บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มบาง AlZO โดยเทคนิคดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริงที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ให้ความร้อนกับแผ่นรองรับ จากเป้าเซรามิกส์ ZnO เจือด้วย Al และ In ในปริมาณ 0.5 wt% ด้วยเงื่อนไขการสปัตเตอร์ที่แตกต่างกันเช่นความดัน ระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับ และกำลังไฟฟ้า โดยฟิล์ม AlZO ที่เตรียมได้มีสมบัติดังนี้

1. โครงสร้างผลึกของฟิล์ม AlZO ที่เตรียมด้วยเทคนิคนี้เป็นโครงสร้างเฮกซะโกนอล โดยผลึกส่วนใหญ่จัดเรียงตัวในระนาบ (002) โดยมีค่าแกนผลึก a เป็น 3.251 Å ค่าแกนผลึก c เป็น 5.214 Å และมีขนาดของผลึกอยู่ระหว่าง 48-53 nm

2. จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคโอเจย์ อิเล็กตรอนพบว่าฟิล์ม AlZO มีองค์ประกอบหลักเป็น Zn และ O ในอัตราส่วนอะตอมมิคเปอร์เซ็นต์ระหว่าง Zn:O เป็น 1:1 โดยไม่สามารถตรวจจับ Al และ In ได้ เนื่องจากมีปริมาณการเจือจำนวนน้อย

3. สภาพนำไฟฟ้าของฟิล์ม AlZO ที่เตรียมได้จากเทคนิคนี้ อยู่ช่วงระหว่าง $2.57 \times 10^{-4} - 3$ Ωcm โดยมีการส่งผ่านแสงเฉลี่ย 70-90 % ในช่วงความยาวคลื่น 400-1100 nm ซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม โดยขอบของการดูดกลืน (Absorption edge) เลื่อนไปทางด้าน UV ซึ่งสอดคล้องกับค่าช่องว่างแถบพลังงานในช่วง 3.3-3.65 eV และการเลื่อนขึ้นของช่องว่างแถบพลังงานนี้ จะช่วยเพิ่มช่วงการส่งผ่านแสงของฟิล์มให้มากขึ้น

4. ระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับ ความดัน และกำลังไฟฟ้า มีผลต่อการทับถม สภาพต้านทานไฟฟ้า และลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม AlZO โดยพบว่าฟิล์มเตรียมที่ระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับใกล้และความดันขณะสปัตเตอร์ที่ต่ำ จะให้การทับถมสูงสุด เมื่อระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับและความดันเพิ่มขึ้น ความหนาของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง อันเนื่องมาจากเมื่อความดันเพิ่มทำให้มีไอออนของอาร์กอนในพลาสมาเพิ่มขึ้น จึงทำให้อะตอมของเป้าที่ถูกสปัตเตอร์สูญเสียพลังงานเนื่องจากการชนกับไอออนของอาร์กอนในพลาสมาและมีพลังงานไม่พอที่จะตกลงบนแผ่นรองรับ จึงทำให้อัตราการทับถมลดลง การเพิ่มระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับ จึงเป็นการเพิ่มระยะการเดินทางของไอออนอะตอมของเป้าที่ถูกสปัตเตอร์ออก อะตอมดังกล่าวจึงมีโอกาสสูญเสียพลังงานเนื่องจากการชนมาก ส่งผลให้อัตราการทับถมลดลง ขณะเดียวกันฟิล์มที่เตรียมด้วยกำลังไฟฟ้าสูงกว่าจะช่วยเร่งไอออนให้เคลื่อนที่ด้วยพลังงานสูงขึ้นเมื่อเกิดการชนกับอะตอมผิวหน้าเป้าส่งผลให้อะตอมผิวหน้าเป้ามีพลังงานการเคลื่อนที่สูงขณะตกเคลือบบนแผ่นรองรับ จึงทำให้ได้ฟิล์มที่มีการถับถมมากกว่าตัวอย่างที่เตรียมด้วยกำลังไฟฟ้าต่ำ

5. ระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับ ความดันและกำลังไฟฟ้ามีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าและลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม โดยเมื่อเพิ่มความดัน ที่ระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับ 7 cm สภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง ขณะที่ระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับเป็น 10 13 และ 16 cm ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยทั้งค่าความคล่องตัวของพาหะและความหนาแน่นของพาหะมีอิทธิพลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม โดยการเพิ่มความดันนี้ฟิล์มจะก่อตัวเป็นคอลัมนาร์ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะพื้นผิวฟิล์มเป็นแบบกรานูลาร์ เกรนมีขนาดเล็ก เนื่องจากเมื่อเพิ่มความดัน อะตอม AIZO ที่หลุดจากผิวหน้าเป้ามีพลังงานลดลงเนื่องจากการชน มีสัมประสิทธิ์การแพร่ต่ำ ทำให้เกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มกระจัดกระจาย และให้สภาพต้านทานไฟฟ้าสูง ขณะที่การเพิ่มกำลังไฟฟ้า อะตอม AIZO จะมีพลังงานเพิ่มขึ้น สัมประสิทธ์การแพร่สูงจึงได้ฟิล์มที่เป็นคอลัมนาร์ที่หนาแน่น สม่ำเสมอ ลักษณะพื้นผิวฟิล์มเป็นแบบกรานูลาร์ มีความขรุขระ เกรนมีขนาดใหญ่และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง

6. ฟิล์มหลังกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1% และ 0.05% จะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อกัดด้วยกรดในระยะเวลาที่นานขึ้น และความหนาของฟิล์มมีค่าลดต่ำลง โดยการกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 % มีอิทธิพลต่อฟิล์มในด้านสภาพต้านทานไฟฟ้า ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม และค่าเฮซมากกว่าฟิล์มที่กัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 % โดยลักษณะความขรุขระของฟิล์มที่ได้จะสัมพันธ์กับค่าเฮซ

จากการทดลองพบว่าเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มที่ดีที่สุดคือ ที่ระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับเป็น 10 cm กำลังไฟฟ้า 50 W และความดัน 0.03 mbar โดยฟิล์มมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็น 2.57×10^{-4} Ωcm ซึ่งมีค่าต่ำสุด โดยไม่ต้องให้ความร้อนกับแผ่นรองรับ และฟิล์มมีค่าการส่งผ่านแสง 81% มีโครงสร้างพื้นผิวที่ขรุขระโดยมีความขรุขระ 3.21 nm และมีค่าเฮซสูงถึง 50 % แม้จะยังไม่กัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกก็ตาม (โดยมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มที่กัดด้วยกรด 5 s) ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่จำเป็นต้องกัดฟิล์มด้วยกรดก่อนนำไปประยุกต์ใช้งาน