

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล

บทนี้เป็นการอภิปรายและสรุปผลการศึกษางานวิจัยประกอบด้วย ขั้นตอนและ  
หาอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์  
ด้วยเทคนิคโซลเจลแบบจุ่มเคลือบ และผลของความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์  
ที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ โดยทำการเคลือบ  
ที่จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบค่าต่าง ๆ กัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### อภิปราย

##### ผลของอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ

ในงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคโซลเจล  
โดยใช้สารตั้งต้น คือ ไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ ไอโซโพรพานอลและกรดไนตริก  
ที่มีความเข้มข้น 0.27 โมลาร์ ทำการเคลือบบนวัสดุรองรับ คือ กระดาษสไลด์ โดยในขั้นตอนแรก  
ได้ทำการทดลองหาอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียม  
ไดออกไซด์โดยใช้อัตราเร็วในการเลื่อนกระดาษสไลด์ขึ้นจากสารละลายที่อัตราเร็ว 5 cm/min  
20 cm/min และ 30 cm/min ผลการศึกษาพบว่า เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า ฟิล์มบางไททาเนียม  
ไดออกไซด์ที่อัตราเร็ว 5 cm/min และ 20 cm/min มีลักษณะใส และเรียบ ส่วนฟิล์มบางไททาเนียม  
ไดออกไซด์ที่ความเร็ว 30 cm/min เนื้อฟิล์มมีลักษณะขรุขระ

เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min  
ไปวิเคราะห์สภาพพื้นผิวระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า ที่กำลังขยาย 40X  
พบว่า ที่อัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min เนื้อฟิล์มค่อนข้างเรียบ พบรูพรุนขนาดเล็ก  
กระจายอยู่ทั่วบริเวณเนื้อฟิล์ม ที่กำลังขยาย 200X พบว่า ที่อัตราเร็ว 5 cm/min และ 20 cm/min  
เนื้อฟิล์มยังคงเรียบและพบรูพรุนอยู่ ส่วนที่อัตราเร็ว 30 cm/min พบลักษณะของอนุภาคนาโนเล็ก  
กระจายอยู่ในเนื้อฟิล์ม

เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min  
ไปวัดความหนาของฟิล์ม ด้วยเครื่อง SurfTest พบว่า วัดความหนาของฟิล์มบางได้ 78 nm 111 nm  
และ 154 nm ตามลำดับ

จะเห็นว่าฟิล์มบางที่เคลือบภายใต้อัตราเร็วในการเลื่อนกระจกสไลด์ขึ้นจากสารละลาย ด้วยอัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min พบว่า ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราเร็ว 30 cm/min จะให้ฟิล์มบางที่มีความหนา 154 nm แต่ในขณะเดียวกันเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นลักษณะพื้นผิวระดับจุลภาคพบว่า ฟิล์มบางที่เคลือบได้มีลักษณะขรุขระ ไม่ใส เพราะเกิดอนุภาคขนาดเล็กที่มีลักษณะขรุขระ กระจายอยู่ทั่วเนื้อฟิล์ม ดังนั้น อัตราเร็วที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์ม เพื่อคุณภาพของความหนาที่มีต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในขั้นตอนต่อไป จึงเลือกใช้อัตราเร็วในการเลื่อนกระจกสไลด์ขึ้นจากสารละลาย ที่ 20 cm/min เพราะชั้นฟิล์มที่เคลือบได้จะมีความหนา 111 nm และเนื้อฟิล์มมีลักษณะใสและเรียบ ในขณะที่อัตราเร็ว 5 cm/min เนื้อฟิล์มที่เคลือบได้แม้จะมีลักษณะใสเช่นกัน แต่ความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้จะมีค่าค่อนข้างน้อย คือ 78 nm เท่านั้น

#### ผลของจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ

เมื่อเลือกอัตราเร็วที่เหมาะสมในการทอเคลือบ คือ 20 cm/min และทำการจุ่มเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ที่จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น เพื่อศึกษาผลของความหนาที่มีต่อ โครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ผลปรากฏว่าฟิล์มบางที่ความหนา 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น มีลักษณะใส เรียบ และมีการยึดเกาะฟิล์มที่ดี เมื่อนำฟิล์มไปวิเคราะห์สภาพพื้นผิวระดับจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ที่กำลังขยาย 40X พบว่า ที่ความหนา 1 ชั้น และ 2 ชั้น เนื้อฟิล์มค่อนข้างเรียบ พบรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเนื้อฟิล์ม และที่ความหนา 3 ชั้นพบรอยแตกกระจายอยู่ทั่วบริเวณเนื้อฟิล์ม ที่กำลังขยาย 200X พบว่า ที่อัตราเร็ว 5 cm/min และ 20 cm/min เนื้อฟิล์มยังคงเรียบและพบรูพรุนอยู่ ส่วนที่อัตราเร็ว 30 cm/min พบรอยแตกชัดเจนและมีลักษณะของอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่ในเนื้อฟิล์ม

เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น ไปวัดความหนาของฟิล์ม ด้วยเครื่อง SurfTest พบว่า ฟิล์มบางมีความหนา 111 nm 160 nm และ 208 nm ตามลำดับ

#### โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD พบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 1 ชั้นนั้น เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทส ส่วนฟิล์มบางที่ความหนา 2 ชั้น และ 3 ชั้น พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ 25.24 และ 25.28 องศา ซึ่งตรงกับ

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทรสนาบ (101) ตามลำดับ และเมื่อนำไปคำนวณหาขนาดผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า ฟิล์มบางที่ความหนา 1 ชั้น ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ จึงไม่สามารถคำนวณหาขนาดของผลึกได้ ส่วนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 2 ชั้น และ 3 ชั้น สามารถคำนวณหาขนาดของผลึกได้เป็น 17.48 nm และ 17.71 nm ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดผลึกที่ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความหนาของฟิล์มที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นในการเคลือบ

#### ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ผลของลักษณะพื้นผิว ความหยาบผิวและหาความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope พบว่า ฟิล์มบางที่ความหนา 1 ชั้น ลักษณะของเกรนยังไม่ชัดเจน ที่ความหนา 2 ชั้น และ 3 ชั้น ลักษณะเกรนผลึกของฟิล์มมีลักษณะกลมรี ขนาดของเกรนมีค่าเล็กน้อยในระดับนาโนโดยมีค่าประมาณ 60 nm นอกจากนี้ยังพบรูพรุนขนาดเล็กบนพื้นผิวฟิล์ม ที่ทุกเงื่อนไขของการเคลือบ

#### สมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ผลการศึกษาฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ในช่วงความยาวคลื่น 300-500 nm เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงลดลง เมื่อฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ความยาวคลื่น 550 nm พบว่า เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น มีค่าเป็น 84.11% 91.29% และ 69.82% ตามลำดับ ค่าแถบช่องว่างพลังงานของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่าง ๆ พบว่า ที่ความหนา 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น ค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าเป็น 3.20 eV 3.15 eV และ 2.90 eV ตามลำดับ

#### สรุปผลการทดลอง

1. ในการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ความเข้มข้น 0.27 โมลาร์ ด้วยเทคนิคโซลเจลแบบจุ่มเคลือบ พบว่า อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบช้าทำให้ได้ฟิล์มที่บาง และถ้าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเร็วทำให้ได้ฟิล์มที่หนา สำหรับงานวิจัยนี้พบว่า อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบที่เหมาะสม คือ 20 cm/min จะทำให้ได้ฟิล์มบางที่มีลักษณะใส ยึดเกาะได้ดี
2. เมื่อจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น

3. ที่ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ 1 ชั้น จะไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ แต่ที่ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทสมากขึ้น โดยความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบของฟิล์มบางมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อคำนวณหาขนาดของผลึกมีค่าเป็น 17.48 nm และ 17.71 nm ตามลำดับ

4. ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ มีลักษณะเกรนผลึกของฟิล์ม กลมรี ขนาดของเกรนมีค่าประมาณ 60 nm และพบรูพรุนขนาดเล็กบนพื้นผิวฟิล์มที่ทุกเงื่อนไขของการเคลือบ

5. การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์และค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า เมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงมีค่าลดลงและที่ความหนาของฟิล์มบางเพิ่มขึ้นค่าแถบช่องว่างพลังงานจะมีค่าลดลงเช่นกัน