	1	81.152	4	3	3	3
	42.187	1	1	1	6	81.515	1	2	4	4
	42.571	3	0	2	5	83.461	1	1	1	13
	43.449	1	1	2	4	83.461	1	4	1	1
	44.519	<1	2	0	4	83.713	6	2	0	12
	46.798	1	0	2	8	83.932	6	3	1	9
	48.876	1	1	2	5	84.962	1	2	4	5
	47.183	7	1	1	7	85.507	<1	4	0	4
	50.002	1	2	2	0	85.507	<1	3	3	5
	90.354	5	2	2	1	85.895	<1	2	1	12
	51.398	22	2	2	2	85.936	<1	2	2	11
	51.396	22	0	2	7	86.411	<1	1	4	8
	81.777	48	1	3	0	86.704	<1	0	2	13
	51.777	45	2	0	8	86.989	<1	3	0	10
	82.487	10	1	1	8	87.232	<1	1	3	11
	83.107	12	1	3	2	87.976	2	2	4	8
	83.107	12	2	2	3	87.976	2	0	4	9
	84.789	3	1	3	2	88.177	2	1	5	1
	55.456	10	2	2	4	88.483	8	3	3	8
	88.458	8	0	2	8	88.988	4	1	6	2
	57.053	<1	1	1	4	89.805	<1	4	2	1
	58.076	13	1	1	9	89.805	<1	1	2	13
	88.076	13	0	0	10					
	58.905	1	1	3	5					
	60.022	<1	1	2	8					
	60.817	<1	3	1	0					
	60.817	<1	2	0	8					
	61.126	3	3	1	1					
	61.810	5	2	2	6					
	61.810	5	0	2	9					
	67.047	6	3	1	2					
	63.284	22	2	1	8					
	63.284	22	1	3	6					
	63.565	11	3	1	3					
	63.782	5	2	3	2					
	63.947	5	1	1	10					
	65.340	1	2	3	3					
	65.340	1	0	4	0					
	65.698	7	3	1	4					
	65.859	7	2	2	7					
	66.524	2	0	4	2					
	67.153	<1	1	3	7					
	67.989	4	0	2	10					
	67.989	5	0	4	3					
	68.301	2	2	1	9					
	68.301	2	3	1	5					
	68.937	<1	1	4	1					
	68.937	<1	3	2	2					
	69.250	<1	3	0	6					
	70.081	5	2	2	8					
	70.081	5	1	1	11					
	70.735	<1	4	2	10					
	71.273	4	1	4	3					
	71.273	4	0	0	12					
	71.466	7	3	1	6					
	71.466	2	1	3	8					
	72.368	<1	3	2	4					
	72.581	1	0	4	5					
	73.206	<1	1	4	4					
	73.512	1	0	2	11					
	73.787	<1	2	1	10					

Lattice : Orthorhombic Mol. weight = 150.68
 S.G. : Pbcn (83) Volume [CD] = 428.97
 a = 4.73700 Cx = 7.000
 b = 5.70830
 c = 15.86500
 a/b = 0.82989 Z = 12 ρcalc = 5.29
 c/b = 2.77943

ICSD COLLECTION CODE : 062199
 TEST FROM ICSD : At least one TF invariable
 TEMPERATURE FACTOR : 1TF

Calculated from ICSD using POWD-12, (1997) primary reference :
 *Acta Crystallogr., Sec. B, Structural Science, volume 40, page 358 (1984) :
 Muckler, E

Radiation : CuKα1 Filter : Not specified
 Lambda : 154060 d-sp : Calculated spacings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 33-1374

Radiation = 1.540598

Quality : Not indexed

Sn O₂2θ^o I h k l

31.452	100	1	1	1
36.404	70	2	0	0
40.778	10	2	0	1
52.455	60	2	2	0
62.587	60	3	1	1
65.547	15	2	2	2
77.850	5	4	0	0
85.950	20	3	3	1
88.798	20	4	2	0
100.212	10	4	2	2

Tin Oxide

Lattice : Face-centered cubic

Mol. weight = 150.69

S.G. : Fm3m (225)

Volume [C.D.] = 119.46

a = 4.52500

Dx = 8.379

Z = 4

UNIT CELL DATA : a0 was measured at room temperature, ~250 kbar.
 SAMPLE PREPARATION : X-ray diffraction patterns obtained in situ in a
 diamond-anvil pressure cell after laser heating and quenching.
 GENERAL COMMENTS : On release of pressure, transition to alpha-PbO₂
 form results in 8% volume change.
 FOOTNOTES FOR HKL AND SUPERLATTICE D-SPACINGS : *Not
 permitted by space group.

*Science, volume 198, page 422, (1978) primary reference.
 Liu L.

Radiation : MoKα

Filter : Not specified

Lambda : 0.71068

d-sp : Not given

SS/FOM : F0= 27(0.0370,0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารตั้งต้น

มวลโมเลกุลของธาตุ

Sn	=	118.71	g/mol
N	=	14.01	g/mol
H	=	1.01	g/mol
F	=	19.00	g/mol
Cl	=	35.45	g/mol
O	=	16.00	g/mol

การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นของ Sn 0.2 M

	mol	=	g/มวล โมเลกุล
	0.2	=	g/118.71
	g	=	23.742
เพราะฉะนั้นต้องใช้	SnCl ₂ ·2H ₂ O	=	(225.65x23.742)/118.71 g
	SnCl ₂ ·2H ₂ O	=	45.13 g ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร
	SnCl ₂ ·2H ₂ O	=	4.513 g ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

การคำนวณปริมาณของสารเจือ

มวลโมเลกุลของ	SnCl ₂ ·2H ₂ O	=	225.65	g/mol
	SnCl ₂ ·2H ₂ O	=	4.513	g
เพราะฉะนั้นจะมี	Sn	=	(118.71x4.513)/225.65	g
	Sn	=	2.37	g

การเตรียมให้ [F]/[Sn] = 1 wt.%

ปริมาณของ	F	=	(1x2.37)/100	g
	F	=	0.0237	g
มวลโมเลกุลของ	NH ₄ F	=	37.04	g/mol
เพราะฉะนั้นต้องใช้	NH ₄ F	=	(37.04x0.0237)/19	g
	NH ₄ F	=	0.046	g

ตั้งนั้น เมื่อเตรียม $[F]/[Sn] = 5 \text{ wt.}\%$

ปริมาณของ	F	=	$(5 \times 2.37)/100$	g
	F	=	0.1185	g
มวลโมเลกุลของ	NH_4F	=	37.05	g/mol
เพราะฉะนั้นต้องใช้	NH_4F	=	$(37.05 \times 0.1185)/19$	g
	NH_4F	=	0.2310	g

และ เตรียม $[F]/[Sn] = 10 \text{ wt.}\%$ จะได้	NH_4F	=	0.4621	g
เตรียม $[F]/[Sn] = 15 \text{ wt.}\%$ จะได้	NH_4F	=	0.6932	g
เตรียม $[F]/[Sn] = 20 \text{ wt.}\%$ จะได้	NH_4F	=	0.9243	g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

คำนวณหาค่าคงที่ไครงผลึก

จากการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะทำให้ทราบระนาบที่เกิดขึ้น จะสามารถหาค่าคงที่ไครงผลึกโดยไครงผลึกแบบเตตระโกนอล ดังนี้

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2 + b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

เมื่อ h, k, l คือ ระนาบของผลึก

a, b, c คือ ค่าคงที่ของ ไครงผลึก เนื่องจากเป็นเตตระโกนอลทำให้ $a = b \neq c$

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ

ตัวอย่าง การคำนวณค่าคงที่ไครงผลึกของระนาบ (110)

เมื่อ ไม่มีการเจือสาร ใช้เวลา 20 นาที คำนวณหาค่า a

$$\frac{1}{3.32^2} = \frac{1^2 + 1^2}{a^2 + a^2} + \frac{0^2}{3.18^2}$$

ดังนั้น $a = 4.678 \text{ \AA}$

โดยค่า c ได้จากกราฟ

$$\frac{1}{3.32^2} = \frac{1^2 + 1^2}{4.73^2 + 4.73^2} + \frac{0^2}{c^2}$$

โดยค่า a ได้จากกราฟ

ดังนั้น $c = 3.334 \text{ \AA}$

หรืออาจจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป cene เพื่อหาค่าคงที่ไครงผลึก

หาค่าขนาดของเกรน

จากสมการ

$$D = \frac{\lambda}{\beta \cos \theta}$$

- เมื่อ D คือ ขนาดของเกรน
 λ คือ ความยาวคลื่น
 β คือ ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนที่มีความเข้มเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มสูงสุด

ตัวอย่าง การคำนวณเมื่อให้ปริมาณสารเจือที่แตกต่างกัน

เมื่อไม่มีการเจือสาร ใช้เวลา 20 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(2.26 \times 10^{-3}) \cos 13.38}$$

$$= 70.12 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 5 wt.% เป็นเวลา 20 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(1.63 \times 10^{-3}) \cos 13.40}$$

$$= 96.70 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 10 wt.% เป็นเวลา 20 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(6.62 \times 10^{-4}) \cos 13.33}$$

$$= 239.06 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 15 wt.% เป็นเวลา 20 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(3.12 \times 10^{-3}) \cos 13.38}$$

$$= 50.76 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 20 wt.% เป็นเวลา 20 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(1.81 \times 10^{-3}) \cos 13.29}$$

$$= 87.33 \times 10^{-9} \text{ m}$$

ตัวอย่าง การคำนวณเมื่อให้ปริมาณสารเจือ 10 wt.% โดยให้ระยะเวลาในการพ่นแตกต่างกัน

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 10 wt.% เป็นเวลา 10 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(3.15 \times 10^{-3}) \cos 13.38}$$

$$= 50.20 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 10 wt.% เป็นเวลา 20 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(6.62 \times 10^{-4}) \cos 13.33}$$

$$= 239.06 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 10 wt.% เป็นเวลา 30 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(1.50 \times 10^{-3}) \cos 17.01}$$

$$= 107.49 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 10 wt.% เป็นเวลา 40 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(2.32 \times 10^{-3}) \cos 13.32}$$

$$= 68.29 \times 10^{-9} \text{ m}$$

เมื่อมีปริมาณสารเจือ 10 wt.% เป็นเวลา 50 นาที

$$D = \frac{1.5418 \times 10^{-10}}{(2.66 \times 10^{-3}) \cos 17.02}$$

$$= 60.41 \times 10^{-9} \text{ m}$$

หาค่าความเครียด

จากสมการ

$$\beta \cos \theta = \frac{x}{D} - \varepsilon, \sin \theta$$

จากสมการเส้นตรงจะได้

$$\frac{x}{D} \text{ คือ จุดตัดแกน } y$$

ε , คือ ความเครียดซึ่งได้จากความชันของกราฟระหว่าง $\beta \cos \theta$ กับ $\sin \theta$

คำนวณหาค่าความถี่พลาสมา

จากสมการ

$$\omega_p = \left(\frac{ne^2}{\varepsilon_0 \varepsilon_\infty m^*} \right)^{1/2}$$

เมื่อ ε_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 1

ε_∞ คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่สูง มีค่าเท่ากับ 10

m^* คือ ค่ามวลขั้วผลของอิเล็กตรอนภายในสารแต่ละชนิดของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ จะ

เท่ากับ $0.19 m_e$

จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความยาวคลื่นพลาสมา

$$\omega_p = 2\pi f_p = \frac{2\pi c}{\lambda_p}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ ω_p คือ ค่าความถี่พลาสมา
 λ_p คือ ค่าความยาวคลื่นของพลาสมา
 f_p คือ ค่าความถี่ของพลาสมา
 c คือ ค่าความเร็วแสง

คำนวณหาค่าสภาพคล่องพาหะ ความหนาแน่นพาหะ และค่าระยะทางเฉลี่ย
 จากสมการ

$$R_H = \frac{10^8 \cdot t \cdot V_H}{I_x \cdot B_z}$$

- เมื่อ t คือ ความหนาฟิล์ม (cm)
 R_H คือ ค่าคงที่ฮอลล์ (cm^3/C)
 I_x คือ กระแสไฟฟ้า (A)
 B_z คือ สนามแม่เหล็ก (G)
 V_H คือ แรงดันฮอลล์ (V)

คำนวณหาค่าสภาพคล่องฮอลล์
 จากสมการ

$$\mu_H = \frac{R_H}{\rho}$$

- เมื่อ μ_H คือ สภาพคล่องพาหะ ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
 ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ($\Omega\text{-cm}$)
 R_H คือ ค่าคงที่ฮอลล์ (cm^3/C)

คำนวณหาค่าความหนาแน่นพาหะ

จากสมการ

$$n = \frac{1}{qR_H}$$

- เมื่อ n คือ ความหนาแน่นพาหะ (cm^{-3})
 Q คือ ประจุอิเล็กตรอน ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
 R_H คือ ค่าคงที่ฮอลล์ (cm^3/C)

คำนวณหาค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย

$$l = \left(\frac{h}{2e} \right) \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{1/3} \mu_H$$

- เมื่อ l คือ ระยะทางอิสระเฉลี่ย (\AA)
 h คือ ค่าคงที่ของพลังค์
 e คือ ประจุอิเล็กตรอน ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
 n คือ ความหนาแน่นพาหะ (cm^{-3})
 μ_H คือ สภาพคล่องพาหะ ($\text{cm}^2/\text{V.s}$)

คำนวณหาระดับพลังงานเฟอร์มิ

จากสมการ

$$\epsilon_F = \left(\frac{h^2}{8m^*} \right) \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{2/3}$$

- เมื่อ h คือ ค่าคงที่ของพลังค์
 n คือ ความหนาแน่นพาหะ
 m^* คือ ค่ามวลขั้วผลของอิเล็กตรอนภายในสารแต่ละชนิดของฟิล์มบาง $\text{SnO}_2 : \text{F}$ จะมีค่าเท่ากับ $0.19 m_e$

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกิตติยา อินทสันตา เกิดเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ.2527 เป็นคนจังหวัดนครพนมโดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษาจากโรงเรียนเรณูนครวิทยานุกูล จังหวัดนครพนม และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ปีการศึกษา 2546

นางสาวจันทร์ สรรพกิจจานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2528 เป็นคนกรุงเทพมหานคร โดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษาจากโรงเรียนศึกษานารี กรุงเทพมหานคร และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ปีการศึกษา 2546

นางสาววิไลวรรณ โพนคำ เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ.2527 เป็นคนจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษาจากโรงเรียนพนมสารคาม พนมออกุศลวิทยา จังหวัดฉะเชิงเทรา และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ปีการศึกษา 2546