บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการเตรียมฟิล์มอินเดียมออกไซด์เจือไทเทเนียม ที่เงื่อนไขการเจือไทเทเนียมแตกต่างกัน

ผลการเตรียมและการวิเคราะห์เฟส โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้าและแสงของฟิล์ม ITiO สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

(1) ผลการตรวจสอบเฟสและโครงสร้างผลึกของฟิล์ม ITiO ที่ปริมาณการเจือ Ti เท่ากับ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 at.% อบอ่อนที่อุณหภูมิ 450 °C พบว่าลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะสอดคล้องกับข้อมูลของสาร In_2O_3 ในแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 006-0416 ที่เป็นผลึกเชิงซ้อนโครงสร้างแบบลูกบาศ์ก (body center cubic) เหมือนกัน

(2) ความเป็นผลึกของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการเจือ Ti มากขึ้นและจากผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณการเจือ Ti เท่ากับ 0.1 at.% ฟิล์ม ITiO จะมีความเป็นผลึกสูงสุด

(3) ฟิล์ม ITiO จะมีโครงสร้างทางจุลภาคที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายเกาะและขนาดไม่ค่อยสม่ำเสมอ เกรนมีขนาดเล็ก เห็นขอบเกรนไม่ค่อยชัดเจน มีรอยแตกและรูพรุนค่อนข้างมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการเจือ Ti พบว่าฟิล์มจะมีขนาดเกรนเพิ่มขึ้น รูปร่างอนุภาคกลมและมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น ปริมาณรูพรุนลดลง

(4) เมื่อทำการศึกษาผิวหน้าของฟิล์มพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังสองของความหยาบผิวของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเจือ Ti มากขึ้น

(5) เมื่อตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม ITiO อบอ่อนที่อุณหภูมิ 450 °C พบว่า
- การเจือ Ti ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม ITiO ลดลง
- การเจือ Ti ในปริมาณ 0.1 at.% จะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุด

(6) ผลจากการตรวจสอบสมบัติทางแสงของฟิล์ม ITiO ก่อนและหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450 °C พบว่า
- ปริมาณ Ti ที่เจือเข้าไปส่งผลให้แนวโน้มของการส่องผ่านแสงมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณการเจือ Ti เท่ากับ 0.1 at.%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- เมื่อนำฟิล์มมาผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450 °C พบว่าการเจือ Ti ปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่าการส่องผ่านแสงและค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มเพิ่มขึ้นมากกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบอ่อน

5.1.2 การเตรียมฟิล์มอินเดียมออกไซด์เจือไทเทเนียมที่มีเงื่อนไขของอุณหภูมิอบอ่อนแตกต่างกัน

ผลการเตรียมและการวิเคราะห์เฟส โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้าและแสงของฟิล์ม ITiO สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

(1) ผลการตรวจสอบเฟสและโครงสร้างผลึกของฟิล์ม ITiO ที่ปริมาณการเจือ Ti เท่ากับ 0.1 at.% อบอ่อนที่อุณหภูมิ 250, 300, 350 และ 400 °C พบว่าลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะสอดคล้องกับข้อมูลของสาร In_2O_3 ในแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 006-0416 ที่เป็นผลึกเชิงซ้อนโครงสร้างแบบลูกบาศ์ก (body center cubic) เหมือนกัน

(2) ความเป็นผลึกของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและจากผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 400 °C จะมีความเป็นผลึกสูงสุด

(3) เมื่อทำการศึกษาขนาดเกรนของฟิล์มพบว่าขนาดเกรนของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่ออบอ่อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น

(4) เมื่อทำการศึกษาผิวหน้าของฟิล์มพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังสองของความหยาบผิวของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่ออบอ่อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น

(5) เมื่อตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม ITiO อบอ่อนที่อุณหภูมิ 250-400 °C พบว่า

- การอบอ่อนฟิล์มที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม ITiO ลดลง
- การอบอ่อนฟิล์มที่อุณหภูมิ 400 °C จะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุด

(6) ผลจากการตรวจสอบสมบัติทางแสงของฟิล์ม ITiO ก่อนและหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 250-400 °C พบว่า

- การเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อนจะส่งผลให้แนวโน้มของค่าการส่องผ่านแสงสูงขึ้นมากกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบอ่อนอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิอบอ่อนเท่ากับ 300 °C แต่หลังจากเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อนสูงกว่า 300 °C พบว่าค่าการส่องผ่านแสงจะลดลงเล็กน้อย
- การอบอ่อนฟิล์มจะส่งผลให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มเพิ่มขึ้น เมื่อนำฟิล์มมาทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 250 °C จะส่งผลให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานเพิ่มขึ้น แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อนสูงกว่า 250 °C จะพบว่าค่าช่องว่างแถบพลังงานแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) กระจกสไลด์ที่ผ่านการทำความสะอาดและเป่าให้แห้งแล้ว ถ้าเป็นได้ควรจะนำมาทำการเคลือบฟิล์มทันที ไม่ควรเก็บทิ้งไว้นานเพราะอาจทำให้ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกกลับมาติดที่ผิวกระจกได้อีก

(2) การเตรียมสารละลาย โดยการใช้ไทเทเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ ($C_{12}H_{28}O_4Ti$) เป็นตัวให้สารเจือ Ti ค่อนข้างจะเตรียมยาก เนื่องจาก $C_{12}H_{28}O_4Ti$ มีความไวต่ออากาศและความชื้น เนื่องจากถ้าสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำแล้วจะสารจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งจะมีสมบัติไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในขั้นตอนของการปิเปตสารจึงต้องทำด้วยความรวดเร็วและระมัดระวัง เพื่อป้องกันการเกิด TiO_2 เกาะที่ผนังหลอดปิเปต นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณ $C_{12}H_{28}O_4Ti$ ในสารละลายเพื่อเพิ่มปริมาณการเจือ Ti จะพบว่าเกิดปัญหาความสามารถในการละลายของสารจะน้อยลง ทำให้ต้องใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งอาจมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์ม ดังนั้นจึงอาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเลือกใช้สารเคมีชนิดอื่นมาแทนการใช้ $C_{12}H_{28}O_4Ti$ เพื่อให้ขั้นตอนของการเตรียมสารละลายไม่เกิดปัญหา

(3) สำหรับผู้ที่สนใจที่จะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาหรือปรับปรุงวิธีการทดลอง อยากให้ทดลองทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อสมบัติของฟิล์ม เช่น

- การเคลือบฟิล์มบนซับสเตรตแก้วที่อุณหภูมิต่างๆ กัน คือ ที่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 500 °C โดยอาจเพิ่มอุณหภูมิซับสเตรตขึ้นทีละ 50 °C หรือ 100 °C
- การสร้างฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกัน เช่น 100-800 nm โดยสามารถควบคุมความหนาได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายหรือเวลาที่ใช้ในการพ่นละอองสารละลาย

เพื่อจะได้ศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี เฟส โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของฟิล์ม ซึ่งจะได้ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการฟิล์มอินเดียมออกไซด์เจือไทเทเนียมที่มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วนำไฟฟ้าโปร่งใส่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved